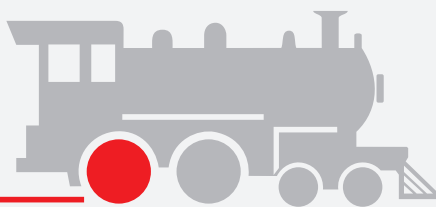


сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

В ВЫПУСКЕ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

«Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Козлов А.В.

«Многоцелевое субсидиарное управление»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Дулин С.К., Кольцов П.П.

«Методы выделения границ изображений для геоинформационного описания техногенных объектов железнодорожного транспорта»

Андреева О.А.

«Применение геоинформатики для проектирования железных дорог»

Беляков С.Л., Боженюк А.В., Белякова М.Л.

«Прецедентный анализ геоинформационных моделей проектов логистики»

Ознамец В.В.

«Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог»

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Дзюба Ю.В., Павловский А.А.

«Применение сетей Петри при управлении движением»

Охотников А.Л.

«Вероятностное ситуационное управление на транспорте»

Дулин С.К., Манойло Д.С., Якушев Д.А.

«Анализ данных современных путеизмерительных комплексов для актуализации цифровой модели железнодорожной инфраструктуры»

№ 2

Июнь 2019



Стратегия развития железных дорог

Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич

Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах

3

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Козлов Александр Вячеславович

Многоцелевое субсидиарное управление

17

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Дулин Сергей Константинович, Кольцов Петр Петрович

Методы выделения границ изображений для геоинформационного описания техногенных объектов железнодорожного транспорта

29

Андреева Ольга Александровна

Применение геоинформатики для проектирования железных дорог

37

Беляков Станислав Леонидович, Боженьюк Александр Витальевич,

Белякова Марина Леонтьевна

Прецедентный анализ геоинформационных моделей проектов логистики

53

Ознамец Владимир Владимирович

Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог

64

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Дзюба Юрий Владимирович, Павловский Андрей Александрович

Применение сетей Петри при управлении движением

77

Охотников Андрей Леонидович

Вероятностное ситуационное управление на транспорте

89

Дулин Сергей Константинович, Манойло Дмитрий Сергеевич,

Якушев Дмитрий Алексеевич

Анализ данных современных путеизмерительных комплексов для актуализации цифровой модели железнодорожной инфраструктуры

99

УДК: 656, 004.89, 656.052

Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах

- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Генеральный директор, АО «НИИАС»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье проводится исследование применения когнитивной и пространственной логики в ситуационных центрах. Описаны особенности современных ситуационных центров. Описаны задачи ситуационного центра для задач ОАО РЖД. Статья раскрывает виды анализа в ситуационных центрах: качественный, логический, количественный и системный. Описаны основы когнитивной и пространственной логики. Показана целесообразность применения паралингвистических единиц в пространственной логике. Описаны два этапа построения конструктивной последовательности, применяемой при анализе ситуаций. Статья раскрывает содержание пространственных информационных единиц и паралингвистических информационных единиц. Приведены примеры применения морфологических и цветовых паралингвистических единиц для построения логических конструкций в ситуационном центре. Отмечено, что пространственная логика в ситуационных центрах является частью кросс технологий.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, логика, пространственная логика, когнитивная логика, ситуационный центр, качественный анализ, паралингвистические пространственные единицы

Cognitive and spatial logic in situational centers

- Rosenberg I.N.** D.ofSci.(Tech), Professor, General Director, JSC «NIIAS»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC «NIIAS»,
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In article is explored the use of cognitive and spatial logic in situational centers. The paper describes the features of modern situational centers. The tasks of the situational center for the tasks of JSC RZD are described. The article reveals the types of analysis in situational centers: qualitative, logical, quantitative and systemic. The article describes the basics of cognitive and spatial logic. The article proves the expediency of using paralinguistic units in spatial logic. Two stages of constructing a constructive sequence used in the analysis of situations are described. The article reveals the content of spatial information units and paralinguistic information units. Examples of the use of morphological and color paralinguistic units for constructing logical structures in a situational center are given. It is noted that spatial logic in situational centers is part of the cross technology.
- Keywords:** transport, management, logic, spatial logic, cognitive logic, situational center, qualitative analysis, paralinguistic spatial units.

Введение.

Пространственная логика, как и обычная логика, частично математическая логика, относится к качественным рассуждениям [1]. При работе в ситуационном центре руководитель не должен соприкасаться с вычислениями или логическими формулами [2]. Руководитель должен быстро и оперативно давать оценку ситуации принятия решений. Такой оперативной оценкой является качественная оценка. Простейшей качественной оценкой является оценка состояния ситуации по оппозиционным признакам [3]: штатная - не штатная ситуация. Другой оценкой ситуации является оппозиционная оценка по процессам комплементарности [4, 5] (согласованности): комплементарные - не комплементарные процессы или действия. Оппозиционные переменные легко отразить значениями двоичной логики 0 и 1. Наряду с логическими значениями и значениями естественного языка в практике применяют паралингвистические единицы. Паралингвистические единицы [6, 7] - это внеязыковые единицы, которые не содержатся в естественном языке, но фиксируются человеком в силу того, что он осуществляет рецепцию информации с использованием когнитивных возможностей. Рецепция информации происходит с подключением когнитивной области и в частности с использованием пространственных ассоциаций и цветовых стереотипов. В информатике и геоинформатике существует парадигма, согласно которой «Информация приобретает ценность, когда из нее можно извлечь знания, то есть, когда она воспринята человеком и приобрела смысл». Извлечение смысла достигается разными путями, к числу которых относят когнитивную и пространственную логику. В данной работе рассмотрим применение пространственной логики при работе с ситуационными центрами.

Общие задачи ситуационных центров.

При анализе и управлении ситуациями, которые описываются: слабо структурируемой информацией; неполными количественными данными; противоречивыми данными; информационной неопределенностью; большим объемом информации; становятся непригодными классические методы управления.

В этом случае приходится прибегать к использованию ситуационных центров, которые позволяют дополнять описание информационной ситуации интуицией, опытом, коллективным интеллектом экспертов. Ситуационные центры (СЦ) [2, 8] или Ситуационные комнаты (СК), содержат определенный набор организационных, технических, программных средств в сочетании с человеческими ресурсами и реализуют комплексный подход для поддержки принятия экспертных решений. Ситуационный центр может быть рассмотрен как автоматизированная система ситуационного управления, интегрирующая возможности информационных технологий и когнитивные возможности человека для коллективного принятия решения и прогнозирования их результатов. Понятие ситуация является ключевым для ситуационного центра. отсюда возрастает значение информационной ситуации [9] как базовой модели для анализа и принятия решений.

Ситуационные центры используют: федеральные органы власти; региональные органы субъектов РФ и местного самоуправления; крупные банки и промышленные предприятия; МЧС и др. Примеры известных российских ситуационных/диспетчерских центров: ситуационный центр МЧС России используется для сбора и анализа поступающих данных о ЧС и координации спасательных операций; ситуационный центр управления космической промышленностью [10] предназначен для поддержки управления космической отраслью и проведения научно-исследовательских и информационно-аналитических работ. Диспетчерский центр ГИБДД г. Москвы используется для сбора информации о дорожных ситуациях. Центр

контролирует информацию, получаемую с сотен камер видеонаблюдения, установленных на дорогах города. В центре отображают текущие дорожные ситуации на интерактивной карте. Центр координирует действия патрулей ГИБДД, меняет режимы работы светофоров, режимы проезда на улицах и прочее. Основными задачами ситуационных/диспетчерских центров являются:

1. формирование альтернатив принятия решений для высшего руководства;
2. мониторинг состояния объекта управления;
3. мониторинг процессов объекта управления;
4. прогнозирование развития ситуации на основе анализа поступающей информации;
5. моделирование последствий принимаемых решений, на базе использования информационно-аналитических систем;
6. экспертная оценка принимаемых решений и их оптимизация;
7. управление в критических ситуациях.

Пункт 1. формируют эксперты, но решение принимает руководство. Пункты 2. и 3. могут иметь качественную и количественную оценки. Качественную оценку выполняет руководство. Количественную детализацию ситуаций выполняют эксперты по требованию руководства. Пункты 4, 5, 6 выполняют эксперты для руководства, которое обладает правом выбора и принятия решений.

Ситуационный центр (рис.1) является аналитическим органом для оперативного предупреждения возможных нарушений перевозочного процесса и устранения последствий уже произошедших нарушений.

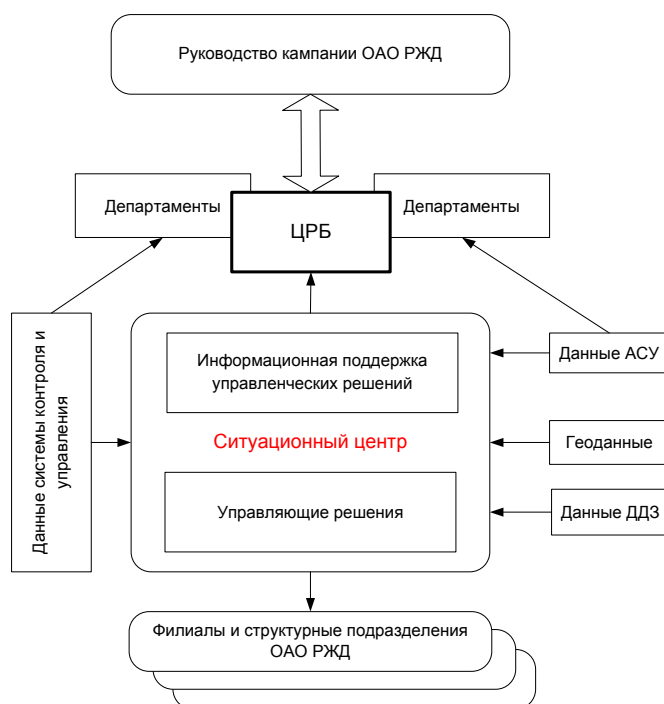


Рисунок 1. Структура ситуационного центра

Основной целью применения ситуационного центра в ОАО РЖД [11] является повышение эффективности управления движением и обеспечение безопасности движения за счет следующих факторов:

- прогнозирования рисков безопасности движения и определения мест наиболее вероятного их проявления;
- выработки рекомендаций для принятия управляющих решений по эффективной организации грузопотоков;
- ликвидации дестабилизирующих факторов безопасности движения и ликвидации последствий кризисных и аварийных ситуаций.

Объективность и своевременность получения информации позволит в кратчайшие сроки выбрать оптимальное решение, мобилизовать имеющиеся ресурсы на устранение последствий нарушения перевозочного процесса. Итогом работы ситуационного центра ОАО «РЖД» является переход на управление процессами обеспечения безопасности движения, построенное на основе объективных критериев

Одним из средств информационного обеспечения ситуационного центра являются спутниковые технологии [12] и данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Они дополняются данными с мобильных комплексов, включающих в себя комплекты телевизионных камер различного назначения, аппаратуру обработки видеоизображения и передачи информации в ситуационный центр при помощи разных каналов связи. Это позволяет повысить достоверность информации, поступающей в ситуационный центр, определить оптимальные варианты расположения восстановительных средств, с учетом местных условий и наметить пути их подвода. Ряд функций ситуационного центра пересекается с существующими функциями департаментов ОАО «РЖД». Поэтому при разработке ситуационного центра необходима комплементарность [13] его технологий с функциями и задачами департаментов

Функционирование ситуационного центра позволяет сократить загрузку работников ревизорского аппарата, в результате чего достигается косвенное сокращение производственных издержек, улучшаются качественные показатели, что и обуславливает получение также определенного экономического эффекта. Все косвенные эффекты, имеющие место при использовании Ситуационного центра ЦРБ ОАО «РЖД», можно разделить на две группы: количественные - сокращение затрат при решении сложных задач; качественные - улучшение качества работы, снижение напряженности работы оперативных диспетчеров и аналитиков.

Технологическое направление ситуационного управления состоит в разработке методов и технологий анализа и управления, снижающего нагрузку на ЛПП [14-16]. Это направление использует информационный подход информационные методы управления. Кроме того, для РЖД в этом направлении неотъемлемой частью становятся методы геоинформатики.

Геоинформатика интегрирует методы дистанционного зондирования. Поэтому для ситуационного анализа и оперативной оценки в качестве инструмента оперативного отображения реальной ситуации могут применяться данные, полученные с помощью спутниковых технологий. Геоинформатика дает возможность использовать для управления пространственную информацию [17, 18]. Она позволяет распределять ресурсы и анализировать информационные ситуации. Геоинформатика применяет интегрированную модель геоданных, что дает возможность создания интегрированной системы управления [19] железной дорогой [20].

Система управления ситуационного/диспетчерского центра обеспечивает интегрированное взаимодействие всех элементов ситуационного анализа. Высокая сложность систем ситуационного центра требует постоянного обслуживания.

Анализ принимаемых решений.

Анализ принимаемых решений подразделяют на качественный, логический, количественный и системный. Анализ принимаемых решений, как правило, строится на анализе ситуации или нескольких связанных ситуаций. Поэтому по существу такой анализ является ситуационным.

Формально любой, включая логический, анализ включает два этапа. Первый этап заключается в построении формальных информационных конструкций [21-23] в виде связанных последовательностей и качественного оценивания. Эти конструктивные последовательности впоследствии могут быть описаны логическими выражениями, математическими формулами или топологическими конструкциями.

Второй этап анализа включает детальное исследование качественного содержания конструктивной последовательности и применение к ней математического или логического анализа. При этом используют понятие рассуждение. Однако может случиться, так что качественная оценка уже позволяет принять решение или начать его формирование.

Процесс получения новых знаний, выраженных высказываниями, из других знаний, также выраженных высказываниями, называется *рассуждением* или *в частном случае умозаключением*. Рассуждение обычно включает несколько умозаключений или их цепочку. В широком смысле рассуждение может опираться на математический формализм, лингвистический формализм или логический формализм. Исходные высказывания называются *посылками (гипотезами, условиями)* умозаключения, а получаемые высказывания — *заключением (следствием)*. Под гипотезой формулы A понимается такая формула B , такая что [24, 25]

$$(B \rightarrow A) \equiv 1.$$

Построение гипотезы при проведении анализа строится на использование условия каузальной полноты. Проверка этого условия интерпретируется так, если полученные гипотезы объясняют исследуемую ситуацию с учетом всех параметров ситуации, то имеет место казуальная полнота и гипотеза является полной. Существуют частные гипотезы о возможных причинах свойств или состояний объектов. Они могут объяснить наличие или отсутствие свойства P у объектов, для которых не было изначально известно, что они обладают или не обладают свойством P в текущей ситуации.

Цель проверки условия каузальной полноты состоит в том, чтобы определить, можно ли принимать полученные в результате работы метода гипотезы. Если условие каузальной полноты не выполняется, необходимо изменить применяемую когнитивную технику. Например, выбрать другой способ кодирования паралингвистических единиц или другой набор информационных единиц.

Гипотеза формулы A называется простой и казуально полной, если она есть конъюнкция параметров ситуации или их отрицаний, но после отбрасывания любого из ее сомножителей перестает быть гипотезой формулы A . Параметры ситуации могут быть негативными и позитивными. Штатная ситуация содержит позитивные параметры и отрицание негативных параметров. Например, простая гипотеза

$$B(x1 \wedge x2 \wedge x3 \wedge x4 \wedge \neg x5 \wedge \neg x6 \wedge \neg x7 \wedge x8 \wedge x9) \equiv 1, \quad (1)$$

Включает все параметры ситуации, число которых равно 9. Она тождественно равна 1 (истинна), что определяет выполнение условия казуальной полноты. Исключение любого параметра нарушает условие казуальной полноты и переводит гипотезу в "не гипотезу"

$$\bar{B}(x1 \wedge x2 \wedge x3 \wedge x4 \wedge \neg x5 \wedge \neg x7 \wedge x8 \wedge x9) \neq B, \quad (2)$$

Гипотеза подчеркивает обязательность и комплементарность параметров. Например, выражение (1) может описывать штатную ситуацию.

Отрицание любого параметра в выражении приводит к не штатной ситуации

$$\forall n(x1 \wedge x2 \wedge x3 \wedge x4 \wedge x5 \wedge \neg x6 \wedge \neg x7 \wedge x8 \wedge x9) \equiv 1, \quad (3)$$

В выражении (3) негативный фактор $x5$ присутствует в ситуации, в то время как в выражении (1) он отсутствует. Выражение (3) описывает нештатную ситуацию появления негативного фактора (например, отставание от графика движения). Под следствием формулы A понимается такая формула C , такая что

$$(A \rightarrow C) \equiv 1$$

Следствие задает возможность сочетания параметров и допускает их комплементарность или не комплементарность. Следствие A называется простым, если оно есть дизъюнкция переменных ситуации или их отрицаний, но после отбрасывания любого из ее слагаемых перестает быть следствием формулы A . Например, простое следствие

$C(y1 \vee y2 \vee y3 \vee y4 \vee \neg y5 \vee \neg y6 \vee \neg y7 \vee y8 \vee y9)$, такое следствие, что

$CC(y1 \vee y2 \vee y3 \vee y4 \vee \neg y5 \vee \neg y6 \vee \neg y7 \vee y9)$ уже не является следствием.

Важно отметить, что: если A — гипотеза формулы B , то $A \wedge C$ есть тоже гипотеза формулы B ; если A — следствие формулы B , то $A \vee C$ есть тоже следствие из B ; если A и B — гипотезы формулы C , то $A \vee B$ — тоже гипотеза для C ; если A и B — следствия из C , то $A \wedge B$ — тоже следствие из C .

Рассуждение считается правильным, если между его посылками и заключением имеет место *отношение логического следования* [26]. В логике умозаключения делятся на: дедуктивные индуктивные и абдуктивные [27]. В дедуктивных умозаключениях связи между посылками и заключением представляют собой формально-логические законы, в силу чего при истинных посылках заключение всегда оказывается истинным.

В индуктивных умозаключениях между посылками и заключением имеют место такие связи, которые обеспечивают получение только правдоподобного заключения при истинных посылках. В этих рассуждениях посылки лишь подтверждают заключение. В процессе рассуждения иногда за дедуктивные принимают умозаключения, которые таковыми не являются. Последние называют неправильными, а (собственно) дедуктивные — правильными.

Логический анализ позволяет не только оценить на истинность и ложность логической цепочки, но и показать принципиальную возможность вывода и совокупности формул, не совершая сам вывод. В работах [24, 25] отмечается, что семантическое следование равносильно выводимости. Это подчеркивается сходством символов. Существует символ \vdash выводимость и аналогичный \models символ логического следования. Доказательство выводимости или следования входит в логический анализ.

Качественные рассуждения.

Качественные рассуждения не исключают формальное описание и различные формальные модели. Их особенность - применение формализма без количественных выражений, требующих вычислений. Качественное рассуждение (Qualitative reasoning –QR) [28] - это подход для манипулирования со знаниями, имеющими качественное описание, не прибегая к полному количественному описанию. Представление знаний при качественном рассуждении осуществляется через ограниченное хранилище качественных стереотипов. В логической форме аксиомы качественного анализа выглядят так.

1. $(A=B) \oplus (A \neq B)$.
2. $(A=B) \rightarrow (B=A)$.
3. $((A=B) \wedge (B=C)) \rightarrow (A=C)$

Аксиома 1 - аксиома идентификации. Либо А и В равны, либо не равны.

Аксиома 2 аксиома качественной коммутативности.

Аксиома 3 аксиома качественной транзитивности.

Это дает основание применять оперативный качественный анализ в номинальной шкале при отсутствии неопределенности. В области качественных рассуждений существует подраздел качественные пространственные рассуждения. Это подчеркивает связь качественных рассуждений с пространственной когнитивной логикой.

Когнитивная логика.

При ситуационном анализе, особенно в сложных и слабо структурированных ситуациях используют когнитивную логику. Наиболее ярко когнитивная логика применяется при построении когнитивных карт [29]. В этой области когнитивную логику используют как инструмент структуризации при слабо структурированной информации. Другим подходом применения когнитивной логики является когнитивная кластеризация. Когнитивная логика близка интуиционистской логике [30], но между ними существуют различия. Интуиционистская логика близка к модальной [31] и вероятностной логике [32] по формальным признакам. Когнитивная логика опирается на метод прецедентов, психологию и извлечение неявного знания [33]. Тенденция любой логики как формальной системы состоит в том, чтобы дать объективное доказательство, по возможности, исключая субъектные аспекты.

В обычной логике объективизация рассуждений и построения логических цепочек достигается за формализации и строго следования синтаксису. В когнитивной логике построение логических следований достигается за счет использования стереотипов, ассоциаций и прецедентов. В этом смысле когнитивная логика - это логика экспертных оценок. Обычная логика использует парадигму «step by step» без разрывов. Когнитивная логика использует парадигму «step by example» или «by example» с разрывами, которые основаны на использовании опыта.

Когнитивная логика имеет аналогию с искусственной нейронной сетью. При использовании обычной логики существует одно логическое следование, каждое звено которого проверяется формальными методами. Верификация логического следования в обычной логике осуществляется по схеме рассуждений с использованием синтаксиса. При использовании когнитивной логики для одной задачи возможны разные реализации следований, но результат верный для любой реализации. То есть верификация когнитивной логики осуществляется по результату.

Когнитивная логика в определенном смысле может быть рассмотрена как оппозиционная [34] к формально логическому следованию. Формальный логический подход основывается на формальной синтактике рассуждений. Когнитивный логический подход может перескакивать через логические цепочки за счет использования стереотипов, контекста и ассоциаций. В математике примером когнитивной логики является взятие сложных интегралов методом оценивания. Когнитивная логика может быть пространственной и не пространственной. Ее суть в использовании опыта и неявного знания эксперта. Пространственная когнитивная логика оперирует с пространственными образами. в частности когнитивная кластеризация в этом случае использует пространственные кластеры и пространственные образы.

Пространственная логика

Пространственная логика дополняет когнитивную логику при пространственном ситуационном анализе. Пространственной логикой (spatial logic) [35] называют раздел логических рассуждений, связанный с логикой и закономерностями пространственных отношений и связей, причем как элементов, так и единиц рассуждений. Пространственная логика тесно связана с когнитивной графикой, пространственными рассуждениями [36, 37] и с визуальным моделированием. Широта применения пространственной логики велика по сравнению с ее формальной трактовкой.

Пространственная логика применяется в архитектуре, в первую очередь, в частности в ландшафтном проектировании. Пространственная логика применяется в архитектуре в виде закономерностей ордеров. Пространственная логика применяется при анализе систем безопасности [37]. Инфологические модели являются примером пространственной и когнитивной логики. Пространственная логика применяется при извлечении знаний и при онтологическом анализе [38]. Пространственная логика давно применяется при организации параллельных вычислений. Пространственная логика применяется при организации схем запросов к базе данных [39]. Пространственная логика применяется при анализе моделей компьютерных рассуждений в области технического зрения [40]. Пространственная логика применяется для описания пространственных отношений и цифровых моделей местности. Пространственная логика применяется для описания визуальных языков, графических информационных единиц и графических конструкций.

Пространственную логику применяется при интерактивной обработке информации с применением САПР или ГИС. Пространственная логика используется в психологии как метод пространственного мышления и восприятия мира [41]. Это подчеркивает ее связь с ситуационными центрами. Пространственная логика имеет свои визуальные языки. Языком пространственной логики называют формальный язык [42], интерпретируемый над классом пространственных моделей и структур. Язык пространственной логики описывает реальные пространственные объекты и пространственные отношения, включая геореференцию.

В таком формальном языке может использоваться любой логический синтаксис: синтаксис логики первого порядка, некоторый фрагмент логики первого порядка или логики высшего порядка. Структуры, над которыми интерпретируются языки пространственной логики, могут находиться в любом классе геометрических «пространств»: топологических, аффинных, проективных, в Евклидовом 3-мерном пространстве и др. Пространственных языков может быть много, как видов пространственных логик. Поэтому пространственная логика может быть рассмотрена как семейство пространственных логик.

Пространственная логика включает несколько крупных разделов: геометрическая логика, топологическая логика, теоретико-множественная логика, образная логика, визуальное моделирование (область технического зрения [40] и искусственного интеллекта), фотограмметрическое моделирование, получение пространственных знаний (область искусственного интеллекта). Геометрическая логика используется в геометрических построениях и геометрических доказательствах. Общим для пространственных логик является то, что логическое понятие действительности зависит от базовых пространственных структур и аксиом. Пространственная логика применяется в образовании, где она сопрягается с когнитивными изображениями. Пространственная логика применяется в виртуальном моделировании, где опирается на логику поведения в реальном пространстве. Обобщая

применение пространственной логики, следует отметить ее значение для методов искусственного интеллекта, поскольку она позволяет моделировать рассуждения, которые можно использовать в интеллектуальных системах.

На рис.2 приведены топологические корректные модели и топологические не корректные модели. Изображение на рис.2а называют «спагетти». На нем не обозначены пересечения линий и при этом концы линий выходят за границы. Это совокупность наложенных пространственных образов без их взаимной систематизации.

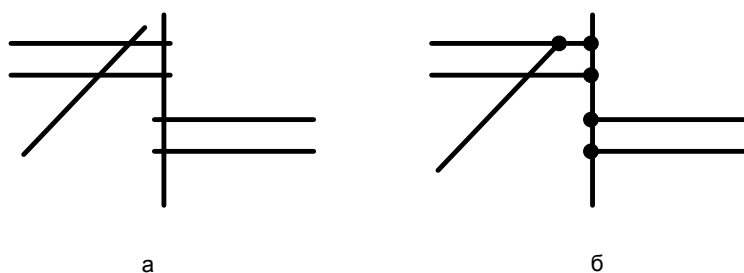


Рисунок 2. а) топологический некорректный и б) топологический корректный пространственный образ

Ситуация, показанная, на рис.2а, возникает при автоматизированной векторизации растровых изображений. Она характеризуется нарушением комплементарности и нарушением топологических информационных соответствий [43]. Рисунок 2б характеризует исправления ошибок, которые содержит рисунок 2а. Введены пересечения, обозначенные точками, концы линий, выходящие за границы, обрезаны. Рисунок 2б можно рассматривать как корректный, с позиций топологической логики. На этом примере видно, что пространственная логика создает систематизацию и порядок за счет учета пространственных отношений и пространственных закономерностей. Топологическая корректность может интерпретироваться как корректность пространственной логики. В этом смысле рисунок 2 можно интерпретировать как припер пространственной логической корректности – 2б и пространственной логической некорректности 2а.

Паралингвистические единицы.

При использовании пространственной логики появляется дополнительная возможность, не присущая математической логике, подключения паралингвистических информационных единиц для логических выводов и рассуждений. Паралингвистические единицы дополняют естественный язык и бывают двух типов: дополняющие (человек) и заменяющие (технические средства). Рецепция информации осуществляется с использованием формы и цветовой палитры. Это является дополнительным каналом информации. Паралингвистические единицы основаны на рецепции информации и когнитивном восприятии [6, 7].

Для когнитивного восприятия можно использовать пространственные паралингвистические значения. Это обусловлено тем, что в паралингвистике значения двоичной логики могут быть заменены двумя альтернативами паралингвистики. При этом возникает возможность использования не только оппозиционных переменных, но и дихотомических переменных. Дихотомические переменные в простейшем случае являются альтернативами, то есть их можно отождествлять с логическими значениями "истина" и "ложь", хотя более точно это альтернативные объекты - либо А либо В, при $A \neq B$. На рис.3 приведены варианты дихотомических паралингвистических переменных

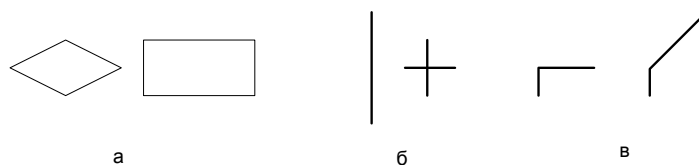


Рисунок 3. Дихотомические морфологические переменные

Варианты а) и б) отражают различие по морфологии. Вариант в) отражает ситуацию, определяемую шлагбаумом на переезде: запрещен проезд - разрешен проезд. Это морфологические паралингвистические информационные единицы.

Другой тип паралингвистических единиц - цветовой. На рис.4 приведены варианты дихотомических паралингвистических переменных.

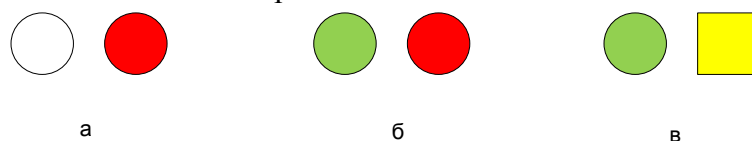


Рисунок 4. Дихотомические цветовые переменные

Варианты а) и б) отражают различие только по цвету. Вариант в) отражает различие по цвету и по форме. Использование паралингвистических единиц в двоичной логике возможно, если они принимают два значения, которым можно сопоставить 0 и 1. При этом для паралингвистических пространственных единиц возникает характеристика - различимость. Эта характеристика когнитивная. В качественном оценивании паралингвистические пространственные единицы выполняют функции логических единиц, перенесенных в когнитивную область.

На рисунке 5 приведены паралингвистические пространственные единицы, отражающие язык пространственной логики, соответствующие логическому выражению (1).

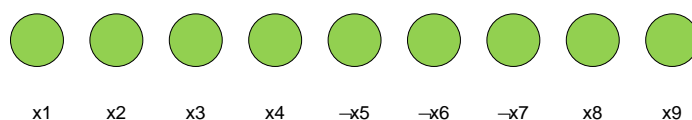


Рисунок 5. Штатная ситуация, соответствующая логическому выражению (1), выраженная через пространственные паралингвистические единицы

Для упрощения понимания под соответствующими паралингвистическими единицами стоят логические переменные из выражения (1). На рисунке 6 приведена нештатная ситуация, соответствующая логическому выражению (3), выраженная языком пространственной логики через пространственные паралингвистические единицы.

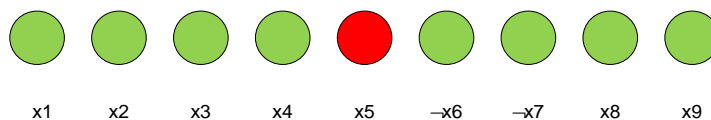


Рисунок 6. Нештатная ситуация, соответствующая логическому выражению (3), выраженная языком пространственной логики

Под соответствующими паралингвистическими единицами стоят логические переменные из выражения (3). Обращает внимание инверсия переменной x_5 , выраженная цветом. Она означает, что на участке x_5 возникла не штатная ситуация, которая повлекла общую не штатную ситуацию на дистанции. Анализ моделей пространственной логики на рис.5 и рис.6 намного проще и быстрее, чем анализ логических выражений (1) и (3). Пространственная логика всегда присутствует в картографических произведениях.

Пространственная логика в ситуационных центрах иногда интерпретируется как кросс-технология [44, 45]. Кросс технологией называют технологию перекрестного взаимодействия разных технологий с целью повышения надежности результата. Пространственная логика приводит к семиотике и новому витку семиотического управления.

Заключение

Когнитивная и пространственная логика широко применяется в ситуационных центрах, но теоретические основы применения пока не проработаны глубоко. Пространственная логика как система знаний находится в стадии развития. Она характеризуется разнообразием применения, но слабой теоретической обоснованностью. Общей концепцией, которую можно принять для всех пространственных логик, является концепция информационных единиц и информационных конструкций. Отдельные пространственные логики могут качественно отличаться. Например, теоретико-множественная пространственная логика отражает отношения, а топологическая логика отражает связи. Такие пространственные логики дополняют друг друга при работе с набором пространственных образов и пространственных отношений. Эффективность пространственной логики состоит в том, что она дает возможность подключать дополнительные признаки сходства различия по форме и цвету. Это обеспечивает оперативность анализа и, в частности, в ситуационных центрах.

Другая причина эффективности пространственной логики состоит в возможности выражать средствами пространственного моделирования пространственные отношения. Средствами обычного языка в ряде случаев описать пространственные отношения громоздко и сложно. Когнитивная логика проявляется в применении когнитивных конструкций как основы построения логических следований. Пространственная и когнитивная логика эффективна при использовании ситуационного подхода и не эффективна при использовании системного подхода.

В системном подходе главной категорией является «система» как целостная совокупность взаимосвязанных компонентов и элементов, имеющая постоянные связи и отношения. В ситуационном подходе главной категорией является «ситуация» как совокупность факторов, между которыми существуют переменные связи и переменные отношения. Эта совокупность чаще имеет переменную структуру, отчего ее удобно использовать для описания вариативных явлений и процессов. Когнитивные факторы часто не структурированы и условны. Особую ценность в пространственной и когнитивной логике имеет возможность применения паралингвистических информационных единиц, чего нельзя применять в строгом системном анализе. Применение паралингвистических пространственных информационных единиц возможно только при использовании когнитивной и пространственной логики. Применение паралингвистических пространственных информационных единиц повышает оперативность качественного анализа. Это эффективно в ситуационных центрах, которые имеют мощную информационную поддержку и возможности формирования логических пространственных конструкций из паралингвистических пространственных единиц.

Список литературы

1. Кулагин В.П. Качественные рассуждения на геоданных // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2018. - № 6. –С.77-83.
2. Вишневский В. В., Симонов С. М. Организационные процедуры ситуационного центра // Математичні машини і системи. – 2010. – Т. 1. – №. 4. – С. 62-57.
3. Tsvetkov V. Ya. Opposition information analysis // European Journal of Technology and Design . – 2014. - Vol.(6), № 4, pp. 189-196.
4. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность // Славянский форум. -2018. – 4 (22). - С. 85-90.
5. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С.103-116.
6. Гермашева Т. М. Исследование лингвистических и паралингвистических характеристик блог-дискурса //Известия Российского государственного педагогического университета им. АИ Герцена. – 2010. – №. 126.- С. 150-155.
7. Цветков В.Я. Паралингвистические информационные единицы в образовании// Перспективы науки и образования.- 2013. -№4.- С.30-38.
8. Меньших В. В., Пьянков О. В., Самороковский А. Ф. Использование ситуационных центров для обучения действиям в кризисных ситуациях //Экономическая безопасность и качество. – 2011. – №. 2.- С.104-107.
9. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, pp.2166- 2170.
10. Бауэр В. П. и др. Ситуационный центр для управления космической промышленностью //Экономические стратегии. – 2014. – Т. 16. – №. 5. – С. 34-41.
11. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С. 42-46.
12. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – С. 43-50.
13. Розенберг И.Н. Сложность и комплементарность // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5. – С.7-10.
14. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986.
15. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С. 2-10.
16. Охотников А.Л. Информационное ситуационное управление на транспорте . Saarbruken. : Palmarium Academic Publising, 2018. –143 с. ISBN 978-613-9-82104-4.
17. Цветков В Я., Маркелов В.М. Пространственный ситуационный анализ // Российский технологический журнал. – 2013. - № 1 (1). - С. 103-116.
18. Бахарева Н.А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении // Государственный советник. – 2013. - №4. – С. 39-42.
19. Булгаков С.В., Корнаков А.Н. Основы интегрированного управления предприятием. // Вестник Московского Государственного Областного Университета/ Экономика. – 2010. –№ 1. – С. 102– 106.
20. Розенберг И.Н., Тони О.В., Цветков В.Я. Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий // Транспорт Российской Федерации. - 2010. - № 6. - С. 54-57.

21. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // *European Journal of Technology and Design*. - 2014, Vol (5), № 3. - pp. 147-152.
22. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64 с. ISBN 978 -5-317-05244-7
23. Бондур В.Г. Информационные конструкции в космических исследованиях // *Образовательные ресурсы и технологии*. – 2016. - 3 (15). – С. 79-88.
24. Алябьева В.Г. Математическая логика. Учебное пособие. – Пермью: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. – 112 с.
25. Верещагин Н.К., Шень А. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 2. Языки и исчисления. — 4-е изд., испр. - М.: МЦНМО, 2012. – 240 с.
26. A. Tarski. On the concept of logical consequence // *Logic, Semantics, Metamatematics*, second edition, pp. 409-420. Indianapolis: Hackett, 1983.
27. Болбаков Р.Г., Цветков В.Я. Абдуктивный вывод // *Славянский форум*. -2018. – 3(21). - С. 68-72.
28. Renz J. *Qualitative spatial reasoning with topological information*. – Springer-Verlag, 2002.
29. Марковский А.В. Использование методов структурного анализа при подготовке когнитивных карт / *Труды Международной конференции. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2009) (17-19.10.2009 г., Москва)*. – М.: ИПУ РАН, 2009. – С 41-46.
30. Плиско, В.Е. Интуиционистская логика / В. Е. Плиско, В.Х. Хаханян. — М.: Изд-во при мех.-мат. ф-те МГУ, 2009. — 159 с.
31. Ивлев Ю. В. Модальная логика. – Изд-во МГУ, 1991.
32. Nailperin T. et al. Probability logic // *Notre Dame Journal of Formal Logic*. – 1984. – Т. 25. – №. 3. – С. 198-212.
33. A.S. Sigov and V. Ya. Tsvetkov. Tacit Knowledge: Oppositional Logical Analysis and Typologization // *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2015, Vol. 85, No. 5, pp. 429–433.
34. Wang P. Cognitive logic versus mathematical logic // *Proceedings of the Third International Seminar on Logic and Cognition*. – 2004.
35. Calcagno C., Cardelli L., Gordon A. D. Deciding validity in a spatial logic for trees // *ACM SIGPLAN Notices*. – ACM, 2003. – V.38. – №. 3. – С. 62-73.
36. Cardelli L., Gardner P., Ghelli G. A spatial logic for querying graphs // *International Colloquium on Automata, Languages, and Programming*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. – С. 597-610.
37. Collier S. J., Lakoff A. Distributed preparedness: the spatial logic of domestic security in the United States // *Environment and planning D: Society and space*. – 2008. – V.26. – №. 1. – С. 7-28.
38. Randell D. A., Cui Z., Cohn A. G. A spatial logic based on regions and connection // *KR*. – 1992. – V.92. – С. 165-176.
39. Cardelli L., Gardner P., Ghelli G. A spatial logic for querying graphs // *International Colloquium on Automata, Languages, and Programming*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. – С.597 - 610.
40. Миронов С. В., Юдин А. В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов // *Программные продукты и системы*. – 2011. – №. 1. – С. 10-16.
41. Lossau J. Pitfalls of (third) space: rethinking the ambivalent logic of spatial semantics // *Communicating in the third space*. – Routledge, 2008. – С.76-92.
42. Aiello M., Pratt-Hartmann I., Van Benthem J. What is Spatial Logic? // *Handbook of spatial logics*. – Springer, Dordrecht, 2007. – pp. 1-11.
43. Цветков В.Я. Информационное соответствие // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. - 2016. - №1. – С.454-455.

44. Филимонов В. А. Кросс-технологии ситуационного центра—полигон кибернетики //Математические структуры и моделирование. – 2014. – №. 3 (31).- С. 87-98.

45. Филимонов В.А. Кросс-технологии ситуационного центра - когнитивная инфраструктура проектирования // Онтологии проектирования 2014 – 4 (14) - С. 98-104.

УДК: 334.71: 656: 338.245

Многоцелевое субсидиарное управление

Козлов А. В. Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача о построении многоцелевого субсидиарного управления подвижным объектом в сфере железнодорожного транспорта. В настоящее время накоплен практический опыт проведения исследовательских работ по развитию такого управления. Работа вводит новые ключевые показатели управления: «проблемное пространство управления», «проблемное поля управления» «пространство решения». Применительно к субсидиарному управлению транспортом эти показатели трансформируются в транспортное информационное поле, пространственную информационную ситуацию. Статья показывает наличие двух качественных видов многоцелевого управления подвижными объектами. Первый вид - это управление многими объектами. Второй вид управления - это управление одним объектом при существенных переменных условиях движения. Исследование рекомендует астатическое управление, как метод управления оказывающий максимально стабилизирующее воздействие на управляемый объект.

Ключевые слова: транспорт, управление, субсидиарное управление, многоцелевое управление, мобильные объекты, астатическое управление.

Multipurpose subsidiary management

Kozlov A. V. Deputy Director of the Physics -Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Moscow, Russia

Annotation. In the article is investigated the problem of constructing a multipurpose subsidiary control of a moving object. At present, practical experience has been gained in conducting research on the development of such management. With regard to the subsidiary management of transport, these indicators are transformed into the transport information space, the transport field, the spatial information situation. The article shows the presence of two qualitative types of multipurpose control of moving objects. The first view is the management of many objects. The second type of control is the management of a single object under significantly variable driving conditions. The study recommends astatic control, as a control method that provides the most stabilizing effect on the controlled object.

Keywords: transport, management, subsidiary management, multipurpose management, mobile objects, astatic management.

Введение

Сущность идеи субсидиарности в переносе возможности принятия решения из верхнего уровня на нижний операционный уровень. В сфере транспорта субсидиарное управление давно применяется на автотранспорте при движении на трассах при отсутствии светофоров. Субсидиарное управление

применяется в судовождении по океанам и морям. В сфере железнодорожного транспорта субсидиарное управление не применялось до появления без светофорного железнодорожного движения, цифровых железных дорог и транспортных киберфизических систем. Поэтому это направление мало исследовано в сфере железнодорожного транспорта. Данная статья посвящена исследованию субсидиарного управления в сфере железнодорожного транспорта. Управление включает согласованность действий и устранение противоречий [1]. По мере роста сложности объектов управления возрастает противоречие между необходимостью оперативного принятия решений ростом времени на анализ информации об объекте управления. Рост времени на анализ и принятие решений практически исключает возможность иерархического управления при высокоскоростном движении и интенсивном движении в мегаполисе. Увеличение масштаба управленческой ситуации ведет к возрастанию задач второго рода [2] которые нельзя решить прямым алгоритмом [3], то есть методом иерархического управления. Идея субсидиарности является развитием идей децентрализации управления как инструмента повышения оперативности действий [4-6]. Субсидиарное управление структурно является развитием распределенного управления. Характерным признаком субсидиарного управления является использование информации, а также информационного управления и интеллектуального управления. При этом необходимо различать информационное управление (information control — IC) [7, 8] от информационного менеджмента (information management — IM) [9]. Информационное управление имеет корни в техническом управлении. Информационный менеджмент вытекает из организационного управления. Поэтому в субсидиарном управлении информационный менеджмент практически неприменим, и оно строится на информационном и интеллектуальном управлении. Это также повышает значение исследования субсидиарного управления.

Принципы субсидиарного управления.

Субсидиарное управление является альтернативой иерархическому управлению и поэтому имеет свою специфику. Специфика задается рядом принципов субсидиарного управления [10]. Первый принцип субсидиарного управления состоит в использовании информационных технологий для управления на операционном уровне. Этот дает основание ввести понятие «информационное субсидиарное управление». Информационное субсидиарное управление применяет: информационные единицы [11, 12], информационные модели и информационное моделирование для управления. Это определяет второй принцип субсидиарного управления использование распределенных и комплементарных управленческих моделей

Эффективность любого управления обеспечивается соответствием между схемой управления и структурой управляемого объекта. Это условие вытекает из понятия информационное соответствие [13-15]. Это определяет третий принцип субсидиарного управления информационное соответствие схемы управления ситуации управления.

Эффективность сложного управления зависит от согласованности или комплементарности технологий управления [14]. Это определяет четвертый частный принцип субсидиарного управления — наличие комплементарности (согласованности) в технических и технологических средствах управления.

Эффективность любого управления обеспечивается минимизацией рисков и надежностью схем управления. Надежность управления обеспечивается логикой схем управления или логическим следованием [16, 17] управляющих воздействий. Это определяет пятый принцип субсидиарного управления — наличие логического аналога схемы управления, проверяемой с помощью математической логики.

Управление является эффективным, когда оно обладает структурной согласованностью. Это определяет шестой принцип субсидиарного управления — наличие системной схемы субсидиарного управления, которая обладает целостностью и полнотой.

Эффективность правления обеспечивается рациональным использованием имеющихся ресурсов. Это определяет седьмой принцип субсидиарного управления — использование ресурсов на ключевых направлениях.

Простые схемы субсидиарного управления.

Субсидиарное управление железнодорожным транспортом не исключает централизованное управление, а дополняет его в новой форме. Основных схем субсидиарного управления две - сетевая и автономная. Совокупность принципов субсидиарного управления позволяет создать простую модель субсидиарного управления (рис.1.). На рис.1. ГЦУ – главный центр управления; ПЦУ – периферийный центр управления. Главный центр управления - это механизм обычного иерархического управления, например при традиционном сигнально - блоковом управлении железнодорожным транспортом или управлении транспортом мегаполиса с помощью светофоров.

Стратегические задачи управления те же, что при централизованном иерархическом управлении. В субсидиарном децентрализованном управлении эти задачи частично делегируются на периферийный уровень. Трансформацию стратегических задач в оперативные и тактические осуществляет не ГЦУ, а периферийский центр управления в соответствии с оперативной ситуацией, в которой находится подвижный объект. Количество ПЦУ может быть различным, в зависимости от вида транспортного средства и задач, стоящих перед ним.

Модель субсидиарного управления транспортом на рис.1 имеет сетевую структуру [18]. Она представляет собой сочетание иерархической структуры и сетевой концентрической модели. Такое сочетание позволяет оперативно обмениваться ресурсами и информацией на операционном уровне. Важным инструментом такой модели является сетевой интерфейс, который выполняет информационные, координирующие и распределительные функции.

Можно констатировать, что данная схема управления (рис.1) сохраняет черты централизованного управления транспортом, но с введением дополнительных горизонтальных связей, которые в классическом иерархическом управлении отсутствуют.

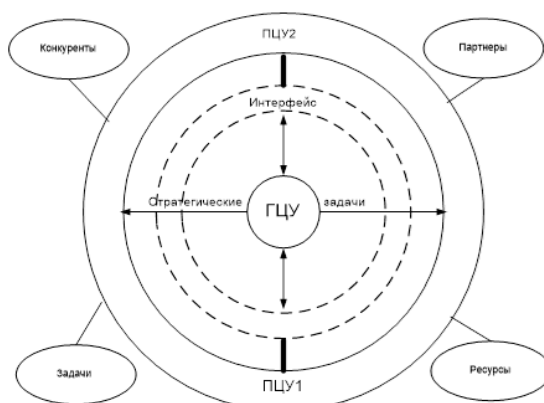


Рисунок 1. Субсидиарное концентрическое управление

В иерархической концепции управления [19] уровни управления трансформируются сверху вниз, также направляются управленческие информационные потоки. В субсидиарном

управлении они дополняются концентрическими информационными потоками, которые выполняют функции регулирования. Реализация такой модели становится возможной при создании единого информационного пространства управления и применении сетевых технологий. Другими словами, сетевое информационное управление дополняет иерархическое управление и служит основой реализации субсидиарного управления. Управление на рис.1 можно назвать концентрическим или групповым. Такое сетевое управление требует специального интерфейса для согласования управленческих потоков "сверху - вниз" и горизонтальных регулирующих потоков. Преимуществом схемы на рис.1 является возможность оперативного обмена ресурсами по горизонтальным связям (концентрическим окружностям).

На рис. 2 приведена другая модель субсидиарного управления. Она исключает горизонтальные связи, требует минимальных затрат на организацию, и исключает посредническую структуру – интерфейс. Это типичная модель ведения боевых действий.

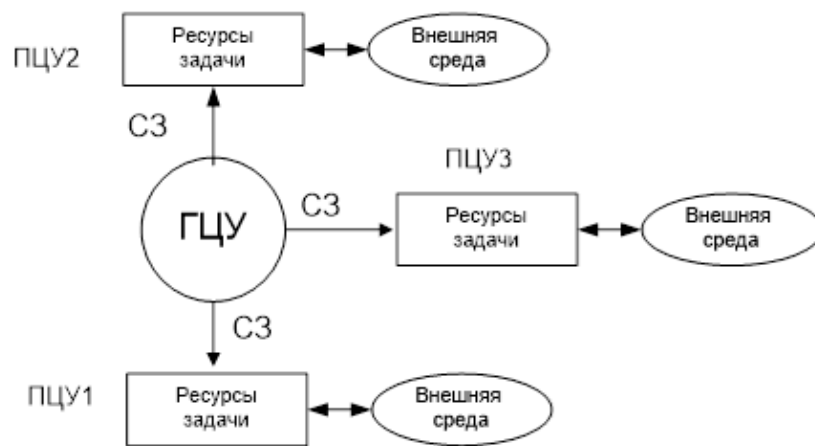


Рисунок 2. Субсидиарная конструкция автономного управления

На рис.2 ГЦУ – главный центр управления; ПЦУ1, ПЦУ2, ПЦУ3 – периферийные центры управления, решающие независимо тактические и оперативные задачи. СЗ - стратегические задачи, которые делегируются на каждый ПЦУ независимо и могут иметь разное содержание и разные функции. С точки зрения информационной безопасности схема на рис.2 является более защищенной. Недостатком схемы на рис.2 является худшая способность обмена ресурсами. Эта возможность осуществима только через центр ГЦУ.

Обеспечение совместимости функциональных блоков ПЦУ достигается интеграцией и применением методов стандартизации. Ликвидация промежуточных звеньев осуществляется на основе исключения параллельных потоков. Основой субсидиарного управления на уровне организации является информационная система или информационно-аналитическая система. Разновидностью таких систем являются ситуационные комнаты. Это повышает значение моделей информационной ситуации как инструмента управления. Субсидиарная модель управления позволяет решать задачи, не решаемые в классических иерархических системах за счет существенного сокращения времени принятия управленческих решений.

Принципы субсидиарности выдвигают два важных требования. Во-первых, для действий введения этого принципа необходимо основание. Это вытекает из третьего принципа субсидиарного управления. Во-вторых, масштаб действий управления должен быть соразмерен необходимости. При обосновании внедрения данного вида управления принципы

субсидиарности трансформируются в ряд критериев верхнего уровня и нижнего уровня. Критерии верхнего уровня следующие.

Близость управления к реальной ситуации. Оперативные решения должны приниматься как можно ближе к реальным событиям и ситуациям.

Достаточность. Цели управления должны быть достигнуты в достаточной мере на операционных уровнях.

Специфичность решений субсидиарного управления. Субсидиарное управление использует проверенные опытом методы в сочетании с ситуационными. Общие подходы используют известные методы поддержки принятия решений [20], системный подход [21, 22]. Специфичность основана на теорию информационных единиц [11, 12], кластеризации [23] и делимости [24] субсидиарных систем, а также на использовании систем с переменной структурой.

Процесс определения «проблемного пространства» и «пространства решения» включает в себя общий цикл сбора информации и применения ее на практике, который отражает два центральных критерия эффективного лидерства в решении проблем. Наиболее удачные решения должны наиболее полно охватывать элементы системы, поддерживающие существование проблемы. Таким образом, эффективное решение проблем должно обеспечивать равновесие между доскональностью и релевантностью.

Критерии нижнего уровня субсидиарного управления транспортом включают: доскональность, релевантность, главное направление.

Доскональность подразумевает проверку всех возможных факторов, работающих на ту или иную проблему или цель и доскональное изучение факторов проблемы и потенциальных элементов проблемного пространства;

Релевантность заключается в определении факторов, наиболее значимых для возникновения проблемы или достижения цели либо обеспечивающих наибольшее влияние на текущее состояние проблемы. Следовательно, в решении проблемы существует непрерывный цикл, включающий: определение того, какие из этих факторов и элементов являются наиболее значимыми для возникновения и, следовательно, решение проблемы.

Главное направление заключается в выборе ключевых параметров и главного направления действия и принятия решений.

Многоцелевое управление

Поскольку субсидиарное управление является ситуационным, то он подразумевает возможное изменение ситуации и появление непредвиденных факторов. Это автоматически приводит к необходимости многоцелевого управления. Задачи многоцелевого управления подвижными объектами [25, 26] отличаются многофункциональностью, много режимностью, многокритериальностью и многомерностью. Синтез систем управления движением при этом осложняется нелинейностью внешних воздействий, имеющих импульсный характер. В работах [27 - 30] представлена теория многоцелевого подхода к синтезу, учитывающая указанные особенности систем управления движением морских судов. Эта теория может быть перенесена в область железнодорожного транспорта

Она включает разработку алгоритмического обеспечения, основанную на применении оптимизационных методов теории управления и идеологии автоматизированного компьютерного проектирования. В отличие от известных методов синтеза законов управления, улучшающих отдельные динамические характеристики, многоцелевой подход поддерживает состояние объекта управления комплексно.

Модели объектов и управления ими должны быть устойчивыми. Устойчивость является не единственным требованием при многоцелевом субсидиарном управлении. В частности, важно, чтобы система управления обладала свойством астатизма [31] по регулируемому ключевому параметру. Это состоит в возможности приводить ошибку параметров движения к нулю при наличии внешнего воздействия. Моделирование таких систем является нетривиальной задачей, постановка и решение которой с привлечением современных математических и компьютерных методов существенно зависит от типа объекта, его параметров и назначения.

В настоящее время многоцелевое управление применяют даже для управления одним объектом в связи с вариабельностью ситуаций управления и динамикой внешней среды. Если при этом объект является подвижным [32, 33] то это повышает актуальность метода. Для управления ситуациями, с внешними воздействиями на движущийся объект, применяют теорию ЛТИ [29, 34]. Эта теория в Российской литературе интерпретируется как "Линейная не зависящая от времени теория" За рубежом она известна как теория Linear time-invariant - ЛТИ. Она означает применение линейных временных инвариантов для управления движением. В российской литературе ее также называют теория линейных стационарных систем. Она имеет применение не только в управлении транспортом, но и в спектроскопии, сейсмологии, схемах обработке сигналов, теории управления и других областях. Сущность теории в исследовании реакции линейной, не зависящей от времени системы, на произвольный входной сигнал.

Траектории систем при использовании ЛТИ измеряются и отслеживаются по мере того, как они движутся во времени (например, акустическая форма волны). Системы ЛТИ также имеют приложения в пространственных измерениях. Таким образом, эти системы также называются линейными трансляционно-инвариантными. Хорошим примером систем ЛТИ являются электрические цепи, которые могут состоять из резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности [34]. Определяющими свойствами любой системы ЛТИ являются линейность и временная инвариантность. Однако эту теорию широко применяют при управлении транспортом, как метод реакции на внешние воздействия при задаче сохранения параметров движения объекта.

Линейность означает, что взаимосвязь между входом и выходом системы является линейной и изображается линейной переходной характеристикой. Инвариантность по времени означает, что независимо от того, осуществляем ли мы текущий вход к системе или с задержкой T секунд, выход будет идентичным, за исключением временной задержки в T секунд. То есть, если выход из-за ввода $x(t)$ является $y(t)$, то выход за счет ввода $x(tT)$ является $y(tT)$. Следовательно, система не зависит от времени, потому что выходные данные не зависят от конкретного времени, когда эти входные данные применяются.

Фундаментальный результат в теории систем ЛТИ состоит в том, что любая система ЛТИ может быть полностью охарактеризована единственной функцией, называемой импульсной характеристикой системы. Выход системы - это просто свертка входа в систему с импульсным откликом системы. Этот метод анализа часто называют точкой зрения во временной области. Тот же результат верен для систем с инвариантным линейным сдвигом в дискретном времени, в которых сигналы являются выборками в дискретном времени, а свертка определяется для последовательностей. для железнодорожного транспорта это означает применение нового математического аппарата, обеспечивающего устойчивость движения транспорта.

Многоцелевое управление с использованием астатического управления.

В настоящее время начинает применяться новая модель управления железной дорогой, которая называется цифровая железная дорога [35, 36]. В этом типе управления используется

субсидиарное, автономное и адаптивное управление [37]. При интегральном управлении железной дорогой [38] большое значение имеет принцип блокового управления [39]. все это вписывается в субсидиарное управление транспортом.

Важным элементом субсидиарного управления транспортом является определение ключевых параметров управления движением: «проблемного пространства управления»; «проблемного поля управления»; «пространство решения». Проблемное пространство представляет разновидность информационного пространства, а проблемное поле есть разновидность информационного поля. Поиск «пространства решения» заключается в том, что проблему невозможно решить с помощью того же алгоритма или мышления, которое ее создало. Отсюда задача эффективного решения проблемы заключается в том, чтобы найти новый алгоритм, неидентичный тому, с помощью которого создана проблема. На рис.3. приведена схема многоцелевого субсидиарного управления.

На рис.3 транспортное информационное пространство применительно к субсидиарному управлению становится «проблемным пространством управления». Транспортное поле – это «проблемное поле управления», «пространство решения», это пространственная информационная ситуация. На рис.3 ЦУ – центр управления, ПО – подвижный объект. Пространство управления является аналогом информационного пространства. Транспортное поле - это аналог информационного поля.

На последующих рисунках показан механизм технического субсидиарного управления транспортом без участия человека. На рис.4 показано входное воздействие $u(t)$ и выходной сигнал или результирующее состояние (режим) $Y_{\text{вых}}$. Входное воздействие начинает действовать с момента времени t_0 . На рисунке 4 показаны переходные процессы в статических (1) и астатических (2) системах и алгоритмах.

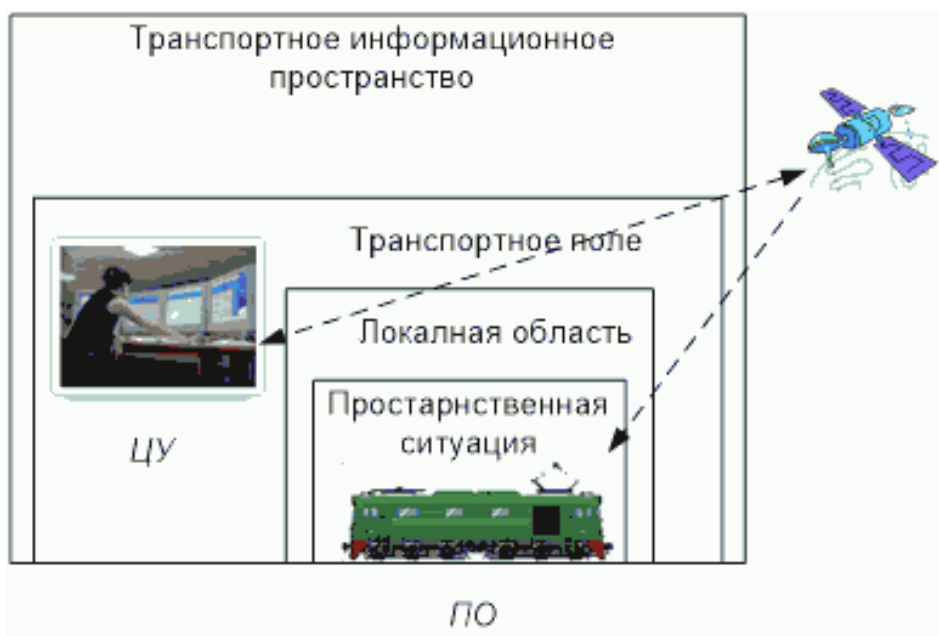


Рисунок 3. Многоцелевое субсидиарное управление

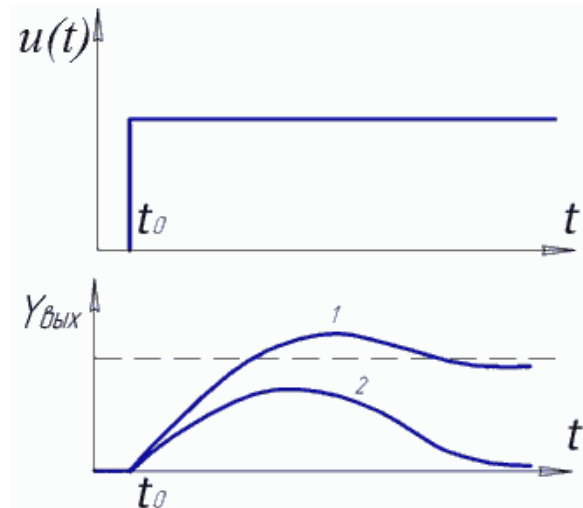


Рисунок 4. Входное воздействие $u(t)$, выходной сигнал (состояние) $Y_{\text{вых}}$.

Для астатических систем регулирования статическая характеристика всегда изображается прямой, параллельной оси абсцисс [31]. Внешние воздействия могут быть двух видов: управляющие и возмущающие. Одна и та же система управления (регулирования) может быть астатической по отношению, например, какому-либо возмущающему воздействию и статической по отношению к управляющему воздействию и наоборот. Астатичность означает, что транспортное средство не изменяет своего состояния под влиянием воздействия.

Влияние возмущающих воздействий на объект управления или модель обработки можно компенсировать компенсацией по возмущению $\Delta\varphi$ или компенсацией по отклонению регулируемой величины Δx от ее заданного значения x_0 . Соответственно разделяют два типа алгоритмов: алгоритм по возмущению (реактивный алгоритм) и алгоритм по восстановлению.

В первом случае работа алгоритма основана на контроле возмущающих воздействий. Такой подход применяют в системах безопасности. В таких системах и алгоритмах воздействие на объект управления или обработки осуществляется почти без запаздывания по отношению к моменту возникновения возмущения, т.е. еще до того, как успеет существенно измениться значение регулируемой величины. В этом достоинство систем. Недостатком такой системы является высокая чувствительность как к существенным, так и к несущественным воздействиям. Поэтому небольшая флуктуация, а также неизбежные неточности в работе системы регулирования будут вызывать отклонения регулируемой величины, накапливающиеся со временем и зачастую выходящие за допустимые пределы.

При работе алгоритма или системы по отклонению регулируемого параметра исключается возможность неоправданного срабатывания алгоритма. Недостаток этих систем и алгоритмов в том, что регулирующее воздействие на объект управления всегда идет с задержкой и, следовательно, будет запаздывать по отношению к изменению состояния. Сочетание достоинств с устранением недостатков этих систем возможно в комбинированной системе, в которой управляющее воздействие производится по возмущению (или по нескольким возмущениям) и по отклонению регулируемой величины от заданного значения.

Разгонной или переходной характеристикой [31] (рис.3) называют зависимость изменения выходной регулируемой величины от времени $Y_{\text{вых}}(t)$. Для получения разгонной характеристики ступенчатое воздействие может быть приложено к объекту регулирования или

к алгоритму. В виду того, что сложные регулируемые объекты имеют различные динамические свойства при различных видах воздействий, разгонные характеристики снимают при управляющем $u(t)$ и возмущающем $\varphi(t)$ воздействии, либо воздействию, приложенном к исполнительному механизму (состоянию) $x(t)$.

Способность объекта управления приходить после воздействия на него в новое установившееся состояние называется свойством самовыравнивания. У объектов или алгоритмов с самовыравниванием каждому значению возмущающего воздействия соответствует свое установившееся значение регулируемого состояния, согласно величине воздействия.

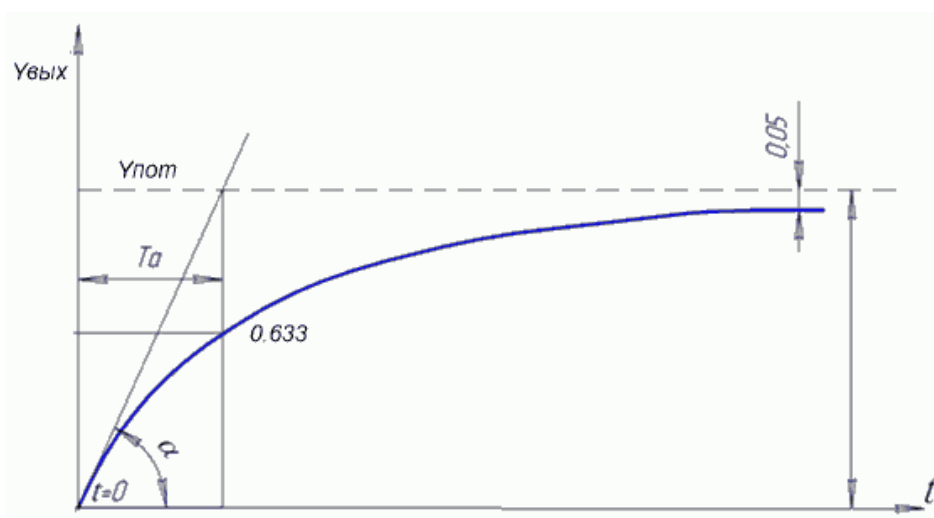


Рисунок 5. Разгонная характеристика

Ta - время разгона для объекта управления (ОУ), в течении которого регулируемый параметр изменится от своего начального значения в момент времени t_0 до заданного значения, отвечающему величине воздействия, с постоянной максимальной скоростью, соответствующей наибольшему дисбалансу. Для определения Ta проводят касательную к кривой разгона из точки $t=0$. Касательная отсекает отрезок на оси времени, при пересечении касательной и заданного значения регулируемой величины, определяемого величиной воздействия.

Практика получения разгонных характеристик показывает, что для многих ОУ с самовыравниванием время разгона Ta соответствует времени, прошедшему от момента возникновения возмущения до момента достижения регулируемой величины значения, равного 0,633 потенциального значения $Y_{пот}$. Величина, обратная времени разгона называется скоростью разгона $Vp=1/Ta$

Коэффициентом самовыравнивания называют показатель ρ , связывающий скорость динамику воздействия на систему (объект) со скоростью изменения регулируемого параметра/

$$\rho = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{dy}{dt}} = -\frac{d\varphi}{dy} \quad (1)$$

Знак минус в выражении (1) указывает, что самовыравнивание имеет место тогда, когда отклонение параметра вызывает уменьшение причины отклонения. Величина обратная

коэффициенту самовыравнивания называется коэффициентом передачи усиления $K=1/\rho$. Отношение времени разгона Ta к коэффициенту самовыравнивания дает динамическую постоянную времени «Тд».

$$T_d = Ta/\rho = K Ta$$

Тд - учитывает динамические и статические свойства в отличие от Та. Время достижения конечного значения регулируемой величины называется временем переходного процесса Тпп. Решение выражения (1) определяет стабильность состояния подвижного объекта при многоцелевом субсидиарном управлении.

Заключение.

Системы и алгоритмы многоцелевого управления используют методы построения многоцелевого управления и закономерности многоцелевых воздействий и много целевых реакций. При этом необходимо различать много целевое управление по нескольким объектам и многоцелевое управление по одному объекту при большой вариабельности условий движения, которое требует изменения локальных целей. В обоих случаях применяют динамические модели и алгоритмы. Использование субсидиарного многоцелевого управления подвижными объектами дает увеличение эффективности движения с возможностью интервального регулирования движения.

Многоцелевое субсидиарное управление особенно эффективно при ситуационном управлении [40-43] в условиях динамики условий движения и влияния случайных факторов внешней среды. Однако применение этого подхода требует специальных математических методов управления, которые в обычном управлении транспортом не используют. Сущность субсидиарного и астатического управления состоит в минимизации участия человека в управлении. Эффект субсидиарного много целевого управления состоит в повышении оперативности принятия решений. Можно рассматривать субсидиарные много целевые системы управления как реактивные, то есть оперативно реагирующие на изменение ситуации. При этом преимущество таких систем в том, что их можно применять при автоматизированном и при интеллектуальном управлении транспортом. Это позволяет накапливать опыт автоматизированного управления для переноса его в интеллектуальное управление транспортом и при использовании транспортных киберфизических систем.

Список литературы

1. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С. 5-10.
2. V. Ya. Tsvetkov. Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology researchAsia, November 2014. Vol. 11(Spl. Edn.), p. 177-180
3. Щенников А.Е. Модели прямых алгоритмов // Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.103-109.
4. Логинова А. С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и управления. - 2015. - №3. - С. 165-169.
5. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С. 40-43.
6. Козлов А.В. Субсидиарные системы и технологии. - Saarbruken. : Palmarium Academic Publising, 2019. –125 с. ISBN 978-3-659-89076-5.
7. Цветков В.Я. Информационное управление. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany 2012 -201 с. ISBN: 978-3-659-18089-7

8. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С. 11-24.
9. Choo C. W. Information management for the intelligent organization: the art of scanning the environment. – Information Today, Inc., 2002
10. Козлов А.В. Принципы субсидиарности // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С. 28-35.
11. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, Vol.(1), № 1, p. 57-64.
12. Козлов А.В. Информационные единицы в субсидиарных технологиях// Славянский форум. -2019. – 1(23). - С.14-19.
13. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1 – 3. – С. 454-455.
14. Цветков В.Я. Отношения комплементарности и соответствия в информационных системах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (25). – С. 66-74.
15. Розенберг И.Н. Топосемантическое информационное соответствие в пространственном моделировании // Науки о Земле. – 2017. - № 3. - С.64-73.
16. Цветков В.Я. Логическое следование // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С. 126-130.
17. Господинов С.Г. Логическое обоснование в научных исследованиях // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2018.- № 6. –С. 41-48.
18. Кудж С.А. Принципы сетецентрического управления в информационной экономике // Государственный советник. – 2013. - №4. – С. 30-33.
19. Угольницкий Г. А. Иерархическое управление устойчивым развитием - М.: Физматлит, 2010. -336 с.
20. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. - М.: МАКС Пресс, 2001. -312 с.
21. Бутко Е. Я. Системный подход в формировании структуры // Славянский форум. - 2017. - 2(16). – С. 25-31.
22. Буравцев А.В. Системно-категориальный анализ транспортных систем // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.61-71.
23. Козлов А.В. Кластеризация и субсидиарность// Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.87-92.
24. Козлов А.В. Делимость в информационном поле // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.8-13.
25. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.
26. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.
27. Веремей Е.И., Корчанов В.М., Коровкин М.В., Погожев С.В. Компьютерное моделирование систем управления движением морских подвижных объектов. - СПб: СПбГУ, 2002. 370 с.
28. Лукомский Ю.А., Корчанов В.М. Управление морскими подвижными объектами. СПб.: Элмор, 1996. 320 с.
29. Сотникова М.В. Многоцелевые законы цифрового управления подвижными объектами. Дис..д.ф-м.н., спец. 05.13.01. СПб, СПбГУ, 2007. – 371 с.
30. Веремей Е.И. Синтез законов многоцелевого управления движением морских объектов // Гироскопия и навигация, 2009. Вып. 4. С. 3-14.

31. Цветков В.Я., Щенников А.Н. Астатическое управление подвижными объектами // Славянский форум. -2019. – 1(23). - С.53-59.
32. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. P. 40-44.
33. Дзюба Ю. В., Охотников А. Л. Мобильное управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С. 16-25.
34. Francis B. A., Georgiou T. T. Stability theory for linear time-invariant plants with periodic digital controllers //IEEE transactions on Automatic Control. – 1988. – V. 33. – №. 9. – p. 820-832.
35. Уманский В. И., Павловский А. А., Дзюба Ю. В.. Цифровая Железная Дорога. Технологический уровень // Перспективы науки и образования. – 2018. – 1(31). – С. 208-213.
36. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С. 50-61.
37. Карпов Л. Е., Юдин В. Н. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов //Труды Института системного программирования РАН. – 2007. – Т. 13. – №. 2. – С.23-27.
38. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С. 6-9.
39. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.17 -26.
40. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С. 42-46.
41. Охотников А.Л. Информационное ситуационное управление на транспорте. Saarbruken: Palmarium Academic Publising, 2018. –143 с. ISBN 978-613-9-82104-4.
42. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.16-24.
43. Дышленко С. Г. Ситуационный анализ в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С. 26-33.

УДК: 004.932, 004.9

Методы выделения границ изображений для геоинформационного описания техногенных объектов железнодорожного транспорта

- Дулин С.К.** д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН,
E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия
- Кольцов П.П.** д.т.н., доцент, руководитель отделения ФИЦ ИУ РАН,
E-mail: kppkpp@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация** В статье приводится анализ методов выделения границ изображений. Описанные методы выделения границ реализованы в виде большого числа программных продуктов и находят применение не только в исследовательских, но и в коммерческих проектах. Предпочтение в выборе метода выделения границ для техногенных объектов железнодорожного транспорта может быть сделано только при конкретизации их характеристик.
- Ключевые слова:** Методы выделения границ изображений, геоданные, техногенные объекты железнодорожного транспорта

Methods of isolation of image limits for geoinformation description of technological railway transport objects

- Dulin S.K.** Doctor of Sc., Prof., Leading Researcher IPI FRC CSC RAS,
E-mail: s.dulin@gismps.ru, Moscow, Russia
- Koltsov P.P.** Doctor of Sc., Assistant professor, Chief of Department of IPI FRC CSC RAS, E-mail: kppkpp@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation** The article provides an analysis of the methods used to select the borders of images. The described border isolation methods are implemented in the form of a large number of software products and are used not only in research, but also in commercial projects. The preference in choosing the method of allocating boundaries for technogenic objects of railway transport can only be done if their characteristics are specified.
- Keywords** Methods of selection of borders of images, geodata, technogenic objects of railway transport

Введение

Изображения как образы сканированных пространственных объектов - один из самых распространенных источников пространственных данных, доступных в настоящее время для исследователей, которые интересуются крупномасштабными проектами, в которых используются геоданные. Однако, несмотря на большой накопленный опыт сбора, обработки и анализа геоданных и широкое применение изображений, выделение границ изображений объектов остается насущной проблемой.

Удивительно, но не всегда просто ответить на элементарный вопрос: “Что относится к изображению объекта?” Для ответа на этот вопрос необходимо разработать математические модели для всех типов компьютерных представлений изображений. Задача выделения границ изображений объектов особенно актуальна для геоинформационного описания техногенных объектов железнодорожного транспорта в экспериментальном программно-техническом комплексе, обеспечивающем геоинформационную поддержку управления перевозочным процессом.

Стандартные методы выделения границ изображений

В настоящее время для решения задачи выделения границ имеется обширный выбор прикладных программных продуктов, отличающихся заложенными в них математическим моделями/методами. Рассмотрим далее те из них, которые наиболее часто встречаются. К ним относятся методы Canny, Rothwell, Heitger, Black, Iverson, Smith, называемые именами предложивших их исследователей. Результатом компьютерной реализаций этих методов являются наборы граничных кривых (контуров).

Модель Canny для выделения границ использует линейный фильтр с гауссовым ядром для подавления шума с последующим вычислением направления и мощности границы [1, 2]. Модель содержит следующие критерии эффективности:

1. Хорошее отношение сигнала к шуму. Содержательно это означает, что фильтр должен выделять все истинные границы и при этом не выделять ложные.
2. Хорошая локализация – точки, отмеченные как границы должны располагаться как можно ближе к истинному их положению.
3. Единственность отклика на границу. С одной стороны, это требование содержится в первом критерии, однако математическая формулировка первого критерия не обеспечивает выполнения данного пункта.

Если G – функция, задающая изображение, n_0 – среднее значение шума, а $f(x)$ – конечный фильтр, определенный на отрезке $[-W, W]$, то эти три условия в одномерном случае выражаются соответственно следующим образом:

$$SNR = \frac{A \left| \int_{-W}^0 f(x) dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-W}^W f(x) dx}} \rightarrow \max ,$$

$$Loc = \frac{\left| \int_{-W}^W G(-x) f(x) dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-W}^W f^2(x) dx}} \rightarrow \max ,$$

$$x_{\max} = 2\pi \frac{\left(\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f'^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} f''^2(x) dx} \right)^{1/2}}{\quad} \text{имеет порядок } W.$$

Как показал Canny, решением данной задачи являются функции (фильтры Canny) следующего вида:

$$a_1 e^{\alpha x} \sin(\omega x) + a_2 e^{\alpha x} \cos(\omega x) + a_3 e^{-\alpha x} \sin(\omega x) + a_4 e^{-\alpha x} \cos(\omega x) + c$$

Примеры таких функций приведены на рис. 1.

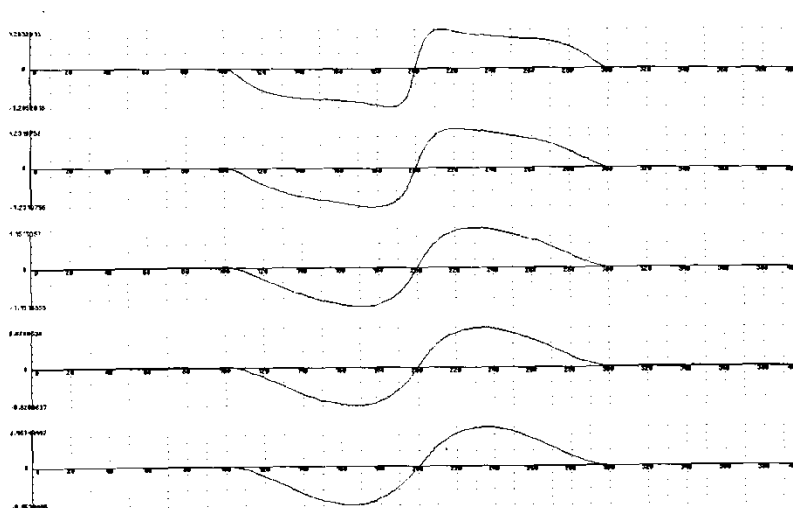


Рисунок 1. Фильтры Canny

Нетрудно видеть, что оптимальный фильтр может быть хорошо аппроксимирован первой производной от Гауссиана:

$$f(x) = -\frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right).$$

Этот фильтр уступает оптимальному фильтру по интегральной эффективности 20%, а по показателю множественного отклика 10%.

Важным результатом, полученным Canny, является понимание, что между чувствительностью и локализацией фильтра имеет место принцип неопределенности, то есть с помощью пространственного шкалирования (то есть выбора размера фильтра) можно улучшать локализацию или чувствительность, но никогда то и другое одновременно.

Метод Rothwell [3] использует топологическую структуру изображения для уточнения границ. Эта топологическая структура определяется на одном из шагов работы алгоритма. С этой целью на изображении специально находят:

1. Собственно граничные кривые.
2. Вершины – либо как углы стыка кривых в одной точке, либо как точки соединения двух кривых в виде буквы «Г».
3. Грани, как замкнутые регионы медленно меняющейся яркости.

Таким образом, метод формирует топологическую структуру изображения, что позволяет улучшить группировку граничных точек и построить граничные кривые.

В основе этого метода Neitger лежит моделирование нейрофизиологических процессов обработки зрительной информации мозгом. Такие модели простых, сложных и сверхсложных зрительных полей стриарной коры, относящейся к зонам первичной обработки информации, описаны в [4,5].

Содержательно моделирование этих процессов заключается в следующем:

1. Свертка изображения с ориентационно - симметричными фильтрами четного и нечетного порядка (S-операторы).
2. Подсчитывается мера локальной энергии на основе использования выдачи этих фильтров (C-операторы),
3. «Дифференцируется» результат выдачи C-операторов по различным направлениям и тем самым моделируются сложные и сверхсложные зрительные поля индексов сложности 1 и 2. Необходимо отметить, что реальная зрительная кора включает в себя такие поля с индексами сложности до 6.

4. Определяются локальные максимумы («ключевые точки») при анализе выдачи моделей сложных и сверхсложных зрительных полей.

S- и C-операторы способны находить и локализовать одномерные объекты на изображении, такие, как граничные точки и линии. Модели сверхсложных зрительных полей позволяют обнаруживать в ключевых точках такие объекты, как концы линий, углы и сегменты большой кривизны.

Метод Black [6] (метод анизотропной диффузии) был изначально разработан авторами для выделения границ на изображениях, хотя в настоящее время используется и для решения других задач. Метод анизотропной диффузии представляет собой развитие метода изотропной диффузии, восходящий к работам Пероны и Малика [7, 8].

Рассмотрим дифференциальное уравнение диффузии $u_t = \text{div}(\nabla u)$.

Это классическое уравнение диффузии, задающее эволюцию u во времени. Перрона и Малик заменили это уравнение на несколько более сложное

$$u_t = \text{div}(g(\|\nabla u\|)\nabla u),$$

где функция g обладает следующими свойствами: $g(x) \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$ (при большом значении модуля градиента). Можно показать, что благодаря этому обстоятельству процесс диффузии останавливается у граничных точек, где градиент как раз велик. Поскольку g является функцией от вектора, она может учитывать не только величину градиента, но и его направление, в силу чего диффузия становится анизотропной. Авторы модели Black применили методы робастной статистики к анализу полученных граничных точек, позволяющие получать содержательную интерпретацию выбросам в последовательности граничных точек.

Метод Iverson [9] основан на применении различных линейных фильтров, которые называются линейными операторами и последующей обработке результатов выдачи этих операторов по правилам Булевой логики. В итоге метод улучшает качество линейного фильтра с помощью применения логических операторов для проверки существования границы. Последовательность работы алгоритма, реализующего метод, следующая.

1. Выполняется разложение линейного оператора в набор компонент, сумма которых равна исходному оператору.

2. Каждая компонента представляет собой оператор, позволяющий проверить наличие заданного свойства объекта.

3. Результат выдачи всего линейного оператора положительный только в том случае, если все заданные свойства имеются.

Эти операторы называются логико-линейными и в качестве заданных свойств объекта рассматриваются те, которые обычно берутся при предобработке изображения: наличие граничных точек, углов, отрезков прямых линий или закругленных частей границы, а также непрерывность кривых. Кроме того, в число заданных свойств могут входить и дифференциальные свойства граничных кривых, например, ориентация, величина кривизны. В некоторых ситуациях такие операторы, по сравнению с обычными линейными фильтрами, дают значительно меньшее количество ложных граничных точек.

Метод Smith [10] использует нелинейную фильтрацию для определения связных частей изображения. Вначале делается предварительное выделение границ, причем граничные кривые могут иметь ширину более одного пиксела. После этого производится утончение границ, то есть, в некотором роде, скелетизация. В процессе утончения границ делается попытка достичь следующего:

1. Удалить нежелательные граничные точки отсюда, где их не должно быть.
2. Переместить некоторые граничные точки в более правильную позицию.
3. Добавить граничные точки туда, где они должны быть, но их нет.

Для утончения анализируются окрестности всех граничных точек, найденных на предыдущем шаге.

Энергетические методы выделения границ

Своё название рассматриваемые методы получили от функционала, минимизация которого лежит в основе методов и имеющего содержательную интерпретацию в качестве энергии изображения. Наиболее широко используемыми энергетическими методами являются методы Мамфорда–Шаха и Гемана–Рейнольдса [11,12]. Для метода Мамфорда–Шаха функционал энергии E имеет вид

$$E(u, B) = w_1 \int_{\Omega} (I - u)^2 (1 - B)^2 + w_2 \int_{\Omega} \|\nabla u\|^2 (1 - B)^2 + w_3 \int_{\Omega} B^2.$$

Здесь уже все интегралы берутся по области изображения Ω , I – исходное изображение, u – результат работы метода, функция B принимает значения, близкие к 1 на множестве точек, отнесённых к граничным, w_1, w_2, w_3 – параметры метода.

Перепишем это выражение в виде

$$E(u, B) = \int_{\Omega} r \cdot (1 - B)^2 + \int_{\Omega} B^2,$$

где $r = w_1 (I - u)^2 + w_2 \|\nabla u\|^2$ и, без потери общности, $w_3 = 1$.

Решением такой оптимизационной задачи является граничная функция $B = r/(1+r)$ при условии, что r является решением минимизационной задачи

$$E(u) = \int_{\Omega} \frac{r}{1+r}, \quad r = w_1 (I - u)^2 + w_2 \|\nabla u\|^2.$$

Для метода Гемана–Рейнольдса в качестве функционала энергии E берётся

$$E(u, B) = w_1 \int_{\Omega} (I - u)^2 + w_2 \int_{\Omega} \|\nabla u\|^2 (1 - B)^2 + w_3 \int_{\Omega} B^2,$$

где по-прежнему $B = r/(1+r)$, а $r = w_2 \|\nabla u\|^2$. Оба этих метода выделяют границы на изображении, очищенном в той или иной степени от зашумления. Предполагается, что если значение B в некоторой точке превышает заданный порог, то эта точка является граничной. Обычно в качестве такого порогового значения выбирается $B=0.75$.

Методы активного контура

В основе модели активного контура лежит использование параметризованной подвижной кривой на плоскости изображения. В этом смысле методы активного контура ещё называют методами уточнения границ. Среди этой группы моделей чаще других используются методы GSNAKE [13] и GVF [14]. Сущность модели активного контура состоит в сопоставлении каждому положению кривой/контура значения некоторого функционала, обычно называемого энергией. Функционал определен так, чтобы кривая с минимальной энергией приближала границу объекта. Такой подход естественно применять для уточнения границ на изображении, поскольку границы, выделенные, например, методами, перечисленными выше, могут оказаться недостаточно качественными.

Метод активного контура GSNAKE решает задачу поиска границы объекта на изображении следующим образом. Исходное изображение задается функцией интенсивности $I(x, y)$. Граница определяется набором узлов $v_i = (x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, n$, начальное положение границы считается заданным. Принято, что объект находится внутри изображения, и граница замкнута. Решение ищется путем минимизации функционала энергии.

Исходно для энергии кривой E на плоскости изображения предлагалось следующее выражение.

$$E = \int_0^1 \{E_{\text{int}}(s) + E_{\text{ext}}(s)\} ds \quad E_{\text{int}} = \alpha(s) |v_s|^2 + \beta(s) |v_{ss}|^2 \quad E_{\text{ext}} = -\lambda(s) |\nabla I(x, y)|^2,$$

где v_s и v_{ss} – первая и вторая производные по s для $v(s) = (x(s), y(s))$ – параметрического представления кривой, $0 \leq s \leq 1$, $\nabla I(x, y)$ – градиент яркости изображения, а неотрицательные коэффициенты $\alpha(s)$, $\beta(s)$, $\lambda(s)$ могут зависеть от параметра s , но чаще принимаются

постоянными. Эта модель использует аналогию с тяжелой эластичной нитью, которая скатывается вниз по рельефу функции $z(x, y) = -|\nabla I(x, y)|^2$.

Для минимизации данного функционала можно перейти от энергии контура к силе, действующей на элемент контура. Для этого используются уравнения Эйлера для минимума функционала энергии. Задача решается численным моделированием движения контура под действием внешних и внутренних сил. При вычислении сил используются дискретные приближения производных высокого порядка от точки контура. Более широко для решения задачи использует метод динамического программирования для непосредственной минимизации энергии путем перебора положений кривой [15]. Для этого подхода требуется только дискретное представление функционала энергии и не используются производные высоких порядков. Суть метода динамического программирования в том, что для каждого узла контура назначается несколько возможных положений. В процессе просмотра контура от его начала запоминаются все возможные оптимальные варианты. Когда просмотр достигает конечного узла, выбирается единственный наилучший вариант.

Дискретное представление функционала энергии E не является аппроксимацией функционала, приведенного выше. Вместо условия минимума длины используется более мягкое условие близости длины ребра к среднему значению. Вторая составляющая внутренней энергии – это сумма оценок кривизны в узлах контура, умноженная на коэффициент β .

$$E = \sum_{i=1}^k \{E_{\text{int}} + E_{\text{ext}}\}, E_{\text{int}} = \alpha \left| 1 - \frac{|u_i|}{d} \right| + \beta \left| \frac{u_i}{|u_i|} - \frac{u_{i-1}}{|u_{i-1}|} \right|, E_{\text{ext}} = \lambda [1 - F(\nabla I, n)]$$

Здесь d – средняя длина ребра, $v_i = (x_i, y_i)$ – точки узлов контура, $u_i = v_{i+1} - v_i$ – вектор, соединяющий узлы i и $i+1$, k – число узлов. Величина ∇I соответствует разностной аппроксимации градиента интенсивности $I(x, y)$ по шаблону 2×2 или 3×3 . Градиент нормируется так, чтобы максимум модуля был равен 1. Выбор функции $F(\nabla I, n)$, где $n = (n_x, n_y)$ – вектор нормали к контуру в узле, соответствует различным вариантам вычисления внешней энергии. Примеры такого выбора представлены ниже.

$$F_1(\nabla I, n) = |\nabla I|, F_2(\nabla I, n) = |\nabla I|^2, F_3(\nabla I, n) = |I_x \cdot n_x + I_y \cdot n_y|.$$

Вклад узла во внешнюю энергию вычислялся в точке узла. Однако этот вклад может вычисляться и как среднее на отрезке, соединяющем узлы. Если расстояние между пробными положениями узла велико, внешняя энергия может вычисляться как минимум на некотором отрезке, чтобы захватить границу.

Метод динамического программирования гарантирует нахождение минимума функционала при условии, что множество пробных положений узлов включает и решение. Число пробных положений узла N_L не может быть велико, поэтому поиск минимума энергии выполняется за несколько шагов. На каждом шаге делается несколько итераций, пока энергия не перестает убывать. На первом шаге пробные положения узлов располагаются равномерно вдоль модифицированной нормали к контуру. Нормаль модифицируется для того, чтобы снизить возможность пересечения пробных отрезков. На втором шаге пробные положения узла лежат в пикселах, окружающих текущее положение узла. Затем эти два шага повторяются, причем интервал между узлами на первом шаге уменьшается на 1.

Чем ниже значение коэффициента α , тем точнее поиск границы. Однако при этом узлы располагаются неравномерно, и аппроксимация границы ухудшается. Компромисс состоит в том, чтобы на промежуточных шагах задавать высокое значение α , снижая его на последнем шаге. Такая стратегия улучшает работу метода на извилистых границах.

Метод активного контура GVF позволяет решить проблему, связанную с быстрым падением влияния контура на энергию кривой при удалении от контура. Граница сложной формы, имеющая впадины, также создает проблемы. Для увеличения области влияния контура и был

предложен подход, отталкивающийся от векторного потока градиента, в котором поле внешней силы модифицируется с использованием модели диффузии. В этом методе внешние силы не определяются из функционала энергии. Вместо вектора внешней силы $(f_x, f_y) = -\nabla E_{ext}$, используется поле векторного потока градиента $V = (u, v)$, получаемого решением дополнительной граничной задачи для уравнения диффузии. Поле векторного потока градиента определяется как решение следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} \mu \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) &= 0, \\ \mu \nabla^2 v - (v - f_y)(f_x^2 + f_y^2) &= 0 \end{aligned}$$

Граничные условия для (u, v) могут задаваться разными способами. Например, сила (u, v) на границе можно положить равной нулю.

Заключение

Рассмотрены и проанализированы стандартные методы выделения границ изображений: методы Canny, Rothwell, Heitger, Black, Iverson, Smith. Дано краткое описание энергетических методов выделения границ: методов Мамфорда–Шаха и Гемана–Рейнольдса. Представлены методы активного контура: методы GSNAKE и GVF. Описанные методы выделения границ реализованы в виде большого числа (более сотни) программных продуктов и находят применение не только в исследовательских, но и в коммерческих проектах. Предпочтение в выборе метода выделения границ для техногенных объектов железнодорожного транспорта может быть сделано только при конкретизации их характеристик.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-20-02205 офи-м-РЖД).

Список литературы

1. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Pattern Anal. Machin. Intell.– 1986.– vol 8, no. 16.– pp. 679–698.
2. Canny J.F. Finding Edges and Lines in Images // Master's Thesis, MIT, Cambridge, USA.– 1983.
3. Rothwell C.A., Mundy J.L., Hoffman W., Nguyen V.-D. Driving Vision by Topology // Int. Symp. Computer Vision.– 1995.– pp. 395–400.
4. Heitger E, Rosenthaler L., von der Heydt R., Peterhans E., Kubler O. Simulation of Neural Contour Mechanisms: From Simple to End-Stopped Cells // Vision Research.– 1992.– no. 32.– pp. 963–981.
5. Rosenthaler L., Heitger F., Kübler O., von der Heydt R. Detection of General Edges and Keypoints // Proc. 2nd European Conf. on Computer Vision.– 1992.– pp. 78–86.
6. Black M., Sapiro G., Marimont D., Heeger D. Robust Anisotropic Diffusion // IEEE Trans. Image Process.– 1998.– vol. 7.– no. 3.– pp. 421–432.
7. Perona P., Malik J. J. Detecting and Localizing Edges Composed of Steps, Peaks and Roofs // Proc. 3rd Int. Conf. on Computer Vision.– 1990.– pp. 52–57, 1990.
8. Perona P., Malik J. Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.– 1990.– vol. 12, no. 7.– pp. 629–639.
9. Iverson L.A., Zucker, S.W. Logical/Linear Operators for Image Curves // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.– 1999.– vol. 17, no. 10.– pp. 982–996.
10. Smith S.M. Flexible Filter Neighborhood Designation // Proc. 13th Int. Conf. on Pattern Recognition.– 1996.– vol. 1.– pp. 206–212.
11. Mumford D., Shah J. Optimal Approximations by Piecewise Smooth Functions and Associated Variational Problems // Commun. Pure Appl. Math.– 1989.– vol. 52.– pp. 577–685.
12. Geman D., Reynolds G. Constrained Restoration and the Recovery of Discontinuities // IEEE TPAMI.– 1992.– vol. 14.– pp. 376–383.

13. Kass M., Witkin A., Terzopoulos D. Snakes: Active Contour Models // Int'l J. Computer Vision.– 1988.– vol. 1, no. 4.– pp. 321–331.
14. Xu Ch., Prince J.L. Snakes, Shapes and Gradient Vector Flow // IEEE Transactions on Image Processing .– 1998.– vol. 7, no 3.– pp. 359-369.
15. Amini A.A., Weimouth T.E., Jain R.C. Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence.– 1990.– vol. 12, no. 9.– pp. 855–867.

УДК: 528.9; 004.94

Применение геоинформатики для проектирования железных дорог

Андреева О.А. Заместитель генерального директора, АО «Транспутьстрой»,
E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье анализируются существующие методы проектирования железных дорог. Отмечается применение пространственной информации и геоданных на разных этапах проектирования и проведения изысканий. Статья систематизирует методы применения пространственной информации при проектировании железных дорог. Статья доказывает, что для использования пространственной информации при проектировании наилучшим образом подходит геоинформатика и геоинформационные технологии. Показано различие между пространственным моделированием и геоинформационным моделированием. Статья показывает, что геоинформационное моделирование является системным, а геоданные представляют собой системный ресурс. Показано, что среди современных способов получения геоданных важное место занимает мобильное лазерное сканирование. Статья вводит новое понятие геоинформационного проектирования как синтез геоинформационного моделирования и проектирования.

Ключевые слова: транспорт, проектирование железных дорог, пространственная информация, геоинформатика, геоданные, геоинформационное моделирование, геоинформационное проектирование.

Geoinformational modeling for designing linear objects

Andreeva O.A. Deputy Head, JSC «Transputstroy», E-mail: andreeva_olga@inbox.ru,
Moscow, Russia

Annotation. In article is analyzed the existing methods of designing railways. Paper highlights the use of spatial information and geodata at different stages of design and research. The article systematizes the methods of applying spatial information in the design of railways. The article proves that geoinformatics and geoinformation technologies are best suited for using spatial information in designing. The distinction between spatial modeling and geoinformation modeling is shown. The article shows that geoinformation modeling is a system, and geodata is a system resource. It is shown that among modern methods of obtaining geodata an important place is occupied by mobile laser scanning. The article introduces a new concept of geo-information design as a synthesis of geoinformation modeling and design.

Keywords

Keywords: transport, railway design, spatial information, geoinformatics, mobile laser scanning, geodata, geoinformation modeling.

Введение

Как правило, работы по прокладке железных дорог начинаются с проектирования, являющегося сложным и трудоемким процессом. Проектирование [1] включает не только

сбор проектно-изыскательской документации и базовой информации о параметрах природного участка, прилегающих объектах и других нормативных характеристиках, но и пространственное и геоинформационное моделирование. Согласно руководящим документам [2, 3, 4, 5] при проектировании проводятся технические инженерные и экономические изыскания, что позволяет оценить возможности и определить перспективные варианты для будущего строительства и последующего применения железнодорожных путей. Определение перспективных вариантов требует пространственного и геоинформационного моделирования.

По этапам создания проекта инженерные изыскания разделяются на два вида: проблемные - используются при составлении технико-экономического обоснования, и титульные - применяются в проектировании сооружений. Экономические изыскания проводятся с целью всесторонней оценки состояния отраслей промышленности, находящихся на территории запланированной железнодорожной линии, и перспектив развития. При этом в первую очередь учитывается роль проектируемого пути в составе существующей железнодорожной сети и его эффективное взаимодействие с другими видами транспорта, а также максимальное обеспечение транспортных потребностей предприятий и населения. При экономических изысканиях также появляется необходимость пространственно-экономического моделирования и применения методов пространственной экономики [6]. Технические инженерные изыскания (титульные) включают исследования и съёмку для определения наилучшего варианта трассирования новой железной дороги на местности, сбор и обработку технических данных для построения новых железнодорожных сооружений. Современная съёмка осуществляется методами геодезии с последующим преобразованием пространственной информации в геоданные [7]. Геоданные обрабатывают в ГИС и геоинформационных технологиях [8].

Для выполнения технических инженерных изысканий проблемного типа пользуются картографическим материалом, сложные участки обследуются конкретно на местности. В современных условиях картографический материал представлен в электронной форме, что обуславливает необходимость применения ГИС и методов геоинформатики уже на этом этапе [9].

В процессе проектирования железных дорог титульные технические инженерные изыскания проводятся в виде следующих инженерных работ: геодезических, геологических, гидрологических, оценки существующих объектов. Такие работы позволяют изучить природные условия для будущего строительства и эксплуатации железной дороги, а также исследовать параметры местности. Параметры местности в современных условиях исследуют с применением пространственных и цифровых моделей.

Проектирование железных дорог осуществляется за счёт проведения комплекса сложных геотехнических работ [10], соответствующих современным требованиям и нормам транспортного хозяйства. При этом результаты проектирования должны максимально вписываться в проектируемую местность. Это требует применения пространственного и геоинформационного моделирования. На основе инновационных технологий и многолетнего опыта инженерно-изыскательские организации стремятся получить самый эффективный конечный проект с минимальными вложениями и затратами ресурсов. Это становится возможным при использовании пространственного моделирования, пространственной информации и геоинформационного моделирования. Железнодорожное проектирование основывается на проведении ряда многофункциональных работ:

- определение категории разрабатываемых линий проекта в соответствии с классификацией, вычисление пропускной способности линии и полезной длины приемоотправочных путей;

- детальное описание участка проектируемой железной дороги согласно техническим показателям и экономическим обоснованиям;
- выделение итоговых вариантов проектируемых железнодорожных путей и разработка схематического проекта с учётом заданного руководящего уклона;
- проектирование расположения искусственных объектов.

В неявной форме во все виды работ входит моделирование и геоинформационное моделирование. В целом, решение задач проектирования основано на получении и использовании пространственной информации.

Геоинформационное моделирование при проектировании

Как показано выше, проектирование включает на разных этапах пространственное моделирование и геоинформационное моделирование [11-13]. Различий между этими видами моделирования несколько, но основное в системности. Пространственное моделирование может сводиться к измерениям построения пространственной модели, не связанной с системой земных координат или с иными пространственными объектами [14]. Пространственное моделирование имеет следующие разновидности: пространственное моделирование географической информации; байесовское пространственное моделирование; нестационарное пространственное моделирование; пространственное моделирование ландшафта; пространственное моделирование землепользования; иерархическое пространственное моделирование; пространственное моделирование среды обитания. Все перечисленные виды носят локальный характер и не требуют привязки к единой системе [15].

Геоинформационное моделирование является системным. Оно всегда выполняется в единой системе координат и связано при необходимости с геоцентрической или топоцентрической системой координат. Геоинформационное моделирование позволяет связывать объекты моделирования с объектами уже существующей транспортной инфраструктуры [16, 17]. Геоинформационное моделирование позволяет хранить объекты моделирования в базе данных и представлять результаты моделирования в картографической форме для сравнения или наложения на существующие картографические материалы.

Геоинформационное моделирование позволяет представлять объекты моделирования в трехмерном виде [18] и, при необходимости, строить виртуальную реальность для выполнения анализа и виртуального моделирования. Геоинформационное моделирование позволяет дополнять проекты реальной съемкой с применением фотограмметрии или методов лазерного сканирования [19]. Получение пространственной информации основано на использовании различных современных технологий сбора и первичной обработки информации. Использование пространственной информации требует предварительной обработки и моделирования. Поэтому между технологиями сбора и использования информации для проектирования стоят технологии моделирования пространственной информации. Отсюда следует, что сбор информации при изысканиях должен быть ориентирован на последующее моделирование и практическое использование. Моделирование пространственной информации в сфере транспорта опирается на геоинформатику и геоинформационное моделирование. Существует двойственность геоинформационного моделирования, которая состоит в возможности цифрового и визуального моделирования с одним и тем же набором геоданных.

Исследование методов проектирования железных дорог

В настоящее время в целом методы проектирования железных дорог разделяются на методы проектирования новых дорог и реконструируемых дорог. Проектирование новых железных

дорог осуществляется в соответствии с утвержденными строительными нормами и правилами. К примеру, согласно строительным правилам СНиП 32-01-95 [2], новые железные дороги и подъездные пути колеи 1520 мм разделяются на четыре категории, от которых зависят основные параметры, технические условия проектирования и мощность всех устройств линии.

I категория - железнодорожные магистрали межрегионального и общегосударственного значения, обеспечивающие общегосударственные связи внутри страны или международные сообщения с другими странами;

II категория – региональные и межрайонные магистрали, обеспечивающие межрайонные перевозки внутри регионов страны или в сообщениях с другими странами;

III категория - линии, обеспечивающие перевозки местного значения;

IV категория - подъездные пути и соединительные пути на станциях с максимальной скоростью движения не более 40 км/час.

Категория железнодорожной линии определяет основные параметры и технические условия ее проектирования, допускаемые скорости движения пассажирских и грузовых поездов, мощность всех устройств линии. Проектированию новых железных дорог предшествуют изыскания, целью которых является сбор пространственной информации и изучение условий строительства и эксплуатации будущей дороги, сбор и подготовка необходимых материалов для проектирования. Основная задача, решаемая при проектировании, заключается в разработке наиболее рационального проекта новой железной дороги, которая бы полностью удовлетворяла потребности в перевозках с учетом их роста в перспективе.

Основным методом определения рационального решения при проектировании железных дорог является разработка нескольких конкурентоспособных вариантов и выбор наилучшего из них в результате технико-экономического сравнения. Этот метод требует привлечения теории поддержки принятия решений [20] и теории предпочтительности [21, 22]. Все сравниваемые варианты должны разрабатываться на основе общих исходных данных: при одинаковых размерах движения; единых технических условиях и нормативах; и при одинаковых эксплуатационных требованиях.

В целом, как правило, проектирование железных дорог начинается с разработки и утверждения «Обоснований инвестиций». Проектная документация на строительство объекта разрабатывается на основе утвержденных (одобренных) Обоснований инвестиций в строительство, выполняется на основе технического задания на проектирование, составленного заказчиком, и материалов инженерных изысканий. В проектной документации детализируются принятые в Обоснованиях решения и уточняются основные технико-экономические показатели. Порядок разработки, состав и содержание проектной документации на строительство установлены Строительными нормами и правилами Российской Федерации [6].

Следующим этапом является собственно проектирование железных дорог, которое в общем может быть двухстадийным и одностадийным. В обоих случаях основным проектным документом на строительство является, как правило, технико-экономическое обоснование — ТЭО (Проект) строительства (первая стадия), на основании которого, после его утверждения, на второй стадии разрабатывается рабочая документация. Проекты, рабочие проекты на строительство железнодорожных и иных объектов, независимо от источников финансирования и форм собственности, подлежат государственной экспертизе.

Состав и содержание проектной документации определяется согласно [6]. В целом проект на строительство состоит из следующих разделов: общая пояснительная записка; технологические

и архитектурно-строительные решения; организация строительства; организация и условия труда работников; управление производством; жилищно-гражданское строительство; мероприятия по охране окружающей среды; инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, а также мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций; сметная документация и анализ эффективности инвестиций.

Применительно к проектированию железных дорог общая пояснительная записка и раздел Проекта, посвященный технологическим решениям, включают данные о значении проектируемой железнодорожной линии и ее взаимодействии с другими путями сообщения, размерах и структуре грузовых и пассажирских перевозок на расчетные годы эксплуатации (обычно 2-й, 5-й и 10-й, а иногда и на более отдаленную перспективу).

Раздел Проекта, посвященный строительным решениям, содержит (применительно к проектированию новых железных дорог): обоснование выбора направления трассы, основных параметров и средств технического оснащения проектируемой дороги (руководящего уклона, полезной длины приема - отправочных путей, числа главных путей, рода тяги, если он подлежит выбору, и др.); проекты плана и профиля дороги, земляного полотна на перегонах и станциях, верхнего строения пути, мостов, труб, тоннелей и других искусственных сооружений; размещение отдельных пунктов и их проекты; проекты устройств локомотивного и вагонного хозяйств, водоснабжения и канализации, энерго - и электроснабжения дороги, устройств СЦБ и связи, служебных зданий, административного деления линии. Аналогичные вопросы рассматриваются в данном разделе Проекта на строительство дополнительных главных путей или реконструкцию существующих железных дорог.

Для технически несложных объектов, а также объектов, сооружаемых по проектам массового и повторного применения, проектирование может быть проведено в одну стадию. В этом случае разрабатывается Рабочий проект, содержащий утверждаемую часть, в принципе представляющую собой значительно сокращенные «Основные положения» ТЭО и рабочую документацию, а в отдельных случаях может быть даже допущен выпуск только рабочей документации. При одностадийном проектировании Рабочий проект разрабатывают применительно к составу и содержанию Проекта, но в сокращенном объеме, определяемом в зависимости от вида строительства и функционального назначения объекта. В состав Рабочего проекта включается Рабочая документация.

Состав Рабочей документации на строительство железной дороги определяется соответствующими государственными стандартами Системы проектной документации для строительства (СПДС) и уточняется заказчиком и проектировщиком в договоре на проектирование. Обычно в состав Рабочей документации входят: рабочие чертежи, сметная документация, ведомости объемов строительных и монтажных работ, потребности в материалах, сборники спецификаций оборудования и некоторые другие материалы. Важным этапом, предшествующим проектированию железных дорог, являются различные изыскания, среди которых основными можно отметить инженерно-геодезические и экономические изыскания.

Экономические изыскания проводятся с целью обоснования необходимости и целесообразности строительства новой железной дороги или реконструкции существующей и определения технико-экономических показателей разрабатываемого железнодорожного объекта. В процессе экономических изысканий определяются объемы перевозок по всей или отдельным участкам проектируемой линии, выявляется неравномерность перевозок по направлениям движения и временная или сезонная неравномерность перевозок.

Инженерно-геодезические изыскания для проектирования новых железных дорог включают: топографо-геодезические, инженерно-геологические и гидрологические работы, необходимые для обоснования наиболее целесообразного положения трассы проектируемой линии на местности, сбор геопространственных и других данных для проектирования всей инфраструктуры железной дороги, проведение различных согласований (в случае примыкания трассы проектируемой дороги к существующей сети или пересечения с ней, отвод занимаемых земель, пересечение с другими видами транспорта и т.д.). Изыскания для проектирования реконструкции эксплуатируемой линии включают в себя обследование существующих сооружений.

В настоящее время при инженерно-геодезических изысканиях стали применять геодезические и геоинформационные методы, включающие аэровизуальные и аэрогеологические обследования, аэрофотосъемку, аэрогидрометрию. Однако методы инженерно-геодезических изысканий с использованием геоинформационных технологий не получили широкого применения ввиду отсутствия глубоких исследований по рассматриваемой тематике для применения в железнодорожной практике.

Состав и объем инженерно-геодезических изысканий железных дорог должны устанавливаться программой изысканий в соответствии со стадией проектирования, природными условиями и характером проектируемого объекта. В состав инженерно-геодезических изысканий входят:

- сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов на район (участок) изысканий;
- камеральное трассирование и выбор конкурентоспособных вариантов проектных решений для полевых изысканий и обследований;
- создание плано-высотной геодезической основы;
- топографическая съемка местности в масштабах 1:5000 — 1:500, включая съемку подземных и надземных сооружений и коммуникаций, пересечений линий электропередач (ЛЭП), линий связи (ЛС) и магистральных трубопроводов;
- полевое трассирование линейных сооружений;
- специальные работы (съемки плана существующего железнодорожного пути, продольных и поперечных профилей, наружные обмеры зданий, сооружений и устройств, координирование основных элементов сооружений, определение полных и полезных длин железнодорожных путей на станциях, габаритов приближений строений, типов рельсов и т. п.);
- геодезическое обеспечение инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических изысканий;
- составление и размножение инженерно-топографических планов, создание цифровых моделей местности (ЦММ) [23].

Работы, выполняемые при инженерно-геодезических изысканиях железных дорог, следует проводить, как правило, в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный. В подготовительный этап должны быть выполнены: сбор, анализ и обобщение имеющихся картографических, геодезических и других материалов на район изысканий; проектные проработки, необходимые для выбора конкурентоспособных вариантов трассы или проектных решений для полевых изысканий и обследований; работы по организации полевых изысканий (участие, совместно с заказчиком, в подготовке задания на проектирование, составление программы инженерно-геодезических изысканий*, определение и согласование с заказчиком

цены на выполнение изысканий, получение разрешения на производство работ, формирование и оснащение полевых подразделений и т. п.).

В полевой этап подлежат выполнению комплекс топографо-геодезических работ и обследований, предусмотренных программой изысканий, а также необходимый объем камеральных работ для обеспечения контроля качества, полноты и точности выполняемых работ.

В камеральный этап должны быть выполнены: окончательная обработка полевых материалов, оформление всех графических и текстовых материалов, составление технических отчетов, сдача материалов изысканий в архив. Заказчику (по его требованию) передается технический отчет с приложениями. Органам, производившим регистрацию работ, передается картограмма выполненных работ.

Дальнейший анализ и исследования существующих методов проектирования железных дорог показывает, что на этапах проведения инженерно-геодезических изысканий отечественные инженерно-изыскательские организации руководствуются большим перечнем нормативной и правовой документации, основная часть которой разрабатывалась в прошлом веке. Поэтому до настоящего времени большинство инженерно-изыскательских работ в основном выполнялись наземным (полевым) способом с минимальным использованием материалов аэрофотосъемки и других материалов дистанционного зондирования, вследствие чего на эти работы тратились значительные временные, материальные и, в конечном счете, финансовые ресурсы.

Анализ технических отчетов и проектных материалов, подготовленных и сданных заказчиком, позволил выявить тенденцию. При выполнении инженерно-геодезических изысканий на удаленных и малоосвоенных территориях организации используют современные способы измерений, которые не охвачены существующими нормативами [3-5]. По этой причине, российские компании, выполняющие заказы на проведение работ, вынуждены разрабатывать почти для каждого конкретного проекта специальные технические условия, согласуемые с заказчиком, опирающиеся на существующие требования [2], другие нормативные документы и зарубежные стандарты. Такие подходы позволяют при проектировании сократить объемы полевых работ в труднодоступных регионах и тем самым уменьшить финансовые затраты и при этом обеспечить предъявляемые требования к отчетным материалам.

Из результатов исследования применяющихся методов видно, что некоторые новые методы являются основой дальнейшего развития способов инженерно-геодезических изысканий. Так, представляет интерес созданная в ОАО «РЖД» высокоточная координатная система (ВКС) [24], по существу являющаяся специальной геодезической сетью комплексного навигационно-геодезического обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации сети железных дорог. Согласно распоряжения ОАО «РЖД» № 802р от 20.04.2012, создание ВКС на железных дорогах Компании должно предусматриваться в заданиях на проектирование при выполнении следующих работ: при комплексной реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта – в обязательном порядке; в других случаях развития инфраструктуры железнодорожного транспорта - при необходимости, с указанием типа координатной сети. Составной частью высокоточной координатной системы является трехмерная цифровая модель инфраструктуры, являющаяся основой составления проекта трассирования железнодорожной линии и дальнейшего выноса ее в натуру.

Следует остановиться на вопросах автоматизации трассирования линий железных дорог. Эта задача решается на базе трехмерных цифровых моделей железнодорожной инфраструктуры, построение которой практически невозможно без использования материалов дистанционного зондирования земли и геоинформационных технологий. Как показывает анализ публикуемых работ [11, 25], при решении этих задач сегодняшние исследователи, как правило, используют цифровые модели рельефа, натянутые либо на картографический материал, либо на оптическое изображение, и по ним проводят укладку трасс только на рельефе без учета ландшафтных особенностей и геологического строения грунтов. Такой подход существенно ограничивает технологические возможности геоинформационных технологий, так как не позволяет в полной мере осуществлять полноценный геопространственный анализ и трехмерное моделирование при укладке проекта прохождения трассы и оптимизировать ее выбор, в том числе с учетом ландшафта местности.

Особенности проектирования железных дорог в малоизученной местности

Особое внимание в настоящее время уделяют труднодоступным территориям Российской Федерации, а именно Сибири и Дальнему Востоку. Для осуществления строительства и проектирования железнодорожных перевозок в условиях Сибири, Дальнего Востока и Севера требуется внедрение новых подходов к проектированию железнодорожных транспортных сетей. Как отмечено в [26] при формировании железнодорожной транспортной системы прорыв в этой области возможен путем строительства магистрального железнодорожного транспорта, способного осуществлять круглогодичные перевозки.

Отдаленные местности Сибири и Дальнего Востока с одной стороны, имеют неисчерпаемые природные ресурсы, а с другой стороны, располагаются территориально в таких районах, в которых природно-ландшафтное состояние требует особых усилий для проектирования и строительства железных дорог. В силу сказанного, существующие методы строительства и проектирования железных дорог требуют обеспечения больших трудозатрат и сроков разработки проектно-сметной документации и не всегда достигают высокого качества проектирования железных дорог, что не в полной мере удовлетворяет требованиям «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» и в первую очередь, для территорий Сибири и Дальнего Востока.

Особенности проектирования железнодорожных линий в отдаленных и малозаселенных местностях определяются, прежде всего, природными, социальными и экономическими условиями, характеризующими территорию, на которой планируется развитие и расширение железнодорожной транспортной сети. К природным условиям можно отнести:

- переход через различные ландшафтно-климатические зоны, оцениваемые на указанных территориях как суровые, резко континентальные;
- наличие разных видов растительности, от густой таежной растительности до редкой растительности Крайнего Севера;
- наличие множества водных объектов, таких как реки, болота, озера и вечная мерзлота.

В большинстве северных районов имеется бездорожье, экстремальные природно-климатические условия и наличие особо острых экологических проблем, обусловленных интенсивным антропогенным и техногенным воздействием добывающей промышленности на уникальный природный комплекс тундры, который при таком промышленном освоении сильно уязвим и фактически не способен к самовосстановлению.

Социальные условия оцениваются в основном редкостью народонаселения в отдаленных местностях и фактическое отсутствие развитой жилищной и коммунальной инфраструктуры. В

таких районах проживает не более 4 % населения страны, в том числе плотность населения Крайнего Севера почти в 100 раз ниже, чем в среднем по стране [27].

Экономические условия обуславливаются наличием больших запасов природных ресурсов при неразвитой промышленной инфраструктуре, включающей промышленные предприятия, транспортные сети, а также неразвитостью финансовых учреждений на отдаленной территории. Например, для северных регионов следует отметить большую удаленность от экономических центров, наличие отдельно расположенных и удаленных на сотни и тысячи километров друг от друга очагов промышленного и индустриального освоения, многообразная природная структура и недостаточно большие участки сельскохозяйственного производства.

Следует подчеркнуть, что дальнейшее экономическое и социальное развитие удалённых территорий требует коренного пересмотра и изменения традиционных подходов к эксплуатации их природных ресурсов. В ближайшей перспективе основные приоритеты нужно отдавать долговременным экологическим и экономическим программам, не противоречащим экономическим интересам, и сохранению природы в ранимых экосистемах отдаленных территорий, таких как Крайний Север и Арктика, Сибирь и Дальний Восток, которые составляют сердцевину Евразийского континента с их несметными богатствами, постепенно встраиваемых в мировую глобальную социально-экономическую, экологическую и политическую систему.

Исходя из этого, одной из важных комплексных транспортных проблем в отдаленных территориях сегодня становится развитие грузовых и пассажирских перевозок, и в первую очередь железнодорожных с целью экономического освоения территорий с экологических позиций путем модернизации имеющихся и строительством новых магистральных железных дорог как важнейшей части транспортной инфраструктуры страны.

Одним из радикальных методов исследования отдаленных районов и решения задач проектирования является применение методов дистанционного зондирования [28, 29]. Интеграция методов дистанционного зондирования с наземными геоинформационными технологиями [30] дает новый инструмент для проектирования железных дорог.

Требования к методике проектирования железных дорог с использованием геоинформационных технологий

В Российской Федерации, как и в других развитых странах, транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной инфраструктуры [31]. Рост социально-экономического развития Российской Федерации зависит от многих ключевых факторов, одним из которых становится развитие транспортной системы России, и в первую очередь железнодорожного транспорта.

Как отмечено в [27], при формировании железнодорожной транспортной системы прорыв в этой области возможен путем строительства магистрального железнодорожного транспорта, способного осуществлять круглогодичные перевозки. Применение геоинформационных систем и технологий в проектировании железных дорог позволяет эффективней решить задачу для отдаленных территорий. Применение ГИС при управлении транспортом применяется широко [32]. Однако, применению ГИС при проектировании железных дорог не уделялось достаточного внимания. Основное внимание до настоящего времени уделялось вопросам применения ГИС для управления движением, кадастрового учета объектов инфраструктуры и другим, не связанным с проектированием, задачам. Отсутствие методов геоинформационного проектирования трасс железных дорог приводит к снижению эффективности транспортных сетей регионов.

Результаты выполненного в предыдущих разделах анализа показывают, что методы проектирования железных дорог в отдаленных районах без применения геоинформационных технологий в некоторых случаях не обеспечивают предъявляемым требованиям проектирования, вследствие ряда недостатков. К ним относятся:

- недостаточная точность геодезической основы на трассе проектирования по причине удаленности трассы от существующих пунктов ГГС;
- не оптимальный выбор направлений прокладки трассы;
- большой объем полевых работ, выполняемых при прокладке трассы на местности;
- большие финансовые затраты на полевые работы.

Важность применения геоинформационных технологий для анализа и оптимизации проектов в сочетании с традиционными методами проектирования железных дорог дает основание ввести понятие и технологию геоинформационного проектирования. Чтобы определить требования к методам геоинформационного проектирования железных дорог исследуем подробнее причины ограничений и недостатков известных методов.

Действительно, если рассмотрим известные методы инженерно-геодезических изысканий, то, например, в качестве модели трассирования принимается модель, которая базируется практически на классической модели трассирования [33]. Можно видеть, что она не эффективна для удаленных территорий, даже при трассировании прямых участков трассы. В этом случае после камерального трассирования, прежде всего, требуется выполнить создание планово-высотной основы на местности в полосе прокладки трассы, а затем с ее использованием провести полевое трассирование, отвязываясь от установленных в полосе трассы геодезических пунктов. Это значит, что при развитии специальной сети, следует применять геодезические приборы и методы геодезических измерений координат.

Как было сказано выше, обычно в таких случаях проведение полевых работ можно осуществить с выездом на местность, где будет осуществляться прокладка трассы. Такие работы называют полевым трассированием линейных объектов или трассы. Вследствие использования методов геоинформационных и навигационных технологий могут быть существенно упрощены требования к объемам полевых работ с соблюдением общих требований по точности необходимых измерений.

Поэтому, необходимо разработать такую модель цифрового (геоинформационного) трассирования трассы, которая реально соответствовала бы условиям местности, одновременно была бы наиболее упрощена и более эффективна. Это позволит упростить модель цифрового трассирования и добиться высокой производительности общего проектирования.

С целью повышения производительности процесса цифрового трассирования широко может использоваться схема камерального трассирования с использованием инструментов ГИС. Таким образом, обоснованный выше метод цифровых инженерно-геодезических изысканий позволяет рассмотреть двухуровневую модель трассирования, суть которой состоит в следующем.

На первом уровне используется трехмерная модель всего участка трассы, основными параметрами которой являются элементы привязки основного маршрута трассы. На втором уровне используется модель электронных теодолитных ходов, клотоидные элементы поворотов на маршруте трассы в пределах рабочих блоков (участков), где планируется проектировать повороты.

Из анализа особенностей трассирования на отдаленных участках местности можно видеть, что на практике линия трассы строится по имеющимся картографическим или другим материалам, а участки поворотов располагаются произвольным образом относительно начала или конца трассы.

Полученные исследовательские данные показывают, что районы поворотов трассы расположены в произвольном порядке. В результате этого, возникают не редкие случаи, когда создаваемые проекты поворотов трасс обеспечивают планово-высотную основу несколькими перекрывающимися специальными геодезическими сетями. Поэтому, чтобы расширить возможности использования максимального количества геодезических материалов, необходимо решить задачу создания проекта в единой планово-высотной основе, которая в настоящее время не решается существующими методами инженерно-геодезических изысканий с требуемой точностью. В общем случае, для использования различных материалов геодезических сетей необходимо решить задачу геометрической «сшивки» фрагментов локальных сетей в единую геодезическую сеть проекта. Сегодня на практике широко применяются два метода соединения сетей. Суть первого метода заключается в позиционной стыковке полученных отдельно локальных фрагментов сетей по некоторой задаваемой зоне перекрытия [34, 35].

Второй метод предполагает «сшивку» полученных фрагментов сети путем установления функциональных связей между фрагментами сетей и последующего преобразования их в единую сеть проекта [36, 37, 38]. В качестве функциональных зависимостей хорошо зарекомендовали себя полиномы первой или второй степени, которые учитывают не только поворот и перемещение точек фрагментов сети друг относительно друга, но и растяжение или сжатие. Коэффициенты полинома легко определяются методом наименьших квадратов по связующим точкам в зонах перекрытий.

Рассмотренные выше методы предполагают интерактивную обработку с участием оператора, что является достаточно трудоемким. Исходя из этого, предложен метод, в основу которого может быть положена идея создания и использования измерительной трехмерной модели, которая имеет единую координатно - временную основу проекта непосредственно в процессе укладки цифровой линии проектируемой трассы инструментарием ГИС. Данный метод до настоящего времени в полной мере не реализовался, однако трехмерная укладка трассы на нескольких участках может быть выполнена автоматически и по этой причине более эффективно. Таким образом, из рассмотренных выше требований к методам проектирования железных дорог вытекают следующие задачи проектирования:

1. Разработка метода высокоточного и производительного преобразования координат точек проектных участков для переноса их на местность с использованием полевой модели;
2. Разбиение трассы на блоки (рис.1.), для удобства работы операторов. Разработка метода определения оптимального размера рабочих блоков укладки клотоидных элементов трассы, при котором обеспечивалась бы заданная точность преобразований и максимальная производительность проектной укладки;
3. Разработка измерительной трехмерной модели, включающей планово-высотную основу участков трассы, реально соответствующей условиям проектирования, условиям местности и максимально приближенной к ландшафту;

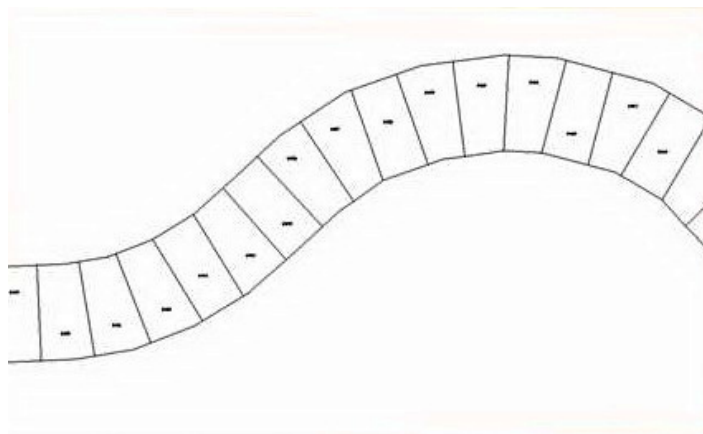


Рисунок 1. Пример разбиения трассы на блоки для моделирования и обработки

4. Проведение геодезической и фотограмметрической (рис.2.) съемки для последующего моделирования местности. Все фотоснимки должны иметь геодезическую поддержку;



Рисунок 2. Фотограмметрическая съемка исходной модели местности

5. Разработка измерительной трехмерной модели (рис.3.), включающей планово-высотную основу участков трассы, реально соответствующей условиям проектирования, условиям местности и максимально приближенной к ландшафту;

6. Разработка методов преобразования первичных трехмерных моделей и данных фотофиксации и геодезии в трехмерные модели местности;

7. Разработка технологии учета внешних факторов (в режиме реального времени) для включения их в проектные материалы (геология, площадь и стоимость отвода земель, природопользование и т.п.);



Рисунок 3. Модель точек лазерных отражений в местной железнодорожной системе координат

8. Моделирование укладки проекта на местность;

9. Разработка оптимального варианта проекта и трансформация его в трехмерную модель (рис.4.).

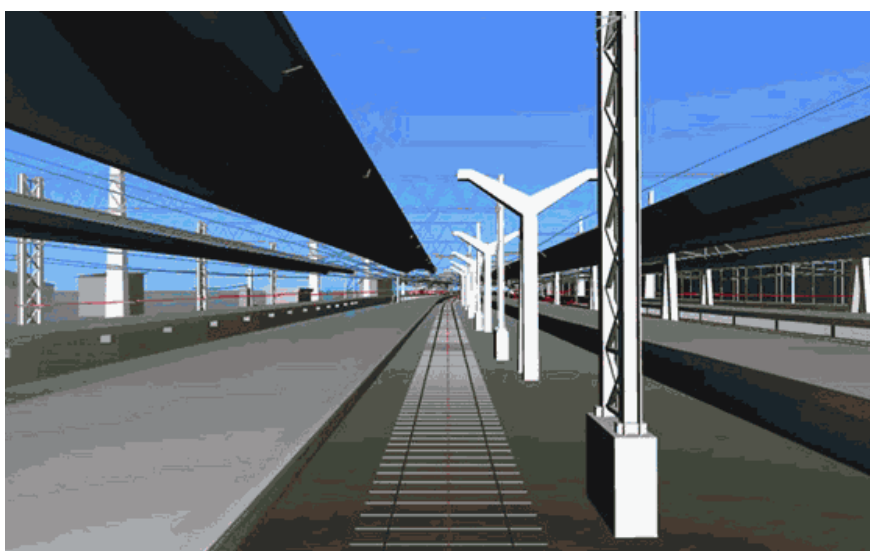


Рисунок 4. Трехмерная модель, построенная на основе проектирования

Заключение.

Выполненный анализ существующих методов проектирования железных дорог в отдаленной местности показал, что при решении задач проектирования необходимо применять методы геоинформатики и трехмерного моделирования. Предварительно необходимо выполнение комплексных высокоточных инженерно-геодезических изысканий, включающих имитационное моделирование. В результате исследования известных методов инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий показано, что зарубежные методы и технологии не приспособлены для решения задач на отдаленных и труднодоступных территориях. В тоже время некоторые неавтоматизированные отечественные технологии имеют ряд недостатков, которые не позволяют создавать единый проект железной дороги с требуемыми характеристиками и в требуемые сроки. Повысить эффективность проектного трассирования при проектировании

железных дорог можно с применением измерительной трехмерной модели проектируемой трассы. Такая модель может быть получена только с применением геоинформатики.

Для повышения точности моделирования и проектирования укладку клотоидных элементов трассы эффективней проводить по рабочим блокам, которые на трехмерной модели позволят добиться высокой точности укладки с учетом ландшафтных особенностей. При проектировании целесообразно использовать совместно ГИС и САПР, т.е. геоинформационное моделирование целесообразно интегрировать с автоматизированным проектированием. Это дает основание ввести для такой технологии новое понятие - геоинформационное проектирование.

Список литературы

1. ВСН 208-89 «Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог». – М.: Минтрансстрой СССР, 1990. — 146 с.
2. СНиП 32-01-95 «Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм». – М.: Минстрой России, 1995. – 26 с.
3. Свод правил СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Часть I». — М.: Госстрой РФ, 1998. — 118 с.
4. Свод правил СП 47.13330.2012 (СНиП 11-02-96). «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». — М.: Госстрой, 2013. — 110 с.
5. Свод правил СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ». — М.: Госстрой, 1998. — 25 с.
6. V. Ya. Tsvetkov. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies 2013, Vol.(3), № 1 p.57-60.
7. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368.
8. Дышленко С.Г. Применение ГИС «Панорама» для решения задач в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.51-62.
9. Розенберг И. Н. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Науки о Земле. - 2012.- №3. - С. 20-25.
10. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С. 52.
11. Шварцфельд В.С. Теория и практика проектирования развития региональной сети железных дорог на основе геоинформационных технологий / В.С. Шварцфельд // Диссертация на соискание ученой степени доктора техн.наук. ДВГУПС: Хабаровск, 2001. - 400 с.
12. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии. - 1999. - №3. - С.23- 27.
13. Markelov V. Geoinformation Modeling in Logistics //European Journal of Technology and Design. – 2013. – №. 2. – С. 129-134.
14. Griffith D. A., Peres-Neto P. R. Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigenfunction spatial analyses //Ecology. – 2006. – Т. 87. – №. 10. – С. 2603-2613.
15. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). с.2386-2392.
16. Polichtchouk Y. et al. Geoinformation modeling system for analysis of atmosphere pollution impact on vegetable biosystems using space images //Eighth International Symposium on Atmospheric

and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – International Society for Optics and Photonics, 2002. – Т. 4678. – С. 478-485.

17. Бондур В.Г., Цветков В.Я. Дифференциация космического мониторинга объектов транспорта. // Перспективы науки и образования. - 2015. - №5. - С.130-135.

18. Kolbe T. H., König G., Nagel C. (ed.). Advances in 3D geo-information sciences. – Springer Science & Business Media, 2011.

19. Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of forest science*, 68(5), 959-974.

20. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. - М.: Макс Пресс, 2001. -312 с.

21. Цветков В.Я. Основы теории предпочтений.- М.: Макс Пресс, 2004. – 48 с.

22. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // *Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research*. 2015. - Vol. 3, Is. 1, - pp.34-42. DOI: 10.13187/jincfar.2015.3.34.

23. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.70-81.

24. Создание и эксплуатация высокоточной координатной системы ОАО «РЖД». Временный регламент. — М.: ОАО «РЖД», 2012. — 19 с.

25. Лисицин И.М. Совершенствование методов автоматизированного проектирования трассы железной дороги. // Диссертация кандидат технических наук по ВАК 05.22.06. — М.: МИИТ, 2007. — 136 с.

26. Розенберг И. Н. О единой транспортной политике в сфере железнодорожного транспорта // Славянский форум, 2015. - 3(9) - с.244-250.

27. Проект «Ноосферные транспортные системы Сибири и Дальнего Востока». Итоги реализации. — Новосибирск: РАЕН, 2005. — 606 с.

28. Савиных В.П. Использование методов дистанционного зондирования для управления транспортом // Науки о Земле. - 2-2012.- С. 58 – 61.

29. Куприянов А.О., Цветков В.Я. Применение ГНСС в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 1 (13). – С.135-144.

30. Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция технологий ГИС и систем дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса.- 2000. - №2 - С.83-86.

31. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. // Распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. – М.: Правительство РФ, 2008. – 70 с.

32. Розенберг И. Н. Геоинформационные системы на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. - №4-2012.- С. 86-90.

33. Буторин Н.Н. Трассирование дороги по карте на экране монитора. // ИВУЗ. «Лесной журнал». 2007. № 2. С. 71-74.

34. Уравнивание геодезических сетей и оформление топографических планов. // <https://www.youtube.com/watch?v=c6t9DALFw2Q> — М.: ЗАО «CSoft», 2013.

35. «Топоматик Robur - Железные дороги. Версия 3.0. Описание». — С-П.: НПФ «Топоматик», 2009. — 20 с.

36. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Картгеоцентр, 2004. – 355 с.

37. ГИС «Панорама». Программное изделие Комплекс геологических задач (Геологические задачи) Руководство оператора ПАРБ.00090-01 34 01. — М.: КБ «Панорама». <https://gisinfo.ru/products/geologyx64.htm>; 2018. — 41 с.

38. Бучкин В. А. Программные разработки компании Real Geo Project // Отечественные разработки. — 2008. — № 9. — С. 42- 44.

УДК: 681.3.06

Прецедентный анализ геоинформационных моделей проектов логистики

- Беляков С.Л.** д.т.н., профессор Кафедры информационно - аналитических систем безопасности Института компьютерных технологий и информационной безопасности, Южный федеральный университет, E-mail: sbelyakov@sfnedu.ru, Таганрог, Россия
- Боженюк А.В.** д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, E-mail: avb002@ya.ru, Таганрог, Россия
- Белякова М.Л.** к.т.н., доцент Кафедры информационно-измерительных технологий и систем Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южный федеральный университет, E-mail: mbelyakova@sfnedu.ru, Таганрог, Россия
- Аннотация.** В работе исследуется механизм оценки близости ранее реализованных логистических проектов с разрабатываемым. Логистические проекты описываются геоинформационными моделями. Предлагается специальная концептуальная модель для представления прецедентов, которая содержит помимо описания проекта набор его допустимых преобразований. Они определяют смысл проекта. Введена функция трансформирования прецедентов для передачи опыта в заданную область пространства. Анализируются условия существования трансформированного прецедента. Предложен метод оценки близости пары прецедентов на основе классификации. Проанализирована процедура трансформации исполненных логистических проектов. Приведены иллюстративные примеры предложенного подхода.
- Ключевые слова:** прецедентный анализ, интеллектуальные геоинформационные системы, логистика, принятие решений.

Case based analysis of geo-information models of logistics projects

- Belyakov S.L.** D.ofSci.(Tech), Professor of the Department of Information and Analytical Security Systems of the Institute of computer technology and information security, Southern Federal University, E-mail: sbelyakov@sfnedu.ru, Taganrog, Russia
- Bozhenyuk A.V.** D.ofSci.(Tech), Professor, Southern Federal University, E-mail: avb002@yandex.ru, Taganrog, Russia
- Belyakova M.L.** Ph.D., associate Professor, Department of Information and Measuring Technologies and Systems, Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Engineering, Southern Federal University, E-mail: mbelyakova@sfnedu.ru, Taganrog, Russia
- Annotation.** In this paper, is investigated a mechanism for assessing the proximity of previously implemented logistics projects with the one under development. Logistic projects are described by geo-information models. A special conceptual model is proposed for the presentation of precedents, which contains, in addition to the description of the project, a set of its permissible transformations. They define the meaning of the project. A function is introduced to transform precedents to transfer experience to a given area of

space. The conditions of existence of the transformed precedent are analyzed. A method for assessing the proximity of a pair of use cases based on classification is proposed. The procedure for the transformation of completed logistics projects is analyzed. Illustrative examples of the proposed approach are given.

Keywords: case based reasoning, intelligent geographic information systems, logistics, decision making

Введение

Практически любая деятельность человека, производство и потребление продуктов требует перемещения грузов в пространстве. По этой причине многие задачи транспортировки ставятся и решаются методами логистики [1]. Обобщенно задача логистики состоит в том, чтобы с заданным качеством доставить партию груза получателю. Качество определяется затратами и временем доставки. Одной из основных проблем логистики является риск нормального завершения запланированного процесса доставки груза. Причина возникновения риска в том, что транспортные системы, средства хранения и обработки грузов подвержены трудно предсказуемым воздействиям окружающей среды. Для надежного планирования и реализации перевозок требуются разнообразные пространственно-временные данные и знания [2]. Их источником являются геоинформационные системы (ГИС) [3], предоставляющие не только необходимые данные, но и интеллектуальный сервис для планирования и исполнения логистических проектов. Под логистическим проектом в данной работе понимается описание пространственно-временного процесса перемещения груза из одной точки пространства в другую. Логистический проект можно представить моделью

$$M_L = \langle S_L, P_S, T \rangle \quad (1)$$

где S_L есть множество пространственно локализованных логистических центров, P_S - множество транспортных маршрутов между логистическими центрами, T - расписание доставки груза.

Под логистическим центром понимается пространственная область для выполнения логистических операций над грузом (упаковка, распаковка, погрузка, разгрузка, сортировка, переработка, временное хранение и т.д.). Картографическое описание M_L в ГИС обладает привязкой к местности, в которой либо предполагается, либо уже был реализован проект. Пространственно-временная привязка, с одной стороны, является богатым источником информации о топологии среды для планируемых проектов, с другой – источником опыта решения проблем, наблюдавшихся ранее при исполнении проектов. Это позволяет особым образом решать проблему неполноты, неопределенности и недостатка информации, характерную для логистики [2].

Основным средством использования ранее полученного опыта является прецедентный анализ (Case Based Reasoning (CBR) [4]), применяемый для поддержки принятия решений как на стадии разработки логистических проектов, так и на стадии их исполнения. Хранение прецедентов, выбор, формирование решений и обучение позволяют добиться высокой достоверности принятия решений. Под достоверностью понимается подтвержденное опытом соответствие решения состоянию реального мира. Как показал анализ, применение CBR для планирования и реализации логистических

проектов в среде ГИС ставит ряд специфических проблем. Например, размещение на карте объектов из S_L и P_S отражает достаточно поверхностные знания о сути проекта.

В результате оказывается, что анализ близкого по метрике сходства проекта не может дать достоверного решения в принципе, поскольку не отражает глубинных знаний о взаимосвязях проекта со средой. Например, на рис. 1 показан прецедент парковки автомобиля с грузом (закрашенный прямоугольник). В планируемом проекте по некоторым причинам предполагается припарковать автомобиль на незначительном расстоянии от ранее использованного места парковки (заштрихованный прямоугольник). Кажется, что такое решение вполне обосновано, поскольку ситуация и принятое ранее решение очень близки. Однако, попытка практически реализовать данное решение закончилась неудачей: оказалось, что при данном положении автомобиля в данном месте невозможна автоматическая погрузка контейнеров. Проект должен быть пересмотрен из-за критической задержки, вызванной ожиданием нужного места парковки. Таким образом, отсутствие достаточного смыслового наполнения в описании прецедента привело к недостоверному решению.

В данной работе предлагается концептуальная модель представления знаний о прецедентах, позволяющая отображать глубинные знания о ситуациях и решениях и соответствующая этой модели организация процесса CBR. Исследуется эффективность использования предложенного подхода по критерию достоверности формируемых решений.

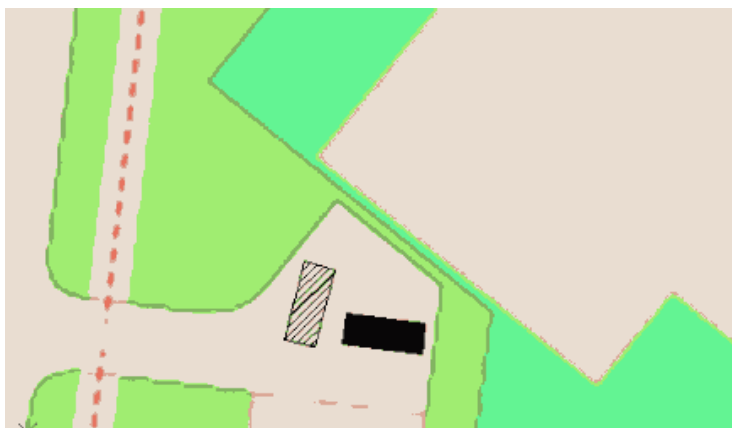


Рисунок 1. Пример размещения автомобиля в логистическом проекте.

Обзор известных подходов к решению проблемы

Проблемы использования CBR для решения задач с помощью ГИС исследуются давно и охватывают все этапы CBR – представление знаний о прецедентах, их хранение в памяти, поиск близких ситуаций, адаптация известного решения, сохранение нового знания, полученного при реализации решения [4]. Учитывая, что ГИС по своей природе являются системами, накапливающим информацию в виде прецедентов наблюдения объектов, явлений и событий реального мира, CBR по сути воспроизводит типичный процесс картографического анализа [3].

Основной целью многих исследований, связанных с автоматизацией картографического анализа, является выделение и формализация знаний, необходимых для получения достоверных решений. Примером является работа [5], в которой для задачи планирования городской территории авторы исследовали проблему отбора ранее выполненных релевантных проектов. Предложенное решение

заключалось в автоматизированном поиске и выдаче рекомендаций разработчику, на основании которых тот принимал проектные решения. Эксперт-разработчик, пользуясь программными инструментами CBR, тесно вовлечен в цикл анализа, сохраняет за собой интеллектуальные функции сравнения прецедентов и выработки решений. Недостатком работ данного направления является невозможность переноса опыта, известная как «mapping problem» [4].

Значительная доля публикаций посвящена концептуальным моделям представления знаний о прецедентах (past case for CBR) [6,7]. Например, в работе [6] исследуется представление знаний, включающее в себя отношения картографических объектов. Авторы включили дополнительный компонент “Geographic Environment” в базу знаний интеллектуальной ГИС и ввели специальный термин «Spatial CBR», подчеркивающий важность учета топологии пространства, в котором представляются прецеденты. Общим для работ этого направления является реализация предложенной концептуальной модели некартографическими средствами. Правила-продукции или таблицы решений играют роль «черного ящика» [5] для ГИС-аналитиков, привыкших пользоваться картографической визуализацией. Из-за этого создается когнитивный барьер извлечения и повторного использования опыта. Таким образом, задача построения визуализируемых концептуальных моделей, соответствующих прикладной области, исследована недостаточно.

Принятие решений на основе геоданных всегда использует важную для CBR операцию сравнения альтернатив. Проблема сравнения – в адекватности прикладной области, объективности заключения об уровне сходства ситуаций. Это исследовано в ряде публикаций. Примером может служить работа [8], в которой авторы ставили задачу оценки весовых коэффициентов для сравнения параметров прецедентов решений. Известным способом снизить субъективизм является привлечение статистических данных. Однако, как констатируется в работе, их содержание не позволяет достоверно прогнозировать будущие ситуации. Применяя специфический прием случайной генерации решений и сравнения их весовых коэффициентов с наборами данных близкого смыслового содержания, авторы, по сути, выявляют глубинные знания о связи принятых решений с топологией местности. Анализируя подобные работы, можно сделать вывод о необходимости дальнейших исследований проблемы адекватного сравнения ситуаций и решений.

Следует отметить также то, что проблема нахождения и настройки параметров метрики оценки близости находится в центре внимания исследователей в области нейросетей. В работах [9-11] анализируются подходы к реализации CBR с применением нейронных сетей для отбора близких прецедентов. Структура решений в рассматриваемых задачах проста, часто являются одиночными числами. Как следствие, обучение интеллектуальной системы концентрируется на распознавании ситуаций, которые коррелируют с числовыми решениями. Конструирование решений сложной структуры не исследуется.

Интересен подход к организации интеллектуальных ГИС, исходя из целей построения инфраструктуры среды географических знаний [12]. Пространственные отношения, онтологии, классификаторы и правила-продукции служат основой «географических рассуждений» и в совокупности образуют географическую базу знаний с очень широким спектром применения. Автор, систематизируя современные представления о знаниях в интеллектуальных ГИС, обращает внимание на роль картографической визуализации в извлечении знаний и их использовании для решения прикладных задач. Применительно к CBR это указывает на малоисследованную задачу картографического описания и визуализации логики рассуждений.

Сочетание картографической визуализации и интеллектуальных методов анализа геоданных исследуется в рамках геовизуальной аналитики (geovisual analytics) [13]. Одной из основных проблем авторы видят в поддержке содержательного смысла анализируемого картографического изображения, контекста анализа. Для этого необходимы соответствующие прикладной задаче способы выразительного визуального отображения смысловых категорий. Применительно к CBR это можно интерпретировать как поиск способа отображения смыслового наполнения визуальных объектов, используемых для принятия решений.

Особенности использования опыта для создания и реализации логистических проектов

Изменчивость реального мира, труднопредсказуемость его поведения, неопределенность оценки состояния окружающей среды является причиной риска реализации любого логистического проекта. Проблему минимизации потенциально возможных потерь необходимо решать как на стадии разработки проекта, так и на стадии его реализации. На стадии проектирования необходима оценка риска проекта в целом. Для ее получения разработчику необходимы данные об аналогичных по смыслу проектах. Привлечение опыта позволяет интегрально оценить реализуемость проекта, основываясь на очевидном предположении о том, что схожие проекты характеризуются одинаковым риском. Применение CBR в рассматриваемом случае направлено на поиск наиболее близких в смысловом отношении прецедентов, позволяющих либо обосновать запланированное, либо выработать новое более разумное решение.

На стадии исполнения логистического проекта серьезную роль играет опыт устранения аварийных ситуаций. В отличие от предыдущего случая, осуществляется поиск близких по смыслу аварийных ситуаций в аналогичных проектах. В этом случае с помощью CBR генерируются и выбираются решения о реконфигурировании или досрочном завершении проекта.

Анализ условий, в которых применяется CBR, позволил выделить три его особенности.

Первая связана с использованием категории «смысл» применительно к проектам и аварийным ситуациям. Его интуитивная интерпретация аналитиками, разработчиками и диспетчерами должна найти формальное представление средствами ГИС. Следуя идеям концептуальной семантики [14], категорию «смысл» целесообразно связать с образным мышлением человека. Образ аккумулирует в себе как фактические данные о предмете, так и аналитические сведения об интерпретации этих данных в определенных ситуациях, о возможностях их модификаций.

Вторая особенность заключается в том, что пространство состояний прецедентов неоднородно. Это означает, что две ситуации с близкими значениями параметров в различных областях пространства оказываются существенно разными. Например, парковка P1 совпадает по емкости и степени загруженности с парковкой P2, однако в районе расположения P1 в зимнее время часто возникает сильный гололед, усложняющий въезд и выезд. Из этого следует, что опыт размещения автомобиля на P1 не может эквивалентным образом применяться на P2. Опыт должен трансформироваться некоторым образом при переносе из одного района в другой. Если этого не сделать, сравнению могут подвергаться две ситуации, одна из которых никогда не может реализоваться в заданной местности. Правильное с формальной точки зрения, сравнение ситуаций теряет содержательный смысл. Таким образом, сравнение прецедентов в процессе CBR должно использовать трансформирование.

Третья особенность связана с обучением интеллектуальной ГИС. Источником знания для нее остается эксперт, способный передать в картографическом виде результат апостериорного анализа логистических проектов. Поэтому существенную роль в организации базы знаний приобретает механизм сокращения избыточности знаний. Отсутствие такого механизма снижает эффективность работы эксперта и ухудшает результаты СВР. В ГИС потенциальная возможность снижения избыточности знаний присутствует, и она базируется на пространственно-временных данных карты. Отображение топологии пространства может использоваться для оценки границ применения знания через его трансформирование.

Представление смыслового содержания логистических проектов

Понятие «смысла» логистических проектов предлагается реализовать применением двух приемов:

- абстрагированием структуры проекта в виде модели (1). В ГИС каждый логистический проект в таком случае изображается на отдельном слое в виде схемы. Элементы схемы соединяются ссылками с атрибутивными (описательными) данными, а также временными диаграммами;
- описанием допустимых преобразований каждого элемента (1), сохраняющих интуитивно понимаемую экспертом суть логистического проекта. Преобразования также представляются картографическими объектами на отдельном слое общей карты ГИС.

Рассмотрим пример. На Рис. 2а сплошными линиями показана схема проекта А, описываемая моделью

$$M_A = \langle \langle S_{A1}, S_{A2}, S_{A3} \rangle, \langle P_{A1}, P_{A2} \rangle, T = \emptyset \rangle,$$

и пунктирными линиями показана схема проекта В, описываемого моделью

$$M_B = \langle \langle S_{B1}, S_{B2}, S_{B3} \rangle, \langle P_{B1}, P_{B2} \rangle, T = \emptyset \rangle.$$

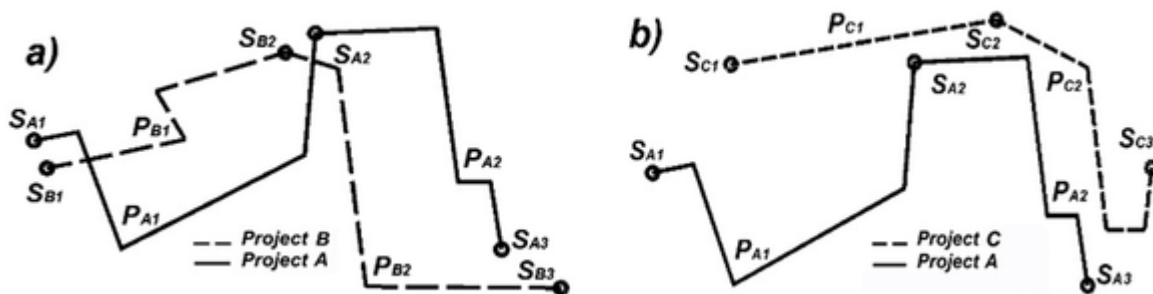


Рисунок 2. Схемы логистических проектов А, В, С с привязкой к местности.

С целью упрощения изложения временные диаграммы расписания транспортировки не используются. Что можно сказать о схожести приведенных проектов? Визуально наблюдаемая близость логистических центров и траекторий не может быть основанием считать проекты А и В более схожими, чем проект А и проект С, показанный на рис. 2 В. Он описывается моделью

$$M_C = \langle \langle S_{C1}, S_{C2}, S_{C3} \rangle, \langle P_{C1}, P_{C2} \rangle, T = \emptyset \rangle.$$

Для объективного сравнения необходимо использовать адекватную меру близости. Трудность конструирования метрики расстояния, достоверно отражающей не только

геометрические свойства проектов-прецедентов, но и топологию местности, очевидна. Поэтому возникает идея использования иной концептуальной модели описания прецедентов, которая отображает суть прецедентов. На рис. 3 показана схема проекта A с допустимыми преобразованиями местоположения логистических центров и траекторий транспортировки. Модифицированная модель логистического проекта принимает вид

$$M'_A = M_A \cup \langle H(S_{A1}), H(S_{A2}), H(S_{A3}) \rangle, \langle H(P_{A1}), H(P_{A2}) \rangle.$$

Через $H(x)$ обозначено множество объектов, которые могут быть получены преобразованием объекта x , но при этом сохраняя интуитивно связываемый с ним смысл. Для логистических проектов допустимыми преобразованиями могут быть различные территориальные расположения логистических центров, различные траектории транспортировки, различные типы транспортных средств и систем, ограничений по времени доставки, и т.д. Например, $H(S_{A1})$ представляет собой полигональную область на карте, в пределах которой может изменяться местоположение $A1$, сохраняя при этом все существенно важные характеристики реализованного проекта A . Аналогично, $H(P_{A1})$ задает в данном случае две допустимые траектории транспортировки, также не меняющие сути проекта. Траектории изображены пунктирными линиями. Если сопоставлять проекты A и B с учетом допустимых преобразований проекта A (Рис. 4), следует заключить, что ни схема A , ни ее допустимые модификации не совпадают с проектом B . Это приводит к мысли о том, что есть некоторое интуитивно ощущаемое принципиальное различие в сути проектов. Что касается проекта C , то на рис. 5 показано его положение относительно A . Можно видеть, что положение логистических центров проекта C находится в областях допустимых преобразований проекта A , а P_{C1} и P_{C2}

совпадают с допустимыми преобразованиями траекторий проекта A . Таким образом, проекты A и C оказывается эквивалентными по смыслу.

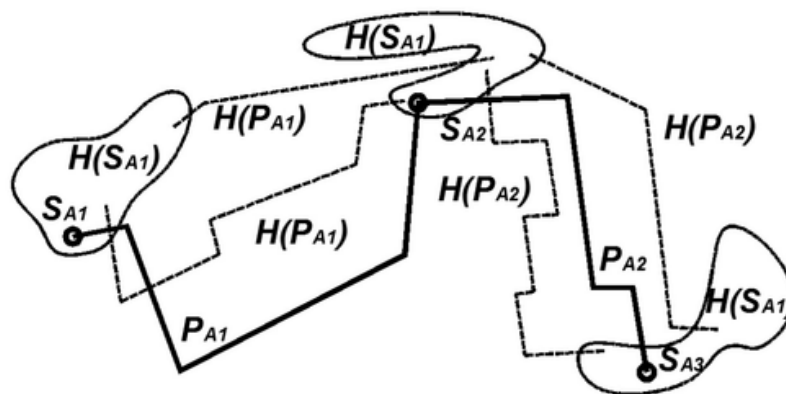


Рисунок 3. Схема логистического проекта A с набором допустимых преобразований

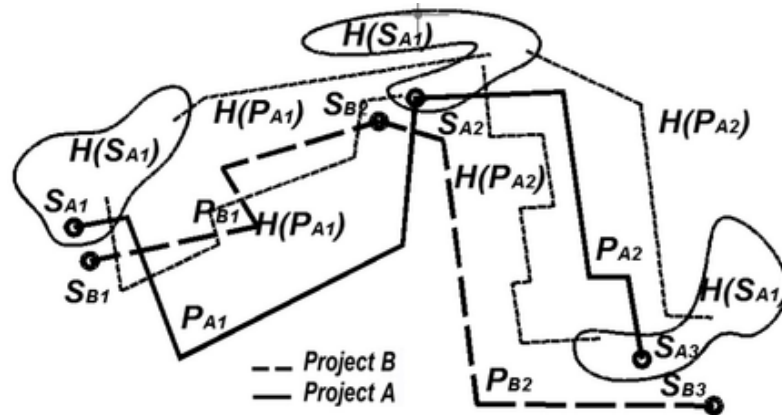


Рисунок 4. Схемы проектов А и В для сравнения с учетом допустимых преобразований

С формальной точки зрения прецедент представляется образом, включающим в себя два компонента:

$$J = \langle c, H(c) \rangle, \quad (2)$$

где c есть центр образа прецедента, который отображает реально наблюдавшуюся ситуацию.

Компонент $H(c)$ есть множество допустимых преобразований, которые сохраняют интуитивно понимаемый экспертом смысл прецедента. Оба компонента представляются картографическими объектами со ссылками на некартографические источники данных. Отметим некоторые свойства образа (2):

- образ не существует без центра ($c = \emptyset \Rightarrow J = \emptyset$). Содержательно это означает, что основой образного знания является объект, событие или отношение, которое можно описать картой либо схемой;
- центр образа сам по себе является допустимым преобразованием ($c \in H(c)$). В противном случае нарушается непрерывность образа;
- образ без описания допустимых преобразований ($H(c) = \{c\}$) с содержательной точки зрения лишен смысла. Это означает, что выполнение интеллектуальной системой любых формально корректных операций над центром образа никогда не приведет к появлению смысла. Смысл возникает только в результате внешней интерпретации центра прецедента.

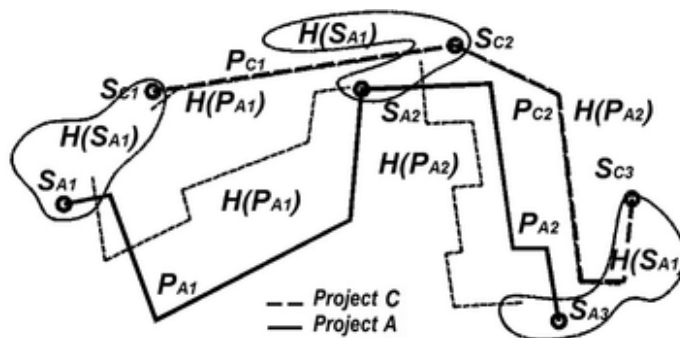


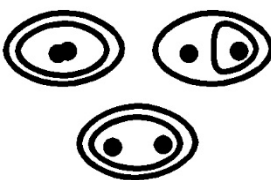
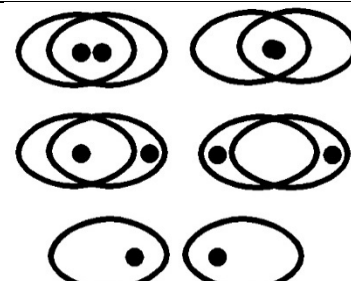
Рисунок 5. Схема проектов А и С для сравнения с учетом допустимых преобразований

Сравнение образов логистических проектов

Операция сравнения играет важнейшую роль в реализации СБР. Традиционным является использование метрики, которая выражается через взвешенную разность существенно важных параметров прецедентов [4-11]. При использовании образного представления (2) целесообразно использование классификации, основанной на анализе взаимного расположения центров и областей допустимых преобразований. Варианты взаимного расположения наглядно представляются диаграммами, показанными на рис. 6. Образ ситуации изображается в виде полигональной области допустимых изменений с точкой центра образа внутри. Это дает возможность наглядно отобразить отношения «совпадают», «имеют нечто общее», необходимые для логики классификации. Наглядность в данном случае полезна тем, что дает возможность эксперту привычными для него средствами ГИС описать правила оценки близости ситуаций. Оценка близости прецедентов реализуется классификацией заданной пары образов $\langle J_1, J_2 \rangle$. Каждому классу ставится в соответствие лингвистическое значение оценки близости. Распределение взаимного расположения компонентов образов между классами отражает интуитивное представление ГИС-аналитика о схожести прецедентов. На рис. 6 показана бинарная классификация, соответствующая оценкам «схожие образы» и «не схожие образы».

Таблица 1.

Пример классификации взаимного расположения компонентов образа

Класс «схожие образы»	Класс «не схожие образы»
	

Можно заметить, что в данном случае в класс схожих образов отнесены ситуации, когда $J_1 \supset J_2$, т.е. заключение о схожести выводится дедуктивно. Как известно [15], такой вариант рассуждений является достоверным и правдоподобным. Несхожими (вторая колонка таблицы 1) считаются образы, близкие по аналогии, что правдоподобно, но недостоверно. Для рассмотренного выше примера центр образа логистического проекта В не попадает в область допустимых изменений образа проекта А, т.е. отображается одной из диаграмм второго столбца таблицы 1. Центр образа проекта С попадает в область допустимых изменений образа проекта А и отображается одной из диаграмм первого столбца.

Реализация процедуры трансформирования

Возможность воспроизводить события и явления на земной поверхности с помощью ГИС была с самого начала одним из сильных стимулов развития систем данного класса [3]. Однако, к настоящему времени данная функция не реализована ни в одной ГИС по вполне понятным причинам: картографические базы данных не обладают полнотой и непротиворечивостью, при

разработке карт используется генерализация, а сама по себе постановка задачи воспроизведения (моделирования) событий и явлений отличается неоднозначностью и неопределенностью. В управлении логистическими проектами данная задача может решаться удовлетворительно благодаря абстрактному представлению (1) и специальной форме представления опыта.

В общем виде процедура трансформирования описывается следующим выражением:

$$\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle = F_{TR}(\langle c, H(c) \rangle, W_{dest}, L_{inv}, G), \quad (3)$$

в котором $\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle$ трансформированный образ и его преобразования, W_{dest} - заданная целевая область карты, L_{inv} - список ограничений, которые должны быть выполнены при трансформировании, G - уровень достоверности результата. Если при заданных входных данных трансформировать прецедент невозможно, процедура возвращает пустое множество.

Рассмотрим алгоритм трансформирования, считая, что библиотека программ ГИС включает в себя базовые функции конструирования прикладных картографических объектов. Например, по двум точкам может быть построен путь в дорожной сети, по набору точек – площадка заданного типа, по заданному типу сервиса и положению сервисных центров может быть построена зона обслуживания, и т.д. При конструировании используются базовые знания о форме, расположении и топологических отношениях, исключающие построение некорректных объектов. Алгоритм опишем следующим образом:

1. Организовать цикл по объектам множества $\langle c, H(c) \rangle$. Для каждого $z \in \langle c, H(c) \rangle$ выполнить пункты 2 – 6.
2. С помощью базовой функции ГИС сконструировать объект z в области W_{dest} . Если $z = \emptyset$, перейти к п. 8.
3. Установить для списка L_{inv} *НомерТекущегоОграничения* = 1.
4. Проверить ограничение с номером *НомерТекущегоОграничения*. Если оно не выполняется, перейти к п. 8.
5. Увеличить на 1 *НомерТекущегоОграничения*. Если в списке L_{inv} есть не просмотренные ограничения, перейти к п. 4.
6. Добавить z в $\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle$. Если цикл не закончен, выбрать следующий элемент z и перейти к п. 2.
7. Оценить достоверность результата. Если достоверность не меньше G , считать множество $\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle$ результатом и перейти к п. 9.
8. Считать множество объектов $\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle$ пустым.
9. Конец алгоритма.

Результат, получаемый с помощью приведенного алгоритма, имеет для СВР двоякий смысл. С одной стороны, непустое множество $\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle$ свидетельствует об обоснованности сравнения ситуаций. Это действие характерно для процесса человеческого мышления, когда похожие, но «нереальные» ситуации во внимание не принимаются. Трансформирование в данном случае моделирует человеческое воображение. С другой стороны, множество $\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle$ отображает подтвержденное опытом возможное решение, которое должно участвовать в сравнении альтернатив.

Заключение

Исследованная в данной работе реализация интеллектуальной системы основана на аналитических знаниях эксперта, которые возникают при апостериорном анализе выполненных логистических проектов. Прецедентами в этом случае являются не только наблюдавшиеся реально факты, но и результаты их осмысления экспертом. Не оказывая влияние на принципиальную схему CBR, рассматриваемый вид знаний требует особого представления и механизма оценки близости. Для логистических проектов, отображаемых средствами ГИС, удастся достаточно просто отображать набор допустимых преобразований. Многие из них является картографическим объектом и визуализируются. Визуализация способствует передаче знаний в образном виде.

Дальнейшим развитием данного исследования является совершенствование механизмов трансформирования опыта, а также процедуры обучения интеллектуальной ГИС.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 19-07-00060, 17-01-00119.

Список литературы

1. Grazia Speranza, M.: Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research* 264, 830–836 (2018).
2. Katsumi, M, Fox, M.: Ontologies for transportation research: A survey. *Transportation Research Part C* 89, 53–82 (2018).
3. Shashi S., Hui, X.: *Encyclopedia of GIS*. Springer, New York (2017).
4. Aamodt, A., Plaza, E.: Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications* 7(1), 39-59 (1994).
5. Yeh, A., Shi, X.: Case-based reasoning (CBR) in development control. *JAG* 3 (3), 238-251 (2001).
6. Du, Y., Liang, F., Sun, Y.: Integrating spatial relations into case-based reasoning to solve geographic problems. *Knowledge-Based Systems*. 33, 111–123 (2012).
7. Wei, H., Xu, Q., Tang X.: A knowledge-based problem solving method in GIS application. *Knowledge-Based Systems* 24, 542–553 (2011).
8. Veronesi, F., Schito, J., Grassi, S., Raubal, M.: Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. *Applied Geography* 83, 78-85 (2017).
9. Yan, A., Yu, H., Wang, D.: Case-based reasoning classifier based on learning pseudo metric retrieval. *Expert Systems With Applications* 89, 91–98 (2017).
10. De Renzis, A., Garriga, M., Flores, A., Cechich, A.: Case-based Reasoning for Web Service Discovery and Selection. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 321, 89–112 (2016).
11. Relich, V., Pawlewski, P.: A case-based reasoning approach to cost estimation of new product development. *Neurocomputing* 272, 40–45 (2018).
12. Laurini, M.: *Geographic Knowledge Infrastructure. Applications to Territorial Intelligence and Smart Cities*. ISTE Press Ltd, (2017).
13. Schumann, H., Tominski, C.: Analytical, visual and interactive concepts for geo-visual analytics. *Journal of Visual Languages and Computing* 22, 257–267 (2011).
14. Kuznetsov, O.: On conceptual semantics. *Artificial Intelligence and Decision Making* 3, 32–39 (2014).
15. Evans, J. S. B. T., Over, D. E.: Reasoning to and from belief: Deduction and induction are still distinct. *Thinking and Reasoning* 3, 267–283 (2013).

УДК: 528.02; 528.06

Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог

- Ознамец В. В.** к.т.н., профессор, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
E-mail: voznam@bk.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье анализируется геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования на железной дороге. Показана диверсификация геодезического обеспечения в этой области. Раскрываются особенности мобильного лазерного сканирования. Раскрывается характеристика современного геодезического обеспечения. Показано, что геодезическое обеспечение нельзя сводить к чистым геодезическим работам. Современное геодезическое обеспечение является многоуровневым и использует различные измерительные средства и технологии. Статья показывает виды геодезического обеспечения при мобильном лазерном сканировании. Статья доказывает, что мобильное лазерное обеспечение может быть рассмотрено как сложное геодезическое обеспечение, направленное на решение сложных задач. Статья показывает, что методически геодезическое обеспечение является более общим по отношению к геоинформационным технологиям.
- Ключевые слова:** транспорт, геодезическое обеспечение, мобильное лазерное сканирование, пространственные модели, облако точек, большие данные.

Geodetic support of mobile laser scanning of railways

- Oznamets V. V.** PhD, Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: voznam@bk.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In article is analyzed the geodetic support of mobile laser scanning on the railway. The article describes the diversification of geodetic support in this area. Features of mobile laser scanning are described in the article. The article reveals the characteristics of modern geodetic software. It is proved that geodetic support cannot be reduced to pure geodetic works. Modern geodetic software is multi-layered and uses a variety of measuring tools and technologies. The article shows the types of surveying software for mobile laser scanning. The article proves that mobile laser software can be viewed as a complex geodesic software aimed at solving complex problems. The article shows that the methodological geodetic support is more general in relation to geographic information technologies.
- Keywords:** transport, geodesic software, mobile laser scanning, spatial models, point cloud, big data.

Введение.

Геодезическое обеспечение представляет собой комплекс технологий и методов, решающих широкий круг разнообразных задач [1-4] и для поддержки различных технологий и работ. Развитие геодезического обеспечения отвечает информационным [5] и технологическим [6]

потребностям общества. Пространственная информация необходима для управления транспортом и управления экономикой. Геодезическое обеспечение служит основой получения пространственной информации [7, 8]. Задача геодезического обеспечения - удовлетворение информационных потребностей общества в пространственной информации. Такая ситуация определяет две задачи геодезического обеспечения.

Первая задача – получение пространственной информации и построение пространственных моделей [9] для их использования потребителями.

Вторая задача состоит в управлении железной дорогой как сложной организационно технической системой [10, 11]

Построение многих моделей осуществляется методами геоинформатики. Геодезическое обеспечение включает методы картографии, фотограмметрии и геоинформатики. Геодезическое обеспечение можно рассматривать как семантическое окружение [12] технологий получения пространственной информации. Важная задача геодезического обеспечения - информационная поддержка научных и технологических направлений.

Диверсификация геодезического обеспечения

Диверсификация геодезического обеспечения обусловлена не только многообразием задач, но и разнообразным приложением даже одинаковых задач. Геодезическое обеспечение имеет много вариантов применения. Многовариантность и многозадачность обуславливает его диверсификацию.

Мобильное лазерное сканирование является одной из новых технологий сбора пространственной информации и ее моделирования [13, 14]. Геодезическое обеспечение для данных мобильного лазерного сканирования создает, прежде всего, условия для проведения точного лазерного сканирования. Можно выделить ряд направлений применения геодезического обеспечения при мобильном сканировании железных дорог. Геодезическое обеспечение применяют для: оценки геодезической изученности; для точной координатной привязки [15, 16]; для инициализации систем сканирования; для создания опорной геодезической сети (ОГС); для создания реперной сети

Оценка геодезической изученности

При оценке геодезической изученности на первом этапе анализируют имеющиеся картографические материалы масштабов 1:100000, охватывающих интересующие направление железной дороги. На стадии подготовки проектирования на топографические карты масштаба 1:100000 выносят данные о пунктах ГГС 1-3 классов, попадающих в буферную зону (термин ГИС) шириной до 10 км в обе стороны от железной дороги на предполагаемом участке проектирования. На карту выносят пункты Государственной высотной основы из состава ходов нивелирования I и II классов, проложенных вдоль дороги. Оценивают достаточность или не достаточность плотности обеспечения участка пунктами государственной геодезической сети (ГГС) 1-3 классов.

В процессе геодезического изучения составляют список пунктов ГГС. Эти пункты должны устанавливать геодезическую связь между местной железнодорожной и государственной системами координат и пунктами марок Государственной высотной сети (ГВС). Пункты ГВС позволяют обеспечить исходными данными хода геометрического нивелирования по базовым станциям, главным и промежуточным пунктам опорной геодезической сети (ОГС). После этого картографические и архивные материалы дополняют материалами рекогносцировки.

Рекогносцировку района работ проводят с целью обследования пунктов ГГС и ВГС, выбора

оптимальных мест закладки центров пунктов ОГС. При обследовании пунктов ГГС и ГВС устанавливалось наличие центров и реперов пунктов, их состояние (сохранность), местоположение, наличие недопустимых помех для прохождения спутниковых сигналов и возможность проведения на этих пунктах спутниковых измерений. При обследовании пунктов триангуляции часто возникает информационная ситуация [17-20], которая выявляет, что значительная часть пунктов уничтожена, другие пункты не пригодны для спутниковых наблюдений. При обследовании реперов и марок Государственной высотной сети (ГВС) имеет место такая же ситуация. По результатам рекогносцировки была составлена ведомость обследования пунктов ГГС и ГВС.

Следует учитывать то обстоятельство, что в настоящее время ГГС является обобщенным понятием и она включает следующие сети [ГОСТ Р 55024-2012]: фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС), высокоточную геодезическую сеть (ВГС), спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС), астрономо геодезическую сеть (АГС) 1 и 2 класса, государственные геодезические сети сгущения. В железнодорожной практике используют ВГС и сети сгущения. При этом часто термин ВГС в практике железных дорог заменяют термином высокоточная координатная система (ВКС). Термин ВКС в ГОСТ Р 55024-2012 не прописан, и, видимо, прописан только в нормативах РЖД.

Проект опорной геодезической сети.

В случае недостаточной плотности обеспечения участка пунктами ГГС 1-3 классов составляют проект опорной геодезической сети. На основе проекта осуществляют закладку пунктов ОГС. Пункты ОГС должны обеспечить долговременную сохранность центра и служить надежным хранителем координат и высот. Выбор типов центров пунктов ОГС, схем их закладки, а также порядка оформления пунктов должен выполняться с учётом требований нормативных документов, а именно:

- Создание и эксплуатация высокоточной координатной системы ОАО «РЖД». Временный регламент. Утвержден 11 марта 2012г.;
- Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане. Технические требования. Утверждены заместителем министра путей сообщения 26 марта 1998г., М.: ВНИИЖТ, 1998.;
- Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКНИП (ОНТА)-02-262-02. -М.: ЦНИИГАиК, 2002.;
- Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. - М.: Картгеоцентр - Геоиздат, 1993.;
- Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети. - М.: ЦНИИГАиК, 2001.;
- Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКНИП (ОНТА)-01-271-03. -М.: ЦНИИГАиК, 2003.

Выбор мест закладки базовых станций.

В соответствии с нормативными документами и имеющимся опытом выбирают места закладки базовых станций. Размещение (выбор мест закладки) базовых станций (БС) и главных пунктов производится из расчёта наилучшей видимости небосвода и отсутствия помех прохождению спутниковых сигналов на возвышении более 15°. Размещение БС осуществляется

обычно через 30-50 км с учетом размещения объектов железнодорожной инфраструктуры. БС должны устанавливаться на каменных зданиях ОАО «РЖД». Предполагаемые места закладки пунктов согласовываются со службами железной дороги.

Основным типом центра базовой станции является штыревой центр («стержень») (рис.1) длиной 300 мм, диаметром от 15 до 20 мм, закладываемый на крыше каменных зданий в несущие стены на глубину 170 мм, имеющий на верхней части резьбу для навинчивания спутниковой геодезической антенны [21]. Методом за-

репления центра БС в данном случае является бетонирование. Для защиты резьбы от механических повреждений используется наворачивающийся колпачок. Коррозионная стойкость обеспечивается материалом изготовления центра – нержавеющей сталь 12Х18Н10Т.

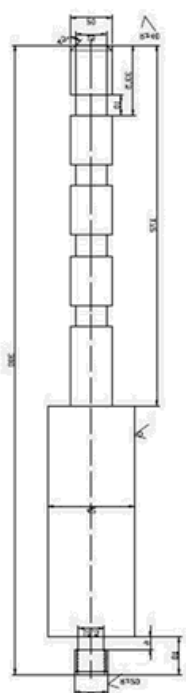


Рисунок 1. Конструкция центра БС и главного пункта

В качестве альтернативных вариантов допускается использование стенного («кронштейн») и трубчатого («пилон») (рис.2).



Рисунок 2. Конструкция базового центра типа «пилон».

Стенной центр представляет собой кронштейн, изготовленный из профилированной стали толщиной не менее 4 мм. В верхней части вертикального штыря кронштейна имеется резьба для крепления спутниковой геодезической антенны. Центр надежно фиксируется в плане и по высоте путем крепления, как минимум, в трех точках на внешнюю сторону несущей стены каменного здания. Трубчатый центр предназначен для установки на плоских крышах капитальных зданий. В конструкции центра используется обрезок (длиной 0.30-1.5 м) толстостенной металлической трубы диаметром 10-15 см. К верхней части трубы приваривается круглый фланец толщиной 5-8 мм, в центре которого монтируется болт с резьбой для крепления спутниковой геодезической антенны. К нижней части трубы приваривается установочная площадка толщиной 8-10 мм, имеющая отверстия для крепления к крыше посредством анкерных болтов. Установочная площадка и труба скрепляются укосами жесткости. Координаты и высоты БС отнесены к точке пересечения верхней плоскости металлического стержня или трубы (фланца) с вертикальной осью выступающего над плоскостью винта.

Выбор места размещения главных пунктов.

Главные пункты предусматривается закреплять через 4-5 км. Выбор места закладки центров главных пунктов осуществляется с учетом наилучшей видимости небосвода и отсутствия помех прохождению спутниковых сигналов на возвышении более 15°. Функциональной особенностью главных пунктов является возможность использования их в качестве временных базовых станций, максимально приближенных к месту проведения различного рода работ. Исходя из данной особенности, конструкция центров главных пунктов и требования к выбору их местоположения по возможности (при наличии капитальных служебных зданий) будет совпадать с конструкцией центров БС и требованиями к местам их расположения. Требования к обязательному наличию источника электроснабжения и канала фиксированной связи в данном случае не выдвигаются. При закладке центров базовых станций и главных пунктов на крышах или стенах служебных зданий необходимо принимать все возможные меры по сохранению целостности данных зданий. В остальных случаях в качестве центров главных пунктов закладывают грунтовые репера типа 190 или 191

Выбор места размещения промежуточных пунктов

Рекогносцировка и выбор места закрепления промежуточных пунктов выполнялись исходя из их расположения через 250-750 метров вдоль трассы железной дороги. Места установки выбирались из условия выполнения на пункте спутниковых измерений с установленного GPS/ГЛОНАСС приемника. Для установки должна обеспечиваться взаимная оптическая видимость, по крайней мере, на один из смежных пунктов ОГС. Промежуточные пункты закладывают на земляном полотне в имеющихся фундаментально закрепленных объектах: анкерах опор контактной сети (ОКС), в стаканах ОКС, устоях мостов, ж.б. труб (рис.3).

Закладку грунтовых центров проектируется выполнить на глубину 1.5 м, или на глубину промерзания грунтов на участках проведения работ. Закладка всех пунктов должна сопровождаться маркировкой, указывающей имя пунктов. Всем пунктам ОГС присваивается номер в цифровом виде, в котором последовательно через дефисы группами цифр указываются:

- номер железной дороги, взятый из списка дорог, расположенных по алфавиту;
- номер дистанции пути (ПЧ);
- номер километра (по путевскому километражу);
- категория и порядковый номер пункта ОГС на текущем километре дороги. Базовые

станции обычно нумеруются в одном диапазоне, главные пункты нумеруют в другом диапазоне а промежуточные пункты в третьем диапазоне;

- При наличии в круглых скобках может указываться номер марки знака.



Рисунок 3. Пример закрепления промежуточного пункта.

Маркировку наносят на марку знака, на опознавательный столб, либо на ближайшую опору контактной сети с помощью масляной краски. Допускается применение на пунктах ОГС других типов центров в соответствии с правилами [22]. Запроектированные в камеральных условиях места закладки базовых станций и главных пунктов ОГС обозначены на вырезках-склейках топографических карт М 1:100 000. По результатам закладки центров пунктов ОГС составляют: карточки закладки (кроки); ведомость закрепления пунктов.

В карточках закладки концентрируется полная информация о пунктах. В них заносят имена пунктов и категории. Категории включают информацию: базовая станция, главный, промежуточный, принадлежность к железной дороге, дистанции пути, тип центра, пикетажное положение, номер марки, установленной в качестве хранителя координат пункта. В карточках закладки хранится схема инструментальной привязки заложенного пункта к ориентирам местности и ближайшим объектам дороги, ориентировка по отношению к крайнему пути (слева, справа от него, в междупутье), наличие оптической видимости на смежные пункты.

Ведомости закрепления пунктов должны содержать лаконичную информацию о наименовании и категории пункта, типе центра, номере марки и пикетажном положении пункта. Ведомости являются составной частью акта приемки пунктов ОГС.

Геодезическая привязка БС осуществляется относительным спутниковым методом в режиме «статика». Привязка осуществляется относительно пунктов высокоточных спутниковых сетей, определенных в общеземной системе координат. При удалении исходных пунктов до 1000 км возможно использование программного обеспечения ТВС (LGO). Указанные высокоточные спутниковые сети рассматриваются как каркасные для создания ОГС.

Геодезическое обеспечение для навигационных систем.

Геодезического обеспечения требуется для точной координатной привязки данных мобильного сканирования к системе координат железной дороги. Работ заключается в выполнении ГНСС наблюдений на опорных пунктах, которые должны быть заранее заложены вдоль железнодорожного пути, на котором будет осуществляться мобильное лазерное

сканирование. Станции размещают вдоль трассы движения сканирующей системы с целью обеспечить требуемую точность лазерных измерений. Современное ГНСС оборудование позволяет выполнять высокоточные фазовые наблюдения. При определении перечня оборудования для выполнения работ важно учесть следующие требования:

- наличие программного обеспечения для высокоточных работ;
- наличие сертификатов о поверке инструментов и лицензия на их использование;
- наличие возможности приема сигнала на 2 частотах и на большом количестве каналов;
- наличие влагозащитной и пылезащищенной конструкции для работы в неблагоприятных условиях;
- наличие большого объема встроенной памяти для возможности длительной непрерывной работы.

ГНСС оборудование проходит необходимую метрологическую аттестацию перед началом выполнения работ. До начала работ выбирают подходящее время работ. Для этого учитывают наибольшее количество доступных спутников и оптимальную геометрическую характеристику спутникового созвездия. Затем проводят инициализацию приемников на месте выполнения работ.

Проведение ГНСС-измерений

ГНСС наблюдения на опорных пунктах выполняют для координатной привязки данных мобильного лазерного сканирования. Опорные пункты – базовые станции либо устанавливаются, либо используют станции заказчика. Спутниковые измерения проводят одновременно с лазерным сканированием. Данные, полученные при помощи ГНСС, применяют для совместной спутниково - инерциальной постобработки траекторий движения. Точные значения траекторий движения используют для расчета координат главной точки сканера и центров проекций снимка.

Измерение координат базовых станций обычно проводят в статическом режиме. Сначала сигналы от спутника одновременно фиксируют двумя или более приемниками, после чего проводится совместная обработка полученных данных, и определяют координаты опорного пункта. Измерения производят в системе координат WGS84.

Для достижения точности пространственного положения траекторных данных и точек лазерной локации (ТЛО) необходимо проводить совместную обработку инерциальных и ГНСС данных. Также по итогам подобной обработки получена информация о траекториях в требуемом формате SBET. Файлы этого формата используются при формировании исходного массива точек отражений лазерного луча.

Обработка включает два этапа. Сначала обрабатывают ГНСС траектории относительно базовых станций, при этом не учитывались инерциальные данные. Затем инерциальные данные совмещают с обработанной ГНСС-траекторией.

Обработка ГНСС траектории относительно базовых станций

На первом этапе происходит обработка траектории движения, только по данным спутниковых наблюдений. Привязка спутниковых данных происходит относительно базовых станций, работающих во время сканирования. Обработка происходит в системе координат WGS84. Расчет траектории выполнялся в двух направлениях (прямо и обратно) (рис.4). Для каждого отдельного промежутка времени подбирались оптимальные настройки обработки: угол маски, задержка обработки сигнала с «нового» спутника, интервал обработки данных и пр.

Результатом обработки являются координаты траектории, полученные по данным ГНСС. Эта траектория содержит информацию о координатах и высотах сканирующей системы с интервалом 1 секунда. (без учета инерциальных данных) в формате *.ctmb. Следующий этап обработки данных выполнялся с использованием программного обеспечения POSpac MMC. Данные, полученные в ПО GrafNav, импортировались в ПО POSpac MMC, в котором осуществлялось их совмещение с инерциальными данными (INS).

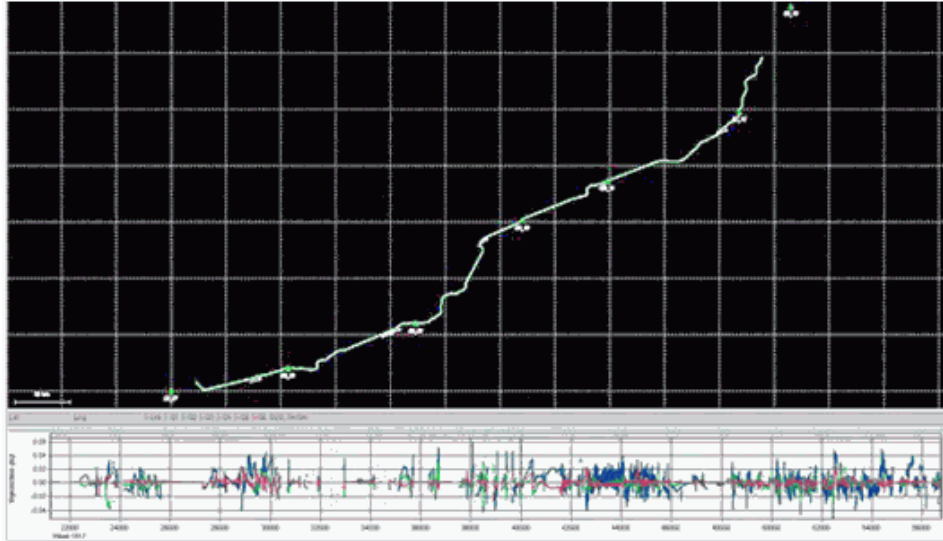


Рисунок 4. Комбинированный расчет траектории совместно с данными базовых станций

Инерциальная система при совместной обработке дает возможность получить в дополнение к координатам, еще и углы ориентации сканирующей системы, которые необходимы для последующего вычисления координат точек лазерного отражения. Кроме того, совместная обработка с инерциальными данными позволяет получить сглаженную траекторию без возможных мгновенных ошибок и пробелов по данным ГНСС (рис. 5).

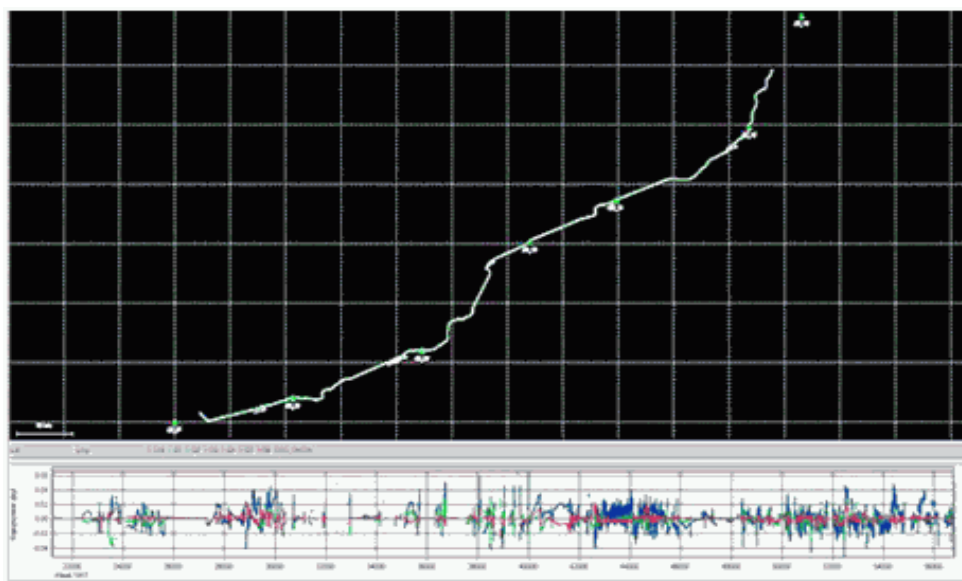


Рисунок 5. График точности комбинированной обработки траекторных данных

В итоге были получены траектории в формате SBET. Содержащие информацию о координатах и ориентации сканирующей системы, в дальнейшем использовавшиеся при вычислении пространственных координат точек лазерных отражений.

Мобильное лазерное сканирование как форма геодезического обеспечения.

Определенные виды геодезических работ играют роль геодезического обеспечения (поддержки) мобильного лазерного сканирования. Но и само мобильное лазерное сканирование может играть роль геодезического обеспечения. Можно провести параллель со спутниковыми измерениями. Спутниковые измерения нуждаются в геодезическом обеспечении. Но после настройки и установки эти технологии выполняют функции геодезического обеспечения для других видов работ.

Мобильное лазерное сканирование может быть рассмотрено как новая технология геодезического обеспечения, которую применяют для пространственной съемки различных типов транспортных коридоров [23], включая автомобильные, железнодорожные, трубопроводные и силовые линии. «Облака точек» обеспечивают полное измерение дорожного коридора. Они позволяют немедленно извлекать необходимые данные из облака для удовлетворения неотложных потребностей клиентов. Однако полную информацию о дорожном коридоре можно извлечь только с применением методов геоинформатики. Эта ситуация говорит о том, что геодезическое обеспечение включает в себя методы геоинформатики и является более общим по отношению к геоинформационным технологиям.

Мобильное лазерное сканирование может быть рассмотрено также как мониторинг. Железная дорога является геотехнической системой [24] и МЛС на железной дороге может быть рассмотрено как геотехнический мониторинг [25]. Общие приложения для МЛС как мониторинга исследований включают в себя решение следующих задач:

- Обследования объектов транспортной инфраструктуры "как построено" для подтверждения того, что вновь построенные объекты транспортной инфраструктуры соответствуют проектным требованиям;
- Задача оценки текущего состояния дороги для целей технического обслуживания и ремонта;
- Подтверждение достаточного качества дороги для эксплуатации;
- Оценка качества автодорожного покрытия для обеспечения стока воды. Оценка участков поверхности дороги, которые могут вызвать аквапланирование автомобилей во влажных условиях;
- Выравнивание существующей осевой линии железной дороги или автодороги;
- Создание цифровых моделей рельефа, окружающего дорогу;
- Создание цифровых моделей рельефа при расчетах земляных работ, необходимых для новых дорог, расширения дорог и дальнейшего строительства;
- Обнаружение всех твердых поверхностей и конструкций (дорожные барьеры, мосты, водопропускные трубы, бордюры, желоба, дорожные знаки и опоры линий электропередач);
- Точно установление зазоров под мостами.

Созданная специально для удовлетворения потребностей клиентов в скорости, точности и безопасности, система МЛС как геодезическое обеспечение и средство измерения идеально подходит для обследований железнодорожной инфраструктуры в коридорах. МЛС, способная к развертыванию на любой мобильной платформе, включая поезда и транспортные средства,

собирает сотни тысяч точек в секунду, измеряя все видимое для сканера в радиусе 30 м от транспортного средства. При этом точность составляет нескольких миллиметров. Вместе с «Облаком точек» [26] получают данные на фотокамеру, что позволяет получать комплексный, высокоточный набор данных по любому железнодорожному коридору (рис.6).

Система МЛС обеспечивает точность, позволяя измерять центральную линию трека непосредственно из сканированного изображения. Все остальные элементы можно затем отсканировать при сканировании относительно центральной линии трека. Любой точке может быть назначена цепочка и горизонтальное и вертикальное смещение вдоль пути относительно плоскости, проходящей через две головки рельса

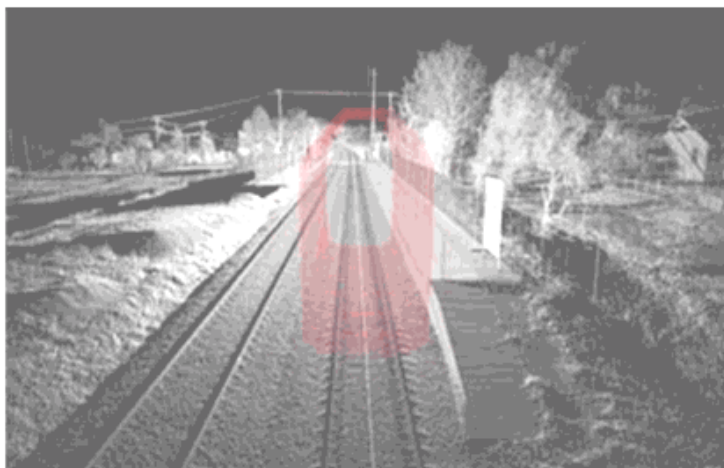


Рисунок 6. Транспортный коридор по данным МЛС

Захваченное облако точек 3D [27] можно использовать для получения информации о разрешении из оцифрованного железнодорожного коридора

Измерение зазоров является ключевым требованием в управлении железнодорожными системами. Через облако точек можно запустить предварительно определенный зазор или профиль, и все вторжения в этот датчик могут быть задокументированы и выделены. Эти вторжения могут затем отображаться в профиле и снабжаться примечаниями с расстояниями до центральной линии рельса (рис.7). При этом возникает возможность получения информационной конструкции, которую называют дополненной реальностью [28, 29]. В сфере РЖД это термин не применяют, хотя сам продукт используют.

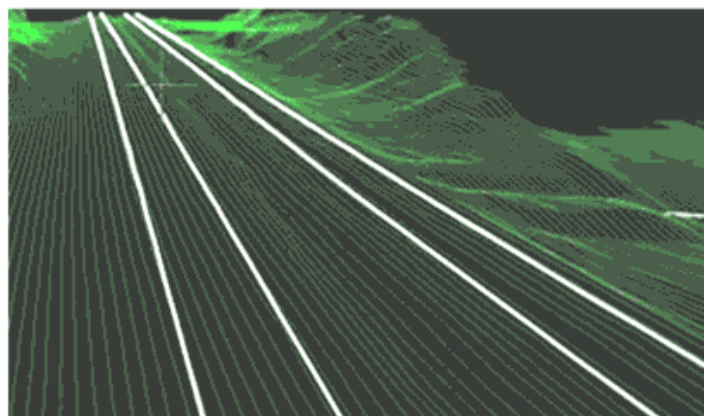


Рисунок 7. Дополненная реальность, построения по результатам МЛС

Дополненная реальность является альтернативой виртуальной реальности [30, 31]. Она представляет собой изображение, в котором пространственная модель, полученная расчетами из геоданных, совмещена с фотографиями реальности. Профили зазора могут быть статическими для определения максимально широкой области профиля поезда или, в качестве альтернативы, могут быть кинематическими и настраиваться в процессе измерения. Это учитывает динамику подвижного состава с учетом радиуса и уклона пути. Однако с точки зрения геодезического обеспечения можно утверждать, что МЛС является видом геодезического обеспечения, которое позволяет создавать дополненную реальность.

Заключение.

Проведенный анализ показывает, что геодезическое обеспечение является многоуровневой информационной конструкцией [32, 33]. Простые геодезические работы дают возможность реализации технологий спутниковых измерений. На следующем этапе спутниковые измерения переходят в разряд сложного геодезического обеспечения. Технологии спутниковых измерений в сочетании с сетями создают технологию мобильного лазерного сканирования, которая по отношению к ряду работ играет роль еще более сложного геодезического обеспечения. Это говорит о том, что геодезическое обеспечение является многоуровневой информационной конструкцией. Сложность уровня геодезического обеспечения возрастает в соответствии с решаемыми задачами и средствами измерений. Геодезическое обеспечение выполняет роль ресурса для поддерживаемых технологий. Развитие ресурса технологии увеличивает ее жизненный цикл. Геодезическое обеспечение в мобильном лазерном сканировании играет важнейшую роль. С точки зрения геоинформатики МЛС являются частью интегрированной геоинформационной технологии. Это обусловлено тем, что геоинформационная технология в полной мере дает исчерпывающую информацию относительно результатов МЛС. Система геодезического обеспечения МЛС может быть рассмотрена как система поддержки управления движением на данном участке. Геодезическое обеспечение в широком смысле включает построение цифровых моделей трассы и местности. Оно также способствует интегральному [35] и интеллектуальному управлению [36,37]. Основой пространственного анализа МЛС являются геоданные. Поэтому геодезическое обеспечение МЛС есть комплекс, включающий: установку базовых станций, разбивку опорной геодезической сети, измерение и уравнивание, цифровое моделирование трассы и местности, пространственный анализ и использование геоданных.

Список литературы

1. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение формирования охранных зон линейных объектов// Славянский форум. -2018. – 1(19). - С. 42-48.
2. Мирзоева А.Э., Овчинникова А.С., Особенности геодезического обеспечения кадастровой деятельности в Российской Федерации // Геодезия и картография. – 2017. – Т. 78. – № 6. – С. 49-54.
3. Майоров А. А., Савиных В. П., Цветков В. Я. Геодезическое космическое обеспечение России //Науки о Земле. – 2012. – №. 4. – С. 023-027.
4. Куприянов А. О. Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей //Науки о земле. – 2013. – №. 1. – С.032-038.
5. Ознамец В.В. Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий. - М.: МАКС Пресс, 2018. – 134 с.

6. Ознамец В.В., Цветков В.Я. Координатное геодезическое обеспечение: связь между приведенной и геодезической широтой // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2018.- № 6. – С.8-14.
7. Shaytura S. V. Spatial information mining //European Journal of Technology and Design. – 2016. – №. 2. – С. 63-71.
8. Бахарева Н.А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.39-42.
9. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). С. 2386-2392.
10. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.69-79.
11. Буравцев А.В. Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -3(3). – С.48-58.
12. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. Series A. 2014, Vol.(76), № 6-1, p. 1059-1065.
13. Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker, Inc., 2004.
14. Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. Annals of forest science, 68(5), 959-974.
15. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.62-68.
16. Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С. 43-53.
17. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. - №5. - С.4- 11.
18. Дышленко С. Г. Ситуационный анализ в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.26-33.
19. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С.2-10.
20. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.16-24.
21. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКНИП (ОНТА)-01-271-03. -М.: ЦНИИГАиК, 2003.
22. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей: - М.: Картгеоцентр - Геодезиздат, 1993.
23. Hubbard T. D., RD Combellick R. A. High-resolution lidar data for Alaska infrastructure corridors. – 2011.
24. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С. 52.
25. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле.. - 2012. - №4. - С.54-58.
26. Vosselman G. et al. Recognising structure in laser scanner point clouds //International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – 2004. – V. 46. – №. 8. – p. 33-38.

27. Vosselman G. et al. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans //International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences. – 2001. – V. 34. – №. 3/W4. – p.37-44.
28. Дышленко С.Г., Цветков В.Я. Развитие дополненной реальности // Науки о Земле. – 2017. - № 1. - С.69-78.
29. Яковлев Б. С., Пустов С. И. Классификация и перспективные направления использования технологии дополненной реальности //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №. 3. – С.484-492.
30. V. Ya. Tsvetkov. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, Vol.(11), Is. 1, pp. 35-44. DOI: 10.13187/ejtd.2016.11.35 www.ejournal4.com.
31. Burdea G. C., Coiffet P. Virtual reality technology. – John Wiley & Sons, 2003.
32. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014, Vol (5), № 3. - p. 147-152.
33. I. N. Rozenberg. Information Construction and Information Units in the Management of Transport Systems // European Journal of Technology and Design, 2016, Vol.(12), Is. 2, pp. 54-62, DOI: 10.13187/ejtd.2016.12.54 www.ejournal4.com
34. V. Ya. Tsvetkov, Resource Method of Information System Life Cycle Estimation // European Journal of Technology and Design . - 2014. - Vol.(4), № 2, pp.86-91.
35. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
36. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.34- 42.
37. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 3(7). – С.64-70.

УДК: 334.71: 656: 338.245

Применение сетей Петри при управлении движением

- Дзюба Ю.В.** Руководитель Центра стратегического анализа и развития, АО «НИИАС», E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Москва, Россия
- Павловский А. А.** Заместитель Генерального директора, АО «НИИАС», E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье анализируется управление транспортом на основе метода сетей Петри. Раскрывается содержание сетей Петри с позиций моделирования и управления. Показано, что сети Петри можно применять при управлении дискретными объектами. такими объектами являются объекты железнодорожного транспорта, в частности поезда. Показано различие между последовательным управлением и параллельным управлением. Статья доказывает, что сети Петри можно использовать при многоцелевом управлении транспортом и транспортной инфраструктурой. Приведено практическое моделирование ситуации приема поезда на станционный путь и моделирование параллельного движения поездов. Алгоритмы на основе сети Петри можно использовать в автоматизированных и кибер-физических системах.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, сети Петри, ситуационное управление, многоцелевое управление, параллельное движение.

Application of Petri nets in control of mobile objects

- Dzuba Yu.V.** Head of Strategic analysis and development center, JSC «NIIAS», E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Moscow, Russia
- Pavlovskiy A.A.** Deputy Director, JSC «NIIAS», E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In article is discussed The article analyses transportation management system using Petri net method. The content of Petri net is observed from the modelling and management perspectives. It is shown that Petri net can be used for discrete objects management. Such objects include rail transport facilities in particular , trains. The article shows the difference between sequence-type and parallel control. It is proved that Petri nets can be used for transportation and transport infrastructure management. The article demonstrates practical situation modelling of train acceptance on inbound yard track and modelling of parallel train traffic. Algorithm on Petri net basis can be used in automated systems and cyber-physical systems.
- Keywords:** transport, management, Petri net, situation modelling, multipurpose management, parallel traffic.

Введение.

Теория сетей Петри первоначально использовалась для управления дискретными информационными процессами [1, 2]. Как показал опыт развития логистики [3], в современном управлении движением информационные потоки и материальные потоки тесно связаны. Это делает возможным междисциплинарный перенос методов информационного управления на методы управления материальными потоками или дискретными объектами. Такие дискретные

объекты широко представлены на железных дорогах, что дает возможность применять сети Петри для моделирования ситуаций на железных дорогах [4, 5]. В работе [4] рассмотрено применение сетей Петри для управления дискретными потоками транспортных объектов. В работе [5] рассмотрен пример применения сетей Петри для управления информационными потоками (документооборот) для последующего применения в управлении дискретными потоками. Каждый поезд можно рассматривать как дискретный объект. Теория сетей Петри делает возможным моделирование управляемого объекта или потока графическим и аналитическим представлением в виде сети. Это особенно удобно для сетевых объектов, к числу которых принадлежит транспортная сеть. Теория сетей Петри представляет собой механизм графической формализации процесса моделирования дискретных процессов. Сети Петри впервые описаны Карлом Петри в 1962 году [6]. Они связаны со взаимодействием событий в параллельных асинхронных дискретных системах, которые имеют сложную динамическую структуру.

Применение сетей Петри возможно для систем разного уровня сложности, например для информационных процессов, включая информационные взаимодействия. Информационные взаимодействия [7] описываются просто, если указывать не непосредственные связи между событиями, а те информационные ситуации [8, 9], при которых данное событие может реализоваться. Информационные ситуации делятся на локальные и глобальные. Глобальные ситуации в системе формируются с помощью локальных операций, называемых условиями реализации событий. Предусловия события разрешают реализоваться некоторому событию, а реализация события изменяет некоторые условия и создает постусловия события. В этом механизме события взаимодействуют с условиями, а условия взаимодействуют с событиями. Такая простая модель позволяет для решения задач и моделирования представить структуры систем из элементов двух типов – событий и условий. Удобный формальный механизм для этого, предложенный Петри, был развит А. Холтом, который назвал его сетью Петри [10]. В работе [11] сеть Петри связана с тензорным анализом. В данной работе показан более подход применения данного формализма для моделирования дискретных задач.

Формализм сетей Петри.

Будем исходить из того, что данный подход используется для рассуждения [12], анализа и интегрального управления [13]. Этим существенно отличается данный подход от подхода в вычислительной технике, где основная задача – вычисление и синхронизация вычислений. В этой области сеть Петри – параметрическая модель. В области управления транспортом сеть Петри описывает пространственную модель и пространственную информационную ситуацию [14, 15].

Сеть Петри называют граф, имеющий два типа вершин: *позиции* и *переходы*. Можно сказать, что данная модель имеет три типа информационных единиц. [17, 18]. Дуги, выходящие из позиций, могут идти только в переходы, а дуги, выходящие из переходов, могут идти только в позиции. Множество всех позиций сети есть множество $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, а множество всех переходов – множество $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, $P \cap T = \emptyset$. Мощность множества $|P| = n$, а мощность множества $|T| = m$. Произвольный элемент P обозначается p_i , $i = 1, \dots, n$, а произвольный элемент T – t_j , $j = 1, \dots, m$.

На графе позиции изображаются кругами, а переходы – линиями. На рисунке 1 приведен пример графического представления сети Петри.

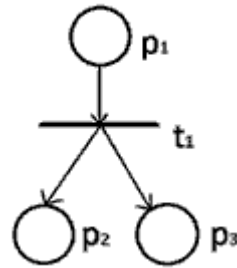


Рисунок 1. Простейшая сеть Петри

У каждого перехода есть входные и выходные позиции. Входными позициями перехода будем называть позиции, ребра из которых ведут в переход, а выходными позициями перехода – позиции, к которым ребра выходят из перехода. Опишем входную функцию $I: T \rightarrow P$, такую что, $p_i \in I(t_j)$, если p_i является входной позицией перехода t_j .

Опишем выходную функцию $O: T \rightarrow P$, такую, что $p_i \in O(t_j)$, если p_i является выходной позицией перехода t_j . Тогда любую сеть Петри можно описать как $S = (P, T, I, O)$, где: P – множество позиций; T – множество переходов; I – множество входных функций; O – множество выходных функций.

В позициях могут находиться маркеры. Состояние, в котором может находиться сеть Петри, называется маркировкой – это присвоение меток позициям сети Петри. На графе сети Петри метки изображаются точкой в кружке, представляющем позицию сети Петри.

Определение. Маркировка определяется как n -вектор $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, где $n = |P|$, $n \geq 0$, $\mu_i \in \mathbb{N}$, $i = 1, 2, \dots, n$. Вектор μ определяет количество маркеров в p_i -ой позиции. Сеть, в позициях которой есть метки, называется маркированной.

Определение. Маркированная сеть Петри $M = (S, \mu)$ есть совокупность структуры сети Петри $S = (P, T, I, O)$ и маркировки μ и может быть записана в виде $M = (P, T, I, O, \mu)$. Так, для сети Петри на рисунке 2: $\mu = (2, 0, 1)$.

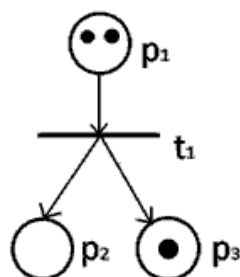


Рисунок 2. Маркированная сеть Петри. Маркировка (2, 0, 1)

Выполнением сети Петри управляют количество и распределение меток в позициях сети. Сеть Петри выполняется за счет срабатывания переходов. Переход может сработать только в том случае, когда он возбужден (разрешен). Переход называется разрешенным, если каждая из его входных позиций имеет число меток, не меньше, чем число дуг из позиции в переход. Кратные метки необходимы для кратных входных дуг. Метки во входных позициях, разрешающие переход, назовем разрешающими метками. Кратные метки создаются для кратных выходных дуг. Переход срабатывает: метки из его входных позиций удаляются, образовывается по одной новой метке для каждой дуги в его выходных позициях. Рассмотрим пример на рисунках 3,4.

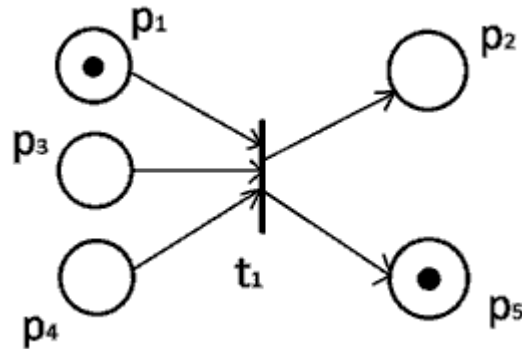


Рисунок 3. Маркированная сеть Петри. Переход t_1 не разрешен

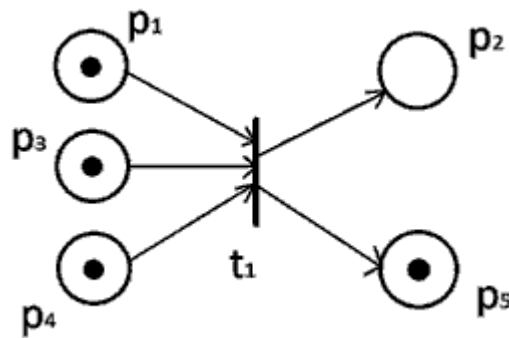


Рисунок 4. Маркированная сеть Петри. Переход t_1 разрешен

Запуск перехода заменяет маркировку μ сети Петри на новую маркировку μ' . При срабатывании перехода количество меток в каждой позиции всегда остается неотрицательным, так как можно запустить только разрешенный переход. Запуск перехода никогда не удалит метку, отсутствующую во входной позиции. Если какая-либо входная позиция перехода не обладает достаточным количеством меток, то переход не разрешен и не сработает. Заметим также, что сеть Петри обладает свойством недетерминированности, т.е. мы не знаем, какой из разрешенных переходов сработает. Срабатывания переходов могут осуществляться до тех пор, пока существует хотя бы один разрешенный переход. Когда не останется ни одного разрешенного перехода, выполнение прекращается.

Рассмотрим маркированную сеть Петри на рисунке 5 для анализа срабатывания переходов. Начальная маркировка $\mu_0 = (1,0,0,1,1,1,0)$. При такой маркировке разрешен только переход t_1 .

Переход t_2 не разрешен, так как ни позиция p_2 , ни позиция p_3 , являющиеся входами перехода t_2 не содержат ни одного маркера. Переход t_3 не разрешен, т.к. входная позиция p_3 не содержит маркера.

Переход t_4 тоже не разрешен, не смотря на то, что обе входные позиции содержат по одной метке – причина в том, что позиция p_5 и переход t_4 соединены двумя дугами, значит, для срабатывания перехода в позиции p_5 должно быть две метки. При срабатывании перехода t_1 получим маркировку $\mu_1 = (0,1,1,2,1,1,0)$ (Рис. 6). Теперь разрешены переходы t_2 и t_3 . Сработать может любой из них, рассмотрим оба варианта.

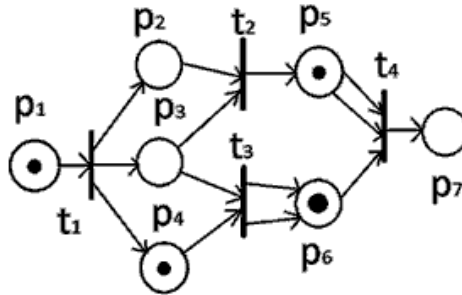


Рисунок 5. Маркированная сеть. Переход t_1 разрешен

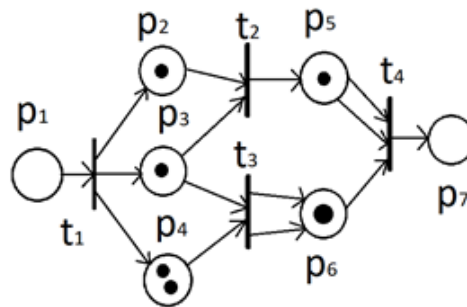


Рисунок 6. Маркированная сеть. Переходы t_2 и t_3 разрешены

Предположим, что работает переход t_2 , тогда метки из позиций p_2 и p_3 удаляются и добавляется одна метка в выходную позицию p_5 . Полученная маркировка $\mu_2 = (0,0,0,2,2,1,0)$ (Рис. 7).

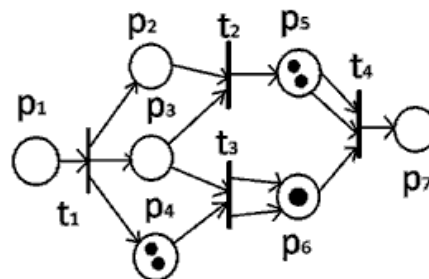


Рисунок 7. Маркированная сеть Петри после срабатывания перехода t_2

Теперь переход t_4 разрешен. Результатом срабатывания перехода t_4 является маркировка $\mu_3 = (0,0,0,2,0,0,1)$ (Рис. 8).

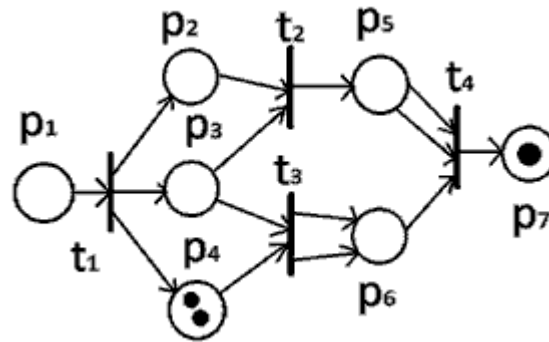


Рисунок 8. Маркированная сеть Петри. Переход от маркировки μ_2 к маркировке μ_3

Предположим, что события сложились иначе, и в маркированной сети Петри на рисунке 6 сработал переход t_3 . Тогда из позиций p_3 и p_4 удалятся по одной метке, а в выходной позиции p_6 появится 2 метки. Полученная маркировка $\mu_4 = (0,1,0,0,1,3,0)$ (Рис. 9).

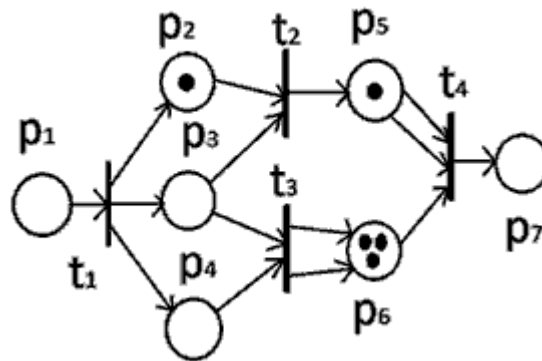


Рисунок 9. Маркированная сеть Петри после срабатывания перехода t_3

Будем считать, что нам повезло, потому что выход t_4 вновь разрешен. После срабатывания перехода t_4 получим маркировку $\mu_5 = (0,1,0,0,0,2,1)$ (Рис. 10).

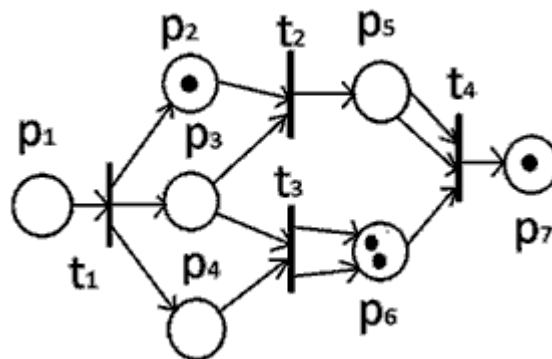


Рисунок 10. Маркированная сеть Петри. Переход от маркировки μ_3 к маркировке μ_4

Состояние сети Петри определяется ее маркировкой. Срабатывание перехода изменяет состояние сети Петри изменяя маркировки сети Петри. Пространство состояний сети Петри, состоящей из n позиций, есть множество всех маркировок, т.е. N^n .

Введем функцию, определяющую изменение в состоянии, вызванное срабатыванием перехода - $b(\mu, t_j)$, которую назовем *функцией следующего состояния*. Когда эта функция применяется к маркировке μ (состоянию) и переходу t_j , она образует новую маркировку (состояние), которая получается при запуске перехода t_j в маркировке μ . Т.к. переход t_j может сработать только когда он разрешен, то функция $b(\mu, t_j)$ не определена, если t_j не разрешен в маркировке μ . Если же переход t_j разрешен, то $b(\mu, t_j) = \mu'$, где μ' - маркировка, полученная в результате удаления меток из входных позиций перехода t_j и добавления меток в выходные позиции перехода t_j .

Пусть некоторый переход в маркировке μ разрешен и, следовательно, может сработать. Результат срабатывания перехода в маркировке μ - новая маркировка μ' . Говорят, что μ' является *непосредственно достижимой* из маркировки μ , если существует переход $t_j \in T$, такой, что $b(\mu, t_j) = \mu'$.

Определение. Для сети Петри $S = (P, T, I, O, \mu)$ маркировка μ' называется непосредственно достижимой из μ , если существует переход $t_j \in T$, такой, что $b(\mu, t_j) = \mu'$. Тогда определим множество всех достижимых маркировок μ' , достижимых из μ .

Определение. Множество достижимости $R(S, \mu)$ для сети Петри $S = (P, T, I, O, \mu)$ есть наименьшее множество маркировок, определенных следующим образом:

$$\mu \in R(S, \mu);$$

Если $\mu' \in R(S, \mu)$ и $\mu'' \in b(\mu', t_j)$ для некоторого $t_j \in T$, то $\mu'' \in R(S, \mu)$.

Рассмотрим сеть Петри $S = (P, T, I, O, \mu_0)$, $\mu_0 = (1, 1, 0, 0)$ (Рис. 11), тогда множество достижимости $R(S, \mu_0)$ включает в себя две маркировки:

$\mu_1 = (0, 1, 1, 0)$ – достигается при срабатывании перехода t_1 ;

$\mu_2 = (0, 0, 0, 1)$ – достигается из маркировки μ_1 путем срабатывания перехода t_2 .

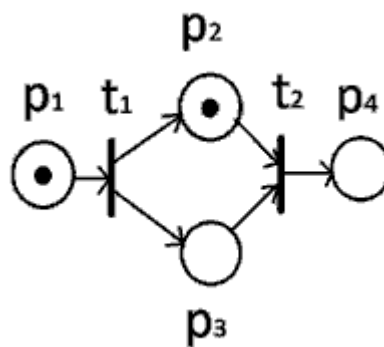


Рисунок 11. Маркированная сеть Петри. Маркировка $\mu_0 = (1,1,0,0)$

Формализация алгоритма моделирования движения железнодорожного транспорта при помощи сетей Петри.

В настоящее время делаются попытки применять механизм Сетей Петри для управления транспортом [18, 19]. По аналогии с работой [19], которая направлена на анализ и управление автотранспорта, можно использовать этот же механизм для железнодорожного транспорта. Постановка задачи такова - алгоритм движения включает три варианта:

- алгоритм обычного последовательного движения;
- алгоритм выполнения маневра перестроения;
- алгоритм выполнения маневра обгона.

Напрашивается простая аналогия с движением поездов или иных средств. Немаркированная вершина - свободный участок пути. Маркированная вершина означает наличие поезда на данном участке. Проведем формализацию алгоритма движения транспорта с применением сетей Петри. Следует начать с определения информационных ситуаций, которые происходят с поездом при подъезде к станции. *Пункт обслуживания*

Рассмотрим фрагмент сети Петри, иллюстрирующий некий пункт обслуживания, начальная маркировка $\mu_0 = (1, 0, 1, 0)$ (Рис. 12). Здесь p_2 – место обслуживания, p_1 – объект обслуживания, а p_3 – сигнал разрешения на обслуживание. Для большей наглядности представим эту сеть как модель поезд — станционный путь.

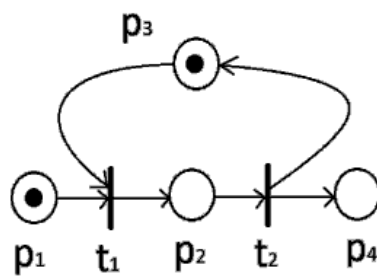


Рисунок 12. 1Фрагмент сети Петри, интерпретирующий некий пункт обслуживания

Обозначим входную позицию p_1 как поезда, пришедшего к станции y : если p_1 помечена — поезд пришел и ждет разрешения войти. Разрешение войти станционный путь, сигнал, что путь свободен — позиция p_3 – если она помечена — вход разрешен. Обе входные позиции перехода t_1 разрешены — поезд перемещается станционный путь — метка перемещается в позицию p_2 , маркировка $\mu_1 = (0, 1, 0, 0)$ (Рис. 13).

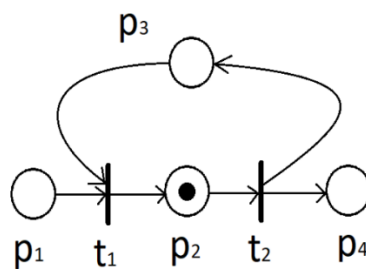


Рисунок 13. 2Фрагмент сети Петри, переход от маркировки μ_0 к маркировке μ_1

Позиция p_2 помечена — поезд на станционном пути. Допустим, что сработал некий переход t_0 , для которого p_1 является выходной позицией, значит в ней появилась метка — пришел новый поезд, маркировка $\mu_3 = (1, 1, 0, 0)$. Но станционный путь не сможет попасть другой поезд, пока не выйдет предыдущий, т.к. вход запрещен - позиция p_3 сможет получить маркер только после срабатывания перехода t_2 (Рис. 14).

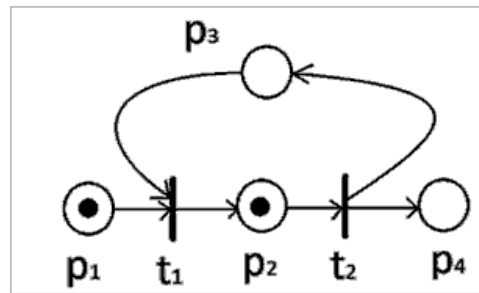


Рисунок 14. Фрагмент сети Петри, переход t_1 не разрешен

После срабатывания перехода t_2 метки перемещаются в выходные позиции p_3 и p_4 — поезд вышел, вход на станционный путь снова разрешен, маркировка сети $\mu_4 = (1, 0, 1, 1)$ (Рис. 15).

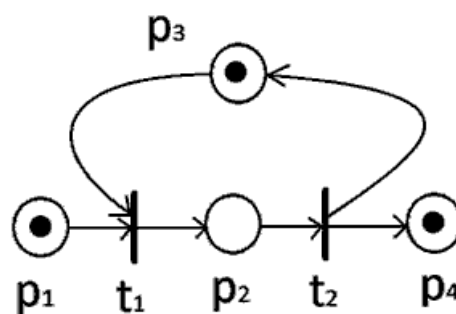


Рисунок 15. Фрагмент сети Петри, переход от маркировки μ_3 к маркировке μ_4

Рассмотрим следующую интерпретацию. На реальной станции существует несколько параллельных путей, в силу чего ситуация должна быть рассмотрена как возможность параллельных входов выходов.

Параллельный запуск. Сеть Петри на рисунке 16 изображает запуск двух параллельных процессов или движения поездов по параллельным путям. При срабатывании перехода t_1 метки перейдут в позиции p_2 и p_3 — происходит инициализация двух процессов, далее в произвольном порядке будут срабатывать переходы $t_2 - t_{m-1}$. Синхронизация параллельных процессов — срабатывание перехода t_m возможно только тогда, когда оба параллельных процесса завершат свое выполнение — позиции p_{n-2} и p_{n-1} будут помечены (рисунки 17-20).

Синхронизация параллельных процессов означает параллельное согласованное движение поездов по параллельным путям.

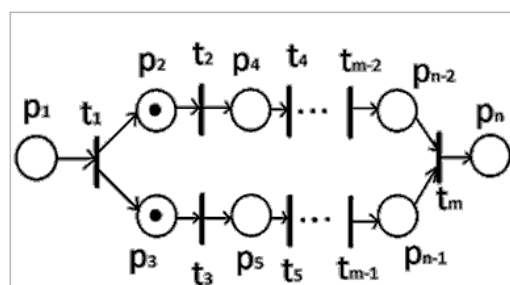


Рисунок 16. 3Фрагмент сети Петри, схема параллельных процессов

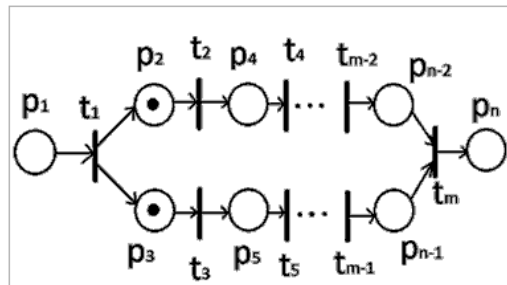


Рисунок 17. Инициализация параллельных процессов

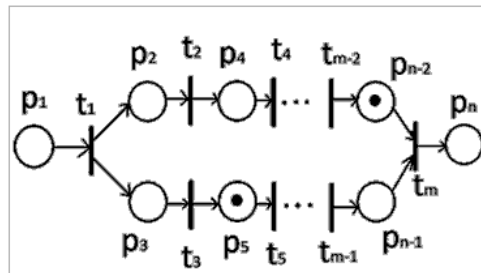


Рисунок 18. Независимое протекание параллельных процессов

Схемы на рис. 16 и рис.17 характеризуют синхронное движение поездов. Схема на рис. 18 характеризует несинхронное движение.

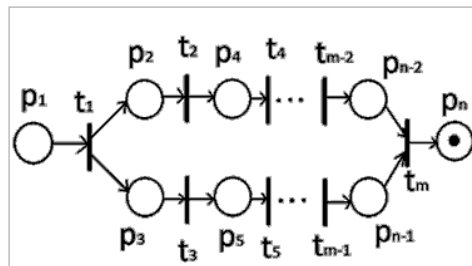


Рисунок 19. Синхронизация параллельных процессов

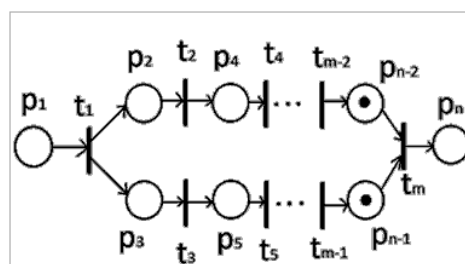


Рисунок 20. Выход из блока параллельных процессов

Схема на рис.19 может характеризовать формирование состава. Схема на рис.20 характеризует завершение формирования состава. Таким образом, сеть Петри позволяет полностью моделировать ситуацию на станционных путях и контролировать ее с помощью эффективного механизма.

Сеть Петри как информационная ситуация.

Автоматизированное и интеллектуальное управление требует создания новых методов и алгоритмов для решения постоянно усложняющихся задач управления. В качестве основы

анализа целесообразно использовать модель информационной ситуации [8, 9], которая фиксирует положение объекта в пространстве и его состояние. Одним из методов описания информационной ситуации является сеть Петри. Общая схема сети Петри отражает ситуацию. Маркировка показывает состояние движения в зоне движения. Элементы сети представляют собой информационные единицы, которые имеют свой язык описания и свой синтаксис.

Сеть Петри позволяет управлять несколькими объектами, в силу чего такая модель управления является многоцелевой моделью [20, 21] управления подвижными объектами. При оптимизации движения на борту подвижного средства важны простые алгоритмы анализа информационной ситуации, состояния и выработки следующего шага управления движением. Такие алгоритмы реализуемы в киберфизических системах [22]. Как модель, сеть Петри отражает состояния и переходы, она отражает только целесущественные воздействия. В этих условиях построение модели перемещения транспортных средств возможно пошаговым методом. Это позволяет относить механизм к дискретным системам управления. В качестве основы анализа такой ситуации и получения пошагового решения движения в транспортной сети [23] можно использовать взвешенные графы. Технически такие решения можно получать с применением искусственных нейронных сетей или интеллектуальных мультиагентных систем. Кроме того, по мере накопления опыта, можно использовать матричные наборы стереотипных решений [24] и тогда полиматрица может давать эффективное решение при многоцелевом управлении. Пока не исследован широкий круг вопросов в этой области. Это требует развития теории многоцелевого управления. Особо важны развития методов, направленных на расширение многоцелевой модели. Требуется развитие теории нелинейных систем с адаптивной перенастройкой алгоритмов в режиме реального времени.

Заключение.

Формализация алгоритма моделирования движения железнодорожного транспорта с помощью сетей Петри позволяет построить программный алгоритм для его обработки как в центре управления, так и на борту подвижного объекта. Это создает возможность управления и контроля движения независимо. Предложенный формальный алгоритм позволяет наглядно представить возможные состояния транспортного средства с помощью сети Петри и разметок. Использование алгоритмов перестроения и обгона в качестве активаторов соответствующих переходов, позволяет полностью определить движение транспортного средства, его пространственную конфигурацию и состояние других участников движения. Недостатком данного варианта моделирования является не учет стохастических воздействий на объект управления. Это является этапом моделирования более высокого уровня.

Список литературы

1. Peterson J. L. Petri nets // Computing Surveys, Vol 9, No. 3, September 1977. - pp.223-252.
2. Ghanem N. et al. Representation and recognition of events in surveillance video using petri nets //Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004. CVPRW'04. Conference on. – IEEE, 2004. – С. 112-114.
3. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт -2011. - №4. – С.38-40.
4. Потехин А. И., Браништов С. А., Кузнецов С. К. Дискретно-событийные модели железнодорожной сети //Проблемы управления. – 2014. – №. 1. – С.73-81.

5. Арипов Н. М., Баратов Д. Х. Перспективы развития высокоскоростного движения и вопросы внедрения электронного оборота технической документации на железных дорогах Узбекистана // Инновационный транспорт. – 2016. – №. 2. – С. 10-14.

6. Petri, C. (1962), Kommunikation mit Automaten, PhD thesis, University of Bonn, Germany. (In German).

7. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European Researcher, 2013, Vol.(62), № 11-1 , p.2573- 2577.

8. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.16-24.

9. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p.2166- 2170.

10. Meldman J. A., Holt A. W. Petri nets and legal systems //Jurimetrics journal. – 1971. – С. 65-75.

11. Кулагин В.П., Цветков В.Я. Философия сетей Петри // Российский технологический журнал. - 2014 - № 4 (5) - С.18-38.

12. Ghanem N. et al. Representation and recognition of events in surveillance video using petri nets //Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004. CVPRW'04. Conference on. – IEEE, 2004. – С. 112-112.

13. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.

14. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – С.198-203.

15. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.16-24.

16. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice, 2014, Vol.(1), № 1. p57-64.

17. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher, 2014, Vol.(86), № 11/1, pp. 1894-1900.

18. Ершов Н. М. Задача распределения нагрузки при параллельной реализации расширенных сетей Петри в задаче микроскопического моделирования дорожного движения //Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров. – 2014. – С. 66-70.

19. Парамонов А. М., Томашевский В. Н. Формализация алгоритма моделирования движения автомобильного дорожного транспорта. // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка – 2008.- №48 . - С.7-12.

20. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.

21. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.

22. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.

23. Дышленко С.Г. Модели построения маршрутов в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.48 -56.

24. Цветков В. Я., Дзюба Ю. В. Стереотипное управление // Государственный советник. – 2018. - №2. – С.34-38.

УДК: 334.71: 656: 338.245

Вероятностное ситуационное управление на транспорте

Охотников А.Л. Заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития АО «НИИАС», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье описан новый метод вероятностного ситуационного управления. Модель управления строится на предположении наличия достоверной и ошибочной информации. Практическое приложение описано на основе применения теории Демпстера-Шафера. Статья вводит новое понятие - вероятностная ситуационная модель. Эта модель использует следующие вероятностные характеристики: вероятность устойчивости обнаружения события, вероятность появления (рождения) события, вероятность определения события, вероятность беспорядка. Вероятность существования объекта оценивается с помощью формулы Байеса. Управление в такой ситуации строится на методах комбинаторики или дискретной математики. Разработанная модель относится к советуемому экспертному методу, она применима при экспертной оценке, управлении транспортным средством, а также в транспортных кибер-физических системах.

Ключевые слова: транспорт, управление, транспортные кибер-физические системы, вероятностная ситуация, ситуационное управление, теория Демпстера-Шафера.

Probabilistic situational management on transport

Okhotnikov A.L. Deputy Head, Center for strategic analysis and development, JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

Annotation. In article is described a new method of probabilistic situational management. The management model is based on the assumption of reliable and erroneous information. The practical application is based on the theory of Dempster - Shafer. The article introduces a new concept of probabilistic situational model, this model uses the following probabilistic characteristics of existence: persistence probability, birth probability, detection probability, clutter probability. The probability of the existence of the object is estimated using the Bayes formula. Control in this situation is based on the methods of combinatorics or discrete mathematics. The developed model belongs to the field of expert recommendation methods, it is applicable in expert evaluation, as well as in transport cyber physical systems.

Keywords: transport, management, transport cyber-physical systems, probabilistic situation, situational management, Dempster-Shafer theory.

Введение

В данной статье развиваются идеи, изложенные в работе [1]. При переходе от централизованного управления к ситуационному управлению [2- 4] и затем к кибер-

физическому [5], необходима разработка алгоритмов, осуществляющих управление и оценку качества принимаемых управленческих решений. В простейшем приближении любое управление, включая управление транспортом, связано с выбором альтернативных ситуаций. Однако выбор альтернатив не должен быть бессистемным. Информационная ситуация при определенных условиях может быть рассмотрена как система [6]. Это обуславливает применение системного подхода при анализе альтернатив, а также их систематизации [7]. Систематизация альтернатив включает комплементарный анализ [8, 9], их параметров. С позиций логики [10], управление представляет собой логическую цепочку или логическое следование. Выбор альтернативных ситуаций всегда сопровождается наличием организационной [11], технологической [12] и информационной неопределенности [13, 14].

Это обуславливает разработку методов и алгоритмов управления, учитывающих неопределенность и многокритериальность, когда принятие решения сводится к выбору критерия оптимальности. При организационном и автоматизированном управлении уместно говорить о методах управления. При транспортном кибер-физическом управлении [15, 16] говорят, в первую очередь, об алгоритмах и, во вторую, о методах управления. При интеллектуальном управлении [17] необходимо говорить о правилах, алгоритмах и методах управления.

Информационная ситуация [18, 19] - это модель, объединяющая субъект управления (решатель), объект управления (транспорт) и семантическое окружение объекта управления [20], влияющее на его состояние. Отсюда ситуационное управление является звеном, соединяющим автоматизированное, кибер-физическое и интеллектуальное управление. В данной статье представлены алгоритмы расчета вероятности существования (определения) объекта (препятствия), которые применяются при организации управления транспортным средством (ТС) без человека с использованием «технического зрения». Представлен алгоритм расчета вероятности существования на уровне датчиков. Показан механизм слияния вероятностей существования от нескольких датчиков. На прикладном уровне вероятность существования может использоваться в алгоритмах интерпретации [21] ситуации для выполнения различных функций для поддержки принятия решений, например, для помощи машинисту или при управлении ТС без машиниста.

Вероятностная ситуация

В современном мире все больше стран и компаний занимаются проблемой беспилотного управления ТС. Для этого применяют технические средства, которые позволяют отслеживать препятствия на пути ТС: радары, лидары, стереокамеры, УЗ датчики, камеры с ИК прожектором. Все эти средства позволяют построить систему технического зрения для безопасного управления ТС и определения препятствий на пути ТС. Таким образом, одной из главных задач при управлении ТС является своевременное и точное распознавание объектов-препятствий, а значит важно иметь реальную оценку наличия препятствия и учитывать ковариацию (дисперсию) ошибок при принятии оптимального решения. В реальных условиях данные от датчиков киберфизических систем или иных транспортных систем далеки от совершенства, кроме того, возможны ложные измерения датчиков. Ложные показания датчиков не представляют интереса для специального их применения и не позволяют определить реальную ситуацию при управлении ТС.

Ложные срабатывания датчиков часто зависят от внешних условий (туман, дождь, снег, жара, холод), времени суток (день, ночь) и расстояния до объекта (для автомобиля – 50-100 м,

для локомотива – 200-500 м). Ложное измерение датчика, которое интерпретируется алгоритмами обнаружения объекта как реальное измерение, называется ложным срабатыванием. Наоборот, измерение датчика которое фактически приходит от существующего реального объекта, например, препятствия, называют истинным срабатыванием.

При применении датчиков в целях управления ТС, они генерируют множество истинных и ложных срабатываний, например, от деревьев, кустарников, ограждений и других источников. Поскольку они не являются релевантными объектами движения для управляющей системы при управлении движением ТС без машиниста, необходимо определять и отфильтровывать эти внешние объекты, как белый шум. Это особенно важно при управлении высокоскоростным транспортом, при его интегральном управлении [22].

Является ли обнаруженный объект реальным и релевантным или ложным, определяется достоверностью информации о нем. Это является показателем качества принимаемых решений. Наличие неопределенности обуславливает введение характеристики *вероятности существования* как средства измерения обнаруживаемых объектов, препятствий для ТС. Наличие вероятности существования объекта дает основание ввести понятие *вероятностного ситуационного управления*, для того чтобы отличить его от детерминированного ситуационного управления.

В теории Демпстера-Шафера (ТДШ) [1] это называют функцией веры (доверия), которая представляет множество информации об объекте. Когда источник информации признается надежным, можно использовать конъюнктивные правила агрегирования, которые смогут снизить неопределенность.

Основная идея вероятностного ситуационного управления состоит в том, что каждому обнаруженному объекту присваивается вероятность, которая определяет существование и достоверность обнаруженного объекта. Используя вероятность существования, случайного обнаружения, таких объектов как, например, деревья и кустарники, их можно отфильтровать с помощью установки порога (предельного значения).

Традиционные методы измерения качества распознавания объекта выполняются с использованием непрерывной оценки, при которой показатель качества (достоверности) объекта увеличивается, чем чаще он наблюдается [23]. Преимущества использования *вероятности существования* заключаются в том, что ее можно моделировать различными способами с использованием различных вероятностных методов, что позволяет получить единое общее представление о качестве объекта, даже если методы и способы расчета качества могут отличаться у разных датчиков.

Первичная обработка данных

При начале движения ТС датчики начинают сканировать объекты, которые находятся рядом с ТС (авто) или по ходу его движения (локомотив) и получают информацию об этих объектах. Первичная обработка данных от объектов это обработка на уровне датчиков (низовой уровень автоматике). Существует много методов для получения вероятности существования и распознавания объектов на уровне получения информации только от датчиков. Популярным подходом является использование алгоритма интегрированных вероятностей взаимосвязанных данных (IPDA- Integrated Probabilistic Data Association) [24, 25], где оценка существования данных интегрируется с алгоритмом вероятностной ассоциации данных. Этот подход был позднее развит в алгоритме общих интегрированных вероятностей взаимосвязанных данных (JIPDA-Joint Integrated Probabilistic Data Association) [26]. Для восприятия транспортной среды, IPDA [27] и JIPDA [28] были достаточно широко использованы.

Другой подход заключается в более свободном отделении оценки вероятности существования объекта от оценки его состояния, где может использоваться метод сопоставления данных «один к одному», такой как *метод общего ближайшего соседа*. Как показывает опыт мультиагентных систем [29], алгоритм ближайшего соседа должен дополняться групповым алгоритмом поведения при функционировании системы подвижных объектов.

Популярные методы для более точного расчета вероятности существования основаны на байесовских формулировках. Мера доверия с использованием обобщенной оценки Байеса может применяться для систем управления при движении без машиниста [30].

Далее представлен байесовский подход к расчету вероятности существования объекта в слабо определяемом виде (в условиях неопределённости) от оценки его состояния, где некоторые аспекты оценки состояния используются для улучшения *вероятности существования*. Общий подход заключается в том, что некоторые параметры не зависят от датчика и могут быть смоделированы по-разному для различных датчиков. Существует вероятность в момент времени k для определения информационной ситуации к времени k для движущегося объекта $x(k)$ обозначается как:

$P(\exists x_k | Z^k)$, где вероятность несуществования просто данное дополнение

$$P(\nexists x_k | Z^k) = 1 - P(\exists x_k | Z^k).$$

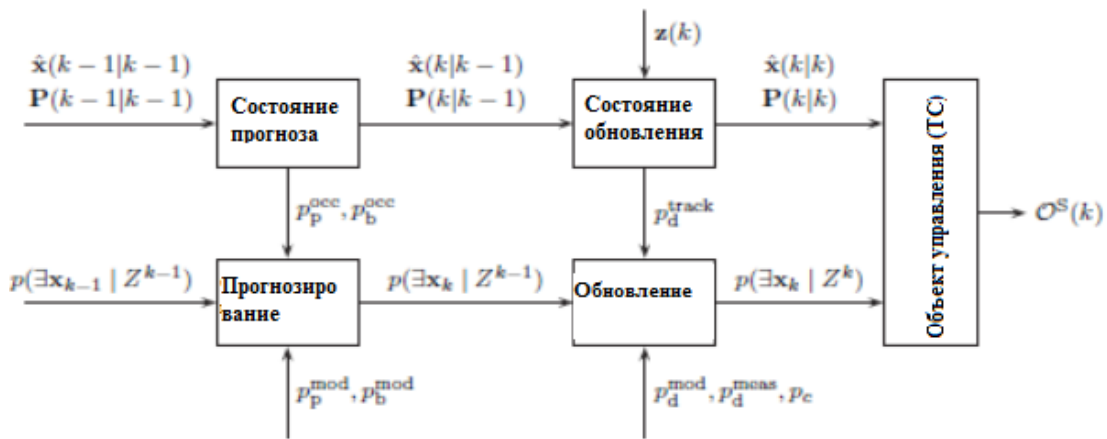


Рисунок 1: Обработка данных измерения на уровне датчиков для оценки вероятности существования и состояния объекта.

Процесс обработки байесовской оценки вероятности существования объекта на уровне датчиков показан на рисунке 1. Так же, как и в оценке состояния, априорная вероятность существования предсказывается вперед во времени, а затем обновляется в зависимости от качества измерения, связанного с этим конкретным объектом, если измерение вообще было связано с этим объектом. Различные параметры, как показано на рисунке 1, влияют на этапы прогнозирования и обновления оценки вероятности существования. Некоторые из этих параметров могут быть смоделированы, а некоторые приходят из других источников, таких, как классификация или оценка состояния. Далее будет описан процесс прогнозирования и обновления вероятности существования, а также способы моделирования или получения требуемых параметров.

Моделирование существования объекта

Существование объекта может быть смоделировано как Марковский процесс (Markov process) с двумя состояниями, представленными в [25, 26], где объект в момент времени k может либо существовать ($\exists x_k$), либо не существовать ($\nexists x_k$). Используя уравнение Чепмена-Колмогорова (Chapman-Kolmogorov), цепь Маркова может быть преобразована из $k - 1$ в k с помощью матрицы вероятностных переходов. Вероятность существования объекта предсказывается от $k - 1$ до k

$$\begin{bmatrix} p(\exists x_k | \exists x_{k-1}) & p(\exists x_k | \nexists x_{k-1}) \\ p(\nexists x_k | \exists x_{k-1}) & p(\nexists x_k | \nexists x_{k-1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p(\exists x | \exists x) & p(\exists x | \nexists x) \\ p(\nexists x | \exists x) & p(\nexists x | \nexists x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p(\exists x_{k-1} | Z^{k-1}) \\ p(\nexists x_{k-1} | Z^{k-1}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

где $p(\exists x | \exists x)$, $p(\exists x | \nexists x)$, $p(\nexists x | \exists x)$ и $p(\nexists x | \nexists x)$ имеет состояние переходных вероятностей от $k - 1$ до k . Подставляя

$$p(\exists x | \exists x) = p_p(\hat{x}_{k|k-1}), p(\nexists x | \exists x) = 1 - p_p(\hat{x}_{k|k-1}), p(\exists x | \nexists x) = p_b(\hat{x}_{k|k-1}) \text{ и} \\ p(\nexists x | \nexists x) = 1 - p_b(\hat{x}_{k|k-1}) \text{ получаем следующие два выражения:}$$

$$p(\exists x_k | Z^{k-1}) = p_p(\hat{x}_{k|k-1}) p(\exists x_{k-1} | Z^{k-1}) + p_b(\hat{x}_{k|k-1}) p(\nexists x_{k-1} | Z^{k-1}) \quad (2)$$

$$p(\nexists x_k | Z^{k-1}) = [1 - p_p(\hat{x}_{k|k-1})] p(\exists x_{k-1} | Z^{k-1}) + [1 - p_b(\hat{x}_{k|k-1})] p(\nexists x_{k-1} | Z^{k-1}) \quad (3)$$

где $p(\exists x_{k-1} | Z^{k-1})$ *вероятность существования* (\exists - existence) того, что x существует при $k-1$, учитывая, что измерения Z^{k-1} были проведены, $p(\exists x_k | Z^{k-1})$ - прогнозируемая вероятность существования того, что x существует при k учитывая, что измерения Z^{k-1} были проведены, а $p_p(\hat{x}_{k|k-1})$ является *вероятностью устойчивости* (p - persistence) обнаружения объекта, учитывая прогнозируемое состояние $\hat{x}(k | k - 1)$ и $p_b(\hat{x}_{k|k-1})$ *вероятность появления* (*рождения*) (b - birth) объекта при заданном прогнозируемом состоянии $\hat{x}(k | k - 1)$.

Шаг прогнозирования служит двум основным целям оценки вероятности существования на практике. Во-первых, вероятность устойчивости обнаружения обычно выбирается такой, что она не равна 1, гарантируя, что предсказанная вероятность существования никогда не будет точно 1. Это позволяет моделировать тот факт, что во время прогнозирования делается предположение о том, что объект продолжает существовать, что не обязательно верно. Во-вторых, вероятность существования уменьшается по мере того, как объект перемещается в область, где вероятность устойчивости обнаружения низкая, что позволяет правильно удалять измерения, во время выхода объекта из поля зрения датчика.

Моделирование обнаружения объекта может быть также расширено (дополнено) путем введения дополнительного состояния в Марковском процессе, которое представляет, что объект существует, но в настоящее время не обнаружен [25, 26]. В предлагаемой высокоуровневой архитектуре слияния данных от датчиков проблема необнаружения будет решаться на уровне слияния, и, следовательно, на уровне датчиков будет рассмотрен простой двухступенчатый Марковский процесс при моделировании существования (обнаружения) объекта.

Обновление вероятности существования объекта

Обновление вероятности существования достигается с помощью базовой формулировки обновления оценки Байеса, основанной на правиле Байеса. Для приложений оценки правило Байеса для шага обновления обычно формулируется как

$$p(x|z) = \frac{p(z|x)p(x)}{p(z)} \tag{4}$$

где x - величина, подлежащая оценке, $p(x)$ - предварительная вероятность величины, $p(x|z)$ - следующая величина, подлежащая оценке после наблюдения за измерением, $p(z|x)$ - измерение, произведенное из оцениваемого значения, и $p(z)$ - нормализующий фактор. Для упрощения выражения $p(z)$ его часто заменяют нормализующим фактором η таким, что

$$p(x / z) = \eta p(z / x) p(x) \tag{5}$$

где η гарантирует, что результат оценки правил Байеса среди значения x и его дополнения составляет 1.

Для вероятности существования значение, подлежащее оценке, x , и его дополнение, \bar{x} является вероятностью существования, ее дополнение-несуществования, а измерение - информацией о вероятностной природе измерения, z , связанной с объектом, если таковая связь была вообще.

Из (5), в результате получаем:

$$p(x | z) = \eta p(z / x) p(x) = p(\exists x_k / Z^k) \tag{6}$$

$$p(\bar{x} | z) = \eta p(z / \bar{x}) p(\bar{x}) = p(\nexists x_k / Z^k) \tag{7}$$

Связанные и несвязанные измерения

Учитывая, что информация об объекте обновляется с измерением в k , желательно обновить вероятность существования с качеством измерения. Из выражений (6) и (7) и учитывая, что измерение z_k было выполнено и связано с предсказанным измерением $\hat{x}(k|k-1)$, то обновление вероятности существования и не существования объекта:

$$p(\exists x_k / Z^k) = \eta p(x_k / \exists x_k) p(\exists x_k / Z^{k-1}) \tag{8}$$

$$p(\nexists x_k / Z^k) = \eta p(x_k / \nexists x_k) p(\nexists x_k / Z^{k-1}) \tag{9}$$

где $p(\exists x_k / Z^k)$ - вероятность последующего существования с информацией из измерительного множества Z^k до времени k , а $p(\exists x_k / Z^{k-1})$ - вероятность предшествующего существования с информацией из множества измерений Z^{k-1} до времени $k-1$, $p(z_k | \exists x_k)$ - информация об измерительном параметре в момент времени k и η -нормирующем факторе. При $p(\nexists x_k / Z^k)$ вычисляется дополнение существования объекта, его несуществование. Вероятность существования и несуществования объекта в предшествующий период времени $k-1$, $p(\exists x_k / Z^{k-1})$ и $p(\nexists x_k / Z^{k-1})$ получены из вывода о прогнозировании. Затем нормализующий коэффициент может быть рассчитан с использованием:

$$\eta = [p(z_k / \exists x_k) p(\exists x_k / Z^{k-1}) + p(z_k / \nexists x_k) p(\nexists x_k / Z^{k-1})]^{-1} \tag{10}$$

а затем используется для оценки и сравнения измерений в момент k для $p(\exists x_k / Z^k)$ и $p(\nexists x_k / Z^k)$.

Вероятность того, что измерение было сделано, учитывая, что отражение от объекта существует, равна $p(z_k | \exists x_k)$, где эта вероятность пропорциональна качеству измерения, связанного с его параметром отражения. Эту вероятность можно назвать вероятностью обнаружения p_d такой, что

$$p(z_k / \exists x_k) = p_d(k) \tag{11}$$

Аналогично, $p(z_k | \nexists x_k)$ - это вероятность того, что было произведено измерение, даже если

отражение от объекта не существует. Эту вероятность можно назвать *вероятностью беспорядка* p_c , или ложноположительной вероятностью, такой, что

$$p(z_k | \bar{A}x_k) = p_c(k) \quad (12)$$

Переписывание (8) и (9) с приведенными выше определениями дает окончательные выражения для обновления вероятности существования и несуществования, если измерение было связано

$$p(\exists x_k | Z^k) = \eta p_d(k) p(\exists x_k | Z^{k-1}) \quad (13)$$

$$p(\bar{A}x_k | Z^k) = \eta p_c(k) p(\bar{A}x_k | Z^{k-1}) \quad (14)$$

Если измерение не было связано с отражением от объекта в k , то подобная формулировка у Байеса как в (6) и (7) используется, чтобы обновить вероятность существования и не существования при измерении

$$p(\exists x_k | Z^k) = \eta p(\bar{z}_k | \exists x_k) p(\exists x_k | Z^{k-1}) \quad (15)$$

$$p(\bar{A}x_k | Z^k) = \eta p(\bar{z}_k | \bar{A}x_k) p(\bar{A}x_k | Z^{k-1}) \quad (16)$$

Обобщенное расширение метода Байеса

Традиционная оценка Байеса сформулирована таким образом, что оцениваемое значение обновляется только новейшей информацией об измерениях. В соответствии с предположением Маркова информация о предыдущих измерениях по своей сути содержится в предшествующей оценке. В [30] был введен обобщенный метод оценки Байеса, который ослабляет ограничение, что в процессе обновления используется только новейшее измерение. С обобщенной формулировкой Байеса обновление измерения может состоять из нескольких последовательных предыдущих измерений, что приводит к эффекту фильтрации обновления Байеса.

Обновленная формулировка для вероятности существования и несуществования, если измерение было связано с (8) и (9), может быть расширена до обобщенной формулировки Байеса с

$$p(\exists x_k | Z^k) = \eta p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \exists x_k) p(\exists x_k | Z^{k-1}) \quad (17)$$

$$p(\bar{A}x_k | Z^k) = \eta p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \bar{A}x_k) p(\bar{A}x_k | Z^{k-1}) \quad (18)$$

где $p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \exists x_k)$ и $p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \bar{A}x_k)$ – информация об обновлении измерений между временем k и $k-L$, где L – количество предыдущих измерений, которые необходимо учитывать.

Простой метод вычисления $p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \exists x_k)$ и $p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \bar{A}x_k)$ – это просто взять среднее значение текущей измерительной информации и предыдущих L измерений таким образом, чтобы

$$p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \exists x_k) = \frac{1}{L+1} \sum_{i=k-L}^k P_d(i) \quad (19)$$

$$p(z_k | Z_{k-L}^{k-1}, \bar{A}x_k) = \frac{1}{L+1} \sum_{i=k-L}^k P_c(i) \quad (20)$$

где $p_d(i)$ – вероятность обнаружения, а $p_c(i)$ – вероятность беспорядка в момент i суммирования.

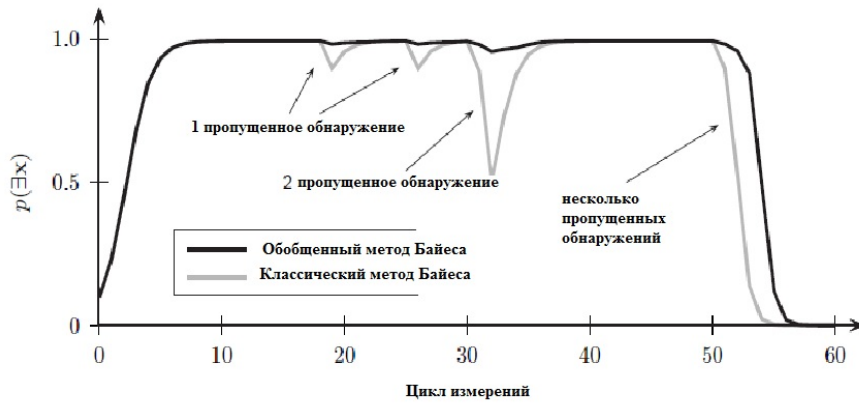


Рисунок 2: Сравнение обобщенного метода обновления Байеса и классического метода Байеса для расчета вероятности существования.

На рисунке 2 видно, что обобщенный метод Байеса менее чувствителен к случайно пропущенным обнаружениям.

Выражения (15) и (16) для случаев, когда измерение не связано с обнаружением объекта, могут быть аналогично расширены таким образом, что

$$p(\exists x_k | Z^k) = \eta p(\bar{z}_k | Z_{k-L}^{k-1}, \exists x_k) p(\exists x_k | Z^{k-1}) \tag{21}$$

$$p(\nexists x_k | Z^k) = \eta p(\bar{z}_k | Z_{k-L}^{k-1}, \nexists x_k) p(\nexists x_k | Z^{k-1}) \tag{22}$$

где вероятности измерения снова являются суммированием дополнения вероятности обнаружения:

$$p(\bar{z}_k | Z_{k-L}^{k-1}, \exists x_k) = \frac{1}{L+1} \sum_{i=k-L}^k 1 - p_d(i) \tag{23}$$

и вероятность помех

$$p(\bar{z}_k | Z_{k-L}^{k-1}, \nexists x_k) = \frac{1}{L+1} \sum_{i=k-L}^k 1 - p_c(i) \tag{24}$$

Пример обобщенного метода обновления Байеса по сравнению с классической формулировкой обновления Байеса показан на рис. 2. В данном примере были выбраны постоянные параметры \$p_d(k) = 0,9\$ и \$p_c(k) = 0,3\$, где размер окна для обобщенного метода Байеса \$L = 3\$. Можно видеть, что обобщенный метод Байеса гораздо менее чувствителен к случайно пропущенным обнаружениям. Размер окна \$L = 3\$, по-видимому, является хорошим компромиссом между задержкой вероятности существования, когда есть несколько пропущенных обнаружений, и для работы со случайно пропущенными обнаружениями.

Заключение.

Предложенная модель информационной вероятностной ситуации может быть использована для управления в автоматизированных и в транспортных киберфизических системах. По существу, данный подход является применением поэлементного (операционного) системного анализа применительно к области вероятностной логики [31]. Особенностью подхода данной работы является замена понятия *альтернатива* альтернативными информационными ситуациями, которые затем

трансформируются в вероятностные информационные ситуации. Различие в том, что понятие альтернатива является абстрактным и может употребляться в любой области.

Альтернативная информационная ситуация является более структурированной моделью с рядом ограничений, которые привязывают ее к транспортной сфере. Информационная транспортная ситуация имеет тринитарную сущность: систему (субъект) управления, объект управления и семантическое окружение объекта управления. Семантическое окружение объекта управления [20] является качественным отличием от многих ситуаций. Оно означает наличие комплементарных содержательных параметров, отражающих семантически состояние объекта и ситуацию вокруг него. Введение вероятностных параметров в параметры информационной ситуации переводит модель информационной ситуации в модель вероятностной информационной ситуации. Вероятностная информационная ситуация дает возможность применять теорию Демпстера-Шафера и автоматически становится советующим экспертным методом, применимым в транспортных киберфизических системах.

Список литературы

1. Охотников А.Л. Применение теории Демпстера-Шафера для оптимизации перевозок // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.61-74.
2. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
3. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С.2-10.
4. Цветков В. Я., Охотников А. Л. Информационная управленческая ситуация на транспорте// Государственный советник. – 2018. - №2. – С.27-33.
5. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60
6. Розенберг И.Н. Информационная ситуация как сложная система // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.69-77.
7. Цветков В. Я. Основы теории сложных систем: Учебное пособие. — СПб: Издательство «Лань», 2019. — 152 с.: ISBN 978_5_8114_3509_8
8. Розенберг И.Н. Сложность и комплементарность // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5. - С.7-10.
9. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность// Славянский форум. -2018. – 4 (22). - С.85-90
10. Охотников А.Л., Логическая информационная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.23-32.
11. Раев В.К. Организационные системы // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1. – С. 94-100
12. Буравцев А.В. Сложные технологические системы// Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.14-19.
13. Елсуков П.Ю. Информационная асимметрия и информационная неопределенность // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017 -№4. – С.69- 76.
14. Елсуков П.Ю. Информация, уменьшающая неопределенность и информация, увеличивающая содержательность // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.62-68.

15. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – С.3-15
16. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
17. Коваленко Н.И. Извлечение знаний для интеллектуальных транспортных систем // Перспективы науки и образования- 2014. - №5. – С.45-52.
18. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170.
19. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.16-24.
20. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. Series A. 2014, Vol. (76), № 6-1, p. 1059-1065.
21. Павловский А. А. Формальная интерпретация // Перспективы науки и образования. - 2017. - №4(28). - С.18-22.
22. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
23. S. Blackman, R. Popoli, Design and Analysis of Modern Tracking Systems. Norwood, MA: Artech House, 1999.
24. D. Musicki, R. Evans, S. Stankovic «Integrated Probabilistic Data Association» in 31st IEEE Conference on Decision and Control, Tucson (AZ), USA, December 1992, pp. 3796–3798.
25. D. Musicki, R. Evans, S. Stankovic «Integrated Probabilistic Data Association» IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 39, no. 6, pp. 1237–1241, June 1994.
26. D. Musicki and R. Evans, «Joint Integrated Probabilistic Data Association: JIPDA» IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 40, no. 3, pp. 1094–1099, July 2004.
27. M. Mahlich, W. Ritter, K. Dietmayer «De-cluttering with Integrated Probabilistic Data Association for Multisensor Multitarget ACC Vehicle Tracking,» in IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, June 2007, pp. 178–183.
28. M. Grinberg, F. Ohr, D. Willersinn, and J. Beyerer, «Feature-Based Probabilistic Data Association and Tracking» in 7th International Workshop on Intelligent Transportation, Hamburg, Germany, March 2010, pp. 29–34.
29. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. - №6. – С.107-109.
30. R. Altendorfer, S. Matzka, «A Confidence Measure for Vehicle Tracking Based on a Generalization of Bayes Estimation» in IEEE Intelligent Vehicles Symposium, San Diego (CA), USA, June 2010, pp. 766–772.
31. Господинов С.Г. Вероятностно логический анализ // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1. - С.3-8.

УДК: 004.81, 004.9

Анализ данных современных путеизмерительных комплексов для актуализации цифровой модели железнодорожной инфраструктуры.

Дулин С.К.	д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН, E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия
Манойло Д.С.	к.т.н., генеральный директор ООО «Стройгеотранс», E-mail: m_dmit@mail.ru, Москва, Россия
Якушев Д. А.	к.т.н., главный научный сотрудник ОАО «НИИАС», E-mail: yakush.d@gmail.com, Москва, Россия
Аннотация	В статье проведен анализ точности данных, полученных в результате измерений одного и того же участка пути, произведенных различными путеизмерительными комплексами, оснащенными лазерным сканером для ускорения геодезических изысканий и оценки их потенциального использования при создании трехмерных цифровых моделей пути.
Ключевые слова:	мобильное лазерное сканирование, трехмерные геоданные, цифровая модель пути, путеизмерительные комплексы.

Analysis of data of modern travelscanning complexes for actualization of a digital model of railway infrastructure

Dulin S.K.	Doctor of Sc., Prof., Leading Researcher IPI FRC CSC RAS, E-mail: s.dulin@gismps.ru, Moscow, Russia
Manojlo D.S.	Ph.D, general director JSC «Stroygeotrans», E-mail: m_dmit @mail.ru, Moscow, Russia
Yakushev D.A.	Ph.D., head of department, JSC «Transputstroy», E-mail: yakush.d@gmail.com, Moscow, Russia
Annotation	In article is analyzed the accuracy of the data obtained as a result of measurements of the same section of the railway path produced by various measuring systems equipped with a laser scanner to accelerate geodetic surveys and assess of their potential use in the creation of 3D digital model of railway.
Keywords	mobile laserscanning, 3D spatial data, digital model of railway, measurement systems for railway

Введение.

Технология съемки с помощью мобильного лазерного сканирования (МЛС) является инновационной в области выполнения измерений для создания картографических материалов, паспортизации, мониторинга и фиксации состояния протяженных инфраструктурных объектов.

Для ее успешного применения на железной дороге были разработаны эффективные алгоритмы и методы обработки пространственных данных, позволяющих в условиях неоднородности исходных данных создавать трехмерную цифровую модель пути (ЦМП) с заданной точностью в фиксированный промежуток времени на основании данных, полученных в ходе выполнения высокоточных съемочных работ.

В работе представлены результаты использования альтернативных источников получения данных для построения трехмерной ЦМП, в частности:

- Данные путеизмерительного комплекса AmbergIMS5000, оснащенного лазерным сканером (AmbergTechnologies, Швейцария);
- Данные путеизмерительного комплекса LeicaSiTrackOne (HexagonGeosystems, Швейцария);
- Данные путеизмерительного комплекса GedoScan (TrimbleRailwayGmbH, Германия);
- Данные мобильной лазерной системы АГМ-МС7.2100, установленной на георадарную тележку (АГМ Системс, Россия);
- Лазерные данные диагностического комплекса "ЭРА" (АО НПЦ Инфотранс Россия).

Целью проведения работ являлся анализ точности данных, полученных в результате измерений одного и того же участка пути (в направлениях «туда» и «обратно»), произведенных различными путеизмерительными комплексами, оснащенными лазерным сканером для ускорения геодезических изысканий и оценки их потенциального использования при создании трехмерных ЦМП.

Программа проведения измерений включала следующие этапы:

1. Проведение съемки одного и того же участка пути в прямом и обратном направлении (измерение №1, измерение №2).
2. Проведение съемки параллельного участка пути, расположенного на соседнем (по возможности) земляном полотне в одном направлении (измерение №3).
3. Определение допустимых условий съемки испытываемым оборудованием на реальном ж.д. полигоне.
4. Определение факторов, ограничивающих использование тестируемого оборудования.
5. Определение «разбега» измерений №1...№3 относительно стационарных объектов.
6. Определение возможности использования данных измерений для актуализации трехмерных ЦМП.

Участок тестирования выбирался исходя из следующих соображений:

- Наличие пунктов высокоточной опорной геодезической сети (ОГС) 500-700 м и сети сгущения 60-120 м (обязательно);
- Наличие стрелок (обязательно);
- Наличие мостового сооружения (крайне желательно);
- Наличие объектов инфраструктуры -платформы, сооружения и т.д. (крайне желательно);
- Протяженность - не менее 300 м.
- Использование одного и того же участка пути для тестирования всех путеизмерительных комплексов (по возможности, но не обязательно).

Данные путеизмерительного комплекса AmbergIMS5000

На рисунке 1 зеленым треугольником обозначены места расположения марок, по которым координировались точки лазерного сканирования (ТЛО). Красным «прицелом» обозначены контрольные точки (37-51-1, 37-51-2), закоординированные тахеометром и хорошо определяемые в ТЛО, что позволяет проверить точность проведенных измерений комплексом AmbergIMS5000.

Проверка результатов измерений проводилась путем сравнения полилиний рельс, оцифрованных методом вписывания шаблона рельсы R65 в облако точек лазерного отражения с частотой 10 м, а также отклонением местоположения марок, определенных в ТЛО от их координат, измеренных тахеометром.

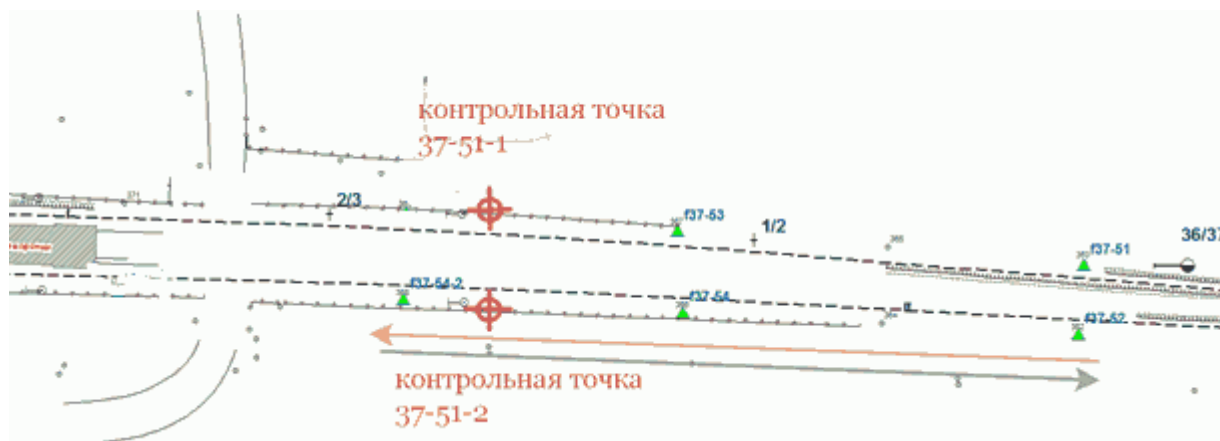


Рисунок 1. Участок тестирования комплекса Amberg IMS 5000

Среднее значение разброса измерений между проходами составило 5 мм в плане и 17 мм по высоте. Стандартное отклонение составляет 1 мм в плане и 1 мм по высоте (рисунок 2). Сравнение с контрольными точками, определенными тахеометром, дало следующие результаты: отклонение в плане – 19 мм, по высоте – 16 мм. Ошибки потенциально заложены в технологии постобработки результатов измерений, осуществляемой в ручном режиме путем привязки ТЛЮ к маркам, у которых размер пикселя которых составляет 20 мм.

Сравнение ТЛЮ, полученных при измерении туда и обратно на стрелках, – неудовлетворительный. Разброс измерений в плане составляет в среднем 60 мм, в пиках – 200 мм. Проезд стрелок хорошо просматривается на графике в местах резкого скачка между измерениями.

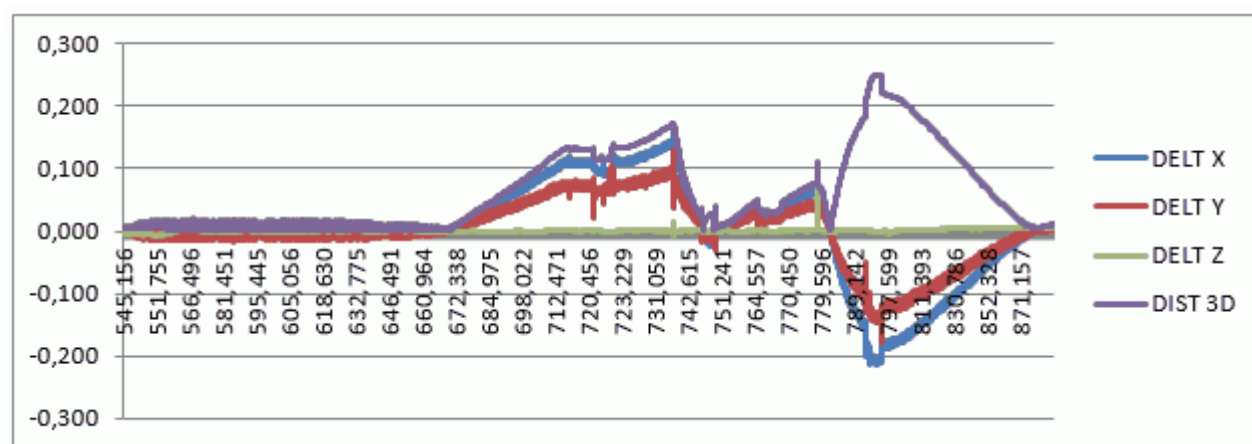


Рисунок 2. Отклонение измерений пути проездов туда и обратно.

Причиной этого явления является то, что переход через стрелки осуществляется путем отжима прижимного ролика, и это приводит к скачкообразному отклонению траектории, которое не компенсируется инерциальной системой. На рисунке 3 показан момент проезда через стрелку, где красным кружком отмечен прижимной механизм. Кроме этого, колеса тележки имеют малый диаметр, который не позволяет им ровно «прокатываться» по стрелочному переводу.



Рисунок 3. Проход стрелочного перевода

Эффект прохода по стрелочным переводам имеет инертность, что вызывает несходимость данных на некотором удалении от него (рисунок 4)

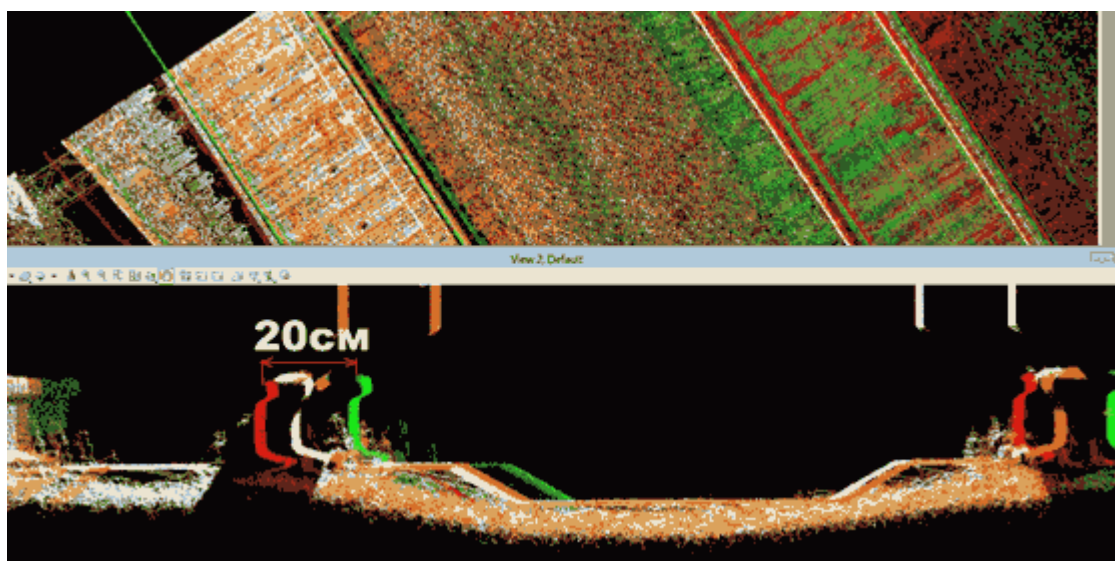


Рисунок 4. Данные геометрии пути 3D (ТЛО) разных проходов. Участок за стрелочными переводами.

Сравнение ТЛО, полученное при измерении туда и обратно на удалении 13 м (соседний путь), дало разброс показаний в плане и по высоте в 6 см!!! (рисунок 5). И это говорит о недостаточности стандартной калибровки испытываемого комплекса, проводимой непосредственно перед съемкой.

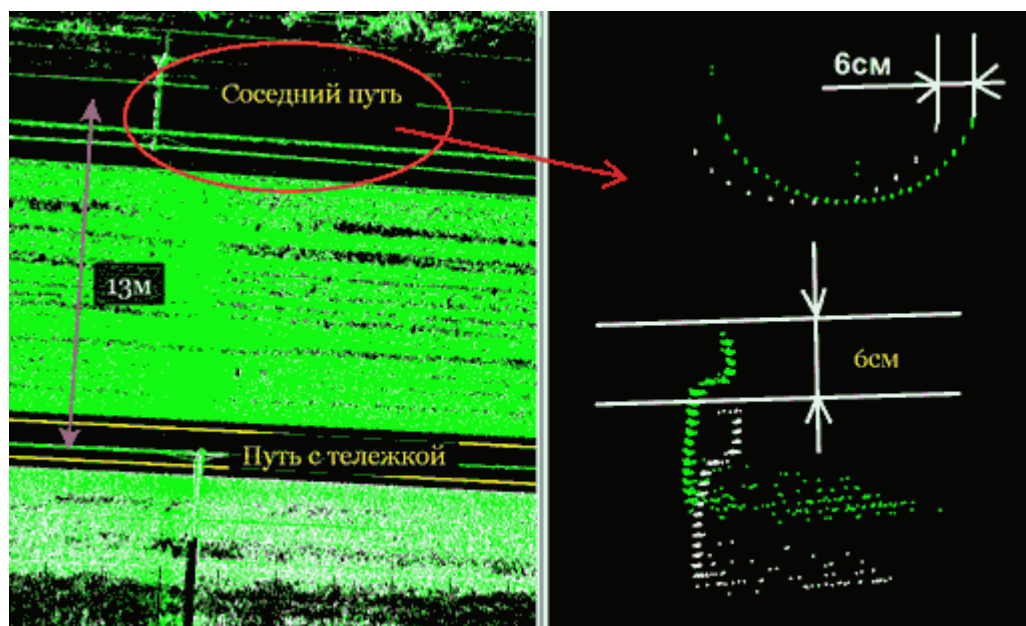


Рисунок 5. Сравнение ТЛО от измерений туда и обратно на расстоянии 13м от траектории движения комплекса.

Данные путеизмерительного комплекса LeicaSiTrackOne

Съёмка данным комплексом может быть проведена 2-мя методами: с использованием стартового и финишного боксов в начале и в конце съёмки (рисунок 7), и комбинированным – с использованием позиционирования по GPS и привязкой к маркам с известными координатами. В реальных условиях первый метод неприменим по двум причинам: из-за того, что очень долго засекают координаты каждой из 4-х точек бокса тахеометром и из-за необходимости снова повторять эту процедуру в случае пропуска поезда.

Конструктивная особенность комплекса – наличие дополнительного колеса, позволяющего более плавно проходить стрелочные переводы (рисунок 6).

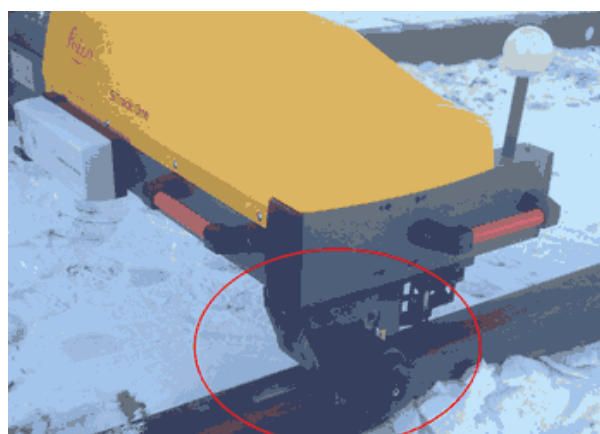


Рисунок 6. Дополнительное «колесо» для прохода стрелок

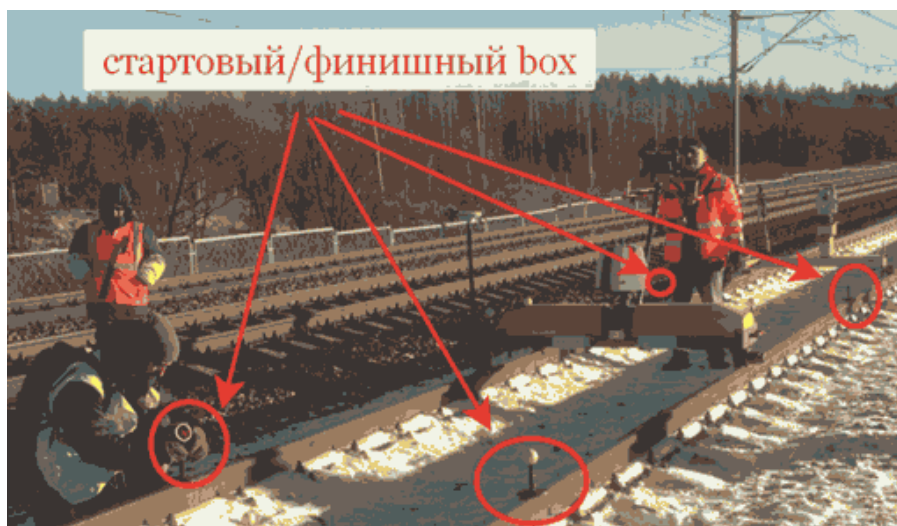


Рисунок 7. Координирование стартового и финишного боксов.

После камеральной обработки ТЛО, занявшей около 20 дней, получили следующие результаты (рисунки 8, 9)

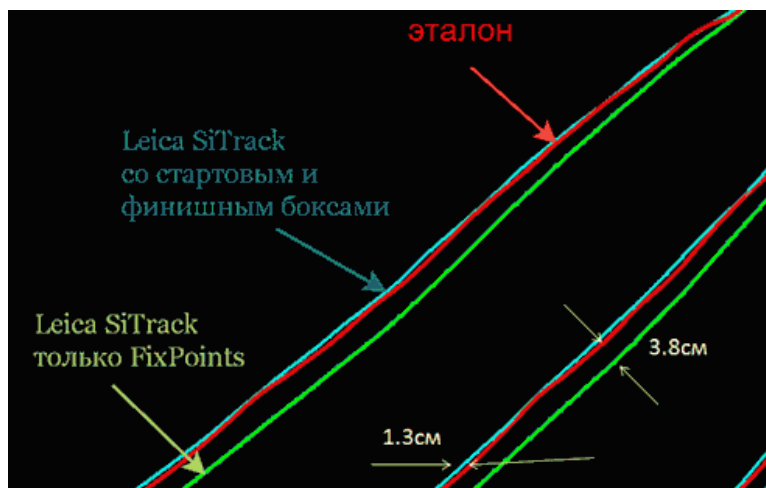


Рисунок 8. Отклонения измерений, выполненных разными методами от эталона.

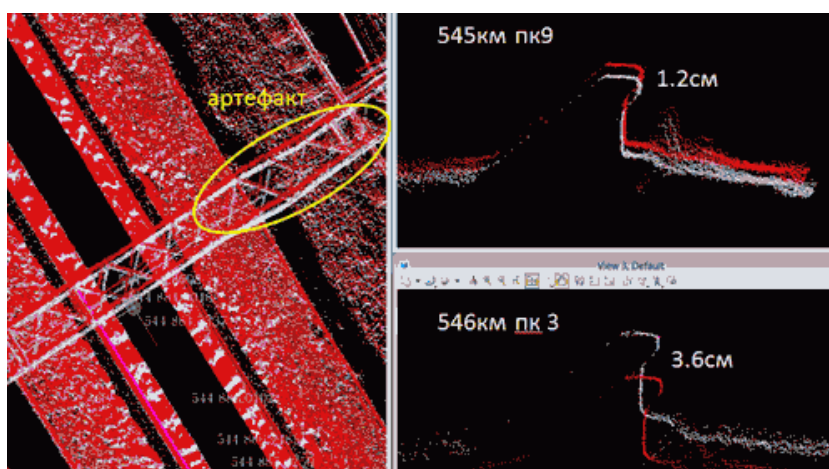


Рисунок 9. Расхождение проходов «туда и обратно», искажение геометрии объектов.

Результаты анализа, сведенные в таблицу 1, говорят о меньшем разбросе значений за счет использования дополнительного (широкого) колеса и более низкой (и соответственно более устойчивой) базы измерительного комплекса. Тем не менее ошибки превышают значения, заявленные производителем.

Таблица 1.

Результаты анализа отклонений измерений полученных при разных режимах съемки комплексом Leica SiTrack One.

Параметр	Значение отклонения (план/высота)		
Минимальное	0 мм / -80 мм	0 мм / -12 мм	0 мм / -21 мм
Максимальное	100 мм / 40 мм	100 мм / 85 мм	100 мм / 39 мм
Среднее	92 мм / -28 мм	9.5 мм / 38 мм	13 мм / 18 мм
Стандартное отклонение	35 мм / 6 мм	44 мм / 24 мм	52 мм / 14 мм

Данные путеизмерительного комплекса GedoScan (TrimbleRailwayGmbH, Германия); Тестирование комплекса GedoScan проводилось на полигоне МИИТа (рисунок 10).



Рисунок 10. Общий вид тележки с установленным сканирующим комплексом.

Позиционирование комплекса в процессе его движения осуществлялось с помощью тахеометра, установленного на удалении порядка 100 м. Представленные специалистами компании Trimble результаты обработки данных измерений показали ошибки, аналогичные тем, что наблюдались у комплекса Amberg: несходимость данных по проходам в несколько сантиметров и скачки измерений в районе стрелочного перевода.

Данные мобильной лазерной системы АГМ-МС7.2100 (АГМ Системс, Россия);

Съемка пути и объектов инфраструктуры с использованием отечественной сканирующей системы компании АГМ Системс (Краснодар), установленной на георадарную тележку компании «Геотех», проводилась на 7 км участке ЮВЖД Прохоровка – Беленихино (рисунок 11).



Рисунок 11. Общий вид тележки с установленным сканирующим комплексом.

Позиционирование осуществлялось спутниковым методом через базовую станцию, установленную на посту ЭЦ ст. Прохоровка и встроенную в комплекс систему ИНС. Участок не содержал стрелочных переводов, но в процессе сканирования несколько раз приходилось снимать систему с железнодорожного пути для пропуска поездов.

Съемка проводилась только в одном направлении, поэтому проверка результатов сканирования осуществлялась методом сравнения с данными традиционных инструментальных наземных измерений, выполненных в тоже самое время. Результаты сравнения представлены на рисунке 12.



Рисунок 12. Отклонение измерений, выполненных комплексом АГМ-МС7.2100 и традиционной инструментальной съемкой в плане и по высоте .

Анализ графика отклонений (рисунок 12) показывает величины расхождений до 80 см в плане. Выявить, какой из видов съемки привнес такие искажения можно, расположив пути определенным образом, что позволяет оценить «ровность» положения пути (Рисунок 13).

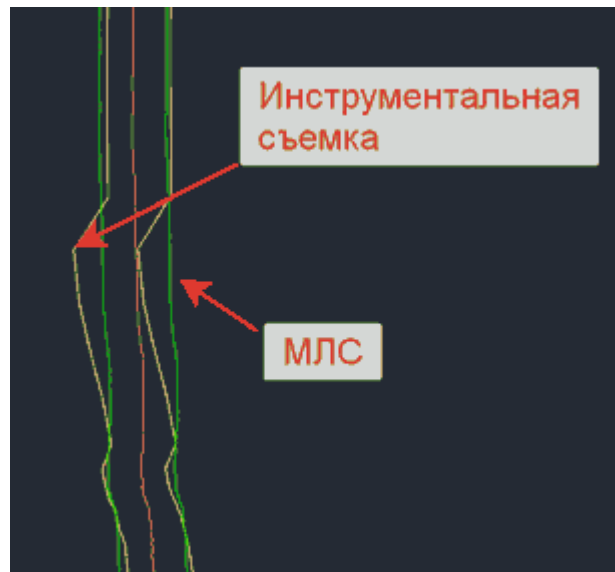


Рисунок 13. Отклонение измерений, выполненных комплексом АГМ-МС7.2100 и традиционной инструментальной съемкой в плане и по высоте .

Из графика сравнений видно, что ровность результатов комплекса АГМ гораздо выше, чем традиционной съемки, из чего можно сделать однозначный вывод о том, что ряд стоянок электронного тахеометра, используемого при инструментальной съемке, имеет критические ошибки, исправить которые в камеральных условиях не представляется возможным. Необходимо произвести пересъемку всего участка полностью.

Анализ точности съемочных работ по ширине колеи показал, что вычисленная ширина колеи по традиционной съемке колеблется от 1.364 до 1.585 м, общее среднее квадратичное отклонение от стандартной колеи 1.52 составляет ± 0.017 м, тогда как среднее квадратичное отклонение, вычисленное по материалам лазерного сканирования, составляет всего ± 0.003 м (таблица 2).

Таблица 2.

Анализ точности съемочных работ по ширине колеи выполненных комплексом АГМ-МС7.2100.

Прохорово-Беленихино через 1м+колея МЛС									
	B	C	D	E	F	G	I	J	
1	1 путь						колея	Отклонения от 1520	
2	Левый рельс			Правый рельс					
7691	333428,4302	5653531,52	248,2277	333427,3597	5653532,697	248,2217	1,517	-0,003	
7692	333427,6925	5653530,845	248,23	333426,6216	5653532,023	248,2234	1,517	-0,003	
7693	333426,9552	5653530,17	248,2331	333425,8837	5653531,347	248,2259	1,517	-0,003	
7694	333426,2183	5653529,494	248,237	333425,1461	5653530,671	248,2295	1,517	-0,003	
7695	333425,4818	5653528,819	248,2416	333424,409	5653529,995	248,2339	1,517	-0,003	
7696	333424,7455	5653528,143	248,2468	333423,6724	5653529,318	248,2391	1,516	-0,004	
7697	333424,0092	5653527,466	248,2523	333422,9362	5653528,641	248,2447	1,516	-0,004	
7698							мин	1,495	-0,025
7699							макс	1,565	0,045
7700							СКО		0,003

Высотное положение - наиболее чувствительная характеристика к точности спутниковых определений при производстве лазерного сканирования. Данная проверка проведена по явно видимым в облаке точек основаниям пунктов ОГС и показала расхождение высотных значений ОГС от 0 до, примерно, 2 см в облаке точек от каталожных значений. Материалы проверки показаны на рисунке 14.

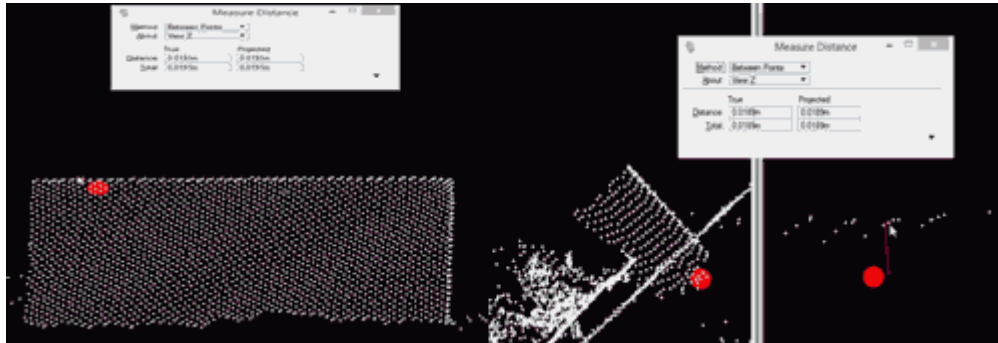


Рисунок 14. Проверка пунктов ОГС в облаке точек по высоте

Для анализа трудозатрат был проведен хронометраж времени работ, из которого видно, что работа непосредственно на перегоне заняла 2 часа 50 минут. Подготовка комплекса к съемке, установка базовой станции и монтаж сканера занимает 30-50 минут. При традиционном методе работа заняла 3 рабочих дня, т.е. $3 \cdot 8 = 24$ часа, т.е. более чем в 8 раз дольше.

Лазерные данные диагностического комплекса "ЭРА" (АО НПЦ Инфотранс, Россия).

Диагностические комплексы "ЭРА" оборудованы тремя лазерными сканерами LMS5xxx фирмы SICK, которые позволяют осуществлять пространственное сканирование с частотой 75 Гц. Конструкция размещения сканеров на вагоне спроектирована таким образом, что их рабочие зоны перекрываются, и за счет этого повышается фактическая частота измерений. Заявленная точность измерения – 15 мм, угловая погрешность -1°, разрешающая способность - ±4 см в пределах измерений от 1 до 20 м.

При типовой скорости движения комплекса – около 80 км/ч, шаг сканирования составляет 10-20 см. На рисунке 15, для сравнения, представлены данные лазерного сканирования ЭРЫ (слева) и данные мобильного лазерного сканирования комплекса АГМ-МС7.2100 (справа). Видна существенная разница, влияющая на идентификацию сканируемого объекта.

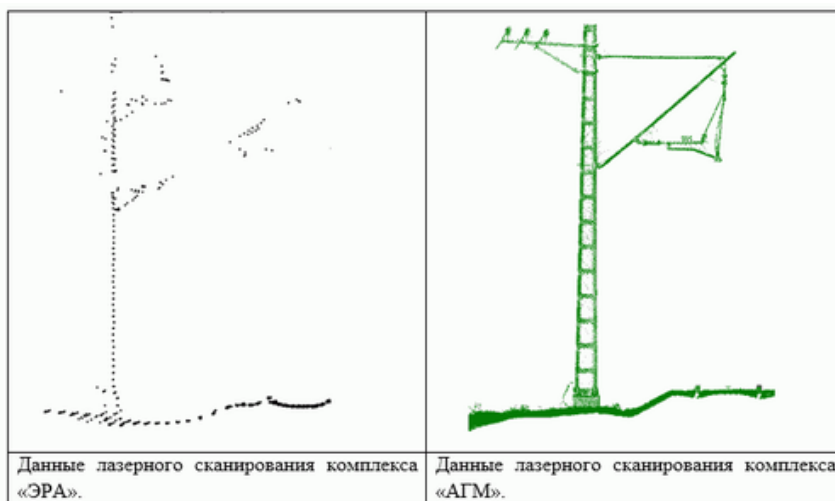


Рисунок 15. Сравнение плотности точек лазерного сканирования комплекса «ЭРА» и «АГМ»

Анализ точности измерений производился по облаку точек, полученных в результате проезда комплекса ЭРА на участке 437-438 км, Санкт-Петербург – Москва с привязкой в дифференциальном режиме коррекции к высокоточной координатной сети (ВКС). Полученные данные сравнивались с трехмерной цифровой моделью пути, построенной по результатам высокоточных съемочных работ, и пунктам опорной геодезической сети. Результат сравнения визуально представлен на рисунках 16,17.

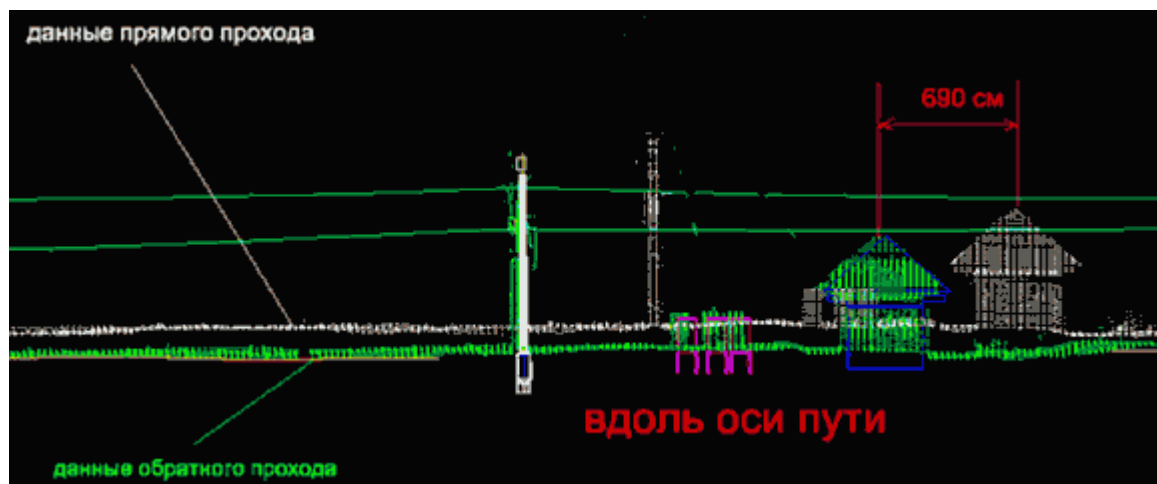


Рисунок 16. «Сходимость» измерений комплекса «ЭРЫ» при проходе по одному участку пути в направлении «туда» и «обратно».

Как видно из рисунка 15, точность привязки к ВКС данных ЭРЫ составляет порядка 1.2-2.0 м в плане и 15-30 см по высоте. Данные разных проходов на одном и том же участке пути расходятся между собой в плане и по высоте в среднем на 0.7 м (рисунок 16).

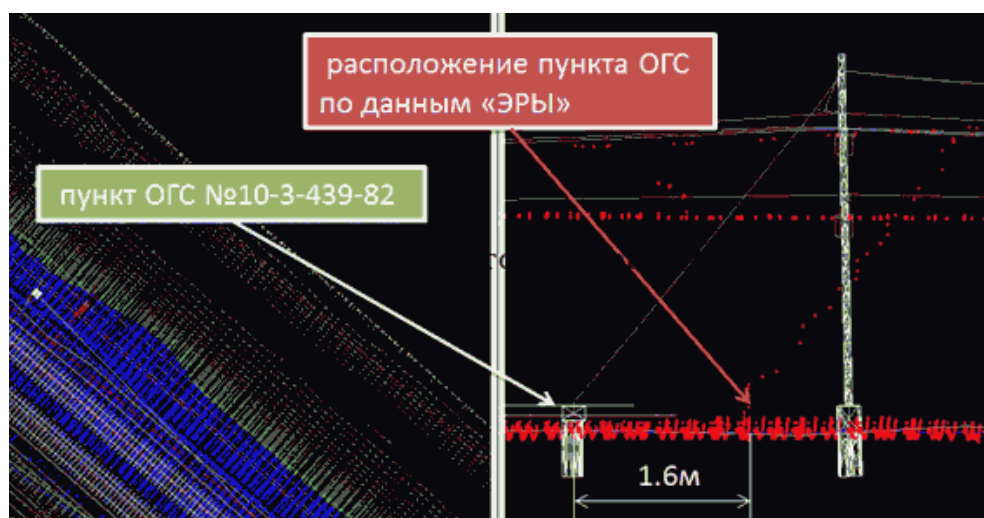


Рисунок 17. Точность привязки измерений к пунктам опорной геодезической сети.

Заключение

Подводя итоги проведенному анализу, можно констатировать, что, несмотря на разные конструктивы и виды оборудования, результат получился практически одинаковый – отрицательный, точностей до 1см нигде не увидели:

- Повторяемость результатов измерений на расстоянии до 5 м от центра сканирования варьируется от 1 до 4 см (на одном и том же участке, одним и тем же оборудованием при съемке «туда» и «обратно»). На расстоянии от 10 м и далее данные расходятся на 5 – 10 см.
- Время обработки данных: от 2-х суток и более; требуется квалифицированный персонал.
- Абсолютная точность (привязка к пунктам ОГС) – полуавтоматическая, зависит от «человеческого фактора». В среднем: 2см (для всех путеизмерительных комплексов за исключением ЭРЫ).
- На открытых участках местности выгоднее использовать спутниковую навигацию – это менее затратно и точность измерения сравнима с тем, что получается при использовании специальных марок или отражателей.
- При использовании тележки в качестве передвижной техники для лазерного сканирования, дополнительное (широкое) колесо для прохода стрелок - обязательный элемент конструктива тележки.
- Данные от сканера, расположенного под углом к вертикальной оси, более информативные (платформа, например, видна целиком, а не только ее торец).
- Комплексы Gedo, Amberg, Leica очень чувствительны к калибровке инклинометров: данные с удалением от центра съемки разбегаются (хотя заявлена точность – несколько мм).
- Процесс камеральной обработки данных лазерного сканирования не быстрый (во всяком случае, в тестовом режиме), первые данные пришли через 6 дней, окончательные (после обработки в головном офисе) - через 20 дней.
- Лазерные данные путеизмерительных комплексов ЭРА имеют недостаточную координатную привязку своих измерений (погрешность может составлять от 0.5 до 3 м). Но сами измерения представляют интерес ввиду их доступности и периодичности (данные актуализируется 2 раза в год).

Проведенные испытания лазерных сканирующих систем позволяют сделать следующие предположения о возможности использования данных, полученных с перечисленных выше комплексов для создания ЦМП:

- Технологически, лазерные сканирующие комплексы значительно сокращают время нахождения полевых бригад на путях с многократным увеличением точности и качества получаемых результатов по сравнению с традиционными методами. Относительные точности получаемых измерений превосходят точности материалов, получаемых при проведении традиционной съемки за счет минимизации человеческого фактора. Однако существенный разброс в данных однотипных измерений приводит к необходимости работать в поле погрешностей, превышающем допуски, предъявляемые к построению ЦМП; разработке специфических критериев отбраковки данных или трансформации этих данных к априори известным закоординированным объектам.
- Качество лазерных данных, получаемых в результате одного проезда путеизмерительного вагона ЭРА, недостаточна для проведения измерений с точностями лучше, чем 20 см. Использование их в качестве источника информации для построения ЦМП в настоящий момент возможно только путем мультитепликсирования данных от нескольких (минимум 3-х) проездов в один и использования методов SLAM для привязки к реперным объектам ВКС с необходимой точностью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №17-20-02153 офи-м-РЖД).

Список литературы

1. Amberg total solution for railway <https://ambergtechnologies.com/solutions-services/amberg-rail/>
2. Trimble GEDO Scan System <http://trimble-railway.com/en/produkt/gedo-scan/>
3. Leica SiTrack:One Rail Maintenance & Refurbishment Solution platforms/sitrack_one <https://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture->
4. Система мобильного сканирования АГМ-МС7.2100 <https://www.agmsys.ru/mscan/ms7-2100>
5. Автоматизированный диагностический комплекс контроля состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры (АДК-И «ЭРА») <http://www.infotrans-logistic.ru>