

УДК: 528.88; 551.465; 551.463.8; 551.463.6

Методы интерпретации в интеллектуальных транспортных системах

Interpretation methods in intelligent transport systems

Чехарин Е.Е., Зам. начальника Центра, РТУ МИРЭА E-mail: tchekharin@mirea.ru, Москва, Россия

Cheharin E.E., Deputy Head of the Center, RTU MIREA, E-mail: tchekharin@mirea.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье исследуются методы интерпретации, применяемые в интеллектуальных транспортных системах. дается систематика видов интерпретации. Дано современное состояние и тенденции развития интеллектуальных транспортных систем. отмечено влияние проблемы «больших данных» на функционирование интеллектуальных транспортных систем. Описана множественная интерпретация, информационная интерпретация, системная интерпретация, гипотетическая интерпретация, объектная интерпретация, ситуационная интерпретация. Описаны основные правила интерпретации. Показано различие между ситуационной и объектной интерпретацией. Описана эквивиальная интерпретация как инструмент повышения надежности. Описана прямая и обратная интерпретация как инструмент снятия информационной неопределенности. Дана систематика применения методов интерпретации для решения задач интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: транспорт, интеллектуальные транспортные системы интерпретация, искусственный интеллект, информационная интерпретация.

Abstract

The article explores the methods of interpretation used in intelligent transport systems. the systematics of types of interpretation is given. The current state and development trends of intelligent transport systems are given. the influence of the problem of "big data" on the functioning of intelligent transport systems is noted. Multiple interpretation, information interpretation, system interpretation, hypothetical interpretation, object interpretation, situational interpretation are described. The basic rules of interpretation are described. The difference between situational and object interpretation is shown. An equifinal interpretation is described as a tool for increasing reliability. Direct and reverse interpretation is described as a tool for removing information uncertainty. The systematics of application of interpretation methods for solving problems of intelligent transport systems is given.

Keywords: transport, intelligent transport systems interpretation, artificial intelligence, information interpretation.



Введение

Широкое применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1–3], транспортных кибер-физических систем [4], технологий цифровой железной дороги [5], беспилотного вождения [6] – ставит проблему развития технологий интерпретации информации. Термин «интерпретация» трактуется множественно, подобно термину «классификация». Этим термином обозначают результат интерпретации, процесс интерпретации и даже механизм интерпретации. Существуют лингвистическая [7], цифровая [8], информационная [8] и компьютерная интерпретации. Основой обычной интерпретации является лингвистическая. Основой интерпретации в ИТС является информационная интерпретация. При исследовании информационной интерпретации необходимо показать ее сходство и различие с лингвистической и гипотетической интерпретацией.

Информационной интерпретацией называют интерпретацию с применением компьютера и информационных технологий. Такая интерпретация использует идеи лингвистики, перенесенные в информационное поле. В информационной интерпретации компьютер используется только как средство поддержки, например для обработки больших объемов информации или для ускорения процесса анализа. Методической основой информационной интерпретации является лингвистическая интерпретация. Она закладывает основы интерпретации как преобразования на основе рассуждений и анализа. Лингвистическую интерпретацию можно назвать аналоговой как противопоставление цифровой интерпретации.

Информационной интерпретацией называют интерпретацию с построением и использованием информационных моделей и применением методов прикладной информатики [10] при обработке. Цифровая интерпретация есть компьютерная интерпретация с использованием и обработкой цифровых моделей и цифровых карт. Например, цифровой водяной знак в криптографии использует цифровую интерпретацию. Цифровая интерпретация кроме цифровых моделей или цифровых образов может использовать и специальные цифровые методы обработки. Таким образом цифровая интерпретация имеет обязательный признак цифровые модели и дополнительный необязательный признак цифровые методы обработки. Иногда информационную интерпретацию называют цифровой, но это разные понятия и виды интерпретации. Общим для цифровой, компьютерной, информационной и лингвистической интерпретацией является изменение логических построений.

Особенности развития ИТС

В 1980-х годах идея интеллектуальных транспортных систем (ИТС), первоначально интеллектуальных транспортных средств и магистральных систем, родилась у небольшой группы профессионалов в области транспорта, как результат влияния вычислительных и интеллектуальных технологий в транспортной автомобильной сфере. В последние десятилетия ИТС сыграли значительную роль

в глобальном мире, и их приложения выходят за рамки дорожного движения. В настоящее время ИТС предоставляет услуги в области управления, а также навигации для железнодорожного, водного и воздушного транспорта. Таким образом первой особенностью ИТС является их применение для навигации, а не только для непосредственного управления.

Рост сервиса ИТС сопровождается ростом обрабатываемых данных и производства большого объема данных. Это приводит к необходимости решения проблемы больших данных [11, 12]. Термин «большие данные» первоначально означал объем данных, который невозможно было собрать, обрабатываются и анализируются традиционными моделями и инструментами баз данных. В современной трактовке «большие данные» – это данные, которые включают структурированные данные, полу структурированные данные и разнообразные данные. Разнообразие обусловлено многими технологиями сбора данных. Аналитика больших данных включает в себя процессы сбора, управления, обработки, анализа и визуализации постоянно меняющихся данных.

Появление больших данных в ИТС становится очевидным благодаря массовому внедрению смарт-карт, глобальной системы позиционирования (GPS), датчиков (датчиков дорожных площадок, датчиков плавающих автомобилей, датчиков большой площади), а также подключенных и автономных транспортных средств (CAV) и других источников. Оборудование для мониторинга, такое как камеры и придорожные датчики, устанавливается в городах для сбора данных. Подключенные автомобили обмениваются информацией с другими устройствами и дорожной инфраструктурой. Люди используют социальные сети и навигационные системы. Все эти и многие другие транспортные средства генерируют огромный объем данных.

Генерируемые данные будут продолжать расти в размере и сложности, а рост автоматизации приведет к дальнейшему увеличению производства данных. Многие алгоритмы ИТС успешно применяют для прогнозирования транспортных потоков, прогнозирования времени движения, распознавания дорожных знаков, обнаружения происшествий, оптимизации и обеспечения безопасности транспортных средств и дорог. Эти подходы в первую очередь можно разделить на параметрические и непараметрические методы. Одним из средств работы с большими данными в ИТС являются технологии и методы их автоматической интерпретации. Особенностью ИТС является применение технологий субсидиарности [13, 14], поскольку ИТС способна принимать решения независимо от человека. В то же время эта технология используется как средство снятия информационной неопределенности.

Информационная интерпретация

Интерпретация может быть рассмотрена как информационный вероятностный морфизм [15]. Интерпретация может быть утвердительной, вероятностной и ги- ➤➤➤

потетической. Информационная интерпретация может быть рассмотрена как отображение исходного множества данных (DS) на множество известных понятий (CS) или дескрипторов. Она включает условия (1)

$$x \in DS; y \in CS, \quad (1)$$

и информационную интерпретацию (2)

$$x \rightarrow y, \quad (2)$$

В выражении (2) x – исходные данные или интерпретируемый образ, y – результата интерпретации. При этом подразумевается выполнение нескольких правил. Первое правило допускает множественные интерпретационные преобразования. Второе правило требует наличие семантического соответствия. Это означает, что x , y могут иметь разную морфологию, но соответствие по содержанию (sem).

$$x_0(sem) \rightarrow x_1(sem) \rightarrow x_2(sem) \rightarrow x_n(sem) \rightarrow y = sem, \quad (3)$$

Выражение (3) показывает множественные интерпретационные преобразования и означает, что разные морфологические преобразования не меняют содержание. Это допустимо е условие интерпретации. Третье правило допускает множественную интерпретацию

$$x \rightarrow y_1(sem_1) \vee y_i(sem_i) \vee y_n(sem_n), \quad (4)$$

Выражение (4) показывает множественную интерпретацию или альтернативную интерпретацию. Это означает, что при наличии информационной неопределенности возможно наличие нескольких интерпретационных смыслов sem_i , которые дополняют друг друга. Четвертое правило допускает возможность визуальной интерпретации, то есть визуального представления интерпретационного образа. Информационная интерпретация делится на образную и ситуационную. На рис.1 показана схема объектной интерпретации.

Объектная интерпретация применяется реже и для анализа. Чаще применяют ситуационную интерпретацию. На рис.2 показана схема ситуационной информационной интерпретации.

Ситуационная интерпретация является более полной. Она показывает характеристики объекта, его место в ситуации и связи между объектами. В ИТС информационная интерпретация заменяет человеческий анализ и повышает оперативность решений. Информационная интерпретация применяется при автоведении [6] и в транспортных кибер-физических системах [4].

Гипотетическая интерпретация

Гипотетическая интерпретация (ГИ) является частным случаем информационной интерпретации с включением в нее логических закономерностей. При ГИ говорят о гипотезе интерпретации. Под гипотезой интерпретации GI понимается такой механизм интерпретации B , что

$$(B(o) \rightarrow GI) \equiv 1.$$

Механизм интерпретации $B(o)$ показывает, что существует объект (o) к которому применяют механизм B . Это порождает гипотезу. Гипотеза GI называется полной и однозначной гипотезой интерпретации, если она есть конъюнкция переменных x , называемых интерпретантами.

$$GI = Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \dots \wedge x_n), i = 1 \dots n \quad (5)$$

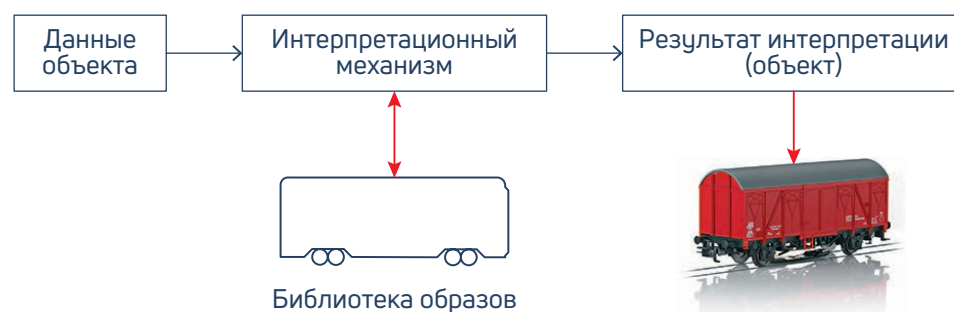


Рисунок 1. Объектная интерпретация



Рисунок 1. Объектная интерпретация

В выражении (5) Fc есть интерпретирующая функция, то есть сами по себе интерпретанты не дают интерпретацию, а играют роль основания интерпретации. Выражение (5) трактуется так: интерпретация GI является определенной и однозначной.

Один интерпретант или небольшая их совокупность является недостаточной, но необходимой частью комбинации интерпретантов, которая приводит к получению результата интерпретации. Интерпретант должен появляться в комбинациях с другими интерпретантами. Совокупность интерпретантов, которая позволяет получить полную и однозначную гипотезу интерпретации (5), называется целостной совокупностью интерпретантов.

После отбрасывания любого из интерпретантов в целостной совокупности GI перестает быть полной и однозначной гипотезой интерпретации и становится гипотезой неполной интерпретацией Glu .

$$Glu = Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \dots \wedge x_m) \quad (1), i = 1 \dots m; m < n, \quad (6)$$

Запись (6) трактуется так: интерпретация Glu содержит информационную неопределенность или Glu описывает информационную неопределенность. Гипотеза Glu также может использоваться для частичной интерпретации. Совокупность Glu может приводить к построению полной и однозначной гипотезой интерпретации.

Гипотеза интерпретации называется множественной Glm , если целостная совокупность интерпретантов допускает неоднозначность. В этом случае имеет место

$$Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \dots \wedge x_n) \rightarrow Glm_1 \vee Glm_2 \vee Glm_3 \vee \dots \vee Glm_J, \quad (7)$$

Запись (7) читается как: целостная совокупность интерпретантов приводит к совокупности допустимых гипотез интерпретации в разных сочетаниях. Гипотеза интерпретации называется альтернативной Gla , если имеет место

$$Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \dots \wedge x_n) \rightarrow Gla_1 \oplus Gla_2 \oplus Gla_3 \oplus \dots \oplus Gla_J, \quad (8)$$

Запись (8) читается как: целостная совокупность интерпретантов приводит к одной из альтернативных гипотез интерпретации. Например, если куплен билет, то субъект поедет либо на воздушном, либо на железнодорожном, либо на автомобильном, либо на речном транспорте.



Гипотеза интерпретации называется эквивиальной G_{lef} , если разные целостные совокупности интерпретантов приводят к общей гипотезе

$$Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge \dots \wedge x_m) \rightarrow G_{lef} \quad (9)$$

$$Fc(y_1 \wedge y_2 \wedge y_3 \wedge y_4 \wedge \dots \wedge y_m) \rightarrow G_{lef} \quad (10)$$

$$Fc(z_1 \wedge z_2 \wedge z_3 \wedge z_4 \wedge \dots \wedge z_m) \rightarrow G_{lef} \quad (11)$$

В выражениях (9–11) показаны разные наборы интерпретантов и разные интерпретирующие функции, но результат интерпретации является одинаковым. Такой механизм интерпретации применяют в экспертизе и криминалистических доказательствах. Он подтверждает надежность интерпретации. В этом случае гипотетическая интерпретация переходит в категорию утвердительной интерпретации. Гипотетическая интерпретация принимается в системах поддержки принятия решений и в ситуационных центрах.

Прямая и обратная интерпретация

Одним из средств верификации и уточнения гипотетической интерпретации является прямая и обратная интерпретация. Прямая интерпретация связана с отношением «причина (*cause*) – результат (*result*)», обратная с отношением «результат – причина». Для этой цели применяют прямую и обратную импликацию. Для прямой интерпретации применяют прямую импликацию

$$C \rightarrow R. \quad (12)$$

Для обратной интерпретации применяют обратную импликацию

$$C \leftarrow R. \quad (13)$$

Такие интерпретации часто применяют в причинно-следственном или каузальном анализе и в криминалистике. Они показывают направление следования. Соответственно, такие интерпретации называют причинно-следственными. Во многих исследованиях узкое понятие «причина» заменяют на широкое понятие «объект интерпретации». Такие интерпретации называют объектными. В этом случае для прямой интерпретации применяют описание

$$O \rightarrow R. \quad (14)$$

Для обратной объектной интерпретации применяют аналог (13)

$$O \leftarrow R. \quad (15)$$

Объектами интерпретации могут быть события, факты, множества, переменные, совокупности, функции, конструкции, включая информационные конструкции. Результатом интерпретации может быть значение, утверждение, вывод, парадигма.

Информационная конструкция [16] занимает особое место в интерпретации. Как модель она является объектом интерпретации. Как алгоритм она служит механизмом интерпретации. Как результат интерпретации информационная конструкция может принимать разные формы: структура, закономерность, закон, вывод.

Часто интерпретация является многошаговой. В этом случае на каждом шаге выделяют причину и следствие или объект результат. Отношения между причиной и следствием на каждом шаге легче проследить логически и аналитически, они помогают контролировать тре-

ть факторы и могут быть легче подтверждены экспериментальными данными и общими законами покрытия. Прямая и обратная интерпретация могут быть оппозиционными [17, 18].

Системная интерпретация

Применение системного подхода приводит к системной интерпретации. Системная интерпретация – это интерпретация, построенная с использованием системного подхода. Ее применяют для интерпретации объектов, которые относят к системам, например поезд. Ее применяют для интерпретации ситуаций, (рис.2) в которых могут протекать системные процессы.

Любая прикладная или сложная система может быть рассмотрена как причинный механизм. Можно ввести понятие интерпретационная сложная система *ISYS*. На практике простые интерпретации встречаются редко и большинство интерпретаций попадают в категорию сложных систем.

Интерпретационная сложная система *ISYS* осуществляет интерпретацию или функциональное преобразование входного множества параметров объекта (интерпретантов) X на выходное множество результатов интерпретации Y . Входное множество X можно рассматривать как набор интерпретантов. Выходное множество Y можно рассматривать как результаты интерпретации. В системном представлении это будет соответствовать выражению.

$$ISYS: X \rightarrow Y \quad (16)$$

С позиций интерпретационного анализа это выражение означает, что совокупность фактов X с помощью процесса интерпретации, обозначенного стрелкой, преобразуется в выходное множество Y – совокупность интерпретаций. В этом выражении *ISYS*: – механизм интерпретации. Стрелка показывает направление интерпретации. Это выражение является альтернативой выражению (5), в котором описана функциональная интерпретация. Выражение (16) описывает системную или теоретико- множественную интерпретацию. Оно является общим по отношению к (9). В нем по иному показан механизм интерпретации

При обработке информации выражение (12) имеет место и алгоритм в общем случае может быть рассмотрена как причинный механизм *ISYS*. В процессе обработки информации выделяют входные x и выходные y переменные. Если рассматривать алгоритмическую интерпретацию, то она дает один результат и должна быть видоизменена.

Входные переменные факты (x) можно рассматривать как исходные данные, выходные переменные y можно рассматривать как интерпретанты или результат интерпретации. Логическое следование между входными переменными x и выходными переменными y записывается при помощи прямой импликации

$$IAL: x \rightarrow y. \quad (17).$$

Выражение (17) является аналогом выражения (16). Оно означает, что входные переменные x (факты) преобразуются во выходные переменные y (результат >>>

интерпретации) с помощью интерпретационного алгоритма *I*AL – механизма интерпретации. Особенность интерпретационного алгоритма *I*AL в том, что это не столько вычислительный алгоритм, сколько алгоритм рассуждений или логическая конструкция.

Выражение (16) описывает общее системное преобразование с использованием множеств, выражение (17) описывает частное преобразование с использованием переменных. Однако выражение (17) является частным из выражения (16).

Следует отметить, что интерпретационный алгоритм можно также рассматривать как механизм информационного преобразования, например, как информационный морфизм. С этой точки зрения развитие теории информационного морфизма в теории интерпретации представляется эффективным.

Цифровая интерпретация

Цифровая интерпретация рассматривается как эффективный инструмент обучения, коммуникации и управления, который повышает осведомленность субъектов и улучшает их понимание действительности. Часто «цифровую интерпретацию» понимают как процесс, а не как фиксированный инструмент для представления результатов. Это приводит к понятиям интерактивная интерпретация и инкрементная интерпретация. Цифровая интерпретация применяется чаще при обработке цифровых изображений или цифровых карт [19, 20]. Достаточно широкое применение цифровая интерпретация находит при анализе «цифрового наследия» [21], то есть архитектурных памятников, имеющих цифровую форму представления. Анализ этого направления помогает понять сущность цифрового интерпретационного процесса. Особенность такой интерпретации сложных объектов состоит в формировании «частичных моделей» как «частей мозаики понимания». Другими словами, здесь работают модели интерпретации (10) и (12).

При анализе «цифрового наследия» [21] полагают, что понимание и реконструкция цифрового объекта могут быть возможны только тогда, когда система интерпретации реализует множественность интерпретации на уровне содержания. При этом важно, что для исследования виртуального объекта механизм интерпретации или рассуждения становятся «интерпретатором» для конечного пользователя. Дефиниции «интерпретации» в теории и дискурсе цифрового наследия расплывчаты.

Ученые и специалисты работают над улучшением цифровой интерпретации конечными пользователями путем использования различных цифровых инструментов таких как: игровой движок для создания герменевтической среды [22], соматический импульс [23], тактильные устройства [24] для воплощенного взаимодействия, искусственный агент, динамический контент с несколькими пользовательскими виртуальными средами (MUVE), дополненные стереографические панорамы, иммерсивные дисплеи и голографические дисплеи с приложением дополненной реальности [25] для более

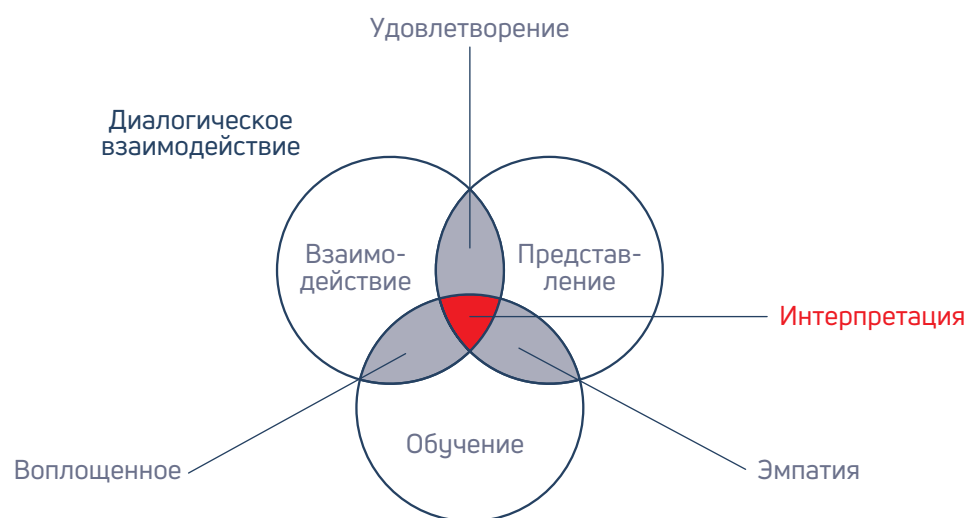


Рисунок 3. Концептуальная модель цифровой интерпретации

высокого погружения. Однако такие частные цифровые технологии могут обеспечить только частичную интерпретацию.

Из-за разнообразия и не согласованности цифровая интерпретация носит преимущественно описательный, технологический и узкий характер, а не ориентирована на разнообразного пользователя.

Наряду с развитием социального программного обеспечения и Web 3.0 появилась возможность расширяемой, референтной и интерпретирующей среды цифровой интерпретации. Эти изменения представляют собой фундаментальный сдвиг в цифровой интерпретации в отношении, от пассивных рецепторов информации к активным участникам через дискурс. Интернет является примером такой тенденции.

Метод цифровой интерпретации или общения с конечными пользователями устанавливает четыре цели интерпретации и четыре фактора:

1. **Удовлетворенность информационной потребности.** Пользователи должны быть удовлетворены. Процесс интерпретации должен поддерживать запросы и интересы конечных пользователей.
2. **Эмпатия.** Этот процесс должен повысить осведомленность о сущности и применении цифрового продукта.
3. **Обучение.** Процесс должен быть направлен на то, чтобы передать символическое и семантическое значение объекта интерпретации конечным пользователям с использованием учебных мероприятий. Это имеет большое значение в системе образования при использовании цифровых обучающих ресурсов.
4. **Множественность интерпретации.** Интерпретативный процесс должен представлять результат интерпретации с возможных множественных точек зрения; таким образом, он предоставит возможность иметь более широкое и альтернативное понимание фактов или событий.

Накапливая эти четыре фактора, цифровая интерпретация в первую очередь накапливает информацию. Во-вторых, это открывает возможность использования этих факторов в качестве индикаторов для оценки эффективности интерпретации: >>>

Дэвид Уззелл [26] упомянул два типа интерпретации ряда объектов, включая цифровое наследие: «воссоздание» и «переосмысление». У архитекторов исторических памятников это звучит как восстановление и реконструкция. «Воссоздание» цифровых объектов в основном разрабатывается для тематических целей как «кусочек прошлого». Подход «реконструирования» цифровых объектов является более полным и представляет историю развития объекта в прошлом и будущем.

Affleck [27] в первый раз попытался разработать модель интерпретации для проекта цифрового наследия под названием реконструктивный, дискурсивный подход к интерпретации наследия». На в данной работе предлагается нелинейная цифровая интерпретация, при которой процесс позволяет активным участникам в создании дискурсивного контента и диалогическом взаимодействии (т.е. общении и диалоге между участниками и экспертами) использовать множественное и интересубъективное понимание прошлого культурного наследия.

Подобная модель представлена на рис.3 [28]. Согласно модели для интерпретации цифрового наследия, процесс интерпретации должен учитывать четыре аспекта: представление, обучение и взаимодействие – в рамках среды, которая поддерживает диалоговые взаимодействия между участниками и экспертами для создания коллективной базы знаний через диспозицию общего пространственного опыта.

Взаимодействие — это создание, манипулирование и совместное использование смысла через вовлеченное взаимодействие с цифровыми объектами. Воплощение играет ключевую роль в проектировании взаимодействия как реакция пользователей на окружающую среду с учетом его знаний и понимания. В итоге интерпретация представляет собой диалогический процесс, в котором активно участвуют, исследуют и лучше понимают через общий опыт.

С другой стороны, взаимодействие относится к процессу или ситуации, когда две или более сущностей имеют контакт друг с другом. Интерпретационное исследование состоит в свободе изучения цифрового контента.

В рамках этого процесса пользователям разрешено манипулировать цифровыми объектами или их элементами и создавать свой или вносить цифровой контент. В этом преимущество цифровой интерпретации, что она позволяет на основе интерпретации исходного цифрового объекта получать не только результат интерпретации. Но создавать свой цифровой контент, который в дальнейшем можно использовать для разных целей, включая интерпретацию или обучение.

Заключение

Термин «интерпретация» имеет разные терминологические отношения [29]. Объем и доступность данных в интеллектуальной транспортной системе обуславливают потребность в подходах, основанных на интерпретации данных. Алгоритмы и методы интерпретации применяются для дальнейшего повышения интеллекта приложений в области транспорта [2]. Цели интерпретации в ИТС включают: повышение оперативности анализа, исключение «медленного» участия человека в обработке, сжатие больших объемов информации при сохранении информативности, нахождение причинно-следственных связей, накопление типовых ситуаций и методов принятия решений в таких ситуациях. Интерпретация в ИТС имеет множественные трактовки: результат интерпретации, процесс интерпретации; механизм интерпретации. Совокупность методов и подходов дает основание ввести термин «интерпретационный анализ». Применение интерпретационного механизма имеет важное значение для управления транспортом, особенно высокоскоростным. Однако следует учитывать, что исходные данные могут интерпретироваться посредством различных механизмов, что дает разные результаты интерпретации. Эквивалентность интерпретации есть критерий надежности результатов интерпретации. Информационная интерпретация является универсальным инструментом интерпретации. Открытый процесс интерпретации позволяет субъектам исследовать и «вносить свой вклад» как в содержание. ■

Список литературы

1. Gohar A., Nencioni G. The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 9. – С. 5188.
2. Kaffash S., Nguyen A. T., Zhu J. Big data algorithms and applications in intelligent transportation system: A review and bibliometric analysis // International Journal of Production Economics. – 2021. – Т. 231. – С. 107868.
3. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы – Saarbrücken, 2012. – 297 с.
4. Deng H. W. et al. Commercial cloud computing for connected vehicle applications in transportation cyberphysical systems: A case study //IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 6–19.
5. Tsvetkov V. Ya., Shaytura S.V., Ordov K.V. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p. 181–185.
6. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.44–52.
7. Brants S. et al. TIGER: Linguistic interpretation of a German corpus //Research on language and computation. – 2004. – Т. 2. – С.597–620.
8. Bodryshev V. V., Nartova L. G., Rabinskiy L. N. Digital interpretation of gas dynamics problems as a means of optimizing fundamental general engineering education //Asia Life Sciences. – 2019. – №. 2 Suppl. 21. – С. 759–774.
9. Чехарин Е.Е. Методы и алгоритмы информационной интерпретации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №5 (17). – С.39–49.
10. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика. – М.: Янус-К, 2002. – 392 с.
11. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. – №3. – С.110–115.
12. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20–30.
13. Козлов А. В. Анализ субсидиарных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 69. С.160–167.
14. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. – 2012. – №6. – С.40–43.
15. Ожерельева Т. А. Мета моделирование и информационный морфизм // Славянский форум. 2021, 3(33). С.69–78.
16. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64 с.
17. Цветков В.Я. Использование оппозиционных переменных для анализа качества образовательных услуг // Современные наукоёмкие технологии. – 2008. – №1. – С.62–64.
18. Cohen J. et al. An empirical analysis of local opposition to new transmission lines across the EU-27 //The Energy Journal. – 2016. – Т. 37. – №. 3.
19. Soman S. et al. Worldwide detection of informal settlements via topological analysis of crowdsourced digital maps //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2020. – Т. 9. – №. 11. – С. 685.
20. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С.147–155.
21. Liu Y. Evaluating visitor experience of digital interpretation and presentation technologies at cultural heritage sites: a case study of the old town, Zuoying //Built Heritage. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 14.
22. Champion E., Dave B. Where is this place //Proceedings of ACADIA 2002: Thresholds Between Physical and Virtual. – 2002. – С.87–97.
23. Flynn B. Augmented visualisation: Designing experience for an interpretative cultural heritage //2008 12th International Conference Information Visualisation. – IEEE, 2008. – С.447–452.
24. Roussou M. The components of engagement in virtual heritage environments //New Heritage. – Routledge, 2007. – С.241–257.
25. Pedersen I. et al. More than meets the eye: The benefits of augmented reality and holographic displays for digital cultural heritage //Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH). – 2017. – Т. 10. – №. 2. – С.1-15.
26. Uzzell D. Heritage interpretation in Britain four decades after Tilden //Manual of heritage management. – 1994. – С.293–302.
27. Affleck J., Kvan T. A virtual community as the context for discursive interpretation: A role in cultural heritage engagement //International Journal of Heritage Studies. – 2008. – Т. 14. – №. 3. – С. 268–280.
28. Rahaman H. Digital heritage interpretation: a conceptual framework //Digital Creativity. – 2018. – Т. 29. – №. 2-3. – С. 208-234.
29. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Цветков В. Я. Терминологические отношения // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 5. – С.146–148.