

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ТУРИСТСКОГО ПРОДУКТА В РЕГИОНЕ

Л. А. Гамидуллаева¹, А. Г. Финогеев²

^{1, 2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
¹gamidullaeva@gmail.com, ²alexeyfinogeev@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время синтез моделей и моделирование туристических бизнес-процессов непосредственно определяется развитием ИКТ, которые являются средством связи путешественников во всем мире как между собой, так и с различного рода организационными структурами (турагентствами, навигационными сервисами, финансовыми системами, сервисами поиска и бронирования билетов, гостиниц, трансфера и т.д.). Однако в настоящее время слабо развиты комплексные системы для самостоятельного подбора турпродукта, которые используют технологии искусственного интеллекта для сравнительного анализа туристских продуктов с учетом собственного опыта и опыта других туристов. Актуализируется проблема разработки единой цифровой туристской экосистемы региона с максимально полным доступом к другим системам и базам данных. Это детерминирует необходимость разработки соответствующих методов и подходов с использованием новейших информационных технологий. Цель – разработка методики представления и кластеризации цифровых двойников (аватаров) профилей туристов с нечеткими формулировками предпочтений туристов. *Материалы и методы.* Методическую основу исследования составили общенаучные и специальные методы системного анализа, моделирования, кластеризации, методы синтеза графовых маршрутов, многокритериальной оптимизации и принятия решений, метод бенчмаркинга. *Результаты.* Разработана и представлена оригинальная методика кластеризации предпочтений туристских профилей и туристских продуктов, многокритериальный метод синтеза туристских маршрутов, а также метод сравнительного анализа (бенчмаркинга) туристских продуктов. *Выводы.* Приводится обоснование необходимости интеграции различных подходов и методов для разработки единой цифровой туристской экосистемы в регионе в целях комплексного управления жизненным циклом туристского продукта.

Ключевые слова: цифровая туристская экосистема, туристский продукт, туристский маршрут, распределенный реестр, кластеризация

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-28-20524 «Цифровизация управления жизненным циклом внутреннего регионального туристского продукта на основе технологии блокчейн». (URL: <https://rscf.ru/project/22-28-20524>).

Для цитирования: Гамидуллаева Л. А., Финогеев А. Г. Методы управления жизненным циклом туристского продукта в регионе // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 2. С. 25–41. doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-2

METHODS FOR MANAGING THE LIFE CYCLE OF A TOURIST PRODUCT IN A REGION

L.A. Gamidullaeva¹, A.G. Finogeev²

^{1, 2} Penza State University, Penza, Russia

¹ gamidullaeva@gmail.com, ² alexeyfinogeev@gmail.com

Abstract. *Background.* At present, the synthesis of models and modeling of tourism business processes is directly determined by the development of ICT, which are a means of connecting travelers around the world both among themselves and with various organizational structures (travel agencies, navigation services, financial systems, ticket search and booking services, hotels, transfers, etc.). However, at present, integrated systems for self-selection of a tourist product are poorly developed, which use artificial intelligence technologies for a comparative analysis of TP, taking into account their own experience and the experience of other tourists. The problem of developing a unified digital tourism ecosystem of the region with the fullest possible access to other systems and databases is being updated. This determines the need to develop appropriate methods and approaches and use the latest information technologies. The purpose of this article is to develop a methodology for representing and clustering digital twins (avatars) of tourist profiles with fuzzy statements of tourist preferences. *Materials and methods.* The methodological basis of the study was general scientific and special methods of system analysis, modeling, clustering, methods for synthesizing graph routes, multicriteria optimization and decision making, and the benchmarking method. *Results.* The authors have developed and presented an original methodology for clustering the preferences of tourist profiles and tourist products, a multi-criteria method for synthesizing tourist routes, as well as a method for comparative analysis (benchmarking) of tourist products. *Conclusions.* The article provides a justification for the need to integrate various approaches and methods to develop a single digital tourism ecosystem in the region for the integrated management of the life cycle of a tourism product.

Keywords: digital tourism ecosystem, tourism product, tourist route, distributed ledger, clustering

Financing: this research was funded by grant from the Russian Science Foundation (RSF) and Penza Oblast (Russia) (project № 22-28-20524) (URL: <https://rscf.ru/en/project/22-28-20524/> accessed on 14 February 2023).

For citation: Gamidullaeva L.A., Finogeev A.G. Methods for managing the life cycle of a tourist product in a region. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(2):25–41. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-2

Введение

Особую роль в управлении жизненным циклом туристского продукта (ТП) играют цифровые технологии (ЦТ), использование которых как бизнесом, так и потребителями активизировалось в условиях пандемии COVID-19. Цифровизация вызывает структурные изменения туристского рынка и требует использования новых подходов, технологий и инструментов для управления жизненным циклом туристского продукта [1].

Для планирования и развития туристической отрасли в регионе прежде всего необходима соответствующая инфраструктура в виде информационно-туристических центров, доступных средств и способов передвижения туристов, мест ночевки, объектов общественного питания, объектов продажи

сувенирной продукции, оборудованных мест и способов осмотра достопримечательностей и т.п. Развитие ИКТ сегодня привело к возможности повсеместного внедрения ЦТ для помощи туристам в синтезе, поиске и выборе индивидуальных туристских маршрутов. Однако анализ существующих систем помощи туристам, в том числе и встроенных в известные навигационные сервисы, показал, что несмотря на наличие достаточно развитой инфраструктуры и соответствующего программного обеспечения для доступа к сервисам, в настоящее время слабо развиты комплексные системы для самостоятельного подбора турпродукта, которые используют технологии искусственного интеллекта для сравнительного анализа ТП с учетом собственного опыта и опыта других туристов. Туристам для выбора турпродуктов, синтеза оптимальных маршрутов, подбора оптимальных средств и способов передвижения, выбора мест ночевки и питания с учетом временных, пространственных и финансовых параметров, приходится использовать сразу ряд навигационных сервисов, сервисов бронирования билетов, отелей, автотранспорта, сайтов с туристической информацией, сайтов с отзывами других путешественников и т.д., что требует серьезных трудозатрат и замедляет развитие туризма из-за отсутствия единого комплексного цифрового сервиса с максимально полным доступом к другим системам и базам данных.

Одной из задач проекта является создание архитектуры цифрового рекомендательного мобильного сервиса для предоставления максимально полной и подробной информации о ТП. Предлагаемый пользователю ТП должен включать подробный маршрут с метаданными, полную информацию о средствах перемещения, местах стоянок и ночевки с описанием мест проживания и питания, информацию о достопримечательностях на маршруте, предварительную оценку временных и финансовых затрат на путешествие и другую необходимую информацию. Синтез или подбор ТП реализуется на основе анализа индивидуальных или групповых туристических предпочтений, с учетом психофизиологических особенностей туриста, сравнительного анализа схожих ТП и с учетом собственного приобретенного опыта путешествий и опыта других туристов в виде отзывов, видеоблогов, описаний путешествий, представленных в открытом доступе в сети Интернет. Так как такой информации в настоящее время очень много, то для ее поиска и обработки в проекте используются технологии сбора, интеллектуального анализа и консолидации больших данных. Результатом работы рекомендательного сервиса является синтез альтернативных ТП с рекомендацией оптимального маршрута с последующим навигационным сопровождением путешественника для корректировки маршрута с учетом текущей обстановки, временных и финансовых затрат, пожеланий пользователя, а также для сохранения заметок и отзывов путешественника о точках на маршруте для накопления собственного опыта, анализа и синтеза других турпродуктов. Каждый синтезированный и освоенный в процессе путешествия продукт сохраняется в иерархической базе данных, синтезированной в виде распределенного реестра (блокчейн) и хешируется для уникальной идентификации с целью защиты от несанкционированного доступа и компрометации. Это необходимо, так как в современных туристических сервисах, сервисах бронирования, рейтинговой оценки и т.п. преобладают в основном положительные отзывы, которые пишут менеджеры туристских объектов, нанятые блогеры или боты. При этом отрицательные

отзывы и описания удаляются, так как доступ к ним определяется системными администраторами информационных сервисов туристских объектов.

В данном проекте под туристским продуктом понимается детально проработанный маршрут, который формируется интеллектуальной системой в интерактивном режиме на основе интеллектуального анализа больших данных о существующих компонентах будущего продукта, особенностей и предпочтений путешественника и членов его группы, ретроспективных данных о собственном опыте путешествий и данных о стороннем опыте аналогичных путешествий другими туристами.

В предыдущих исследованиях был сделан вывод о необходимости разработки универсальной цифровой платформы [2,3] с мобильным приложением для рекомендательного проектирования и выбора оптимальных туристских маршрутов для отдельных путешественников, семей или малых групп (до 15 человек). Категория массового туризма и подбор ТП для больших групп на данном этапе не рассматривается, так как такие группы, как правило, не планируют самостоятельные путешествия и с ними, по нашему мнению, должны работать специализированные турфирмы. Сложность разработки цифровой платформы определяется необходимостью моделирования различных туристических бизнес-процессов, которые определяются формальными моделями. Модели описывают предпочтения отдельных пользователей в группах и их интересы на основе равновесия Нэша и других моделях теории игр, способы перемещения, топологии и критерии оптимальности маршрутов с учетом временных, пространственных, финансовых и прочих факторов на основе моделей многокритериальной оптимизации, формы проживания и питания, принципы осмотра достопримечательностей, факторы влияния окружающей среды на синтез и реализацию ТП. При этом, несмотря на выбор и применение существующих моделей бизнес-процессов, каждый турист должен иметь возможность учета экспертных оценок всех элементов маршрута со стороны других пользователей.

Проведем критический анализ потенциальных методов и подходов, позволяющих реализовать вышеуказанные задачи.

Обзор литературы

Примером работы в области применения методов промышленной интеграции информации для решения транспортных задач является статья [4], в которой рассмотрена проблема оптимизации маршрутов передвижения транспортных средств с целью снижения энергопотребления и загрязнения окружающей среды. Предложена модель многоцелевой оптимизации множества маршрутов с использованием алгоритма элитарной генетической сортировки без доминирования для минимизации стоимостных и временных затрат в процесс движения транспортных средств, а также снижения выбросов углеродных компонент. Окончательный маршрут выбирается в процессе принятия решений согласно методу серого реляционного анализа и на основе оценки значения информационной энтропии. Авторы статьи [5] предлагают двухэтапный гибридный алгоритм для решения задачи маршрутизации транспортных средств с целью оптимизации логистики и планирования. В статье [6] предлагается многокритериальная модель оптимизации передвижения между множеством точек для минимизации общего числа маршрутов, затрат на поездки

и уменьшения количества длинных маршрутов. Многоцелевая оптимальная модель маршрутов транспортных средств с минимальной общей стоимостью, объемом выбросов углеродных компонент и минимальной вероятностью риска аварии с учетом экологических факторов также предложена в [7].

В работе [8] авторы разработали многоцелевую модель маршрутизации транспортных средств с учетом таких ограничений, как количество клиентов, количество транспортных средств и вместимость, на основе интеграции алгоритма роя частиц и алгоритма пчелиной колонии. В работе [9] авторы также применили алгоритм искусственной пчелиной колонии для решения трехкритериальной модели маршрутизации транспортных средств. А в работе [10] предложен улучшенный алгоритм множественных муравьиных колоний для оптимизации передвижения транспортных средств.

Авторы статьи [11] разработали двухцелевую модель оптимизации маршрутов транспортных средств, направленную на минимизацию расстояния и числа транспортных средств для группы пользователей с целью максимального удовлетворения клиентов на основе алгоритма имитации отжига и генетического алгоритма. В работе [12] исследователи применили элитарный генетический алгоритм сортировки без доминирования (NSGA-II), обладающий высокой надежностью и гибкостью, для решения задач оптимизации маршрутизации с двумя и тремя целями. Другие авторы в статье [13] описали использование аналогичного алгоритма NSGA-II для синтеза модели маршрутизации транспортных средств с временными окнами, доказав высокую эффективность и применимость метода для решения похожих задач.

В многочисленных исследованиях многокритериальной задачи оптимизации маршрутов движения транспортных средств с синтезом оптимальных по Парето решений для выбора оптимального пути используется множество подходов.

Например, в работе [12] авторы использовали многокритериальный эволюционный алгоритм для получения оптимального решения Парето, а затем применили стохастический анализ, многоатрибутный анализ для выбора приемлемых вариантов передвижения. Исследователи в статье [15] предложили гибридный алгоритм синтеза оптимальных путей, основанный на алгоритме муравьиной колонии, для решения многокритериальной задачи оптимизации маршрутизации. Выбор оптимального пути при этом остается за лицами, принимающими решения, которые выбирают подходящий путь в соответствии со своими потребностями и состоянием целевых затрат по различным направлениям. В работе [16] авторы рассматривают условия дорожного движения в реальном времени и строят двухцелевую модель передвижения транспортных средств в соответствии с экономическими и экологическими целями на основе алгоритма локального поиска ближайших соседей. Для выбора оптимального решения использовалось сочетание методов многоатрибутного принятия решений и статистического анализа участков маршрута. Авторы статьи [17] решают задачу маршрутизации транспорта с пятью целями на основе многокритериального метода принятия решений по серой цели, основанного на оценке информационной энтропии, с последующим ранжированием маршрутов с учетом субъективных мнений, объективных критериев и характеристик логистических целей. Такой подход имеет преимущества, так как позволяет присваивать веса целевым объектам маршрутизации в соответствии с объективными

данными, затем взвешивать альтернативные маршруты и посредством ранжирования целей и маршрутов определять оптимальную схему передвижения на основе оценки расстояния до целей и альтернативных маршрутов.

Кроме того, следует проанализировать возможности сквозной технологии распределенного реестра в целях решения задач настоящего исследования.

Тематика блокчейна является актуальной для исследователей во всем мире, однако большинство исследований связано с криптовалютами. В частности, только в архиве публикаций IEEE Xplore есть более 2500 публикаций по теме блокчейн за 2021 г. Это связано с тем, что технология распределенного реестра (блокчейн) – это одна из самых развивающихся и надежных технологий безопасного хранения и обмена данными. Следует отметить, что технологии распределенного реестра и децентрализованных приложений на основе блокчейна реализуются в различных предметных областях человеческой деятельности.

Часто систему распределенного реестра создают для мониторинга и анализа государственных услуг. Здесь смарт-контракты фиксируют записи и предлагают решения в области судебных разбирательств, ведут оценку рисков предоставления государственных контрактов частным компаниям.

Технология распределенного реестра сегодня активно внедряется в системах Internet of Things (IoT). Большинство систем IoT передают потоки данных с сенсорных узлов через маршрутизаторы на облачные сервера, что вызывает проблемы конфиденциальности и целостности информации при передаче через публичные каналы связи, обработке на облачных серверах сторонних провайдеров и т.п. Технологии блокчейна позволяют решать данные проблемы.

Данная статья является продолжением серии научных статей, посвященных разработке моделей и методов повышения эффективности функционирования цифровых туристских экосистем [1–3].

Материалы и методы

Модель управления жизненным циклом ТП в регионе с использованием цифровых двойников-аватаров туристов обобщенно можно представить в виде алгоритмического процесса, включающего следующие этапы:

1. Разработка анкетного опросника предпочтений туриста, требуемого для синтеза матрицы предпочтений его цифрового аватара и синтеза ТП.
2. Синтез оптимальных вариантов реализации туристского маршрута (изображения возможных туристических маршрутов предлагаются на карте), представляющих схемы перемещения туриста между ключевыми точками на маршруте с временными, пространственными, финансовыми и прочими характеристиками участков.
3. Синтез цифрового аватара туриста, представляющего собой виртуальную систему с ключевыми параметрами, характеризующими его предпочтения и психофизиологические особенности.
4. Представление ТП и матриц предпочтений цифровых аватаров в виде цепочки блоков распределенного реестра с уникальными хеш-идентификаторами. Привязка блоков с матрицами предпочтений к номерам телефонов туристов, а блоков с формализованными описаниями ТП к наборам координат,

адресов и наименований особых точек синтезированных туристических маршрутов.

5. Кластеризация цифровых аватаров туристов. Каждый кластер объединяет схожих по предпочтениям туристов (групп), совмещает их предпочтения на основе усреднения ключевых параметров. Это позволяет системе предлагать рекомендации по выбору маршрутов и синхронизировать различные варианты туристических маршрутов с учетом собственного опыта туриста и опыта других пользователей системы. Кластеризация цифровых аватаров проходит по каждому виду туризма:

1) кластеризация, осуществляемая на основе предпочтений других цифровых аватаров туристов;

2) кластеризация по собственному накопленному опыту отдельного туриста для последующей индивидуализации предложения ТП.

6. Кластеризация ТП по степени схожести маршрутов, описаний ключевых точек и участков с похожими характеристиками в соответствии с матрицами предпочтений цифровых аватаров туристов. Сравнительный анализ и оценка множества альтернативных ТП с целью выбора маршрута, оптимального для конкретного туриста и/или группы согласно предпочтениям, особенностям и возможностям.

В целях разработки методики представления и кластеризации цифровых аватаров туристических профилей с нечеткими формулировками предпочтений целесообразно применить методы синтеза графовых маршрутов, многокритериальной оптимизации и принятия решений. В целях обеспечения информационной безопасности необходимо использование технологии распределенного реестра. Для кластеризации туристских продуктов применен метод бенчмаркинга.

Результаты

Для представления данных о туристских продуктах и персональных данных о туристах выбрана модель иерархической системы данных на основе технологии распределенного реестра (блокчейн). Атрибутивное виртуальное представление туриста в виде его цифрового аватара сохраняется в иерархической базе данных, представляющей распределенный реестр с уникальной идентификацией туристских продуктов и аватаров посредством хеширования с целью защиты от несанкционированного доступа и компрометации. Выбор подобного типа модели и структуры данных обусловлен необходимостью использования современных технологий обеспечения информационной безопасности.

Технология распределенного реестра представляет способ обеспечения надежности, уникальности и целостности цифровых файлов, а также повышения устойчивости данных к взломам и кибератакам [18]. Для идентификации блоков данных в распределенном реестре используется уникальный идентификатор в виде результата вычисления хеш-функции, который добавляется в его заголовок, а также к любым транзакциям с данными блока. Сам реестр формируется из блоков транзакций, связанных посредством включения хеша предыдущего блока в структуры данных текущего блока и вычисления его хеша. Транзакциями в нашем случае будем считать операции по формированию и изменению блоков данных с информацией о пользователе и его

туристических предпочтениях в распределенном реестре их цифровых аватаров, а также операции по формированию и изменению блоков данных о синтезируемых туристических маршрутах в распределенном реестре туристских продуктов. Таким образом, формируются две цепочки блоков данных, связи между блоками которых устанавливаются в процессе выбора пользователями туристских продуктов и согласования их параметров с предпочтениями туристов. Блоки данных из реестра туристских продуктов содержат характеристики туристических предпочтений и данных пользователей из реестра цифровых аватаров, временные, пространственные, финансовые и прочие логистические данные о туристическом маршруте, а также информацию о ключевых точках с текстовыми и графическими (фотографиями, изображениями, анимацией) материалами, аудио и видеозаписями, ссылками на сторонние сервисы и информационные ресурсы для удобства пользователей при выборе или синтезе туристского продукта.

Поддержание целостности накапливаемой информации в распределенных реестрах обеспечивается способом тройного хеширования. Связи последовательных записей каждого реестра реализуются двумя хешами, которые вычисляются для основного содержимого записи и для метаданных. При этом каждый из вычисляемых хешей используется для вычисления другого. Полученный хеш вставляется в заголовок следующей записи. Третья пара хешей устанавливает связь между двумя реестрами. При выборе маршрута для конкретного пользователя вычисляемый хеш его цифрового аватара вставляется в заголовок блока данных с выбранным туристским продуктом, и, наоборот, хеш выбранного продукта добавляется в блок данных цифрового аватара. В дальнейшем число хешей туристских продуктов, накапливаемых в блоке цифрового аватара пользователя, используется как оценка его туристического опыта и позволяет присваивать ему рейтинг туриста в зависимости от количества путешествий. Если хеш не обнаружен в записи или не совпадает после вычисления, то это означает, что данная запись была модифицирована.

Для проверки подлинности цифровых аватаров пользователей и туристских продуктов применяется смарт-контракт, выполняющий алгоритм линейной гомоморфной цифровой подписи аватара (продукта) (LHS) [19, 20]. Проверяемый идентификатор цифрового аватара или продукта (уникальная сигнатура) синтезируется путем комбинации двух хеш-функций:

а) $H_1(Id, (X, Y))$, где входными данными являются идентификатор цифрового аватара (продукта) Id , координаты широты и долготы (X, Y) места нахождения пользователя (стартовой точки маршрута);

б) $H_2(T)$, где T – точка на эллиптической кривой в конечном поле с координатами (x, y) :

$$\{(x, y) \in (\mathbb{R}_p)^2 \mid y^2 = x^3 + ax + b \pmod{p}, 4a^3 + 27b^2 \not\equiv 0 \pmod{p}\} \cup \{0\}, \quad (1)$$

где $\mathbb{R}_p$ – конечное поле целых чисел a, b по модулю p ; 0 – точка в бесконечности.

Точка эллиптической кривой включена для повышения безопасности данных цифрового аватара (продукта), чтобы усложнить процедуру возможной расшивки сигнатуры, которая базируется на проблеме дискретного логарифма в группе точек эллиптической кривой. Сгенерированную подпись можно представить как комбинированный хеш S :

$$S = (H_1(Id, (X, Y)), H_2(T(x, y))). \quad (2)$$

Для вычисления первой части цифровой подписи $H_1(Id, (X, Y))$ применяется алгоритм SHA-256 (Secure Hash Algorithm), который является алгоритмом хеширования биткойна. Для синтеза второй части подписи $H_2(T(x, y))$ используется алгоритм с открытым ключом ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm), определенный в группе точек эллиптической кривой.

Генерация цифровой подписи аватара (продукта) выполняется по алгоритму:

- 1) выбор случайного целого числа $m \in \{1, \dots, n - 1\}$, где n – порядок группы;
- 2) определение точки на кривой $T = mP$, где P – базовая точка подгруппы;
- 3) расчет параметра $y = x_P \bmod n$, где x_P – координата x точки P ;
- 4) если $y = 0$, то выбор другого числа m и переход к пункту 2;
- 5) вычисление цифровой подписи аватара (продукта) $S = m - 1 (H_2 + x H_1) \bmod n$;
- 6) если $S = 0$, то выбирается другое число m и переход к пункту 2.

Валидация цифровых аватаров и туристских продуктов необходима для разрешения установления связей между туристическими профилями пользователей и выбранными туристическими маршрутами, а также для обнаружения поддельных аватаров и некорректных туристских продуктов. Выявленные «плохие» туристские продукты и скомпрометированные цифровые аватары удаляются из системы, а их хеши добавляются в черный список.

Спектр моделей оптимальных турпродуктов представляет собой множество векторных моделей описаний ТП и их представление в виде графовых моделей с целью дальнейшей многокритериальной оптимизации. Критерии оптимизации выбираются в зависимости от способа передвижения туриста. Примерами наборов оптимизационных критериев могут быть следующие:

1. Для пеших туристов критериями могут быть: минимум расстояния между последовательными точками маршрута, максимум точек на маршруте с учетом средней скорости туриста и времени на их осмотр, наличие на маршруте мест остановок, питания, туалетов.

2. Для велотуристов критериями могут быть: минимум расстояния между последовательными точками маршрута, максимум точек на маршруте с учетом средней скорости велотуриста и времени на их осмотр, наличие на маршруте мест остановок, питания, туалетов и ночлега.

3. Для автотуристов, передвигающихся на общественном транспорте, критериями могут быть: минимум времени на передвижение (с учетом времени движения между точками в соответствии с расписанием движения транспорта) за заданное время движения в сутки, минимум стоимости передвижения или заданная стоимость билетов, максимум достопримечательностей с учетом времени на их осмотр, наличие на маршруте мест остановок, питания и ночлега.

4. Для туристов, передвигающихся на личном автотранспорте, критериями могут быть: минимум времени на передвижение (с учетом времени движения между точками, которое вычисляется на основе навигационных систем Яндекс и Гугл) за заданное время движения в сутки, минимум стоимости передвижения, максимум достопримечательностей за светлое время суток с учетом времени на их осмотр, наличие на маршруте мест заправок, остановок, питания и т.п.

Векторная модель описания точки маршрута представляет собой численное представление группы семантически связанных слов или фраз. Метод перехода к векторной модели подготавливает описание точки к извлечению метаданных. Векторное представление слов, характеризующих точку маршрута (достопримечательность, место ночевки, питания и т.п.) является наиболее компактным типом данных для хранения и последующего интеллектуального анализа. Векторное представление учитывает контекст, что позволяет структурировать информацию, написанную в свободной естественно-языковой форме, в виде системы векторов и перейти к ее графовому представлению для распознавания и кластеризации. Фактически описания особых туристических точек в свободной форме транслируются в формализованные описания, составленные из наборов ключевых слов. Новые ключевые слова, отсутствующие в словаре, будут добавлены в ходе синтеза векторной модели, реализуя процесс машинного обучения модели описания ТП.

Метод кластеризации туристских продуктов

Результатом предыдущего этапа является множество кластеров туристических аватаров с найденным центроидом кластера с усредненными туристическими предпочтениями. Сходство предпочтений конкретного пользователя, отнесенного к кластеру, определяется степенью близости к его центроиду. В связи с возможной нечеткостью туристических предпочтений отдельного туриста он может попасть в несколько кластеров с примерно равными степенями близости к их центроидам.

На следующем этапе выбирается спектр туристских продуктов для пользователя. В спектр туристских продуктов могут попасть следующие маршруты:

а) все маршруты, связанные со всеми кластерами, выбранные по заданной величине порога степени близости туристического аватара к их центроидам (полный охват возможных продуктов, где пользователю может быть предложено максимальное число маршрутов для выбора);

б) все маршруты, связанные с одним или несколькими кластерами, у которых зафиксирована максимальная степень близости с центроидом (охват всех продуктов, которые ранее спроектированы другими пользователями одного кластера или несколькими с равными максимальными степенями близости);

в) маршруты, связанные с конкретными туристическими аватарами одного кластера, к которому принадлежит матрица предпочтений туриста, ранжированными по степени близости к его аватару с отбором продуктов согласно заданному порогу (охват продуктов, максимально схожих с матрицей предпочтений туриста);

г) маршруты, синтезированные по матрице предпочтений конкретного туриста, без привязки к кластерам и центроидам.

Взаимосвязь между векторами признаков (матрицей предпочтений, туристическим профилем) аватаров в кластерах кластеров и туристскими продуктами можно представить в виде взвешенного графа с двумя подграфами

$$G = (V_1, V_2, E),$$

где V_1 – множество вершин, которые представляют туристические аватары, сгруппированные в кластеры с виртуальными аватарами-центроидами V_{ai} , V_2 – множество вершин туристских продуктов; $E = \{ \langle \mu(v_i, v_j) / (v_i, v_j) \rangle \}$ – множество ребер, устанавливающих связи продуктов с предпочтениями туристов с весами $\mu \in [0,5; 1]$, которые определяют функцию нечеткой принадлежности готового маршрута матрице предпочтений туриста (рис. 1).

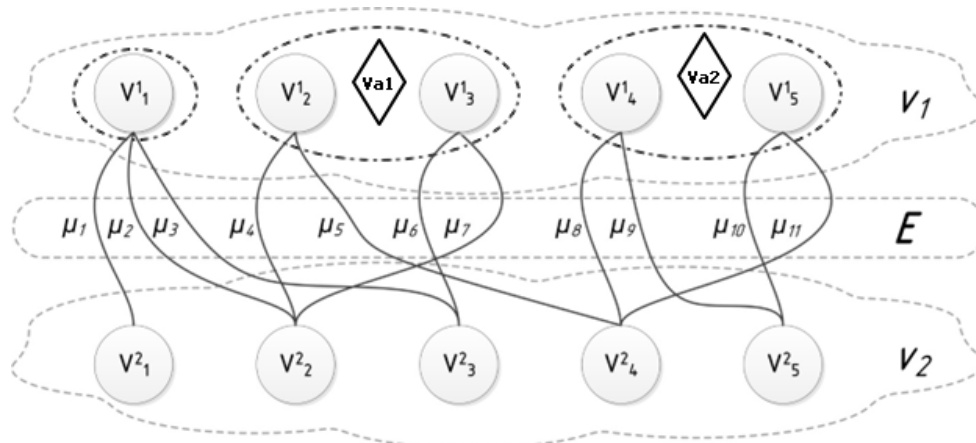


Рис. 1. Взвешенный граф туристических аватаров и продуктов

Ребра с весами меньше 0,5 исключаются при синтезе графа, так как нас не интересуют продукты, слабо связанные по степени сходства с матрицами туристических предпочтений. Веса ребер представляют нормированную оценку степени близости векторов признаков аватаров и продуктов.

Так как число туристских продуктов со временем становится достаточно большим и туристу может быть слишком сложно в них ориентироваться, а также для того чтобы предлагать туристу продукты от множества реальных туристических аватаров, а не от виртуального аватара-центроида с усредненными предпочтениями, на первом этапе задачи выбора целесообразно выполнить кластеризацию туристских продуктов относительно аватаров и сравнить полученные кластеры продуктов с множеством продуктов, отнесенных к виртуальному аватару-центроиду.

В данном случае предлагается провести кластеризацию непосредственно на графе. Входными и выходными данными будет граф, представленный в виде матрицы смежности, с элементами в виде весов ребер. Для кластеризации вершин туристских продуктов задается «критерий схожести», метрическое пространство и функция метрики для каждой пары вершин графа.

Алгоритм кластеризации графа представляет функцию $F : V \rightarrow V'$, которая вершинам графа V_i ставит в соответствие кластеры V' . Веса ребер μ , которые в конечном счете представляют степень схожести предпочтений туриста вектору признаков туристического маршрута, будем также считать степенью схожести самих туристских продуктов и метрикой расстояния между

вершинами графа. В процессе кластеризации они нормируются и заменяются общей интегральной оценкой схожести кластера продуктов с матрицей предпочтений конкретного туриста. Результатом кластеризации считается граф $G' = (V'_1, V'_2, E')$, где V'_1 и V'_2 – подмножества туристических аватаров и кластеров туристских продуктов с интегральными весами μ' . С математической точки зрения вершины, объединяемые в кластер, должны иметь минимальное среднее внутрикластерное и максимальное межкластерное расстояние. Так как в нашем случае в кластер объединяются вершины с максимальной степенью сходства туристских продуктов, то процедура минимизации/максимизации расстояний состоит в выборе порогового значения веса μ для ребер e_i . При этом ребра с весом больше порогового значения будут объединять вершины одного кластера. В общем случае вершины могут одновременно принадлежать нескольким кластерам, так как разные продукты могут иметь схожие векторы признаков.

В качестве базового алгоритма кластеризации на данном этапе выбран Лувенский метод (Louvain) [21], который показывает большую точность и вычислительную скорость на графовых моделях и сетях с известной структурой. В основе алгоритма лежит определение и оптимизация коэффициента модульности кластеров вершин. Коэффициент модульности в оригинальном алгоритме представляет собой плотность ребер внутри кластера в диапазоне $[-1, 1]$ в сравнении с количеством межкластерных ребер. Фактически модульность – это сумма весов ребер, инцидентных вершине внутри кластера, за минусом суммы весов ребер вершины, связанных с вершинами других кластеров. В нашем случае при определении коэффициента модульности учитываются только веса ребер, которые больше заданного порогового значения. Ребра с меньшими весами, чем пороговое значение, не учитываются при кластеризации. При этом величина порога подбирается итерационно, в зависимости от размеров получаемых кластеров. Первоначально задается величина 0,75, и если в результате получается большее число вырожденных кластеров (вырожденными считаются кластеры с одной вершиной), то порог снижается на 0,05, и, наоборот, если все вершины попадают в один кластер, то порог увеличивается на 0,05 и процесс кластеризации повторяется. Алгоритм заканчивает работу при нахождении оптимального числа невырожденных кластеров.

Значение коэффициента модульности рассчитывается как

$$M = \frac{1}{2r} \sum_{i,j} \left[\mu_{i,j} - \frac{\sum \mu_{e_i} \sum \mu_{e_j}}{2r} \right] \delta(c_i, c_j), \quad (3)$$

где M – модульность; r – сумма весов ребер подграфа ($r > p$), которые имеют веса больше заданного порога p ; $\mu_{i,j}$ – вес ребра между вершинами i и j , которые могут объединиться в кластер ($\mu_{i,j} > p$), μ_{e_i} и μ_{e_j} – веса ребер e_i и e_j , инцидентных вершинам i и j ($\mu_{e_i} > p, \mu_{e_j} > p$), c_i, c_j – кластеры с вершинами i и j , $\Delta(c_i, c_j)$ – дельта Кронекера – индикатор равенства кластеров ($\delta(x, y) = 1$, если $x = y$, если нет – 0).

Коэффициент модульности отдельного кластера определяется как

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i^c}{2r} - \left(\frac{\sum_{i=1}^k (\mu_i^c + \mu_i^o)}{2r} \right)^2, \quad (4)$$

где M_c – модульность кластера; μ_i^c – вес внутрикластерного ребра, больший порога ($\mu > p$); μ_i^o – вес межкластерного ребра, больший порога ($\mu > p$); n – число внутрикластерных ребер; k – общее число ребер, инцидентных всем вершинам кластера.

В алгоритме можно выделить следующие шаги:

1. На первой стадии выполняется поиск локальных кластеров минимальных размеров с оптимальным значением функции модульности. Каждой вершине присваивается номер своего кластера, и рассчитывается модульность кластеров.

2. Выбирается произвольный кластер, из которого вершина переставляется по очереди в каждый соседний кластер. После перестановки подсчитывается изменение коэффициента модульности ΔM до и после перестановки вершины и выбирается кластер с наибольшим изменением модульности $\max \Delta M > 0$, в котором закрепляется переставленная вершина. Если ни одна из перестановок не увеличивает модульность, то вершина остается в том же кластере. Данный пункт повторяется, пока изменения коэффициента не останутся неизменными.

3. Граф с кластерами преобразуется в мультиграф. Вершины кластеров объединяются в одну с преобразованием ребер между ними в петли, а кратные ребра между полученными вершинами заменяются одним. Новые веса петель и ребер пересчитываются как среднее арифметическое из весов старых ребер.

4. Пункты 2 и 3 повторяются, пока не будет достигнута оптимальная величина коэффициента модульности (когда изменений модульности больше не будет происходить).

Алгоритм Лувена использован в качестве функции оптимизации при определении схожести матриц предпочтений туристов с рекомендуемыми туристскими продуктами, востребованных профессий и квалификаций специалистов. Число кластеров туристских продуктов жестко не определяется и может меняться в процессе обучения системы и при добавлении новых аватаров и синтезируемых маршрутов. Ограничениями являются пороговые величины весов ребер, которыми можно варьировать, изменяя тем самым число предлагаемых туристу продуктов.

Метод сравнительного анализа (бенчмаркинга) туристских продуктов

Кластеризация туристских продуктов позволяет определить группы схожих маршрутов. Однако такие продукты предлагаются пользователю по его предпочтению как единая целостная структура. Пользователь может быть уже знаком с частью маршрута, и ему нужен новый незнакомый маршрут с учетом уже пройденного, синтезированный из нескольких согласно его предпочтениям. Чтобы не решать снова задачу синтеза нового маршрута, пользователь может отметить уже пройденный маршрут, и тогда решается задача поиска

аналогичных частей в готовых продуктах с их последующим исключением и формированием нового продукта. Задача поиска и выделения схожих частей маршрута представляет собой решение задачи выделения изоморфных подграфов в графах маршрутов и оценки степени их сходства. Степень сходства вычисляется как оценка степени изоморфизма подграфов. Задачу выделения изоморфных подграфов также можно свести к задаче кластеризации графа маршрутов Лувенским методом. Для снижения размерности задачи из графовой модели маршрутов исключаются ребра с весами меньше 0,5, т.е. фрагменты со степенью схожести менее 50 % считаются нетождественными. В процессе работы алгоритма схожие фрагменты помещаются в один кластер с вычислением изменений коэффициентов модульности и выбором максимального изменения и затем объединяются. В ходе выделения изоморфных подграфов выполняется одновременно процедура синтеза нового маршрута с исключением фрагментов схожими с частями знакомого маршрута, отмеченного пользователем на маршрутном графе.

Заключение

Таким образом, в данной статье авторами разработана и представлена оригинальная методика кластеризации предпочтений туристских профилей и туристских продуктов, многокритериальный метод синтеза туристских маршрутов, а также метод сравнительного анализа (бенчмаркинга) туристских продуктов. Реализация данных методик на практике предоставит туристам арсенал инструментов для самостоятельного подбора турпродукта с использованием технологии искусственного интеллекта для сравнительного анализа туристских продуктов с учетом собственного опыта и опыта других туристов. Это вносит определенный вклад в решение проблемы разработки единой цифровой туристской экосистемы региона с максимально полным доступом пользователей (туристов) к другим системам и базам данных.

Реализация подобных сервисов в системе управления туристической отраслью несомненно повысит туристскую привлекательность территории, эффективность управления региональным туристским продуктом на всех этапах его жизненного цикла и в конечном итоге обеспечит рациональное использование и оптимизацию управления туристической отраслью региона.

В дальнейшей работе перспективными являются теоретико-методологические разработки и системные исследования в области проектирования цифровой кросс-отраслевой экосистемы туризма на условиях государственно-частного партнерства с учетом цифровизации и интеграции отдельных информационных систем федеральных ведомств, региональных органов власти и государственных сервисов.

Список литературы

1. Гамидуллаева Л. А., Зинченко С. В. Аспекты управления жизненным циклом туристского продукта как инструмента развития туризма территории // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 4. С. 5–26. doi: 10.21685/2227-8486-2022-4-1
2. Gamidullaeva L., Vasin S., Tolstykh T., Zinchenko S. Approach to Regional Tourism Potential Assessment in View of Cross-Sectoral Ecosystem Development // Sustainability. 2022. № 14 (22). P. 15476. doi: 10.3390/su142215476

3. Gamidullaeva L., Finogeev A., Kataev M., Bulysheva L. A Design Concept for a Tourism Recommender System for Regional Development // *Algorithms*. 2023. № 16 (1). P. 58. doi: 10.3390/a16010058
4. Guo K., Hu S., Zhu H., Tan W. Industrial information integration method to vehicle routing optimization using grey target decision // *Journal of Industrial Information Integration*. 2022. Vol. 27. P. 100336. doi: 10.1016/j.jii.2022.100336
5. Abdirad M., Krishnan K., Gupta D. A two-stage metaheuristic algorithm for the dynamic vehicle routing problem in industry 4.0 approach // *Journal of Management Analytics*. 2021. № 8 (1). P. 69–83.
6. Sánchez-Oro J., López-Sánchez A. D., Colmenar J. M. A general variable neighborhood search for solving the multi-objective open vehicle routing problem // *Journal of Heuristics*. 2020. № 26 (3). P. 423–452.
7. Abdullahi H., Reyes-Rubiano L., Ouelhadj D. [et al.]. Modelling and multi-criteria analysis of the sustainability dimensions for the green vehicle routing problem // *European Journal of Operational Research*. 2021. № 292 (1). P. 143–154.
8. Sedighzadeh D., Mazaheripour H. Optimization of multi objective vehicle routing problem using a new hybrid algorithm based on particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm considering Precedence constraints // *Alexandria Engineering Journal*. 2018. № 57 (4). P. 2225–2239.
9. Baradaran V., Shafaei A., Hosseini A. H. Stochastic vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and multiple prioritized time windows: mathematical modeling and solution approach // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. № 131 (3). P. 187–199.
10. Goel R., Maini R. Improved multi-ant-colony algorithm for solving multi-objective vehicle routing problems // *Scientia Iranica*. 2019. № 26 (4). P. 1–26.
11. Yousefi H., Tavakkoli-Moghaddam R., Oliaei M. [et al.]. Solving a bi-objective vehicle routing problem under uncertainty by a revised multi-choice goal programming approach // *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2017. № 8 (3). P. 283–302.
12. Ahmed F., Deb K. Multi-objective optimal path planning using elitist non-dominated sorting genetic algorithms // *Soft Computing*. 2013. № 17 (7). P. 1283–1299.
13. Srivastava G., Singh A., Mallipeddi R. NSGA-II with objective-specific variation operators for multiobjective vehicle routing problem with time windows // *Expert Systems Applications*. 2021. № 176 (4).
14. Du T. S., Guo H. X., Pan W. W. [et al.]. Multi-objective evolutionary algorithm based on location and path problem of oilfield dangerous goods logistics system // *Journal of Systems Management*. 2018. № 27 (4). P. 739–752.
15. Masoumi Z., Van Genderen J., Sadeghi Niaraki A. An improved ant colony optimization-based algorithm for user-centric multi-objective path planning for ubiquitous environments // *Geocarto International*. 2019. № 34 (3). P. 1–18.
16. Jin Y., Ge X., Zhang L. [et al.]. A two-stage algorithm for bi-objective logistics model of cash-in-transit vehicle routing problems with economic and environmental optimization based on real-time traffic data // *Journal of Industrial Information Integration*. 2021. doi: 10.1016/j.jii.2021.100273
17. Qiu Y., An S., Rahman A. [et al.]. Evaluation and optimization of bridge deck waterproof bonding system using multi-objective grey target decision method // *Road Material Pavement Design*. 2020. № 21 (7). P. 1844–1858.
18. Franco P. *The Blockchain // Understanding Bitcoin: Cryptography, Engineering and Economics*. John Wiley & Sons, 2014. 288 p.
19. Lin Ch.-J., Xue R., Yang S.-J. [et al.]. Linearly Homomorphic Signatures from Lattices // *The Computer Journal*. 2020. № 63. P. 1871–1885. doi: 10.1093/comjnl/bxaa034
20. Chen W., Lei H., Qi K. Lattice-based linearly homomorphic signatures in the standard model // *Theoretical Computer Science*. 2016. № 634. P. 47–54. doi: 10.1016/j.tcs.2016.04.009

21. Lancichinetti A., Fortunato S. Benchmarks for testing community detection algorithms on directed and weighted graphs with overlapping communities // *Physical Review E*. 2009. № 80 (1).

References

1. Gamidullaeva L.A., Zinchenko S.V. Aspects of the life cycle management of a tourist product as a tool for the development of tourism in the territory. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(4):5–26. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2022-4-1
2. Gamidullaeva L., Vasin S., Tolstykh T., Zinchenko S. Approach to Regional Tourism Potential Assessment in View of Cross-Sectoral Ecosystem Development. *Sustainability*. 2022;(14):15476. doi: 10.3390/su142215476
3. Gamidullaeva L., Finogeev A., Kataev M., Bulysheva L. A Design Concept for a Tourism Recommender System for Regional Development. *Algorithms*. 2023;(16):58. doi: 10.3390/a16010058
4. Guo K., Hu S., Zhu H., Tan W. Industrial information integration method to vehicle routing optimization using grey target decision. *Journal of Industrial Information Integration*. 2022;27:100336. doi: 10.1016/j.jii.2022.100336.
5. Abdirad M., Krishnan K., Gupta D. A two-stage metaheuristic algorithm for the dynamic vehicle routing problem in industry 4.0 approach. *Journal of Management Analytics*. 2021;(8):69–83.
6. Sánchez-Oro J., López-Sánchez A. D., Colmenar J. M. A general variable neighborhood search for solving the multi-objective open vehicle routing problem. *Journal of Heuristics*. 2020;(26):423–452.
7. Abdullahi H., Reyes-Rubiano L., Ouelhadj D. et al. Modelling and multi-criteria analysis of the sustainability dimensions for the green vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 2021;(292):143–154.
8. Sedighizadeh D., Mazaheripour H. Optimization of multi objective vehicle routing problem using a new hybrid algorithm based on particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm considering Precedence constraints. *Alexandria Engineering Journal*. 2018;(57):2225–2239.
9. Baradaran V., Shafaei A., Hosseini A.H. Stochastic vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and multiple prioritized time windows: mathematical modeling and solution approach. *Computers & Industrial Engineering*. 2019;(131):187–199.
10. Goel R., Maini R. Improved multi-ant-colony algorithm for solving multi-objective vehicle routing problems. *Scientia Iranica*. 2019;(26):1–26.
11. Yousefi H., Tavakkoli-Moghaddam R., Oliaei M. et al. Solving a bi-objective vehicle routing problem under uncertainty by a revised multi-choice goal programming approach. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2017;(8):283–302.
12. Ahmed F., Deb K. Multi-objective optimal path planning using elitist non-dominated sorting genetic algorithms. *Soft Computing*. 2013;(17):1283–1299.
13. Srivastava G., Singh A., Mallipeddi R. NSGA-II with objective-specific variation operators for multiobjective vehicle routing problem with time windows. *Expert Systems Applications*. 2021;(176).
14. Du T.S., Guo H.X., Pan W.W. et al. Multi-objective evolutionary algorithm based on location and path problem of oilfield dangerous goods logistics system. *Journal of Systems Management*. 2018;(27):739–752.
15. Masoumi Z., Van Genderen J., Sadeghi Niaraki A. An improved ant colony optimization-based algorithm for user-centric multi-objective path planning for ubiquitous environments. *Geocarto International*. 2019;(34):1–18.

16. Jin Y., Ge X., Zhang L. [et al.]. A two-stage algorithm for bi-objective logistics model of cash-in-transit vehicle routing problems with economic and environmental optimization based on real-time traffic data. *Journal of Industrial Information Integration*. 2021. doi: 10.1016/j.jii.2021.100273
17. Qiu Y., An S., Rahman A. et al. Evaluation and optimization of bridge deck waterproof bonding system using multi-objective grey target decision method. *Road Material Pavement Design*. 2020;(21):1844–1858.
18. Franco P. The Blockchain. *Understanding Bitcoin: Cryptography, Engineering and Economics*. John Wiley & Sons, 2014:288.
19. Lin Ch.-J., Xue R., Yang S.-J. et al. Linearly Homomorphic Signatures from Lattices. *The Computer Journal*. 2020;(63):1871–1885. doi: 10.1093/comjnl/bxaa034
20. Chen W., Lei H., Qi K. Lattice-based linearly homomorphic signatures in the standard model. *Theoretical Computer Science*. 2016;(634):47–54. doi: 10.1016/j.tcs.2016.04.009
21. Lancichinetti A., Fortunato S. Benchmarks for testing community detection algorithms on directed and weighted graphs with overlapping communities. *Physical Review E*. 2009;(80).

Информация об авторах / Information about the authors

Лейла Айваровна Гамидуллаева

доктор экономических наук,
заведующий кафедрой маркетинга,
коммерции и сферы обслуживания,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: gamidullaeva@gmail.com

Leyla A. Gamidullaeva

Doctor of economical sciences,
head of the sub-department of marketing,
commerce and service sector,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Алексей Германович Финогеев

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры систем
автоматизированного проектирования,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: alexeyfinogeev@gmail.com

Aleksey G. Finogeev

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department
of computer-aided design systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 18.05.2023

Поступила после рецензирования/Revised 28.06.2023

Принята к публикации/Accepted 30.06.2023