

DOI: 10.18721/JCSTCS.11105

УДК 656, 007; 004.81, 614.8; 007; 51-7, 351; 351.81; 351.78; 621.396.21; 004.42

РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОЦЕДУР АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Я.А. Селиверстов¹, Г.Ю. Гергель², С.А. Селиверстов¹, К.В. Никитин³

¹ Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко РАН,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Проведен анализ использования сотовой связи в составе интеллектуальных транспортных систем для сбора информации о транспортных потоках и подвижности населения. В теоретико-множественной интерпретации впервые разработана модель системы мониторинга социальной активности городского населения. Работоспособность модели продемонстрирована на примере мобильного приложения «Городской навигатор». Приложение разработано в среде Xcode 9 на языке Swift 3, система анализа данных – на Python 3.X. Приложение служит источником информации для прокладки маршрутов предпочтительного следования и позволяет проводить оценку качества объектов городской системы, учитывать инфраструктурную, транспортную, потребительскую, локационную, медиа-событийную (фоторегистрация) и рекомендательно-новостную (комментарии) активность пользователей, а также строить GPS-треки пользователей в привязке к ЕСККТЭСИ и МКБ-10 с классификацией межобъектных отношений. Продемонстрирована возможность интеграции мобильного приложения с системами транспортного моделирования и управления. Обозначены практические ориентиры дальнейшего использования мобильных приложений в составе интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы; мобильные приложения для транспорта; матрицы транспортных корреспонденций; цепочки транспортной активности; умный город; транспортное поведение; транспортный мониторинг; классификация транспортных потоков.

Ссылка при цитировании: Селиверстов Я.А., Гергель Г.Ю., Селиверстов С.А., Никитин К.В. Развитие интеллектуальных транспортных систем на основе мобильных технологий и процедур анализа социальной активности городского населения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2018. Т. 11. № 1. С. 47–64. DOI: 10.18721/JCSTCS.11105

IMPROVEMENT OF INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEMS BY MOBILE TECHNOLOGIES AND PROCEDURES OF ANALYSIS OF SOCIAL ACTIVITY OF URBAN POPULATION

Ya.A. Seliverstov¹, G.Yu. Gergel², S.A. Seliverstov¹, K.V. Nikitin³

¹IPT RAS, St. Petersburg, Russian Federation;

²St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russian Federation;

³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

We have analyzed cellular communication as part of intelligent transport systems to collect information on traffic flows and mobility of the population. A model of the monitoring system of social activity of urban population is developed in the set theory interpretation. The reliability of the model is demonstrated on the example of the mobile application «City Navigator». The application is developed in the Xcode 9 environment in Swift 3, and the data analysis system is developed in Python 3.X. The application allows to assess the quality of urban system objects and take into account the infrastructure, transport, consumer, location, mediaevents (photoregistration) and news recommendations (comments) of user activity, and draw users' GPS tracks in accordance with the USCCTEI and ICD-10 with the classification of interobject relations. The possibility of integrating a mobile application with transport modeling and control systems is demonstrated. The practical guidelines for further use of mobile applications as part of intelligent transport systems are indicated.

Keywords: intelligent transport systems; mobile applications for transport; transport correspondence matrices; transport activity chains; smart city; transport behavior; transport monitoring; traffic classification.

Citation: Seliverstov Ya.A., Gergel G.Yu., Seliverstov S.A., Nikitin K.V. Improvement of intellectual transport systems by mobile technologies and procedures of analysis of social activity of urban population. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2018, Vol. 11, No. 1, Pp. 47–64. DOI: 10.18721/JCSTCS.11105

Введение

С ростом населения мегаполисов, усложнением социальных процессов, стремительным развитием мобильных и интернет-технологий подходы к организации и управлению городскими транспортными системами претерпевают значительные изменения. Традиционное городское и региональное управление транспортом требует ускоренного перехода к интеллектуальным и когнитивным транспортным системам [1], способным качественно преобразовать городскую среду и социальную активность населения. Системы подобного класса должны обладать исчерпывающим количеством необходимой информации по широкому кругу деятельности и обеспечивать возможность ее «умного» сбора, приема-передачи, обработки, анализа, хранения и использования.

Особую важность представляет информация о социальной активности городского населения. Именно эта информация способна развивать интеллектуальные транспортные системы в границах технологических решений, направленных на максимизацию функции субъективной транспортной полезности каждого пользователя.

К таким технологическим решениям

можно отнести пользовательские приложения, построенные на основе методов прокладки маршрутов предпочтительного следования [2], методов управления дорожным движением на основе целевых ориентиров пользователей и транспортной системы [3], методов анализа классификаторной структуры транспортного потока [4] и индивидуальных характеристик пользователей [5], методов интеллектуальной маршрутизации транспортных средств городских служб [6, 7], методов предупреждения причин возникновения ДТП [8–10], технологий дополненной реальности [11, 12], методов моделирования транспортных потоков [13] на основе восстановления матриц транспортных корреспонденций [14] с учетом показателей транспортной обеспеченности [15, 16] и цепочек социальной активности городского населения [17] и мн. др.

Массовое развитие точек беспроводного интернет-доступа [18] и вхождение в повседневную жизнь горожан сотовой связи как активного средства электронной коммуникации позволяет рассматривать именно ее в качестве достоверного источника оперативной статистической информации для нужд города.

Анализ предметной области

Среди последних научно-исследовательских работ, в которых рассмотрены вопросы использования систем сотовой связи в составе интеллектуальных транспортных систем, отметим следующие. В [19] чилийские ученые произвели построение системы мониторинга общественного транспорта в компании Transantiago на основе систем GPS с целью сокращения времени ожидания пассажиров. На первом этапе осуществляется сбор GPS-данных с пассажирских автобусов и вычисляется величина рассогласования маршрутного расписания и реального времени прибытия автобуса на остановку, вводятся индексы оценки качества транспортного обслуживания, в соответствии с которыми производится оценка уровня обслуживания пассажиров.

В работе [20] международным научным коллективом из представителей Пакистана, США и Китая рассмотрены программные приложения и сервисы, основанные на определении местоположения пользователя (LBS). Научным коллективом осуществлена разработка адаптивной стратегии сопоставления маршрутных карт в реальном времени (RT-MM) в облачной среде для решения ключевой задачи поиска кратчайшего пути. В процессе сопоставления траекторий GPS от транспортных средств в реальном времени минимизирована ошибка точности местопредопределения. Произведено программное моделирование и тестирование системы на основе как синтетических, так и реальных наборов данных.

В [21] португальскими учеными осуществлена разработка нового инструмента для количественной оценки загрязнения воздуха транспортными потоками на основе траекторного анализа передвижения людей по данным GPS, полученным от мобильных телефонов. В работе [22] израильскими учеными исследована возможность использования агрегирующих данных, полученных от приемников GPS, для оценки влияния туристов и посетителей на достопримечательные места. В [23] предложен способ сбора данных о дорожном движении в режиме реального времени с использованием

систем сотовой связи 3G и 4G и их оценки с использованием нейронной сети.

Анализ предметной области показал, что передовые системы управления транспортом должны быть тесно связаны с социальной активностью населения, а она, в свою очередь, с мобильными потребительскими, информационно-сетевыми и расчетно-денежными системами [9].

Анализ предметной области свидетельствует о значительных успехах в развитии прикладных решений, направленных на построение систем мониторинга социальной активности населения. Подобные системы позволят производить построение баз знаний smart-мобильности.

Информацию баз знаний smart-мобильности впоследствии можно использовать для построения систем прокладки предпочтительных маршрутов следования [2], т. е. прокладывать маршруты следования не только самые короткие по расстоянию или по времени, но и учитывать при прокладке множество персональных критериев. К таковым можно отнести: «безынкфекционные маршруты» — маршруты, по которым не перемещаются люди, инфицированные инфекционными заболеваниями; «маршруты для знакомств» — маршруты, по которым перемещаются незамужние девушки или молодые люди; «безопасные маршруты» — маршруты, на которых не были зарегистрированы события криминального характера; и мн. др.

Информация о структуре транспортного потока по гендерным и трудовым (специальность, образование) характеристикам расширит инструментарий транспортно-отраслевого моделирования и позволит производить оптимизацию транспортных потоков по критериям трудовой принадлежности. Также, располагая информацией от пользователей о качестве транспортной инфраструктуры, городские службы способны оперативно контролировать качество городского обслуживания населения.

Постановка проблемы

Таким образом, для оперативного анализа социальной активности населения требуется:

1) информация в режиме реального времени о транспортных перемещениях населения в виде GPS-треков;

2) классификация социальной структуры населения, мест, являющихся целями поездок, и причин, обуславливающих транспортную активность жителей;

3) информация о том, каким видом транспорта перемещается городской житель;

4) информация о социальной деятельности и наименовании места нахождения городского жителя в реальный момент времени;

5) оперативная оценка качества транспортного обслуживания населения и мест локаций, в которых находится городской житель.

На основе полученной информации станет возможным произвести восстановление матриц транспортных корреспонденций и дневных цепочек социальной активности населения.

Основная часть

Изложение уместно начать с ввода формального определения социальной активности и построения формальной модели системы мониторинга социальной активности городского населения (далее – система). Под формальной социальной активностью пользователя будем понимать совокупность социально-экономических, потребительских, транспортных, поведенческих, информационно-сетевых и других активностей пользователя, которые способны зарегистрировать существующие мобильные информационные системы.

Формальную модель F^M системы зададим следующим набором функционалов:

$$F^M = \langle \widehat{F}_D; \widehat{F}_N; \widehat{F}_C; \widehat{F}_T; \widehat{F}_R \rangle_T \quad (1)$$

где $\widehat{F}_D : H_C \oplus_{f_s} O_S = H_D$ – функционал директивизаций, который каждому жителю из множества города H_C ставит в соответствие директивный элемент системы O_S или мобильное устройство сотовой связи и переводит его во множество пользователей H_D ; $\widehat{F}_N : H_D \rightarrow N$ – функционал идентификации элементного множества H_C , который

каждому объекту из \mathcal{E}^T ставит в соответствие идентификатор или набор идентификаторов из множества N ; $\widehat{F}_C : H_D \times N \rightarrow CH$ – функционал характеристической параметризации пользователей H_D , который каждому пользователю из H_D с уникальным номером из N ставит в соответствие наборы характеристик CH , присущих данному пользователю, таких что $CH = \{ch_\pi^{h_u}, \pi = 1, \dots, N_\pi\}$ – множество характеристик пользователей CH , причем $ch_\pi^{h_u}$ задается кортежем $ch_\pi^{h_u} = \langle name, \{value\} \rangle$, где $name$ – имя π -й характеристики, $\{value\}$ – значение π -й характеристики из множества характеристик Π ; $\widehat{F}_T : H_D \rightarrow [\tau_T^{def} \vee (\tau_T; \tau_{T+1})]$ – временной оператор, который каждому объекту из H_D ставит в соответствие определенный момент или интервал времени из множества моментов или интервалов времени T , на котором задано отношение строгого порядка, то есть $\tau_1 < \tau_2, \dots, \tau_T < \tau_{T+1}$; $\tau_T^{def} \in T$ – определенный момент времени; $\widehat{F}_S : H_D \times CH \times N \rightarrow DATE$ – оператор транзакций, который информацию о пользователе из H_D с идентификатором из N и характеристиками CH переводит в данные $DATE$.

Тогда целевая функция субъективной транспортной полезности Φ^M пользователей H_D , определяемая их транспортно-логистическим поведением B_D , будет стремиться к максимуму по мере прироста информации $DATE$ от \widehat{F}_S , согласно:

$$\Phi^M : B_D \times_{\widehat{F}_S} DATE \rightarrow \Phi_{\max}^M. \quad (2)$$

Теперь перейдем к процедурам восстановления матриц транспортных корреспонденций и цепочек транспортной активности пользователей.

Процедуру создания матриц корреспонденций ρ_{ijh} запишем в виде:

$$\rho_{ijh(t)} = Card(L) \Big|_{t = def}, \quad (3)$$

$$\{(x_{lt}^d; y_{lg}^d)\} = \begin{cases} \in L \rightarrow Card L \\ \notin L \rightarrow \emptyset \end{cases}$$

где $\{(x_{lt}^d; y_{lg}^d)\}$ – множество GPS-координат пользователей; lt (latitude) – широта; lg (longitude) – долгота; i, j – индекс места зарождения и назначения транспортной



(социальной) активности пользователя; tr – индекс используемого в процессе транспортной активности транспортного средства; h – индекс пользователя; L – пространственная область, характеризующая место зарождения транспортного потока; $Card(L)$ – кардинальное число или мощность множества L , элементами которого являются пары GPS-координат пользователей.

С использованием информации от мобильных устройств пользователей производится расчет транспортного потока из места района отправления в места района прибытия в режиме реального времени в границах тринейной модели [14]. Интеллектуальный анализ транспортного потока в данном случае целесообразно проводить с учетом демографических и структурных показателей, степени подвижности населения и потребительской активности в привязке к классификаторам ЕСККТЭСИ¹ [5].

Расчет может производиться отдельно для каждого слоя спроса, а значит, для каждой пары действий с ее основными группами [14].

Цепочки социальной активности [17] пользователей зададим множеством динамических агентных графов, выраженных через транспортно-логистическое поведение пользователей B_D .

Тогда каждому пользователю $h_i \in H_D$ можно поставить в соответствие его транспортно-логистическое поведение (социальную активность) $B_i^{h_i} \in B_D$, согласно:

$$B_i^{h_i} = \Gamma_i^{h_i} \left(\begin{array}{l} \left(\Gamma_i^{GPS}(V; E) \cup \Gamma_i^L(V; E) \cup \right. \\ \left. \cup \Gamma_i^N(V; E) \cup \Gamma_i^T(V; E) \cup \right. \\ \left. \cup \Gamma_i^E(V; E) \cup \Gamma_i^Q(V; E) \cup \right. \\ \left. \cup \Gamma_i^F(V; E) \cup \Gamma_i^C(V; E) \right); T \end{array} \right) \quad (4)$$

где $\Gamma_i^{h_i}((...); T)$ – граф социальной активности пользователя h_i ; $\Gamma_i^{GPS}(V; E)$ – граф

пространственной активности пользователя h_i ; $\Gamma_i^L(V; E)$ – граф инфраструктурной активности пользователя h_i ; $\Gamma_i^N(V; E)$ – граф потребительской активности пользователя h_i ; $\Gamma_i^E(V; E)$ – граф распорядка питания пользователя h_i ; $\Gamma_i^T(V; E)$ – граф транспортной активности пользователя h_i ; $\Gamma_i^Q(V; E)$ – граф оценки качества объектов городской системы пользователем h_i ; $\Gamma_i^F(V; E)$ – граф медиа-событийной активности пользователя h_i ; $\Gamma_i^C(V; E)$ – граф рекомендательно-новостной активности пользователя h_i .

Таким образом, выделяя в графе социальной активности пользователя составные графы, становится возможным производить анализ социальной активности пользователя через инфраструктурную, потребительскую, транспортную, пространственную и другие составляющие (4) с учетом ранговой оценки качества каждой из них.

Практическая реализация

Программно-алгоритмическая реализация мобильного приложения для учета социальной активности пользователей разрабатывается в среде Xcode 9 на языке Swift 3, а система анализа данных – на Python 3.X. Мобильное приложение получило название «Городской навигатор». Разработка приложения осуществлялась в несколько этапов.

На первом этапе в соответствии с поставленными задачами разрабатывалась концептуальная схема приложения, определялись ее основные компоненты:

- Firestore – база данных в формате .json;
- imagesArray[] – база данных изображений (фото);
- commentsArray[] – база данных комментариев пользователя;
- ratingArray[] – оценка качества события пользователем;
- allUsersData[] – все данные о пользователе;
- time – время регистрации события в формате Число.Месяц.Год.Часы.Минуты;
- coordinate – координаты долготы и широты в формате GPS.

Концептуальная схема мобильного приложения «Городской навигатор» представлена на рис. 1.

¹ ЕСККТЭСИ – Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации.

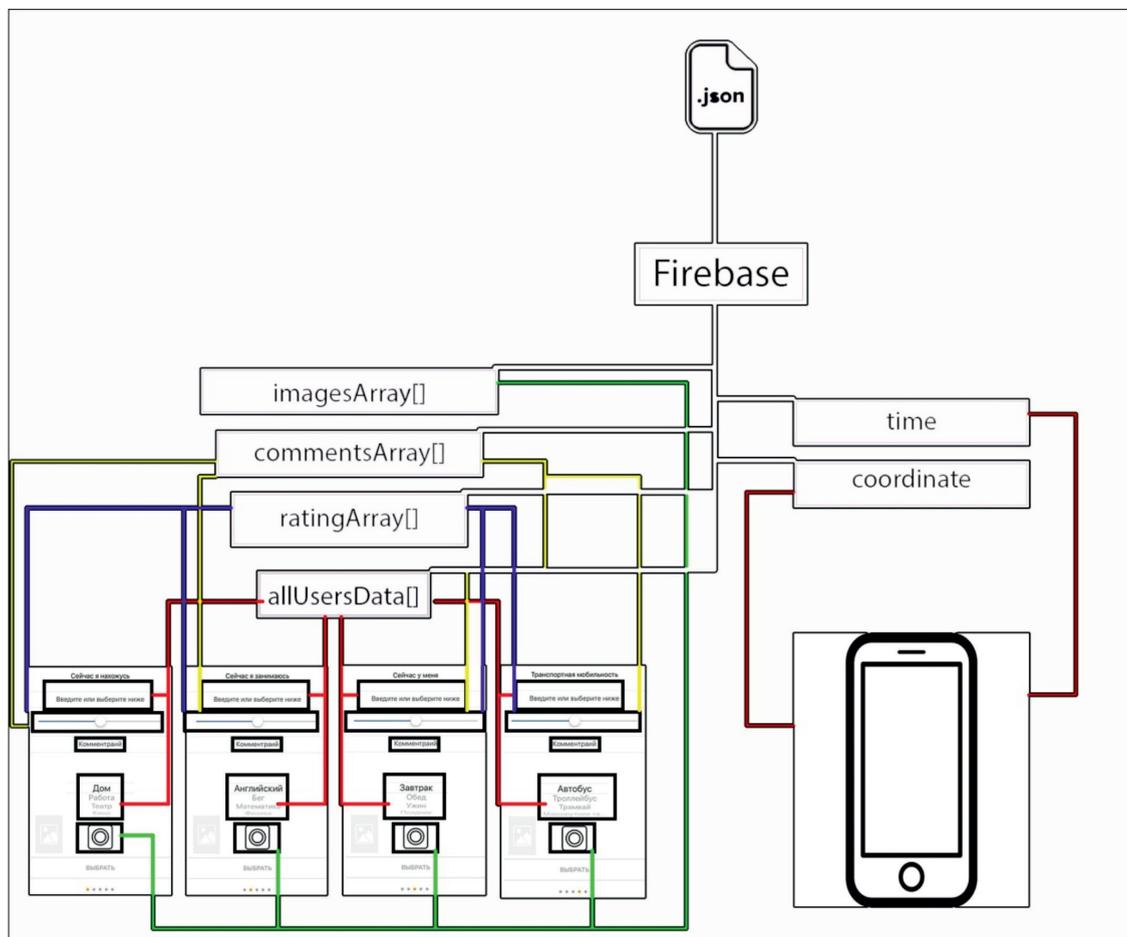


Рис. 1. Схема мобильного приложения «Городской навигатор»

Fig. 1. Scheme of the mobile application «City Navigator»

На втором этапе создавался интерфейс мобильного приложения. Интерфейс мобильного приложения состоит из шести «экранов-вкладок». Внешний вид «экранов-вкладок» представлен на рис. 2.

Каждая вкладка содержит шаблоны ответов и поля для заполнения, которые отражают определенный набор характеристик, присущий определенному виду деятельности или состоянию пользователя. Пользователь самостоятельно заполняет необходимую информацию о себе.

Также пользователь имеет возможность оставить комментарий и произвести фото-регистрацию события, которое относится к информации, отраженной в данной вкладке.

На втором этапе разрабатывается про-

граммное обеспечение приложения, согласно формальной модели (1): программируются кнопки, задается логика и прописываются обработчики событий. Программно-операторный функционал мобильного приложения представлен на рис. 3.

Слева представлены данные, а справа – блоки кода, ответственные за их получение; сверху подписаны операторы и функционалы формальной модели (1).

Функционал идентификации элементного множества F_N , входящий в (1), работает со следующими идентификаторами: $N = \{n_1; n_2; n_3\}$ – множество идентификаторов, где n_1 – адрес электронной почты; n_2 – номер мобильного телефона абонента; n_3 – IP мобильного телефона.

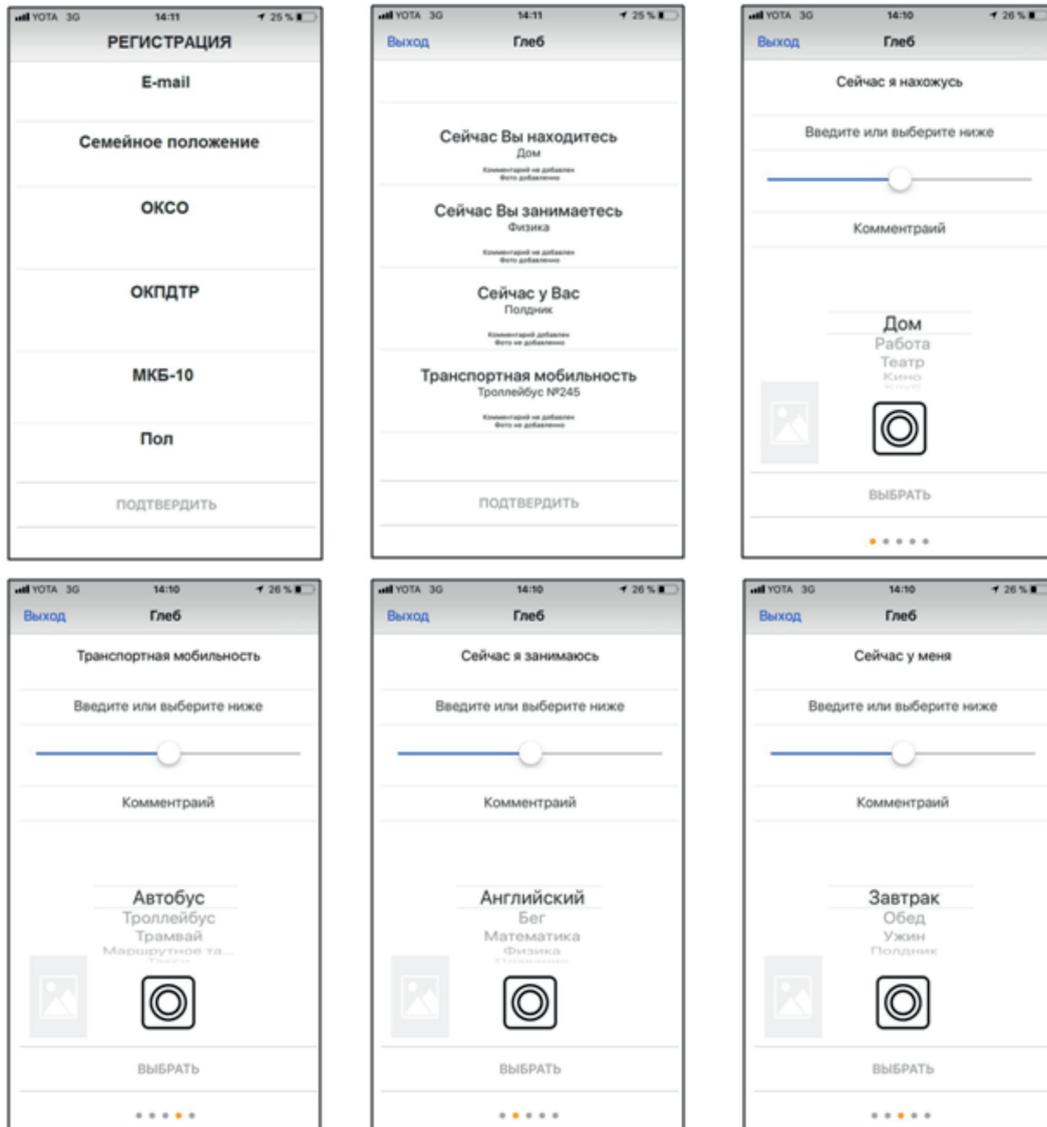


Рис. 2. Интерфейс мобильного приложения «Городской навигатор»

Fig. 2. The interface of the mobile application «City Navigator»

Функционал характеристической параметризации пользователей \hat{F}_C , входящий в (1), работает со следующими характеристиками:

$CH = \{ch_1; ch_2; ch_3; ch_4; ch_5; ch_6; ch_7; ch_8\}$ – множество регистрируемых характеристик, где ch_1 – Классификаторы; ch_2 – Локация; ch_3 – Занятие; ch_4 – Прием пищи; ch_5 – Транспорт; ch_6 – День, Месяц, Год, Часы, Минуты; ch_7 – координаты GPS; ch_8 – Фото; ch_9 – Оценка; ch_{10} – Персональный комментарий;

$$ch_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{МКБ – 10, Пол, ОКПДТР, ОКСО,} \\ \text{Семейное положение} \end{array} \right\}$$

$$ch_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Дом, Работа, Театр, Кино, Клуб,} \\ \text{Парк, Стадион, Дорога,} \\ \text{Фитнес-центр, Больница,} \\ \text{Поликлиника, Аптека,} \\ \text{Университет, Школа, Колледж,} \\ \text{Магазин, Торговый центр,} \\ \text{Библиотека, ...} \end{array} \right\}$$

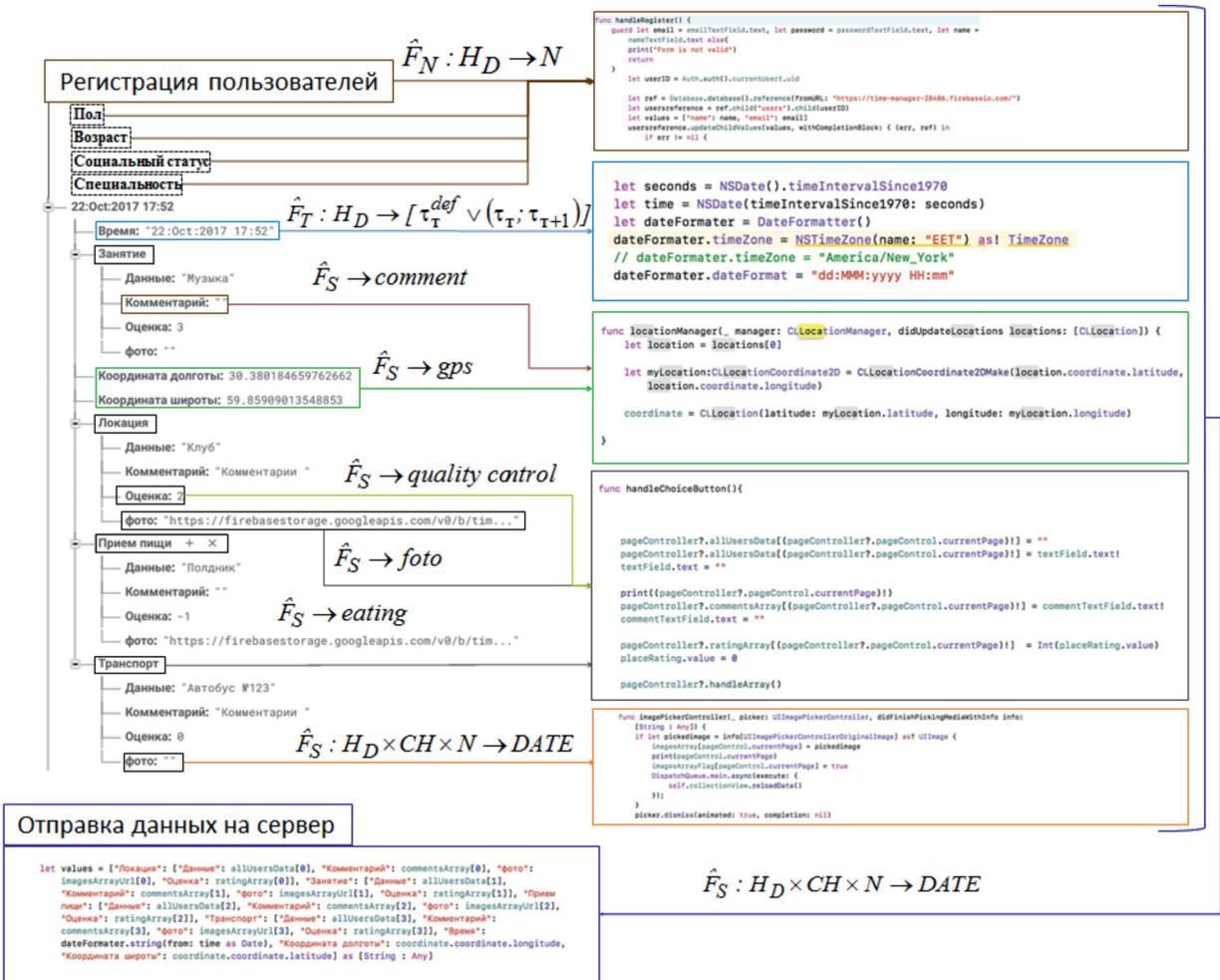


Рис. 3. База данных и блоки кода приложения «Городской навигатор»

Fig. 3. Database and code blocks of the application «City Navigator»

- $ch_3 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Английский, Бег, Математика,} \\ \text{Физика, Плавание,} \\ \text{Музыка, Сон, Покупки,} \\ \text{Интернет, Чтение книг,} \\ \text{Сноуборд, Горные лыжи,.....} \end{array} \right\}$
- $ch_4 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Завтрак, Обед, Полдник, Ужин,} \\ \text{Перекус} \end{array} \right\}$
- $ch_5 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Автобус, Трамвай, Троллейбус,} \\ \text{Маршрутное такси, Такси,} \\ \text{Метро, Пеший ход, Велосипед,} \\ \text{Самокат, Ролики, Мотоцикл,} \\ \text{Катер,} \end{array} \right\}$

$ch_6, ch_7, ch_8, ch_9, ch_{10}$ – формируются пользователем или вычисляются функционалом приложения в процессе его работы.

Оператор транзакций \hat{F}_S , согласно (1), формирует следующие данные DATE:

- $DATE = \left\{ \begin{array}{l} \text{Данные, Комментарий, Оценка,} \\ \text{Фото, Координаты долготы,} \\ \text{Координаты широты, Время,} \\ \text{GPS-треки (классификаторные)} \end{array} \right\}$

Структура базы данных мобильного приложения «Городской навигатор» представлена на рис. 4, а база данных в соответствии с данной структурой представлена в табл 1.

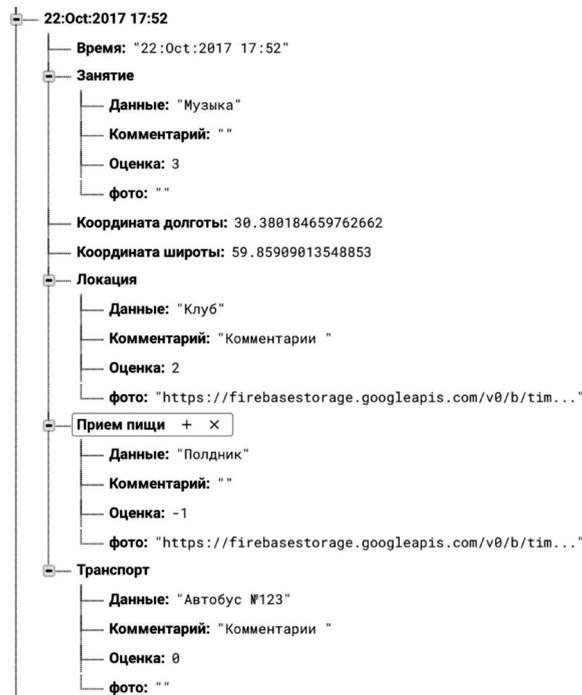


Рис. 4. Структура базы данных приложения «Городской навигатор»

Fig. 4. Structure of the database of the application «City Navigator»

Таблица 1

База данных мобильного приложения «Городской навигатор»

Table 1

Database mobile application «City Navigator»

Дата и время		22: Oct: 2017 17:52	
Занятие	Данные	Музыка	
	Комментарии	—	
	Оценка	3	
	Фото	—	
Локация	Данные	Клуб	
	Комментарии	Комментарии	
	Оценка	2	
	Фото	https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/tim	
Прием пищи	Данные	Полдник	
	Комментарии	--	
	Оценка	-1	
	Фото	https://firebasestorage.googleapis.com/v0/b/tim	
Транспорт	Данные	Автобус 123	
	Комментарии	Комментарии	
	Оценка	0	
	Фото	—	
Координата долготы	30.380184659762662		
Координата широты	59.85909013548853		

Социальную активность пользователя (рис. 5), согласно (4), определим посредством мобильного приложения как совокупность регистрируемых элементарных актов различного вида деятельности, сгруппированных в базе данных (рис. 4). Блоки «Оценка», «Комментарии» и «Фото» в отношении каждого блока «Локация», «Транспорт», «Занятие», «Прием пищи» позволяют произвести оценку на предмет

привлекательности того или иного объекта или вида деятельности.

Таким образом, задача максимизации субъективной функции полезности $\Phi_{\max,t}^{M(h_i)}$ для каждого пользователя, согласно (2), будет сводиться к выбору транспортно-логистического поведения $B_t^{h_i}$, пролегающего в границах объектах с характеристиками максимальной оценки качества:

$$B_t^{h_i} \times \widehat{F}_S \times DATE \left| \begin{array}{l} CH \\ ch_9 \rightarrow \max \\ ch_{10}, ch_8 \rightarrow 1 = pref(h_i) \end{array} \right. \rightarrow \max \rightarrow \Phi_{\max,t}^{M(h_i)} \quad (5)$$

где $B_t^{h_i}$ – транспортно-логистическое поведение пользователя h_i ; $DATE$ – данные всех пользователей об их социальной активности с учетом субъективных оценок (ch_8, ch_9, ch_{10}); $\Phi_{\max,t}^{M(h_i)}$ – функция субъективной полезности пользователя h_i ; $pref(h_i)$ – субъективное предпочтительное значение для пользователя h_i , $pref(h_i) = 1$ – нравится, 0 – не нравится.

GPS-треки в приложении «Городской навигатор» строятся в привязке к классификаторам ОКПДТР, ОКИН (Пол, Семейное положение), ОКСО из ЕСККТЭСИ и МКБ-10². Рассмотрим сравнение результатов построения GPS-треков в приложении «Городской навигатор» и в навигаторе Яндекс.

Пример. Данные для регистрации пользователя в приложении «Городской навигатор»: адрес электронной почты, МКБ-10: J30.0 – Вазомоторный ринит; Пол: М; ОКПДТР: 24047 – Менеджер; ОКСО: 080507 – Менеджмент организации; Семейное положение: Холост. Данные для регистрации пользователя в Яндекс. Навигатор: номер мобильного телефона. Модуль построения GPS-треков в «Городском на-

вигаторе» выполнен на языке Python 3.X. с использованием пакета Google Maps APIs.

Требуется сравнить по информативности GPS-треки пользователя, построенные с использованием систем Яндекс. Навигатор и «Городской навигатор».

Решение. Результаты построения GPS-треков с использованием систем Яндекс. Навигатор и «Городской навигатор» представлены в табл. 2, а сравнение GPS-треков данных систем по уровню информативности представлено в табл. 3.

Таким образом, мобильное приложение «Городской навигатор» превосходит по уровню информативности существующие пешеходные навигаторы. Интеграция в мобильное приложение классификаторов из ЕСККТЭСИ и МКБ-10 позволяет использовать его в составе мобильной компоненты системы государственной региональной оперативной транспортной статистики. Отсутствие подобных решений у Яндекса можно объяснить запаздыванием процесса внедрения результатов фундаментальных исследований в области направления Transport behavior science.

Ввиду того, что модуль анализа данных мобильного приложения «Городской навигатор» выполнен на языке Python 3.X, возможна его программная интеграция с системами транспортного моделирования, такими

² МКБ-10 – Международная классификация болезней 10-го пересмотра.

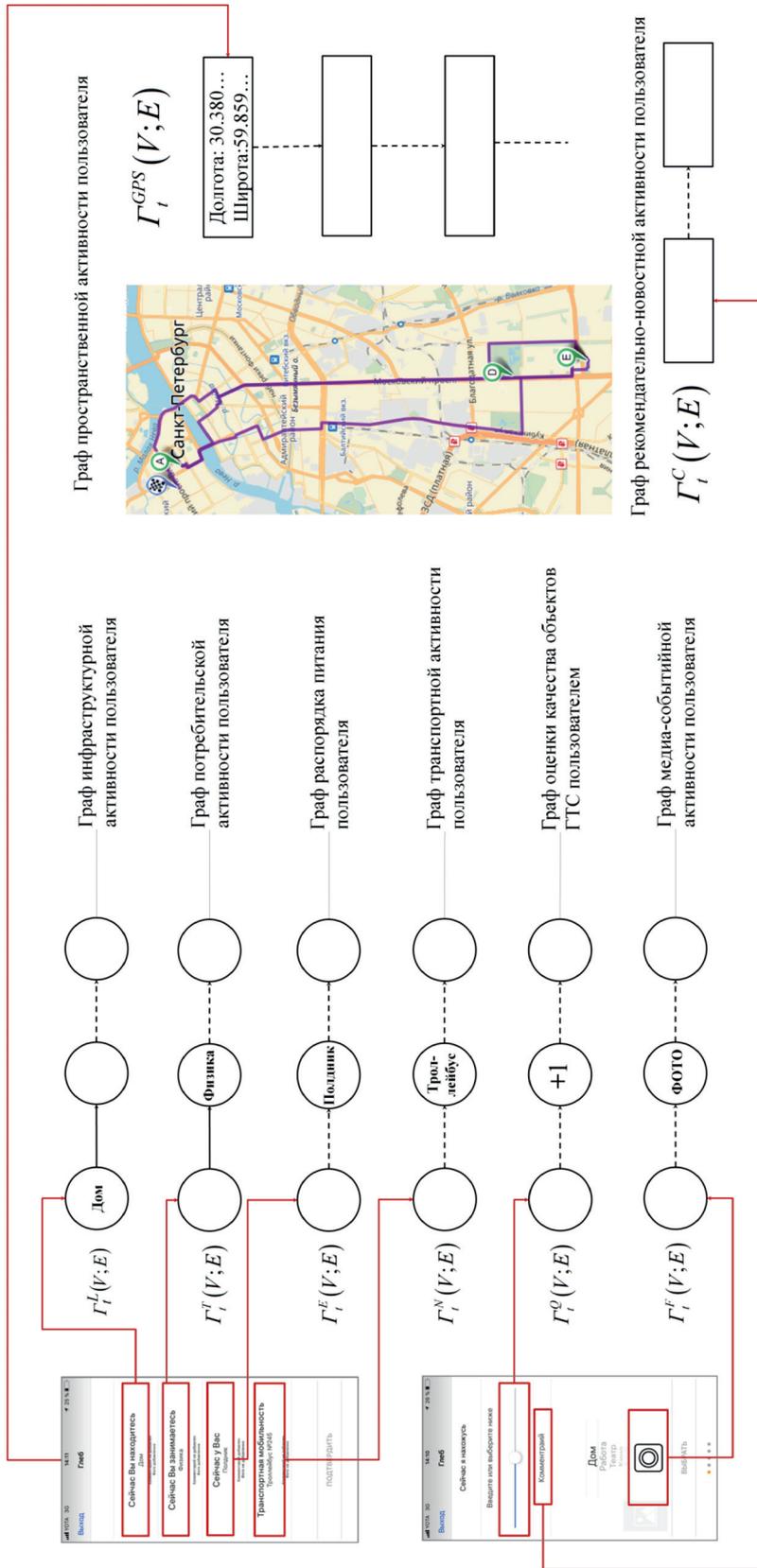


Рис. 5. Социальная активность пользователя

Fig. 5. Social activity of the user

Таблица 2

Сравнение GPS-треков пользователя, построенных с использованием систем Яндекс. Навигатор и «Городской навигатор»

Table 2

Comparison of GPS tracks of the user, built using Yandex. Navigator and Urban Navigator

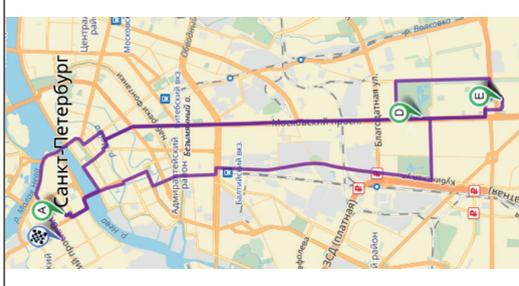
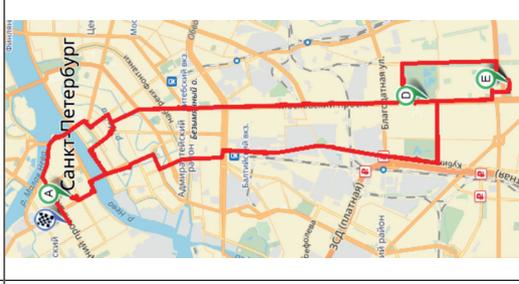
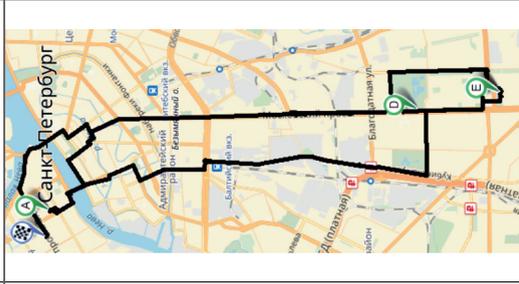
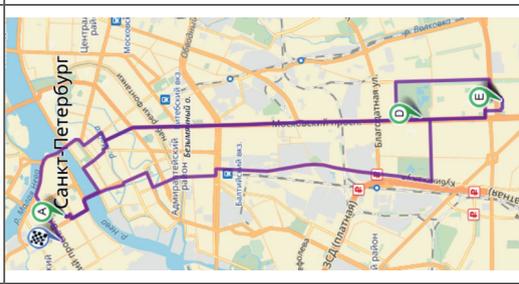
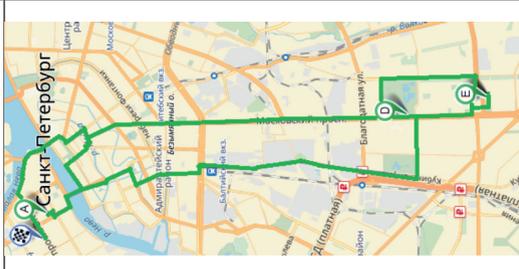
Анализ трека пользователя с использованием системы Яндекс. Навигатор	Анализ трека пользователя с использованием системы «Городской навигатор»				
GPS-трек					
Номер абонента	МКБ-10: Вазомоторный ринит	Пол: М	ОКПДТР: Менеджер	ОКСО: Менеджмент организации	Семейное положение: Холост
					

Таблица 3

GPS-трекеры систем Яндекс. Навигатор и «Городской навигатор»

Table 3

GPS trackers Yandex. Navigator and City Navigator

Функциональные особенности GPS-трекера	Yandex. Навигатор	«Городской навигатор»
Возможность определения GPS-трека пользователя	Да	Да
Возможность определения потенциально опасных (инфицированных) GPS-треков пользователей	Нет	Да
Возможность определения GPS-треков пользователей в зависимости от гендерного признака	Нет	Да
Возможность определения GPS-треков пользователей в зависимости от вида трудовой деятельности и должностного положения	Нет	Да
Возможность определения GPS-треков пользователей в зависимости от специальности по образованию	Нет	Да
Возможность определения GPS-треков пользователей в зависимости от семейного положения	Нет	Да
Возможность персональной оценки объектов и мест на маршруте	Нет	Да
Возможность персонального комментирования объектов и мест на маршруте	Нет	Да
Возможность фоторегистрации событий, объектов и мест на маршруте	Нет	Да

как PTV Vision. Это позволяет перейти к процедурам «достоверного» восстановления матриц транспортных корреспонденций, согласно (3), и цепочек транспортной активности пользователей, согласно (4).

Структурная схема интеграции мобильного приложения с системами транспортного моделирования представлена на рис. 6. На примере данных о пользователе ОКПДТР 26216 (Руководитель студенческого исследовательского бюро) в среде моделирования возможно производить интеллектуальную маршрутизацию пользователей и классификацию треков транспортных потоков внутри эюр распределения транспортных потоков.

В ходе настоящего исследования разработана модель системы мобильного мониторинга социальной активности город-

ского населения и показана возможность ее интеграции с системами транспортно-экономического моделирования. Социальную активность пользователей, в границах разработанной модели, предложено формировать через инфраструктурную, транспортную, потребительскую, локационную [24], оценочную, медиа-событийную (фоторегистрация) и рекомендательно-новостную (комментарии) составляющие активности. В качестве идентификаторов пользователей впервые используются классификаторы из ЕСККТЭСИ и МКБ-10. Применение государственных классификаторов в системах мониторинга городской социальной активности впервые позволяет перейти к анализу оперативного государственного статистического учета в границах ЕСККТЭСИ на уровне региона.

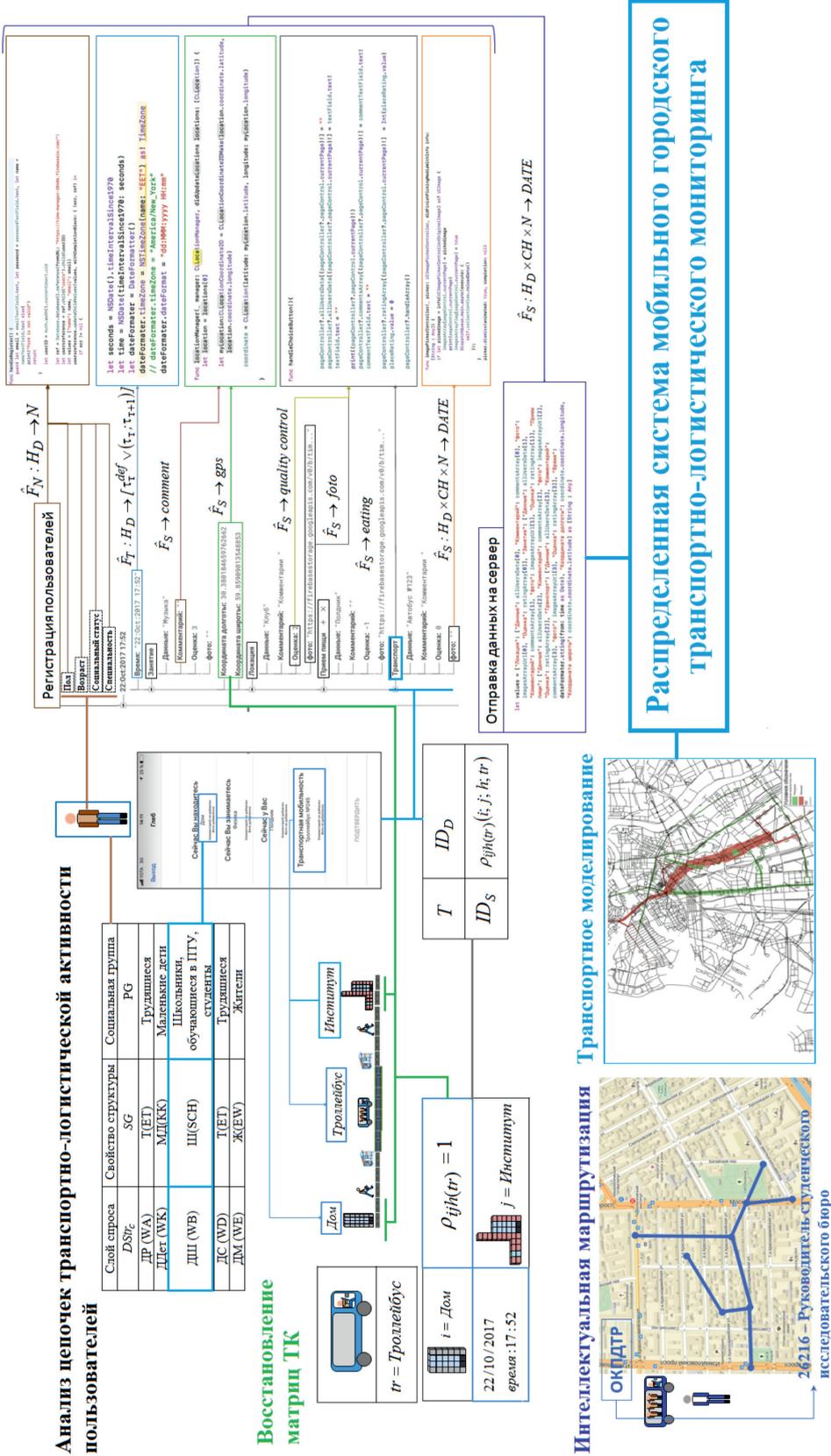


Рис. 6. Интеграция мобильного приложения с системами транспортного моделирования
Fig. 6. Integration of mobile applications with transport modeling systems

Заключение

Работоспособность модели мобильного мониторинга социальной активности городского населения продемонстрирована на примере разработанного мобильного приложения «Городской навигатор».

Таким образом, сращивание мобильных технологий и систем транспортного моделирования, внедрение процедур учета и анализа устойчивой социальной активности населения [25] позволит перейти к распределенным системам городского транспортно-логистического мониторинга, которые способны многократно расширить аналитический базис городских интеллектуальных транспортных систем [26, 27].

Предложенная технология с единых позиций позволит реализовать процесс структурного и функционального анализов транспортной мобильности городского населения в границах принятых систем классификации, расширить существующий базис транспортных индикаторов и показателей [28], лечь в основу информационной базы знаний [29] для построения систем анализа [30] управления и развития мегаполиса [31].

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 16-31-00306 в рамках инициативного научного проекта «Мой первый грант» на тему «Построение модели интеллектуального управления городскими транспортными потоками».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асаул А.Н., Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Аванесов М.Ю. Концептуальные подходы к построению интеллектуальной мультимодальной транспортной системы РФ // *Информация и космос*. 2016. № 3. С. 8–17.
2. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. Метод построения пути субъективного предпочтительного следования // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. 2016. Т. 4. С. 31–37.
3. Ashim Kumar Debnath, Hoong Chor Chin, Md. Mazharu Haque, Belinda Yuen. A methodological framework for benchmarking smart transport cities // *Cities*. 2014. Vol. 37. Pp. 47–56.
4. Селиверстов Я.А. О методе анализа структуры смешанного транспортного потока на городской улично-дорожной сети // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2015. № 3 (44). С. 104–111.
5. Paefgen J., Staake T., Thiesse F. Evaluation and aggregation of pay-as-you-drive insurance rate factors: a classification analysis approach // *Decis Support Syst*. 2013. No. 56. Pp. 192–201.
6. Иванов А.Ю., Комашинский В.И., Малыгин И.Г. Концепция построения единого информационного пространства интеллектуальной мультимодальной транспортной системы // *Транспорт Российской Федерации*. 2016. № 6 (67). С. 24–28.
7. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. О методе оценки эффективности организации процесса дорожного движения мегаполиса // *Вестник транспорта Поволжья*. 2015. № 2 (50). С. 91–96.
8. Малыгин И.Г., Сильников М.В. Интеллектуальные системы транспортной безопасности // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2014. № 1 (29). С. 1–13.
9. Marco Dozza, Nieves Paceda González. Recognising safety critical events: Can automatic video processing improve naturalistic data analyses? // *Accident Analysis & Prevention*. 2013. Vol. 60. Pp. 298–304.
10. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. Использование систем класса ГАТЛОСЭМИ для предупреждения причин возникновения ДТП и неблагоприятных социальных исходов в «умном городе» // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2016. № 1 (236). С. 65–81. DOI: 10.5862/JCSTCS.236.7
11. Lotfi Abdi, Faten Ben Abdallah, Aref Meddeb. In-vehicle augmented reality traffic information system: A new type of communication between driver and vehicle // *Procedia Computer Science*. 2015. No. 73. Pp. 242–249.
12. Feinerand S., MacIntyre B., Hollerer T., Webster A. A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment // *Personal Technologies*. 1997. Vol. 1(4). Pp. 208–217.
13. Ibai Laca, Ignacio (Icaki) Olabarrieta, Manuel Vélez, Javier Del Ser. On the imputation of missing data for road traffic forecasting: New insights and novel techniques // *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*. 2018. Vol. 90. Pp. 18–33.
14. Hazelton M.L. Statistical inference for time varying origin–destination matrices // *Transportation Research. Part B: Methodological*. 2008. Vol. 42.

Iss. 6. Pp. 542–552.

15. **Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А.** Обзор показателей транспортной обеспеченности мегаполиса // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 237–247.

16. **Andrea Souza Santos, Suzana Kahn Ribeiro** The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: a contribution for the debate on sustainable future // Case Studies on Transport Policy. 2015. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 415–420.

17. **Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А.** Формальное построение цепочек транспортной активности городского населения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. № 4 (224). С. 91–104. DOI: 10.5862/JCSTCS.224.9

18. **Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Аванесов М.Ю., Комиссаров С.А., Сорокин К.Н.** Сети, информация и знания – основные драйверы четвертой индустриальной революции (industrie 4.0) // Информация и космос. 2016. № 1. С. 14–25.

19. **Young-Ji Byon, Cortes C.E., Young-Seon Jeong, Martinez F.J., Munizaga M.A., Zuniga M.** Bunching and headway adherence approach to public transport with GPS // ICDM 2012: Advances in Data Mining. Applications and Theoretical Aspects. Pp. 77–91.

20. **Aftab Ahmed Chandio, Nikos Tziritas, Fan Zhang, Ling Yin, Cheng-Zhong Xu.** Towards adaptable and tunable cloud-based map-matching strategy for GPS trajectories // Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering. 2016. Vol. 17(12). Pp. 1305–1319.

21. **Dias D., Tchepel O.** Modelling of human exposure to air pollution in the urban environment: a GPS-based approach // Environ. Sci. Pollut. Res. 2014. No. 21. Pp. 3558–3571.

22. **Shoval N.** Monitoring and managing visitors flows in destinations using aggregate GPS data

// Information and communication technologies in tourism. Vienna, New York: Springer, 2010. Pp 171–184.

23. **Ayalew Belay Habtie, Ajith Abraham, Dida Midekso.** Artificial Neural Network Based Real-Time Urban Road Traffic State Estimation Framework // Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks. Pp. 73–97.

24. **Guoyang Qin, Tienan Li, Bin Yu, Yunpeng Wang, Zhenhua Huang, Jian Sun.** Mining factors affecting taxi drivers' incomes using GPS trajectories // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. 2017. Vol. 79. Pp. 103–118.

25. **Banister D.** The sustainable mobility paradigm // Transport Policy. 2008. Vol. 15(2). Pp. 73–80.

26. **Garau C.** From territory to smartphone: Smart fruition of cultural heritage for dynamic tourism development // Planning Practice and Research. 2014. Vol. 29(3). Pp. 238–255.

27. **Garau C.** Smart paths for advanced management of cultural heritage // Regional Studies, Regional Science. 2014. Vol. 1(1). Pp. 286–293.

28. **Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А.** О разработке показателей анализа оценки транспортной составляющей в структуре городского квартала // Вестник транспорта Поволжья. 2015. № 4 (52). С. 55–69.

29. **Benvenuti F., Diamantini C., Potena D., Storti E.** An ontology-based framework to support performance monitoring in public transport systems // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. 2017. Vol. 81. Pp. 188–208.

30. **Briand A.-S., Côme E., Trépanier M., Oukhellou L.** Analyzing 2018-to-2018 changes in public transport passenger behaviour using smart card data // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. 2017. Vol. 79. Pp. 274–289.

31. **Bibri S.E.** A foundational framework for smart sustainable city development: Theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies // Sustainable Cities and Society. 2018. Vol. 38. Pp. 758–794.

Статья поступила в редакцию 07.02.2018.

REFERENCES

1. **Asaul A.N., Malygin I.G., Komashinskiy V.I., Avanesov M.Yu.** Conceptual approaches to the construction of an intelligent multimodal transport system of the Russian Federation. *Information and Space*, 2016, No. 3, Pp. 8–17. (rus)

2. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** Method of constructing the path of subjective preferential follow-up. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University Journal*, 2016, Vol. 4, Pp. 31–37. (rus)

3. **Ashim Kumar Debnath, Hoong Chor Chin, Md. Mazharu Haque, Belinda Yuen.** A methodological framework for benchmarking smart transport cities. *Cities*, 2014, Vol. 37, Pp. 47–56.

4. **Seliverstov Ya.A.** On the method of analyzing the structure of a mixed traffic flow on a city street network. *Izvestiya St. Petersburg University of Communications*, 2015, No. 3 (44), Pp. 104–111. (rus)

5. **Paefgen J., Staake T., Thiesse F.** Evaluation and aggregation of pay-as-you-drive insurance rate factors: a classification analysis approach. *Decis Support Syst.*, 2013, No. 56, Pp. 192–201.
6. **Ivanov A.Yu., Komashinskiy V.I., Malygin I.G.** The concept of building a single information space of an intelligent multimodal transport system. *Transport of the Russian Federation*, 2016, Vol. 6 (67), Pp. 24–28. (rus)
7. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** About a method of an estimation of efficiency of the organization of process of traffic of a megacity. *Vestnik transporta Povolzhya [Bulletin of Volga transport]*, 2015, No. 2 (50), Pp. 91–96. (rus)
8. **Malygin I.G., Silnikov M.V.** Intelligent transport security systems. *Problems of risk management in the technosphere*, 2014, Vol. 1 (29), Pp. 1–13. (rus)
9. **Marco Dozza, Nieves Paceda González.** Recognising safety critical events: Can automatic video processing improve naturalistic data analyses? *Accident Analysis & Prevention*, Nov. 2013, Vol. 60, Pp. 298–304.
10. **Seliverstov Ya.A., Seliverstov S.A.** Use of GATLOSAMI to prevent cause of traffic accidents and adverse social accidents in Smart City. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*, 2016, No. 1 (236), Pp. 65–81. (rus) DOI: 10.5862/JCSTCS.236.7
11. **Lotfi Abdi, Faten Ben Abdallah, Aref Meddeb.** In-vehicle augmented reality traffic information system: A new type of communication between driver and vehicle. *Procedia Computer Science*, 2015, No. 73, Pp. 242–249.
12. **Feinerand S., MacIntyre B., Hollerer T., Webster A.** A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *Personal Technologies*, 1997, Vol. 1(4), Pp. 208–217.
13. **Ibai Laca, Ignacio (Icaki) Olabarrieta, Manuel Vélez, Javier Del Ser.** On the imputation of missing data for road traffic forecasting: New insights and novel techniques. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, 2018, Vol. 90, Pp. 18–33.
14. **Hazelton M.L.** Statistical inference for time varying origin–destination matrices. *Transportation Research. Part B: Methodological*, 2008, Vol. 42, Iss. 6, Pp. 542–552.
15. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** An overview of the indicators of the transport security of the megalopolis. *Bulletin of Civil Engineers*, 2015, No. 5 (52), Pp. 237–247. (rus)
16. **Andrea Souza Santos, Suzana Kahn Ribeiro** The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: A contribution for the debate on sustainable future. *Case Studies on Transport Policy*, 2015, Vol. 3, Iss. 4, Pp. 415–420.
17. **Seliverstov Ya.A., Seliverstov S.A.** The formal development of patterns of daily travel activity chains of the urban population. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*, 2015, No. 4 (224), Pp. 91–104. (rus) DOI: 10.5862/JCSTCS.224.9
18. **Malygin I.G., Komashinskiy V.I., Avanesov M.Yu., Komissarov S.A., Sorokin K.N.** Networks, information and knowledge are the main drivers of the fourth industrial revolution (industrie 4.0). *Information and Space*, 2016, No. 1, Pp. 14–25. (rus)
19. **Young-Ji Byon, Cortes C.E., Young-Seon Jeong, Martinez F.J., Munizaga M.A., Zuniga M.** Bunching and headway adherence approach to public transport with GPS. *ICDM 2012: Advances in Data Mining. Applications and Theoretical Aspects*, Pp. 77–91.
20. **Aftab Ahmed Chandio, Nikos Tziritas, Fan Zhang, Ling Yin, Cheng-Zhong Xu.** Towards adaptable and tunable cloud-based map-matching strategy for GPS trajectories. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 2016, Vol. 17(12), Pp. 1305–1319.
21. **Dias D., Tchepel O.** Modelling of human exposure to air pollution in the urban environment: a GPS-based approach. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2014, No. 21, Pp. 3558–3571.
22. **Shoval N.** Monitoring and managing visitors flows in destinations using aggregate GPS data. *Information and communication technologies in tourism*, Springer, Vienna, New York, 2010, Pp 171–184.
23. **Ayalew Belay Habtie, Ajith Abraham, Dida Midekso.** Artificial Neural Network Based Real-Time Urban Road Traffic State Estimation Framework. *Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks*, Pp. 73–97.
24. **Guoyang Qin, Tienan Li, Bin Yu, Yunpeng Wang, Zhenhua Huang, Jian Sun.** Mining factors affecting taxi drivers' incomes using GPS trajectories. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, 2017, Vol. 79, Pp. 103–118.
25. **Banister D.** The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 2008, Vol. 15(2), Pp. 73–80.
26. **Garau C.** From territory to smartphone: Smart fruition of cultural heritage for dynamic tourism development. *Planning Practice and Research*, 2014, Vol. 29(3), Pp. 238–255.
27. **Garau C.** Smart paths for advanced management of cultural heritage. *Regional Studies, Regional Science*, 2014, Vol. 1(1), Pp. 286–293.
28. **Seliverstov S.A., Seliverstov Ya.A.** On

the development of indicators of the analysis of the assessment of the transport component in the structure of the urban quarter. *Vestnik transporta Povolzhya [Bulletin of Volga Transport]*, 2015, No. 4 (52), Pp. 55–69. (rus)

29. **Benvenuti F., Diamantini C., Potena D., Storti E.** An ontology-based framework to support performance monitoring in public transport systems. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, 2017, Vol. 81, Pp. 188–208.

Received 07.02.2018.

30. **Briand A.-S., Côme E., Trépanier M., Oukhellou L.** Analyzing 2018-to-2018 changes in public transport passenger behaviour using smart card data. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies*, 2017, Vol. 79, Pp. 274–289.

31. **Bibri S.E.** A foundational framework for smart sustainable city development: Theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies. *Sustainable Cities and Society*, 2018, Vol. 38, Pp. 758–794.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

СЕЛИВЕРСТОВ Ярослав Александрович
SELIVERSTOV Yaroslav A.
E-mail: maxwell_8-8@mail.ru

ГЕРГЕЛЬ Глеб Юрьевич
GERGEL Gleb Yu.
E-mail: Glebgergel@yandex.ru

СЕЛИВЕРСТОВ Святослав Александрович
SELIVERSTOV Sviatoslav A.
E-mail: amuanator@rambler.ru

НИКИТИН Кирилл Вячеславович
NIKITIN Kirill V.
E-mail: execiter@mail.ru