

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПЕРЕВОЗКА ПассажиРОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЭЛЕКТРОКАРОВ

В. Н. Шуть¹

¹ К. т. н., доцент кафедры «Интеллектуальные информационные технологии» учреждения образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: lucking@mail.ru

Реферат

Рассматривается процесс планирования и организации перевозки в интеллектуальной информационной транспортной системе через задачи прогнозирования поступления заявок на перевозку от пассажиров, составление плана перевозки с их учетом и расчет необходимого числа транспортных средств для выполнения плана перевозки. Предложенные методы направлены на обеспечение наиболее качественного и своевременного обслуживания пассажиров интеллектуальной информационной транспортной системы при максимально эффективном использовании подвижного состава.

Ключевые слова: интеллектуальная информационная транспортная система, планирование перевозок, организация перевозок, прогнозирование пассажиропотока, план перевозок, матрица корреспонденций, роботизированное транспортное средство, инфобус.

AUTOMATIC TRANSPORTATION OF PASSENGERS IN AN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM BASED ON UNMANNED ELECTROCARs

V. N. Shuts

Abstract

The process of planning and organizing transportation in an intelligent information transport system is considered through the tasks of forecasting the receipt of requests for transportation from passengers, drawing up a transportation plan and calculating the required number of vehicles for the implementation of the transportation plan. The proposed methods are aimed at providing the most high-quality and timely passenger service of an intelligent information transport system with the most efficient use of rolling stock.

Keywords: intelligent information transport system, transportation planning, transportation organization, passenger traffic forecasting, transportation plan, correspondence matrix, robotic vehicle, infobus.

Введение

Городской общественный транспорт – основное средство удовлетворения потребностей городского населения в перевозках. При интенсивном развитии интеллектуальных информационных технологий происходит неизбежное их сращивание со многими социальными инфраструктурами, в том числе и с транспортными системами, в результате чего появляется новое поколение транспортных систем на базе интеллектуальных технологий, которые должны справляться со сложными задачами планирования, организации и управления пассажирскими перевозками при минимальном участии человека.

В жизненном цикле любой транспортной системы протекают такие процессы как планирование перевозок, их организация и управление. Между данными процессами происходит перманентное взаимодействие [1]. Процесс планирования перевозок включает в себя задачи прогнозирования и обоснования ожидаемых объемов перевозок с учетом максимально полного удовлетворения спроса на них, объема парка транспортных средств и т. д. Процесс организации перевозок заключается в выявлении закономерностей корреспонденций движения пассажиров, определение скоростей и графика движения и т. д. Процесс управления движением реализует централизованный контроль, обеспечивающий эффективное выполнение разработанного плана перевозки при высоком качестве обслуживания.

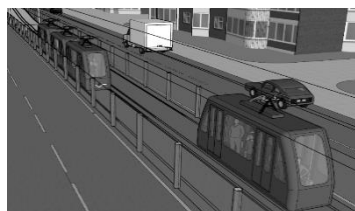
Данная статья посвящена описанию городской пассажирской транспортной системы нового типа на базе интеллектуальных технологий и решению такой задачи процесса планирования перевозок в данной транспортной системе как прогнозирование и обоснование объема перевозки и необходимого числа транспортных средств для реализации плана перевозки, которая решается в режиме реального времени.

Рассматриваемая интеллектуальная транспортная система включает в себя парк беспилотных роботизированных транспортных средств, управляемых дистанционно из единого сервера системы, осуществляющих перевозку пассажиров, сделавших заявку транспортной системе через терминалы, расположенные на остановках. Заявки от пассажиров накапливаются централизованно на сервере системы, который составляет план перевозки пассажиров с конкретной остановки, максимально удовлетворяющий спрос на перевозку к моменту появления транспортного средства на ней. Составленный план перевозки передается роботизированному беспилотному транспортному средству для его реализации.

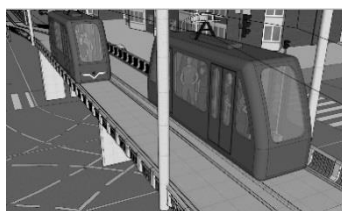
Состав интеллектуальной транспортной системы

Интеллектуальная информационная транспортная система состоит из следующих компонентов:

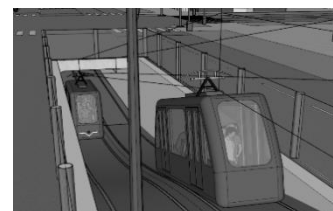
- Парк беспилотных роботизированных транспортных средств, называемых инфобусами. Каждый инфобус имеет небольшой объем (30–50 пассажирских мест) и его движение координируется собственной бортовой компьютерной системой, действующей под управлением единого информационного сервера интеллектуальной транспортной системы. Инфобусы осуществляют движение как самостоятельно, так и объединяясь в кассету по типу автокараванов [2] (Рисунок 1а). Кассеты инфобусов, представляя из себя транспортные средства с разделяющимися частями [3], обладают наивысшим приоритетом движения, т. к. осуществляют его по изолированной выделенной линии, пересекая перекрестки по эстакадам либо по подземным переходам (Рисунок 1б,в).



а) Автокараван инфобусов



б) Движение по эстакаде



в) Движение по подземному туннелю

Рисунок 1 – Движение инфобусов по выделенной линии

- Информационный сервер является интеллектуальным центром транспортной системы. Заявки на перевозку, сделанные пассажирами через терминалы на остановках маршрута, фиксируются в матрице корреспонденций M транспортной системы. Путем постоянного опроса данной матрицы сервер отслеживает наступление момента достаточного накопления заявок для осуществления перевозки. При его наступлении фиксирует необходимые данные и, основываясь на них, составляет план перевозки и начинает новый цикл сбора заявок для следующего плана. Составленный план перевозки пересылается бортовым системам инфобусов для его реализации.
- Система терминалов на остановках для осуществления заявки транспортной системе не перевозку и ее оплаты. В заявке указывается начальная (origin) остановка, с которой пассажир начинает поездку и целевая (destination) остановка, на которую пассажир желает ехать, а также требуемое количество мест (Рисунок 2а). Заявки аккумулируются на сервере транспортной системы (Рисунок 2б).



а) Терминалы ИТС на остановках маршрута

STATUS	BEGIN TIME	REQUEST TIME	ORIGIN (i)	DESTINATION (j)	SEATS NUMBER	INTENSITY	M _{ij}	FIXATION
Start	00:26:06.1866667	00:26:06.1700000	1	0	0	0	0	No
Flow	00:26:06.1866667	00:26:25.9466667	1	2	2	0.1052632	2	No
Flow	00:26:06.1866667	00:26:47.5433333	1	5	1	0.02439024	1	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:01.8033333	1	3	4	0.07272727	4	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:19.0233333	1	4	1	0.01369863	1	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:35.3133333	1	6	3	0.03370786	3	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:52.9933333	1	7	2	0.01886792	2	No
Flow	00:26:06.1866667	00:28:11.1400000	1	3	3	0,056	7	No
Flow	00:26:06.1866667	00:28:13.3300000	1	8	2	0.01069519	2	No
Flow	00:26:06.1866667	00:29:30.1000000	1	3	5	0.05882353	12	Yes
End	NULL	00:29:30.1000000	1	0	0	0	0	Yes
Start	00:29:30.1000000	00:29:30.1000000	1	0	0	0	0	No

б) Журнал фиксации заявок в базе данных ИТС

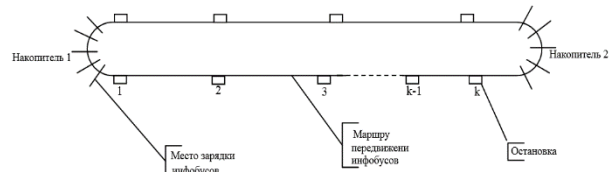
Рисунок 2 – Компоненты интеллектуальной транспортной системы

- Матрица корреспонденций M (Рис. 3а), являющаяся основой для составления плана перевозки. Она формируется на основе заявок, накапливаемых транспортной системой. В данной матрице каждый элемент m_{ij} определяет число пассажиров, следующих с остановки i на остановку j , $i, j = \overline{1, k}$. Элементы главной диагонали матрицы M и элементы под главной диагональю равны нулю, т. к. пассажир не может сделать заявку на поездку на остановку, на которой сел, и не может ехать в противоположном направлении маршрута [4–6]. Обновление элемента m_{ij} матрицы корреспонденций M происходит всякий раз при оплате пассажиром на остановке i поездки на остановку j с помощью системы терминалов и фиксации тем самым его заявки в транспортной системе.
- Маршрут движения инфобусов – путь следования транспортных средств, включающий в себя множество остановок, расположенном на этом пути, на которых инфобусы будут осуществлять посадку-высадку пассажиров, а также два Накопителя, из которых инфобусы начинают выполнение плана перевозки и в которых возвращаются после его реализации (Рис. 3 б).
- План перевозки пассажиров – результат процесса планирования и организации движения в интеллектуальной информационной транспортной системе. Формируется при выполнении процедуры составления плана перевозки пассажиров и включает в себя определение числа инфобусов, участвующих в реализации плана перевозки, назначении каждому из них идентификационного

номера, начальной (origin) остановки и целевых (destination) остановок, на которые транспортное средство повезет пассажиров. А также план перевозки включает в себя график движения транспортных средств по маршруту.

$$M = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{i+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

а) Матрица корреспонденций M



б) Маршрут движения инфобусов

Рисунок 3 – Компоненты интеллектуальной транспортной системы

Работа интеллектуальной транспортной системы

Функционирование данной транспортной системы имеет циклический характер и состоит из осуществления процедуры накопления информации о поступивших заявках в систему, процедуры определения момента достаточного накопления заявок (в данной статье рассматривается только для некоторой строки i матрицы корреспонденций), процедуры разработки плана перевозки и процедуры реализации плана перевозки.

Процедура накопления информации о поступивших заявках в систему заключается в записи в матрицу корреспонденций M данных заявки на обслуживание от пассажира, которую он осуществляет при оплате проезда через систему терминалов на остановке. Также лог о сделанных заявках записывается в специальную базу данных в привязке ко времени для дальнейшего их анализа. Накапливаемые данные заявок являются информационной основой для составления плана перевозки пассажиров.

Процедура определения момента достаточного накопления заявок для некоторой строки i (остановки i) матрицы корреспонденций M заключается в отслеживании момента наступления условия, определяющего достаточность накопления заявок на обслуживание и в фиксации соответствующих значений матрицы корреспонденций для разработки плана перевозки пассажиров.

Процедура разработки плана перевозки пассажиров для зафиксированных значений строки i , начинающаяся сразу после наступления момента достаточного накопления заявок для строки i . В результате выполнения данной процедуры определяются:

- идентификационный номер $n_i \in N, i = \overline{1, k}, k \in N$ для каждого транспортного средства, участвующего в перевозке, где i – номер начальной (origin) остановки, k – число остановок одного направления маршрута (Рис. 3 б);
- множество J_{n_i} целевых (destination) остановок для каждого инфобуса, на которые он повезет пассажиров;
- график времени прибытия на остановки и отправки с них (в данной статье составление не рассматривается).

Процедура выполнения плана перевозки пассажиров заключается в формировании в Накопителе кассеты инфобусов и ее отправке на маршрут с указанием для каждого инфобуса как начальной (origin) остановки, на которой будет осуществлена посадка пассажиров, так и целевой (destination) остановки (в некоторых случаях нескольких целевых остановок), на которых будет производиться высадка пассажиров. Перед приездом кассеты инфобусов на информационном табло остановочного пункта высвечиваются названия ее целевых

остановок. Также целевые остановки каждого инфобуса высвечиваются на индикаторе, расположенном на его лобовом стекле. Пассажиры, оставившие заявку на поездку на эти остановки, занимают места в данном инфобусе, после чего транспортное средство осуществляет их перевозку на нужные им остановки.

Адаптивное движение инфобусов в улично-дорожной среде (УДС)

Важным моментом в автоматической транспортной системе городских пассажирских перевозок является среда движения инфобусов. Она не должна иметь помех со стороны других транспортных средств, не относящихся к этой системе. Также сама не должна препятствовать движению этого транспорта, т. е. быть адаптивной к среде движения. Передвигаясь синхронно транспортным потокам УДС, синхронно с внесистемным транспортом пересекать светофорные объекты, пешеходные переходы и т. д.

На сегодняшний день существуют десятки различных реализаций адаптивных систем управления транспортом [7], а наиболее распространенными являются SCOOT и SCATS [8]. Современные достижения в области ИТС позволяют значительно расширить текущие возможности адаптивного управления транспортом и создать более совершенные системы за счет использования продвинутых сенсоров, электроники, компьютерных и коммуникационных технологий, инновационных стратегий управления.

Одним из важных направлений развития ИТС является использование беспроводных телекоммуникаций. Исследования, проводившиеся в этой области в 2000-х годах, показали, что существующие технологии Wi-Fi не соответствуют поставленным задачам. Для решения этих проблем было создано новое дополнение к стандарту Wi-Fi - IEEE 802.11p [9]. Новый протокол базируется на технологии DSRC (Dedicated short range communication), служащей для взаимодействия на коротких дистанциях. Технология следующего поколения называется WAVE (Wireless Access to Vehicular Environment) и предоставляет высокоскоростную передачу данных [10]. Беспроводные сети более короткого радиуса используются для организации обмена данными между устройствами внутри автомобиля, например для связи между смартфоном водителя и системами автомобиля. Взаимодействие V2V включает обмен данными с автомобилями, проходящими рядом или движущимися по одному маршруту, а также аварийное вещание автомобилям, находящимся неподалеку. Взаимодействие V2I использует придорожную инфраструктуру для обмена данными и сетевого взаимодействия с автомобилями. Также автомобиль может иметь прямое подключение к интернету через сотовую сеть. Сервисы, разработанные на данный момент, включают системы кооперативного оповещения о столкновениях, системы детектирования столкновений, кооперативные системы безопасности перекрестков, оповещение о приближении автомобилей экстренных служб или областей с дорожными работами и др. [11].

Заключение

В предложенной статье описаны принципы планирования и организации перевозки в интеллектуальной информационной транспортной системе на базе беспилотных роботизированных транспортных средств. Данные принципы реализованы через прогнозирование поступления потенциальных заявок на перевозку в транспортную систему, расчет необходимого числа транспортных средств так, чтобы полностью обеспечить спрос на перевозку, и составление плана перевозки пассажиров при максимально рациональном использовании подвижного состава. Эти подходы позволят обеспечить своевременное и качественное обслуживание пассажиров при эффективном использовании подвижного состава транспортной системы.

Список цитированных источников

1. Блатнов, М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для автотранспортных техникумов. – 3 изд. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с.
2. Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment (дата обращения: 02.01.2021)
3. Швецова, Е. В. Интеллектуальный транспорт с разделяющимися частями / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Сборник трудов XXXIII Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях»: в 12 т. / Под общ. ред. А. А. Большакова. –

СПб.: Издательство Политехнического университета, 2020. – Т.3. – С. 87–93.

4. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы "ИНФОБУС" / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы: материалы Международ. науч.-техн. конф., Брест, 25–28 мая 2016 г. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 49–54.
5. Пролиско, Е. Е. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ» / Е. Е. Пролиско // Матеріали VII-ї Українсько-польської науково-практичної конференції «Електроніка та інформаційні технології (ЕлІТ-2015)». 2015. – С. 27–30.
6. Пролиско, Е. Е. Возможности и перспективы беспилотного городского общественного транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф. – СПб.: Политехнический университет, 2018. – С. 16–23.
7. Aavani, P. A review on adaptive traffic controls systems / P. Aavani, K. S. Mithun, S. Sneha // International Journal of Latest Engineering and Management Research. – 2017. – Vol. 2, № 1. – P. 52–57.
8. Stevanovic, A. Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice / A. Stevanovic // A Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 403. – 2010. – 114 p.
9. Hiertz, G. R. The IEEE 802.11 Universe / G. R. Hiertz [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 1. – P. 62–70.
10. Dar, K. Wireless communication technologies for ITS applications / K. Dar [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 5. – P. 156–162.
11. Martinez, F. J. Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks / F. J. Martinez [et al.] // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2010. – Vol. 2, № 2. – P. 6–20.

References

1. Blatnov, M. D. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlya avtotransportnykh tekhnikumov. – 3 izd. – M.: Transport, 1981. – 222 s.
2. Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Elektronnyj resurs]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment (data obrashcheniya: 02.01.2021)
3. SHvecova, E. V. Intel'kual'nij transport s razdelayayushchimisya chastyami / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Sbornik trudov XXXIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah»: v 12 t. / Pod obshch. red. A. A. Bol'shakova. – SPb.: Izdatel'stvo Politekhicheskogo universiteta, 2020. – T.3. – S. 87–93.
4. Prolisko, E. E. Dinamicheskaya model' raboty transportnoj sistemy "INFOBUS" / E. E. Prolisko, V. N. SHut' // Iskusstvennyj intellekt. Intel'kual'nye transportnye sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Brest, 25–28 maya 2016 g. – Brest: BrGTU, 2016. – S. 49–54.
5. Prolisko, E. E. Matematicheskaya model' raboty «INFOBUSOV» / E. E. Prolisko // Materіali VII-oi Ukrain's'ko-pol's'koi naukovopraktychnoi konferencii «Elektronika ta infarmacijni tekhnologii (EлІТ-2015)». 2015. – S. 27–30.
6. Prolisko, E. E. Vozmozhnosti i perspektivy bespilotnogo gorodskogo obshchestvennogo transporta / E. E. Prolisko, V. N. SHut' // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah: sb. tr. mezhdunar. nauch. konf. – SPb.: Politekhicheskij universitet, 2018. – S. 16–23.
7. Aavani, P. A review on adaptive traffic controls systems / P. Aavani, K. S. Mithun, S. Sneha // International Journal of Latest Engineering and Management Research. – 2017. – Vol. 2, № 1. – P. 52–57.
8. Stevanovic, A. Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice / A. Stevanovic // A Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 403. – 2010. – 114 p.
9. Hiertz, G. R. The IEEE 802.11 Universe / G. R. Hiertz [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 1. – P. 62–70.
10. Dar, K. Wireless communication technologies for ITS applications / K. Dar [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 5. – P. 156–162.
11. Martinez, F. J. Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks / F. J. Martinez [et al.] // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2010. – Vol. 2, № 2. – P. 6–20.

Материал поступил в редакцию 26.02.2021