

УДК 656.13

Е.В. ШВЕЦОВА, В.Н.ШУТЬ
Брестский государственный технический университет

АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК НА ГОРОДСКИХ ЛИНИЯХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

В данной статье описывается система беспилотного городского пассажирского транспорта на базе мобильных автономных роботизированных транспортных средств и рассматривается алгоритм составления непротиворечивого плана перевозок с помощью такой системы, "перевозок по требованию пассажиров". Актуальность предложенной системы обусловлена изменяющимися социальными и экономическими условиями в крупных населенных пунктах, такими как рост численности городского населения, увеличение количества транспортных средств на автомобильных дорогах, удорожание проезда как в частном, так и в общественном транспорте, а также современными возможностями научного и технического прогресса, такими как интеллектуальные транспортные системы, позволяющие контролировать, прогнозировать, анализировать дорожно - транспортную обстановку. Целью статьи является описание интеллектуальной информационно-транспортной системы способной повысить качество и эффективность пассажирских перевозок в «загруженной» городской транспортной среде, а также принести экономические выгоды за счет снижения потерь при их использовании. В предложенной работе рассматривается математическая модель компьютерного управления беспилотной транспортной системой. Результатом работы является описание алгоритма организации городских "перевозок по требованию пассажиров" с использованием транспортных средств, управляемых компьютерными интеллектуальными системами без участия человека. Модель, описанная в работе, позволяет сделать городские пассажирские перевозки более гибкими и адаптивными к непрерывно меняющимся условиям насыщенной дорожно-транспортной среды средних и крупных городов, неся при этом не только экономическую, но и экологическую пользу, обеспечивая существенный рост пропускной способности городской транспортной системы, высокий уровень комфортабельности поездки для пассажира. Новизна работы состоит в использовании перманентно выполняющегося компьютерно-информационного управления транспортом без участия человека, обеспечивающего как сбор и обработку данных, так и анализ, и принятие решений.

Ключевые слова: транспортно-информационная управляющая система, беспилотный пассажирский транспорт, инфобус, интеллектуальная транспортная система, информационный транспорт, организация перевозок, адаптивная транспортная система.

A.Shviatsova, V.Shuts
Brest state technical university

THE ALGORITHM OF DEVELOPMENT A DELIVERY PLAN ON URBAN LINES IN AN INTELLEAGENT MANAGEMENT SYSTEM OF UNMANNED VEHICLES

This article describes an unmanned urban passenger transport system based on mobile autonomous robotic vehicles and discusses an algorithm for developing a consistent transportation plan using such a system, "traffic on demand of passengers." The relevance of the proposed system is due to the changing social and economic conditions in large settlements, such as the growth of the urban population, the increase in the number of vehicles on the roads, the increased cost of travel in both private and public transport, as well as modern possibilities of scientific and technological progress, such as intelligent transport systems that allow you to monitor, predict, analyze the traffic situation. The purpose of the article is to describe an intelligent information and transport system that capable of improving the quality and efficiency of passenger traffic in a "loaded" urban transport environment, and also bring economic benefits by reducing losses in their use. The proposed paper deals with a mathematical model of computer control of an unmanned transport system. The result of the work is a description of the algorithm for organizing

urban "carriage on passenger demand" using vehicles controlled by computer intelligent systems without human participation. The model described in the paper allows us to make urban passenger transportation more flexible and adaptive to the continuously changing conditions of saturated road and transport environment of medium and large cities, while delivering not only economic but also environmental benefits, providing a significant increase in throughput of the urban transport system, high level of comfort for the passenger. The novelty of the work lies in the use of computer-information transport management that is performed permanently without the participation of a person, providing both data collection and processing, analysis and decision-making.

Keywords: transport-information management system, unmanned passenger transport, infobus, intelligent transport system, information transport, transport organization, adaptive transport system.

Постановка проблемы

Рост числа личного автомобильного транспорта привел к перенасыщенности общественных магистралей и регулярному появлению транспортных коллапсов на них, что делает использование частного автомобиля мало эффективным. Решением этих проблем в средних городах и мегаполисах является активное развитие общественного транспорта. Однако стоимость эксплуатации такого транспорта постоянно растет из-за ограниченности выбора транспортных средств нужной вместимости, отсутствия точной информации о пассажиропотоке в режиме реального времени, из-за ошибок человеческого фактора и т.д., что делает большинство современных систем городского транспорта планомерно убыточными, а недорогую транспортировку больших масс людей в пределах черты города невыполнимой. Тем не менее, городские власти вынуждены осуществлять поддержку общественного транспорта во избежание транспортного коллапса.

В постиндустриальную эпоху интеллектуальные информационные технологии стали использоваться практически во всех сферах человеческой деятельности, включая и транспортные системы. Примером тому служат появление в крупных городах интеллектуальных транспортных систем, управляемых из единого информационного центра, предоставляющего информацию о дорожной обстановке с фото и видеонаблюдения, наличии мест на стоянках и т.д. [1]. Такие системы направлены на повышение мобильности и гибкости современных городских пассажирских перевозок, а также несут в себе значительные экономические выгоды, так как по производительности способны не уступать метро и в то же время ниже по стоимости изготовления и обслуживания.

В предлагаемой работе описан алгоритм осуществления городских пассажирских перевозок с помощью интеллектуальной информационно-транспортной системы, основанной на использовании роботизированных беспилотных транспортных средств малой вместимости, называемых инфобусами, которые управляются из единого координирующего информационного центра. Система призвана разгрузить перенасыщенную обстановку на городских автомагистралях путем предоставления провозной способности, сопоставимой с метро.

Анализ последних достижений и публикаций

Только следующие реализованные за последние годы европейские проекты по созданию интеллектуальных систем для транспорта позволяют судить о важности внедрения информационных технологий в данную сферу:

- ADASIS (Advanced Driver Assistant Systems Interface Specification) – использование точных картографических данных в средствах навигации для получения водителем прогноза ситуации на дороге впереди по ходу движения [2];
- AIDE (Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface) – использование специального электронного оборудования и программного обеспечения, позволяющего концентрировать внимание водителя в момент обгона и отключения функций приборов в салоне автомобиля, отвлекающих внимание во время совершения сложного маневра [3];
- SAFESPOT – программа поддержки появления большего количества «умных» машин на «умных» дорогах [4]

Осуществляется широкое применение интеллектуальных нейросетевых алгоритмов для автоматизированного управления транспортом, о чем свидетельствуют следующие научные работы: D.Thomas, B. Kooor "A Genetic Algorithm Approach to Autonomous Smart Vehicle Parking system" 2018 г.; Kurniawan, Sulistiyo, & Wulandari, "Genetic Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem with considering

traffic density", 2015; Potuzak "Time Requirements of Optimization of a Genetic Algorithm for Road Traffic Network Division Using a Distributed Genetic Algorithm", 2014; Mulloorakam & Nidhiry, "Combined Objective Optimization for Vehicle Routing Using Genetic Algorithm", 2019; Wang, Ning, & Schutter, "Optimal Trajectory Planning and Train Scheduling for Urban Rail Transit Systems", 2016.

Формулирование цели исследования

Целью данной работы является описание математической модели построения плана перевозки пассажиров по их требованию на маршруте с помощью интеллектуальной информационно-транспортной системы.

Основной транспортной единицей в предложенной информационно-транспортной системе является беспилотный электрокар небольшой вместимости до тридцати человек, называемый инфобусом [5]. Движение инфобусов (рис.1) управляется единым координирующим сервером, который может объединять в зависимости от интенсивности пассажиропотока транспортные средства в кассеты, состоящие из различного числа транспортных единиц: один инфобус, два, три и т.д. Механические соединения в кассете отсутствуют, т.к. являются виртуальными, как в автопоездах [6]. На маршрут высылаются такое число инфобусов, чтобы суммарная вместимость их была равна или незначительно превышала объем пассажиропотока. Пассажир, оплачивая проезд на остановке отправления через терминал системы, указывает пункт, в который он намеревается ехать. Этими действиями пассажир регистрирует свое появление в системе с требованием на доставку в нужный ему пункт назначения. Доставка пассажира в пункт назначения должна быть преимущественно безостановочная, либо с минимальным числом остановок от пункта отправления и до пункта назначения.



Рис.1. Автопоезд из одного и двух инфобусов на перекрестке

Движение инфобусов по маршруту должно быть бесконфликтным, т.е. инфобусы не должны задерживать друг друга, и осуществляться от Накопителя 1 к Накопителю 2, расположенных в конечных пунктах маршрута (рис.2).

Движение инфобусов осуществляется в улично-дорожных условиях города при влиянии в той или иной степени со стороны других участников движения. Уменьшить такое влияние на движение инфобусов можно за счет выделения специальной полосы движения, как это делается для общественного транспорта типа автобуса или троллейбуса. Полоса движения инфобусов непосредственно примыкает к тротуару и отделена от него ограждением, а от основной дороги слева сплошной линией (рис.1). В некоторых случаях может использоваться легкое ограждение в форме установленных на сплошной линии пластмассовых конусов.

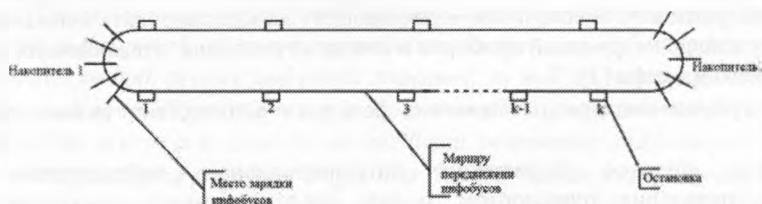


Рис.2.Схема маршрута движения инфобусов

Таким образом, данная информационно-транспортная система включает в себя [6-11]:

- - единый координирующий сервер;
- - выделенная полоса движения;
- - остановочные пункты, снабженные терминалами оплаты и сбора информации;
- - парк беспилотных транспортных средств, называемых инфобусами, фиксированной небольшой емкости, связанных с координирующим сервером, команды которого обрабатываются транспортным средством.

Функционирование системы осуществляется следующим образом [6-11]:

- - пассажир на остановочном пункте, оплачивая проезд через терминал, указывает также и пункт назначения;
- - координирующий сервер, принимая информацию с терминалов, формирует матрицу корреспонденций $M_z, Z=1,2,\dots$, в которой фиксируется каждый прибывающий на остановку пассажир с его требованием на его доставку;
- - по накоплении определенного числа пассажиров в матрице корреспонденций $M_z, Z=1,2,\dots$ координирующий сервер формирует план доставки пассажиров, отправляя инфобусы для развозки пассажиров по станциям назначения;
- - интервалы времени движения между остановками и время стоянки на остановках известны.

План доставки пассажиров - процедура последовательной отправки инфобусов из Накопителя 1 (Рис.2) на маршрут с присвоением ему индивидуального номер и указанием множества станций назначения. На информационном табло остановки, а также на дисплее инфобуса отображается список пунктов назначения, на которые инфобус повезет пассажиров. Пассажиры, пункт назначения которых совпадает с набором остановок инфобуса, садятся в транспортное средство. Остальные ждут другого инфобуса.

Каждый элемент m_{ij} матрицы корреспонденций $M_z, Z=1,2,\dots$ равен числу пассажиров, следующих с остановки i на остановку $j, i, j = \overline{1, k}$. Здесь k число остановок одного направления маршрута (рис.2). Элементы матрицы M_z на главной диагонали и под главной диагональю равны нулю, т.к. пассажир не может следовать на остановку, на которой он сел, и не может следовать в обратном направлении [7,8,9,10]:

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

План развозок для текущей матрицы корреспонденций должен обеспечивать бесконфликтность движения инфобусов на маршруте, т.е. инфобусы не должны задерживать друг друга. Начало разработки плана развозок пассажиров наступает в момент, когда один из элементов матрицы M_z начинает удовлетворять условию (2) и, следовательно, все элементы матрицы M_z к началу развозки меньше объема инфобуса $V: m_{ij} = a * V, a \in (0.8, 1), i = \overline{1, k-1}, j = \overline{1, k}$.

План развозок составляется последовательно для каждой строки. Выполнение плана развозок осуществляется в той же последовательности. Для строки i число пассажиров на i -ой остановке подсчитывается по формуле: $m_i = \sum_{j=i+1}^k m_{ij}, i = \overline{1, k-1}$.

Для любой i -ой строки матрицы корреспонденций M_z возможно сразу указать нижнюю $n_{ниг}$ и верхнюю $n_{вг}$ границы необходимого числа всех инфобусов для вывоза всех пассажиров с i -ой остановки:

$$n_{i,HT} = \left\lceil \frac{m_i}{V} \right\rceil = \left\lceil \frac{\sum_{j=i+1}^k m_{ij}}{V} \right\rceil, \quad n_{i,BT} = k - i, \quad i = \overline{1, k-1}$$

Описание основного материала исследования

План движения для инфобусов составляется для каждой строки i матрицы корреспонденций M_z , которая содержит информацию о требованиях пассажиров, едуших с остановки i на дальнейшие остановки.

Для гарантии бесконфликтности движения транспортных средств их отправка будет осуществляться сначала к самым дальним пунктам назначения от остановки следования пассажир, потом к ближним: $j = k, k-1, \dots, i+1$. Каждый инфобус при этом получает свой порядковый номер $\dot{n}_i = \overline{1, n_i}$, $n_{i,HT} \leq n_i \leq n_{i,BT}$, $n_i \in N$, n_i - число инфобусов, необходимое для вывоза всех пассажиров с остановки i на все остановки маршрута $i+1, i+2, \dots, k$. Причем такой инфобус n_i имеет некоторое множество доступных ему для развозки остановок, в дальнейшем оно будет именоваться *потенциальным множеством остановок* инфобуса \dot{n}_i и обозначаться $J_{\dot{n}_i, P}$. В это множество будут входить все остановочные пункты маршрута, располагающиеся за начальным пунктом отправления инфобуса \dot{n}_i , за исключением тех остановок, на которые предыдущие инфобусы, развозящие с этой же остановки, уже доставили пассажиров. Однако осуществлять доставку пассажиров такой инфобус будет не во все пункты этого множества, а лишь в некоторые из них, которые составят *реальное множество остановок* инфобуса \dot{n}_i , обозначаемое J_{n_i} и являющееся подмножеством потенциального множества остановок $J_{\dot{n}_i, P}$, то есть $J_{n_i} \subset J_{\dot{n}_i, P}$.

Так, если инфобус под номером 1 проследует с первой остановки i на три последние остановки: $k, k-1, k-2$ (Рис.2), а инфобус под номером 2 на $k-3$ и $k-4$, то потенциальное множество $J_{1, P} = \{2, 3, \dots, k\}$, а реальное множество остановок $J_1 = \{k-2, k-1, k\}$. Для следующего за ним с этой же остановки второго инфобуса потенциальное множество остановок будет определяться как $J_{2, P} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_1 = \{2, 3, \dots, k-3\}$, а реальное множество остановок будет $J_2 = \{k-4, k-3\}$, $J_2 \subset J_{2, P}$.

Можно обобщить, что потенциальное множество остановок произвольного инфобуса \dot{n}_i , $\dot{n}_i = \overline{1, n_i}$ при развозке с остановки i есть разность множества всех остановок маршрута, начиная с остановки $i+1$, и множества, являющимся совокупностью остановок, на которые предыдущие инфобусы осуществили

$$\text{развозку: } J_{\dot{n}_i, P} = \{i+1, i+2, \dots, k\} \setminus \bigcup_{l=1}^{\dot{n}_i-1} J_l.$$

Реальное множество остановок, на которые рассмотренный первый инфобус повезет пассажиров, определяется вместимостью транспортного средства и может быть описано условиями:

$$\begin{cases} m_{1k} + m_{1k-1} + m_{1k-2} \leq V \\ m_{1k} + m_{1k-1} + m_{1k-2} + m_{1k-3} > V \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{j=k-2}^k m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=k-3}^k m_{1j} > V \end{cases} \quad (1)$$

В целях описания алгоритма вводится понятие точной верхней грани потенциального множества остановок инфобуса \dot{n}_i , опирающееся на математическое определение супремума множества: точная верхняя грань или наименьшая верхняя грань числового множества $M(\text{sup } M)$ в математике называется наименьшим элементом множества M , который больше или равен всех элементов этого множества [12]. Остановка с наибольшим порядковым номером потенциального множества остановок инфобуса \dot{n}_i , $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ всегда будет являться точной верхней границей множества $J_{\dot{n}_i, P}$ и обозначаться $\text{sup } J_{\dot{n}_i, P}$, всегда входя в реальное множества остановок инфобуса \dot{n}_i . Будут ли в это множество входить другие остановки, зависит от объема инфобуса и количества следующих на них пассажиров.

Также для определения реального множества остановок $J_{\dot{n}_i}$ инфобуса \dot{n}_i , $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ в алгоритме используется величина $\Delta_{\dot{n}_i}$, которая представляет число остановок, вошедших в реальное множество остановок инфобуса \dot{n}_i , $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$, без остановки $\sup J_{\dot{n}_i}$, или $\Delta_{\dot{n}_i} = |J_{\dot{n}_i}| - 1$. Так для инфобуса 1 из примера $\Delta_1 = |2| - 1 = 2$, а для инфобуса 2 $\Delta_2 = |2| - 1 = 1$.

Для инфобуса 1 потенциальное множество остановок J_{1P} , величина Δ_1 , а также реальное множество остановок J_1 определяется из условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{1P} = \{2, 3, \dots, k\} \\ \sum_{j=\sup J_{1P}-\Delta_1}^{\sup J_{1P}} m_{1j} \leq V, \quad \sum_{j=\sup J_{1P}-\Delta_1-1}^{\sup J_{1P}} m_{1j} > V \\ J_1 = \{j | \sup J_{1P} - \Delta_1 \leq j \leq \sup J_{1P}\} \end{array} \right. \quad (2) \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} J_{1P} = \{2, 3, \dots, k\} \\ \sum_{j=K-2}^K m_{1j} \leq V, \quad \sum_{j=K-2-1}^K m_{1j} > V \\ J_1 = \{j | K - 2 \leq j \leq K\} \end{array} \right. \quad (3)$$

Аналогичным образом можно определить реальное множество остановок J_2 для инфобуса 2. Инфобус 2 может проследовать на все прочие остановки маршрута, не вошедшие в множество остановок инфобуса номер 1. Следовательно, множество потенциальных остановок инфобуса 2 $J_{2P} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_1 = \{2, 3, \dots, k-3\}$. Соответственно $\sup J_{2P} = k-3$. Реальное множество остановок для второго инфобуса определится условиями:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{1k-3} + m_{k-4} \leq V \\ m_{1k-3} + m_{k-4} + m_{k-5} > V \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=k-4}^{k-3} m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=k-5}^{k-3} m_{1j} > V \end{array} \right.$$

Для J_{2P} , J_2 и Δ_2 можно записать:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{2P} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_1 \\ \sum_{j=\sup J_{2P}-\Delta_2}^{\sup J_{2P}} m_{1j} \leq V, \quad \sum_{j=\sup J_{2P}-\Delta_2-1}^{\sup J_{2P}} m_{1j} > V \\ J_2 = \{j | \sup J_{2P} - \Delta_2 \leq j \leq \sup J_{2P}\} \end{array} \right. \quad (4) \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} J_{2P} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus \{k-2, k-1, k\} = \{2, \dots, k-3\} \\ \sum_{j=(k-3)-1}^{k-3} m_{1j} \leq V, \quad \sum_{j=(k-3)-2}^{k-3} m_{1j} > V \\ J_2 = \{j | k-4 \leq j \leq k-3\} \end{array} \right. \quad (5)$$

Из (5) следует, что $J_2 = \{k-4, k-3\}$. Суть формирования реальных множеств остановок J_1 и J_2 инфобусов 1 и 2 продемонстрирована на следующем примере. Вместимость инфобуса $V = 25$. На определенный момент есть матрица M_2 , у которой элементы $m_{1k-5}, m_{1k-4}, m_{1k-3}, m_{1k-2}, m_{1k-1}, m_{1k}$ имеют соответственно значения 5, 9, 12, 7, 8, 11:

$$M_2 = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & \dots & \dots & 5 & 9 & 12 & 7 & 8 & 11 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{2k} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_k \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Для первого инфобуса, развозящего пассажиров с первой остановки: $J_{1P} = \{2, \dots, k\}$ Следовательно, $\sup J_{1P} = k$ и согласно условиям (2),(3):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=\sup J_{1p}-\Delta_1}^{\sup J_{1p}} m_{1j} = \sum_{j=k-2}^k m_{1j} = 7 + 8 + 11 = 25 \leq 25 \\ \sum_{j=\sup J_{1p}-\Delta_1-1}^{\sup J_{1p}} m_{1j} = \sum_{j=k-2-1}^k m_{1j} = 12 + 7 + 8 + 11 = 38 > 25 \end{array} \right. \Rightarrow J_1 = \{k-2, k-1, k\}, \Delta_1 = 2.$$

Для второго инфобуса $J_{2p} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_1 = \{2, 3, \dots, k-3\}$, $\sup J_{2p} = k-3$ и согласно условиям (4),(5):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=\sup J_{2p}-\Delta_2}^{\sup J_{2p}} m_{1j} = \sum_{j=(k-3)-1}^{k-3} m_{1j} = 12 + 9 = 21 \leq 25 \\ \sum_{j=\sup J_{2p}-\Delta_2-1}^{\sup J_{2p}} m_{1j} = \sum_{j=(k-3)-1-1}^{k-3} m_{1j} = 5 + 12 + 9 = 26 > 25 \end{array} \right. \Rightarrow \begin{cases} J_2 = \{k-4, k-3\} \\ \Delta_2 = 1 \end{cases}$$

Для произвольного инфобуса \dot{n}_i , $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ потенциальное множество остановок $J_{\dot{n}_i p}$, величина $\Delta_{\dot{n}_i}$ и реальное множество остановок $J_{\dot{n}_i}$ определяются из следующих условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{\dot{n}_i p} = \{i+1, \dots, k\} \setminus \bigcup_{l=0}^{\dot{n}_i-1} J_l, J_0 = \emptyset, \dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}, \\ \Delta_{\dot{n}_i} = \{0, 1, 2, \dots\}, \sum_{j=\sup J_{\dot{n}_i p}-\Delta_{\dot{n}_i}}^{\sup J_{\dot{n}_i p}} m_{1j} \leq V, \sum_{j=\sup J_{\dot{n}_i p}-\Delta_{\dot{n}_i}-1}^{\sup J_{\dot{n}_i p}} m_{1j} > V, \\ J_{\dot{n}_i} = \{j \mid j \in N_0, \sup J_{\dot{n}_i p} - \Delta_{\dot{n}_i} \leq j \leq \sup J_{\dot{n}_i p}\}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Согласно системе условий (6) формируется совокупность реальных множеств остановок $\bigcup J_{\dot{n}_i}$, $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ инфобусов для i -ой строки матрицы корреспонденций M_z , $Z=1, 2, \dots$. Данная совокупность является планом развозки для i -ой строки матрицы корреспонденций M_z . Действительно, индекс \dot{n}_i , $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ реального множества остановок $J_{\dot{n}_i}$ указывает на порядковый номер инфобуса, а содержание множества $J_{\dot{n}_i}$ указывает на номера остановок, на которых данный инфобус будет останавливаться.

Совокупность $\bigcup_{i=1}^{k-1} J_{\dot{n}_i}$, $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ соответствует плану развозки для всей текущей матрицы корреспонденций M_z , $Z=1, 2, \dots$. Развозка пассажиров с i -ой остановки осуществляется через последовательную отправку инфобусов по нарастанию их порядковых номеров, т.е. $1, 2, \dots, n_i$.

Выводы

Представлен алгоритм работы транспортно-информационной системы нового типа, способной осуществлять автономно либо с минимальным участием человека сбор информации о заявках пассажиров, формировать и осуществлять план их развозки посредством использования роботизированных беспилотных транспортных средств. Сбор информации, обработка информации и принятие решений в такой системе протекают постоянно и составляют ее основу. Единичным транспортным средством в системе является беспилотный электрокар-инфобус. Работа выполнена при поддержке Европейского гранта «Grant Agreement Number 2013-4550/001-001» по проекту Ve-Safe – Белорусская сеть безопасных дорог совместно с тремя европейскими университетами: университет Сапиенца (Рим), Афинский политехнический университет и университет Лаффборо (Англия).

Список литературы

1. Государственное казенное учреждение города Москвы Центр организации дорожного движения Правительства Москвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gucodd.ru/index.php/2011-09-01-0502-01/2012-04-11-08-43-56> (дата обращения : 07.02.2016).
2. ADASIS Advancing map-enhanced driver assistance systems URL: <https://adasis.org/> (дата обращения: 30.05.2019).
3. AIDE - Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aide-eu.org/> (дата обращения: 30.05.2019).
4. Cooperative vehicles and road infrastructure for road safety [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.safespot-eu.org/> (дата обращения: 30.05.2019).
5. Пролиско, Е., Шуть, В. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС». Материалы научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы», Брест, Беларусь, 2016, с. 49-54.
6. Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment(дата обращения: 19.02.2019)
7. Касьяник, В., Шуть, В. 2012. Мобильный помощник водителя в выборе стратегии вождения. Искусственный интеллект, 3, Донецк: ИПИИ «Наука і освіта». с. 253-259.
8. Vasili Shuts, Valery Kasyanik. 2011. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport. Transport and Telecommunication.12(4). p. 52-60.
9. Persia, L., Barnes J., Shuts V., Prolisko E., Kasjanik V., Kapskii D., Rakitski A. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport. Материалы Международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016)», посвященной 50-летию Брестского государственного технического университета, (25-28 мая), Брест, 2016, с. 62-68.
10. Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ». Матеріали VII-ої Українсько-польської науково-практичної конференції «Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2015)»,(27-30 серпня) , Львів-Чинадієво, 2015 . с. 59-62.
11. Шуть, В., Пролиско, Е. 2016. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов. Штучний інтелект, 2 (72). с. 170-175.
12. Rudin, W. 1976. Chapter 1. The Real and Complex Number Systems. Principles of Mathematical Analysis. McGraw-Hill: p. 4

References

1. Gosudarstvennoe kazennoe uchrezhdenie goroda Moskvyyi Tsentr organizatsii dorozhnogo dvizheniya Pravitelstva Moskvyyi [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.gucodd.ru/index.php/2011-09-01-0502-01/2012-04-11-08-43-56> (data obrascheniya : 07.02.2016).
2. ADASIS Advancing map-enhanced driver assistance systems URL: <https://adasis.org/> (data obrascheniya: 30.05.2019).
3. AIDE - Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.aide-eu.org/> (data obrascheniya: 30.05.2019).
4. Cooperative vehicles and road infrastructure for road safety [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.safespot-eu.org/> (data obrascheniya: 30.05.2019).
5. Prolisko, E., Shut, V. Dinamicheskaya model raboty transportnoy sistemyi «INFOBUS». Materialyi nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Iskusstvennyiy intellekt. Intellektualnyie transportnyie sistemyi», Brest, Belarus, 2016, s. 49-54.
6. Proekt Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Elektronnyiy resurs]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment(data obrascheniya: 19.02.2019)
7. Kasyanik, V., Shut, V. 2012. Mobilnyiy pomoschnik voditelya v vyibore strategii vozhdeniya. Iskusstvennyiy intellekt, 3, Donetsk: IPII «Nauka i osvita». с. 253-259.

8. Vasili Shuts, Valery Kasyanik. 2011. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport. *Transport and Telecommunication*.12(4). p. 52-60.
9. Persia, L., Barnes J., Shuts V., Prolisko E., Kasjanik V., Kapskii D., Rakitski A. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Iskusstvennyiy intellekt. Intellektualnyie transportnyie sistemyi (Be-Safe 2016)», posvyaschennoy 50-letiyu Brestskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, (25-28 maya), Brest, 2016 , s. 62-68.*
10. Prolisko E.E., Shut V.N. *Matematicheskaya model raboty «INFOBUSOV». Materiali VII-oYi UkraYinsko-polskoYi naukovo-praktyichnoYi konferentsiYi «Elektronika ta infarmatsiyini tehnologiYi (EIIT-2015)»,(27-30 serpnia) , Lviv-ChinadiEvo, 2015 . c. 59-62.*
11. Shut, V., Prolisko, E. 2016. *Alternativnyiy metro transport na baze mobilnyih robotov. Shtuchniy intellekt, 2 (72). s. 170-175.*
12. Rudin, W. 1976. Chapter 1. The Real and Complex Number Systems. *Principles of Mathematical Analysis.* McGraw-Hill: p. 4.