

©БрГТУ

ГОРОДСКАЯ ПАССАЖИРСКАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА

Е. В. ШВЕЦОВА

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – В. Н. ШУТЬ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ

Предложено описание функционирования городской пассажирской информационно-транспортной системы, основанной на использовании роботизированных беспилотных транспортных средств малой вместимости, называемых инфобусами, которые управляются из единого координирующего информационного

центра. Система способна обеспечить провозную способность, сопоставимую с метро, а также снизить стоимость проезда и время следования.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, инфобус, информационно-транспортная система, организация городских пассажирских перевозок, план перевозки.

1. ВВЕДЕНИЕ

Продолжающаяся урбанизация и идущая вслед за ней нарастающая плотность населения и транспортных потоков в городах создает дискомфорт проживания и использования транспортных систем, построенных на решениях прошлых лет. В то же время развитие информационных технологий и технологических платформ позволяют подойти к решению возникающих социальных и экологических проблем, сбалансировать различные виды транспортных потоков (пешеходные, велосипедные, нью-мобилити, механические транспортные средства). Один из таких подходов получил название Smart Urban Mobility (SUM, Умная Городская Мобильность), см. рисунок 1.



Рис. 1. Концепция Smart Urban Mobility

В рамках парадигмы SUM получила признание концепция системы общественного транспорта, развивающегося с позиций приоритетов интересов пассажиров и пешеходов – PRT (Personal Rapid Transit). PRT – транспортные системы используют небольшие беспилотные автомобили, движущиеся по выделенной линии, которые осуществляют перевозку преимущественно в режиме «origin – destination», т.е. движение «по требованию» пассажира от исходной остановки к конечной без промежуточных остановок. Также отличительными особенностями PRT-транспорта являются минимизация времени ожидания и небольшой объем салона, что обеспечивает приватность поездки, сопоставимую с условиями частного транспорта. В данный момент PRT-транспортные системы с успехом используются на Западе в высоко связанных кластерных логистических системах: аэропортах, вокзалах, университетских и медицинских инфраструктурах, находящихся в разных частях мегаполиса. В качестве конкретного примера можно привести использование PRT-транспортной системы в аэропорту Хитроу, Англия.

Предлагаемая городская пассажирская информационно-транспортная система несет в себе все черты PRT, но может выступать и как альтернатива традиционному общественному транспорту, предлагая новый метод к осуществлению развозок пассажиров.

2. ОПИСАНИЕ ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Суть метода пассажирских перевозок с помощью информационно-транспортной системы состоит в непрерывной (конвейерность), с небольшими интервалами, высылке на маршрут беспилотных электрокаров, соединенных на виртуальных сцепках в кассеты, состоящие из нужного числа транспортных средств, как в автопоездах [1], пассажировместимость которых обеспечивает с небольшим превышением объем заявок на обслуживание от пассажиров, собравшихся в транспортной системе. Кассета забирает всех пассажиров, едущих на несколько соседних остановок маршрута, тем самым комбинируя в себе общественные перевозки и PRT: кассета может перевозить достаточно большое количество пассажиров, сопоставимое с перевозкой транспортом повышенной пассажировместимости, и в то же время пассажиры осуществляют поездку с минимальным количеством остановок во время следования. Данный принцип перевозок получил название «кассетно-конвейерные перевозки».

Таким образом, предлагаемая информационно-транспортная система состоит из:

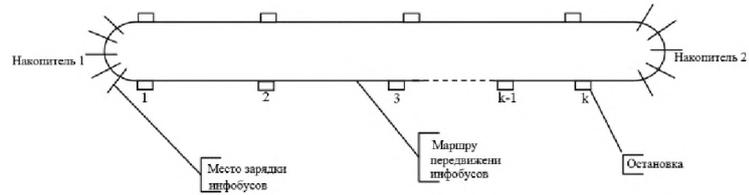
1. Парка беспилотных электрокаров небольшой вместимости, называемых инфобусами [2, с. 223], которые управляются дистанционно единым информационным центром (сервером) и высылаются на маршрут в зависимости от интенсивности пассажиропотока так, чтобы немного перекрывать его, рисунок 2а.

2. Маршрута, движение на котором осуществляется в двух направлениях, состоящего из k остановок, как представлено на рисунке 2б.

3. Системы терминалов для оплаты проезда и сбора заявок на доставку от пассажиров, размещенных на остановках маршрута, как представлено, рисунке 3а.



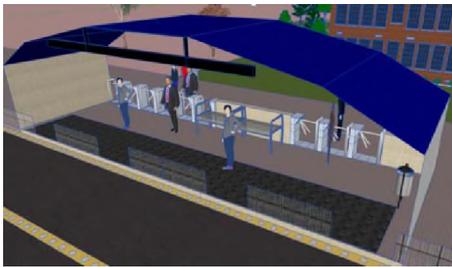
а



б

Рис. 2. Элементы городской пассажирской информационно-транспортной системы:
а – инфобус на остановке; б – маршрут движения инфобусов

Инфобусы движутся по выделенной полосе на проезжей части друг за другом без обгонов, которые являются рискованными дорожными маневрами, что значительно повышает безопасность поездки, при необходимости объединяясь с помощью виртуальных соединений в кассеты. Оплачивая на остановке через терминал проезд, пассажир указывает и остановку, на которую желает ехать. Заявки с остановочных пунктов поступают на сервер информационной транспортной системы и на основании них сервер системы формирует специальную матрицу корреспонденций M_z , $Z=1, 2, \dots$, фиксирующую каждого прибывающего на остановку пассажира, каждый элемент m_{ij} которой определяет число пассажиров, следующих с остановки i на остановку j , $i, j = \overline{1, k}$, где k – число остановок одного направления маршрута, рисунок 3б.



а

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

б

Рис. 3. Элементы городской пассажирской информационно-транспортной системы:
а – остановка с терминалами; б – матрица корреспонденций

Матрица корреспонденций фиксируется и по ней сервер начинает формировать план развозки пассажиров, когда один из ее элементов станет удовлетворять условию: $m_{ij} = a * V$, $a \in [0.5, 1]$, $i = \overline{1, k-1}$, $j = \overline{1, k}$, где a – коэффициент эластичности, обеспечивающий места для пассажиров, которые подойдут на остановку к моменту приезда туда инфобуса, V – объем инфобуса, матрица корреспонденций M_z , $Z=1, 2, \dots$. В ходе составления плана развозки определяется:

- количество задействованных инфобусов;
- получает порядковый номер $\dot{n}_i \in N$ для каждого задействованного инфобуса, где $i \in \{1, \dots, k-1\}$, указывает на исходную остановку, с которой инфобус заберет пассажиров
- совокупность множеств остановок доставки $\bigcup_{i=1}^{k-1} J_{\dot{n}_i}$, $\dot{n}_i \in N$, $i = \overline{1, k-1}$ для всех инфобусов плана развозки, где содержание множества $J_{\dot{n}_i}$ указывает на номера остановок, на которых данный инфобус будет осуществлять высадку пассажиров.

В ходе составления плана развозок обрабатывается каждая строка i матрицы M_z , которая содержит информацию о заявках пассажиров, едущих с остановки i на последующие остановки. В целях обеспечения бесконфликтности следования инфобусов при развозке с i -ой остановки их отправка будет осуществляться сначала к дальним пунктам назначения, потом к ближним: $j = k, k-1, \dots, i+1$. Каждый инфобус при этом получает свой порядковый номер $\dot{n}_i \in N$. Так при развозке пассажиров с первой остановки (при обработке первой строки матрицы M_z), первый инфобус получает номер \dot{n}_1 . Он проследует на последнюю остановку и, возможно, на некоторые соседние остановки при условии, что суммарное количество пассажиров, следующих на эти остановки, не превысит объем V инфобуса.

Каждый инфобус с порядковым номером $\dot{n}_i \in N$ имеет собственное множество доступных ему для развозки остановок, в алгоритме оно будет именоваться потенциальным множеством остановок и обозначаться $J_{\dot{n}_i, P}$. В него входят все остановочные пункты маршрута, располагающиеся за исходной остановкой, за исключением тех остановок, на которые предыдущие инфобусы, развозящие с этой же остановки, уже доставили пассажиров. Выполнять развозку такой инфобус будет в пункты, составляющие реальное множество остановок $J_{\dot{n}_i}$, являющееся подмножеством потенциального множества остановок $J_{\dot{n}_i, P}$, то есть $J_{\dot{n}_i} \subset J_{\dot{n}_i, P}$. Точная верхняя граница (наименьшая верхняя грань) числового множества M в математике называется супремумом и обозначается $\sup M$ [3]. Остановка с наибольшим порядковым номером потенциального множества остановок инфобуса \dot{n}_i будет являться точной верхней границей множества $J_{\dot{n}_i, P}$ и обозначаться $\sup J_{\dot{n}_i, P}$ (супремум $J_{\dot{n}_i, P}$), и всегда будет входить 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.

Для определения реального множества остановок $J_{\dot{n}_i}$ инфобуса \dot{n}_i в алгоритме используется величина $\Delta_{\dot{n}_i}$, которая представляет число остановок, вошедших в реальное множество остановок инфобуса \dot{n}_i , без остановки $\sup J_{\dot{n}_i, P}$, или $\Delta_{\dot{n}_i} = |J_{\dot{n}_i}| - 1$. Таким образом, для инфобуса \dot{n}_i , $i = \overline{1, k-1}$ 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 [2, с. 224; 4, с. 25; 5, с. 226; 6, с. 115; 7, с. 179–180; 8, с. 82; 9, с. 19; 10, с. 11–12]:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{\dot{n}_i, P} = \{i+1, \dots, k\} \setminus \bigcup J_{\dot{n}_i-1}, J_0 = \emptyset, \dot{n}_i, \Delta_{\dot{n}_i} \in N_0, \\ \sum_{j=\sup J_{\dot{n}_i, P} - \Delta_{\dot{n}_i}}^{\sup J_{\dot{n}_i, P}} m_{ij} \leq V, \quad \sum_{j=\sup J_{\dot{n}_i, P} - \Delta_{\dot{n}_i} - 1}^{\sup J_{\dot{n}_i, P}} m_{ij} > V, \\ J_{\dot{n}_i} = \{j \mid j \in N_0, \sup J_{\dot{n}_i, P} - \Delta_{\dot{n}_i} \leq j \leq \sup J_{\dot{n}_i, P}\}. \end{array} \right.$$

Также предлагаемая информационно-транспортная система способна определить на каких остановках множества доставки $J_{\dot{n}_i}$ инфобус может после высадки еще и забрать дополнительно пассажиров, которые собираются ехать на последующие его остановки этого множества $J_{\dot{n}_i}$: в инфобус забираются с текущей остановки множества $J_{\dot{n}_i}$ полностью пассажиры, едущие на последующие остановки множества $J_{\dot{n}_i}$, при условии, что их суммарное количество не превосходит текущий объем свободных мест в инфобусе.

С помощью разработанного программного обеспечения была проведена имитация работы модели с использованием трех алгоритмов формирования наборов таких остановок: последовательного выбора остановок, жадного алгоритма и динамического метода задачи о наполнении рюкзака в разрезе таких показателей, как число задействованных инфобусов и коэффициент использования пассажироместности, который определяется по формуле:

$$K_{ПВ} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{перез}} (1 - V_{fpi})}{V \times n_{перез}},$$

где $n_{перез}$ – общее число всех перегонов маршрута (интервалов маршрута между соседними остановками) по всем инфобусам плана развозки, на которых инфобусы перевозили пассажиров, V_{fpi} – объем свободных мест в инфобусе на перегоне.

На основании 1000 испытаний были получены и обобщены данные зависимости среднего числа задействованных инфобусов и среднего значения коэффициента использования пассажироместности в зависимости от величины коэффициента эластичности на трех выше перечисленных алгоритмах выбора остановок дополнительной посадки пассажиров, представленные на рисунке 4.

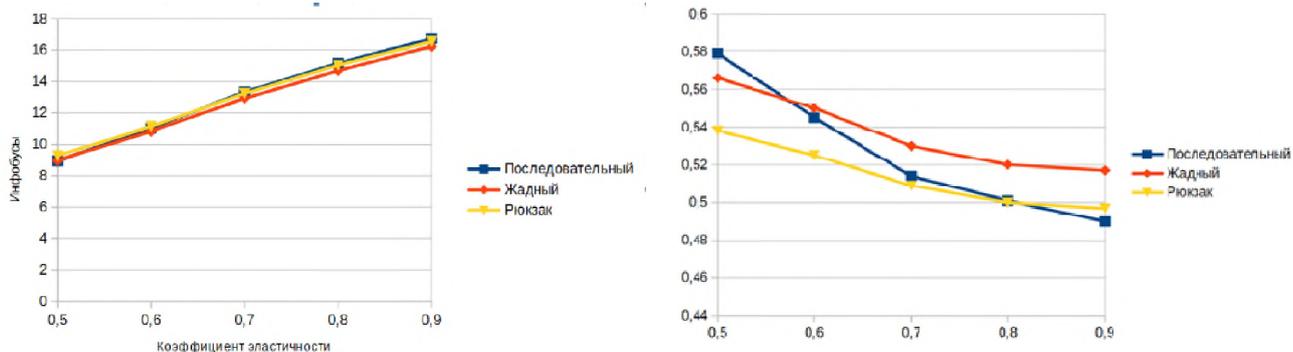


Рис. 4. Зависимость среднего числа задействованных инфобусов и среднего значения коэффициента использования пассажироместимости от коэффициента эластичности

Данные испытаний продемонстрировали наибольшую эффективность применения жадного метода выбора остановок дополнительной посадки пассажиров по всей области определения.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были описаны принципы функционирования городской пассажирской информационно-транспортной пассажирской системы, базирующейся на использовании дистанционно управляемых сервером беспилотных транспортных средств, называемых инфобусами, которые могут стать новым типом общественного транспорта. Данный вид транспорта способен без помех со стороны других транспортных средств функционировать в насыщенной улично-дорожной среде и перевозить количество пассажиров, сравнимое с метро, принося не только экономические, но и экологические выгоды. А также описан алгоритм составления плана развозки пассажиров с помощью данной транспортной системы с использованием конвейерно-кассетного способа перевозки, который позволяет функционировать ей самостоятельно без участия или с минимальным участием человека. Работа имеет актуальность, так как предложенная транспортная система способна проявлять адаптивность к динамике изменений дорожно-транспортных условий.

Библиографические ссылки

1. 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).
2. Шуть В. Н., Швецова Е. В. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта «Инфобус» // Actual Problems of Fundamental Science : Third International Conference. Луцк : Вежа-Друк, 2019. С. 222–226.
3. Rudin W. Chapter 1. The Real and Complex Number Systems // Principles of Mathematical Analysis. McGraw-Hill, 1976. P. 4.
4. Жогал А. Н., Шуть В. Н., Швецова Е. В. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт // Транспорт и инновации: вызовы будущего : материалы Междунар. науч. конф. Мн. : Нац. библиотека Беларуси, 2019. С. 23–33.
5. Швецова Е. В., Шуть В. Н. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами // Вестн. Херсонского нац. технического ун-та. 2019. Т. 2 (69), № 3. С. 222–230.
6. Швецова Е. В., Шуть В. Н. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами // XX междунар. конф. по математическому моделированию: материалы конференции. Херсон : ХНТУ, 2019. С. 115
7. Shuts V., Shviatsova A. System of urban unmanned passenger vehicle transport // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proc. of the 1st International Scientific Conference. Ternopol : TNTU, 2019. С. 172–184.
8. Shuts V., Shviatsova A. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electric cars // Science. Innovation. Production : Proc. of the 6th Belarus-Korea Science and Technology Forum. Minsk : BNTU, 2019. P. 81–83.
9. Shuts V., Shviatsova A. Intelligent system of urban unmanned passenger vehicle transport // Abstracts of the 16th European Automotive Congress (EAEC 2019). Минск : БНТУ, 2019. С. 18
10. Буров А. А., Бойко Д. О., Швецова Е. В. Алгоритм построения плана развозки пассажиров на маршруте // Неделя науки – 2019 : сб. тез. науч. студенческой конф. Брест : Изд-во БрГТУ, 2019. С. 11–12.