

## **АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Целью данной работы является разработка и описание алгоритма формирования плана развозки пассажиров городской интеллектуальной информационно-транспортной системой, основанной на использовании роботизированных беспилотных транспортных средств. Система призвана разгрузить перенасыщенную обстановку на городских автомагистралях путем предоставления провозной способности, сопоставимой с метро.

Решением проблем перенасыщенности общественных магистралей и регулярного появления транспортных коллапсов на них в крупных населенных пунктах 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, ошибок человеческого фактора и т. д., что делает большинство современных систем городского транспорта планово-убыточными, а недорогую транспортировку больших масс людей в пределах черты города невыполнимой. Тем не менее, для того, чтобы избежать транспортного коллапса, городские власти вынуждены осуществлять поддержку общественного транспорта. В то же время интеллектуальные информационные технологии стали использоваться практически во всех сферах человеческой деятельности, включая и транспортные системы. Примером тому служат появление в крупнейших мегаполисах интеллектуальных транспортных систем, управляемых из единого информационного центра, предоставляющего информацию о дорожной обстановке с фото и видеокамер, 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.

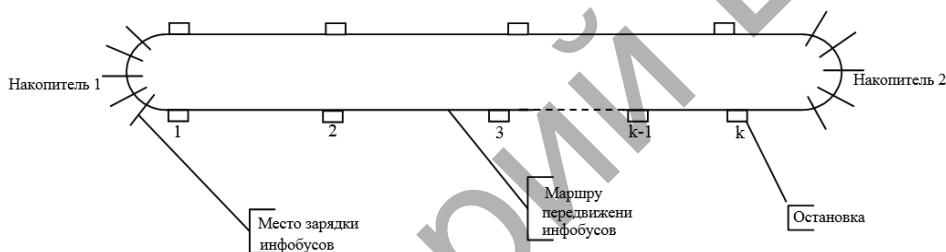
Основной транспортной единицей в рассматриваемой информационно-транспортной системе является беспилотный электрокар небольшой вместимости до тридцати человек, называемый инфобусом [2]. Движение инфобусов управляется единым координирующим сервером, который может объединять в зависимости по интенсивности пассажиропотока транспортные средства в кассеты, состоящие из различного числа единиц: один инфобус, два, три и т. д. Механические соединения в кассете отсутствуют, т. к. являются виртуальными, как в автопоездах [3]. 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. 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.



**Рисунок 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).



**Рисунок 2 – Схема маршрута движения инфобусов**

Координирующий сервер, принимая информацию с терминалов остановочных пунктов, формирует матрицу корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1,2,\dots$ , в которой фиксируется каждый прибывающий на остановку пассажир с его требованием на доставку. По накоплению определенного числа пассажиров в матрице корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1,2,\dots$  координирующий сервер формирует план развозки пассажиров - процедуру последовательной отправки инфобусов из Накопителя 1 (рис. 2) на маршрут с присвоением ему индивидуального номера и указанием множества станций назначения, и отправляет инфобусы для развозки пассажиров по станциям 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, а остальные дожидаются 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 [2, 4, 5, 6]:

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

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  $m_{ij} = a * V, a \in (0.8, 1), i = \overline{1, k-1}, j = \overline{1, k}$ . и, следовательно, все элементы матрицы  $M_z$  к началу развозки меньше объема инфобуса  $V$ . План развозок составляется последовательно для каждой строки. Выполнение плана развозок осуществляется в той же последовательности. Для любой  $i$ -й строки матрицы корреспонденций  $M_z$  возможно сразу указать нижнюю  $n_{инг}$  и верхнюю  $n_{ивг}$  границы необходимого числа всех инфобусов для

вывоза всех пассажиров с  $i$ -й остановки:  $n_{инг} = \left\lceil \frac{m_i}{V} \right\rceil = \left\lceil \frac{\sum_{j=i+1}^k m_{ij}}{V} \right\rceil, n_{ивг} = k - i, i = \overline{1, k-1}$ .

Для гарантии бесконфликтности движения транспортных средств их отправка будет осуществляться сначала к самым дальним пунктам назначения от остановки следования пассажиров, потом к ближним:  $j = k, k-1, \dots, i+1$ . Каждый инфобус при этом получает свой порядковый номер  $\dot{n}_i = \overline{1, n_i}, n_{инг} \leq n_i \leq n_{ивг}, n_i \in N$ . Здесь  $n_i$  – 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  $J_{\dot{n}_i}$  и являющееся подмножеством потенциального множества остановок  $J_{\dot{n}_i, P}$ , то есть  $J_{\dot{n}_i} \subset J_{\dot{n}_i, P}$ . Таким образом, 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 развозку:  $J_{\dot{n}_i, P} = \{i+1, i+2, \dots, k\} \setminus \bigcup_{l=1}^{\dot{n}_i-1} J_l$ .

В целях описания алгоритма вводится понятие точной верхней грани потенциального множества остановок инфобуса  $\dot{n}_i$ , опирающееся на математическое определение супремума множества [7]: 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  $\sup J_{\dot{n}_i, P}$ , 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. Для 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:

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

Система условий (1) формирует совокупность реальных множеств остановок  $\bigcup J_{\dot{n}_i}$ ,  $\dot{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  инфобусов для  $i$ -й строки матрицы корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1, 2, \dots$ . Данная совокупность является планом развозки для  $i$ -й 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  $i$ -й остановки осуществляется через последовательную отправку инфобусов по нарастанию их порядковых номеров, т. е.  $1, 2, \dots, n_i$ .

Предложенная информационно-транспортная система способна осуществлять сбор, обработку информации и принятие решений без участия человека либо с минимальным его участием. Все информационные процессы протекают постоянно и составляют основу данной информационной транспортной системы.

#### Список цитированных источников

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 доступа : 07.02.2016.
2. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы : материалы научно-технической конференции – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 49–54.
3. Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Safe\\_Road\\_Trains\\_for\\_the\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment). – Дата доступа: 19.02.2019.
4. Касьяник, В. М. Мобильный помощник водителя в выборе стратегии вождения / В. М. Касьяник, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект – 2012. – № 3. – С. 253–259.
5. Persia, L. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport / L. Persia, J. Barnes, V. Shuts, E. Prolisko, V. Kasjanik, D. Kapskii, A. Rakitski // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Ve-Safe 2016), посвященной 50-летию Брестского государственного университета : материалы Международной научно-технической конференции.
6. Пролиско, Е. Е. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Електроніка та інфармаційні технології : матеріали VII-ої Українсько-польської науково-практичної конференції. – The Real and Complex Number Systems. Principles of Mathematical Analysis. McGraw-Hill, 1976. (ЕЛІТ-2015)». – Львов, 2015. – С. 59–62.