

GRAPH MODEL FOR PLOTTING A DELIVERY PLAN

В. Н. Шуть¹, канд. техн. наук, доц.,

Д. В. Капский², д-р техн. наук, доц.,

¹Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

V. Shuts¹, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

D. Kapsky², Doctor of technical Sciences, Associate Professor,

¹Brest state technical University, Brest, Belarus

²Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Предложена роботизированная интеллектуальная транспортная система городской перевозки пассажиров на базе такого вида транспорта как беспилотный инфобус. Рассмотрены вопросы оптимизации функционирования такой системы.

A robotic intelligent transport system of urban transportation of passengers based on this type of transport as an unmanned infobus has been proposed. The issues of optimizing the functioning of such a system are considered.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, интеллектуальный транспорт, информационная транспортная система.

Key words: passenger transport, intelligent transport, information transport system.

ВВЕДЕНИЕ

В постиндустриальную эпоху интеллектуальные информационные технологии становятся неотъемлемым атрибутом практически во всех сферах человеческой деятельности, включая и транспортные системы. Примером тому может служить опыт внедрения в мегаполисах интеллектуальных транспортных систем, управляемых из единого информационного центра, предоставляющего информацию о дорожной обстановке, наличии мест на стоянках и т. д. с фото

и видеокамер. Подобного рода системы направлены на повышение мобильности и гибкости современных городских пассажирских перевозок, снижение их потерь. Целью статьи является разработка математической модели построения плана развозки пассажиров по городскому маршруту с помощью интеллектуальной информационно-транспортной системы, базирующейся на использовании беспилотных электрокаров, а также обоснование оценки необходимого числа транспортных средств, используемых согласно разработанному алгоритму. В работе приведены результаты испытаний, полученные с помощью программной реализации алгоритма развозки.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Частный автомобильный транспорт не способен обеспечить высокую провозную способность городских магистралей, т. к. они уже сейчас перегружены и наносят городской среде значительный экологический ущерб [1]. Отсюда следует, чтобы избежать транспортного коллапса необходимо переходить на общественный транспорт информационного типа и высокой производительности.

Транспортной единицей в такой информационно-транспортной системе является беспилотный электрокар определенной вместимости, называемый инфобусом. Координирование перемещения инфобусов по маршруту осуществляется из единого информационного центра. При необходимости инфобусы могут объединяться в зависимости от интенсивности пассажиропотока в кассеты (отсюда термин «кассетный тип транспорта»). Кассеты могут состоять из различного числа транспортных единиц, соединения между которыми являются виртуальными.

Пассажир, оплачивая проезд на остановке отправления через терминал системы, указывает свой пункт назначения, чем фиксирует свою заявку на доставку в нужный ему пункт. Доставка пассажира в пункт назначения должна быть преимущественно безостановочная, либо с минимальным числом остановок от пункта отправления и до пункта назначения. Для минимизации влияния других участников дорожного движения перевозку пассажиров инфобусы осуществляют по выделенной полосе. Движение инфобусов по

маршруту осуществляется от Накопителя 1 к Накопителю 2, расположенных в конечных пунктах маршрута (рисунок 1).

Таким образом, данная информационно-транспортная система включает в себя такие компоненты, как единый координирующий сервер, выделенная полоса движения, остановочные пункты с терминалами оплаты и сбора информации о пассажирах, парк инфобусов, обрабатывающих команды сервера [2].

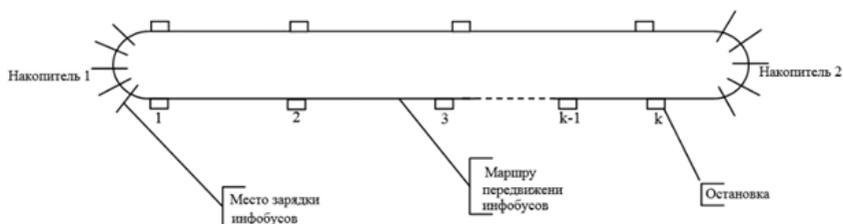


Рисунок 1 – Автопоезд из двух инфобусов на перекрестке и схема маршрута инфобусов

Процесс функционирования системы является циклическим и состоит из таких процедур, как сбор информации с остановочных терминалов о пассажирах и их пунктах назначения, формирование сервером специальной матрицы, называемой матрицей корреспонденций M_z , в которой отражается количество пассажиров на каждой остановке и их пункты назначения; формирование сервером плана развозки и отправка инфобусов на маршрут.

Матрица корреспонденций M_z , $Z=1,2,\dots$ представляет квадратную матрицу, элементы которой на главной диагонали и ниже главной диагонали равны нулю, каждый элемент m_{ij} которой равен числу пассажиров, следующих с остановки i на остановку j , $i, j = \overline{1, k}$, где k – число остановок одного направления маршрута:

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

ПЛАН РАЗВОЗОК

Имея матрицу корреспонденций M_z на некоторый текущий момент времени, необходимо составить бесконфликтный план перевозок. Условия бесконфликтности движения инфобусов в данной транспортной системе конвейерного типа является центральным, так как движение инфобусов идентично конвейерной ленте, на которой каждый последующий элемент всегда остается последующим (обгон исключен).

Каждый элемент m_{ij} матрицы корреспонденции M_z на момент разработки плана развозок должен быть меньше объема инфобуса $V(m_{ij} < V, i, j = \overline{1, k})$. Это второе условие к разработке плана развозок.

Третьим условием разработки плана развозок является одноментность матрицы корреспонденций. То есть, на момент составления и выполнения плана развозки считается, что поступления новых пассажиров нет, либо, если они и есть, то все равно должно выполняться условие 2 ($m_{ij} < V, i, j = \overline{1, k}$). Расчет делается для текущей матрицы корреспонденций $M_z, z = 1, 2, 3 \dots$

Для разработки плана развозок необходимо от матрицы корреспонденций M_z перейти к матрице развозок $R_z, z = 1, 2, 3 \dots$ Матрица развозок R_z – квадратная матрица такой же размерности, как и матрица корреспонденции M_z . Каждый элемент $r_{ij} \in \overline{1, r}, i, j = \overline{1, k}$, матрицы развозок R_z принимает значения от 1 до r , которое указывает порядковый номер инфобуса, в который загружаются пассажиры

числом m_{ij} , едущие с i -остановки до остановки j , согласно матрице корреспонденций M_z . Здесь r -минимальное число инфобусов, которое необходимо для полной перевозки пассажиров текущей матрицы корреспонденций M_z .

Таким образом, матрица развозок пассажиров задает бесконфликтный порядок следования инфобусов для текущей матрицы M_z . В процессе реализации очередного этапа развозки начинает формироваться новая матрица корреспонденций.

ГРАФ РАЗВОЗОК

От матрицы развозок R_z перейдем к графу развозок G_z . Граф развозок опишем в виде полного, ориентированного, упорядоченного, взвешенного графа $G_z(V, E)$, где V -множество вершин, E -множество ребер (дуг). Каждая вершина $v_i \in V, i = \overline{1, k}$ соответствует остановке прямого направления движения (рисунок 1). Дуга указывает направление перевозки, например, дуга $e_{ij} \in E, i = \overline{1, k}$, указывает на перевозку пассажиров с остановки i на остановку j . При этом $i < j$, то есть граф упорядочен и все дуги имеют начало в вершинах с меньшим порядковым номером. Вершине v_i всегда предшествует вершине v_j , если $i < j$. Имеет место достижимость любой вершины с большим порядковым номером от любой вершины с меньшим номером.

Граф развозок G_z является взвешенным – каждая его дуга $e_{ij} \in E, i = \overline{1, k}$ помечена порядковым номером инфобуса (в скобках на рисунке 2), который провозит пассажиров по направлению этой дуги. В инфобусе, движущемся по направлению дуги расположены пассажиры только одной остановки назначения, чем обеспечивается безостановочный провоз пассажиров от станции отправления и до станции назначения. Развозка по очередной матрице корреспонденций M_z выполняется поэтапно, начиная с первой строки матрицы. Первая строка матрицы M_z это вывоз всех пассажиров с первой остановки. На рисунке 2 показан подграф графа G_z развозки по первой строке матрицы корреспонденций M_z . Загруженный инфобус от

первой остановки v_1 отправляется к последней остановке v_k . Присвоим этой дуге e_{1k} порядковый номер 1.

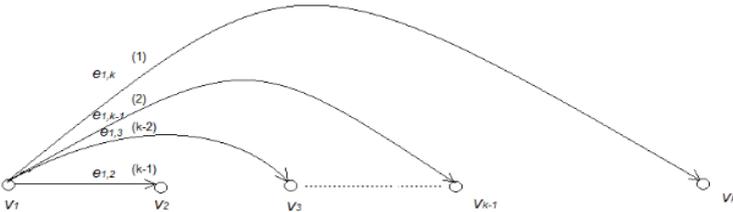


Рисунок 2 – Подграф графа развозки G_z вывоза пассажиров от первой остановки

Затем второй инфобус отправляется вслед за первым до остановки v_{k-1} . Присвоим ему номер 2. До остановки v_{k-1} первый и второй инфобусы следуют совместно в единой кассете (электронной сцепке). При прохождении остановки v_{k-1} второй инфобус отцепляется от кассеты и останавливается на v_{k-1} остановке, чтобы выгрузить пассажиров. Все пассажиры выходят и инфобус загружается пассажирами от остановки v_{k-1} до остановки v_k . Таким образом, для выполнения полного вывоза всех пассажиров с остановки 1 необходим $(k-1)$ -инфобус (рисунок 2).

Определим число инфобусов, необходимых для развозки пассажиров с остановки 2. Во-первых, теперь необходимо на один инфобус меньше, так как число остановок сократилось на одну (первую). Во-вторых, инфобус с предыдущего такта работы системы развозок (развоз от остановки 1) разгрузился на остановке 2 (см. дуга e_{12} на рис. 2) и готов к повторному использованию.

Таким образом, необходимое число инфобусов, вновь вводимых в систему для вывоза пассажиров с остановки 2, будет $k - 3$. Для вывоза пассажиров с остановки 3 потребуется $k - 5$ инфобусов и т.д. Имеем понижающую арифметическую прогрессию $(k - 1), (k - 3), (k - 5)$ с общим членом прогрессии $(k + 1) - 2i$, где i – номер текущего такта развозки или номер i -строки матрицы корреспонденций

M_z , по которой в данный момент осуществляется вывоз пассажиров с остановки i .

Вычислим номер такта i , или иначе, строку матрицы M_z (также это номер остановки), после которой на всех последующих остановках не требуется вводить в систему новые инфобусы. Последний убывающий член арифметической прогрессии с $d = 2$ на последнем такте i может быть равен единице при четном k и двум при нечетном. Составим систему уравнений для вычисления i :

$$\begin{cases} (k+1) - 2i = 1 \Rightarrow i = \frac{k}{2} \\ (k+1) - 2i = 2 \Rightarrow i = \frac{k-1}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Таким образом, при четном числе остановок и условии безостановочной доставки пассажиров вводить в систему новые инфобусы не требуются. Все дальнейшие перевозки после $k/2$ будут выполнены ранее введенными на маршрут инфобусами.

Аналогичная ситуация и при нечетном числе остановок. Только уже медианной точкой прямого направления маршрута является остановка $(k - 1) / 2$.

Рассчитаем необходимое число инфобусов для безостановочной перевозки пассажиров матрицы корреспонденций M_z для случая четного числа остановок k . Из (1) следует, что число членов арифметической прогрессии равно $i = \frac{k}{2}$, с первым членом $(k - 1)$ и последним 1. Итак:

$$C_{\text{и}} = \frac{k+1}{2} \times \frac{k-1}{2} = \frac{k^2 - 1}{4} \quad (2)$$

Для маршрута с нечетным числом остановок будет:

$$C_{нч} = \frac{(k-1)+1}{2} \times \frac{k}{2} = \frac{k^2}{4}. \quad (3)$$

Таким образом, для безостановочной перевозки пассажиров текущей матрицы корреспонденций M_z при четном числе остановок необходимо $\frac{k^2}{4}$ инфобусов, а при нечетном $\frac{k^2}{4} - \frac{1}{4}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной статье разработаны принципы работы информационно-транспортной системы, базирующейся на использовании управляемых из единого центра беспилотных транспортных средств, называемых инфобусами, а также разработан алгоритм составления плана развозки пассажиров с помощью данной транспортной системы. Приведена оценка необходимого количества транспортных средств для выполнения плана развозки. Работа имеет актуальность, т.к. предложенная транспортная система является замкнутой, т.е. способной функционировать без участия или с минимальным участием человека, а также способна быть адаптивной к динамике изменений пассажиропотока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капский, Д. В. Методика расчета экологических потерь при координированном регулировании транспортно-пешеходных потоков / Д. В. Капский, Ю. А. Врубель, Д. В. Навой, Д. В. Рожанский // Проблемы развития транспортных систем городов : материалы XVI международной научно-практической конференции, 16–17 июня. – Екатеринбург : АМБ, 2010. – С. 195–201.

2. Капский Д. В., Пролиско Е. Е., Шуть В. Н. Система городского общественного транспорта будущего // Международная юбилейная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги безопасность и надежность» посвященная 90-летию Белорусской дорожной науки. Сборник докладов. Часть 1. 22–23 ноября 2018 г., Минск. – С. 194–202.

Представлено 19.05.2021