

ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА МЕТРОПОЛИТЕНА, ЧРЕЗ РАЗДЕЛЯНЕ НА МЕТРОВЛАКОВЕТЕ НА ОТДЕЛНИ АВТОНОМНО ДВИЖЕЩИ СЕ ВАГОНИ¹

Димитър Добрев¹, Димитър Димитров²

¹ Институт по математика и информатика
Българска академия на науките, София, БЪЛГАРИЯ
d@dobrev.com

² Катедра „Технология, организация и управление на транспорта“
Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“, София, БЪЛГАРИЯ
ddimitrov@vtu.bg

РЕЗЮМЕ

При традиционните схеми за управление на движението на метрополитена отделните метровагони са свързани в така наречените метровкаве, които спират на всяка станция за обслужване на пътничкопотока. В настоящата публикация се представя една нова схема за движение, при която всеки вагон пътува самостоятелно и автономно. Схемата на движение има два режима: Първият е предназначен за слаб трафик и намалява четири пъти времето за чакане. Вторият режим е предназначен за пиковите моменти на деня (силен трафик). При него вагоните не спират на всички станции, а само на някои от тях, което води до около 30% икономия на енергия, съкращава времето за пътуване с около 10% и увеличава капацитета на метрото с 17%. Новата схема може да бъде внедрена след въвеждане на нови интелигентни системи за управление на движението, базирани на динамичното определяне на локацията на подвижния състав. Новата схема е илюстрирана с компютърна симулация направена на езика Prolog.

Ключови думи: метрополитен, метровагон, движение и трафик, енергийна ефективност, пропускателна способност, интелигентни системи за управление, компютърна симулация.

ВЪВЕДЕНИЕ

Новата тенденция в метрополитените по света е машинистите да бъдат заменени от компютърни системи, които движат метровкавете автоматично. Безспорно това е бъдещето на метрополитена, защото по този начин първо се икономисват значителни средства и второ, подобрява се качеството и надеждността на метрополитена.

¹ Тази работа е направена с подкрепата на Фонд Научни Изследвания (България), проект ДН 19/1, „Метализиране на диелектрични материали от иновативни екологосъобразни електролити“ и на съвместен научноизследователски проект между ИМИ към БАН и ВТУ „Т. Каблешков“ на тема „Симулиране на иновативни схеми за организиране на движението в метрополитена, чрез използване на интелигентни системи за управление“, финансиран от ВТУ „Тодор Каблешков“, 2018 г.

Автоматичното движение на метрополитена ще даде възможност за нови оптимизации на трафика, които биха били невъзможни при ръчно управление.

В тази статия ще разгледаме една такава оптимизация. Ще обсъдим въвеждането на една нова схема за движение, която се състои от два режима за управление.

Първия режим сме го нарекли „Режим на работа при слаб трафик“. Основното при този режим, е че четирите метровагона не са организирани във влакова композиция, а се движат автономно един след друг. По този начин времето за чакане на спирките се намалява четири пъти.

Втория режим сме го нарекли „Режим на работа при силен трафик“. При него метровагоните се движат по схемата 1-2-3-4 (биха могли да се движат и по друга схема, например 1-2-3, но това е извън обхвата на тази статия). При режим „силен трафик“ метровагоните не спират на всички спирки и по този начин съществено се намалява времето за пътуване, икономисва се енергия и се увеличава капацитета на метроучастъка.

Предложената в тази статия нова схема не може да бъде реализирана по традиционния начин, при който трасето е разделено на блокучастъци (описание на традиционното решение може да се намери в нормативните документи за управление на метрополитена [3, 4]). Тук сме разгледали два начина за възможна реализация, които сме нарекли опростена и съвършена реализация. Всяка една от тези две реализации е достатъчна, но ние сме предположили, че ще използваме двете реализации едновременно.

Визуална представа как изглежда предложената в тази статия схема може да се добие от симулационната програма [5], която е написана на езика Prolog [6]. За защита на въпросната схема е подадена заявка за патент [7], както и международна заявка за патент [8].

РЕЖИМ НА РАБОТА ПРИ СЛАБ ТРАФИК

При този режим вагоните ще спират на всички спирки, на които има пътници за слизване или за качване. При този режим времето за чакане ще се намали 4 пъти, защото вместо да мине влак с 4 вагона ще минат 4 отделни вагона. При този режим няма да се пропускат спирки, освен в случай, когато никой не е заявил желание за слизване или качване. Това, все пак ще се случва често, защото при слаб трафик пътуват малко хора и защото влакът е разделен на четири отделни вагона (тоест, очаквания брой на слизачи и качвачи се ще е 4 пъти по-малък).

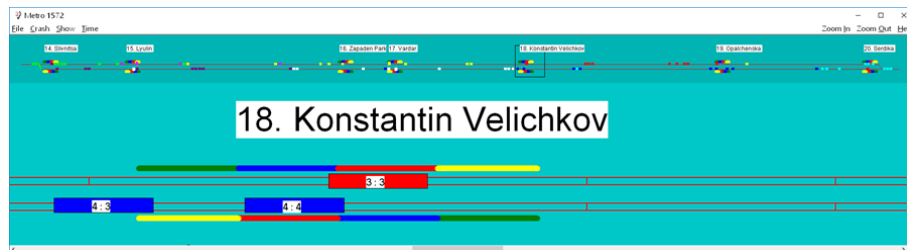
При този режим ще има известно затруднение за пътниците, защото те ще трябва да отбелязват (да сигнализируют) на коя спирка възнамеряват да слязат. Подобно затруднение не е съществено, защото в градския транспорт в много градове е прието, че пътника трябва да сигнализира когато иска да слезе. Също така в асансьора пътника

също има задължението да сигнализира къде възнамерява да слезе чрез натискане на съответното копче.

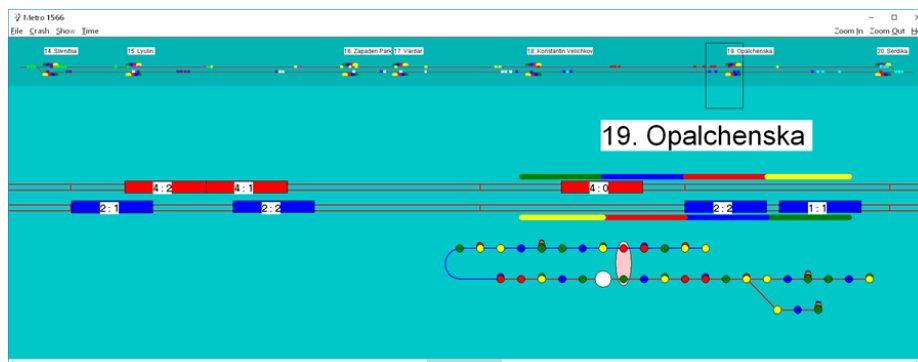
РЕЖИМ НА РАБОТА ПРИ СИЛЕН ТРАФИК

При този режим вагоните няма да спират на всички спирки, а ще прескачат спирки по определена схема. Това ще затрудни пътниците, защото те ще трябва да внимават къде се качват. За да се реши този проблем, на всяка станция ще има схематична карта, на която спирките ще са оцветени в четири различни цвята и по този начин ще се помага на пътниците да се ориентират.

Перонът на станцията ще е разделен на четири по-малки перона (фигури 1 и 2). На всеки един от тези четири по-малки перона ще спира само по един вагон. Дължината на вагоните ще бъде приблизително една четвърт от дължината на влаковата композиция, която би могла да се събере на целия перон (т.е. на четирите малки перона).



Фиг. 1



Фиг. 2

На първия малък перон ще спираме само вагоните, които прескачат две спирки и отиват на третата. (Първият е този, който е най-отзад по посока на движението.) Съответно на втория ще спираме вагоните, които прескачат три спирки и отиват на четвъртата. На третия ще спираме вагоните, които прескачат една спирка и отиват на втората. На последния, четвърти перон (този, който е най-отпред по посока на движението) ще спираме вагоните, които отиват на следващата спирка.

Четирите малки перона (подредени по посока на движението) ще бъдат означени с числата 3, 4, 2, 1 и оцветени съответно с цветовете жълто, червено, синьо, зелено. Тук

зелено означава перона за вагоните, които отиват най-близо (на следващата спирка). Червено означава перона за вагоните, които отиват най-далеч (т.е. на четвъртата спирка броено от тази, от която се тръгва).

Няма да е все едно от кой перон се качвате. В зависимост от това за коя станция пътувате ще трябва да изберете съответния перон.

ОПИСАНИЕ НА РЕЖИМА „СИЛЕН ТРАФИК“

Всеки вагон ще го движим по схемата 1-2-3-4. Което значи, че първо ще го спрем на следващата спирка, после ще прескочим една спирка и ще го спрем на втората, после се прескочим две и ще го спрем на третата, после ще прескочим три и ще го спрем на четвъртата, след което ще започнем цикъла 1-2-3-4 отначало.

По този начин всеки вагон ще спира през следващите 10 спирки само на 4 от тях. Тоест, броят на станциите, на които ще се спира, ще се намали 2,5 пъти.

За всеки вагон, трябва да броим 1, 2, 3, 4, за да знаем в кой етап от режима 1-2-3-4 той се намира. Освен това, трябва да броим спирките на вагона, за да знаем кога да го спрем. На фигури 1 и 2 са изобразени вагоните и на всеки вагон е отбелязана стойността на тези два брояча във вида (X:Y). Например на фигура 1 синия вагон (4:4) тъкмо тръгва от червения перон и ще трябва да спре чак на четвъртата станция. Зад него идва друг син вагон (4:3), който ще пропусне тази станция и още две и ще спре чак на третата (гледано отгук, той ще спре на третата станция, но гледано от предишната, откъдето е тръгнал, той ще спре на четвъртата).

КОЛКО ЩЕ СЕ ПОДОБРИ ЕФЕКТИВНОСТТА

Да разгледаме линия на метрото където спирките са на разстояние от 1200 метра една от друга. Нека влаковете се движат със скорост 20 м/с (72 км/ч). Нека ускорението при тръгване и спиране да е 1 м/с^2 . Нека средното време за престой на станцията да е 10 секунди.

В този случай всяко ненужно спиране ще е загуба от 30 секунди (10 за спирането, 10 за престой и 10 за тръгването). Предвиждането от една станция до следващата при скорост от 20 м/с би отнело 60 секунди. Това означава, че в този случай 1/3 от времето ще се губи за спиране. При тук предложения метод за управление на метрото броя на междинните спирки се намалява 2,5 пъти, което означава че от 10 спирки пропускаме 6, т.е. икономията на време ще е $(6/10) \cdot (1/3) = 20\%$. Трябва да отбележим, че при същия брой вагони времето за чакане ще се увеличи 2 пъти (няма да е 2,5 пъти защото вагоните се движат с 25% по-бързо), поради което може да се приеме, че средната икономия на време ще е в порядъка на 10%, ако приемем че времето за чакане е 1/10 от времето за движение. Това е възможно, когато вагоните са на гъсто (например една минута) и се пътува на разстояние повече от една спирка. Ако се пътува

на една спирка то нямаме икономия на време, напротив, имаме забавяне заради два пъти по-дългото чакане на спирката.

Нека приемем, че половината от електроенергията се губи за спиране и тръгване, а другата половина за движение с постоянна скорост. При това предположение намаляваме спиранията 2,5 пъти и икономисваме 30% от електроенергията.

Да изчислим с колко ще се увеличи пропускателната възможност на линията на метрото. При предположение, че дължината на вагоните е 20 метра, то за да тръгне и да спре след 80 метра влак от 4 вагона ще са нужни приблизително 18 секунди. Добавяме още 10 секунди престой и получаваме 28 секунди минимално време за преминаването на 4 вагона. За преминаването на 10 вагона умножаваме по 2,5 и получаваме 70 секунди.

В случая на новия метод за управление на метрото при максимално натоварване за 10 вагона ще имаме две спирания. При едното спиране ще трябва да тръгнем и да спрем на 80 метра, а при другото на 120 метра. Това прави 18 плюс 22 секунди. Добавяме още две по 10 секунди престой. Резултата е, че при максимално натоварване 10 вагона ще минат за 60 секунди, което прави около 17% по-голям капацитет на метро тръбата при новия метод за управление.

Тук не е отчетено, че времето за престой когато спират по-малко вагони (един или три вместо 4) би трябвало да е по-малко. Тоест, може да очакваме увеличение на капацитета дори и с повече от 17%.

Друг фактор, който не е отчетен е това, че при новия метод за управление слизачите и качващите се ще са с 2,5 пъти повече. Тоест, ако при традиционния метод за управление средно слизат по 10% от пътниците, сега ще слизат средно по 25%. Това може да ни доведе до предположението, че времето за престой на станцията ще се увеличи, защото повече хора ще слизат и ще се качват. От друга страна, когато имаме блъсканица, тогава тези, които не слизат, пречат на тези, които искат да слязат и тогава 25% може да слязат за приблизително същото време, за което биха слезли 10%.

РЕЗЕРВНО РАЗСТОЯНИЕ

При техническата реализация ще предвидим резервно разстояние между вагоните. Това ще е минималното разстояние, на което ще се намират вагоните във всеки един момент. При автомобилите резервното разстояние е около 50 сантиметра и това е разстоянието, на което спират един след друг автомобилите на светофара (правилото е шофьорът да може да види регистрационната табела на автомобила, който е пред него).

Целта на резервното разстояние е да повиши сигурността и доверието на пътниците към метрополитена. Това, че метровагоните се движат автоматично без човек оператор може да бъде притеснително за пътниците. Ако тези вагони спират прекалено близо един до друг, това също би било фактор за притеснение на пътниците.

Ще приемем, че резервното разстояние е 10 метра, макар че може да се допусне то да бъде и по-късо. Проблем на резервното разстояние е, че то удължава спирките. Ако на спирката трябва да могат да спрат 4 вагона едновременно, то това би удължило спирката с 30 метра. Съответно, ако използваме системата 1-2-3 и ако на спирката трябва да спират 3 вагона едновременно, то резервното разстояние от 10 метра ще удължи спирките с 20 метра.

ТЕХНИЧЕСКА РЕАЛИЗАЦИЯ

Тук предложената схема не може да бъде реализирана по традиционния начин, при който трасето е разделено на блокучастъци, всеки от които е с дължина по-голяма от спирачния път (по-голяма от 200 метра). При традиционния начин метровагонът не знае точно къде се намира предният вагон, а знае само в кой блокучастък е той. Тоест, знаем къде е предният вагон с точност от 0 до 200 метра. (Не казваме плюс-минус 100 метра, защото не можем да допуснем минус за дистанцията, а само плюс.)

Новата схема може да се реализира, ако трасето се раздели на значително по-къси контролни участъци. Дължината на тези контролни участъци трябва да е по-малка или равна на резервното разстояние (10 метра). Ще предполагаме, че метровагонът винаги спира непосредствено преди контролния участък, в който е предният вагон. Ще предполагаме още, че край на спирката винаги е в началото на контролен участък (тоест, вагона спира така, че дистанцията изглежда малка, но е с 10 метра по-голяма отколкото изглежда). Следователно, вагоните ще спират на разстояние от 10 метра един от друг. (Това не важи за аварийно спиране, когато вагонът може да не спре на такова място. Тогава двата вагона може да спрат на разстояние по-малко от 10 метра един от друг.)

Опростена реализацията ще наречем тази, при която трасето е разделено на контролни участъци от 10 метра и при която не знаем точно къде е предният вагон, нито с каква скорост се движи, а знаем само в кой участък е (тоест знаем къде е с точност от 0 до 10 метра).

Можем да имаме и друга реализация, при която във всеки момент да знаем предният вагон точно къде се намира и с каква скорост се движи. Тази друга реализация ще наречем съвършената реализация. При тази друга реализация, когато спираме за спирка ще спираме с нормалното спирачно ускорение (1 m/s^2). Когато спираме, защото пред нас има друг вагон, ще спираме с два пъти по-малко ускорение (0.5 m/s^2).

И при двете реализации предполагаме, че знаем за метровагона точно къде се намира и с каква скорост се движи, но за предния вагон при двете реализации предполагаме, че знаем различни неща. Можем да изберем само една от тези две реализации, но за по-голяма сигурност ще предполагаме, че използваме и опростената и съвършената реализация едновременно и при това, че те са реализирани напълно

независимо една от друга (с различни датчици, с различни програми работещи на различни компютри). Ще работи само съвършената реализация. Ако се включи опростената реализация, това ще означава, че съвършената е дефектирала. За да изпитаме работата на опростената реализация, можем в тестов режим (без пътници) да изключим съвършената реализация. Тогава управлението ще се поеме изцяло от опростената реализация. Нищо няма да се промени, освен че метровагоните ще започнат да спират малко по-рязко, когато пред тях има друг метровагон. Трафика леко ще се ускори, заради по-рязкото спиране.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаната в тази статия схема при режим „слаб трафик“ е подходяща за всички линии на метрополитена.

При режим „силен трафик“ тази схема е целесъобразна за линии на метрополитена, при които разстоянието между станциите е малко и където пътниците пътуват средно на повече от пет спирки. Тоест, там където голяма част от времето се губи за спиране на междинните станции.

Третата линия на метрополитена в София [9] има сравнително малко разстояние между станциите. Дължината на тази линия за сега не е голяма, но се очаква когато тя бъде завършена дължината да е значителна. Освен това, предвижда се метроваговете по тази линия да се движат автоматично без машинисти. Това прави третата линия на метрополитена в София подходяща за прилагането на новата схема. Във връзка с това изпратихме писмо до Столична община [10] с молба за съдействие, за да се проучи съществува ли възможност нашата разработка да бъде внедрена при строителството на третата линия на метрополитена в София. Проведохме среща с ръководството на Софийския метрополитен. Те проявиха сериозен интерес към нашата разработка, но казаха, че за сега тази схема не може да бъде приложена при третата линия на Софийското метро, защото поръчаните метро влакове не мога да бъдат разделени на отделни автономно движещи се вагони. Обясниха ни, че при тези влакове локомотив е само първия и последния вагон, а средният вагон няма електродвигатели. Освен това, в средният вагон са монтирани някои важни агрегати, без които влака не може да се движи. Тоест, макар тези влакове да имат възможност да се движат автоматично, те не са подходящи за реализирането на предложената от нас схема.

Друга полза от срещата ни с ръководството на Софийския метрополитен беше, че те ни обърнаха внимание на това, че в направената от нас симулационна програма не е предвидено резервно разстояние между вагоните. В нашата симулационна програма вагоните се движеха и спираха непосредствено един след друг. Казаха ни, че за тях, като специалисти, това изглежда плашещо и че това би било плашещо и за пътниците на метрополитена. В резултат на тази забележка направихме нов вариант на симулационната програма. Добавихме резервно разстояние и намалихме ускорението при спиране в случай, че се спира не заради спирка, а заради това, че отпред има друг

вагон. Сега когато скоростта се увеличава, увеличава се и разстоянието между вагоните. Това се случва и с автомобилите по магистралата. Когато скоростта се увеличи, шофьорите увеличават дистанцията помежду си.

В резултат от направените корекции симулацията сега изглежда по-сигурна и по-надеждна. Тя действително вече е по-сигурна, защото сега системата има допълнителен резерв за сигурност. Това е благодарение на резервното разстояние и по-плавно спиране в случаите, когато отпред има друг вагон.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Dobrev D., Dimitrov D., Metro traffic management scheme based on wagons travelling in autonomous mode, II International Scientific Conference, Transport for Today's Society – TTS 2018, Bitola, Macedonia, <http://www.ttsconference.org/>

[2] Димитров, Д. Организация на пътническите превози в метрополитена, ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 1995

[3] Нормативни документи и правилници за осигуряване на движението в метрополитена, Столична община, София, 2011

[4] Normative documents, manuals and reference books on subways of the Russian Federation, Moskva, <http://nashemetro.ru/biblio.shtml>

[5] Metro.pro, http://dobrev.com/software/Metro_v3_0.zip

[6] Strawberry Prolog, <http://www.dobrev.com/>

[7] Dobrev Dimiter, Metro management method wherein all wagons travel without overtaking each other and without stopping at all stations, Patent Application No 112419 of 1 December 2016 to Patent Office of Republic of Bulgaria.

[8] Dobrev Dimiter, Metro management method wherein all wagons travel without overtaking each other and without stopping at all stations, International Patent Application No PCT/BG2017/000027.

[9] Metropolitan Sofia <http://www.metropolitan.bg/>

[10] Писмо до Столична община с копие до Министерство на околната среда и водите от Института по математика и информатика при БАН и от Висшето транспортно училище „Тодор Каблешков“, от дата 11.01.2018 г.