

УДК 656.073.5: 629.058

Олісевич М.С., к.т.н.

НУ «Львівська політехніка», м. Львів

ЗАЛЕЖНІСТЬ ШВИДКОСТІ І ПРИСКОРЕННЯ АВТОМОБІЛЯ В ТРАНСПОРТНОМУ МАГІСТРАЛЬНОМУ ПОТОЦІ ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ

Викладена методика імітаційного моделювання транспортного потоку, у якій на основі кліткових автоматів вперше використано метод активного спостерігача. З допомогою цієї моделі встановлена залежність середнього прискорення автомобіля спостерігача від протяжності інформаційного поля вздовж магістралі.

Транспортні потоки автомобільних магістралей так як і дорожніх мереж населених пунктів характеризуються високою складністю макро- і мікромоделей. Тут також мають місце нерівномірність руху окремих транспортних засобів, затримки і утворення заторів, оскільки реальні густина потоку і швидкість руху на таких шляхах зростає. Розгони і сповільнення — це такі заходи керування, які спричиняють додаткові витрати енергоресурсів — з одного боку, та невчасне прибуття автомобілів — з іншого. Сучасні телеметричні засоби досягли такого рівня, що в змозі надати відповідне інформаційне забезпечення для вибору найбільш раціональних в заданих транспортних умовах рішень. Проте, відсутність адекватних моделей їх застосування унеможливує їх ефективне використання в організації дорожнього руху. Ставилась мета встановити характер впливу параметрів інформаційного забезпечення водіїв на досконалість вибраних ними режимів руху.

В роботах, які стосуються дослідження транспортних потоків для опису руху великої кількості автомобілів використовують гідродинамічні аналогії для макромоделювання, які призначені для розробки методів регулювання дорожнього руху [1, 2]. Для розробки рішень для екіпажу конкретного АТЗ такі моделі є непридатними. В мікроскопічних моделях дотепер домінують методи "слідування за лідером" [2, 3]. Проте, одним з вагомих недоліків таких моделей є те, що вони неправильно описують динаміку одиничного автомобіля. Прискорення його при відсутності лідера дорівнює нулю, тоді як доцільним є дотримання деякої бажаної швидкості. Не цілком адекватними є мікроскопічні моделі оптимальної швидкості, в яких приймається, що деяка безпечна швидкість конкретного автомобіля залежить від дистанції між ним і лідером. Уже тепер є публікації, які, як доведені факти, демонструють відсутність такої залежності [2, 3]. Більш досконалий її варіант — модель Трайбера, де виконано "індивідуалізацію" кожного АТЗ. При відповідному калібруванні вона демонструє реалістичну поведінку при розгоні і гальмуванні і відтворює основні функції транспортного потоку. Однак, для поставленої мети досліджень ця модель використана бути не може, оскільки не враховує, що характер поведінки кожного водія залежить від того, наскільки він ознайомлений і усвідомлює реальні транспортні умови, об'єктивно поставлену задачу та раціональність вибраних режимів.

В дослідженнях транспортних потоків вибір режимів, загалом, приймається раціональним з міркувань безпеки руху, зменшення простоїв та затримок. Однак, давно відомо, що для певних дорожніх умов існує оптимальна програма розгону-руху-гальмування залежно від динамічних властивостей АТЗ, та довжини маршруту [5]. Тому у цій роботі бажані режими наближені, передусім, до оптимальних за енергоощадністю.

Створити динамічну множину правил вибору режимів поведінки можна, використовуючи моделі кліткових автоматів (КА) [2]. Для магістральних транспортних потоків вони є достатньо адекватними, оскільки характеризуються високою стійкістю при малих густинах транспортного потоку. Проте, КА мають той недолік, що розглядають дискретно і час, і переміщен-

ня АТЗ, водночас приймаючи його як матеріальну точку, або ж як комірку. Більш конкретне завдання, яке пов'язане із скануванням дороги не може бути відображене таким чином.

Для виконання поставленої мети КА розглядаються як комірки часу однакової тривалості $\tau_i = const$. Смуга дороги — це одна єдина комірка довжиною R , що відповідає можливій інформаційній "видимості" водія автомобіля-спостерігача (АС). Власне, система координат такої моделі є прив'язаною до АС (рис. 1). Якщо задатись інформаційним полем R , яке складається з фронтальної R_s і тильної R_d частин, то максимальна кількість "видимих" автомобілів у цьому полі визначається як $n_{\max} = \frac{R}{\bar{c}}$, де \bar{c} — середні динамічні габарити автомобіля.

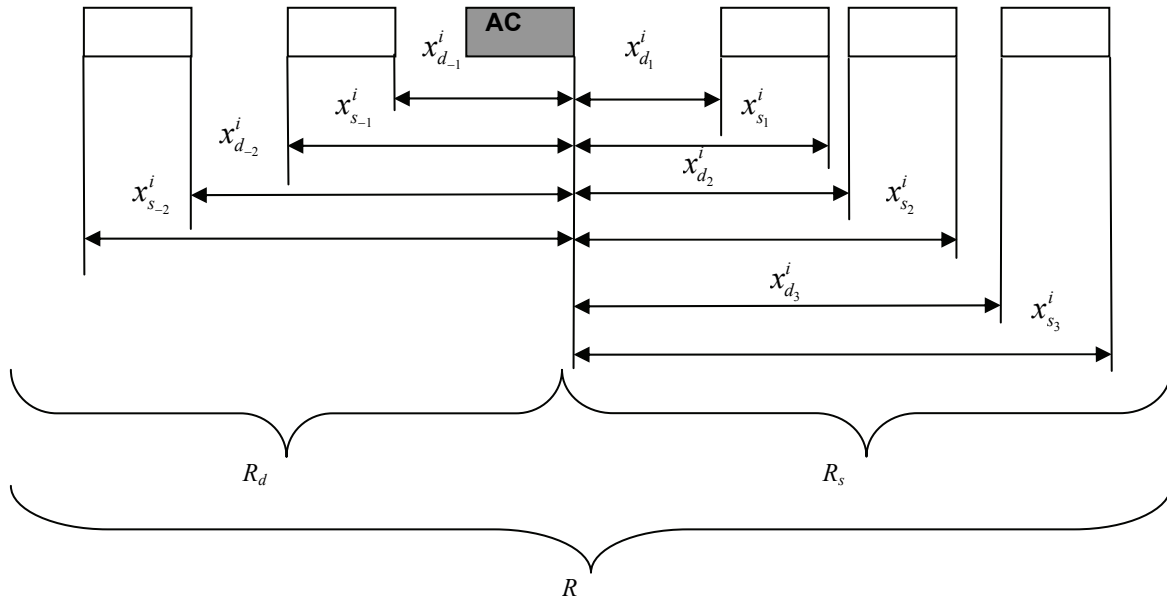


Рис. 1. Схема імітаційної моделі транспортного потоку з одною смугою дороги

Кожен з автомобілів має свій порядковий номер j . Номери автомобілів, які знаходяться попереду АС на одній з ним смузі в тому ж напрямку мають знак "+". Ті автомобілі, які знаходяться позаду АС, або на зустрічній смузі спереду мають знак "-". Номери автомобілів можуть змінюватись залежно від ситуації.

В цій моделі задано, що усі автомобілі мають бажані швидкості u_j , які обґрунтовано за критерієм максимальної енергоощадності [5]. За цим ж критерієм визначено, що найбільш бажаним є рівномірний рух. З іншого боку, кожен з учасників транспортного потоку має конкретне завдання, яке має бути виконане вчасно. Тому прискорення і сповільнення є невідворотними маневрами. Оскільки діє велика кількість чинників, то u_j потрібно розглядати як випадкову величину з відомим розподілом. Крім того приймалося, що $u_j < V_j^{\max}$, тобто рухаючись навіть за бажаною програмою, АТЗ має можливість подолати можливі короткотермінові затримки руху.

Точно відомою є бажана швидкість АС — u_{AC} . На i -му кроці моделювання відомі також координати кожного j -го учасника руху: $x_{s_j}^i$ — віддаль від АС до його переднього бампера і $x_{d_j}^i$, відповідно, до заднього. Швидкості цих учасників руху визначаються із співвідношення не менше, ніж двох кроків моделювання:

$$V_j^{i+1} = \frac{x_j^{i+1} - x_j^i}{\tau_{i+1}} + V_{AC}^{i+1}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де x_j^{i+1} , x_j^i — будь-які однойменні координати j -го автомобіля відносно АС, m ; τ_i — тривалість i -го кроку моделювання (оскільки $\forall i, k, \tau_i = \tau_k$, то в подальшому індекс при τ не вживається), c ; V_{AC} — швидкість автомобіля-спостерігача, m/c (на першому кроці моделювання приймається, що $V_{AC} = u_{AC}$).

Прискорення j -го АТЗ на $i+1$ -му кроці визначається з виразу:

$$a_j^{i+1} = \frac{V_j^{i+1} - V_j^i}{\tau}, m/c^2, \quad (2)$$

де a_{AC} — прискорення автомобіля-спостерігача, m/c^2 .

Якщо швидкість будь-якого j -го АТЗ, що знаходиться попереду АС на i -му кроці, є такою, що $\frac{R_s}{V_j^i} \geq \tau_i$, то на наступному $i+1$ -му кроці цей АТЗ "зникає" з поля зору АС. На його місці, позаду чи спереду може з'явитись $j+1$ -й, швидкість якого буде, початково u_{j+1} . Поява нових АТЗ в інформаційному полі R відбувається згідно з максимальною кількістю автомобілів для руху без заторів і заданого розподілу бажаних швидкостей.

Програма моделювання виконується в межах доступних кроків $\tau_1 \dots \tau_{\max}$, кількість яких вибирається з міркування: якщо АС рухається із середньою бажаною швидкістю u_{AC} , то за τ_{\max} кроків він саме вчасно виконає транспортне завдання.

Кожен АТЗ включно з АС, виконує маневри згідно з прийнятими правилами.

1. Якщо для $x_j^i - x_{j+1}^i < x_j^{i+1} - x_{j+1}^{i+1}$, то це означає для j -го АТЗ зближення з переднім $j+1$ -м, що змушує його при досягненні безпечного інтервалу d приймати одне з рішень: (а) сповільнення і подальший рух з швидкістю попередника; (б) обгін $j+1$ -го АТЗ і подальше дотримання бажаної швидкості. Дія (б) є можливою, коли доступна зустрічна смуга руху і коли це дозволяють дистанції між попередніми автомобілями.
2. Обгін виконується завжди з мінімальним допустимим прискоренням. Для кожного АТЗ задано максимальне допустиме прискорення a_j^{\max} . Якщо виконати обгін з прискоренням, більшим, ніж a_j^{\max} є неможливо, то він не виконується.
3. Якщо необхідної інформації для виконання маневру немає (наприклад, є надто коротким інформаційне поле R), то цей маневр не виконується.
4. Якщо в момент часу τ_i стало відомо, що середня швидкість АС дорівнює V_{AC}^i , а відхилення від бажаної — $u_{AC} - V_{AC}^i$, то це означає, що в наступні моменти часу $\tau_{\max} - \tau_i$ потрібно збільшувати швидкість вище, ніж бажано. Тобто швидкість буде дорівнювати: $V_{AC}^{i-\max} = \frac{u_{AC} \tau_{\max} - V_{AC}^i \tau_i}{\tau_{\max} - \tau_i}$, а середнє прискорення за цей час — $a_{AC} = \frac{(u_{AC} - V_{AC}^i) \tau_{\max}}{(\tau_{\max} - \tau_i)^2}$.

Саме середнє прискорення є критерієм ефективності виконання АС транспортного завдання, адже впливає на витрати палива, безпеку руху, тощо. З іншого боку, при заданому фіксованому R_s , або R_d відомо, скільки попереду АС є АТЗ, які рухаються з швидкістю $V_j < V_{AC}^i$, та скільки є АТЗ на зустрічній смузі. Інакше кажучи, величина вірогідної затримки руху АС є відомою пропорційно до довжини інформаційного поля. АС розвиватиме більше середнє по часу прискорення, бо його екіпаж не знає, чи доведеться потім їхати з усталеною швидкістю, близькою до бажаної, чи гальмувати. Звідси можна зробити припущення, що R_s , або R_d є тими аргументами, від яких залежить ефективність транспортного процесу, оскільки вони впливають на запас швидкості по часу.

Для моделювання транспортного потоку приймалися найбільш перспективні засоби реалізації його результатів SRR — автомобільні радары, здатні фіксувати виникаючу перешкоду на відстані від 0,4 до 30 метрів при швидкості автомобіля до 120 км/год і попереджати про них водія. Подібна система безпеки може бути наділена функціями самостійної дії на гальма або кермове керування при необхідності. Для автомобільних радарів законом встановлена радіочастота 24 GHz. Після 2013 р., коли кількість оснащених радарями машин на дорогах зростає до критичного для інших електронних систем рівня, колишня частота буде замінена на 79 GHz. При цьому "видимість" досягне не менше, ніж 150 м [6]. Таким чином, числове значення R змінювалось при моделюванні в межах від 0,4 до 250 м. Результати моделювання подано на рис. 2. Це — залежності сумарного прискорення АС, яке моделювалось на магістральних перевезеннях довжиною 20 км при бажаній швидкості 23,8 м/с. При цьому змінними задавались параметри розподілу бажаних швидкостей АТЗ. Зокрема різними були середні бажані швидкості при середньоквадратичному відхиленні 5,6 м/с.

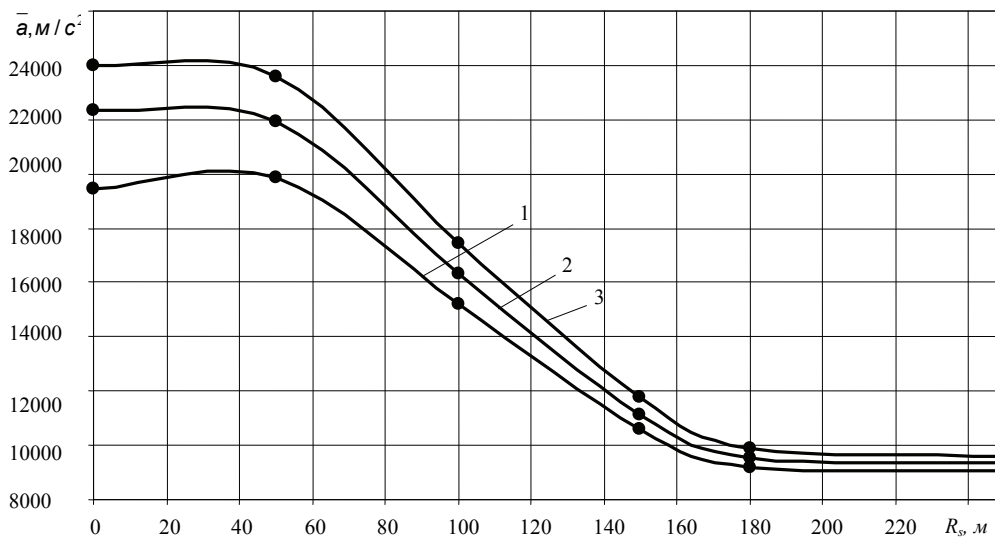


Рис. 2. Залежність сумарного середнього прискорення АС на дистанції 20 км при різних середніх значеннях розподілу бажаних швидкостей транспортного потоку:

$$1 - \bar{u}_j = 26 \text{ м/с}; 2 - \bar{u}_j = 25 \text{ м/с}; \bar{u}_j = 24 \text{ м/с}$$

Результати моделювання отримані для випадку, коли $R_s = R_d$. Інші спроби змінити співвідношення цих відстаней інформаційного поля попереду і позаду АС призводили до нестабільності імітаційної моделі. Розмір інформаційного поля попереду АС має суттєвий вплив на підвищення рівномірності руху в діапазоні від 50 до 180 м. Це характерно для усіх розподілів \bar{u}_j , що розглядались. При $R_s < 50$ м зміни в інтенсивності руху є більш вагомими для вибору ефективних режимів, ніж доступна інформація. Наприклад, збільшення середньої бажаної швидкості автомобілів у потоці на 1 м/с призводить до необхідних 2000 м/с² додаткового прискорення на трасі при «видимості» 50 м. Водночас, щоб знизити сумарні прискорення на цю ж величину, потрібно збільшити видимість на 20-25 м. Невелике інформаційне поле не може вплинути на використання автомобілем раціональних програм руху через великий запас часу для прийняття рішення. Якщо інформаційне поле автомобіля зростає вперед понад 180 м, то це також несуттєво впливає на вироблення більш ефективних рішень, оскільки допустимий запас часу на подолання вірогідних затримок вичерпано.

Висновки

Розмір інформаційного поля є вагомим фактором підвищення ефективності транспортного процесу в діапазоні 50-180 м при значеннях середньої швидкості транспортного потоку

24...26 м/с і середньоквадратичному відхиленні 5,6 м/с. Сумарні прискорення/сповільнення автомобільних транспортних засобів, які спричиняють додаткові витрати енергії та знижують безпеку руху, можна зменшити у розглянутому транспортному потоці, якщо привести інформаційне забезпечення екіпажу АТЗ у відповідність до його транспортного завдання.

Список літератури

1. Алексеев В.О., Костюченко С.М. Оценка состояния транспортных систем в задачах управления движением// Автомобильный транспорт. — 2002. — Вып. 9. — С. 115-117.
2. Григоров М.А., Дашенко А.Ф., Усов А.В. Проблемы моделирования и управления движением транспортных потоков в крупных городах. — Одесса: Астропринт, 2004. — 266 с.
3. Семенов В.В., Математическое моделирование транспортных потоков мегаполиса: Препринт № 34/ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. — М., 2004.
4. Финаев В.И., Бутенков Д.С. Разработка интеллектуальных систем обгона и моделирование транспортных потоков// Науч. сессии МИФИ. — Москва, 2003. — С. 164-165.
5. Гашук П.М. Оптимизация топливо-скоростных свойств автомобиля. — Львов: Вища шк. Из-во при Львов. ун-те, 1987. — 168 с.
6. SRR радар на каждый автомобиль. — <http://autoline.com.ua/news.php?code=1106812330>

Стаття надійшла до редакції 04.06.08

© Оліскевич М.С., 2008