

УДК 656.13

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В ТРАНСПОРТНОМУ ПОТОЦІ

SIMULATION MODEL OF ROAD SAFETY IN THE TRANSPORT FLOW

Степанов Олексій, Венгер Альбіна

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002*

To ensure road safety in the traffic flow, you can use an approach that is based on the general properties of the traffic flow. That is, there are certain general characteristics of the traffic flow, which control the behavior of road users and from which the macroscopic properties of traffic flow safety are derived.

Для забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) в транспортному потоці можна використовувати підхід, який ґрунтується на загальних властивостях транспортного потоку. Тобто існують певні загальні характеристики транспортного потоку, які керують поведінкою учасників дорожнього руху і з яких виводяться макроскопічні властивості безпеки транспортного потоку.

Концептуально, при дотриманні БДР у транспортному потоці, необхідно брати до уваги дві основні особливості безпечного руху [1, 2]. Перша особливість визначає вільний рух автотранспорту, друга особливість визначає взаємодію між ними. Відповідно до цього потрібно зробити два основних припущення.

Перше припущення – основна властивість БДР пов'язана зі швидкістю руху автотранспорту (V), яка обмежена певною максимальною швидкістю $V_{\text{макс}}$:

$$V < V_{\text{макс}}. \quad (1)$$

Максимальну швидкість можна представити як безпечну для автотранспорту швидкість за даних дорожніх умов. У цілях БДР водії намагаються уникнути зіткнення з іншими учасниками дорожнього руху. Це є причиною наявності взаємодії між автомобілями у транспортному потоці.

Друге припущення – розглянута система вільна від зіткнень між автотранспортом. Тобто водії завжди вибирають швидкість, яка не вище ніж безпечна швидкість $V_{\text{без}}$:

$$V < V_{\text{без}}. \quad (2)$$

Для коректності розгляду БДР розумно також припустити, що позитивні прискорення (a) і негативні прискорення (b) автомобіля обмежені:

$$a \geq \frac{d}{dt} V \geq b. \quad (3)$$

Розглянемо модель, яка виробляє перетворення БДР у транспортному потоці через кожен дискретний крок по часу Δt . Для такої моделі всі вище викладені обмеження можна сформулювати у вигляді:

$$V(t + \Delta t) \leq \min[V_{\text{макс}}, V(t) + a\Delta t, V_{\text{без}}], \quad (4)$$

де $V_{\text{без}}$ – безпечна швидкість обчислюється виходячи з обмеження:

$$V(t + \Delta t) \geq V(t) - b\Delta t. \quad (5)$$

Повна інформація про безпечну взаємодію автотранспорту міститься в описі обчислення значення $V_{\text{без}}$. Як тільки визначено $V_{\text{без}}$, нерівність (2) у моделі задає схему перетворення стану транспортного потоку при обранні максимальної швидкості відповідно до обмежень.

Для опису моделі БДР необхідно змодельювати взаємодію автотранспорту в транспортному потоці.

Розглянемо два автомобілі: лідера, розташованого в точці x_l , який має швидкість (V_l) і веденого автомобіля, який має швидкість (V_g) з координатою x_g . Якщо довжина автомобіля дорівнює 1, то інтервал (g) між автомобілями обчислюється за виразом:

$$g = x_l - x_g - 1. \quad (6)$$

Відзначимо, що БДР полягає у прагненні водіїв керувати автотранспортом без зіткнень. Це означає, що інтервал g завжди повинен бути позитивним.

Припустимо, що автомобілі в моделі не будуть стикатися, якщо інтервал g між лідером і веденим автомобілем більший, ніж якийсь бажаний інтервал (g_0). У результаті можна отримати таку нерівність:

$$\frac{d}{dt} g \geq \frac{g_0 - g}{\tau_0}. \quad (7)$$

Бажаний час τ_0 і бажаний інтервал g_0 можуть бути функціями від дистанції між автомобілями і від їх швидкостей. Відсутність зіткнень у даній моделі очевидна, оскільки для інтервалу $g = 0$ похідна по часу від g завжди позитивна в силу наявності g_0 .

Можна показати, що умову БДР можна звести до такого:

$$V_l - V_g \geq \frac{V_l \tau - g}{\frac{V_l + V_g}{2b} + \tau}. \quad (8)$$

Зауважимо, що

$$\frac{dg}{dt} = V_l - V_g. \quad (9)$$

Звідси випливає, що нерівність (7) набуває форми нерівності (9) з бажаним інтервалом $g_0 = V_l \tau$ і бажаним часом $\tau_0 = \tau_b + \tau$, де $\tau_b = \frac{(V_l + V_g)}{2b}$, та визначається за допомогою типових негативних прискорень b , які вибирає водій автомобіля.

Виведені нерівності потрібно змінити для отримання схеми перетворення швидкості автомобіля у дискретні моменти часу. Використання дискретних часових кроків привносить у цю модель ефект кінцевого часу реакції.

Виходячи з безпечної умови, найбільш природний шлях побудови схеми перетворення – це інтерпретація швидкості V_g у виразі (8), як функції від кроку за часом $t + \Delta t$, що приводить до виразу:

$$V_g(t + \Delta t) \leq V_l(t) + \frac{g(t) - g_0(t)}{\tau_0(t)}. \quad (10)$$

Просторова координата X автомобіля буде перетворюватися відповідно до виразу:

$$X(t + \Delta t) = X(t) + V(t + \Delta t)\Delta t. \quad (11)$$

Відомо, що для $\Delta t \rightarrow 0, g_0 \geq 0$. Це правило гарантує наявність БДР у транспортному потоці.

Крім випадкових флуктуацій, кожен автомобіль рухається з найбільшою можливою швидкістю згідно з попередніми обмеженнями. Тоді модель можна описати таким чином:

$$\begin{aligned}V_{\text{без}}(t) &= V_l(t) + \frac{g(t) - g_{\delta}(t)}{\tau_b + \tau}, \\V_{\delta}(t) &= \min[V_{\text{макс}}, V(t) + a(V)\Delta t, V_{\text{без}}(t)], \\V(t + \Delta t) &= \max[0, V_{\delta}(t) - \eta], \\X(t + \Delta t) &= X(t) + V\Delta t.\end{aligned}\tag{12}$$

Бажаний інтервал g_{δ} можна вибирати по-різному. Припустимо, що $g_{\delta} = \tau V_l$, а τ є часом реакції водія. Параметр тимчасової шкали визначається як:

$$\tau_b = \frac{(V_l + V_b)}{2b}.$$

Для врахування відхилення від заданої стратегії руху було введено випадкове збурення $\eta > 0$. Вираз для максимальної безпечної швидкості можна представити у вигляді:

$$V_{\text{без}}(t) = V_l(t) + \frac{g(t) - g_{\delta}(t)}{\tau_b + \tau}.\tag{13}$$

Будемо вважати максимальне прискорення (a) й максимальне уповільнення (b) постійними величинами (тобто незалежними від швидкості), а часовий крок Δt , рівним часу реакції τ . Одиницею часу буде час реакції τ , який приймається рівним одній секунді. «Довжина» автомобіля не є його фізичною довжиною, а дорівнює розміру простору, яке зазвичай займає автомобіль у щільному заторі. Зауважимо, що в моделі не передбачені зіткнення, оскільки $g_{\delta} = V_l$.

На кроці рандомізації кожен автомобіль буде сповільнюватися за допомогою випадкової величини η , яка є однорідно розподіленою на відріжку між 0 та (εa) , де параметр (ε) є випадковою величиною, рівномірно розподіленою на відріжку між 0 і 1.

Відповідно правила перетворення моделі можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned}V_{\delta} &\leftarrow \min[V_{\text{макс}}, V + a, V_{\text{без}}], \\V &\leftarrow \max[0, \text{rand}[V_{\text{без}} - \varepsilon a, V_{\text{без}}]], \\X &\leftarrow X + V,\end{aligned}\tag{14}$$

де V_{δ} – обчислюється з використанням формули (12), а $\text{rand}[x_1, x_2]$ позначає випадкове число в інтервалі між x_1 і x_2 .

При імітаційному моделюванні БДР у транспортному потоці на одній смузі розумним є припущення про зразкову рівність усіх максимальних швидкостей, оскільки швидкі автомобілі змушені знижувати швидкість під час руху за повільними автомобілями. Якщо використовується відмінний від δ функції розподіл ймовірності для максимальної швидкості, то це призводить до того, що повільніші автомобілі будуть формувати черги позаду швидших.

Для багатосмугового руху ситуація інша. Тут існує постійна взаємодія між групами різних автомобілів, обумовлена відмінністю у максимальній бажаній швидкості між автомобілями різних марок. Якби максимальна швидкість усіх автомобілів на багатосмуговій магістралі була однаковою, то не існувало б стимулу до обгону.

Таким чином, розглядаючи БДР у транспортному потоці, питання про коректність імітаційного моделювання щільності й інтенсивностей руху на смугах істотно залежить від вибору розподілів максимальної швидкості автомобілів.

Література

1. Брайловский Н.О. Моделирование транспортного потока с использованием метода статистических испытаний / Н. О. Брайловский // *Некоторые вопросы исследования транспортных потоков.* – М.: ЦЭМИ, 1970, вып. 2, С. 4-11.
2. Брайловский Н. О. Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский., Б. И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 120 с.