

УДК 004.42:629.33

Трегубенко Ірина Борисівна

Кандидат технічних наук, доцент, викладач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

Беляков Денис Олегович

Магістр

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД СУФІКСНОГО ДЕРЕВА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ КОМЕРЦІЙНИХ ШЛЯХОПРОВОДІВ

***Анотація.** Розглянуто актуальність задачі прогнозування автомобільної завантаженості шляхопроводів, зокрема комерційних. Запропоновано метод прогнозування автомобільної завантаженості, який базується на методі суфіксного дерева з модифікаціями. Модифікований метод враховує ймовірність протилежної зміни напрямку, що веде до більш точних розрахунків. А введення розрахунків через середні швидкості оптимізує класичний метод, фактично не знижуючи точність прогнозування.*

***Ключові слова:** прогнозування завантаженості шляхопроводів; транспортні потоки, щільність руху; суфіксне дерево; середні швидкості*

Постановка проблеми

Питання прогнозування автомобільної завантаженості шляхопроводів, зокрема комерційних, залишається актуальним в сучасних умовах. Надмірна завантаженість шляхопроводів призводить до того, що оптимальні за відстанню маршрути, котрі проходять через завантажені ділянки доріг, часто виявляються не оптимальними за часом.

Сучасні методи відстеження авто дозволяють захоплювати положення величезної кількості переміщуваних об'єктів. У світі широко розповсюджені два типи систем: системи фіксування дорожнього транспорту та системи аналізу інформації про трафік (інтелектуальні транспортні системи) [1-2]. Робота цих систем напряму пов'язана між собою. Системи фіксування дорожнього трафіку представляються у вигляді супутникового спостереження, детекторів руху та інші. Інформація, що була отримана з цієї системи, обробляється системою аналізу інформації про трафік. Саме системи аналізу інформації використовують різноманітні розроблені методи обробки інформації про рух авто для прогнозування автомобільної завантаженості шляхопроводів [3].

Основними напрямками прогнозування завантаженості шляхопроводів є: моделювання транспортних потоків на основі теорії рівноваги [4], моделювання схеми завантаженості шляхопроводів (графічний метод) [5] та прогнозування автомобільної завантаженості шляхопроводів на основі методів статистики та теорії ймовірності [6; 7].

Поставлена задача напряму пов'язана з графічним розглядом, а аналіз інформації про положення об'єктів в мережі є необхідним для розгляду додаткових питань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вирішенням актуальної задачі прогнозування автомобільної завантаженості шляхопроводів займається велика кількість сучасних науковців з використанням різних підходів. Наприклад, автор К.М. Вялих у своїй роботі [8] вирішує питання прогнозування автомобільної завантаженості за допомогою прогнозування середньої швидкості автомобілів на ділянці транспортної мережі з використанням методу найближчих сусідів. Автори С. Гуда, Д. Рябов у роботі [6] та автори С. Пупирьов, А. Прончков у своїй роботі [7] розкривають питання прогнозування автомобільної завантаженості за заздалегідь відомими статистичними даними про швидкість автомобілів та порівнюють різноманітні відомі методи прогнозування при використанні цих даних. Автори Х.-Н. Кригель, М. Ренз, М. Шуберт, А. Зюфле в роботі [9] розглядають використання методу суфіксного дерева для прогнозування автомобільної завантаженості з припущенням, що люди будуть діяти раціонально і вибирати найкоротший шлях від своїх відправних точок до їх точок напрямку. Виходячи з цього припущення, авторами статті пропонується статистичний підхід для опису ймовірності будь-якого індивіда в мережі, що буде перебувати у певному положенні у певний час.

Мета статті

Грунтуючись на розглянутих методах прогнозування автомобільної завантаженості, можна зробити висновки, що метод суфіксного дерева є найбільш ефективним, але модифікація цього методу з метою покращення є можливою і необхідною.

Виклад основного матеріалу

Класичний метод суфіксного дерева приймає за істину, що рухомий об'єкт на перехресті доріг не може почати рухатися в напрямку, який є протилежним напрямку, котрим об'єкт досяг цього перехрестя. Для міжміських доріг цей підхід можливий, але для міських шляхопроводів ймовірність ситуації зі зміною напрямку значно збільшується. Саме тому знехтування цією ймовірністю веде до неточності в розрахунках.

Окрім цього, в розглянутому методі суфіксного дерева розрахунки йдуть або з використанням даних щодо швидкості для кожного об'єкта окремо, або для максимальної швидкості, з якою об'єкт може рухатися по певному ребру мережі. Для зменшення ресурсів, які необхідні для розрахунків, доцільним є використання середньої швидкості автомобілів в рухомому потоці на вулиці. Використання даних про середні швидкості оптимізує цей метод, фактично не знижуючи точність прогнозування.

Будь-яку мережу автомобільних шляхопроводів можна розглядати як граф $G(Q, E)$, де вершини позначають точки призначення та перехрестя. Ребра являють собою вулиці між вершинами. Шлях одного авто – це послідовність ребер $l = (e_1, \dots, e_n)$, де ребра послідовно з'єднані. Об'єкт o може рухатися по $l = (e_1, \dots, e_n)$, де e_1 починається з q_1 , а e_n закінчується q_{n+1} . Середня швидкість автомобілів на певній вулиці визначається так:

$$\bar{v}(e_i) = \frac{\sum_{k=1}^n v(o_k)}{n},$$

де n – це кількість авто, що рухаються по певній вулиці.

Використовуючи довжину кожної вулиці $s(e_i)$ та середню швидкість $\bar{v}(e_i)$, стає можливим розрахувати час, який знадобиться об'єкту o , щоби пройти шлях l :

$$\tau(o, l) = \sum_{i=1}^n \frac{s(e_i)}{\bar{v}(e_i)}.$$

Кожне авто мережі у вибраний час знаходиться на певній вулиці e_i , тому стає можливим розрахувати завантаженість шляхопроводу в мережі через наявність об'єктів на певній вулиці. Нехай d – наявність об'єкта o на вулиці e :

$$d(o, e) = \begin{cases} 1, & o \subset e \\ 0, & o \not\subset e \end{cases},$$

тоді $p(e)$ - щільність руху на вулиці e :

$$p(e) = \sum_{i=1}^n p(o_i, e).$$

Виходячи з цього стає можливим обчислити щільність авто на певній вулиці у певний момент часу t . Але потрібно спрогнозувати щільність авто на певній вулиці в майбутньому, тобто через час Δt . Розглядаючи велику кількість авто, спрогнозувати щільність авто на певній вулиці в час $t + \Delta t$ стає можливим, лише якщо для усіх об'єктів o_1, \dots, o_m відомі їх напрями l_{oi} . Задача прогнозування автомобільної завантаженості ускладнюється саме відсутністю даних про l_{oi} . Тобто стає можливим вирахувати щільність руху на певній вулиці в час t , але без даних про маршрут кожного авто стає неможливим обчислити щільність руху в час $t + \Delta t$. З цього випливає необхідність розглядати ймовірність r , коли певний об'єкт o буде рухатися по ребру e в час $t + \Delta t$. Ця ймовірність насамперед ґрунтується на можливості об'єкта o рухатися по ребру e в час $t + \Delta t$. Тобто якщо не існує можливості, що об'єкт o буде рухатися по ребру e в час $t + \Delta t$, то й ймовірність цього може розглядатись як нульова. Визначивши усі шляхи $L = \{l_1, \dots, l_m\}$, слід знайти суму ймовірностей $r[l_i]$, що об'єкт o вибере один із шляхів l_i , а обчисливши R , стає можливим розрахувати щільність руху для певної вулиці через час Δt :

$$R = \sum_{i=1}^m r[l_i], \quad p(e, t + \Delta t) = \sum_{i=1}^m R_i.$$

Виявити $r[l_i]$ можна, якщо l_i – це результат ланцюга Маркова [10] у мережі, де вершини відповідають станам, а ребра – можливим переміщенням. Ланцюг починається у теперішній позиції o . Коли o досягає нової вершини v , o має вибирати з $g(v)+1$ опцій. $g(v)$ позначає кількість ребер, що йдуть з v . Тобто об'єкт може зупинити свою подорож у вершині v або ж продовжити рух по одному з ребер, що йдуть з v . У класичному ланцюзі Маркова важливим показником є попередньо відвідуване ребро e_{i-1} . Але для даної предметної області слід не обмежувати метод до певного типу. Це допоможе зберегти основу якомога більш загальною. Ми можемо припустити, що ймовірності, які лежать в основі розподілу, є рівномірними. Тоді ймовірність того, що o обирає шлях l веде до випадкового вибору шляху. Тобто об'єкт може обирати будь-який шлях без зв'язку до свого глобального напрямлення.

Прогнозування сильно залежить від розподілів ймовірностей. Якщо ці розподіли не достатньо

добре моделюють поведінку об'єктів, очікувана щільність буде значно відрізнятись від реальної щільності після короткого періоду часу. Крім цього, важливим питанням є обчислювальні затрати на визначення всіх шляхів між поточною позицією об'єкта o і його майбутнім положенням.

Зазвичай водій, який рухається в транспортній мережі, не буде випадково вирішувати в якому напрямку він поїде далі на кожному перехресті доріг. Кожен об'єкт зазвичай має зумовлений пункт призначення, який він хоче досягти якомога швидше. Крім того, слід зауважити, що топологія мережі є відомою кожному об'єкту. З цього випливає, що об'єкт може не блукати в мережі до моменту, коли він випадково досягне свого пункту призначення. Враховуючи, що кожен об'єкт хоче досягти свого пункту призначення якомога швидше, стає можливим припустити, що кожен об'єкт рухається найкоротшим шляхом, де кожне ребро e зважується з часом, тобто τ_i . Визначення найкоротшого шляху має великий вплив на якість прогнозування та обчислювальну складність, хоча загалом обчислення очікуваної щільності може залишатися незмінним.

Для визначення можливості знаходження об'єкта o на ребрі e через час Δt , слід розглядати лише найкоротші шляхи від поточного положення o до кінцевої вершини ребра e . Об'єкт o подорожує по ребру e з імовірністю 0%, якщо немає шляху, який закінчується ребром e . Якщо e є останнім ребром деякого найкоротшого шляху, ми можемо обчислити період часу, за який o буде рухатися по e . Тільки якщо час прогнозування, тобто $t + \Delta t$, знаходиться в межах цього періоду часу, тільки тоді стає можливим наявність об'єкта o на ребрі e в момент передбачення $t + \Delta t$. Враховуючи, що об'єкт подорожує по будь-якому іншому найкоротшому шляху повинен прибути у кінець e за той самий час, можна зробити висновок, що стає не потрібним враховувати будь-який інший найкоротший шлях. Отже, розрахунок найкоротшого шляху значно знижує кількість шляхів, які мають бути розглянуті.

Також, за допомоги визначення найкоротшого шляху, стає можливим знайти ймовірність розподілів, які можна використовувати для визначення ймовірності, що об'єкт o переміщається уздовж певного шляху l .

Кожен об'єкт в мережі прямує до однієї власної зумовленої точки призначення q_i , і для досягнення кожним об'єктом його власної точки призначення, він буде рухатися по найкоротшому шляху, що закінчується вершиною q_i . Тому набір всіх можливих шляхів, якими об'єкт o може переміщуватися в мережі, є об'єднанням всіх найкоротших шляхів до будь-якої можливої точки

призначення. А ймовірність того, що o рухається уздовж шляху $l = (e_1, \dots, e_i)$ залежить від імовірності того, що q_i є саме зумовленою точкою призначення об'єкта o . Без інших даних можна припустити, що кожна точка призначення є ймовірною. При інтеграції знань в предметну область, можна розраховувати ймовірність для більш популярних точок призначення (більш навантажених вулиць). Останнім слід зазначити, що якщо є більш ніж один короткий шлях, який веде до q_i для одного й того ж об'єкта, припускаємо, що всі шляхи однаково ймовірні.

Позначимо, що q_h – точка призначення об'єкта o , а q_1 – початкова точка руху об'єкта o . Тоді ймовірність, що об'єкт o серед безлічі найкоротших шляхів до усіх точок рухається саме до q_h саме по шляху $l = (e_1, \dots, e_i)$, буде визначатися, як відношення $r[q_h]$, ймовірності, що q_h – точка призначення об'єкта o , до $s[q_1, q_n]$, як кількості найкоротших шляхів від q_1 до будь-якої іншої вершини:

$$r[h] = \frac{r[q_h]}{s[q_1, q_n]}.$$

Тоді ймовірність, що об'єкт o рухається по ребру e_n , є сумою ймовірностей $r[h]$ для усіх найкоротших шляхів, які містять ребро e_n :

$$r[h, e_n] = \sum_{e_n \in l} r_i[h].$$

Використовуючи припущення, що всі об'єкти мають знання про топологію мережі і намагаються досягти свого певного призначення якомога швидше, можна отримати визначення найкоротшого шляху. На основі цього можна одержати більш обґрунтований розподіл ймовірностей для прийнятих рішень, які кожен об'єкт робить в кожній вершині. З цього випливає, що можна знайти більш відповідну прогнозовану щільність для ребер в мережі шляхопроводів.

Для розв'язання поставлених задач пропонується модифікований метод дерева суфіксів для прогнозування автомобільної завантаженості шляхопроводів. Метод суфіксного дерева значно прискорює обчислення очікуваної щільності мережевого трафіку. Основна ідея полягає в зберіганні всіх можливих найкоротших шляхів в компактній структурі даних. Таким чином, обчислення найкоротших шляхів під час прогнозування можна уникнути.

Якщо припустити, що існує унікальний ідентифікатор, який позначає кожен вузол в мережі, то можна використовувати ці ідентифікатори вузлів як алфавіт і представляти кожний шлях у вигляді рядка з цього алфавіту.

Дерево суфіксів є добре відомим в обробці тексту для його компактного зберігання у величезних об'ємах в рядку даних. Формально дерево суфіксів C для рядка $B = B[0..n - 1]$ довжини n в алфавіті A – це дерево з такими властивостями:

- C має рівно $n+1$ вузлів, що нумеруються послідовно від 0 до n ;
- всі внутрішні вузли (крім початкового) мають не менше двох суміжних вершин;
- ребра позначаються не-порожніми рядками;
- всі ребра з того ж вузла починаються з іншого елемента A ;
- для кожного вузла i , ланцюг всіх ребер з початкового вузла в i відповідає $B[i..n - 1]$.

Для того щоб використовувати суфіксне дерево для нашої задачі, зберігаємо всі найкоротші шляхи в даній мережі в дереві суфіксів. Використаємо алгоритм Флойда і Воршелла [11] для ефективного виведення всіх можливих найкоротших шляхів. Після цього всі найкоротші шляхи перетворюються в рядки за алфавітом ідентифікаторів вузлів і зберігаються в дереві суфіксів. У цьому дереві суфіксів, кожен вузол, що є прямим нащадком початкового вузла, являє собою вершину v в мережі, і відповідне додаткове дерево представляє всі найкоротші шляхи, що починаються з v . Зазначимо, що кожен шлях у цьому додатковому дереві відповідає найкоротшому шляху, і шляхи до кінцевого вузла представляють найкоротші шляхи, які є максимальними, тобто не є можливим розширити ці шляхи до будь-якого іншого більшого найкоротшого шляху. Кожен внутрішній вузол v_n з дерева суфіксів являє собою перетин в мережі, куди якийсь об'єкт o може прийти після проходження шляху. Приклад використання дерева суфіксів для транспортного графу наведено на рис. 1, 2.

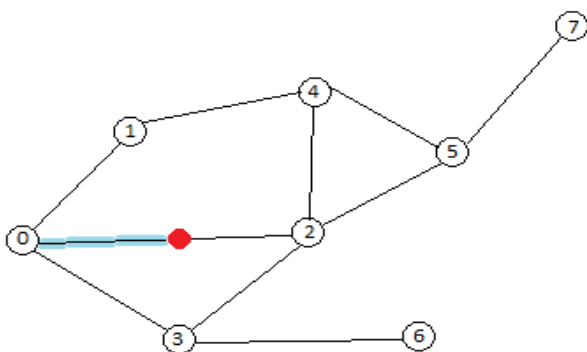


Рисунок 1 – Тестований транспортний граф

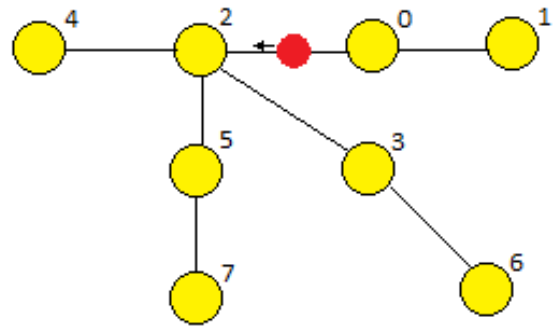


Рисунок 2 – Відповідне дерево суфіксів

Використання дерева суфіксів для найкоротших шляхів дозволяє уникати обчислення найкоротших шляхів в процесі прогнозування щільності руху. Крім того, кількість ребер, які повинні бути пройдені для прогнозування, також знижується до лише необхідних допоміжних шляхів.

Проте розглянутий алгоритм дерева суфіксів, виходячи з припущення, що водії будуть рухатися раціонально і будуть вибирати найкоротші шляхи, відкидає ймовірність того, що будь-який об'єкт o діставшись певної вершини v може розвернутися і вирушити у зворотному напрямку. Відкидання цієї ймовірності теоретично є припустимим, але в практичному використанні надає похибку у розрахунках. Адже різноманітні фактори можуть впливати на цю дію залежно від призначення транспорту (таксі, службові автомобілі можуть різко змінювати свій напрямок за викликом) або за різноманітних життєвих ситуацій. Кожен об'єкт, досягнувши будь-якої вершини мережі, має вибір з $n+1$ станів: n напрямів подальшого руху та можливість зупинити свій рух. Але слід зауважити, що розглядаючи раціональний рух для певного часового відрізка $t + \Delta t$, об'єкт за свій шлях не стане змінювати свій напрямок на зворотний більше 1-го разу. Інакше об'єкт може почати рухатися лише по одній вулиці, не покидаючи її. Навіть у випадках більшої кількості змін руху на зворотний в одному шляху, цими подіями можна знехтувати, адже в транспортній мережі кількість авто є великою, і дана подія є дуже мало ймовірною і не помітною для розгляду в міських масштабах. Тоді, розглядаючи шляхи зворотного напрямку, при розрахунках кожен об'єкт при досягненні будь-якої вершини мережі має вибір вже з n станів: $n-1$ напрямків подальшого руху та можливість зупинити свій рух.

Таким чином, запропонований метод базується на методі дерева суфіксів, але враховує більше широке коло факторів та більше відповідає реальному дорожньому руху.

Висновки

Найвні методи статистики та теорії ймовірності при застосуванні для прогнозування завантаженості комерційних шляхопроводів потребують адаптації до предметної галузі, адже велика кількість методів встановлюють різні критерії початкових даних, є різними за кількістю виконуваних операцій та строком дії прогнозу. Саме тому пропонується модифікований метод суфіксного дерева для прогнозування автомобільної завантаженості

комерційних шляхопроводів, оснований на методи дерева суфіксів. Запропонований підхід використовується для прогнозування щільності для будь-якої транспортної мережі на деякий час у майбутньому. Метод модифіковано врахуванням ймовірності того, що рухомий об'єкт на перехресті доріг може почати рухатися в напрямку, який є протилежним напрямку, котрим об'єкт досяг цього перехрестя, та введенням розрахунків через середню швидкість. Введення цих модифікацій оптимізує даний метод та веде до більш точних розрахунків.

Список літератури

1. TDC ROAD TRAFFIC SYSTEMS [Електронний ресурс]: Режим доступу: \www/ URL: <http://www.tdcsystems.co.uk/solutions> – 15.11.2013 – Загл. з екрану.
2. CimiГід [Електронний ресурс]: Режим доступу: \www/ URL: <http://www.probki.net/news.aspx> – 08.11.2013 – Загл. з екрану.
3. Яндекс.Пробки [Електронний ресурс]: Режим доступу: \www/ URL: <http://compan.yandex.ru/technologies/yaprobki/> – 08.11.2013 – Загл. з екрану.
4. Гасніков, О.В. Введення в математичне моделювання транспортних потоків [Текст] / О.В. Гасніков – М. : МФТІ, 2010.- С.18-43.
5. Як влаштований короткостроковий прогноз на Яндекс.Пробки [Електронний ресурс]: Режим доступу: \www/ URL: <http://habrahabr.ru/compan/yandex/blog/153631/> – 30.11.2013 – Загл. з екрану.
6. Гуда, С. Прогнозування заторів на вулицях по відомим даним про швидкість автомобілів [Текст] / С. Гуда, Д. Рябов – IV Російська літня школа з інформаційного пошуку RuSSIR'2010, 13-18 вересня 2010 г. : праці Четвертої Російської конференції молодих вчених з інформаційного пошуку. — Воронеж : Видавничо-поліграфічний центр Воронежського державного університету, 2010. — С. 52-63.
7. Пупирьев, С. Прогнозування завантаженості автомобільних доріг [Текст] / С. Пупирьев, А. Прончков – IV Російська літня школа з інформаційного пошуку RuSSIR'2010, 13-18 вересня 2010 г. : праці Четвертої Російської конференції молодих вчених з інформаційного пошуку. — Воронеж : Видавничо-поліграфічний центр Воронежського державного університету, 2010. — С. 64-78.
8. Вялих, К.М. Статистичні методи обробки даних для прогнозування транспортної завантаженості міських доріг [Електронний ресурс] / К.М. Вялих: Режим доступу: \www/ URL: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/2626-2012-05-16-16-40-34> – 30.03.2014 – Загл. з екрану.
9. H. Kriegel, M. Renz, M. Schubert, and A. Zuefle. (2008) Statistical Density Prediction in Traffic. Proceedings of the 2008 SIAM International Conference on Data Mining, 692-703.
10. Ланцюг Маркова [Електронний ресурс]: Режим доступу: \www/ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цепь_Маркова – 30.03.2014 – Загл. з екрану.
11. Алгоритм Флойда-Воршелла [Електронний ресурс]: Режим доступу: \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Флойда_—_Воршелла – 30.03.2014 – Загл. з екрану.

Стаття надійшла до редколегії 25.03.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.М. Первунінський, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.

Трегубенко Ирина Борисовна

Кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем Черкасский государственный технологический университет, Черкасы

Беляков Денис Олегович

Магистр

Черкасский государственный технологический университет, Черкасы

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД СУФФИКСНОГО ДЕРЕВА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЗАГРУЖЕННОСТИ КОММЕРЧЕСКИХ ПУТЕПРОВОДОВ

Аннотація. Рассмотрена актуальность задачи прогнозирования автомобильной загруженности путепроводов, в частности коммерческих. Предложен метод прогнозирования автомобильной загруженности, который основывается на методе суффиксного дерева с модификациями. Модифицированный метод учитывает вероятность противоположного изменения направления, что ведет к более точным вычислениям. А введение расчетов через среднюю скорость оптимизирует классический метод, фактически не снижая точность прогнозирования.

Ключевые слова: прогнозирование загруженности путепроводов; транспортные потоки; плотность движения; суффиксное дерево, средние скорости

Tregubenko I.

Kandedat of technical sciences, lecturer in software systems

Cherkasy State Technological University, Cherkasy

Beliakov D.

Magistr

Cherkasy State Technological University, Cherkasy

THE MODIFIED METHOD OF SUFFIX TREE FOR FORECASTING OF THE AUTOMOTIVE WORKLOAD FOR COMMERCIAL OVERPASSES

Abstract. It was examined the relevance of the task of forecasting of the automotive workload for overpasses, such as commercial. Modern methods of probability theory were investigated, which are used to predict the workload of commercial overpasses. It was found that the appropriate methods need to be adapted to the subject area, particularly based on the fact that most of the existing methods set different criteria for initial data, are different by the number of operations and duration of the forecast. It was suggested a method for forecasting of the automotive congestion for commercial overpasses, which is based on the suffix tree method with modifications. The modified method takes into account the probability that the moving object at the crossroad can start moving in a direction that is opposite to the direction by which the object has reached this intersection, which leads to more accurate calculations. In addition, the calculation through the average velocity optimizes the classical method without compromising the accuracy of prediction in fact.

Key words: forecasting of the workload for overpasses, traffic flows, traffic density, suffix tree, average velocity

References

1. TDC ROAD TRAFFIC SYSTEMS [Electronic source]: URL: <http://www.tdcsystems.co.uk/solutions> – 15.11.2013.
2. CityGid [Electronic source]: URL: <http://www.probki.net/news.aspx> – 08.11.2013.
3. Yandex.Probki [Electronic source]: URL: <http://company.yandex.ru/technologies/yaprobki/> – 08.11.2013.
4. Hasnikov, O. (2010). Introduction to the mathematical modeling of traffic flows. M. : MFTI, 18-43.
5. How the short-term forecasting works at Yandex.Probki [Electronic source]: URL: <http://habrahabr.ru/company/yandex/blog/153631/> – 30.11.2013.
6. Gooda, S. (2010). Prediction of congestion in the streets with known data about the speed of vehicles/ Gooda, S., Ryabov, D. // IV Russian Summer School on Information Retrieval RuSSIR'2010, 13-18 September 2010: Proceedings of the Fourth Conference of Young scientists from information retrieval. Voronezh: publishing center of the Voronezh State University, 2010, 52-63.
7. Pupyrov, S. (2010). Prediction of congestion of roads / Pupyrov, S., Pronchekov A. // IV Russian Summer School on Information Retrieval RuSSIR'2010, 13-18 September 2010: Proceedings of the Fourth Conference of Young scientists from information retrieval. Voronezh: publishing center of the Voronezh State University, 2010, 64-78.
8. Vyalyh, K.M. The statistical methods for data processing for predicting traffic congestion of city roads [Electronic source]: URL: <http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/2626-2012-05-16-16-40-34> – 30.03.2014.
9. Kriege, I H., Renz, M., Schubert, M., Zuefle, A. (2008). Statistical Density Prediction in Traffic. Proceedings of the 2008 SIAM International Conference on Data Mining, 692-703.
10. Markov chain [Electronic source]: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цепь_Маркова – 30.03.2014.
11. Floyd-Warshall algorithm [Electronic source]: URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Флойда_—_Воршелла – 30.03.2014.

Посилання на публікацію

- APA Tregubenko, I., & Beliakov, D. (2015). The modified method of suffix tree for forecasting of the automotive workload for commercial overpasses. *Management of Development of Complex Systems*, 22 (1), 122-127.
- ГОСТ Трегубенко І.Б. Модифікований метод суфіксного дерева для прогнозування автомобільної завантаженості комерційних шляхопроводів [Текст] / І.Б. Трегубенко, Д.О. Беляков // Управління розвитком складних систем. – 2015. - № 22 (1). – С. 122-127.