

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ РУХОМ ЧЕРЕЗ СВІТЛОФОРНІ ОБ'ЄКТИ МІСТА

Abstract: The transport motion, which is controlled by traffic lights, simulation modelling system is created. System's constructive elements allow to form models of various road's nets. The information technology of crossroad's group traffic lights object's optimal control parameters definition is developed with the use of evolution strategy.

Key words: simulation modelling, Petri net, traffic lights, optimization, evolution strategy of search.

Анотація: Створена система імітаційного моделювання транспортного руху, керованого світлофорами. Конструктивні елементи системи дозволяють складати моделі різноманітних мереж доріг. Розроблена інформаційна технологія визначення оптимальних параметрів управління світлофорних об'єктів, що належать групі перехресть, з використанням еволюційної стратегії.

Ключові слова: імітаційне моделювання, сітка Петрі, світлофорний об'єкт, оптимізація, еволюційна стратегія пошуку.

Аннотация: Создана система имитационного моделирования транспортного движения, управляемого светофорами. Конструктивные элементы системы позволяют составлять модели разнообразных сетей дорог. Разработана информационная технология определения оптимальных параметров управления светофорных объектов, принадлежащих группе перекрестков, с использованием эволюционной стратегии.

Ключевые слова: имитационное моделирование, сеть Петри, светофорный объект, оптимизация, эволюционная стратегия поиска.

1. Вступ

Зі зростанням інтенсивності транспортного руху проблеми управління дорожнього руху набувають великого значення. Неправильно визначені параметри управління світлофорними об'єктами збирають велику кількість автомобілів на перехрестях, що підвищує аварійність дорожнього руху, збільшує витрати паливних ресурсів і загазованість повітря. Тому задача оптимізації керуючих параметрів дорожнього руху є актуальною.

У країнах Західної Європи та Америки широко використовуються системи імітації дорожнього руху, такі як Dynasim II, Autostrada, Intelligent Transportation System, Microsimulation of road traffic. Більшість цих систем розглядає імітацію дорожнього руху на дорожніх шляхах позаміського характеру, великих автострадах з урахуванням впливу різноманітних факторів, таких як пора року, пора доби, погодні умови, людський фактор, покриття, рівень висот та ін. Оскільки ці системи використовуються для проектування дорожніх шляхів, передбачена можливість нанесення моделі дорожніх шляхів безпосередньо на карту місцевості. Системи імітації дорожнього руху, як правило, уникають складних систем управління рухом, таких як світлофорні об'єкти, дорожні знаки, і тому не можуть рішити проблеми дорожнього руху великого міста. З перелічених вище тільки система Dynasim II передбачає створення сценаріїв дорожнього руху і складання семафорних моделей, в яких можливий запуск сценаріїв, якщо настануть конкретні події. В Україні подібних розробок дуже мало. В роботі [1] висвітлені концептуальні основи імітаційного моделювання дорожнього руху.

2. Постановка задачі

Критичним об'єктом дорожнього руху великого міста являється перехрестя. Від управління перехрестями міста, що здійснює центральний пункт управління, залежить в найбільшій мірі стан

дорожнього руху. Проте оптимізація параметрів управління дорожнім рухом не передбачається в системах імітації дорожнього руху. Оптимізація параметрів імітаційної моделі передбачена системами імітаційного моделювання AutoMod, Arena, ProModel, але їх можливості не дозволяють створювати моделі керованого дорожнього руху.

У даному проекті система доріг міста розглядається як група перехресть, з'єднаних між собою. Управління рухом на перехресті здійснюється світлофорами. Алгоритм управління технічно реалізується дорожніми контролерами, що переключають сигнали світлофорів за заданою програмою. Керування світлофором складається з фаз. Кожна фаза – це сукупність сигналів, що дозволяють рух по окремих напрямках перехрестя. Чергування сигналів у кожному напрямку руху здійснюється у послідовності: червоний, жовтий, зелений, жовтий і т.д. Тривалість горіння жовтого світла обумовлена часом, потрібним для того, щоб автомобілі, які в'їхали на перехрестя, встигли залишити його до початку руху автомобілів з іншого напрямку, і є відомою величиною для кожного перехрестя. Тривалості горіння зеленого та червоного світла є параметрами управління світлофорними об'єктами. Задача управління транспортним рухом полягає у визначенні таких параметрів управління світлофорними об'єктами міста, при яких максимальна кількість автомобілів, що знаходяться в очікуванні, є мінімальною:

$$z = \max(L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots, L_{kn}) \rightarrow \min, \quad L_{jk} = \frac{\sum_i L_{jk}^{(i)} \Delta t_i}{T_{\text{mod}}}, \quad (1)$$

де L_{jk} – середнє значення кількості автомобілів, що очікують переїзду на j -ому перехресті в k -ому напрямку, $L_{jk}^{(i)}$ – спостережуване протягом часу Δt_i i -те значення кількості автомобілів, що очікують переїзду на j -ому перехресті в k -ому напрямку, T_{mod} – загальний час спостереження (час моделювання).

3. Імітаційне моделювання дорожнього руху через світлофорні об'єкти

Конструктивним елементом мережі доріг обрано X -подібне перехрестя, що створюється перетином двох доріг і має чотири напрямки руху. Для кожного напрямку задаються інтенсивність руху транспорту, кількість рядів руху, ймовірності маршрутів подальшого слідування транспорту. Напрямок руху може бути відкритим та закритим. Закриті напрямки дозволяють складати з елементарних перехресть інші конструктивні варіанти перехресть. Заборона руху у одному з вхідних напрямків X -подібного перехрестя створює T -подібне перехрестя, а заборона руху у двох протилежних напрямках створює ділянку дороги зі світлофором для пішохідного переходу. Для створення кільцевої дороги потрібно об'єднати між собою T -подібні перехрестя і указати відповідні до правил руху ймовірності маршруту (рис. 1а). Дві ділянки з одностороннім рухом у різних напрямках, об'єднані між собою, створюють бульвар (рис. 1б). Два T -подібних перехрестя з відповідними правилами руху створюють рух транспорту по об'їзній дорозі (рис. 1в). Таким чином забезпечується побудова великої різноманітності ділянок транспортного руху.

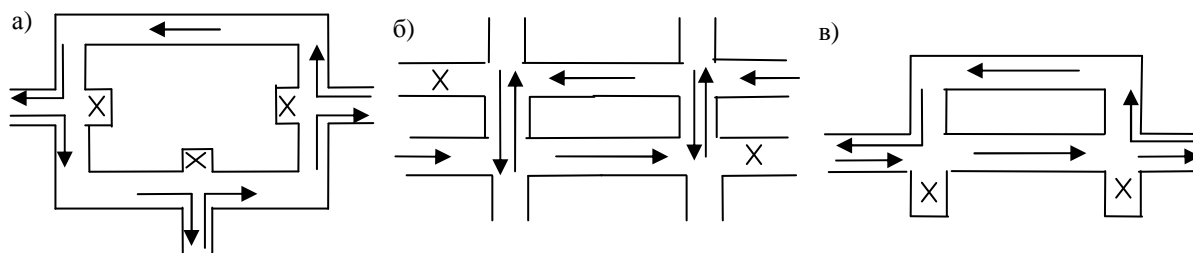


Рис. 1. Модель руху засобами системи CrossRoads:
а) по кільцевій дорозі; б) по бульвару; в) по об'їзній дорозі

Алгоритм імітації створений на основі формалізованої моделі системи, представленої сіткою Петрі [2], з просуванням модельного часу до найближчої події. В системі моделювання виділені такі підсистеми: підсистема управління рухом, підсистема регулювання руху в i -ому напрямку та підсистема руху i -ого напрямку. Реалізація виконана з використанням об'єктно-орієнтованого програмування, технології GDI+, парадигми об'єктно-орієнтованого програмування (наслідування, інкапсуляція та поліморфізм), багатопотоковості та багатовіконного інтерфейсу засобами середовища програмування Delphi.

Цикл регулювання світлофорного об'єкта складається з фаз, що повторюються у чіткій послідовності. Кількість фаз залежить від розподілу напрямків дорожнього руху по фазах. У випадку X -подібного перехрестя регулювання світлофорами складається з чотирьох фаз: 1) зелене світло в 1 та 3 напрямках, 2) жовте світло в усіх напрямках, 3) червоне світло в 2 та 4 напрямках, 4) жовте світло в усіх напрямках. Правильне програмування фаз управління рухом забезпечує координацію між напрямками. Тобто, якщо горить зелене світло в 1 та 3 напрямках, то в 2 та 4 напрямках обов'язково горить червоне світло. Підсистему управління рухом характеризують такі значення: тривалість циклу регулювання, тривалість кожної з чотирьох фаз та початкове значення.

Надходження транспорту здійснюється з часовою затримкою, яка є випадковою величиною із рівномірним або експоненціальним законом розподілу за вибором розробника моделі. Середнє значення часової затримки вказується розробником моделі або надходить із детекторів транспорту, розташованих безпосередньо на світлофорному об'єкті.

Подолання перехрестя здійснюється одночасно декількома автомобілями в залежності від вказаної кількості рядів руху. Інтервал часу, з яким автомобілі виїжджають один за одним на перехрестя при зеленому сигналі світлофора, вказується розробником моделі. Переїзд до сусіднього перехрестя відбувається протягом інтервалу часу, що задається як випадкова рівномірно розподілена величина.

Підсистема імітаційного моделювання транспортного руху через світлофорні об'єкти міста CrossRoads забезпечена зручним графічним інтерфейсом введення моделі. Розробник моделі обирає піктограми елементів, якими є перехрестя та дороги, що їх з'єднують, за допомогою миші і розміщує їх у робочу область. Параметри елементів уточнюються за допомогою діалогового вікна. Передбачена можливість збільшення або зменшення масштабу зображення моделі, а також прокручування зображення для перегляду різних частин системи, якщо вона не може поміститися на екрані. В режимі анімації відображаються сигнали світлофорів по кожному напрямку, напрямки транспортного руху, кількість автомобілів, які накопичились безпосередньо перед світлофорами та на дорогах, що прямують до них. Імітація моделі здійснюється за бажанням розробника моделі або

повільно в режимі анімації або миттєво на заданому інтервалі моделювання. В результаті імітації спостерігаються значення черг автомобілів по кожному напрямку, для кожного перехрестя відображаються графіки змінювання у часі максимального із значень черг по кожному напрямку. Наприклад, модель дорожнього руху центра міста Черкаси в системі CrossRoads має вид, представлений на рис. 2.

4. Пошук оптимальних параметрів управління світлофорними об'єктами

Підсистема проведення машинних експериментів передбачає експериментування з окремим перехрестям (при постійних значеннях параметрів інших перехресть) і оптимізацію параметрів управління групи перехресть. Вхідні величини експерименту – тривалості горіння червоного та зеленого світла – задаються або з файлу, або із заданим кроком від мінімального до максимального значення. Вихідною спостережуваною величиною є середнє значення максимальної кількості автомобілів, які знаходяться в очікуванні в кожному напрямку руху (1). Тривалість проведення експерименту залежить від кількості аналізованих даних, часу моделювання та складності моделі. По завершенні експерименту зі списку вхідних величин кольором виділяються ті, в яких величина (1) досягає мінімального значення, та близькі до мінімального. При наведенні курсору миші на будь-який елемент списку вхідних величин експерименту спостерігається графік змінювання величини (1) у часі, її середнє та максимальне значення. Результати експериментування з перехрестям „Смілянська-Гоголя” наведені на рис. 3.

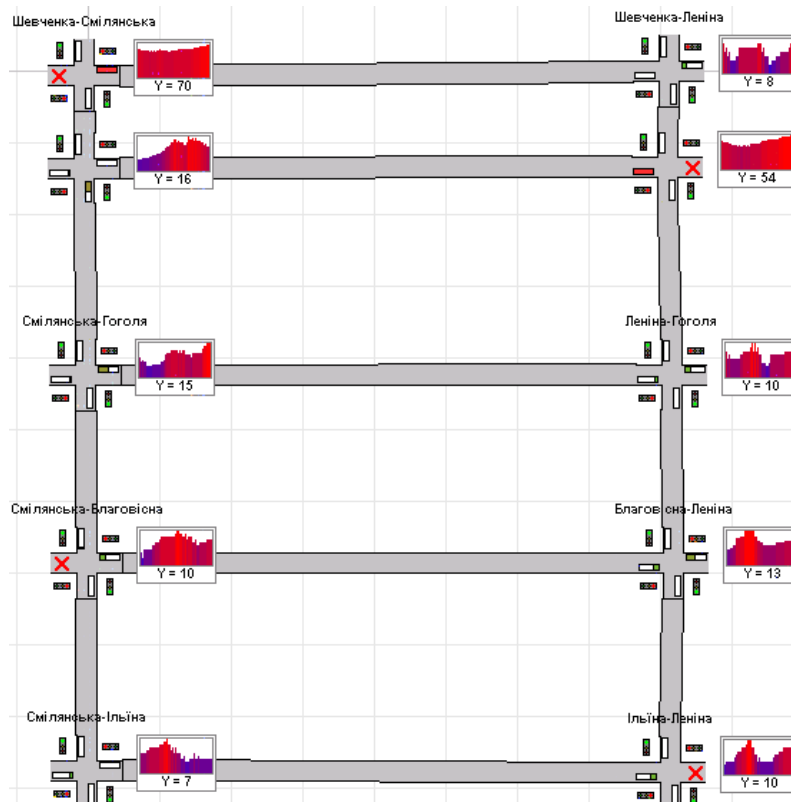


Рис. 2. Імітаційна модель дорожнього руху центра міста Черкаси

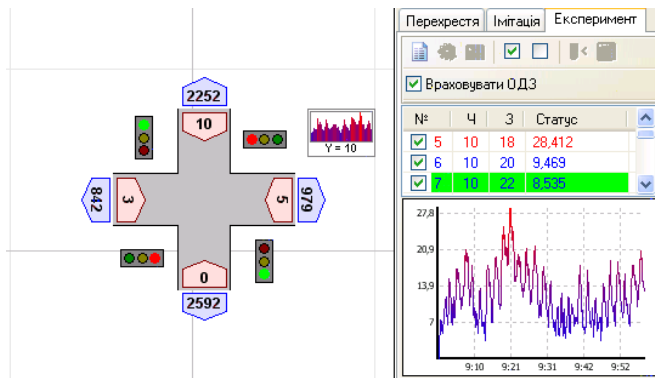


Рис. 3. Результати визначення оптимальних параметрів управління окремим перехрестям

Оптимізація параметрів управління світлофорними об'єктами на ділянці транспортного руху здійснюється методами евристичного пошуку з застосуванням еволюційної стратегії [3]. Елементом популяції є набір параметрів управління по два параметри (червоне та зелене світло) для кожного світлофорного

об'єкта, що включається в розглядувану систему транспортного руху:

$$A = (r_1, g_1, r_2, g_2, \dots, r_n, g_n),$$

де r_j, g_j – тривалості першої та третьої фаз управління відповідно на j -ому перехресті, n – кількість перехресть.

Початкова популяція (генерування 0) формується з випадкових значень, розкиданих в області допустимих значень параметрів. Кожний елемент популяції запускається у „життя”, тобто в імітаційну модель транспортного руху. Результатом такої життєдіяльності елемента популяції є відгук моделі (1). Набори параметрів, які виявились „неспроможними”, тобто дістали у процесі імітації великі значення відгуку моделі, „гинуть” або знищуються. Таким чином, за значенням відгуку моделі здійснюється відбір елементів популяції. Елементи популяції, що пройшли відбір, допускаються до схрещування. Схрещування здійснюється для випадково обраних пар елементів популяції склеюванням частин наборів параметрів. При цьому доцільно не розривати параметри, що відносяться до одного перехрестя. Нехай для схрещування обрані елементи популяції A_j та A_k . В результаті роботи оператора кроссовера випадково обираються перехрестя, параметри яких в елементі-нащадку будуть прийняті такими, як в елементі A_j ; інші перехрестя елемента-нащадка приймають значення параметрів такі, як в елементі A_k :

$$\left. \begin{aligned} A^{(j)} &= (r_1^{(j)}, g_1^{(j)}, r_2^{(j)}, g_2^{(j)}, \dots, r_{n-1}^{(j)}, g_{n-1}^{(j)}, r_n^{(j)}, g_n^{(j)}) \\ A^{(k)} &= (r_1^{(k)}, g_1^{(k)}, r_2^{(k)}, g_2^{(k)}, \dots, r_{n-1}^{(k)}, g_{n-1}^{(k)}, r_n^{(k)}, g_n^{(k)}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$A^{(m)} = (r_1^{(j)}, g_1^{(j)}, r_2^{(k)}, g_2^{(k)}, \dots, r_{n-1}^{(k)}, g_{n-1}^{(k)}, r_n^{(j)}, g_n^{(j)})$$

Мутація здійснюється додаванням випадкового відхилення до результату, який отриманий в результаті схрещування, додаванням з рівною ймовірністю $-1, 0$ або 1 :

$$A = (r_1 + \xi_1, g_1 + \xi_2, r_2 + \xi_3, g_2 + \xi_4, \dots, r_n + \xi_{2n-1}, g_n + \xi_{2n}),$$

де ξ_i – випадкова величина, що приймає значення $-1, 0, 1$ з рівною ймовірністю.

Кожна наступна популяція (генерування j) формується з елементів, що пройшли відбір на попередньому генеруванні (генерування $j-1$), та з елементів, створених у результаті схрещування та мутації. У правилі зупинення еволюційного пошуку користувач задає кількість генерувань.

Результати використання оптимізації для системи перехресть центральної частини міста Черкаси представлені на рис. 4.

Такі параметри моделі, як кількість рядів руху, середній час на подолання відстані від одного перехрестя до іншого, тривалість горіння жовтого світла є відомими величинами. Інтенсивність руху, ймовірність вибору маршруту є величинами, що залежать від пори року, дня тижня, часу доби, погодних умов та інших факторів. Тому ці параметри потрібно визначати з використанням автоматичних пристроїв.

Інтенсивність руху автомобілів рекомендується вимірювати за даними індикаторів інтенсивності руху транспортних засобів, які вмонтовуються в дорожнє полотно. Такий індикатор реагує кожний раз, як по ньому проїжджає транспортний засіб, та заносить ці дані в контролер, що знаходиться в межах даного перехрестя. Для визначення ймовірностей вибору маршруту на перехресті можна скористатись тими ж індикаторами руху або звичайною відеокамерою, зображення якої передається на сервер, розпізнається та обробляється. Зібрані за допомогою автоматичних пристроїв дані направляються на локальний сервер, розташований біля групи перехресть, за допомогою звичайних мережевих технологій. З локальних серверів інформація передається за допомогою мережі Інтернет на головний сервер. Оскільки об'єм даних незначний, очікувана швидкість передачі достатньо висока. Головний сервер заносить дані до загальної бази даних та передає їх до програми CrossRoads, що виконує оптимізацію параметрів управління. Результати оптимізації зберігаються в базі даних та передаються до локальних серверів, які передають їх до контролерів, що встановлюють нові тривалості фаз управління світлофорним об'єктом.

Початкова популяція	Гоголя-Гоголя	Смілянська-Благовісна	Смілянська-Ільїна	Леніна-Гоголя	Благовісна-Леніна	Ільїна-Леніна	Y
Популяція 1	); 3: 23	4: 24; 3: 28	4: 13; 3: 18	4: 20; 3: 22	4: 25; 3: 28	4: 14; 3: 17	6,1
Популяція 2	); 3: 21	4: 27; 3: 27	4: 15; 3: 16	4: 20; 3: 23	4: 26; 3: 29	4: 13; 3: 17	6,75
Популяція 3	); 3: 22	4: 24; 3: 28	4: 14; 3: 18	4: 19; 3: 25	4: 23; 3: 32	4: 15; 3: 18	6,46
Популяція 4	); 3: 19	4: 23; 3: 25	4: 15; 3: 18	4: 21; 3: 25	4: 26; 3: 31	4: 15; 3: 19	5,78
Популяція 5	); 3: 22	4: 26; 3: 29	4: 14; 3: 19	4: 19; 3: 23	4: 27; 3: 28	4: 16; 3: 16	7,18
Популяція 6	); 3: 23	4: 25; 3: 27	4: 14; 3: 16	4: 20; 3: 22	4: 26; 3: 27	4: 14; 3: 17	5,88
	); 3: 22	4: 27; 3: 27	4: 15; 3: 17	4: 19; 3: 24	4: 24; 3: 31	4: 13; 3: 16	6,3
	); 3: 20	4: 25; 3: 27	4: 14; 3: 18	4: 19; 3: 25	4: 24; 3: 31	4: 15; 3: 20	6,17
	); 3: 20	4: 21; 3: 27	4: 13; 3: 19	4: 20; 3: 25	4: 26; 3: 31	4: 16; 3: 18	7,29
	); 3: 22	4: 27; 3: 28	4: 15; 3: 17	4: 21; 3: 22	4: 28; 3: 27	4: 16; 3: 16	8,51
	); 3: 23	4: 26; 3: 27	4: 15; 3: 17	4: 19; 3: 24	4: 25; 3: 29	4: 13; 3: 19	6,98
	); 3: 23	4: 26; 3: 27	4: 15; 3: 18	4: 19; 3: 23	4: 25; 3: 29	4: 16; 3: 16	6,13
	); 3: 23	4: 26; 3: 28	4: 14; 3: 18	4: 17; 3: 24	4: 25; 3: 30	4: 15; 3: 17	5,55
	); 3: 21	4: 28; 3: 27	4: 17; 3: 17	4: 21; 3: 23	4: 26; 3: 29	4: 14; 3: 18	6,45
	); 3: 24	4: 26; 3: 29	4: 14; 3: 18	4: 18; 3: 25	4: 23; 3: 31	4: 13; 3: 19	6,77
	); 3: 20	4: 23; 3: 26	4: 15; 3: 19	4: 21; 3: 26	4: 25; 3: 33	4: 16; 3: 19	6,69
	); 3: 21	4: 22; 3: 26	4: 14; 3: 20	4: 20; 3: 25	4: 26; 3: 31	4: 17; 3: 18	7,03
	); 3: 20	4: 22; 3: 28	4: 15; 3: 17	4: 23; 3: 24	4: 28; 3: 31	4: 16; 3: 19	6,19
	); 3: 22	4: 27; 3: 28	4: 15; 3: 19	4: 20; 3: 25	4: 25; 3: 30	4: 14; 3: 18	7,61
	); 3: 22	4: 26; 3: 28	4: 15; 3: 17	4: 20; 3: 22	4: 28; 3: 28	4: 18; 3: 15	13,07

Сума: 138,896065808533

Налаштування

Наступне покоління Наступні 2 покол. Кросингвер Мутація

Рис. 4. Результати визначення оптимальних параметрів управління системою перехресть

5. Висновки

Дослідження транспортного руху засобами інформаційної технології CrossRoads дозволяє створювати складні імітаційні моделі дорожнього руху через світлофорні об'єкти міста і здійснювати

пошук оптимальних з точки зору кількості машин, що очікують переїзду, значень параметрів управління світлофорними об'єктами. Анімаційні можливості системи дозволяють спостерігати імітацію моделі в часі і перевіряти відповідність побудованої моделі до задуму розробника моделі. Застосування інформаційної технології визначення оптимальних параметрів управління дорожнім рухом на перехрестях міста дозволить значною мірою зменшити накопичення транспорту на вулицях міста, а, значить, зменшити аварійність руху, а також значно зменшити загазованість повітря.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Томашевський В.М., Печенежський Д.С. Концептуальні основи імітаційного моделювання автомобільного дорожнього руху // Праці П'ятої Української конференції з автоматичного управління «Автоматика-98». – Київ: НТТУ «КПІ», 1998. – Ч. III. – С. 317–323.
2. Стеценко І.В., Бойко Ю.В. Імітаційне моделювання транспортного руху через світлофорні об'єкти // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2006. – № 3. – С. 75–79.
3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.

Стаття надійшла до редакції 31.08.2007