

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

МЕЛЬНИК Андрій Юрійович

**Моделювання руху громадського транспорту на
основі мереж Петрі / Traffic Simulation of Public
Transport based on Petri Nets**

спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія
магістерська програма - Комп'ютерна інженерія

Магістерська робота

Виконав студент групи КІМ-21
А. Ю. Мельник

Науковий керівник:
д.т.н., професор В. М. Теслюк

Магістерську роботу допущено
до захисту:

"11" 01 2018 р.

Завідувач кафедри
О. М. Березький

ТЕРНОПІЛЬ - 2018

Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії
Освітній ступінь «магістр»
спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія
магістерська програма - Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.М. Березький

“ 12 ” 00 2016р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

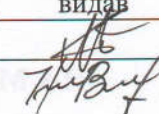
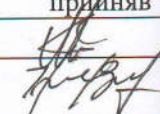
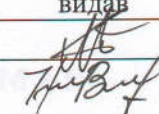
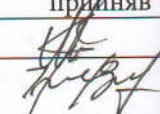
Мельника Андрія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи «Моделювання руху громадського транспорту на основі мереж Петрі/ Traffic Simulation of Public Transport based on Petri Nets» керівник роботи д.т.н., професор, В.М.Теслюк затверджені наказом по університету від 11. ЖОВТНЯ 2016 р. № 669.
2. Строк подання студентом роботи «15» січня 2018 року
3. Вихідні дані до магістерської роботи
Об'єкт дослідження – процес аналізу руху громадського транспорту.
Предмет дослідження – модель транспортної системи на основі теорії мереж Петрі.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - дослідити особливості функціонування громадського транспорту;
 - дослідити відомі алгоритми та засоби моделювання руху;
 - розробити систему функціонування та розвитку громадського транспорту;
 - здійснити обчислення матриці переміщень для всіх рівнів попиту;
 - розробити модель транспортної системи на основі мереж Петрі;
 - виконати тестування розробленої транспортної системи.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - мета роботи, об'єкт та задачі дослідження;
 - класифікація громадського транспорту;
 - засоби моделювання руху;
 - транспортна модель;
 - графік розподілу шарів попиту за дальністю і середнім часом поїздки (на основі опитування);

- алгоритм роботи моделі руху громадського транспорту алгоритм структурного аналізу зображень на основі методів визначення груп симетрії;
- класи Петрі-об'єктної моделі;
- об'єкт «Вхідна точка»;
- зв'язки між Петрі-об'єктами;
- модель системи руху на основі мереж Петрі та граф станів змодельованої системи.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Антиплагіат	Мельник Г.М., доцент		
Нормо-контроль	Гураль І. В., викладач		

7. Дата видачі завдання « 12 » 10 2016 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Аналіз методів, моделей та програмно-апаратних засобів руху громадського транспорту	3.11.2016 – 1.01.2017	Виконано
2	Моделі руху транспорту на основу мереж Петрі	2.01.2017 – 31.05.2017	Виконано
3	Програмно-апаратна реалізація моделей руху транспорту	1.06.2017 – 25.01.2018	Виконано
4	Нормоконтроль, попередній захист	16.01.2018 – 2.02.2018	Виконано
5	Захист	5.02.2018	

Студент

(підпис)

Мельник А.Ю.

Керівник магістерської роботи

(підпис)

д.т.н., професор, В.М.Теслюк

1 НАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ РУХУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Особливості функціонування громадського транспорту

Громадський (комунальний) транспорт - пасажирський транспорт, доступний для використання широкими верствами населення. Послуги громадського транспорту зазвичай надаються за певну плату.

Згідно вузькому тлумаченню громадського транспорту, транспортні засоби, що відносяться до нього, призначені для перевезення досить великої кількості пасажирів одноразово і курсують по визначених маршрутах (відповідно до розкладу або реагуючи на попит).

Більш широке тлумачення включає в це поняття також таксі і йому подібні види транспорту, а також деякі спеціалізовані транспортні системи. У категорію суспільного транспорту не потрапляють, наприклад, шкільні та службові автобуси, внутрішній транспорт великих підприємств і організацій, військові ешелони і т. д., так як вони не доступні широкій публіці і не затребувані нею. Ліфти і ескалатори в спорудах і будинках зазвичай не відносять до громадського транспорту через вузькість призначення (перевезення людей в межах будівлі або будинку). Громадським транспортом також не є екскурсійні автобуси, прогулянкові та екскурсійні автобуси і т. д., так як їх функцією не є перевезення пасажирів по регулярним маршрутам.

Види громадського транспорту у вузькому тлумаченні:

1. Гужові безрейкові вози;

2. Автобуси, в тому числі:

а. звичайний автобус - оснащений двигуном внутрішнього згорання;

б. електробус – оснащений електричним двигуном, з живленням від акумуляторних батарей;

в. гіробуси - схожий на електробус, але енергія зберігається в рухомому маховику, на стоянці розкручуваним вбудованим двигуном. В даний час немає відомостей про роботу на маршрутах.

3. тролейбус - оснащений електричним двигуном з постійним живленням від контактної мережі. У Західній Європі вважається підвидом автобуса;

4. дуобус - звичайний автобус та тролейбус з'єднані між собою;

5. несамохідні причеми до автобусів (наприклад в Швейцарії, а в Україні заборонені через нібито підвищеної небезпеки травматизму пасажирів в них при аваріях). Слід відрізняти їх від причепів, що є частиною зчленованих автобусів;

6. потяги на шинному ході (наприклад, в Паризькому метрополітені) - незважаючи на схожість з автобусом, ці транспортні засоби є поїздами через незвичного габариту і жорстко встановленого шляху проходження по канавам;

7. потяги (вагони з локомотивом або моторвагонні, також різні проміжні форми (наприклад локомотив з моторними і звичайними вагонами)). До поїздів також юридично належать автомобілі на залізничному ході (в Україні такі не використовуються в якості громадського транспорту). Також фактично поїздами є трамваї і фунікулери, проте в Україні юридично ними не є, тому будуть розглянуті в окремих абзацах).

Потяги відрізняються один від одного сильно, найважливіші параметри:

1. Тип колії:

- a. проста (відсутність класичних рейок, а їзда по жолобах на шинному ході (наприклад в Паризькому метрополітені, проте це потяг, а не автобус));
- b. з додатковим середнім третім зубчастим рейкою для зубчастого колеса на деяких гірських дорогах - система поліпшення зчеплення;
- c. з тросом для передачі сили тяги вагону зі станції - на фунікулері;
- d. однорейкових (монорельсова) з їздою зверху від колії;
- e. однорейкових (монорельсова) з їздою знизу від колії;
- f. без контакту з колією при русі за рахунок магнітного підвішування.

2. Тип власного поїзда:

- a. моторвагонний, з моторними вагонами;
- b. на локомотивної тязі;
- c. перехідні форми.

Трамваї (друга назва - трамвайні вагони: Для інформування населення і в побуті, що не мають відношення до трамвайних господарствам осіб в Україні

використовується зазвичай слово «трамвай», по внутрішніх документах транспортних підприємств використовується термін «трамвайний вагон».

Слід відзначити також існування неофіційного громадського транспорту, коли юридично маршрут або рейс маршруту не існують, але водії або спеціально уповноважені особи збирають пасажирів в певних точках. Відповідно до українського законодавства подібні перевезення, якщо вони платні, є незаконним бізнесом, і караються штрафом або позбавленням волі. Фактично це явище теж є громадським транспортом, так як пасажирів набираються з усіх бажаючих і частіше за все є рух по певному маршруту (наприклад місто А біля автобусного вокзалу - місто Б біля автобусного вокзалу).

Межі між трамваєм, метрополітемом і залізницею нечіткі через великого різноманіття систем рейкового транспорту в світі. Сучасний трамвай, який отримує деякі якості метрополітену або залізничного транспорту іноді називають легким рейковим або легкорейковим транспортом.

1.2 Аналіз засобів моделювання руху громадського транспорту

На даний момент існує дуже багато різних програмних комплексів які дозволяють імітувати, моделювати транспортні мережі та потоки. Але до найбільш відомих та продуктивних, з широкими можливостями задання умов можна віднести такі системи, як: Vissim, Pa-Ramics, Autobahn, Aimsun Integration, Plansim-T, Ihsdm, Transims, Flexsyt-Ii, Simtraffic 6, Mitsim та ін. [18].

Модель WIEDEMANN`а в складі програмного комплексу PTV VISSIM. Імітаційне моделювання. PTV VISSIM - програма, що розвивається вже понад 30 років. Звичайно ж, на ринку присутні і інші подібні засоби моделювання, проте функціональності, точності і комплексному підходу VISSIM`а немає рівних.

Система імітації PTV VISSIM складається з двох окремих програм, які взаємодіють один з одним за допомогою інтерфейсу, в якому відбувається обмін даними вимірів детекторів і даними про станах систем регулювання. Результат імітації - це анімація руху транспорту у вигляді графіки в режимі реального часу і наступна видача всіляких транспортно-технічних параметрів, таких як, наприклад, розподіл часу в дорозі і часу очікування, диференційованих за групами користувачів.

У модель транспортного потоку закладені модель проходження за що їхав транспортним засобом (ТЗ), з метою відображення руху в колоні за що їхав ТЗ по одній смузі руху і модель зміни смуги руху. Залежна від транспортного руху логіка регулювання моделюється за допомогою зовнішніх програм регулювання світлосигнальних установок. Програма для логічного управління запитує параметри детекторів в такті від 1 секунди до 1/10 секунди (в залежності від настройки і типу світлофорних установок). З отриманих значень і тимчасових інтервалів програма визначає стан всіх систем регулювання для наступного кроку імітації і вносять їх в імітацію транспортного потоку.

На багатосмугових проїзних частинах водій в VISSIM-моделі враховує не тільки попереду йдуть транспортні засоби, а й транспортні засоби на обох сусідніх смугах. Особливу увагу у водія додатково викликає світлофор в 100 м перед досягненням стоп-лінії.

Істотним для точності системи імітації є якість моделі потоку транспортного руху, тобто методу, за допомогою якого розраховується пересування транспортних засобів в мережі. На відміну від більш простих моделей, в яких за основу беруться постійні швидкості і незмінне поведінку проходження за попереду йдуть транспортними засобами, PTV VISSIM використовує психофізіологічну модель сприйняття WIEDEMANN'a (1974 г., 1999 г.). Основна ідея моделі полягає в тому, що водій ТЗ, що рухається з більш високою швидкістю, починає гальмувати при досягненні свого індивідуального порога сприйняття щодо віддаленості від йде, коли дистанція до нього починає сприйматися їм як занадто маленька. Так як він не може точно оцінити швидкість йде попереду ТЗ, то його швидкість буде падати нижче швидкості рухається попереду ТЗ до тих пір, поки він не почне знову трохи

прискорюватися після досягнення свого порога сприйняття, коли він почне сприймати виниклу між ним і йде попереду ТЗ дистанцію як занадто велику. Це веде до постійного легкому прискоренню і уповільненню. За допомогою функцій розподілу для швидкості і дистанції імітується різну поведінку водіїв.

AIMSUN 6.0 являє собою повнофункціональний комплекс інструментів аналізу транспортних потоків і перевезень, який може використовуватися для планування, детального моделювання та дослідження вимог і умов діяльності в сфері транспорту. Продукт реалізує інтегровану платформу, придатну для виконання як статичного, так і динамічного моделювання.

AIMSUN 6.0 спроектований таким чином, що його можна легко вбудувати в звичне користувачеві робоче оточення. Продукт здатний імпортувати і обробляти дані від різних геоінформаційних систем, включаючи ESRI, TeleAtlas, NAVTEQ і ін. Програма може зчитувати графічну інформацію САПР і растрові зображення, що спрощує завдання редагування та подання проектної документації. Система AIMSUN 6.0 забезпечує завантаження інформації з датчиків (як збережену в базах даних, так і одержувану в режимі реального часу) для цілей моделювання, планування або візуалізації. Продукт AIMSUN 6.0 являє собою програмне середовище яке постійно модернізується та оновлюється, архітектура якої допускає наявність необмеженої кількості компонентів, реалізованих TSS, сторонніми розробниками або самими користувачами. Користувач має ті ж повними можливостями програмованого доступу до інструментів AIMSUN 6.0 і засобами їх адаптації, що і творці системи.

AimsunMicro реалізує принципи імітаційного моделювання на мікрорівні, в процесі імітації безперервно моделюється рух кожного автомобіля в межах дорожньої мережі з урахуванням заданих поведінкових моделей. В процесі мезоімітації автомобіль також трактується як окрема сутність, проте поведінкові моделі спрощені з незначною втратою ступеня реалізму, але з орієнтацією на більш адекватне відтворення подій, що виникають в моделюється процесі.

AimsunMacro - це компонент Aimsun, який вирішує завдання транспортного планування та аналізу запитів. Macroспроєктований і реалізований в допомогою аналітику, що застосовує на практиці чотиріступінчасту модель транспортного планування. Основні функції програми такі: статичний розподіл (призначення) трафіку (одно- і багато користувачів), аналіз запитів (включаючи імпорт / експорт матриць, маніпуляції з матрицями, аналіз місця розташування детекторів і коригування матриць) і генерація обходів.

Реалізує парадигму aim34-рівневого планування транспортних операцій в контексті єдиної інтегрованої середовища. Здійснює збалансований розподіл призначених для користувача завдань, підтримує аналіз вимог і взаємообмін мережевими моделями і відповідними даними про транспортний потік з мікроімітатором. Спрощує спільне застосування засобів макро- і мікроаналізу (як, наприклад, в задачі, пов'язаної з детальною імітацією обмеженою підмережі в складі більшої мережі стратегічного характеру).

Уявлення динамічних об'єктів

Моделювання починається за визначеним сценарієм зі завантаження параметрів моделювання і статичних компонент мережі доріг. Потім ініціюється ітераційна процедура зі заданим розміром кроку. Завдання, що виконуються усередині кожної ітерації, включає:

1. Модифікацію стана сигналів руху, ознак і особливих ситуацій.
2. Модифікацію самих коротких шляхів і таблиць маршрутів.
3. Читання нових місць призначення, початку координат таблиці маршрутів і відповідне місце транспортних засобів у віртуальних чергах.
4. Завантаження транспортних засобів із віртуальних черг у мережу.
5. Модифікація можливостей прискорення транспортних засобів і перевірка, чи повинні вони змінювати смугу або допустимі інтервали для бажаної зміни смуги.
6. Відповідно до нових позицій транспортних засобів модифікуються їхні швидкості. Нові дані (швидкість, розміщення й інші) записуються модулем системи спостереження.

7. Наприкінці ділянки дороги транспортний засіб або віддалиться з мережі (якщо він досягає свого місця призначення) або поміщається на наступну ділянку по ходу дороги.

8. Модифікується відображення на дисплеї, якщо допускається графічний інтерфейс користувача.

9. Обчислюються міри ефективності або передається стан мережі зовнішньому графічному інтерфейсу користувача або модулям.

10. Модифікується час моделювання і повернення до наступної ітерації.

Імітатор використовує підхід моделювання з часовим поділом для обробки переміщень транспортних засобів. У відповідь на зміну смуги й одержання інформації від попередніх автомобілів, пов'язаних зі зміною смуги, тобто викликаються функції розрахунку динамічних параметрів для кожного транспортного засобу кожні w секунд. Швидкості і позиції транспортних засобів модифікуються кожний t секунд. Розмір кроку повинний бути в розрахунковому модулі більшим, ніж w або дорівнює розміру кроку t . Цей фіксований розмір кроку прийнятий для загального керування потоком даних. Для індивідуальних транспортних засобів розмір кроку для виклику визначених функцій моделювання може змінюватися як час реакції водія, що зустрічає специфічні умови, наприклад, різке скорочення відстані між транспортними засобами й інше.

Модель вибору маршруту використовується, щоб фіксувати рішення про вибір маршруту водієм у відповідь на інформацію про трафік руху. У залежності від доступу до інформації в імітаторі прийняті два типи водіїв: поінформовані і не поінформовані[23].

Оскільки водій вибирає маршрут, то обчислюється можливість вибору вихідного зв'язку для кожного перетинання доріг [24]. У даний час імітатор використовує модель логічного багаточлена і розглядає тільки затримку в часу руху при виборі маршруту (див. рис. 1.2).

$$p(l | j, t) = \frac{\exp(u_l(t))}{\sum_{m \in L_j} \exp(u_m(t))} \quad (1.1)$$

де $p(l|j,t)$ - можливість вибору зв'язку l для транспортного засобу, що очікує прибуття у вузол j у момент часу t ; L_j - множина виходів із зв'язку вузла j ; $u_l(t)$ – вигода вибору наступного зв'язку маршруту після зв'язку l , що визначається так: де $cl(t)$ – очікуваний час для транспортного засобу, щоб перетнути зв'язок l , що вводить цей зв'язок під час t ; $C_k(t+cl(t))$ – очікуваний час переміщення для самого короткого шляху з вузла k (що знаходиться до вузла зв'язку l) до місця визначення транспортного засобу, який досягає вузла j під час t ; a, b – модельні параметри.

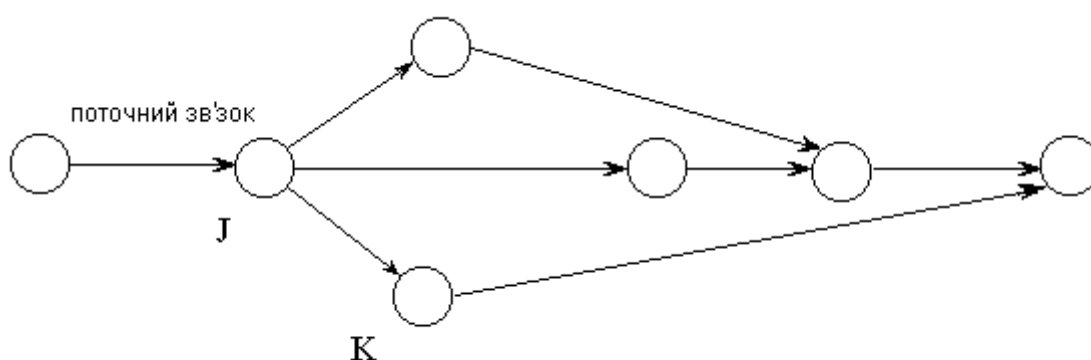


Рисунок 1.2 Граф дорожньої мережі

Множина вибору L_j , включає все з'єднання вихідних зв'язків, що знаходяться далі по ходу поточного зв'язку вузла, які можуть вибрати транспортні засоби ближче до його місця призначення. Таким чином, зв'язок повинний задовольняти обмеженню $C_k(t+cl(t)) \leq C_j(t)$, щоб бути включеної до набору вибору маршруту. Це обмеження також запобігає транспортним засобам від вибору такого шляху, який містить цикли.

Можуть також використовуватися більш складні моделі, що включають інші алгоритми вибору маршруту. Модульна конструкція імітатора враховує просту заміну заданих за умовчанням моделей.

Транспортна модель є програмним комплексом[25], що містить в собі блоки з даними та блоки розрахунків. Дані блоки створюють неподільну базу з даними, призначенням якої є зберігання і обробка інформації яку вона отримує. Ця інформація потрібна для розрахування транспортних потоків. Розрахункові

блоки, які допомагають реалізувати алгоритми розв'язання задач певного математичного програмування, конкретно орієнтуються на розрахунок потреби в пересуваннях і транспортних потоках[28].

Опираючись на це, створення бази для моделі і записування в неї вхідних даних потрібно поділити на два незалежних етапи – це створення автотранспортної пропозиції і моделювання попиту на транспорт, показано на рисунку 1.3

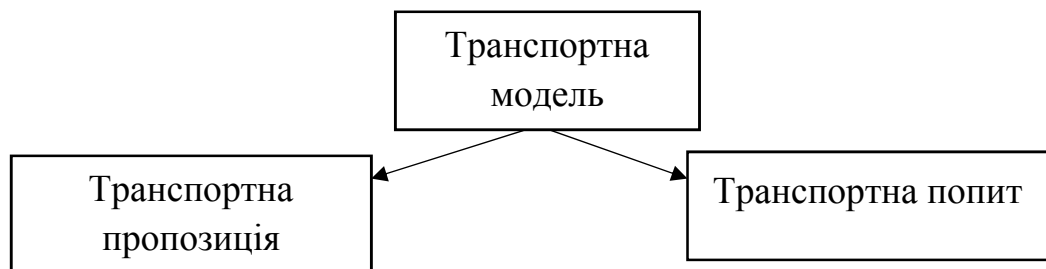


Рисунок 1.3 – Етапи створення основи моделі

Автотранспортна пропозиція містить складові, завдяки яким транспортна система мегаполісу відповідає потребам вже сформованому транспортному попиту. Автотранспортна потреба кількісно і якісно оцінює попит жителів міста в пересуванні. Враховуючи потреби мешканців, за для покращення їхнього переміщення у всіх потрібних напрямках.

Транспортна пропозиція:

1. Сітка розгалужень руху для різних типів автотранспорту, параметри та умови її руху, відносячи сюди і технічні дорожнього руху, які дозволяють організувати сам рух;
2. Картографічна відомість (топографічна мапа, цифрова мапа міста);
3. Види шляхів та вулиць, середньорічне добове навантаження, пропускна здатність перехресть, перетинів і т.д.

Транспортний попит:

1. Статистичні дані щодо розподілу кореспонденцій поїздок по цілях ;

2. Статистичні дані: Відомість кількості населення, працездатне населення, робочі місця у сфері послуг робочі місця,, студенти і кількість навчальних місць;

3. Статистика про увесь розподіл транспортних шляхів по типам автотранспорту на території дослідження.

На базі автотранспортної пропозиції вираховуються затрати на пересування по кореспонденції, вираховуються затратні матриці. Відносно кількості генерованого попиту і затратних матриць здійснюється розмежування попиту, створюються окремі кореспондентські матриці для усіх прошарків попиту відносно транспортного регіону[30].

Грунтуючись на змодельованій транспортній пропозиції, розраховуються витрати які були затрачені на здійснення кореспонденцій – це означає, що розраховуються матриці затрат. Маючи обсяг згенерованого попиту і матриці затрат ми створюємо розподіл попиту, тобто розраховуються конкретні матриці кореспонденцій для всіх наявних шарів попиту відповідного транспортного району. Конкретна поведінка людей в користуванні транспорту, основу якої являє функція оцінки, отримує незалежні параметри – коефіцієнти функції (a, b, c). Коефіцієнти і їх значення отримуються в результаті опитування населення, які приведені на рисунку 1.4.

Саме на базі опитування створюється певна послідовність пересувань за одну добу. Таким прикладом послідовності переміщень чи послідовної трансформації людської діяльності на протязі доби є ряд конкретної закономірної активності Д-Р-М-Д (Дім – Робота – Магазин – Дім), від них створюються однотипні переміщення Д-Р (Дім – Робота), Р-М (Робота – Магазин), М-Д (Магазин – Дім), які, можуть бути як початком, так і завершенням усього переміщення, тобто джерелом–ціллю.

За допомогою функцій оцінки здійснюється поділ пластів попиту (оцінюється імовірність слідування з пункту і в пункт j). Почергово відносно опитування мешканців міста про їхню зайнятість та середній час подорожі для кожного пласту попиту складається та вираховується функція розцінки.

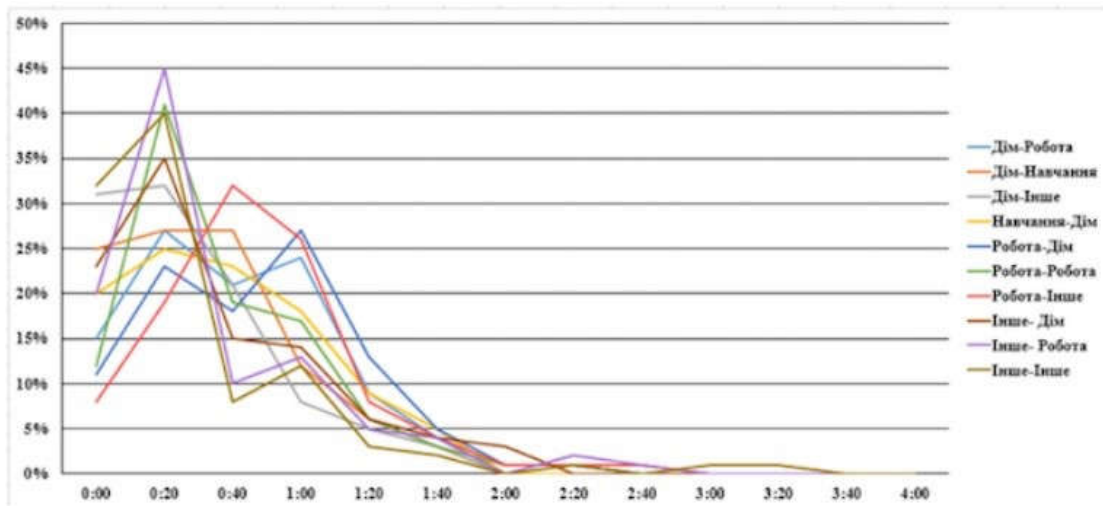


Рисунок 1.4 – Результати опитування населення

У транспортних моделях мегаполісів під час опрацювання потреб людей у пересуванні, тобто попиту застосовуються основні поняття: Logit, Kirchoff, Вох-Сох,

Розмежування шарів попиту за конкретними режимами руху відбувається на основі наступних функцій оцінки: Logit, Kirchoff, Вох-Сох, Комбіновано, виду:

$$f(U_{ij}) = e^{(c-U_{ij})} \text{ – Logit функція; } (1.2) \text{ – функція Вох-Сох } (1.4)$$

$$f(U_{ij}) = U_{ij}^c \text{ – функція Kirchoff; } (1.3) \text{ – функція } (1.5)$$

комбіновано

де $f(U)$ – ймовірність здійснення кореспонденції в i район j з затратами U ; U - затрати на здійснення кореспонденції з району i в район j на певному виді транспорту, хв.; a, b, c – коефіцієнти.

Функція оцінки визначається з опитування населення міста про дальність і середній час поїздки на певному виді транспорту (індивідуальному, громадському). В результаті розрахунку, отримані матриці кореспонденції по всіх режимах руху.

1.3 Методи та моделі аналізу руху громадського транспорту.

Моделювання транспортних потоків стало однією з основних проблем в науці, мало не з появи перших автомобілів. Вважається, що родоначальником даної галузі є вчений ще з царської Росії Дубелір зі своєю книгою «Міські вулиці і мостові» (1912 рік). За 100 років безперервних досліджень виробилося багато хороших моделей, які допомагають сьогодні будувати якісні та швидкі дороги. Але якщо вважати, що не залишилося невирішених питань, то це велика помилка, адже до цих пір світлі уми нашої планети ламають голови над рішеннями завдань, про які іноді запитують навіть діти. Наприклад, як налаштувати світлофор так, щоб біля нього не утворювалася пробка?

Найкоротший шлях. Як можна було здогадатися, дорожню мережу зазвичай представляють у вигляді графа. Незважаючи на те, що більшість доріг двосторонні, існують і односторонні ділянки, значить граф орієнтований. Для полегшення розуміння, будемо вважати, що граф пов'язаний, а саме, що з будь-якої вершини графа завжди можна потрапити в будь-яку іншу.

Уявімо таку ситуацію, з міста А в місто В веде дві порожні дороги з однаковим покриттям, яку вибрати краще? Правильна відповідь: яка коротше. Значить граф зважений, так як кожному ребру можна поставити у відповідність число, наприклад, є довжиною відповідної дороги. Така система зображена на рисунку 1.4

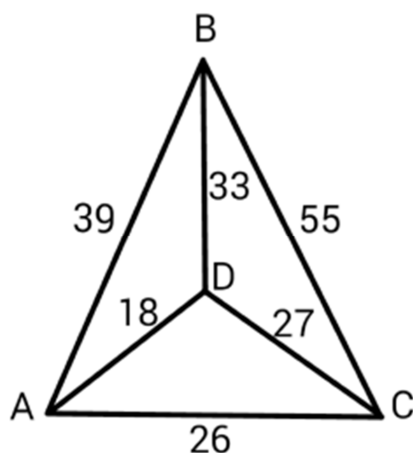


Рисунок 1.4 – представлення дорожньої мережі за допомогою графа

Але якби все було так просто, компанії не витрачали б величезні суми на розробку сучасних навігаторів. А все через те, що бувають високошвидкісні магістралі, а бувають сільські ґрунтовки, бувають вузькі міські вулички. Ну і відповідно головна проблема вибору правильної траси - це пробки.

Замість того, щоб над ребрами писати безліч характеристик (Рисунок 1.5), зазвичай пишуть функцію, а саме залежність часу проходження ділянки дороги від кількості автомобілів.

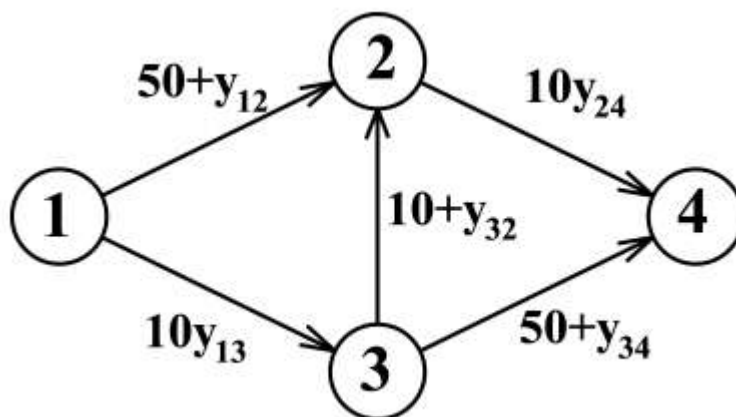


Рисунок 1.5 – Залежність часу проходження ділянки дороги від кількості автомобілів

Вище на рисунку 1.5 y_{12} - це кількість машин, що проїжджають через вбране поперечне січення за одиницю часу на проміжку між містами 1-2.

Максимальний Потік. Для того щоб дізнатись наскільки хороша та чи інша дорожня мережа. Найчастіше потрібно з'ясувати скільки машин можуть одночасно їхати по тій чи іншій трасі. За часів другої світової війни ВВС США дуже цікавило, наскільки швидко і скільки військових можна переправити в критичні точки бойових дій. Рішення проблеми знайшов Математик Джордж Бернард Данциг.

Нехай ємність ребра - це максимальна інтенсивність потоку, що проходить через ребро.

А насичене ребро - це ребро, по якому проходить максимальний потік.

Дамо кожній ділянці пару чисел (l, l_{\max}) . l - досягнутий до сих пір потік по ребру, спочатку він дорівнює нулю, потім це число буде тільки збільшуватися, поки не досягне l_{\max} , ємності ребра.

Поки хоча б на одному маршруті з s все ребра - ненасичені (тобто на всіх ребрах $l < l_{\max}$), цикл триває.

1. Шукаємо будь-яку ділянку траси, що містить тільки ненасичені ребра з s в d . Якщо подібну ділянку ми знайти не можемо, то цикл припиняється, максимальний потік, який ми намагаємося знайти - це сума потоків ребер, що приходять в d .

2. Ми знайшли що доповнює маршрут. Визначаємо значення максимального потоку m , який ми можемо пропустити по даному маршруту. Він визначається як мінімальна з усіх можливих різниць ємності l_{max} і існуючого потоку s по всіх ребрах маршруту.

3. Кожне s на ребрі складаємо з m , таким чином хоча б одне ребро перетворюється в насичене.

4. Повертаємося до (1.)

Мікроскопічна модель. У перших двох абзацах описувалася макроскопічна модель, проте ще з 1950-х років вченими почала розглядатись мікроскопічна модель. Основна відмінність полягає в тому, що потік розглядається не як єдине ціле, а як кожен автомобіль окремо.

У мікроскопічних моделях транспортних потоків виконується умова, що прискорення конкретного автомобіля залежить від сусідніх транспортних засобів. Найбільший вплив на поведінку водія надає машина, що рухається попереду (лідер). Дана модель є складною і неоднозначною, тому вчені до цих пір пишуть статті, в яких пропонують все більш досконалі функції, що описують рух машин, проте чим більше формула досконала, тим більше вона стає більшою і складнішою.

Уподобання пасажира. Уявіть, що Ви - володієте великим таксопарком і Ви намагаєтеся зрозуміти, скільки оптимально мати автомобілів, яку мати політику прийому замовлень і кого саме послати по дзвінку?

Найпростіший алгоритм перерозподілу - нічого не робити, а коли на зупинку прийде потенційний клієнт, послати до нього найближчий вільний автомобіль. Але раптом у нас як раз до цього місця вже наближається автомобіль з пасажиром, якому потрібно там вийти? Значить, ми відправили таксиста даремно. Отже, треба враховувати і автомобілі, які вже прямують до нашої станції.

Наступне важливе питання - як побудувати так званий евристичний алгоритм? Евристичним називається алгоритм, який якийсь використовує деякі ймовірності з майбутнього. Наприклад, ми знаємо, що скоро прибуде поїзд на станцію і з нього вийде багато пасажирів, які візьмуть таксі. Може, варто відправити туди автомобілі заздалегідь? Якщо так, то наскільки заздалегідь і скільки автомобілів?

Один з алгоритмів, для кожної станції задає певний індекс, що залежить від уже стоячих пасажирів, від деякої статистики по майбутнім прибуттям і від місцезнаходження автомобілів в системі.

Перехрестя. Розглянемо приклад перехрестя яке зображено на рисунку 1.6. На малюнках вказані швидкості потоку в годину пік і схема роботи перехрестя. Яка тривалість фаз світлофора оптимальна (щоб кількість машин на перехресті було мінімальним)?

Багато хто помічав, що більшість перехресть ніяк не використовують інформацію про потоках автомобілів і задані на них тривалості фаз світлофора близькі до стандартних. Багато запропонують зробити тривалості фаз пропорційними потоку по кожному напрямку. Але це може привести до того, що буде накопичуватися довга пробка по одному з напрямків. Ефективне рішення, досить очевидно ...

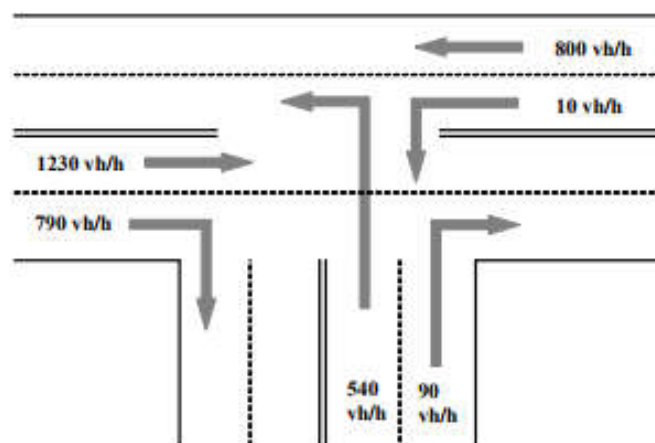


Рисунок 1.6 – Схема роботи перехрестя

Нехай потік автомобілів, що рухається по шестисмуговій дорозі, доходить до Т-подібного перехрестя. І нехай метою третини водіїв є поворот наліво, а метою інших - продовжити рух. Повертати і рухатися прямо

одночасно не можна (рисунок 1.6). В такому випадку дві ліві смуги займуть водії, які хочуть повернути ліворуч. Чому саме дві смуги займуть водії відповідь складна математична модель. Потік транспортних засобів через світлофор при включенні зеленого сигналу для прямого руху буде не теоретичним, максимально можливим для заданого числа смуг (6000 автомобілів / годину), а тільки 4 000 автомобілів / годину. Значить на даній ділянці потрібно не 6 смуг, а всього лише 4.

Оскільки середовище міст і регіонів постійно ускладнюється, то й транспортні проблеми перманентно інтенсифікуються та загострюються. В наш час неможливо проектувати транспортні розв'язки у великих містах без урахування розвитку інфраструктури цих міст. Аналогічне можна сказати і про організацію дорожнього руху. В.О. Іванов зазначає, що саме тому інтегроване розв'язання таких проблем можливе лише при застосуванні засобів імітаційного моделювання дорожнього руху і впровадженні комплексу математичних моделей, які орієнтовані на вирішення конкретних задач прогнозування і управління дорожнім рухом.

На думку експертів, фахівців і науковців системи імітаційного моделювання дорожнього руху, які використовуються на тлі моделювання розвитку міст і регіонів, дозволяють суттєво знизити фінансові витрати на вирішення транспортних проблем.

Імітаційне моделювання використовується і в процесі дослідження розвитку самих міст і регіонів. Найбільш повно результати таких досліджень викладені в роботі Дж. Форрестера «Динаміка розвитку міста».

На сучасному етапі при моделюванні міст використовуються новітні комп'ютерні технології. В новітніх імітаційних моделях користувач отримує можливість майже "реально" помандрувати містами, які віддалені від нього на тисячі кілометрів. Крім того, такі системи моделювання можна використовувати як в розважальних, так і в наукових цілях, проводячи на них дослідження як технічного, так і соціального характеру.

Зазначимо, що імітаційне моделювання — це метод, який дозволяє відтворювати процеси та описувати їх за допомогою комп'ютера так, ніби вони відбуваються в реальних умовах, тобто насправді. Імітаційну модель можна

«програти» в часі багато разів, вводючи різні дані, що дає можливість отримати достатньо стійку статистику. Імітаційна модель — (у вузькому значенні) логіко-математичний опис об'єкта, який може бути використаний для експериментування на комп'ютері в цілях проектування, аналізу і оцінки функціонування об'єкта.

Отже, імітаційне моделювання — це метод дослідження, заснований на тому, що система, яка вивчається, замінюється імітатором і саме з ним проводяться експерименти з метою отримання інформації про цю систему.

Експериментування з імітатором називають імітацією (імітація — це проникнення в суть явища, не вдаючись до експериментів на реальному об'єкті). Імітаційне моделювання розглядається як окремий випадок математичного моделювання. Існує клас об'єктів, для яких з різних причин не розроблені аналітичні моделі або не розроблені методи розв'язування задач про такі моделі. В цьому випадку математична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

Метою створення імітаційного проекту автомобільного дорожнього руху є моделювання мережі дорожнього руху, визначення пропускної спроможності ділянок доріг, а також знаходження оптимальних маршрутів для спеціальних транспортних засобів, таких як швидка допомога, міліція, пожежна служба та інші.

Виходячи з принципів побудови візуальних об'єктних систем, необхідно провести статичну декомпозицію об'єктів для моделі дорожнього руху. Основним компонентом верхнього рівня візуального розміщення імітаційної моделі є карта основних автомагістралей України, що у свою чергу розкладається на множину інших компонентів, кожний із яких являє собою карту міста або карту замських доріг. Кожний компонент міського розміщення може бути розчленований на компоненти, які відображають усілякі фрагменти міської мережі доріг (районів). Ті, у свою чергу, поділяються на різноманітні ділянки доріг: перетинання, лінійні ділянки, ділянки з круговим рухом, нахили, підйоми, ділянки з поворотами, ділянки з тунелями, ділянки з обмеженням за висотою (проїзди під мостами), ділянки з зупинками громадського транспорту, ділянки з обмеженнями вантажності (мости, естокади).

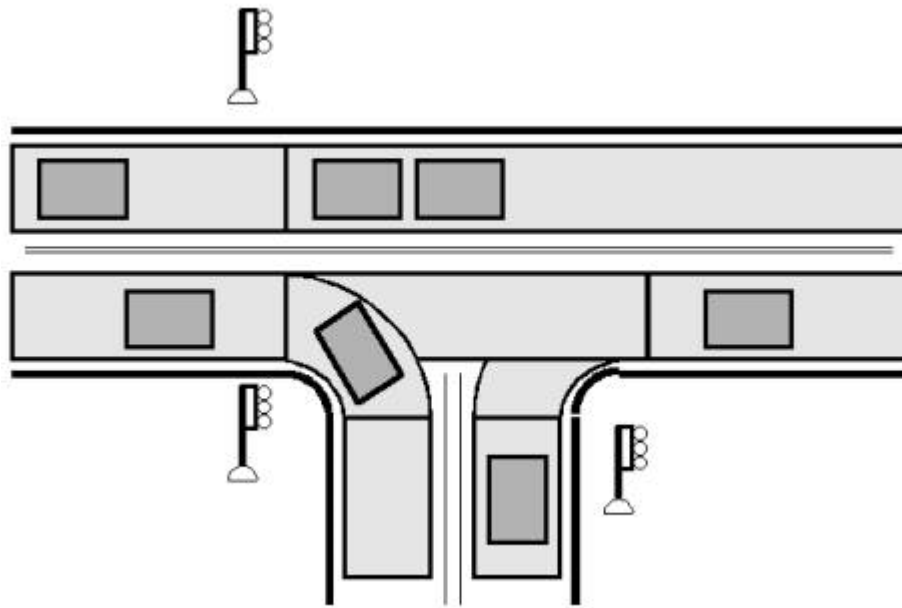


Рисунок 1.5– Регульоване перехрестя з доменами

Відмінністю моделі, що розроблена, від інших їй подібних аналогів, перерахованих вище, є те, що імітаційна модель створюється автоматично для тієї ділянки дорожнього руху, яка відображається на екрані дисплея. Такий підхід не вимагає побудови повної вичерпної імітаційної моделі і її збереження в пам'яті комп'ютера, тобто використовується принцип "що відображаю, те і моделюю". Як найменший відображуваний елемент моделювання був узятий домен, що являє собою односмугову регульовану або нерегульовану ділянку дороги. Передбачається, що ширина смуги достатня для розміщення автомобіля будь-якої ширини, але не більш одного автомобіля за шириною. Ділянки доріг розділяються на домени так, щоб світлофори, знаки, переходи, розгалуження, консолі доріг були на кінцях доменів. Таким чином, домен – це елементарна односмугова ділянка дороги, протягом якої автомобілі не зустрічають перешкод крім інших автомобілів. Наприкінці такої ділянки по ходу руху автомобіля можуть знаходитися перешкоди: світлофор, знак, перехід, дороги, що перетинаються з ділянкою, розгалуження доріг. Очевидно, що будь-яка ділянка дороги може бути розбита на домени, причому на розглянутій ділянці реальної дороги можуть знаходитися одночасно декілька доменів, як показано на рис. 1.5.

У залежності від ділянок доріг, на які накладаються домени, динамічний об'єкт домен характеризується різною довжиною та кількістю автомобілів на ньому.

Домени містять у собі динамічні об'єкти автомобілі. Об'єкт автомобіль використовується для моделювання руху автотранспортного засобу. Він створюється на ділянці дороги для позначення конкретного транспортного засобу з його характеристиками. Транспортний засіб може належати до одного з таких типів: мотоцикл, легковий або вантажний автомобіль, пасажирський транспорт, спеціальний транспорт (міліція, пожежна служба, швидка допомога) та інші.

Динамічний об'єкт автомобіль у залежності від транспортного засобу, що він відображає, має різноманітні характеристики, що включають: негативне мінімальне прискорення (гальмування), позитивне максимальне прискорення (розгін), довжину, висоту, ширину і повну масу автомобіля (маса спорядженого транспортного засобу з вантажем і пасажирами), пріоритет, що може встановлюватися для громадського транспорту і спеціального транспорту.

Об'єкт автомобіль може входити в об'єкт домен, пересуватися в ньому, зупинятися, ставати до черги і покидати його. Попадаючи в якийсь визначений домен, "поведінку" автомобіля визначають параметри домену (максимальна дозволена швидкість, знаки та інше).

У моделі повинні відтворюватися особливі ситуації, що можуть бути активізовані в будь-який час. Під особливими ситуаціями припускається затор на трасі, аварія, ефект поперечного звуження та інші. Інцидент може бути генерований стохастичним або детермінованим засобом. Детерміновані інциденти повинні визначатися користувачем. Стохастичні інциденти створюються для кожної ділянки дороги відповідно до заданого ймовірнісного розподілу.

1.4 Постановка задач проекту.

Постановка проблеми і методи її вирішення. Необхідно створити систему імітаційного моделювання дорожнього руху, яка має низку переваг у порівнянні з існуючими системами моделювання транспортних мереж. Існує багато систем імітаційного моделювання транспортних мереж.

Всі вони мають один основний недолік: швидкість роботи або розмір транспортної мережі обмежені розміром оперативної пам'яті і потужністю процесора. Одним із варіантів рішення цієї проблеми є зниження рівня деталізації моделювання, в тому числі використання збільшення розміру кроку моделювання. Це призводить до зниження якості моделі транспортної мережі.

Іншим варіантом рішення цієї проблеми є моделювання лише підмережі транспортної мережі. Однак, це призводить до того, що при виникненні затору водій, насправді, може обрати маршрут, який не моделюється в системі.

Проблеми підвищення швидкості роботи системи, обмеження розміру транспортної мережі і обмеження кількості транспортних засобів можуть бути вирішені шляхом реалізації системи моделювання дорожнього руху як розподіленої системи.

Таким чином, вказані вище проблеми можуть бути вирішені без зниження рівня деталізації моделювання. Швидкість роботи системи залежить від кількості комп'ютерів, які використовуються для моделювання. Розподілені системи мають такі переваги:

1. вартість N комп'ютерів значно нижча за вартість N -процесорного комп'ютера;
2. для збільшення потужності обчислювальної бази, яка використовується при моделюванні, необхідно придбати потрібну кількість комп'ютерів замість заміни багатопроцесорного комп'ютера на більш продуктивний;
3. при виході з ладу одного з комп'ютерів, безперебійна робота розподіленої системи може бути продовжена.

Автотранспортна мережа міста відіграє роль ключової системи в соціально-економічних явищах сучасного суспільства, саме тому вона виступає важливим об'єктом дослідження в галузі інформаційних технологій. Транспорт належить до сфери матеріального виробництва, є його четвертою галуззю (після видобувної, обробної промисловості та сільського господарства) і

продовжує виробничий процес, доставляючи продукти від місця виробництва до місця споживання. Продукцією транспорту є сам процес переміщення, який здійснюється за допомогою транспортних засобів як у сфері виробництва, так і у сфері обігу.

Особливого значення моделювання транспортних перевезень безперечно набуває в умовах економічної кризи. У структурі витрат багатьох компаній витрати на транспортування становлять вагомую частку і можливість знизити їх завдяки оптимізації перевезень дасть змогу істотно підвищити фінансову стійкість компанії.

Потужність функціонування автотранспорту є ваговою частиною існування мегаполісу, що відгукується на розвитку і добробуті мешканці. Благополучна вирішення питань у сфері підняття мобільності жителів дозволена за умови сталої та продуктивної роботи автотранспортної галузі як виняткової частини виробничої конструкції держави, це значно збільшує рівень життя громади. Якраз тому вивчення транспортної системи мегаполісу у межах сучасності не втрачає своєї актуальності, потребує комплексного підходу, наприклад з боку суспільно географії.

Для дослідження транспортної системи, проблем розподілення трафіку, та навантаження транспортних шляхів – інформаційні технології використовують весь свій методологічний інструментарій.

Метою є розроблення моделі транспортної системи на основі теорії мереж Петрі, яка дає змогу дослідити динаміку проектованої системи.

2. МОДЕЛІ РУХУ ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВУ МЕРЕЖ ПЕТРІ

2.1 Особливості застосування апарату мереж Петрі для дослідження системи контролю руху міського транспорту

Мережа Петрі – це графічний і математичний засіб моделювання систем і процесів. Уперше описані Карлом Петрі в 1962 році.

Графічно представляється у вигляді дводольного орієнтованого мультиграфу з маркерами («фішками») (маркований орієнтований граф), який має дві групи вершин: позиції та переходи. Позиції можуть бути пустими або маркованими та визначають <стан> мережі. Переходи визначають дії.

Орієнтовані ребра графу задають зв'язки між позиціями та переходами. Процес функціонування мережі Петрі полягає в послідовному «виконанні» переходів, та відповідному перерахунку кількості «фішок» у позиціях. Дуги можуть бути кратними, коли два вузли з'єднані більше ніж однією дугою однакового напрямку. Альтернативно, для відображення кратності дуг може використовуватися функція «ваги» дуг.

Як правило, мережами Петрі моделюють паралельні (синхронні та асинхронні) системи і процеси. Спочатку запропоновані в докторській дисертації Карла Петрі в 1962 році вони одержали подальший розвиток у роботах таких вчених як Тадао Мурата, Курт Йенсен, Віталій Котов, Анатолій Слепцов.

В останні часи проводиться щорічна конференція «Застосування і теорія мереж Петрі», видається в Боні інформаційний бюлетень «Новини мереж Петрі» (Petri Net Newsletter), відомо декілька сот моделюючих систем для різних програмно-апаратних платформ, існують реалізації процесорів мереж Петрі. Галузі застосування мереж Петрі включають дослідження телекомунікаційних мереж, мережних протоколів, обчислювальних систем і обчислювальних процесів, виробничих і організаційних систем.

Задачі аналізу мереж Петрі, аналіз мереж Петрі полягає у встановленні ряду властивостей, що характеризують мережу, тому розглянемо декілька із них:

1. Безпечність.

Позиція $p_i \in P$ мережі Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ є безпечною, якщо $M'(p_i) \leq k$ для будь-якого дозволеного маркування цієї мережі. Мережа Петрі безпечна, якщо є безпечною кожна її позиція.

Безпечність є дуже важливою властивістю для апаратних пристроїв. Якщо позиція безпечна, то кількість фішок, що в ній розташована, дорівнює або 0 або 1, а отже цю позицію можна реалізувати одним тригером.

2. Обмеженість.

Безпечність – це частковий випадок більш загальної властивості обмеженості.

Позиція $p_i \in P$ мережі Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ є k – безпечною, якщо $M'(p_i) \leq k$ для будь якого дозволеного маркування цієї мережі. Якщо $k = 1$, то позиція називається просто безпечною. Зауважимо, що границя k за кількістю фішок, що можна в ній розташувати, може бути функцією від позиції (наприклад, якщо позиція p_i 3-безпечна, то позиція p_j може бути 8-безпечна). Справедливим є твердження, що якщо позиція $p_i \in k$ – безпечною, то вона також є і k' – безпечною $\forall k' > k$. Число k безпечності всієї мережі може бути визначено як максимум з границь кожної позиції.

Іноді достатньою є лише інформація про те, чи обмеженою є кількість фішок в кожній позиції.

Позиція називається обмеженою, якщо вона k – безпечна, де $k < \infty$, а мережа Петрі є обмеженою, якщо обмежена її кожна позиція. Обмежену мережу Петрі можна апаратно реалізувати, тоді як необмежену – апаратно реалізувати не можна.

3. Збереження

Часто мережі Петрі використовують для моделювання систем розподілення ресурсів. В цьому випадку фішки можуть представляти собою ресурси. Для мереж Петрі в цьому випадку дуже важливою є властивість

збереження ресурсів. Мережа Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ називається мережею строгого збереження, якщо для будь-якого маркування M' виконується рівність:

$$\sum_{p_i \in P} M'(p_i) = \sum_{p_i \in P} M(p_i) \quad (2.1)$$

Здатність мережі до строгого збереження є досить сильним обмеженням. Так, з нього випливає, що кількість входів в кожне місце повинна дорівнювати кількості виходів. $\forall_i, |I(t_i)| = |O(t_i)|$ Якщо б ця умова не виконувалась, то запуск переходу змінював би кількість фішок мережі.

Мережа Петрі повинна зберігати ресурси, які вона моделює, але взаємно однозначної відповідності між фішками і ресурсами не існує. Фішка може представляти один будь-який ресурс системи або декілька ресурсів одночасно. У другому випадку в подальшому спрацьовуванні мережі така фішка може використовуватись для створення кратних фішок (по одній на ресурс) шляхом запуску переходу з більшою кількістю виходів ніж входів. Для цього необхідним є визначення ваги фішки. Зважена сума для всіх досяжних маркувань повинна бути постійною. Фішкам, що не відіграють важливої ролі можна надати значення ваги рівне 0, іншим фішкам можна приписати вагові значення рівні: 1, 2, 3 і так далі (будь-яке ціле число). Фішки визначаються її місцем у мережі і всі фішки в позиції не розрізняються. Отже з кожним місцем у мережі зв'язується певне вагове значення. Вектор ваги $w_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, де i – номер позиції, визначає вагу для цієї позиції.

Мережа Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ має властивість збереження відносно вектора ваги $w_i = (w_1, w_2, \dots, w_n), w_i \geq 0$ для будь якого дозволеного маркування мережі $\sum_{w_i} M'(p_i) = \sum_{w_i} M(p_i)$

Строго зберігаюча мережа Петрі має здатність збереження по відношенню до вектора ваги $(1, 1, \dots, 1)$. Будь-яка мережа Петрі є зберігаючою відносно вектора ваги $(0, 0, \dots, 0)$. Цей факт вносить у теорію певне протиріччя, тому вимагають, щоб мережа Петрі була зберігаючою, якщо вона має здатність до збереження відносно деякого додатного ненульового вектора ваги $w > 0$.

4. Активність.

При розв'язанні задачі розподілу ресурсів можна зустрітись з тупиковими ситуаціями. Тупики є предметом багатьох досліджень, наприклад, в області проектування алгоритмів програм.

Тупик в мережі Петрі – це перехід або множина переходів, які не можуть бути запущені. В спеціалізованій літературі тупики часто ще називаються дедлоками. Перехід мережі Петрі називається активним, якщо він не заблокований (не тупиковий). Це не означає, що він є дозволеним, швидше можна вважати, що він може бути дозволеним.

Перехід $t_i \in T$ мережі Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ називаються потенційно спрацьованим у маркуванні M , якщо існує маркування M' з множини дозволених маркувань, в якому цей перехід є дозволеним. Перехід називається активним, якщо він потенційно може спрацювати для будь-якого маркування мережі.

Отже, якщо перехід є активним, то завжди існує можливість переведення мережі Петрі з її початкового маркування в маркування, у якому запуск переходу буде дозволений.

Поняття, що пов'язані з тупиками можна розбити на категорії згідно до їх рівня активності у мережі наступним чином:

Рівень 0. Перехід $t_i \in T$ має активність рівня 0 і називається пасивним або мертвим, якщо він ніколи не може спрацювати.

Рівень 1. Перехід $t_i \in T$ має активність рівня 1 і називається потенційно активним або живим, якщо він потенційно активний (існує таке маркування M' з множини дозволених, що t_i в ньому є дозволеним).

Рівень 2. Перехід $t_i \in T$ має активність рівня 2, якщо для будь-якого цілого числа n існує послідовність запусків, де перехід t_i присутній хоча б n разів.

Рівень 3. Перехід $t_i \in T$ має активність рівня 3, якщо існує нескінченна множина послідовностей запусків, в яких перехід t_i присутній необмежено часто.

Рівень 4. Перехід $t_i \in T$ має активність рівня 4 і називається активним або живим якщо для будь-якого маркування M існує послідовність запусків σ , що перехід t_i є дозволеним для цієї послідовності.

Мережа Петрі має активність рівня , якщо кожний її перехід має активність рівня .

5. Стійкість.

Перехід $t_i \in T$ мережі Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ називається стійким, якщо він активний і жоден інший теж активний перехід t_j , спрацювавши не може зробити перехід t_i неактивним, іншими словами позбавити його можливості спрацювання. Мережа Петрі називається стійкою, коли всі її переходи є стійкими.

6. Досяжність і покриття

Більшість задач, які розглядалися до цього, стосувались властивості досяжності маркування. Для заданої мережі Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ і маркування M' необхідно визначити, чи буде маркування належати множині дозволених маркувань.

Задача досяжності є однією з найголовніших в аналізі мереж Петрі і більшість інших задач аналізу можна сформулювати в термінах задачі досяжності.

Задача покриття. Ця задача аналогічна до задач досяжності але має певні відмінності. Для заданої мережі Петрі $N = (P, T, T, O, M)$ і маркування M' визначити чи існує таке досяжне маркування M'' , що $M'' > M'$.

Можуть розглядатись задачі в яких ігнорується вміст деяких позицій і береться до уваги лише порівняння або покриття декількох важливих позицій. В такому разі можна розглядати досяжність і покриття «за модулем» множини позицій. Такі задачі називають задачами досяжності і покриття під маркування.

7. Послідовності запусків.

Інший підхід до аналізу мереж Петрі базується не на позиціях, а на послідовностях запусків переходів, іншими словами, пов'язаний з активністю. В цьому випадку доцільним є питання: чи може перехід бути запущений (чи є він пасивним або активним)? В більш загальному випадку можна вимагати визначення: чи є можливою задана послідовність запусків переходів або чи є можливою деяка послідовність з множини послідовностей запусків?

8. Задачі еквівалентності і підмножини

Останній клас задач обумовлений питаннями оптимізації. Нехай мережі Петрі властива деяка поведінка, що визначається її множиною послідовностей запусків переходів або її множиною досяжності.

Тоді можна поставити запитання: чи можна змінити (оптимізувати) мережу Петрі не змінюючи її поведінки? Зміна мережі означає видалення пасивних переходів (які ніколи не можуть бути запуснені) та пасивних позицій (які ніколи не можуть бути марковані), або перевизначення деяких переходів.

Чи можна показати, що дві різні марковані мережі Петрі з однаковою кількістю переходів але з різним числом позицій будуть породжувати однакові послідовності запусків переходів або що дві різні маркіровані мережі Петрі з однаковим числом позицій і різним – переходів будуть породжувати одну множину досяжності? Це дасть можливість модифікувати мережі Петрі для збільшення паралелізму, зменшення вартості реалізації або покращення інших функціоналів, що оптимізуються.

В цих випадках виникає питання визначення того, чи являються дві мережі Петрі еквівалентними, або чи є одна з них підмножиною іншої? Для точного визначення поняття еквівалентності або включення необхідно бути особливо уважними.

Якщо визначити еквівалентність як рівність множин досяжності, тоді не можна буде змінювати кількість позицій, якщо вимагати рівність множин послідовностей – не можна буде змінювати переходи, тому визначенню цієї задачі приділяється особлива увага.

2.2 Модель перехрестя руху громадського транспорту на основі мережі Петрі.

Опираючись на чинні в Україні системи, управління дорожнім рухом здійснюється тільки на основі дотримання безпеки переміщення і не завбачує швидкісне реагування в зміні транспортного потоку.

Сьогоднішній стрімкий розвиток технологій відеоспостереження, дає змогу технологіям управління дорожнього руху на перехрещеннях швидко реагувати та вносити змін у світлофорне регулювання автоматично.

Отакі технічні застосунки, як датчики дорожнього ходу, дорожні знаки якими можна управляти та світлофорні предмети, якими можна теж керувати за допомогою центрального пункту. Утворюють велику базу для виготовлення інформаційно-аналітичної системи курування автотранспортним ходом на роздоріжжі, яка б зважала на поточу обстановку дорожнього ходу та виконувала швидке корегування, наприклад на зниження безпеки на автомобільних шляхах[33].

Підручні моделі транспортного ходу не оцінюють існуючих способів управління руху в точках перерізу шляхів. Вагомість розроблення поглибленої імітаційної моделі шляхового переміщення підсилюється в діяльності. Запропонована номінальна модель некерованого роздоріжжя. У моделі аналізується алгоритм відображення руху автомобілів по автошляхах з врахуванням переміщень(маневрів) випередження або переміни смуги ходу. Уся складність комплексу пояснюється використання підходу, що об'єднує об'єктно-орієнтовану технологію та технологію імітаційного моделювання мережами Петрі, і одержав ім'я Петрі-об'єктного моделювання.

Можуть існувати різні підходи до реалізації даного завдання за допомогою мереж Петрі. Одним з можливих варіантів може бути застосування класичних мереж Петрі. Головною проблемою реалізації є, яким чином будуть визначені дорожні правила з реальною ситуацією і як вони будуть верифіковані[34].

Модель повинна містити покриваючий граф всіх можливих дій водія для заданої моделі дороги. В контексті класичних мереж Петрі для вирішення даного завдання потрібно допустити, що позиції можуть бути двох видів. Перший вид відповідає за частини дороги, а другий вид містить інформацію про порушення. Однак, такий спосіб надлишково ускладнює структуру моделі.

Для цього варто розглянути приклад проїзду нерегульованого перехрестя з перетином рівнозначних доріг (рисунок 2.3).

На представленій схемі зображено завдання для водія, в якому йому необхідно здійснити лівий поворот і, таким чином, потрапити з позиції А в позицію В, враховуючи перешкоду справа (Car 1) і зустрічний трафік (Car 2)[37]. Розглядаючи модель мережі Петрі в даній ситуації для проведення верифікації дій водія, необхідно перевірити чи поступається наш автомобіль дорогу зустрічному автомобілю. Для цього в модель позначені додаткові позиції Stop for checking і Drive without checking для перевірки дорожніх правил варто відзначити, що в цій моделі не враховані інші правила, такі як включення сигналу повороту або ж знаки проїзду перехрестя.

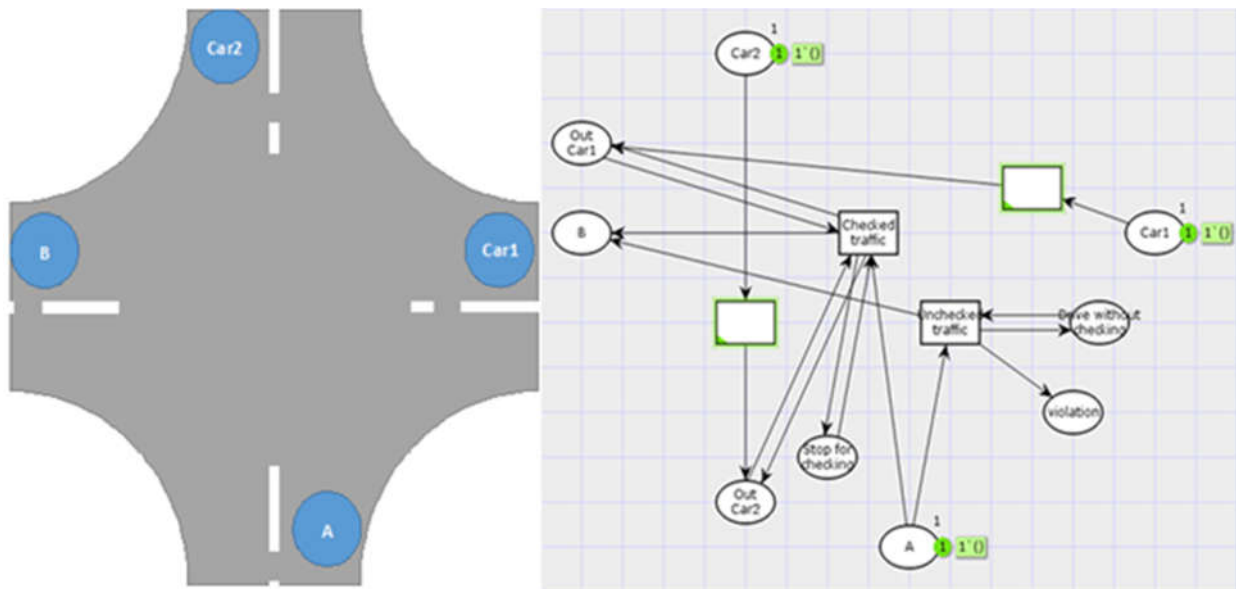


Рисунок 2.3 – приклад проїзду нерегульованого перехрестя.

Включення цих факторів сильно ускладнило б модель, так як потрібно було б додавати додаткові позиції для покриття всіх дій водія в рамках даної дорожньої ситуації.

Для поділу фішок і різних смислових типів позицій можна розглянути варіант використання розширених мереж Петрі в форматі кольорових мереж Петрі [38]. В кольорових мережах Петрі фішка фактично є об'єктом з набором параметрів. Кожна позиція може містити тільки один тип фішки. На підставі

функцій дуг і умов переходів здійснюється їх спрацювання, а під час виконання значення в фішці можуть змінюватися.

На рисунку 2.4 зображений елементарний приклад використання кольорових мереж Петрі в контексті задачі. В даній моделі представлені дві позиції з типом фішок Car, які є початковою і кінцевою точкою повороту відповідно. Фішка цього типу містить значення булевого типу, яке відображає інформацію про включеному сигналі повороту. Однак, дане розширення не вирішує проблему поділу позицій дій водія і структури дороги, а тільки пропонує містити в більш зручному вигляді інформацію про порушення, які властиві автомобілю.

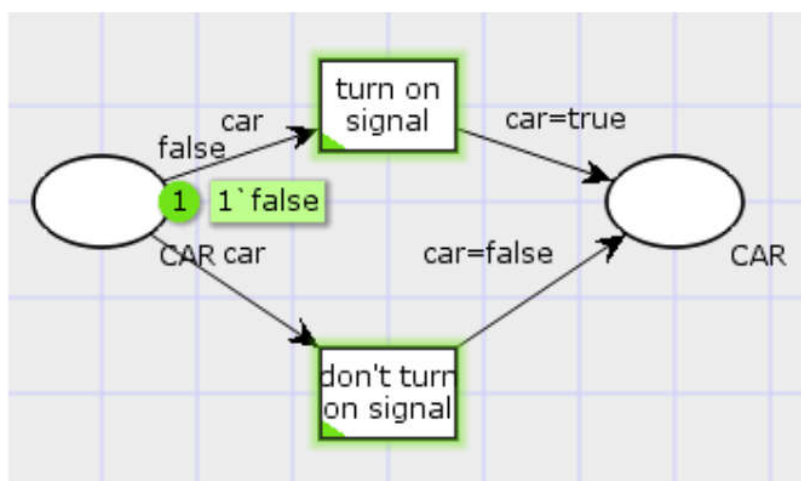


Рисунок 2.4 – Приклад використання кольорових мереж Петрі.

Найбільш підходящим видом мереж Петрі для застосування до реалізації моделювання структури вулиці і автомобіля з урахуванням вищеописаних особливостей можуть служити вкладені мережі Петрі [39]. Вкладена мережу Петрі - це розширена кольорова мережу Петрі, в якій фішки задають маркування мережі, самі є мережами Петрі. Такі мережі мають автономну поведінку і взаємодіють один з одним та з основною мережею. Для даного завдання слід розглядати дворівневу вкладену мережу Петрі [40]. У такому варіанті вулиця може бути представлена через системну мережу, а елементарна мережа складалася б з станів дій водія. Структура мережі перехрестя може базуватися на принципах логічно пов'язаних секторів дороги. Як приклад розглянемо рівнозначний перехрестя (Рис. 2.5).

Кожен такий сектор дороги є позицією в системній мережі у вкладеній мережі Петрі. Для цього слід взяти до уваги чинники, які відображають фізичну складову кожного такого дорожнього сектора (позиції) моделі в мережі Петрі:

1. кожна позиція в мережі має не понад 4-их сусідніх позицій з кожного боку, в контексті дороги;
2. це по сусідньому сектору з кожної сторони світу (північ, південь, захід, схід)
3. Кожна позиція має по два переходи для кожного напрямку з дугою розмірністю рівною одиниці
4. Кожна позиція може містити фішку, яка є елементарною мережею моделі автомобіля
5. Рух автомобіля по секторам дороги перетворюються в спрацьовування переходів між відповідних позицій.

В результаті, модель дороги, розбита по секторам представлятиме собою «мозаїку» положень і переходів мереж Петрі, при цьому в симуляторі кожен такий сектор має реальні фізичні розміри. У представленому прикладі (Рис. 2.5) мережа покриває всі можливі варіанти руху автомобіля в межах дороги. Позиції мережі мають переходи тільки з сусідніми позиціями. Так, в позиції S1 містить фішку (подану як автомобіль), яка активує переходи (up, down, right, left) тільки в сусідні позиції (сектора дороги). Отже, при рух на північ, спрацює перехід up і фішка потрапить в позицію C1 - в центральну частину перехрестя.

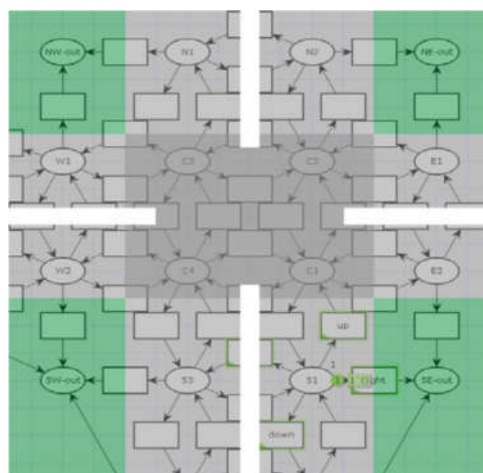


Рисунок 2.5 – приклад перехрестя рівнозначних доріг

Під час симуляції можливий варіант, коли автомобіль може виїхати за межі проїжджої частини дороги. В цьому випадку фішка, що представляє автомобіль, потрапляє в фінішну позицію. Така позиція не має вихідних дуг і в фізичному сенсі це означає, що автомобіль потрапив в аварію і емуляція закінчена. Також варто відзначити, що при реалізації даної моделі необхідно встановити для кожної позиції властивість про те, чи дозволений в'їзд автомобілю на дану секцію чи ні, щодо встановлених знаків роз'їзду перехрестя.

Модель автомобіля представлена елементарною мережею вкладеної мережі Петрі. Вона повинна включати набір дій водія і основні властивості автомобіля відносно правил дорожнього руху (Рис 2.6).

На діаграмі моделі представлені п'ять незалежних груп, що складаються з двох позицій. Кожна така група являє собою властивість автомобіля з дискретним значенням. На схемі це групи, що відповідають за рух, напрямок, включення сигналів повороту і наявності перешкоди у вигляді іншого автомобіля. Також, варто згадати, що виходячи з визначення вкладених мереж Петрі, деякі переходи можуть бути синхронізовані з переходами системної мережі дороги, в даному випадку це група позицій присутності інших учасників руху на дорозі. Верифікація дій автомобіля відбувається на основі основних зібраних даних, які включають в себе позицію автомобіля відносно секторів дороги, події включення сигналів повороту і інформацію про наявність трафіку. Послідовність записаних подій виконується як на системній так і на клієнтській мережі Петрі. В результаті, чого відбувається аналіз кожного кроку і дії автомобіля за властивостями позицій мережі. Подальшим етапом розвитку даного підходу може служити додавання вкладених складних ділянок доріг в системну мережу. Ідея такої реалізації полягає в тому, що позиція може бути представлена підмережею Петрі, в якій міститься модель поведінки автомобіля згідно дорожньому знаку, що застосовується в цій секції. Також, наступним варіантом розвитку моделі на основі вкладених мереж Петрі є варіація самих тестових питань згідно ПДР. В тому випадку, система зможе перевірити на наявність помилок протиріч в дорожніх знаках на етапі проектування даних завдань. Таким чином, використання формального методу вкладених мереж

Петрі надає нові можливості моделювання дорожньо-транспортних ситуацій та верифікації правил руху.

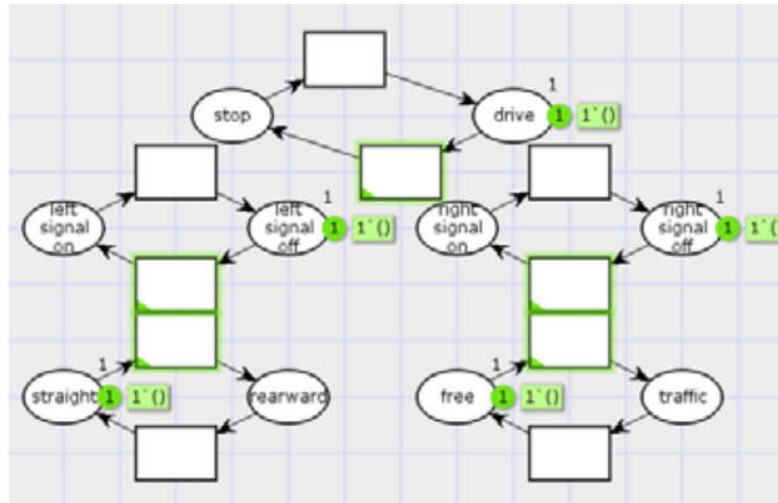


Рисунок 2.6 – приклад елементарної мережі Петрі

Модель структури керування транспортним ходом зводиться з даних гіпотез:

1. Є середні значення потужності надходження машин в точних вхідних пунктах транспортної мережі.

2. Існують відомості про середню швидкість ходу і довжина дороги поміж двома прилеглими перехрещеннями.

3. Для будь-якого роздоріжжя є величина вхідних та вихідних направленостей руху, кількість смуг ходу в певній направленості та імовірності слідування автомобіля, яке прийшла у конкретному вхідному напрямі, до кожного з вихідних напрямів перехрещення.

4 У будь-якого перехрещення є знайомі прийоми регулювання, що можуть використовуватись для даного перехрестя з погляду забезпечення безпеки руху.

5. Для перехрестя, керованого світлофорами, є відрізки світіння жовтого індикатора світлофора, вирахованого відносно будови роздоріжжя та правил безпеки автомобільного руху, які з них заїхали на перехрестя під час горіння зеленого індикатора світлофору.

Петрі-об'єктна модель мережі керівництва автотранспортним ходом, яка розроблена, не зважає чинники як :

1. погодні властивості; в якому стані дорога; переміщення перехожих;

2. хід машин по відношенню один відносно іншого;
3. суб'єктивні особливості учасників руху автомобілів.

Автотранспортна мережа мегаполісу розбирається сукупністю перехрещень, які з'єднані поміж собою за допомогою доріг (рисунок 2.7). Машини, що доїжджають на роздоріжжя, просуваються у смузі руху до вхідних точок перехрестя. Проїзд перехрещення машиною розбирається як подія, під час якої автомобіль переміщається з вхідного пункту перехрестя до вихідного пункту перехрестя.

Будь-який вхідний пункт перехрещення охарактеризується одними і тими ж правилами дорожнього руху, що прописуються розміткою проїзного шляху, визначеними дорожніми знаками і світлофорами. Автомобіль, який перебуває у вхідному пункті перехрещення з заданими ймовірностями прямування переміщається до вихідного пункту роздоріжжя. Така ймовірність рівняється нулю, коли рух недозволений.

Авто, яке опинилось у вихідному пункті роздоріжжя, прямує дорогою до прийдешнього перехрестя, якщо існує шлях, або рахується таким, що покинув транспортну мережу. Коли шлях переповнений (транспортні пробки), то автомобіль не потрапить у вхідний пункт шляху та як місця для нього відсутні. Опинившись у вихідному пункті шляху, автомобіль втрапляє у вхідному пункті другого роздоріжжя і т.д. поки машина не покине мережу або вийшов час моделювання.

Технічними засобами керування роздоріжжя, це дорожні знаки, що формують право одному або іншому напрямку ходу, та світлофори, що вказують на отримання дозволу про хід транспорту у одному або іншому ході роздоріжжя. Алгоритм керування світлофорними предметами на практиці реалізується контролерами, які встановлюються безпосередньо на дорозі і перемикають індикатори світлофорів по коду відносно заданої програми [42].

Правильність порядку керування автотранспортним ходом характеризується ознаками, яку оцінюють кількість накопичених автомобілів в точках перетину шляхів. У системі записується середній час затримки автотранспортної одиниці. Такий формат не може завжди істинно характеризувати обстановку дорожнього руху [7].

Для того щоб краще розуміти якість керування автотранспортним ходом використовується максимальна кількість авто, котрі перебувають в черзі:

$$z = \max(L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots, L_{kn}) \rightarrow \min, \quad (2.9)$$

де L_{ij} – середня значення кількості авто, які чекають переходу на j -ому перехрестенні в i -ому напрямі.

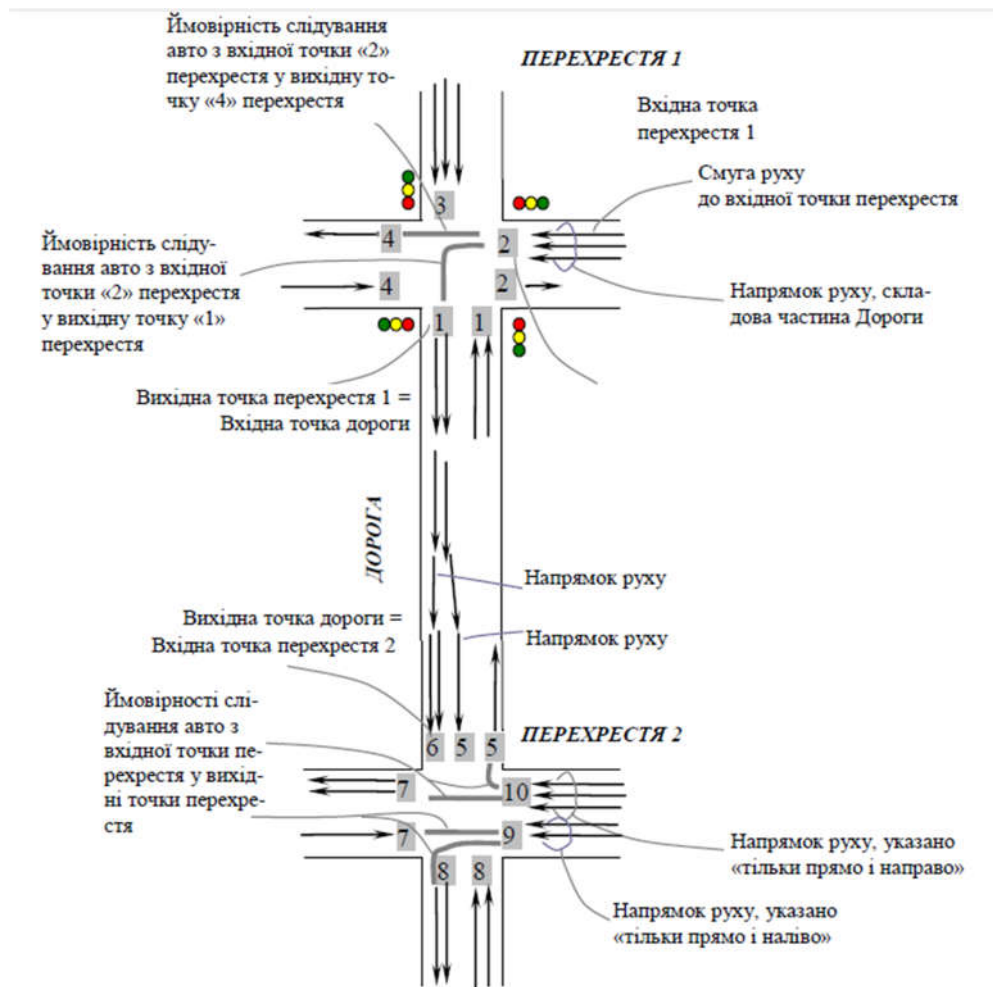


Рисунок 2.7 – Фрагмента транспортної системи, який містить два перехрестя та дорогу, яка з'єднує їх

Бодай, наприклад, на роздоріжжі у одному напрямку будуть великі черги, а от у всіх інших – виявлятиметься нульове. Середнє значення при очікуванні, отримує мале значення через показники нульових значень. Таке управління може прийматись як якісне? Звісно ж ні, одразу стає помітно, що при обмеженні руху автотранспорту у даних напрямках, на котрих проявлятиметься нульове значення, одержимо додатній запас щоб зменшити

завантаження в інших напрямках. Отож, пересічне очікування та середня кількість автомобілів на проблемній ділянці ніяк не будуть відбивати відображати розуміння якості керування

В правилах дорожнього руху прописані шляхові роздоріжжя кількох видів: Т-подібне трьохстороннє, Х-подібне чотирьох-стороннє, хрестоподібне чотирьох-стороннє, багатостороннє перехрестя, У-подібне трьохстороннє, площа, кільце. Із хрестоподібних перехрещень можна зробити висновок що всі інші важкі розгалуження, розглядають направленості ходу закриті та відкриті. Створена система знаходження підходящих налаштувань керування дорожнього ходу за допомогою керованого перехрещення мегаполісу, яка ґрунтується на імітаційній моделі і плавних тактиках оптимізації.

Автотранспортний хід в точках перетинання шляхів відбувається за допомогою правил дорожнього руху. Відносно встановлених на розгалуженні систем керування: автомобіль виконує проїзд керованого перехрестя, коли на перехресті присутній світлофорний предмет, виконується проїзд некерованого розгалуження нерівнозначних шляхів, а коли присутні знаки дорожнього руху „Дати дорогу” та „Головна дорога”, котрі формулюють пріоритет лінії руху і проїзд некерованого розгалуження рівноцінних шляхів, коли немає переваги кожного з ліній руху.

Поведінка світлофорного предмета вказується систематичністю стадій. Будь-яка стадія включає в себе основний та проміжний такти. При основному такті виконується прямування автотранспорту на розгалуженні під час зеленого горіння сигналу світлофора. Перехідний такт потрібен щоб забезпечити безпеку прямування авто та перехожих та вираховується тільки з питань забезпечення безпеки за формулам. Індикатори світлофора переключаються додатковими контролерами по колу за допомогою заданої програми. В таблиці 1 продемонстрована схема перемикань індикаторів N -фазного світлофорного циклу, який задає індикатор λ світіння в M світлофорах так же і до M вхідних пунктів автотранспортного ходу. Цей підхід є досить точним, для того щоб передати всі імовірні комбінації горіння світлофорних індикаторів.

Наприклад коли світлофор із вмонтованою стрілкою, тоді створюється додатковий вхідний пункт для автомобілів, що переміщаються в напрямі ходу

стрілки, і додати належний рядок в таблиці перемикачів індикаторів світлофора (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – N-становий світлофорний цикл

Стан / Вхідний пункт роздоріжжя	Стан 1		Стан 2		..		Стан N	
	Головний такт	Перехідний Такт	Головний такт	Перехідний Такт			Головний такт	Перехідний Такт
1	червоний	жовтий	зелений	жовтий			червоний	Червоний і жовтий
2	червоний	жовтий	зелений	жовтий			червоний	жовтий
3	зелений	жовтий	червоний	жовтий			зелений	жовтий
4	зелений	жовтий	червоний	жовтий	...	...	зелений	жовтий
M	зелений	червоний і жовтий	червоний	Зелений мигаючий	...	...	жовтий	жовтий мигаючий
Тривалість	t_1	t_2	t_3	t_4	...	...	t_{2N-1}	t_{2n}

Тоді світлофор визначають ось такі декілька критеріїв: Час світлофорного циклу, величина станів в світлофорному циклі, число світлофорів за якими здійснюється керування, індикація світлофорів з відношенням до кожного стану і будь-якого стану світлофорного циклу. Коли світлофора на роздоріжжі немає, то керування ходом також може відбуватись знаками дорожнього руху «Дати дорогу». Або „Головна дорога”. Розміщення знаку „Головна дорога” вказує на те, що відзначений напрям ходу дає право на проїзд, відносно інших напрямків ходу на роздоріжжі. А от розміщення знаку «Дати дорогу», зазначає, що вказаний напрямок переміщення не вбачає жодних переваг що до інших напрямностей руху на роздоріжжі.

А от якщо перехрестя не обладнане ні світлофорним об’єктом, а ні знаками дорожнього руху, які б вказували пріоритет проїзду одних або інших

направленостей руху, то таке перехрещення вважатиметься рівнозначним. Управління ходом транспортних засобів для такого перехрестя відбувається за вимогою правил дорожнього руху (п. 16.12 Вимог дорожнього руху), автотранспорт, котрий зближується з права, користується перевагою першочергового переїзду. Таке правило називатимемо «Пропустити авто праворуч». Керування автотранспортного ходу за таким правилом, а також керування дорожніми знаками вбачають загальну відзнаку – вони з'ясовують право одного або іншого напрямку слідування авто відносно іншого. Однак дорожні знаки «Дати дорогу» і «Головна дорога» з'ясовують право проїзду не беручи до уваги стан автотранспортного ходу на роздоріжжі в реальному часі, себто безсумнівне право напрямку руху на проїзд перехрестя.

Правило «Пропустити авто праворуч» визначає пріоритет напрямі залежно від присутності автомобілів в напрямі з правого боку, тобто відносно поточного становища автотранспортного ходу на роздоріжжі. При керуванні автотранспортним ходом на роздоріжжі, світлофор та такі дорожні знаки як «Головна дорога» і «Дати дорогу» також володіють сумісну відзнаку – ці об'єкти з'ясовують безсумнівне право на проїзд. Однак дорожні знаки визначають пріоритет тільки для тих автомобілів, які здійснюють рух.

Прикладом може бути ситуація, коли головна дорога вільна від транспорту, який здійснює рухається, то в такому випадку вона лишається своєї переваги на першочерговий проїзд і автомобілі, що рухаються в других напрямках, отримують право на проїзд. А керування перехрестям за допомогою світлофора, визначає право одного або іншого напрямку ходу не залежачи від присутності автотранспорту в ньому [43]. Фактично, червоний індикатор світлофорного об'єкту не дозволяє хід автотранспорту в тих випадках, навіть коли в напрямі де горить зелений індикатор світлофора не переміщається автотранспорт. Із уподібнень засобів регулювання впливає, що керування за допомогою світлофора і керування інакшими способами вкрай різняться: в першому немає залежності в присутності авто в одному або інакшому напрямі роздоріжжя. Така відмінність зумовлюється виставленням розбіжних взірців в керуванні різними об'єктами.

Конструкція макета порядку керування автотранспортним ходом освітлюється кількома об'єктами: Дорога, Перехрестя, Світлофорне керування, Керування(дорожні знаки), Автомобіль.

Ситуація автотранспортного порядку відзначається сумою транспортних одиниць, які скупчилися в точках роздоріжжях шляхів, себто на перехрестях.

Об'єкт Перехрестя включає в себе вхідні й вихідні пункти автотранспортного ходу та формулює послідовність, з яких вхідних пунктів авто може переїхати до потрібних йому вихідних точок. Дорога – це відрізок автотранспортного ходу посеред двох прилеглих перехресть. Такий об'єкт включає в себе сукупність напрямленостей ходу. На старті направленість транспорту на переміщення перебуває у вихідному пункті на певному перехрещенні, а фініш – у вхідній точці іншого перехрестя. Об'єкт Автомобіль являє собою статистичний об'єкт автотранспортного ходу, що характеризується такими вимірами: номер авто, вид авто, його розташування в реальному часі. Типова швидкість ходу середньостатистичного транспорту – це особливість шляху на якому перебуває авто. А імовірність слідування пересічного транспорту впродовж розбіжних напрямів роздоріжжя – це особливість самого роздоріжжя.

2.3 Алгоритм функціонування системи громадського транспорту.

Можна виділити три основні групи показників, що характеризують роботу транспортного вузла: тимчасові характеристики, показники надійності та показники економічної ефективності роботи вузла.

Принцип загальної ефективності. До оцінки загальної ефективності проєктованого транспортного вузла слід підходити комплексно, приймаючи до уваги складний і різноманітний характер можливих технічних рішень і протікають транспортних процесів. Необхідно враховувати не лише так звані прямі ефекти, але і

Принцип концентрації - один з головних при створенні планувальної схеми вузла, значною мірою визначає його розвиток. Він передбачає концентрацію операцій, об'єднання станцій, які обслуговують промислові підприємства; створення потужних спеціалізованих баз; ліквідацію малодіяльних під'їзних шляхів; концентрацію транспортно-експедиційної роботи в рамках однієї організації і створення об'єднаних транспортних господарств на базі малопотужних і розрізнених транспортних цехів.

Важливим показником якості роботи вузла є коефіцієнт затримки обслуговування транспортного потоку, який показує, у скільки разів час перебування одиниці транспортного потоку I-тої категорії в транспортному вузлі більше часу безпосереднього його обслуговування. Велике значення коефіцієнта затримки обслуговування в транспортному вузлі говорить про необхідність вдосконалення режимів взаємодії з використанням наявних резервів. Зниження коефіцієнта затримки обслуговування потоку в транспортному вузлі - одна з найважливіших завдань, розв'язання якої дозволяє значно прискорити обіг транспортних засобів і вартість вантажної маси на колесах.

Для вдосконалення режимів взаємодії різних видів транспорту у вузлі необхідно:

- планувати і узгоджувати підхід транспортних одиниць до транспортного вузла;
- скорочувати нерівномірність надходження транспортних потоків;
- удосконалювати взаємодію станцій з під'їзними шляхами;
- розробляти і здійснювати програми довгострокового розвитку технічного оснащення вузла;
- підвищувати рівень механізації та автоматизації основних циклів обробки транспортних засобів.

Об'єкти Дорога, Автомобіль, Перехрестя сталі та показують лише схематичні ознаки елементів транспортного переміщення. Авто, нехай і пересувається в просторі, але в нього немає своїх визначених правил, за допомогою яких змінюється його розташування. Переміщення транспортного засобу відбувається на основі структури і прийомів регулювання роздоріжж, які

пересікає автомобіль, або залежить від особливостей шляхів, вдовж яких він пересувається. Того авто сприймається наче статичний об'єкт. Головними об'єктами перехрестя є: Вхідний пункт, Вихідний пункт роздоріжжя, Світлофор, Дорожні знаки, Генератор транспортних засобів. Рухливі об'єкти розглядаються як Петрі-об'єкти та моделюються із застосуванням конструктору класу Петрі-об'єкт (PetriSim), за допомогою якого забезпечується постійне функціонування мережі Петрі, яка в свою чергу показує динаміку роботи об'єктів [32] та передає дані в задану ділянку об'єкту. Схема системи Петрі-об'єктної моделі показана на рисунку 2.4. Класи «Вхідний пункт роздоріжжя» (CrossPointIn), «Вихідний пункт роздоріжжя» (CrossPointOut), «Світлофорне регулювання» (TrafficLight), Регулювання «Дорожні знаки» (TrafficControl), «Генератор транспортних засобів» (GeneratorCars) повторюють клас «Петрі-модулятор» (PetriSim). Класи «Вхідний пункт роздоріжжя» (CrossPointIn) та «Вихідний пункт роздоріжжя» (CrossPointOut) існують для утворення класів «Пункт роздоріжжя» (CrossPoint) і «Напрямок руху» (Direction). Класи «Пункт роздоріжжя» (CrossPoint) та «Напрямок руху» (Direction), використовуються щоб створювати класи «Роздоріжжя» (CrossRoad) і «Дорога» (Road). Клас «Роздоріжжя» (CrossRoad) завбачує застосування об'єктів класу «Світлофорне регулювання» (TrafficLight) щоб створювати усі можливі екземпляри. Клас «Регулювання» (TrafficControl) користується класом «Роздоріжжя» (CrossRoad) щоб встановити пріоритети одного з напрямів ходу.

Керування рухом із застосуванням дорожніх знаків «Дати дорогу» і «Головна дорога» чи вимоги «Пропустити авто праворуч» опирається на ситуацію насиченості дороги автомобільним транспортом в реальному часі на роздоріжжі. З цього розуміємо, що правила класу Регулювання (TrafficControl) включає в себе поле, яке показує тип класу «Роздоріжжя» (CrossRoad), для якого робиться це регулювання.

Регулювання за допомогою світлофора створене таким чином, що індикація світлофорних сигналів не залежить від руху транспортного потоку, його швидкості і кількості транспортних засобів які перебувають в ньому. Того клас «Світлофорне регулювання» (TrafficLight) розробляється без урахування класу «Роздоріжжя» (CrossRoad). Але останнє в свою чергу є залежним від

такого класу як «Світлофорне регулювання», тому що транспортний потік на роздоріжжі, що регулюється світлофором повинно рахуватися з сигнальними індикаторами світлофора в усіх діючих спрямуваннях.

Для формування списків бази авто, застосовується клас «Авто (Car)» які є складовими автотранспортного переміщення, в якій головним є клас «Транспортна Модель (TrafficModel).»

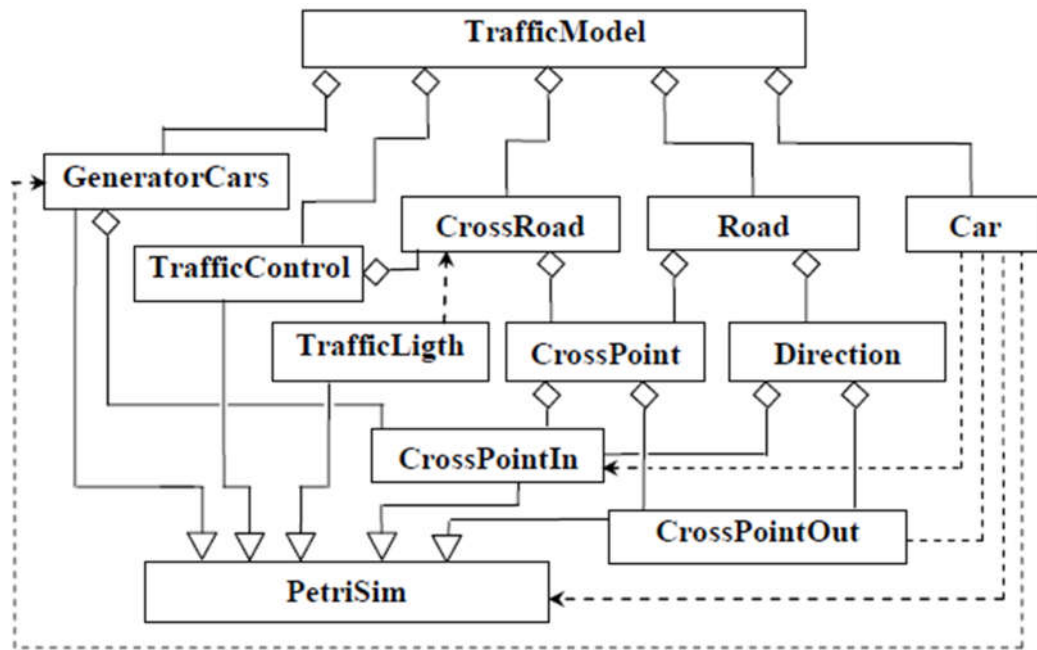


Рисунок 2.4 – схема класів Петрі-об’єктної моделі порядку регулювання автотранспортом

Дані про авто обробляється типами Петрі-об’єктів «Вхідний пункт роздоріжжя» (CrossPointIn), «Вихідний пункт роздоріжжя» (CrossPointOut) та «Генератор транспорту» (GeneratorCars) щоб створити та змінити місцезнаходження авто. **Беручи до уваги модель системи стохастичної мережі Петрі з тайм-затримками і використовуючи систему формалізованого представлення, її у вкладенні [1]**

Сітка Петрі-об’єкта «Генератор транспорту» показана на рисунку 2.5 і містить в собі одну подію «Генерувати транспорт», яка працює з певним відліком часу, певною запрограмованою цифрою. Мережа Петрі-об’єкта «Вихідний пункт роздоріжжя» показна на рисунку 2.6 і зважає на термін пересування, котрий залежить від темпу пересування поточного авто, відрізка шляху і максимальної числа авто, що рухаються водночас через перехрестя. Максимальне число

транспортних засобів вираховується наявністю кількості смуг руху і середніми розмірами авто.

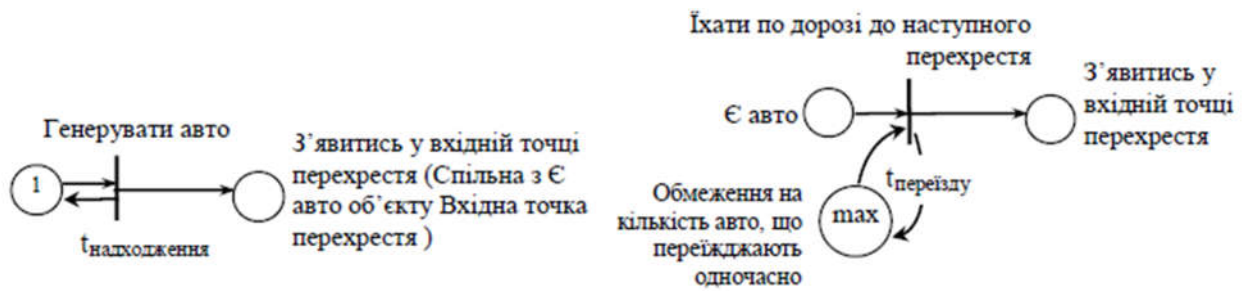


Рисунок 2.5 – Мережа Петрі-об'єктів «Генератор транспорту» та Мережа Петрі-об'єкта «Вихідний пункт розгалуження»

Сітка Петрі-об'єкта «Вхідний пункт розгалуження» характеризується кількома подіями: появився автомобіль у вхідному пункті; автомобіль має пріоритет проїзду роздоріжжя; транспорт спрямує до вихідного пункту j роздоріжжя $j=1, \dots, M$; пересування до вихідного пункту j роздоріжжя, $j=1, \dots, M$ [45].

Подія «Появився автомобіль у вхідному пункті» прямує щоб змінити свій теперішній стан об'єкту «Вхідний пункт роздоріжжя», який фіксується в точках «Сумарна кількість автомобілів у вхідному пункті роздоріжжя» і «Найбільша кількість автомобілів у вхідному пункті роздоріжжя». Дані показники в подальшому будуть використовуватись об'єктом «Регулювання».

Подія «Автомобіль має перевагу на проїзд роздоріжжя» вступає в дію, якщо авто знаходиться у вхідному пункті роздоріжжя і сигнал на здійснення руху увімкнений. У випадку коли на роздоріжжі встановлений світлофор, то сигнал, який дає дозвіл на право пересування є спільним з світлофорним керуванням і маркер появляється у відповідній позиції залежно від індикаторів світлофора. Якщо на роздоріжжі немає світлофорів то маркер в позиції «Дозвіл на переїзд» появиться у наслідок дії об'єкту «Регулювання».

Транспорт, який користується дозволом проїзду роздоріжжя, вирушає в залежності від заданого напрямку по шляху власного прямування на один зі можливих виїздів вихідних пунктів розгалуження. Переходи «Автомобіль прямує до вихідного пункту j роздоріжжя» є спірними.

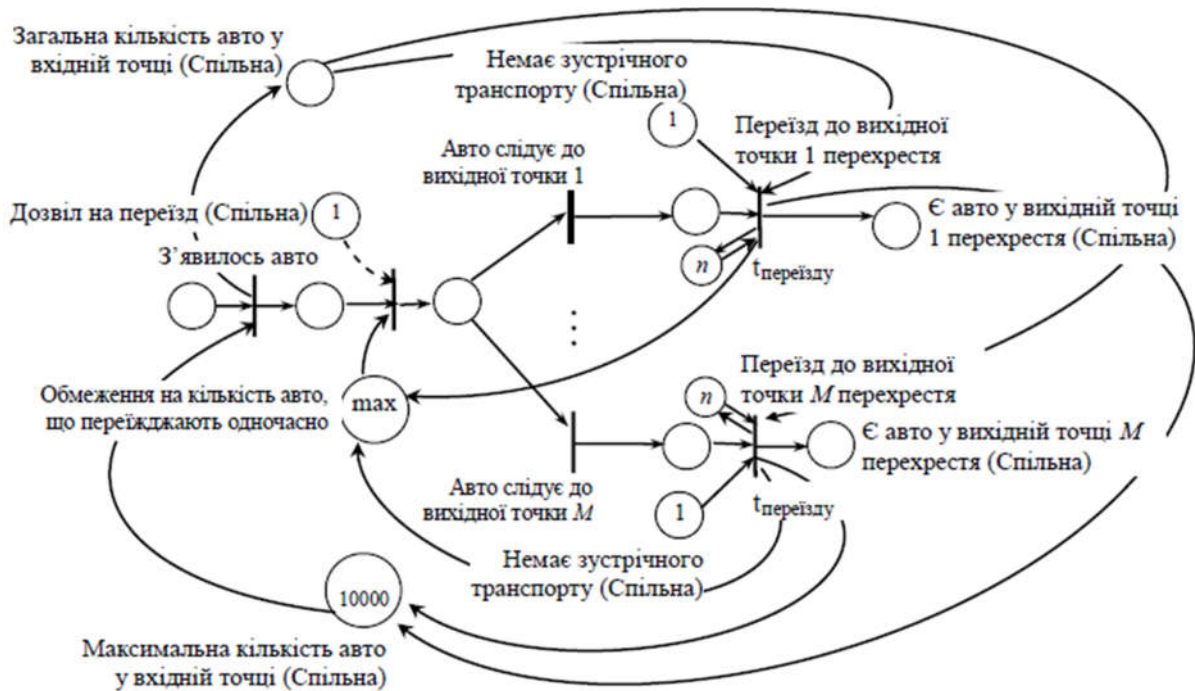


Рисунок 2.6 – Мережа Петрі-об'єкта «Вхідний пункт роздоріжжя»

Конфліктна ситуація вирішується ненавмисним обранням переходу в залежності від запланованих запуску переходів. Мапи пересування автомобілів, що получили право на пересування з всяких вихідних пунктів розгалужень, імовірно можуть пересікатись. Позиція «Немає перестрічного автотранспорту», що є об'єднувальною для певних об'єктів. Вхідні пункти роздоріжжя, дає право на рух тільки одному автомобілів з кількох, який прямує стрічними траєкторіях ходу. Переходи «Проїзд до вихідного пункту j роздоріжжя» призупинені, згідно з терміном дозволу проїзду роздоріжжя для стрічного транспорту [56].

Сітка Петрі-об'єкта «Світлофорне регулювання» у разі N -станового світлофора зображена на рисунку 2.7. Чередування станів (див. таблиця 1) створює круг дій з потрібними перемикаваннями індикаторів світлофорів. Час чергування станів запрограмується під час створення сітки Петрі. Позиції з маркерами, що оповіщають про закінчення поточного такту, негайно згасають, тому що вони є умовою запускання подальшого переходу круга подій. Того позиції які появились «Горить зелений індикатор для транспорту у вхідних пунктах i, j, \dots », маркери що загораються і гаснуть враховуючи основний такт фази. Подібно можуть запроваджуватись позиції для усіх індикаторів світлофора, коли ті застосовуються другими Петрі-об'єктами.

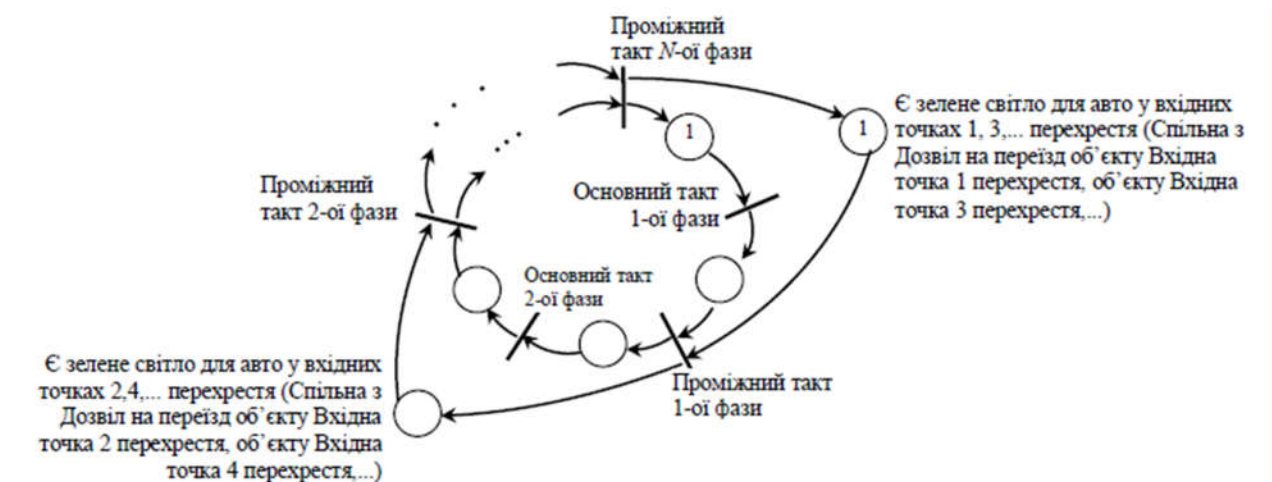


Рисунок 2.7 – Сітка Петрі-об'єкта «Світлофорне регулювання»

Керування з використанням знаків дорожнього руху чи правила «Пропустити автомобіль з права» опирається на дані про присутність автомобілів у вхідних пунктах роздоріжжя, які прибувають із позицій «Сумарна кількість автомобілів а напрямі j », «Найбільша кількість автомобілів в напрямі j ». Позиція «Уся кількість автомобілів в напрямі j » застосовується для з'ясування наявності автомобіля в j -напрямі ходу, позиція «Найбільша кількість автомобілів в напрямі j » для виявлення нульової кількості автомобілів в j напрямі ходу на роздоріжжі. Прямування в основних напрямленостях на роздоріжжі поновлюється якщо появляється бодай один автомобіль будь-якому із основних напрямів ходу [33]. Право на переїзд в не основних напрямленостях розгалуження появляється, коли на шляху не знаходиться ні одного автомобіля для пересування у будь якому з основних напрямленостей ходу. На рисунку 2.8 показано взірць мережі Петрі-об'єкта «Регулювання» у момент, у якому дорожні знаки «Головна дорога» використані для напрямів 1 та 3. Керування за допомогою знаку дорожнього руху «Дати дорогу» таке ж саме по відношенню до знаку «Головна дорога» для усіх других напрямів роздоріжжя, де немає оповіщення «Дати дорогу».

Керування з допомогою правила «Пропустити авто праворуч» застосовується для роздоріжж, де немає дорожніх знаків, які б вказували на пріоритет одного із учасників руху відносно іншого на роздоріжжі і завбачує, що напрям ходу з права від автомобіля, котрий доїжджає до роздоріжжя, є

головним за напрямом слідування, де знаходиться авто. Під час розробки такого методу керування актуально мани на увазі всі умови, при яких рух дозволено і умови, якщо дозволу немає. Автомобіль, який рухається, створює подію «Дозволити рух у напрямі j » тоді, коли в даному потоці є автомобілі, а у напрямі праворуч немає жодного транспортного засобу і в той самий час є дозвіл на здійснення руху. Логічно, що дозвіл не потрібний, коли на дорозі немає жодного автомобіля.

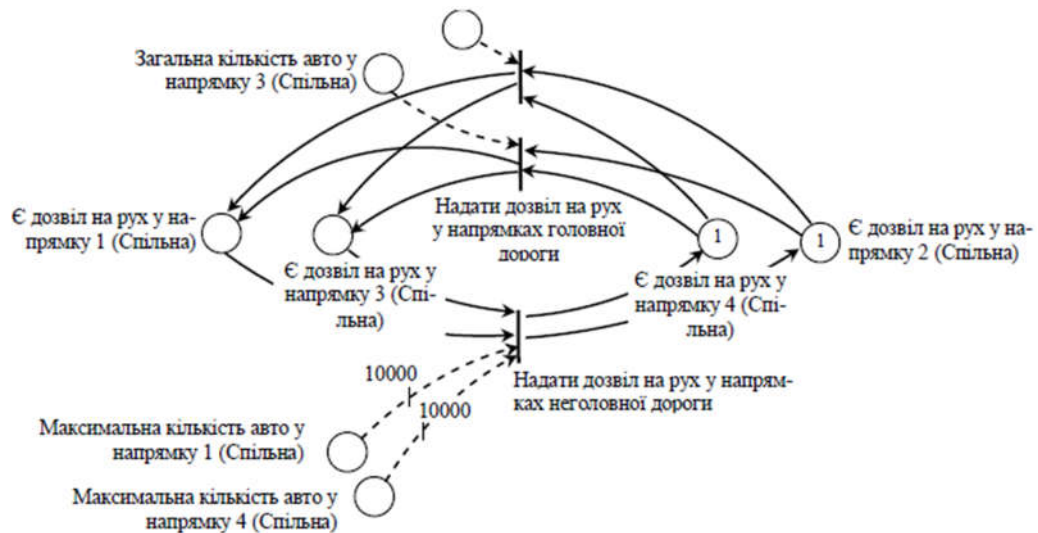


Рисунок 2.8 – Мережа Петрі-об’єктна керування за допомогою знаку дорожнього руху «Головна дорога»

Будування мережі Петрі-об’єкта керування створюється для окремого об’єкта «Роздоріжжя» і у них присутні спільні позиції «Сумарна кількість автомобілів а напрямі j », «Найбільша кількість автомобілів в напрямі j » та «Є право на пересування у напрямі j ». Отже, усі Петрі-об’єкти зв’язані між собою: «Вхідний пункт роздоріжжя», «Вихідний пункт роздоріжжя», «Світлофор» (рисунок 2.9).

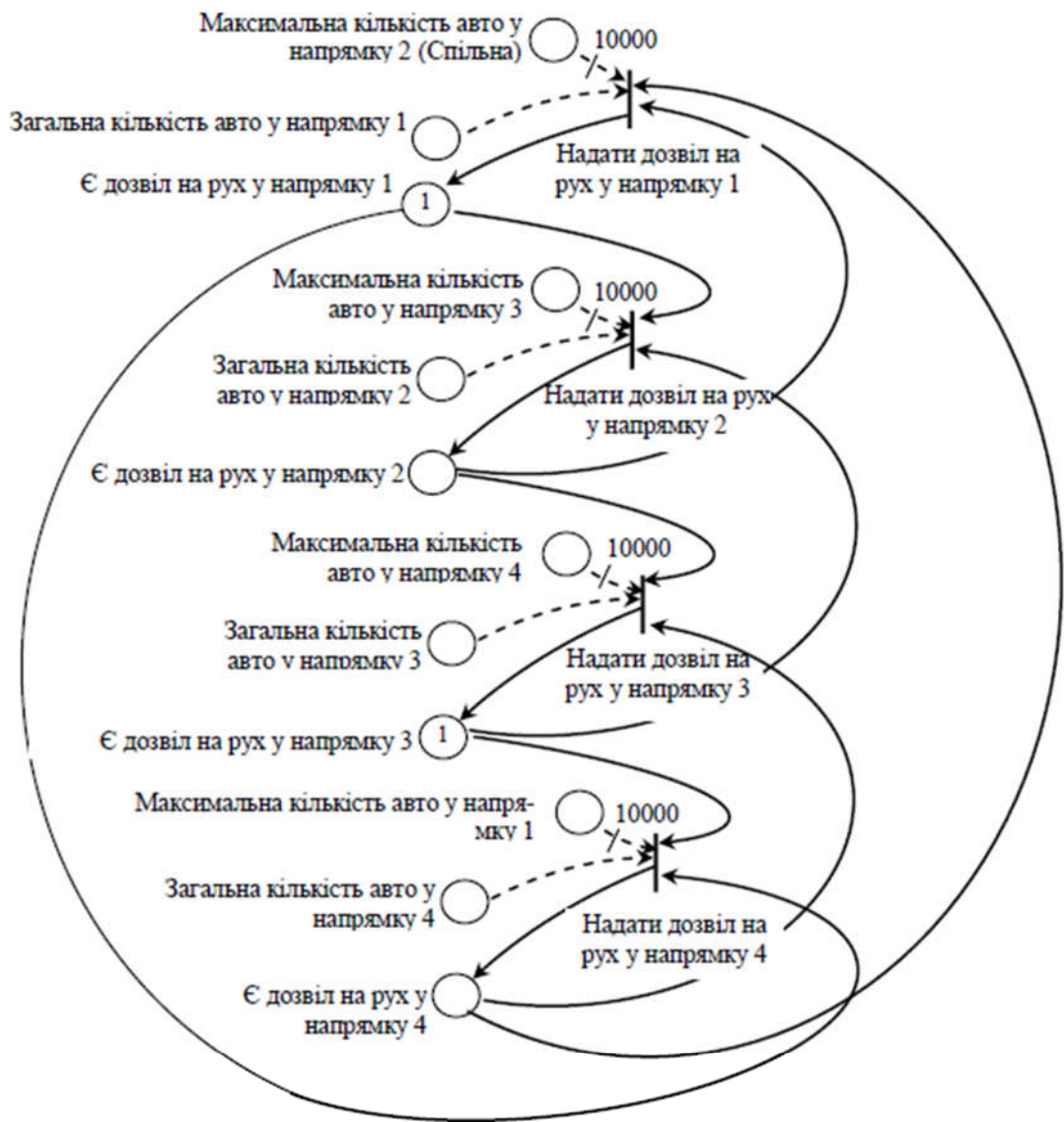


Рисунок 2.9 – Мережа Петрі-об'єкта керування коли регулювання здійснюється за правилом «Пропустити авто праворуч»

«Генератор транспорту» складається тільки завдяки спільним позиціям. Модель порядку керування автотранспортним ходом діє за допомогою засобів мови програмування Java і вбудованого середовища Netbeans IDE 6.5. Отже за допомогою імітаційного моделювання можемо визначати скільки авто очікує переїзду із об'єктів «Вхідний пункт роздоріжжя» і вираховується параметри якості керування.

Здійснення події «Дозволити рух в напрямі j » зумовлює реалізацію параметру «Є право на пересування у напрямі j » а також здійснення параметру «Немає права на пересування у напрямі ліворуч».

Паралельна реалізація параметрів «Нульова кількість автомобілів» та «Дозвіл на пересування у напрямі праворуч» показує, що в даний час момент руху у напрямі праворуч немає [35]. Отже, одержуємо мережу Петрі-об'єкта «Регулювання», взірець що показаний «пропустити автомобіль праворуч» на чотирьох-сторонньому хрестоподібному роздоріжжі.

3 ПРОГРАМНО -АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ РУХУ ТРАНСПОРТУ

3.1 Структура програмного забезпечення системи.

Після розподілу потоків транспортних засобів з використанням карти міста створюється маршрутна мапа руху громадського транспорту, яка зображена на (рисунок 3.1), а також будується мапа щільності автотранспортних маршрутів, що зображена на рисунок 3.2.



Рисунок 3.1 - Картограма пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту

Отримавши матриці кореспонденції пасажирів відносно прошарків потреб, які поділені по типах громадського транспорту який і задовольняє цей попит, то наступним кроком стане перерозподіл вже існуючих матриць відносно автотранспортних можливостей, щоб вибрати один зі шляхів здійснення даних кореспонденцій.

Фінальним завданням побудови автотранспортних моделей є покращення та пристосування головних показників співвідношень, за допомогою яких

Заключний етап розробки транспортних моделей зводиться до вдосконалення і пристосування основних визначальних співвідношень, що визначають закономірності в автотранспортних потоках із врахуванням діючих автотранспортних можливостей задовільнені потреб мешканці у пересуванні відносно локальних установ. Такий крок має назву налагодження моделі.



Рисунок 3.2 - Мапа щільності автотранспортних маршрутів.

Етап налагодження моделі є дуже важливим етапом в побудованні автотранспортної моделі. У ньому потрібно добитися найвищої точності показників, які подержаться в результаті моделювання, та значень, отриманих під час дослідження щільності пасажирських та транспортних потоків.

Нехай λ_i – інтенсивність потоку пасажирів, що перевозяться транспортними засобами тільки i – го маршруту;

λ_1 – інтенсивність потоку пасажирів, що перевозяться транспортними засобами усіх маршрутів; - збиток міському середовищі від одного рейсу на маршруті;

δ_i – інтенсивність транспортного потоку на маршруті; - інтенсивність транспортного потоку на всіх маршрутах; - максимальна пасажиромісткість на маршрутів;

μ_i – інтенсивність транспортного потоку на маршруті;

μ_0 – інтенсивність транспортного потоку на всіх маршрутах;

q_i – максимальна пасажиромісткість на маршруті.

$$\sum_{K=0}^K \frac{Y_0 \lambda_k}{\mu_k} + \sum_{K=0}^K \delta_k \mu_k \rightarrow \min$$

(3.1)

Обмеження на пасажиромісткість для першого і другого маршрутів:

$$\frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_k}{\mu_k} \leq q_k$$

(3.2)

Розглянемо задачу при чотирьох маршрутів та наступних параметрах: пасажиропотоку $\lambda_1 = 220$, $\lambda_2 = 440$, $\lambda_3 = 350$, $\lambda_4 = 170$, $\lambda_0 = 400$.

Враховуючи, що пасажиропотік на другому маршруті вище, для перевезення використовується більшого вмісту $q_1=54$, що завдає за один рейс збиток міському середовищу в розмірі $\delta_1 = 3$ грн, на маршруті для перевезення використовується мікроавтобус середнього класу $q_1=24$, що наносить за один рейс збиток міському середовищу в розмірі $\delta_2 = 4$ грн. На інших маршрутах використовуються мікроавтобуси малого класу місткістю $q_3 = 18$, що наносять за один рейс збиток міському середовищу в розмірі $\delta_3 = 4$ грн

Вартість втраченого часу пасажирів в очікуванні $\gamma = 12,44$ грн. (тобто мінімальна почасова заробітна плата станом на 10.12.2017)

Оптимізація за допомогою формули (2.10) може бути вирішена без обмежень (2.11, 2.12) і з обмеженнями. Загальний пасажиропотік становить $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_0 = 1550$.

За допомогою розробленої програми знайдемо оптимальну інтенсивність руху з обмеженням на пасажировмістимість та без. Оптимальну інтенсивність руху отримаємо мінімізуючи втрати системи «місто». В програмі для мінімізації функції змінних використано метод градієнтного спуску з початковим наближенням інтенсивності руху $\widehat{\mu}_k = \sqrt{\frac{\gamma \lambda_k}{\delta_k}}$, ($k = \overline{1, k}$) ідея якого полягає у тому, щоб змінювати поточну координату у напрямку найшвидшого спадання цільової функції. Накладаючи обмеження на пасажиромісткість маршрутного засобу нам потрібно, щоб початкове наближення задовольняло системі нерівностей, а для цього ми звели їх до рівностей і програмно розв'язали за допомогою метода ітерацій, після чого отримані значення підставили у метод градієнтного спуску.

На рисунку 3.3, представлено гістограму (для більшої наочності) оптимальних інтенсивностей руху міського пасажирського транспорту по маршрутах без обмеженням на пасажиромісткість та з обмеженням на рис. 3.4.

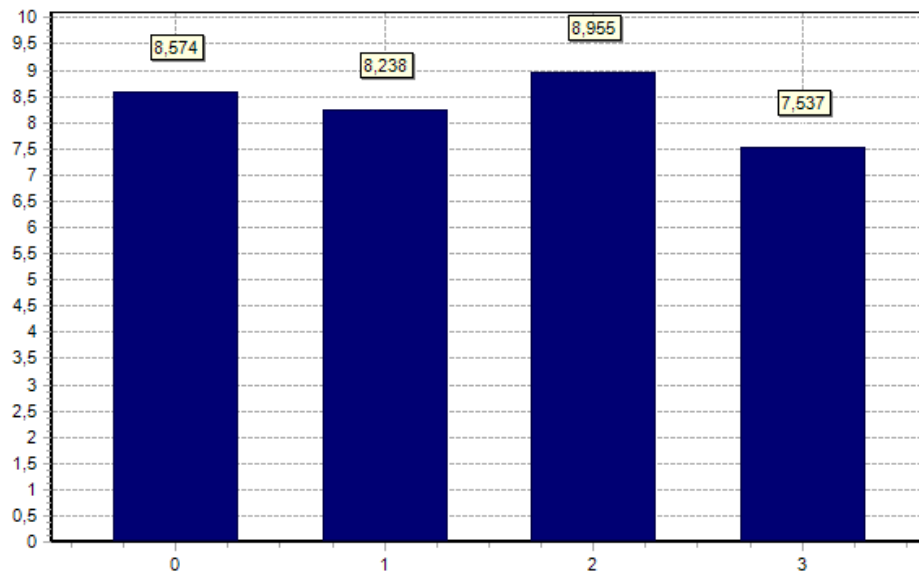


Рисунок 3.3 Гістограма інтенсивності руху МГТ без обмеження на кількість пасажирів

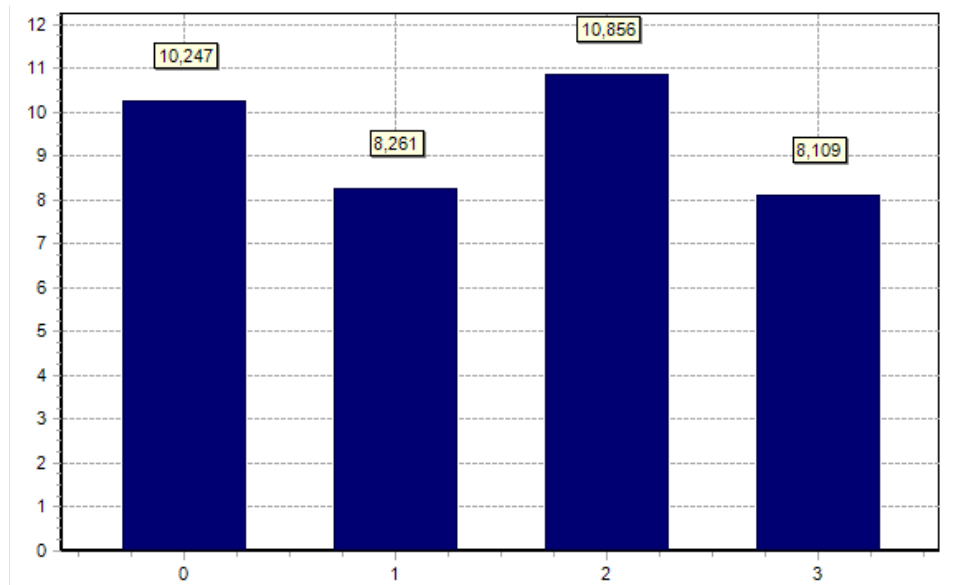


Рисунок. 3.4 Гістограма інтенсивності руху МГТ з обмеженням на кількість пасажирів

Як ми бачимо на рисунку 3.4 при введенні обмежень для нашого випадку інтенсивності руху 1-го та 3-го маршрутів значно змінились, а для 2-го та 4-го майже залишились тими ж самими. Прослідкуємо за зміною інтенсивностей при зменшенні кожного пасажиропотоку на 100 (рис. 3.5 та рис. 3.6), тобто $\lambda_1 = 420, \lambda_2 = 320, \lambda_3 = 250, \lambda_4 = 70, \lambda_0 = 300$. та при збільшенні його на 200 (рис. 2.5 та рис. 2.6), тобто $\lambda_1 = 420, \lambda_2 = 610, \lambda_3 = 550, \lambda_4 = 370, \lambda_0 = 600$.

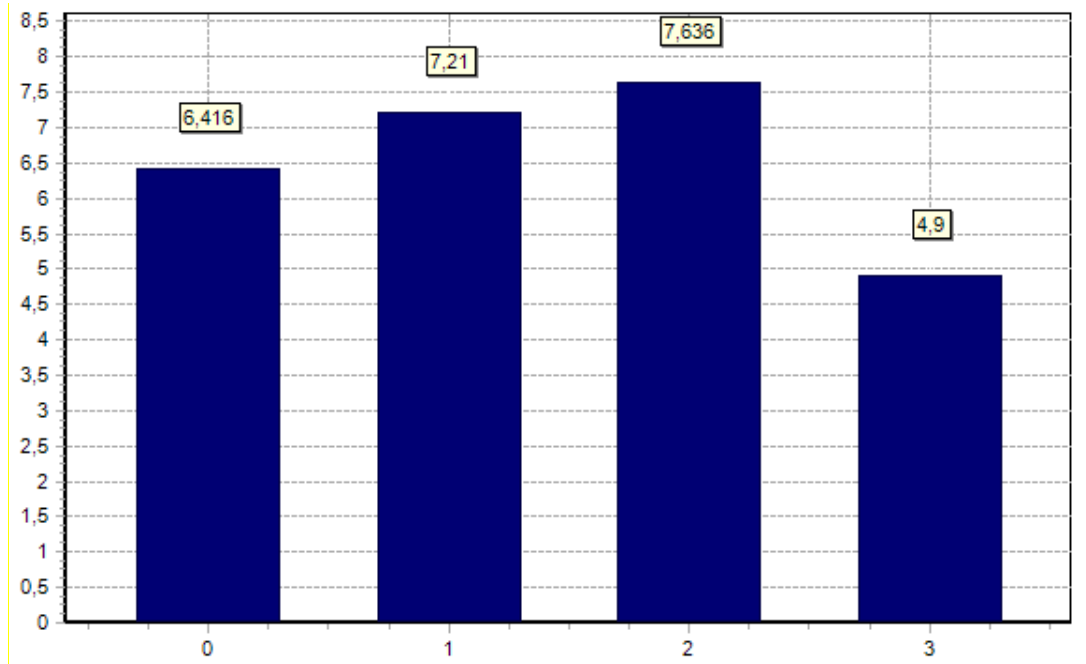
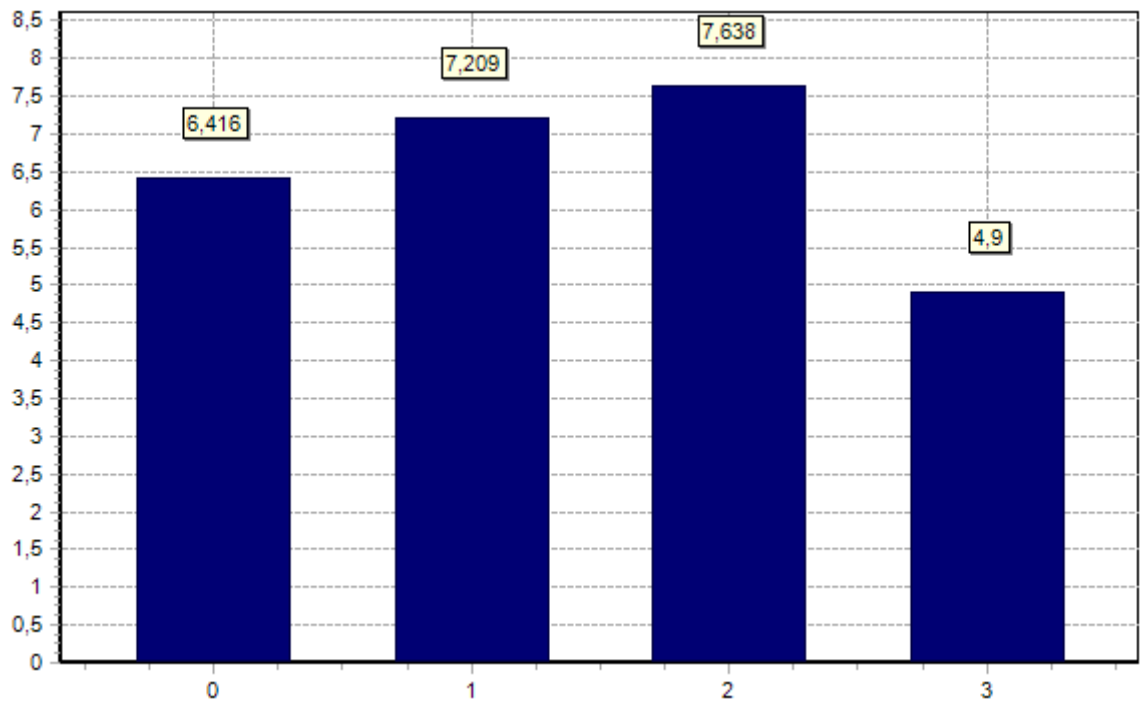


Рисунок 3.5 Гістограма інтенсивності руху МГТ без обмеженням на містимість пасажирів при зменшенні початкового пасажиропотоку на 100

Із рисунка 3.5 та рисунка 3.6 можемо зробити висновок, що при невеликому пасажиропотоку інтенсивності знайдені за умови обмеження та без неї майже не відрізняються. Тобто чим менше пасажиропотік, тим менше змінюються інтенсивності із введенням обмеження. А ось порівнюючи рис. 2.5 та рис. 2.6 робимо висновок, що при збільшенні пасажиропотоку інтенсивності починають значно відрізнятися при введенні обмежень.



Рисунку 3.6 Гістограма інтенсивності руху МГТ з обмеженням на пасажиромісткість при зменшенні початкового пасажиропотоку на 100

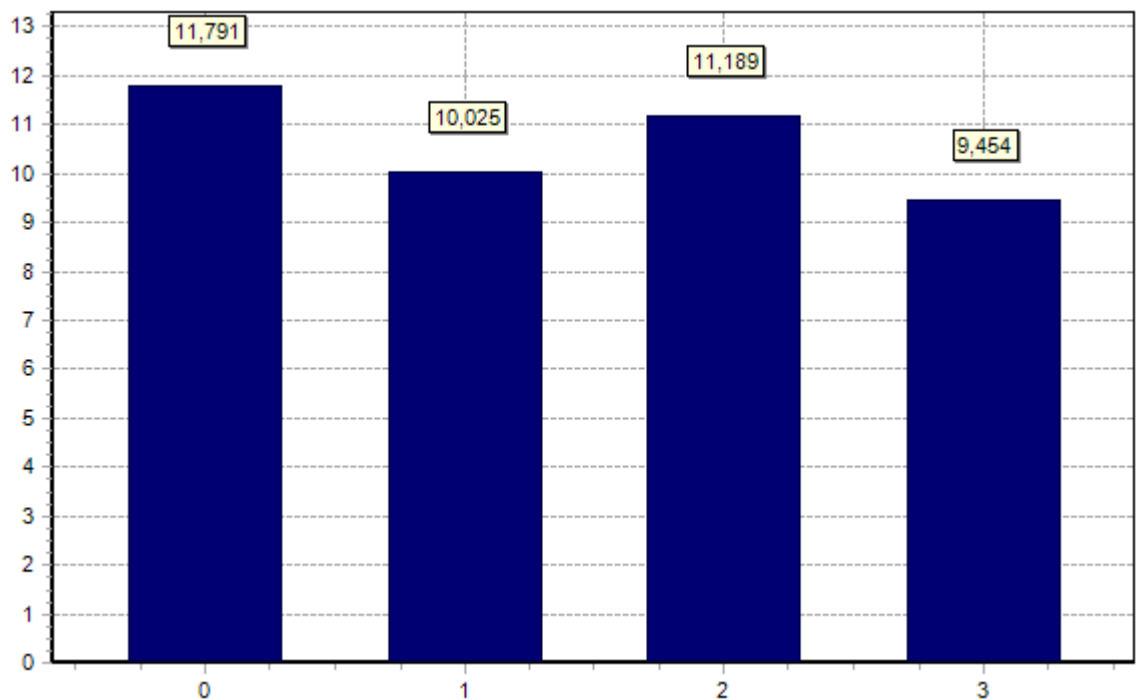


Рисунок 3.7 Гістограма інтенсивності руху МПТ без обмеженням на пасажиромісткість при збільшенні початкового пасажиропотоку на 200

А ось порівнюючи рисунок 3.6 з рисунком 3.7 робимо висновок, що при збільшенні пасажиропотоку інтенсивності починають значно відрізнятися при введенні обмежень. Тобто облік обмеження має великий вплив при зростанні пасажиропотоку, а також для транспортних засобів меншою місткістю.

Тобто облік обмеження має великий вплив при зростанні пасажиропотоку, а також для транспортних засобів меншою місткістю. Порівняємо тепер середнє наповнення кожного маршрутного засобу з обмеженням на пасажиромісткість та без обмеження.

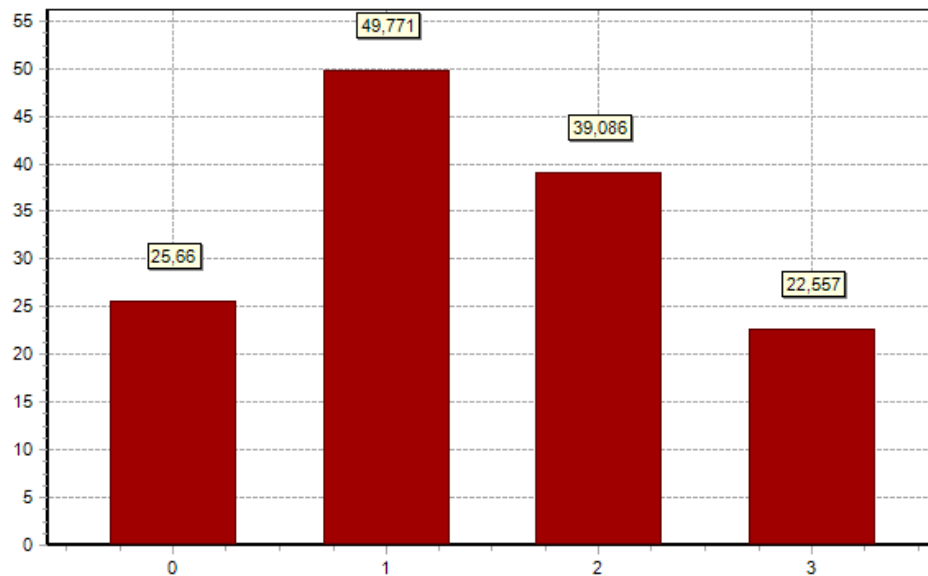


Рисунок 3.8 – Середнє наповнення на маршрутах без обмежень

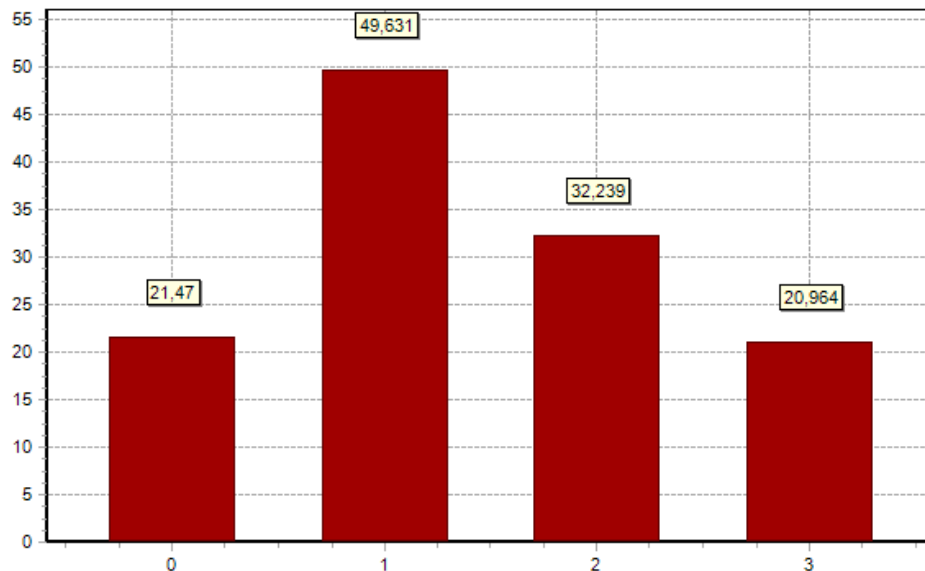


Рисунок 3.9 – Середнє наповнення на маршрутах з обмеженням

Отже, середнє наповнення МПТ зменшується при введенні обмежень. Тобто якщо не використовувати обмеження на пасажиромісткість, то може спостерігатися значне перевищення пасажиромісткості, що призведе до незручності пасажирів, перевантаження транспортного засобу та відмов в

обслуговуванні пасажирів. Тому важливо враховувати обмеження на пасажиромісткість при організації роботи громадського транспорту.

Опрацюємо основний підхід який оснований на основі виявлення і порівняння навантажених ділянок та за допомогою якого можна знаходити нові менш навантажені маршрути для громадського транспорту, саме цей метод може бути використаний для сучасних систем транспортної навігації. Добовий поділ потоків зображений за допомогою даного методу зображений на рисунку 3.10

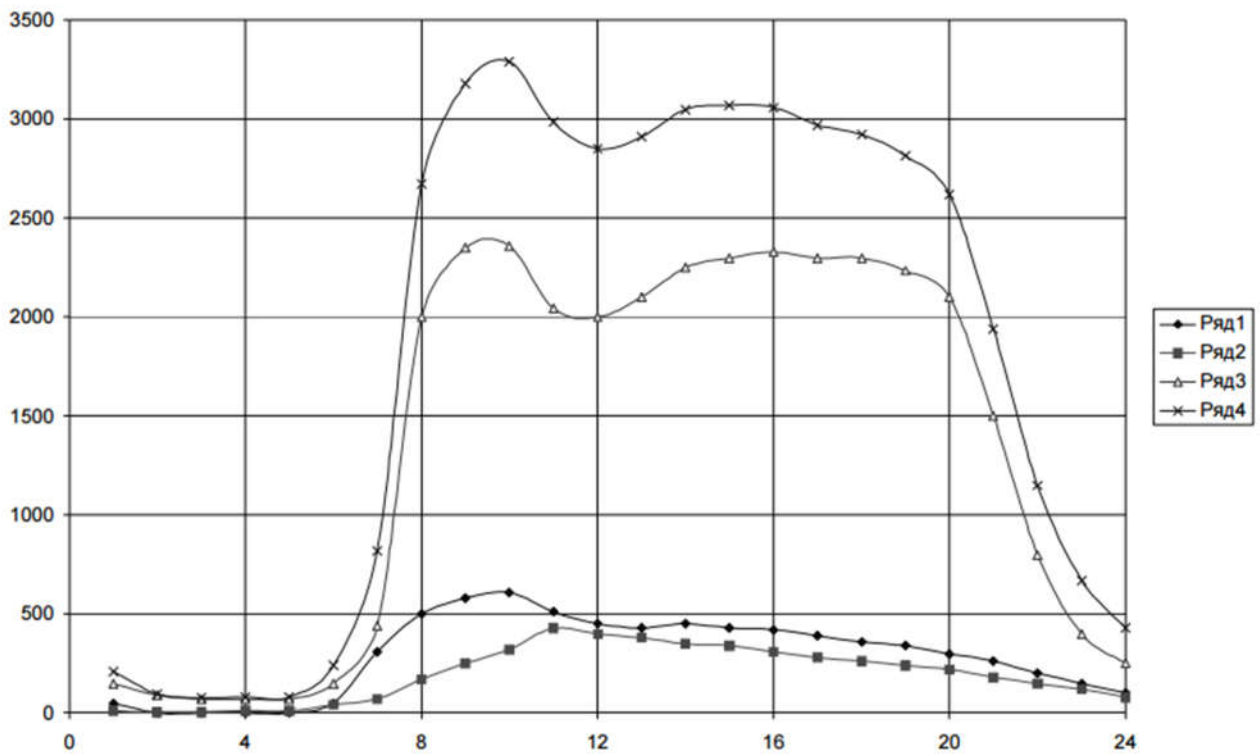


Рисунок 3.10 – поділ завантаженості смуг руху відносно типів автотранспорту на роздоріжжі.

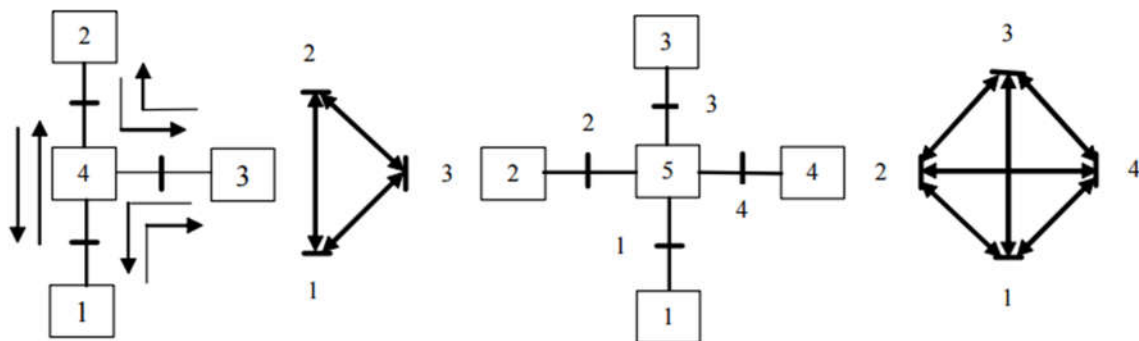


Рисунок 3.11 – Трансформація послідовної моделі відповідних роздоріж' у відповідну модель перетинів.

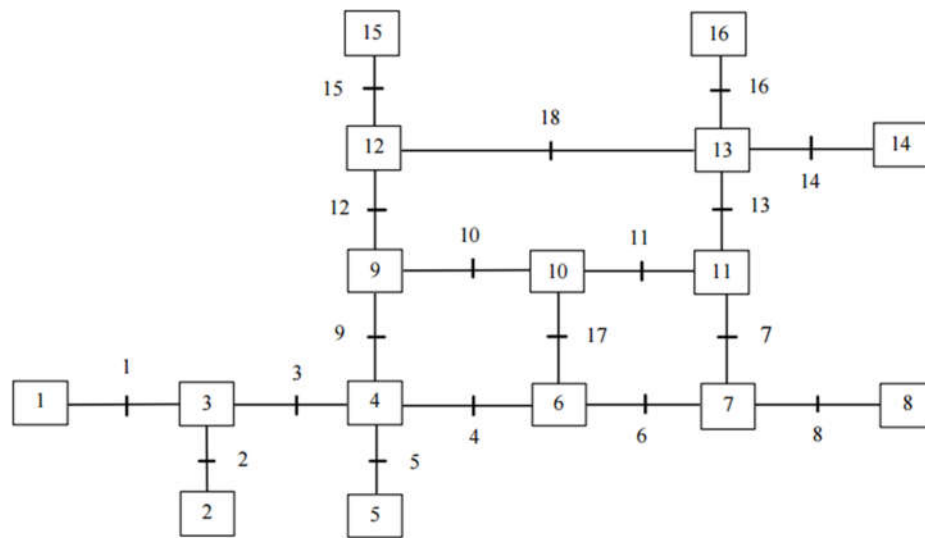


Рисунок 3.11 – Модель району міста з використанням потокових вузлів.

Для аналізу транспортних потоків вул. Стрийської та прилеглих вулиць на основі вузлової потокової моделі побудована потокова модель для перетинів (рисунок 3.6).

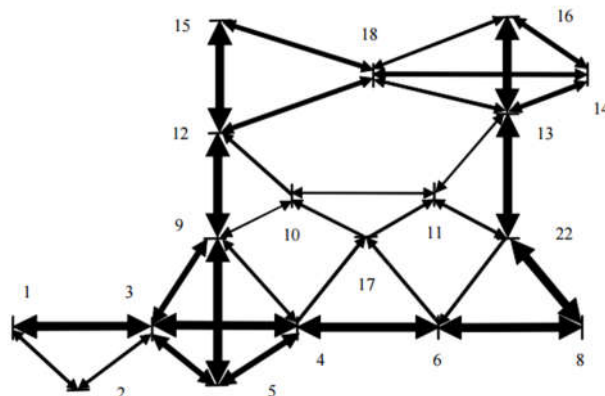


Рисунок 3.6 – Модель перетинів навантаженої ділянки одного з районів мегаполісу.

Збільшення кількості автотранспортних засобів призведе відповідно до збільшення потоків та обмежить варіанти та можливості для модернізації чи

збільшення сітки дорожніх шляхів, це спонукає до розбиття великих потоків на більш менші, розподілені потоки в мегаполісі.

В нашій системі працюють вже змодельовані швидше Петрі об'єкти, слід тільки об'єднати згідно мапи маршрутів їх в одну велику структуру з безлічі Петрі об'єктів. Це наблизить нас до наступного кроку симуляції моделювання та розбиття потоків автотранспорту, а також допоможе зі збором інформації під час даної симуляції, ці дані ми використаємо для вирішення проблем у критичних точках маршрутів громадського транспорту.

Також важливим моментом є сервіси інформаційної підтримки водіїв під час руху до місця прямування. Все це являється підсистемами інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

3.2 Технічне забезпечення системи

Затруднений рух на дорогах регулярно виникає у всіх мегаполісах світу, що породжує необхідність розробки різних методів боротьби з цим явищем. У ряді європейських країн при швидкості міського руху близько 25-30 км / год ситуація визнається проблемною. У нашій країні вважається, що ситуація перейшла в розряд вимагають втручання, якщо потік машин стоїть на місці протягом декількох хвилин або рухається зі швидкістю 10-15 км / год. З огляду на те, що в мегаполісах кількість машин постійно збільшується, дана ситуація тільки погіршуватиметься. Однією з причин виникнення пробок служить погана організація або неефективне регулювання руху - погано налаштовані світлофорні фази.

Дослідження роботи світлофорів в різних регіонах України показують, що в даний час більшість світлофорів працюють не оптимально. У нашій країні світлофорів, які обладнані датчиками транспорту (ДТ) дуже небагато. Так, наприклад, в Києві на 1617 км доріг має 1000 складних перехресть, на яких розташовано 200 ДТ. Невелика кількість ДТ має в Одесі, а в інших містах України ДТ відсутні.

Датчики дозволяють створювати фазові таблиці завантаженості перехресть. Кількість фазових таблиць, що відображають певні плани перемикання світлофорів залежно від дня тижня або години, не перевищує 5. Частіше використовується від 1 до 3 планів роботи світлофора на добу, при цьому враховується зміна інтенсивності транспортного потоку в будні, п'ятницю і вихідні. Режим роботи світлофора в Києві може змінюється від 3 до 15 разів на тиждень. Закордоном фазові таблиці на завантажених перехрестях змінюються набагато частіше. Так сучасні контролери можуть зберігати до 64 таблиць [3, 4].

При будівництві тієї чи іншої дороги в проект вносяться розрахункові дані про її пропускну здатність. Надалі, при експлуатації дороги на даній ділянці планується не пропускати «зайву» кількість машин. Одна з пропозицій - ввести в систему управління рухом адаптивне світлофорне регулювання, яке реагує на дорожню ситуацію в реальному часі. Суть роботи цього регулювання полягає в тому, що на задану ділянку пропускається така кількість автомобілів, яка не перевищує ту теоретично розраховану кількість, що визначена під час моделювання проблемної ділянки. Це є ключовою умовою для запобігання пробок на будь-якій ділянці дороги. Адаптивне регулювання використовує широке застосування Інтернету для запобігання пробок на дорогах.

У даній роботі розглядається використання створеної авторами комп'ютерної програми «Транспортний потік», що дозволяє управляти адаптивними світлофорами в ручному і автоматичному режимах. Меню програми для роботи в автоматичному режимі проілюстровано на рисунку 3.7, в ручному режимі - на рисунку 3.7

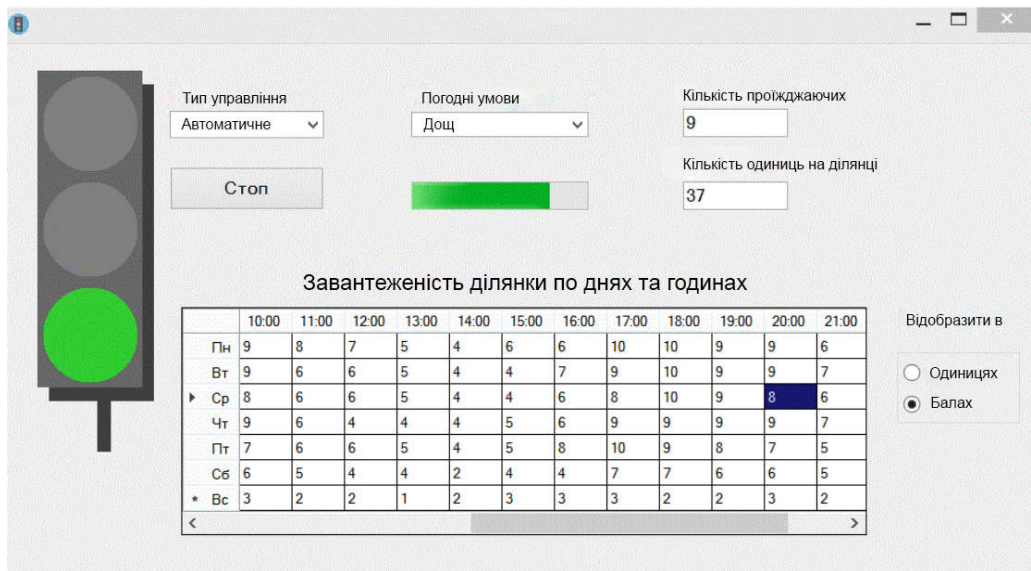


Рисунок 3.7 Меню програми "Транспортний потік" в автоматичному режимі керування.

Програма дозволяє візуалізувати процес, використовуючи постійні дані - таблиці завантаженості перехрестя в різні дні тижня і години. Враховуються і змінні фактори:

1. освітленість дороги,
2. атмосферні явища (сніг, дощ, туман, ожеледь),
3. зчеплення з дорожнім полотном.

Передбачається, що траса розбивається на окремі віртуальні ділянки. Кожному ділянці присвоюється індивідуальний номер. Відповідно до цього номера передбачена можливість завантаження карти ділянки з Інтернету. Приклад обраних для розрахунків ділянок наведено на рис. 3.

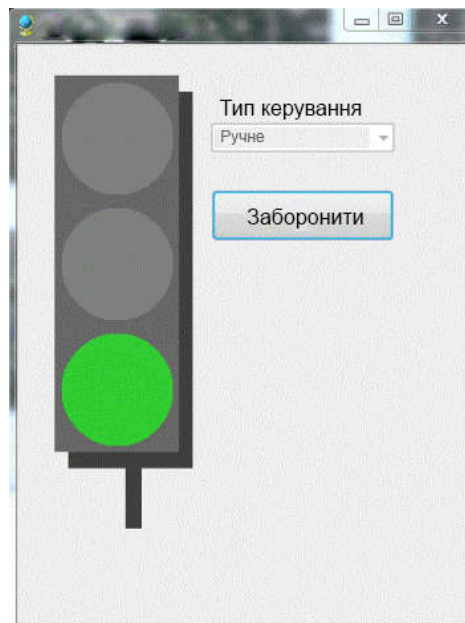


Рис 3_2. Меню програми "Транспортний потік" в режимі ручного управління

Основні функціональні можливості програми:

1. завантаження з Інтернету карти із зображенням розглянутого перехрестя;
2. вибір режиму роботи - ручне управління або автоматичний режим;
3. зчитування табличній інформації про стан завантаженості перехрестя і погодних умовах;
4. збереження результатів в графічному і табличному вигляді.

Передбачається, що кожне перехрестя зі світлофором має унікальний номер і свою таблицю завантаженості. У сучасних блоках управління світлофором встановлений модем та сімкарти для доступу в інтернет і синхронізації часу і дати з сервером.

Принцип роботи програми:

1. фіксація кількості машин до і після світлофора;
2. включення червоного сигналу за умови, що кількість машин після світлофора перевищує допустиме значення;
3. включення зеленого сигналу за умови, що кількість машин після світлофора менше граничного значення, або кількість машин до світлофора перевищує граничне значення;
4. зчитування даних з бази завантаженості перехрестя;

5. передача даних про кількість машин, що знаходяться на ділянці, за допомогою ГЛОНАСС або GPS.

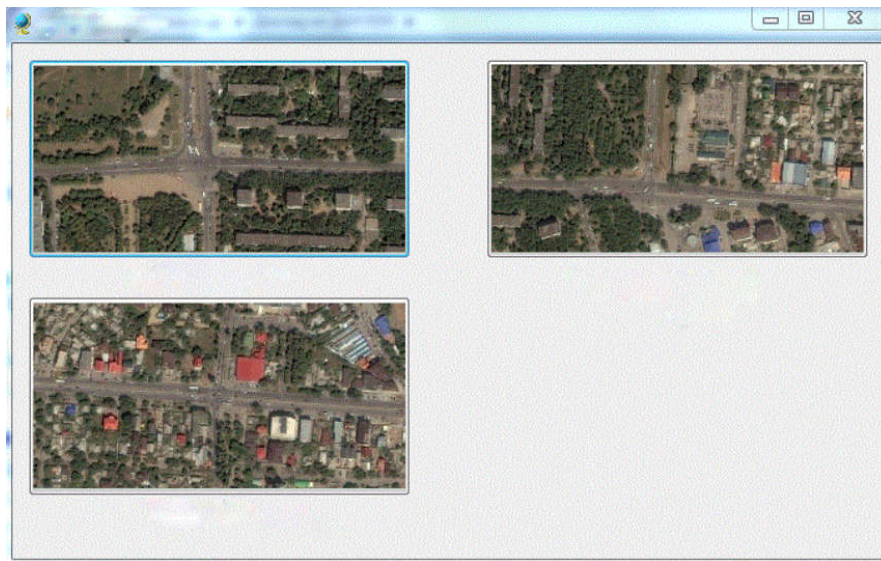


Рис. 3. Вибір ділянки для керування світлофором. Знімки з супутника.

Програма в реальному режимі часу перевіряє кількість машин на контрольованому світлофором перехресті (поле «Кількість одиниць на ділянці») і при перевищенні порогового значення забороняє проїзд, включаючи червоний сигнал. Якщо включений зелений сигнал, то таймер відзначає кожен з проїжджаючих автомобілів («Кількість під'їжджають») і додає до загального потоку на ділянці, при цьому частина транспорту їде з даної ділянки на наступну.

При досягненні максимально допустимої кількості одиниць на ділянці автоматично включається червоний сигнал. Якщо горить червоний, то автомобілі на ділянку не пропускаються, відбувається розвантаження ділянки: від загальної кількості віднімаються випадкові величини, тому що транспорт рухається і залишає нашу ділянку. Як тільки ділянку звільняється в достатньому обсязі, щоб прийняти нові одиниці, включається зелений сигнал.

Робота виконується з використанням декількох таймерів практично в реальному часі (інтервал таймерів 3-4 сек.). В автоматичному режимі будь-яке втручання в роботу програми не потрібно.

Для реалізації даного алгоритму необхідна установка датчиків біля світлофорів. Схема установки датчиків приведена на рис. 4. Датчик D1

підраховує кількість машин, які під'їжджають до світлофора. Датчик D2 - стирає з пам'яті машину, яка проїхала світлофор.

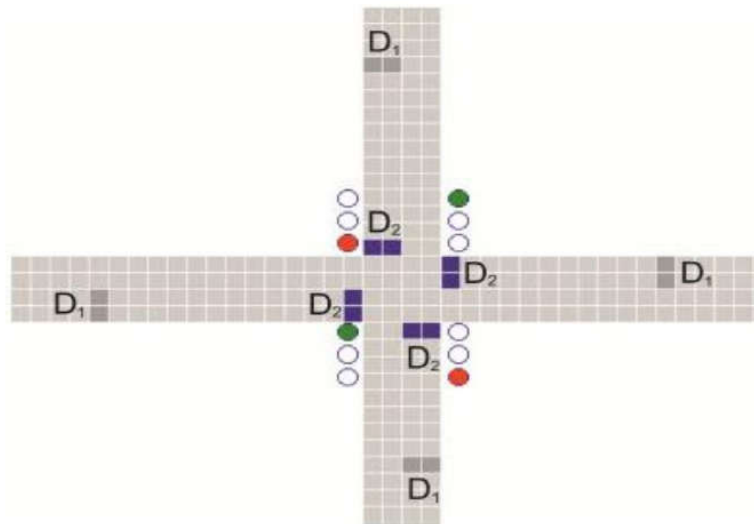


Рис. 4. Схема розміщення датчиків для підрахунку кількості машин на перехресті.

При виборі автоматичного режиму завантажується таблиця допустимих значень для транспортного потоку на ділянці. Поточне значення кількості автомобілів на ділянці приймається рівним $4/5 * \max$, після чого моделюється потік. Порівняння результатів роботи світлофора з фіксованим режимом роботи (ФС) і АС показує, що при однакових параметрах АС дає істотне зниження довжини черги на перехресті і часу очікування в порівнянні з ФС (рис. 5). Впровадження світлофорів з адаптивними алгоритмами найдоцільніше на перехрестях, де значно змінюється інтенсивність руху протягом доби.

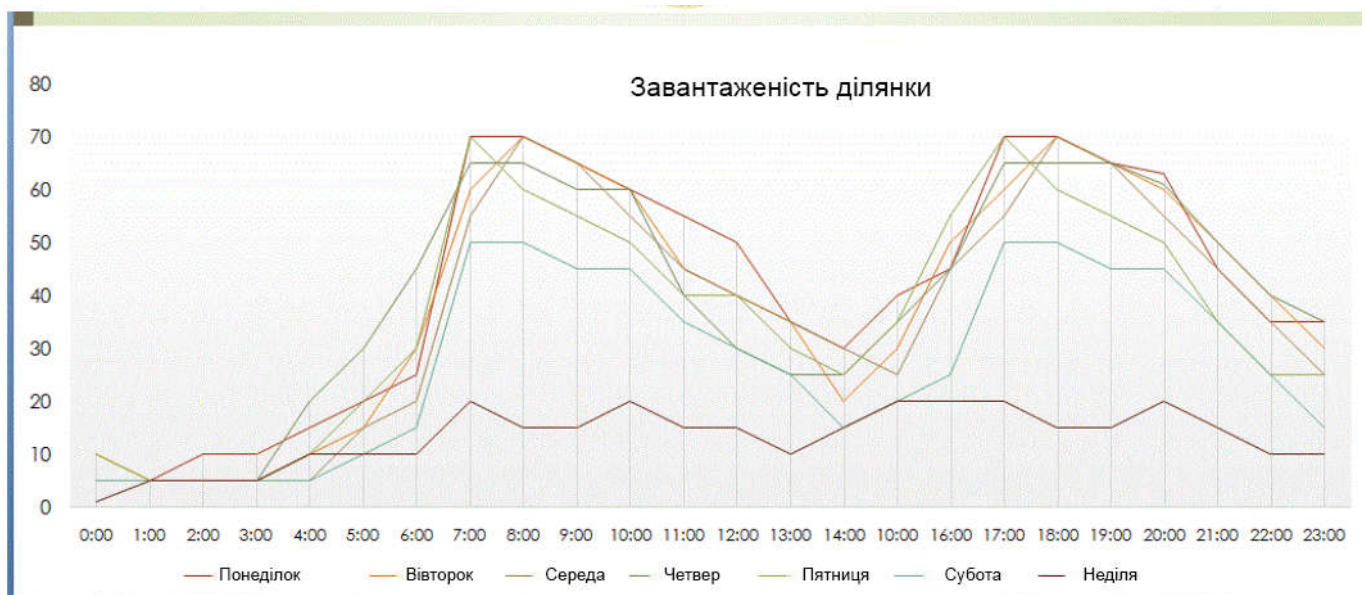


Рис. 5. Залежність кількості машин на перехресті від дня тижня та години.

Результати даного дослідження дозволяють внести пропозиції щодо підвищення пропускнуєї здатності доріг і поліпшення екологічної обстановки міста. За допомогою моделювання можна визначити критичні точки та саме на них встановити адаптивне світлофорне регулювання, але для досягнення максимального результату необхідно з'єднати всі ділянки в систему. Установка такого регулювання, яке здійснюватиме регулювання транспортного потоку, дозволить істотно заощадити кошти на реконструкцію і розширення дорожнього полотна.

3.3 Програмно-апаратне забезпечення системи контролю

Під час реалізації усіх базових умов система буде забезпечена усіма вхідними даними моделювання, а також буде забезпечене встановлення технічної бази на реальні об'єкти. Після цього можна перейти до реалізації системи на програмному рівні, в критичних точках мегаполісу здійснити перерозподіл потоків.

Відштовхуючись від основного алгоритму, вузла Петрі об'єкту, що знаходиться в центрі мережі, створюємо відношення між ключовими точками,

через які рухаються транспортні засоби в моменти утворення пробок на шляхах та роздоріжжях.(рисунок 3.12).

Реалізація усіх складових частин алгоритму стане наступним етапом в моделюванні транспортних потоків, які представлені швидше, а от їхнє в майбутньому «зіткнення» допоможе виявити перспективні варіанти розв’язання проблеми пробки на даному перехресті.

Саме так відбуватиметься моделювання декількох автотранспортних потоків в яких ми зможемо зупиняти потрібні нам автомобілі та гілки рухів, а пізніше спостерігати як це впливатиме на дорожню ситуацію.

Наступним кроком буде синхронізація та порівняння руху різних варіантів автотранспортних потоків, на основі яких створюються критичні точки, виявлення таких точок якраз і є основним завданням системи.

При відслідковуванні маршруту переміщення громадського транспорту насамперед потрібно вибрати режим накладання маршрутів, який підходить найбільше в конкретний момент часу і який перебуває в режимі роботи (рисунок 3.13)

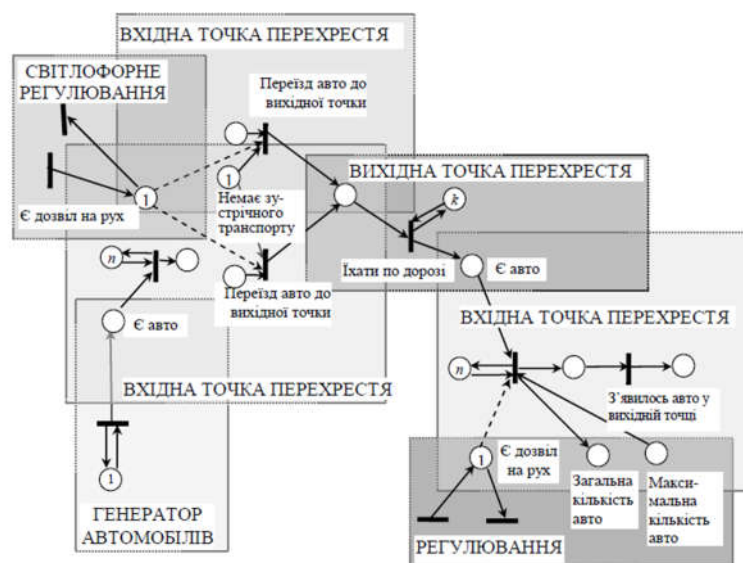


Рисунок 3.12 –Зв’язки між об’єктами мережі Петрі. Вхідний пункт роздоріжжя, Вихідний пункт роздоріжжя, Світлофор, Регулювання, Генератор транспорту.

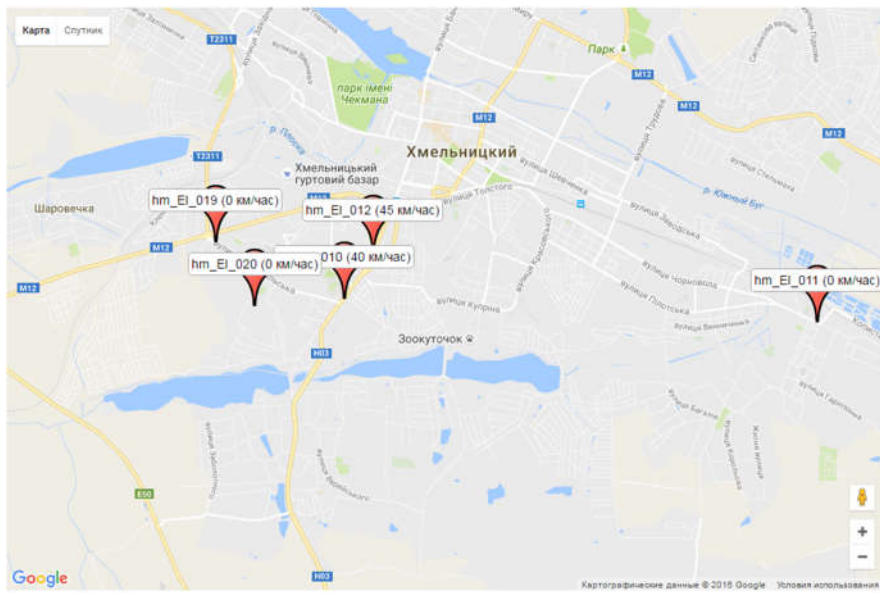


Рисунок 3.13 – Вибір необхідних транспортних засобів.

Коли користувач обирає потрібний йому номер громадського транспорту відбувається відстеження маршруту його слідування. Цей етап створить для нас мапу з ключовими точками, які перетинає засіб під час слідування по запланованому маршруті, ці точки можна розділити на кілька типів: проїзд через перехрестя, зупинка і т.д.(Рисунок 3.14)

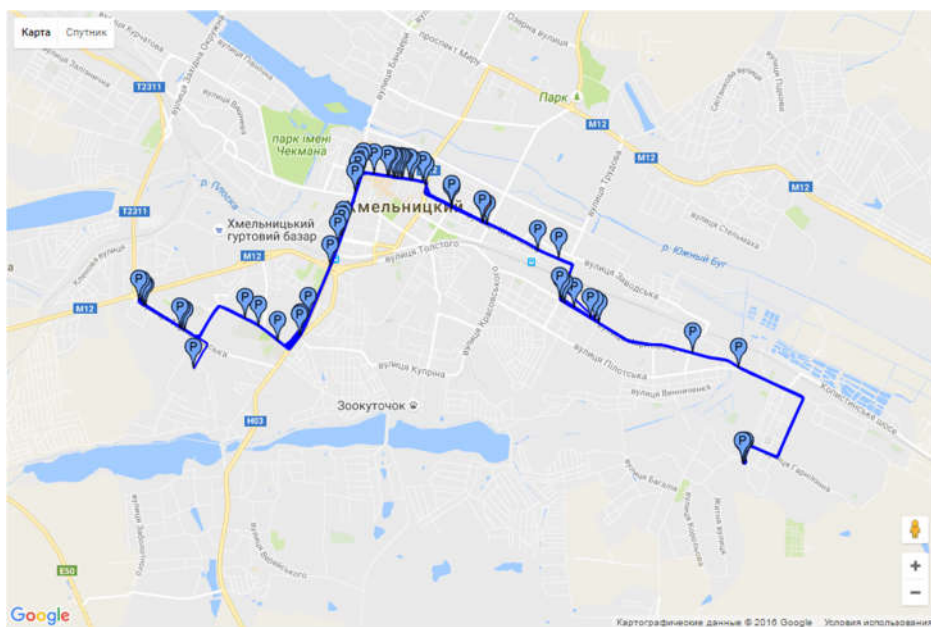


Рисунок 3.14 – Побудова мапи ключових точок першого транспорту.

Після цього вибирається ще один маршрут, на якому є відрізки які пересікаються з нашим першим маршрутом і саме які і можуть спричинити

появу пробок та критично навантажених відрізків в місцях пересічення (Рисунок 3.15)

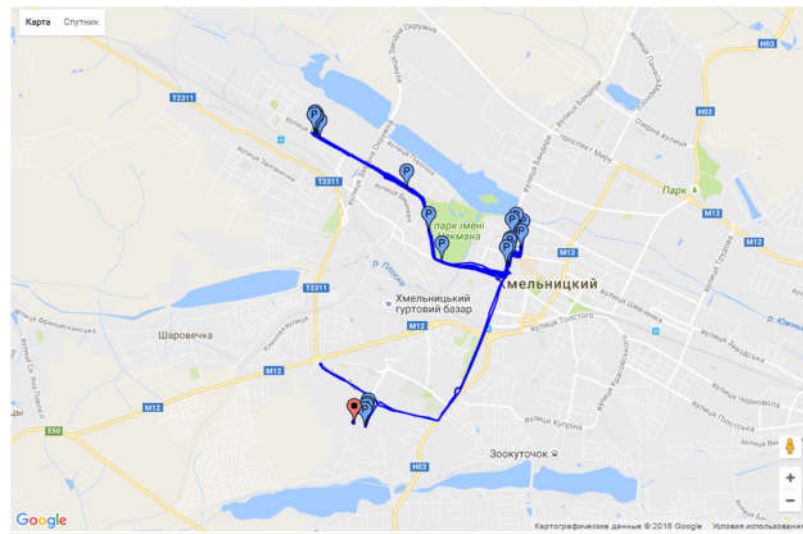


Рисунок 3.15 – Побудування мапи ключових точок для другого маршрутного транспорту.

Відтак отримавши кілька мап з ключовими точками та маршрутом переміщення маршрутних автотранспортних засобів, ми накладемо їх один на одного і отримаємо критичні відрізки та перехрестя на яких вони пересікаються.(рисунок 3.16)

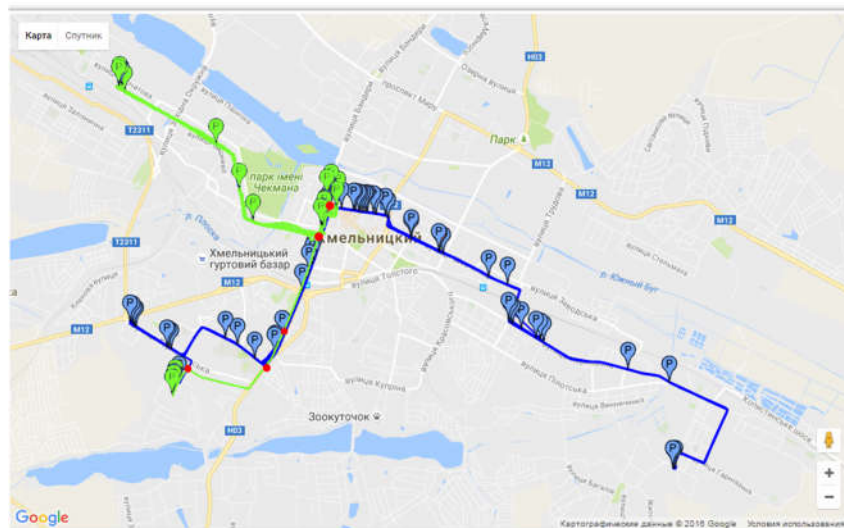


Рисунок 3.16 – Критичні точки пересічення треків

Саме такі критичні відрізки та перехрестя представляють собою місця, де транспорт вимушений затримуватись більше, ніж було заплановано. Це може відбуватись будь де: на перехрестях, світлофорах або в моменти коли рух одних транспортних засобів затрудняється через інші автомобілі, що рухаються в іншому напрямку, але пересікаються з нашим транспортним засобом в певних точках. Якраз такі точки і викликають у нас найбільший інтерес. Після накладання ми отримуємо мапу з пересіченнями усіх накладених маршрутів, саме ці пересічення і стануть критичними відрізками або перехрестями. Вже з визначеними критичними точками ми зможемо детальніше розглянути та визначити основні причини виникнення заторів чи затруднень проїзду критичних ділянок, що утворюються в результаті не своєчасного поділу автотранспорту засобами регулювання дорожнього руху.