

МОДЕЛИРАНЕ НА ПЪТНИ ВЪЗЛИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ТРАФИК

Румен Михайлов, Владимир Вълканов, Христо Христов

Резюме. В статията се разглежда въпросът за моделиране на пътни възли чрез графи. Дискутира се проблемът за моделиране на пътни възли, чрез които да се измерва и манипулира пътният трафик. Целта на проучването е да представи създаването на обектни модели, подходящи за програмна имплементация. Разглеждат се няколко модела, представени чрез схеми, наложени върху пътна карта на кръстовища – реално съществуващи и изключително натоварени, в град Пловдив.

Ключови думи: моделиране, трафик, управление на трафик.

Въведение

Моделирането на пътни възли, чрез компютърно-обработваеми структури е в основата на успешното моделиране на трафични потоци и тяхното управление. Създаването на симулационна среда позволява:

- съпоставяне на различни сценарии за управление на трафика, без да се възпрепятства движението, върху вече изградена и действаща пътна мрежа.
- натрупване на статистически данни – в това число – актуално състояние и резултати от експериментални сценарии за оптимизация.
- използване на обобщените резултати като основа, при изграждането на интелигентни системи за управление на трафика (системи, известяващи инциденти; интелигентни светофарни уредби и др.).

Изборът на структура, репрезентираща пътната мрежа, трябва да позволява моделиране на пътните възли във всичките им разновидности, но и да дава възможност за по-нататъшно обогатяване с трафични данни, а именно:

- Брой ленти в платно.

- Дължина на пътните отсечки.
- Натовареност на пътните отсечки.
- Средно време за преминаване.
- Светофарни уредби и техните времеви настройки.

Моделирането на пътните връзки е основа за изграждане на симулационна среда, която да е в състояние да оценява различните сценарии от гледна точка на времето – за преминаване и престой на превозните средства. Управлението на трафика на сложни пътни системи предполага оценка на състоянието му в реално време и адаптиране на условията за контрол.

Важно е да се отбележи, че подобен тип системи не разполагат с готови маршрути. Необходимо е те да имат възможност за търсене на най-добрия такъв, при създадените условия. Системата няма да бъде използвана за препоръчване на маршрут, но трябва да може да оценява най-често използваните, за да се оптимизира трафикът по тях.

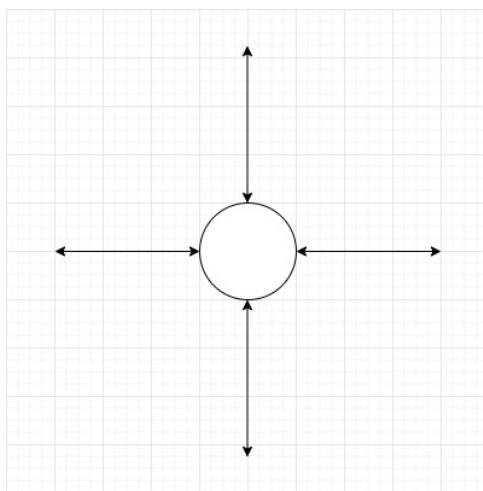
Алтернативни решения

Голяма част от трудовете, свързани с моделиране на пътни мрежи, се фокусират върху моделирането на самия трафик върху пътната мрежа, без да взимат под внимание особеностите на самата пътна мрежа [5, 7]. Целта им е да предложат решения, описващи голям процент от случаите, без да навлизат в спецификите на индивидуалните пътни възли и особеностите на пътната мрежа като:

- Обратни завои.
- Байпас завои.
- Кръстовища с отделна лява или дясна секция.
- Кръстовища със забранена посока на движение.

Такива специфични особености на пътната мрежа могат да оказват сериозно влияние върху поведението на трафика. За пример може да бъде посочено кръстовище, на което не е разрешен ляв завой. Повечето от съществуващите пътни модели не отчитат тази особеност на отделните кръстовища и изчисляват трафичните данни на ниво – пътна мрежа, което ние ще наричаме „**макро ниво**“. Този подход не е грешен сам по себе си, но целта на статията е да разгледа отделните пътни възли и на ниво – специфика на пътен възел, което ще наричаме „**микро ниво**“

и да създаде структури, позволяващи покриване на всеки един отделен вариант на кръстовище. Целта е оптимизация на трафика и на микро ниво, типично за градска среда. В повечето модели [4, 6, 7, 8], обичайното моделиране на даден пътен възел изглежда по следния начин:



Фигура 1. Стандартно кръстовище

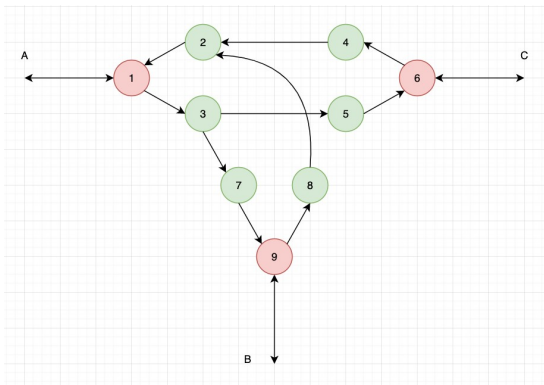
Тази структура не е в състояние да отчете правилно особеностите на кръстовището, от гледна точка на забранителни сигнали, сигнали за отделни посоки и др. Целта на проучването е да разгледа именно тези частни случаи и да създаде модели, отразяващи особеностите в моделирането на пътни възли. За примери ще бъдат използвани пътни възли от град Пловдив.

Повечето симулационни среди на пътни мрежи се моделират чрез насочен граф – подход, който ние също възприемаме. По този начин можем да прилагаме и модифицираме големи алгоритми за търсене в графова структура. Тя позволява добавянето на допълнителни характеристики, които коректно да отразяват състоянието на трафика към момента – пропускливост на пътната мрежа, брой ленти и др.

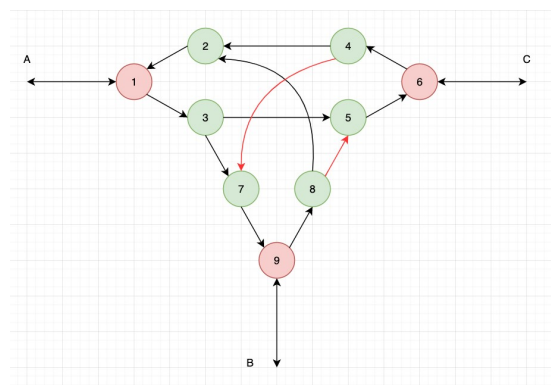
Частни случаи при моделиране на пътната мрежа

За моделиране на пътната инфраструктура ще използваме класически подход – графова структура. Кръстовищата ще бъдат изобразени от върхове, а връзките между тях от ребрата на графа. Графите са най-разпространеният начин за моделиране на пътни системи [3, 6, 8], като с достатъчен брой key/value двойки по върховете и ребрата можем да придадем на симулационната система голямо количество информация.

Съществено отклонение от тази нотация се получава когато има специфични пътни възли – кръстовища, на които има забрана за завиране в дадена посока. Насоченият граф, в който всеки връх е кръстовище, няма как да опише този частен случай, защото определена посока е налична от дадено ребро на графа, но не е налична от друго ребро. Ситуацията изисква описване на кръстовището на микро ниво – всеки пътен възел се представя като специфична графова структура (фиг. 2, фиг. 3).



Фигура 2. Моделиране на кръстовище
(Вариант 1)



Фигура 3. Моделиране на кръстовище
(Вариант 2)

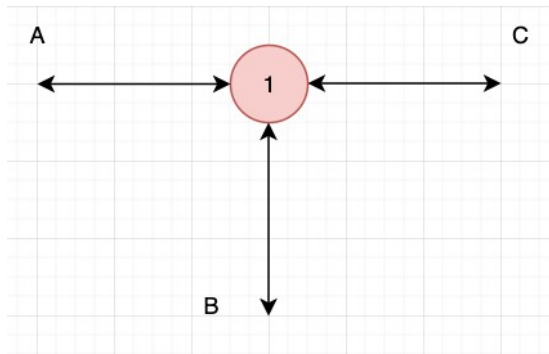
И двата варианта предоставят следната свързаност:

От/До	A	B	C
A	Забранено	Разрешено	Разрешено
B	Разрешено	Забранено	Забранено
C	Разрешено	Забранено	Забранено

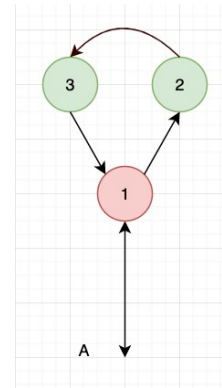
Типичен пример за ползите от представяне на микро ниво е кръстовище със забранен обратен завой, във възли 1, 6 и 9. При забрана за обратен завой по маршрут 2-1-3, ние практически ще предотвратим използването на маршрут 6-4-2-1-3-7-9 от Фиг. 2 и Фиг. 3. Важно е, в софтуерната реализация да отбележим, че идвайки от посока A, имаме право да използваме маршрут 1-2, но поради забранен обратен завой маршрут 2-1-3 не е възможен. Забраната ще доведе до различен резултат при алгоритъм, търсец път между начална и крайна точка, ако пътната мрежа бе разглеждана само на макро ниво. Същото кръстовище ще изглежда по следния начин фиг. 4. Това би дало възможност, идвайки

от посока A и достигайки пътен възел 1, да се върнем обратно в посока A , което противоречи на моделираното от нас кръстовище.

С оглед консистентност на „пътната карта“, разрешен обратен завой ще бъде конфигуриран по начина, представен на фиг. 5.



Фигура 4. Кръстовище без ограничение на посоките



Фигура 5. Конфигурация на разрешен обратен завой

За прототипна реализация на алгоритъм, за търсене на пътища в среда, моделираща пътна мрежа на микро и макро ниво, ще създадем малък тестови граф, състоящ се само от едно кръстовище, спрямо изложения по-горе модел. Тъй като графът е относително малък и не е съществено какви търсещи алгоритми използваме, предпочитаме класическите – DFS или BFS [8].

Целта на тази реализация е да проверим дали моделирането на микро ниво, дава желания резултат за преминаване през кръстовища, спазвайки правилата, които сме дефинирали.

Софтуерна реализация и резултати

За софтуерната реализация използваме програмен език Python и библиотеката NetworkX [6]. Ще разгледаме няколко варианта на частни случаи, с които да оценим дали предложеното решение ефективно пресъздава реални пътни възли и техните ограничения.

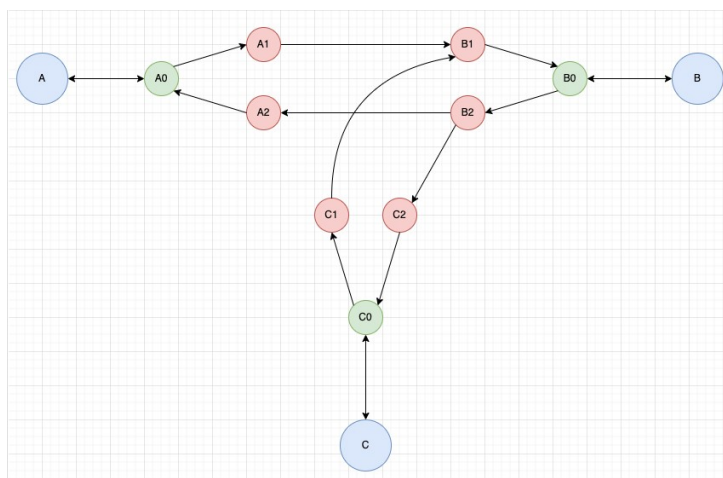
За именуване на върховете в пътната мрежа ще бъдат използвани следните правила:

- Върховете ще бъдат именувани единствено и само с букви от латинската азбука “ $A-Z$ ”, при изчерпване “ $AA-ZZ$ ”, “ $AAA-ZZZ$ ”. Върховете, свързани семантично с други върхове от дадено кръс-

товице, ще бъдат именувани с една и съща буква, но с различни индекси.

- Допълнителна информация може да бъде използвана и чрез „локация“ на върховете – в предварително дефинирана координатна мрежа, например позициониране в квадранти. Тази семантична информация ще ни помогне да насочим търсенето на път в определена посока и да намалим времето за изпълнение на търсещите алгоритми.

Нека разгледаме тестово кръстовище от фиг. 6:



Фигура 6. Тестово кръстовище

Това е T -образно кръстовище, при което преминаването от посока A към посока C не е разрешено. Моделът на кръстовището би изглеждал по следния начин:

```
graph = {
    'A': ['A0'],
    'A0': ['A', 'A1'],
    'A1': ['B1'],
    'A2': ['A0'],
    'B': ['B0'],
    'B0': ['B', 'B2'],
    'B1': ['B0'],
    'B2': ['A2', 'C2'],
    'C': ['C0'],
    'C0': ['C1', '2'],
```

```
'C1' : ['B1'],
'C2' : ['C0']
}
```

Виждат се всички върхове с всички ребра. Първият опит за намиране на път – е невъзможният – от посока C в посока A .

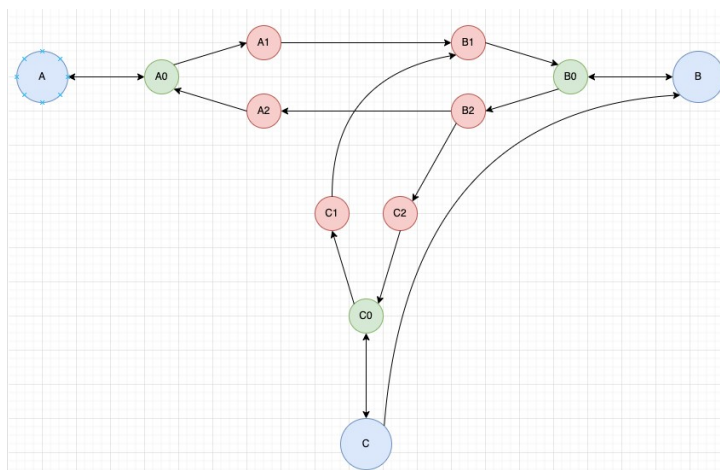
Резултатът е следният:

```
['C', 'C0', 'C1', 'B1', 'B0', 'B2', 'A2', 'A0', 'A']
```

Става ясно, че без инструкция за обратни завои, алгоритъмът за търсене ще се опита, и ще успее да намери невъзможен на практика път. По тази причина е необходимо да имплементираме указание, което да не позволява това действие.

Реализация ще постигнем посредством номенклатурата за наименуване на върховете. С индекс – 0 ще отбележим върховете, където пътят се разделя логически за целите на забранените завои. Дефинираме правило, че от връх с индекс – по-голям от 0, е невъзможно, преминавайки през връх с индекс – 0, да се премине към връх с индекс – по-голям от 0.

Друг типичен пример са така наречените – кратки пътища фиг. 7. Нека разгледаме следния пример:



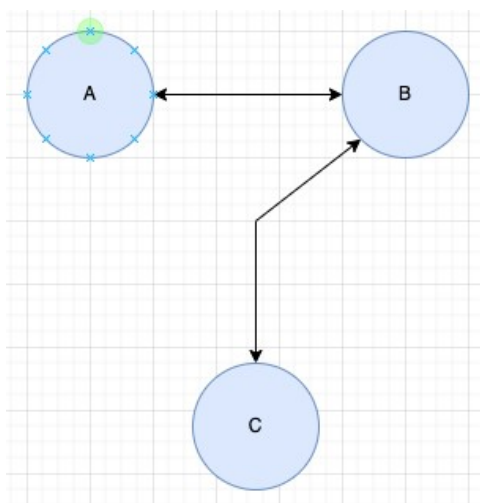
Фигура 7. Кратък път през светофара от C до B

Краткият път от посока C в посока B , цели да заобиколи светофара за трафик, използвайки транзитен път. Графът ще позволи пътуването

от C до A , което е забранено през точка B . Това налага ограничения. Тук ще се наложи допълнителна информация към реброто – идентифицираща забрана за пътуване към индекси от върха от същата буква. За конкретния пример, към реброто от C до B прилагаме забрана за пътуване към върхове от тип Bu . Така този път остава позволен само за други върхове, свързани към B .

Заклучение

Използването на популярни структури за моделиране на пътни връзки ни позволява да интегрираме редица, вече съществуващи, оптимизации в областта на търсенето и избиране на пътища. Добавянето на ново семантично микро ниво ни дава възможност за допълнителна оптимизация при управление на трафика, съобразена със специфичните ограничения на пътните възли в градски условия. Например в случая на фиг. 6 прилагането на различното мащабиране би изглеждало така:



Фигура 8. Премащабиране на макро ниво на пътна мрежа

По този начин, може да постигнем оптимизиране във фазата на търсене на маршрут от даден пътен възел до друг, след което да се фокусираме върху спецификата на съответния възел и неговите ограничения. Представеният принцип за моделиране на пътни възли е в състояние да илюстрира всякакъв тип пътни възли, включително и такива на няколко нива, без да излиза от рамката на съществуващата структура.

Благодарение на разширяване и обогатяване на моделиращата структурата сме в състояние да прилагаме хибридни (програмно обо-

гатени) алгоритми, различни или в комбинация с класическите алгоритми [6]:

- Breath First Search.
- Depth First Search.
- Shortest Path (Dijkstra).
- A* и т.н.

Семантичното обогатяване на структурата с правила за преминаване през кръстовища на микро ниво, дава възможност за допълнителна употреба при моделиране на светофарните уредби за контрол на трафика.

Литература

- [1] Z. Gharaee, S. Kowshik, O. Stromanna, M. Felsberg, Graph Representation Learning for Road Type Classification, June 7, 2022, <https://arxiv.org/pdf/2107.07791.pdf>.
- [2] G. Mattyus, W. Luo, R. Urtasun, DeepRoadMapper: Extracting Road Topology from Aerial Images, <https://people.csail.mit.edu/alizadeh/papers/roadtracer-cvpr18.pdf>.
- [3] G. Boeing, OSMnx: New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks, *Computers, Environment and Urban Systems* 65, 2017, 126–139, doi:10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004 <https://arxiv.org/pdf/1611.01890.pdf>.
- [4] Z. Gharaee, S. Kowshik, O. Stromann, M. Felsberg, Graph representation learning for road type classification, *Pattern Recognition*, Vol. 120, 2021, 108174, ISSN: 031-3203, <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.108174>.
- [5] S. Porta, P. Crucitti, V. Latora, The network analysis of urban streets: A dual approach, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 369, Issue 2, 2006, 853–866, ISSN: 0378-4371, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.12.063>
- [6] A. Hagberg, P. Swart, D. Chult, Exploring Network Structure, Dynamics, and Function Using NetworkX, Proc. of the *7th Python in Science Conference*, Los Alamos National Laboratory, 2008.
- [7] A. Karduni, A. Kermanshah, S. Derrible, A protocol to convert spatial polyline data to network formats and applications to world ur-

ban road networks, *Sci Data* 3, 160046 (2016), <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.46>.

- [8] S. Khuller, B. Raghavachari, Graph and network algorithms, *ACM Computing Surveys (CSUR)* 28.1, 1996, 43–45, <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/234313.234334>.

Румен Михайлов^{1,*}, Владимир Вълканов², Христо Христов³

^{1,2,3} Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

Факултет по математика и информатика

бул. „България“ 236, 4003 Пловдив, България

Автор за кореспонденция: rumen.mihailov@uni-plovdiv.bg

MODEL OF ROAD JUNCTIONS FOR TRAFFIC MEASUREMENT

Rumen Mihailov, Vladimir Valkanov, Hristo Hristov

Abstract. *The article deals with the issue of modeling road junctions by means of graphs. The problem of modeling road junctions through which to measure road traffic is discussed. The aim of the article is to present the creation of object models suitable for program implementation. Several models are presented by diagrams superimposed on a road map of real intersections. The specific road junctions that are the subject of modeling are critical intersections for the city of Plovdiv.*

Key Words: modeling, traffic, measurement, control.