

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 316 (2017), 171 – 175

A.T.Akhmediyarova, O.MamyrbayevInstitute of information and computing technologies of the Ministry of Education
and Science (MES) of the Republic of Kazakhstan, Almaty, KazakhstanE-mail: aat.78@mail.ru, orken@ipic.kz**MODELING OF TRANSPORT SYSTEM
WITH THE HELP OF PETRI NET**

Abstract. The problem of modeling urban traffic of transport is considered. Petri nets were chosen as the modeling tool, a classic tool for low-level modeling of distributed systems. Petri net is a compact, formal and graphical language with built-in parallelism. Therefore, it is very convenient for modeling transport systems. The analysis of modeling and traffic control methods through the intersection is carried out. The capacity of Petri nets was determined. The modeling of intersections and a block intersection with the use of odd logic in traffic light control is considered. A special approach is proposed for simulating the dynamics of the transport flow. According to the given geographic data, a colored Petri net with natural limitations is pre-constructed, which facilitates the simplification of the model. The parameters of this network are read relatively simple by the program from the configuration file. The principles embodied in the model allow us to scale it to an arbitrary number of intersecting intersections. The results of comparison of automatic controllers based on odd logic showed a gain in the time of passing cars by the intersection in comparison with conventional methods.

Keywords: transport system, net of Petri, graphs, multigraph, oriented multigraph.

А.Т.Ахмедиярова, О.Ж. Мамырбаев

ҚР БҒМ «Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты», Алматы, Қазақстан

**ПЕТРИ ЖЕЛІСІМЕН ҚАЛАЛЫҚ
ЖОЛ КӨЛІГІ ҚОЗҒАЛЫСЫН МОДЕЛЬДЕУ**

Аннотация. Қалалық жол көлігі қозғалысын модельдеу есебі қарастырылған. Таратылған жүйелердегі төменгі деңгейдегі классикалық құрылғының моделдеу құралы ретінде Петри желісі алынған. Петри желісі ықшам, ресми және графикалық. Сондықтан, ол көлік жүйелерін модельдеу үшін өте ыңғайлы. Қалалық жол көлігі қозғалысын моделдеу әдістеріне талдау жасалған. Петри желісінің өткізу қабілеттілігі анықталған. Бағдарламды басқару кезінде анық емес логиканы пайдалану арқылы жолайрығын модельдеу қарастырылды. Көлік ағыны қозғалысын модельдеу үшін арнайы тәсіл ұсынылды. Ұсынылған тәсіл бойынша берілген географиялық деректерге сәйкес, модельді жеңілдетуге көмектесетін табиғи шектеулері бар Петри желісі алдын-ала құрылады. Желі параметрлері конфигурациялық файлдан бағдарлама бойынша салыстырмалы түрде оңай оқылады. Модельде келтірілген қағидалар оны жолайрықтарының ерікті санына теңестіруге мүмкіндік береді. Анық емес логикаға негізделген автоматы контроллерлерді салыстыру нәтижелері қарапайым әдістерге қарағанда жолайрығын көліктердің кесіп өту уақытының ұтымды нәтижесін көрсетті.

Тірек сөздер: көліктік жүйелер, Петри желісі, графтар, бағытталған мультиграф.

Петри желісі өзара доғалармен байланысқан позициялар мен ауысу төбелерінен тұратын екі жақты бағдарланған мультиграф. Бірдей типті төбелерді тікелей қосуға болмайды. Желімен жылжи алатын белгілер(маркерлер) позицияларға орналастырылуы мүмкін. Оқиға дегеніміз осы өтпелі кезеңнің кіріс позицияларының белгілерінің шығыс позицияларына жылжуы. Оқиғалар белгілі бір жағдайларда бірден немесе әр түрлі уақытта болады [1-4].

Бірнеше доғаның графтың бір төбесінен екіншісіне баруға мүмкіндік беретіндіктен, Петри желісі мультиграф болып табылады. Доғалар бағытталған болғандықтан, бұл бағдарланған мультиграф болып табылады. Графтың төбелерін екі топқа (позициялар мен ауысулар) бөлуге болады,

доғалардың әрқайсысы бір жиынның элементінен (позициялар немесе ауысулар) басқа жиынның элементіне (ауысулар немесе позициялар) бағытталуы тиіс; сондықтан, мұндай граф екі жақты бағдарланған мультиграф болып табылады.

Петри желісін көлік жүйелерін модельдеуде қолданудың бірнеше себептері бар [5]:

- олардың көлік желілерін дәл түсіндіруге мүмкіндік беретін нақты математикалық семантикасы бар;

- Петри желілерінің параллельді парадигмасы нақты параллельді көлік желілеріне өте ыңғайлы;

- Петри желілерін пайдаланатын көлік желісінің компоненттерінің үлгілерінің графикалық көрінісі математикалық пәндер бойынша мамандар емес сарапшыларды жұмысқа тартуға мүмкіндік береді.

Петри желісін графикалық көрінісі, нақты математикалық тілі және осы жүйенің өзгерісін талдау әдістері бар параллельді процесті жүйенің үлгісі ретінде қарастыруға болады.

Жалпы тұрғыдан, бұл модель позициялар, ауысулар, қырлар және графта орналастырылған белгілерден тұрады. Позициялар мен ауысулар графтардың төбелерінің түрлері болып табылады. Бағытталған қырлар позицияларды ауысулармен және керісінше байланыстырады, сонымен қатар бір типті төбелер бір-бірімен жалғастырыла алмайды. Белгілер позицияларда орналастырылған. Позицияларға белгілерді қосу және жою желінің динамикалық өзгерісін білдіреді. Бұл жағдай позициялардың қосылуы кезінде ауысуларға әкеліп соқтырады және бағдарланған қырларда белгіленген шарттарға сәйкес белгілерді қосады және жояды [6-7].

Негізгі модель неғұрлым күрделі формаларға дами алады. Осылайша, уақыт шкаласын қосу арқылы таймері бар Петри желілерін алуға; оқиғалардың ықтималдығын қосу арқылы стохастикалық Петри желісін алуға болады. Петри желісіндегі белгілер одан әрі мамандандырылған кезде мәндері бойынша өзгере бастайды. Осындай Петри желісінің бірі бояғышы бар Петри желісі болып табылады [3].

Модельдеу процесінде Петри желісі түріндегі модель құру алдында модельдеу мақсатын және нақты жүйеден абстракциялау деңгейін (модельде қандай элементтер және қандай сілтемелер көрсетілуі тиіс екендігі) анықтау өте маңызды болып табылады.

Модельдерді жасау кезіндегі негізгі мақсаттар:

- нақты жүйенің сипаттамасы,

- нақты жүйеде орындау оңай емес әртүрлі жағдайларды модельдеу арқылы нақты жүйенің өзгеруіне ұқсастыру,

- бұғаттауларға (тұйықталу) байланысты жүйенің өзгерісін талдау ,

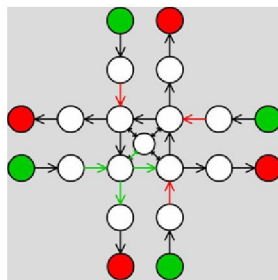
- жүйенің өзгеруі туралы статистикалық нәтижелерді алу.

Петри желісі ықшам, ресми және графикалық болғандықтан, көлік жүйелерін модельдеу үшін өте ыңғайлы.

Желі тораптарының рөлін бір машинаны орналастыруға болатын жолдың бөліктері атқарады. Машиналар Петри желілік текшелерімен модельденеді. Түрлі түсті текшелер олардың әр түрлі бағыттарын көрсетеді. Маңызды шектеулер: әрбір төбеде бір уақытта бірден артық текше болуы мүмкін, себебі бір уақытта жолдың кез-келген бөлігінде бірден артық машина болмауы керек. Бұл желінің «қауіпсіздік» қасиеті деп аталады [3-4].

Петри желісінің төбелері желінің бір торабынан екіншісіне өту шарттары бойынша беріледі. Өтуге рұқсат беру бағдаршам сигналына байланысты. Жолдың бір бөлігінен екіншісіне өту белгілі бір уақытта жүзеге асатындықтан, сәйкес доғаның өту уақытына тең кешігуі болады. Демек, бұл желі уақытша.

Бағдаршам - боялмаған Петри желісі [3]. Оның жалғыз текшесі бағдаршамның ағымдағы қалпын көрсетеді, бағдаршам желісінің төбелері жол желісінің кейбір төбелерімен байланысты. Текше бағдаршамның келесі төбесіне ауысқан кезде оның жағдайы өзгереді - жол желісінің бір торабынан өту бұғатталады, екіншісіне рұқсат етіледі. Ауысу бірден емес, бірақ біраз уақыттан кейін жүзеге асатындықтан, бағдаршам желісі де уақытша болып табылады. Бұл модельдегі бағдаршам жолайрығына кіруге бағытталған көлік ағыны өтетін жол тораптарын ғана бұғаттайды, бірақ 1-суретте көрсетілгендей көлік құралдарын жолайрықтан шығаратын тораптарды бұғаттамайды.



1-сурет. Төрт біржолақты жолдардың қиылысындағы модель

Боялған уақытша Петри желісінің толық математикалық сипаттамасы бір жолайрығы мысалында [4] әдебиетте келтірілген. Петри ерікті желілерін модельдеу және талдауға арналған бағдарламалық құралдар бар, мысалы [3]. Бірақ олар әмбебап болғандықтан, интерфейсі күрделі.

Көлік ағыны қозғалысын модельдеу үшін келесі тәсіл ұсынылады: берілген географиялық деректерге сәйкес, модельді жеңілдетуге көмектесетін табиғи шектеулері бар Петри желісі алдынала құрылады. Бұл желінің параметрлері конфигурациялық файлдан бағдарлама бойынша салыстырмалы түрде оңай оқылады. Модельде келтірілген қағидалар оны бірінен соң бірі қиылысатын жолайрықтарының ерікті санына теңестіруге мүмкіндік береді.

Жол желісі объектілердің екі классы: жолдар мен қиылыстар [5-9]. Жол сол және оң жолақтардан тұрады. Жолақ дегеніміз машина орналастырылуы мүмкін бір-бірімен тығыз байланысты жерлердің саны. Көптеген көліктер өлшемі 3 те 6 метр тіктөртбұрышқа сияды. Ұзын автобустар мен жүк автомобильдері осы өлшемдегі 2 немесе 3 тіктөртбұрышты алады. Қозғалыстың орташа жылдамдығы 40 км/сағ болса, уақыт бойынша дискреттеу қадамын 0,25 секунд деп таңдау жеткілікті. Жолақтың басында машиналарды шығаратын және жоятын арнайы тораптар болуы мүмкін, мұндай тораптар шеттік тораптар деп аталады. 1-суретте жасалынатын шеттік тораптар жасыл түспен, жойылатындары қызыл түспен белгіленген.

Жолайрығы - екі, үш немесе төрт жолды қосатын бірнеше тораптар. Бұл тораптар жолайрықтан шығатын жолайрыққа бағытталған әрбір жолақтың қолжетімділігін қамтамасыз етеді. Жол желісін салғаннан кейін машиналардың түрлеріне белгілер түстері тағайындалады. Машинаның түрі оның бағытымен анықталады. Әрбір түр жолдың бір шеттік торабынан (шығаратын) келесісіне (жоятын) дейін ең қысқа жол бағытына сәйкес келеді [10].

Әрбір өндіруші шеттік торапта берілген торапта жасалатын машина түрлерінің жиынтығын орташа тарату уақыты жиынтығына сәйкестендіріп генерациялау жоспары құрылады. Симуляция барысында белгіленген уақыт өткен сайын торапта осы түрдегі машина жасалады. Сондай-ақ, осы торапта машина пайда болатын уақыт ауқымын орнатуға болады.

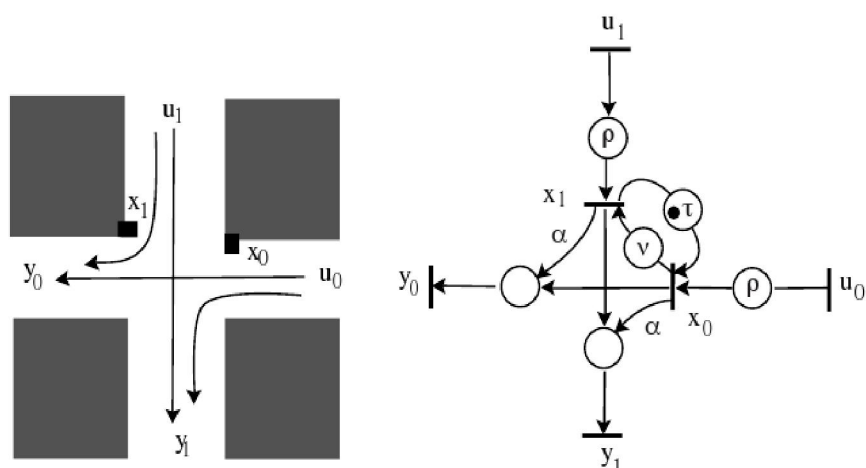
Бағдарламалау кезінде шеттік өндіруші тораптардың уақыт ауқымы, бағдарламаш режимі жұмысының уақыт ауқымы және әрбір режим үшін жолайрығы қиылысында рұқсат етілген бағытты берілген жүктемеде жол желісі қалай жұмыс жасайтындығын неғұрлым егжей-тегжейлі талдау үшін өзгертуге болады. Модельдеу процесін әртүрлі учаскелерде көліктердің көптігін бағалау үшін тоқтатуға және шеттік тораптар мен бағдарламашдарға сәйкес мәндерді өзгертуге болады [11].

Жүйеде машинаның болу уақытын азайту үшін «жасыл толқындарды» жасайды. Егер цикл уақыты дұрыс тандалса, онда жасыл толқындарының сәйкес төрт жүйесін үйлестіргенде автокөлік қаланың бір нүктесінен екінші нүктесіне дейін белгілі бір жылдамдықпен бағдарламашның тек бір ғана қызыл түсіне тоқтауы мүмкін. Бұл нәтиже барлық көшелердегі көлік ағындары машиналардың виртуалды ағынынан аз болғанда ғана жарамды. Бұған көшенің әрбір бөлігіндегі жылдамдықты әрбір блоктың өтуі үшін қажетті уақыт бір қалыпта қалатындай етіп бейімдеу арқылы қол жеткізуге болады [12].

Алдымен машиналарды виртуалды деп қарастыру керек. Виртуалды көліктер мінсіз үйлестіруді зерттеуде пайдалы. Нақты машиналардың ағындары виртуалды машиналардың ағындарына қарағанда көп болмауы керек.

Жолайрығын модельдеу.

Жолайрығымен байланысты Петри желісі 2-суретте келтірілген [12]. $x_0(t)$ және $x_1(t)$ арқылы t уақыт аралығында екі бағдарламашның әрқайсысында болатын жасыл фазаның жалпы санын белгілейік. Екі бағдарламашның әрқайсысында болатын жасыл фазаның ұзақтығы сәйкесінше τ и ν .



2-сурет - Жолайрығындағы Петри желісі

Жолайрығынан өтуге болатын автомобильдердің саны тиісті жасыл фаза ұзақтығына сәйкес келетін коэффициентке шамалас деп есептейміз. Әрбір жолайрығында мәні a -ға тең көлік құралдарының үлесі тек бір бағытқа ғана бұрылады деп жобаланады. $u_0(t)$ және $u_1(t)$ арқылы t уақытқа дейін жолайрығына келген жеңіл көліктердің жалпы санын, ал $y_0(t)$ және $y_1(t)$ арқылы t уақытқа дейін жолайрығынан өткен жеңіл көліктердің жалпы санын белгілейік.

Енетін u және шығатын y өзара қатынасы стохастикалық динамикалық бағдарламалау теңдеуін береді, мұндағы x Беллман функциясы:

$$x = a \otimes x \oplus b \otimes u, \quad y = cx, \quad (1)$$

мұндағы

$$a = \begin{bmatrix} \varepsilon & \gamma\delta^\tau \\ \delta^\nu & \varepsilon \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} \delta^\rho/\nu & \varepsilon \\ \varepsilon & \delta^\rho/\tau \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} (1-\alpha)\nu & \alpha\tau \\ \alpha\tau & (1-\alpha)\tau \end{bmatrix},$$

$\oplus$ - матрицалардың minplus қосындысы, $\otimes$ - матрицалардың minplus көбейтіндісі (кәдімгі матрицаны көбейту кезінде қосымша қосу арқылы ең аз мөлшерді ауыстыру және көбейту, $\varepsilon = \infty, e = 0$), $\delta^\cdot$ - ($\delta^\nu(t) = \nu(t-1)$) уақытындағы ауысу және γ - ($\gamma\nu(t) = 1 + \nu(t)$) уақытындағы ауысу.

Осы белгілеулерді қолдану арқылы (1) теңдеуден алатынымыз:

$$x_0(t) = \min\{1 + x_1(t - \tau), u(t - \rho)/\nu\}, y_0(t) = (1 - \alpha)\nu x_0(t) + \alpha\tau x_1(t).$$

Матрицалардың көбейтіндісі $y = cx$ стандарты екендігіне назар аударған дұрыс.

Әлбетте бұл теңдеулер (1) динамикалық бағдарламалау теңдеулеріне де, minplus алгебрасында да, стандарты жағдайда да сызықты емес. minplus матрицалық көбейтуді қолдану векторлық теңдеулерді жазу кезінде ғана ыңғайлы және ықшам.

Тұжырымдар:

1. Қалалық жол көлігі қозғалысын моделдеу әдістеріне талдау жасалды;
2. Петри желесінің өткізу қабілеттілігі анықталды;
3. Бағдаршамды басқару кезінде анық емес логиканы пайдалану арқылы жолайрығын модельдеу қарастырылды. Анық емес логикаға негізделген автоматы контроллерлерді салыстыру нәтижелері қарапайым әдістерге қарағанда жолайрығын көліктердің кесіп өту уақытының ұтымды нәтижесін көрсетті.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Институт системного анализа РАН, Москва, 2003 г. - 52 с.

- [2] Лобанов А.И. Модели клеточных автоматов // Московский физико-технический институт, 2010 г. URL: http://crm.ics.org.ru/uploads/crmissues/kim_2010_2_3/crm10304.pdf.
- [3] Кинько В.М., Бесценный И.П. Моделирование транспортных сетей с помощью раскрашенных взвешенных сетей Петри. // Математические структуры и моделирование – 2013. - №1. – С.56-62.
- [4] Mariagrazia Dotoli, Maria Pia Fanti. An urban traffic network model via coloured timed Petri nets. Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, Politecnico di Bari, 27 p. URL: http://dee.poliba.it/labcontrolli/file_pdf/Wodes04.pdf.
- [5] Bellman R. On a Routing Problem // Quarterly of Applied Mathematics. - 1958. - Vol 16. - N.1. - С. 87–90.
- [6] The zlib/libpng License (Zlib) // Open Source Initiative. URL: <http://opensource.org/licenses/Zlib>.
- [7] Haaf's Game Engine - hardware accelerated 2d engine. URL: <http://hge.relishgames.com>.
- [8] Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М: Мир, 1994. - 264 с.
- [9] Котов В. Е. Сети Петри. - М: Наука, 1994. - 160 с.
- [10] Слепцов А. И., Юрасов А. А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств. - Киев: Техніка, 1986. - 160 с.
- [11] Ачасова С.М., Бандман О.Л. Корректность параллельных вычислительных процессов. — Новосибирск: Наука, 1990. - 253 с.
- [12] Утепберганов И.Т., Ахмедиярова А.Т., Касымова Д.Т. О задачи моделирования регулярного города с помощью сети Петри // Вестник КазАТК. - Алматы, 2016. - №1. 77–81 с.

REFERENCES

- [1] Shvetsov V.I. Matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov // Institut sistemnogo analiza RAN, Moskva, **2003**. 52 с.
- [2] Lobanov A.I. Modeli kletochnykh avtomatov // Moskovskiy fiziko-tekhicheskiy institut, **2010**. URL: http://crm.ics.org.ru/uploads/crmissues/kim_2010_2_3/crm10304.pdf.
- [3] Kin'ko V.M., Bestseny I.P. Modelirovaniye transportnykh setey s pomoshch'yu raskrashennykh vzveshennykh setey Petri. // Matematicheskiye struktury i modelirovaniye. **2013**. №1. S.56-62.
- [4] Mariagrazia Dotoli, Maria Pia Fanti. An urban traffic network model via coloured timed Petri nets. Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, Politecnico di Bari, 27 p. URL: http://dee.poliba.it/labcontrolli/file_pdf/Wodes04.pdf.
- [5] Bellman R. On a Routing Problem // Quarterly of Applied Mathematics. **1958**. Vol 16. N.1. С. 87–90.
- [6] The zlib/libpng License - hardware accelerated 2d engine. URL: <http://hge.relishgames.com>.
- [8] Piterson Dzh. Teoriya setey Petri i modelirovaniye sistem. M: Mir, **1994**. 264 s.
- [9] Kotov V. Ye. Seti Petri. M: Nauka, **1994**. 160 s.
- [10] Sleptsov A. I., Yurasov A. A. Avtomatizatsiya proyektirovaniya upravlyayushchikh sistem gibkikh avtomatizirovannykh proizvodstv. Kiyev: Tekhnika, **1986**. 160 s.
- [11] Achasova S.M., Bandman O.L. Korektnost' parallel'nykh vychislitel'nykh protsessov. Novosibirsk: Nauka, **1990**. 253 s.
- [12] Utepbergenov I.T., Akhmediyarova A.T., Kasymova D.T. O zadachi modelirovaniya regul'yarnogo goroda s pomoshch'yu seti Petri // Vestnik KazATK. Almaty, **2016**. №1. 77–81.

УДК 004.021

А.Т.Ахмедиярова, О.Ж.Мамырбаев

«Институт информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, Алматы, Казахстан

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Аннотация. Рассматривается задача моделирования городского дорожного движения транспорта. Инструментом моделирования были выбраны сети Петри — классическое средство низкоуровневого моделирования распределенных систем. Сеть Петри это компактный, формальный и графический язык со встроенной параллельностью. Поэтому он очень удобен для моделирования транспортных систем. Проведен анализ методов моделирования и управления движением транспорта через перекресток. Определена пропускная способность сетей Петри. Рассмотрено моделирование перекрестков и блока перекрестков с использованием нечетной логики в управлении светофором. Предлагается специальный подход к имитационному моделированию динамики транспортного потока. По заданным географическим данным заранее строится раскрашенная сеть Петри с естественными ограничениями, которые способствуют упрощению модели. Параметры этой сети считываются относительно простой программой из файла конфигурации. Заложенные в модель принципы позволяют масштабировать её на произвольное число идущих друг за другом перекрестков. Результаты сравнения автоматических контролеров, основанных на нечетной логике, показали выигрыш во времени прохождения автомобилями перекрестка по сравнению с обычными методами.

Ключевые слова: транспортные системы, сеть Петри, графы, мультиграф, ориентированный мультиграф.