

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА»

ISSN 1999-9801

В Е С Т Н И К

АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Учрежден в июне 2008 года

Тематическая направленность: теплоэнергетика, электроэнергетика, радиотехника и связь,
космическая инженерия и технологии, информационные технологии, экология, обеспечение
жизнедеятельности, вопросы высшей технической школы

1 (52)

2021

Импакт-фактор - 0.105

Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год

Алматы

ВЕСТНИК АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ14VPY00024997

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Подписной индекс – 74108

Бас редакторы – главный редактор

Стояк В.В.

К. т.н., профессор

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Жауыт Алгазы, доктор PhD
Шуебаева Д.А., магистр

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Сагинтаева С.С., д-р экон. наук, канд. физ.- мат. наук, академик МАИН, ректор НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Гита Ревалде, доктор PhD, член-корреспондент Академии наук Латвии, директор Национального Совета науки, Рига, Латвия

Главный редактор – Стояк В.В., канд. техн. наук, профессор, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Заместитель главного редактора – Жауыт А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Илиев И.К., д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария

Белоев Кристо, д-р техн. наук, Русенский университет, Болгария

Галайко Дмитрий, доктор PhD, университет Сарбонны, Франция

Такая Инамори, доктор PhD, Университет Токио, Япония

Цветков В.Ю., д-р техн. наук, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Белоруссия.

Кузнецов А.А., д-р техн. наук, ФГБОУ ВА «Омский государственный университет путей сообщения», Российская Федерация.

Авезова Н.Р., д-р, техн. наук, Министерство инновационного развития Республики Узбекистан.

Мунц В.А., д-р техн. наук ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Российская Федерация.

Мустафин М.А., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Обозов А.Д., д-р техн. наук, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызская Республика

Орумбаев Р.К., д-р техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Потехин В.В., канд. техн. наук доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Франческо Сандоро, доктор PhD, Университет Альдо Моро, Бари, Италия

Туманбаева К.Х., канд. техн. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Мутуле Анна, доктор PhD, Рижский Технический Университет, Латвия

Махмутов С.К., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Алипбаев К.А., доктор PhD, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

Кабдушев Б.Ж., канд. истор. наук, НАО «Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева»

За достоверность материалов ответственность несут авторы.

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник АУЭС» обязательна.



АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.93`12

https://doi.org/10.51775/1999-9801_2021_52_1_48

АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДАҒЫ ЖОЛ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАҚЫЛАУДЫҢ ЖЕЛЛІК ТОМОГРАФИЯЛЫҚ ТӘСІЛІ

Т.С. Иманкулов, А.Б. Болатов*

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: bolatov.adil97@gmail.com

Аңдатпа. Жол қозғалысын бақылау “ақылды қаланы” жоспарлау мен басқарудың бірнеше қызметі үшін шешуші фактор болып табылады. Алайда, дәстүрлі әдістер көбінесе үнемді, икемді және ауқымды бола бермейді. Бұл мақалада зондтық көлік құралдарына сүйенбейтін және GPS көмегімен көлік құралдарын локализациялауды қажет етпейтін жол қозғалысын бақылаудың жаңа тәсілі ұсынылған. Керісінше, ол автомобильдердің жол жүру уақытын өлшеу үшін жол қиылыстарына қойылған камералардың шектеулі санын пайдаланады. Жол желісіндегі барлық жеке учаскелердің өту уақыты туралы қорытынды жасау үшін желілік томографияның теориялық шеңберіндегі мәселені модельдейміз. Біз шулы өлшемдердің ықтимал болуымен және көлік құралдары қозғалысының траекторияларының алдын-ала болжанбауымен арнайы айналысамыз. Сонымен қатар, біз логикалық қорытынды қателігі мен жалпы құнын азайту кезінде қамтуды барынша арттыру үшін бақылау камераларын оңтайлы орналастыру мәселесін шешеміз.

Түйін сөздер: трафикті бақылау, желілік томография, ақылды қалалар.

КІРІСПЕ

“Ақылды қала” парадигмасы үнемі қарқын алуда, сонымен қатар кең ауқымды бақылау құрылғыларының қол жетімділігі мен қала активтерін тиімді басқаруға арналған инновациялық қосымшалардың көмегімен дамуда. Smart City Council мәліметтері бойынша [1] жол қозғалысын тиімді бақылау көлік ағынын, жол құрылысын және жалпы қаланы жоспарлауды оңтайландыру арқылы қалалардағы өмір сүру деңгейін және тұрақтылықты арттырудың негізгі факторы болып табылады.

Жол қозғалысы туралы үздіксіз және егжей-тегжейлі ақпарат жинау қиын міндет болып табылады. Бұл саладағы алдыңғы жұмыстар көбінесе қозғалыс сенсорларын орналастыруға негізделді, мысалы, тротуарларға салынған индуктивті цикл детекторлары [2] немесе стратегиялық нүктелерде орналастырылған камералар, бірақ бұл тәсілдер орналастыру мен техникалық қызмет көрсетудің үлкен шығындарын талап етеді және тек жергілікті ақпаратты бере алады. Таксилер, автобустар және ұшқышсыз ұшу аппараттары сияқты зондты Көлік құралдарын пайдаланудың басқа да стратегиялары ұсынылды [3, 4]; алайда, зондтық көліктер нақты көлік ағынын білдірмейді және көптеген қалаларда кеңінен қол жетімді емес. Қалалық динамиканы бағалау үшін смартфондар сияқты сезімтал технологиялары ұсынылды [5]; ықтимал тиімді болғанымен, бұл тәсілдер пайдаланушының жеке өміріне қауіп төндіруі мүмкін және кибершабуылдардың нысаны бола алады [6].

[7] Әдебиетте талқыланған қызықты балама тәсіл желілік томографияға негізделген - желінің ішкі күйін бағалаудың тиімді теориялық құралы, тек өлшеулерге негізделген. Бұл құрылым дәстүрлі түрде компьютерлік желілер контекстінде зерттелді, бірақ ол басқа контексттерге, соның ішінде автомобиль трафигін бағалауға да қатысты болды [8]. Мониторлардың шектеулі саны желінің шетіндегі түйіндерге қосылады, осылайша олар желілік жолдардың өлшеулерін жинау үшін зонд пакеттерімен алмасады. Өтпелі өлшеулер сызықтық теңдеулер жүйесін шешу арқылы жеке байланыстардың белгісіз өлшеулерімен байланысты. Мониторлар анықталатын сілтемелер санын барынша көбейту үшін стратегиялық түрде орналастырылуы керек, яғни бірегей шешім бар сілтемелер саны.

Бұл мақалада біз “ақылды қалаларда” жол қозғалысын бақылаудың жаңа тәсілін жасау үшін желілік томографияны қолданамыз. Камералар бірнеше таңдалған жол қиылыстарына статикалық

түрде орналастырылған деп болжаймыз, сондықтан олар желілік томография терминологиясында монитор рөлін атқарады. Сол сияқты, камера жұптары арасындағы жолдарды кесіп өтетін автомобильдер - бұл зондтау пакеттері. Бақыланатын қиылыстардың әрқайсысында автомобиль нөмірлерінің суреттері түсіріліп, соңынан аяғына дейін тиісті қозғалыс уақытын анықтау және талдау үшін орталықтандырылған Жол қозғалысын басқару орталығына жіберіледі. Бастапқыда тек аяғына дейін жүру уақыты жиналған Жол қозғалысын басқару орталығы енді барлық жеке жол учаскелеріндегі қозғалыс жағдайларын анықтау үшін оңтайландыру мәселесін құрастырады және шешеді.

Желілік томографияны автомобиль қозғалысына қолдану оңай емес және бірқатар мәселелерді шешу қажет. Атап айтқанда, байланыс желілерінде зондтау пакеттері алдын ала белгіленген (мүмкін тағайындалған көз) жолмен жүреді деп болжанады [7]. Алдын ала анықталған жолдар толығымен тәуелсіз және кез-келген жұп камера арасындағы бірнеше жолмен жүре алатын көлік құралдарына жарамсыз болып көрінеді. Сонымен қатар, өтпелі қозғалыстың соңына дейін жүру уақытына елеусіз шу әсер етеді, бұл сызықтық жүйені болдырмауы мүмкін. Осы мәселелерді шешу үшін біз камераларды орналастыру шығындарын азайту кезінде максималды қамту мен минималды қателіктерді болдырмау үшін камераларды оқтайлы орналастыру мәселесін тұжырымдауға мүмкіндік беретін теориялық дәлелдер келтіреміз. Сонымен қатар, сызықтық жүйені шешуге арналған өлшеу қатесін азайту үшін сызықтық оңтайландыру мәселесін тұжырымдаймыз. Соңында, біз камералар арасындағы жолдарға өлшеулерді тағайындау үшін Керниган-Лин графигін бөлу алгоритмінен шабыт алған ашкөз тәсілді жасаймыз [9].

1. ЖЕЛІЛІК ТОМОГРАФИЯ

Желілік томография бастапқыда Интернет сияқты байланыс желілері үшін желінің ішкі күйін, әдетте, стратегиялық түрде желінің шетінде орналасқан мониторлар жүргізетін өлшеулер арқылы анықтауға арналған. Желі $G = (V, E)$ бағдарланбаған граф ретінде модельденеді, мұндағы V - түйіндер жиынтығы, ал E - байланыстар жиынтығы. Бақылаушы ретінде таңдалған кейбір түйіндер, сондай-ақ метрикалық қызығушылық өлшеу соңына дейін жинау үшін зондтау пакеттерімен алмасадy (мысалы, екі монитор арасындағы жолда пакеттердің жалпы кідірісі немесе жоғалуы). 1 – ші суретте көрсетілген мысалда монитордың түйіндері көлеңкелі шеңберлермен белгіленеді, ал қалың сызықтар осындай мониторлардың кез-келген жұбы арасында үш мүмкін жолды бөледі, атап айтқанда $p_1(m_1, m_3) = \{l_1, l_7\}$, $p_2(m_1, m_9) = \{l_1, l_{15}\}$ және $p_3(m_9, m_3) = \{l_{15}, l_7\}$.

Іргелі болжам - бұл алынған метриканың аддитивті табиғаты. Мысалы, жолдың барлық кідірісі - бұл оның байланыстарының кідірістерінің қосындысы. Егер біз b_i - ге i жолын зондтау арқылы алынған өлшеуді, ал x_j - ға j - ші буындағы кідірісті көрсетуге мүмкіндік берсек, онда 1 – ші суреттегі m_1 және m_9 мониторлары арасындағы жолда жиналған өлшемдер, келесі түрде көрсетіледі: $x_1 + x_{15} = b_1$.

Жалпы жағдайда $P = \{p_1, p_1, \dots, p_{|P|}\}$ - бұл мониторлар арасындағы зондтық жолдардың жиынтығы. Жолдар мен байланыстар арасындағы байланыс $|P| \times |E|$ өлшемді R екілік матрицамен ұсынылған, мұнда әр жол белгілі бір зондтау жолына жатады. Нақтырақ айтсақ, R матрицасының (i, j) элементінің l_j сілтемесі p_i жолына тиесілі 1-ге тең, ал керісінше жағдайда 0-ге тең болады. $1 \times |P|$ - өлшемдері b векторында сақталады, ал b_i элементтері p_i жолындағы өлшемдері болып табылады.

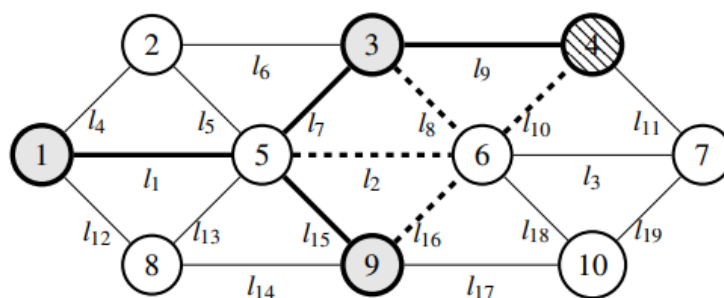
Демек, егер x_j - ға l_j сілтемесі бойынша кідірісті бейнелейтін болса, онда p_i жолындағы жалпы кідіріс $\sum_{j=1}^{|E|} r_{ij}x_j = b_i$ түрінде көрсетіледі. Біз оны барлық жолдарға оңай таратып, келесі сызықтық жүйені тұжырымдай аламыз:

$$R\mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (1)$$

мұндағы \mathbf{x} жеке байланыстардың өлшемдерін білдіреді. Сызықтық жүйені шешкен кезде \mathbf{x} мәні шығарылады.

1-ші суретте, 1 және 9 түйіндер монитор ретінде таңдалады. 3-түйінді қосу және тиісті сызықтық жүйені шешу барлық байланысты сілтемелер бойынша өту уақытын толығымен анықтайды, осылайша сәйкестендіріледі. Мониторлардың шектеулі жиынтығы ғана қолданылды. 5-түйін, атап айтқанда, монитор ретінде таңдалмаған, сондықтан тиісті жол қиылысына ешқандай камера орналастырылмауы керек. Айта кету керек, желінің көп бөлігін қамтитын мониторлардың тағы бір таңдауы сәйкестендіруді жақсартпайды; мысалы, $\{1, 4, 9\}$ мониторлары мен $p_1(m_1, m_4) = \{l_1, l_7, l_9\}$, $p_2(m_1, m_9) = \{l_1, l_{15}\}$, $p_3(m_9, m_4) = \{l_{15}, l_7, l_9\}$ жолдары үшін жүйе l_7 және l_9 сілтемелері үшін бірегей шешім жасай алмайды. Қосымша жолдарды қарастыру сәйкестендірудің жақсаруына

кепілдік бермейді. Бірнеше жұмыс мониторларды орналастыруға және байланыс желілерінде барынша сәйкестендіру жолдарын таңдауға арналды [10]. Алайда, желілік томографияны автомобиль желілеріне қолдану жаңа және ерекше мәселелерді туғызады.



$$\begin{cases} l_1 + l_7 + l_9 & = b_1 \\ l_1 + l_2 + l_8 + l_9 & = b_2 \\ l_1 + l_{15} & = b_3 \\ l_{15} + l_7 + l_9 & = b_4 \\ l_{16} + l_8 + l_9 & = b_5 \end{cases}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

1 – сурет. 10 түйіні және 19 сілтемесі бар желі үлгісі; монитор ретінде {1, 4, 9} түйіндерді таңдаудың сызықтық жүйесі, сонымен қатар бірнеше мүмкін жолдар бар және сәйкес матрица.

2. ЖЕЛІЛІК ТОМОГРАФИЯ НЕГІЗІНДЕ ЖОЛ ҚОЗҒАЛЫСЫН МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕСІ

Біздің жүйенің мақсаты - тек жол қиылыстарында орналасқан камералар арқылы анықтаған өлшеулерге сүйене отырып, жол желісінің әр сегменті үшін жолдың орташа уақытын дәл бағалауды қамтамасыз ету үшін желілік томографияны қолдану. Ол үшін біз модель мен болжамдарды ұсынудан бастаймыз, содан кейін құрылымның үш негізгі модулін сипаттаймыз. 1-кестеде осы жұмыста пайдаланылған тиісті белгілер көрсетілген.

| Символ | Сипаттама |
|------------------|--|
| $G = (V, E)$ | G жол желісі, E жол учаскелері және V қиылыстары. |
| $V' \subseteq V$ | Камераны орналастыру үшін ықтимал қиылыстар жиынтығы |
| $M \subseteq V'$ | Камераны орналастыру үшін таңдалған қиылыстар жиынтығы. |
| c_m | $M \in V$ қиылысында камераны орналастыру құны. |
| $l \in E$ | жол учаскелері немесе сілтеме |
| x_l, x | l сілтеме бойынша жол жүру уақыты, сілтеме бойынша өту уақытының векторы |
| P | V' мониторлар арасындағы жолдардың жиынтығы |
| R | Жол матрицасы, $R [i, j] = 1$, егер $l_j \in p_i$ -ге жатса, 0 басқаша. |
| $P_{s,d}$ | $m_s, m_d \in M$ камералары арасындағы жолдар жиынтығы |
| $T_{s,d}$ | $m_s, m_d \in M$ камералар жинаған өлшемдер жиынтығы |
| b | жолдың өту уақытының векторы. |

1 – кесте. Тиісті белгілердің қысқаша мазмұны

Ақылды қаланың жол желісінің картасын ескере отырып, біз $G = (V, E)$ графигін жасаймыз, мұндағы V -жолдардың қиылыстарын білдіретін түйіндер жиынтығы, ал E -оларды байланыстыратын жолдар

жиынтығы. Әрі қарай біз "жол қиылысы" және "түйін" терминдерін бір-бірімен алмастырамыз; сол сияқты біз синонимдер ретінде "жол сегменті" мен "байланысты" қолданамыз. Ортақтықты жоғалтпай, біз барлық байланыстар симметриялы деп санаймыз. $L \in E$ жолының әр бөлігі x_l орташа қозғалыс уақытымен сипатталады, бұл l байланысының автокөлігінің қозғалыс жылдамдығының өзгергіштігін есепке алу үшін бірнеше өлшемдер бойынша орташа өту уақыты.

Жабдықтар тұрғысынан біздің жалғыз талабымыз - жол қиылыстарында осы қиылыстан өтетін автомобиль нөмірлерінің суреттерін жинау үшін шектеулі камералардың болуы. Біз мұнда нөмірлерді автоматты түрде анықтау мәселесіне тоқталмаймыз, өйткені бұл суретті талдаудың жақсы зерттелген мәселесі және оны өте жоғары дәлдікпен жасауға болады [11].

Біз камераларды барлық мүмкін қиылыстардың $V_0 \subseteq V$ ішкі жиынына орналастыруға болады деп болжаймыз. Әрбір $m \in V_0$ қиылысы үшін камераны орналастыру құны c_m - ге тең. Камералар орнатылған $m \subseteq V_0$ қиылыстарының нақты жиынтығы келесі бөлімде қарастырылған тәсілмен анықталады. егер біз $m_1, m_2 \in M$ қиылыстарында орналастырылған бірнеше камераны қарастыратын болсақ, онда көлік құралы m_1 және m_2 арқылы өткен кезде тиісті уақыт белгілері Жол қозғалысын басқару орталығына жіберіледі, осылайша сол көлік құралының қозғалыс уақытын есептей алады.

3. ӨТПЕЛІ ӨЛШЕУЛЕРДІ ЖОЛДАРМЕН ҰШТАСТЫРУ

Енді біз соңғы тапсырмаға назар аударамыз және екі монитордың арасында жүргізушілердің мүмкін болатын әртүрлі жолдарын қарастырамыз. Бұл проблема байланыс желілері үшін желілік томографияның бастапқы тұжырымдамасында пайда болмайтынын ескеріңіз, өйткені бағыттау дереккөзге негізделген [12].

Бұл мәселенің мысалы ретінде 1-суреттегі сызықтық жүйеге қолданайық, b_1 және b_2 өту уақыттары бірдей жұп мониторлар (m_1 және m_4) жинаған өлшемдер негізінде есептеледі; алайда b_1 векторы $p_1 = \{l_1, l_7, l_9\}$ жолымен, ал b_2 векторы $p_2 = \{l_1, l_2, l_8, l_9\}$ жолымен байланыстырылуы керек.

Жалпы жағдайда, $P_{s,d}$ екі бақыланатын $m_s, m_d \in M$ қиылыстары бар автомобильдер жүре алатын дереккөз және тағайындалған орын ретінде барлық жолдардың жиынтығы деп белгілесін. $P_{s,d}$ жолдары ұзындығы мен қозғалыс жағдайында әр түрлі болуы мүмкін, сондықтан әртүрлі өту уақыттарымен сипатталады. Сонымен қатар, біз, автомобиль біздің құрылымымыздың белсенді бөлігі болады деп күтпейміз; атап айтқанда, олар GPS сияқты кез-келген бақылау құрылғысымен жабдықталмаған деп болжанады, бұл бізге $P_{s,d}$ жолдарының қайсысын нақты көлік жүргізгенін анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде, біз белгілі бір жолдың кешігуін өлшеуді дұрыс тағайындау мәселесіне тап боламыз.

Формальды түрде, Жол қозғалысын басқару орталығы m_s -ден m_d -ге ауысатын әрбір j көлігі үшін t_j сапар уақытын есептей алады. Сонымен қатар, әр $p_i \in P_{s,d}$ жолы үшін b_i орташа өту уақытын есептеу керек. $T_{s,d} = \{t_1, t_2, \dots, t_r\}$ - m_s және m_d мониторлары арасындағы $P_{s,d}$ жолдарының кез-келгені үшін жиналған өлшемдер жиынтығы және $|T_{s,d}| = r$ және $|P_{s,d}| = k$ болсын.

Біздің міндетіміз - T_1, T_2, \dots, T_k $T_{s,d}$ бөлуді анықтау әр T_i - де тек $p_i \in P_{s,d}$ жолына жататын өлшемдер болады. T_1, T_2, \dots, T_k жиындарын анықтағаннан кейін p_i жолының орташа өту уақыты $b_i = \frac{1}{|T_i|} \sum_{t \in T_i} t$ ретінде салыстырылады. $T_{s,d}$ бөлігін табу үшін біз m_s және m_d арасындағы p_i жолымен жүретін $P_{s,d}(p_i)$ ықтималдығы белгілі деп санаймыз, сондықтан T_i жиынына жататын өлшемдердің күтілетін саны $r \times P_{s,d}(p_i)$ берілетінін білеміз, онда $r = |T_{s,d}|$ еске түсіреміз.

Біз p_i жолының өту уақытын кездейсоқ X_i шамасын қолдана отырып модельдейміз, оның ықтималдығы қандайда бір нақты формамен шектелмейді. Содан кейін T_i - бұл кездейсоқ шаманың көптеген енгізілімдері.

Егер $P(X_i = t)$ үлгісі $t \in T_{s,d}$ X_i құру ықтималдығын көрсетсе, онда T_1, \dots, T_k тағайындау ықтималдығы келесідей қойылады:

$$P(T_1, \dots, T_k) = \prod_{i=1}^k \prod_{t \in T_i} P(X_i = t) \quad (2)$$

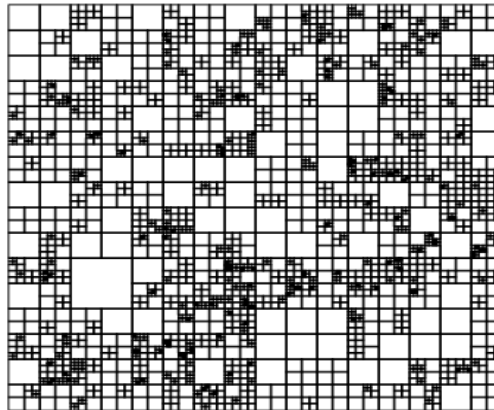
және ең жақсы тағайындау ол мұндай T_1, \dots, T_k максимальды ықтималдығы болып табылады. Идеал жағдайда, бөлу әр X_i айнымалысы үшін белгілі болған жағдайда, ең жақсы бөлуді әр өлшемге $P(X_i = t)$ ең үлкен болатын X_i айнымалысын тағайындау арқылы анықтауға болады.

Алайда, біздің жағдайда бөлу белгісіз, сондықтан біз Керниган-Лин графигін бөлу алгоритмімен рухтандырылған итеративті ашкөз тәсілге жүгінеміз [9]. Идея – әр X_i жиынтығы үшін қуат шектеулерін ескере отырып, кездейсоқ тағайындаудан бастау және әр X_i айнымалысының P_i эмпирикалық таралуын бағалау үшін t_i -де үлгілерді итеративті пайдалану.

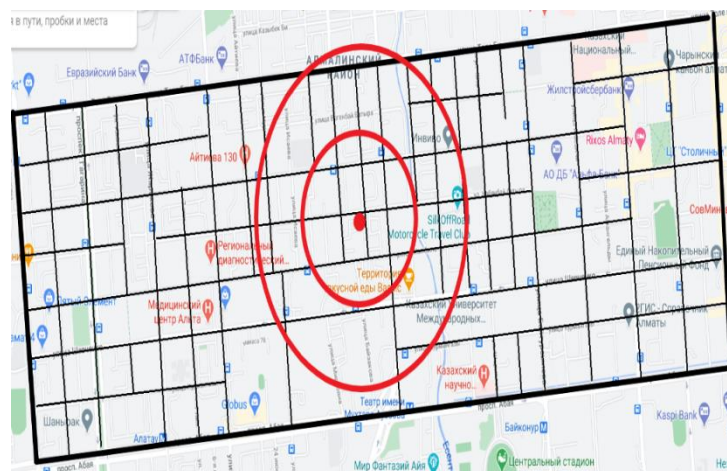
4. ТӘЖІРИБЕЛІК БАҒАЛАУ

4. 1. ТӘЖІРИБЕЛІК ОРНАТЫЛЫМДАР. Бұл бөлімде біз құрылымды модельдеу арқылы эксперименталды түрде бағалаймыз. Біз синтетикалық және нақты жол желілерін қарастырамыз. Синтетикалық жол желілері жұмыста ұсынылған нақты үлгіні қолдана отырып құрылды. Модель квадраттарға негізделген және екі параметрге ие: өсу мөлшерін басқаратын f және q қиылыстарының саны. Біздің тәжірибелерімізде f әр түрлі сценарийлерді қарастыру үшін өзгереді, ал q 1-ге тең болады. Саяхат уақыты кездейсоқ түрде [11, 13] аралықта жасалады, бұл біздің тұжырымымыз үшін негізгі шындықты білдіреді. Осы модельмен жасалған топологияның мысалы 2 - суретте көрсетілген.

Оның орнына жол желісінің нақты топологиясы 3-суретте көрсетілгендей Алматы орталығынан алынады. Қажет болса, біз картаның географиялық орталығынан берілген радиалды қашықтықта орналасқан жол желісінің бір бөлігін ғана ескере отырып, әртүрлі мөлшердегі желілерді жасаймыз. Біз нақты уақытты алу үшін Google Maps API [14] негізіндегі сценарийді жасадық. Атап айтқанда, біздің сценарий Алматы орталығының картасындағы жолдың әрбір учаскесінде ағымдағы жол уақытын алу үшін API қолданады.



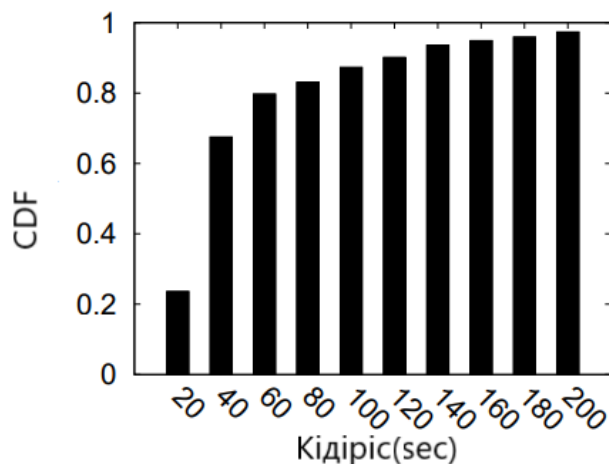
2 – сурет. Квадроғаш негізіндегі синтетикалық топологияның мысалы



3 – сурет. Тәжірибелер үшін жол топологиясы қолданылды (Алматы қаласы).

4 - суретте күндізгі сағат 2-де 8/12/2020 байқалған кідірістер үшін кумулятивтік тығыздық (CDF) функциясын көрсетеді. Біз бұл мағыналарды жол желісінің нақты топологиясымен тәжірибе жасау үшін негізгі шындық ретінде қолдандық. Синтетикалық және нақты желілер үшін біз $M \in V'$ қиылысында камераны орналастыру құнын c_m [6, 11] интервалдағы кездейсоқ сан ретінде жасадық.

Нақты сценарийде жүргізушілер m_s , m_d қиылыстарының әр жұбы үшін баламалы болуы мүмкін, бірақ мүлдем өзгеше емес бағыттарды ұстануға шешім қабылдауы мүмкін екенін ескеру үшін біз $P_{s,d}$ жиынтығындағы барлық жолдарды қарастырамыз, олардың секіру саны m_s және m_d арасындағы ең қысқа жол ұзындығының θ коэффициентінен аз немесе оған тең.



4 – сурет. Алматы орталығында байқалған кідірістердің кумулятивтік тығыздық (CDF) функциясы.

$P_{s,d}$ жиынтығы G[15] жол картасының графигінің іргелес матрицасының өтпелі тұйықталуының өзгертілген нұсқасымен салынған. Біздің тәжірибемізде θ параметрінің біздің тәсіліміздің тиімділігіне әсерін көрсетеміз. Сондай-ақ, біз жиналған қозғалыс уақыты шудың белгілі бір мөлшерімен кездейсоқ бұрмалануы мүмкін деп болжадық және біз осындай шудың әсерін көрсету үшін тәжірибелер жүргіздік.

Біз көзқарасымызды бағалау үшін үш негізгі көрсеткішке назар аударамыз. Бағасы таңдалған қиылыстарда камераларды орналастырудың жалпы құнын білдіреді. Қамту E-дегі сілтемелердің жалпы санына қатысты баға берілетін сілтемелердің үлесі ретінде анықталады. Шығару қателігі Орташа Квадраттық Қате көмегімен өлшенеді. Атап айтқанда, $x_1, \dots, x_{|E|}$ желідегі кідірістердің шындық мәндерінің негізі болсын және $\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_{|E|}$ болжамды мәндер болсын. Орташа Квадраттық Қателік (Mean Square Error (MSE)) келесідей анықталады $MSE = \frac{1}{|E|} \sum_{i=1}^{|E|} (\hat{x}_i - x_i)^2$. Ашылмаған байланыстар үшін алынған кідіріс нөлге тең болады деп болжаймыз, сондықтан тиісті қате барынша көбейтіледі. Қосымша ақпараттың болуы, мысалы, жолдардың ұзындығы мен жылдамдықты шектеу жақсы қорытындыға әкеледі. Нәтижелер сенімді сенімділік аралығын алу үшін бірнеше аралықта орташа болады. Графиктер қарастырылған көрсеткіштердің орташа және стандартты ауытқуын көрсетеді.

4.2. ШЫҢДАРДЫ (ҚИЫЛЫСТАРДЫ) ЖАБУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТӘСІЛ.

Камераларға негізделген жол қозғалысын бағалау бойынша алдыңғы жұмыстар [8, 16] камераларды орналастыру мәселесіне әсер етпейді. Сол сияқты, мониторды байланыс желілеріне орналастыру көлік желілері үшін орындалмайтын маршруттау туралы болжамдарға негізделген [9, 17]. Осы себептерге байланысты біз өз әдісімізді байланыс желілері мен көлік құралдарындағы бірнеше қамту тапсырмаларында қабылданған өлшенген шынды жабу (Weighted Vertex Cover (WVC)) [18] мәселесімен салыстыруды жөн көрдік [19].

Атап айтқанда, $G = (V, E)$ жол желісін және әрбір $m \in V$ үшін c_m шығындарын ескере отырып, егер камера $m \in V$ қиылысына орнатылса, онда m оқиғасындағы барлық E сілтемелері бойынша қозғалыс дәл қадағалануы мүмкін деп болжаймыз. WVC міндеті тұрғысынан біз m онымен қатысты байланыстарды қамтиды деп айтамыз. Сондықтан осы параметрге сәйкес біз $M_{WVC} \subseteq V$, минималды шығындарды көтеретін және E-дегі әр жиек M_{WVC} -де кем дегенде бір камерамен жабылатын жиынтығын іздейміз. Мәселенің ұқсас тұжырымы камераларға тек $V' \subseteq V$ қиылыстардың ішкі жиынына орналастыруға рұқсат етілген жағдайда оңай. WVC міндеті-NP-толық, бірақ дәлелденген жуықтау шекарасын қамтамасыз ететін бірнеше эвристика бар. Бұл оңтайлы шешімге қатысты 2-ші жуықтауды қамтамасыз етеді [20]. Бұл тәсіл WVC деп аталады.

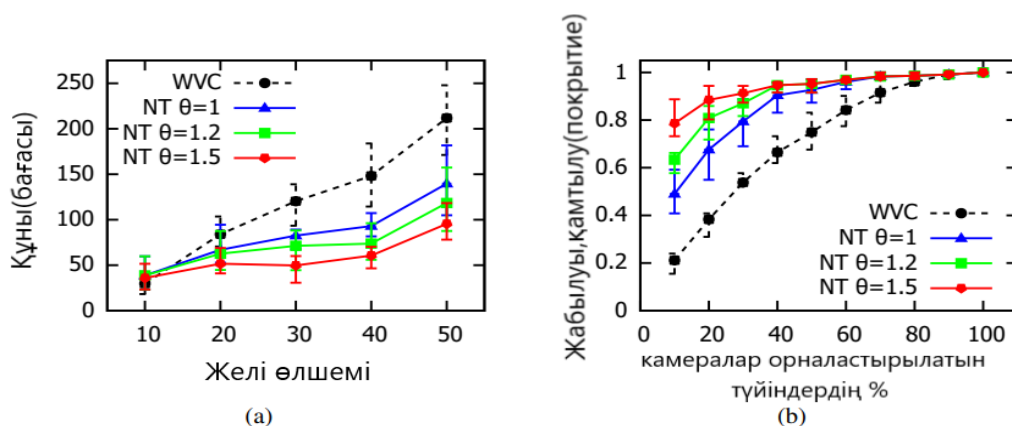
4.3. СИНТЕТИКАЛЫҚ ЖЕЛІЛЕР.

I тәжірибе. Тәжірибенің бірінші жиынтығында біз камераларды кез-келген желінің қиылысына орналастыруға болатындығын, яғни $V' = V$. сонымен қатар, біз θ үшін үш мәнді қарастырамыз, атап айтқанда 1, 1.2 және 1.5 және өлшеу немесе өлшеу жолдарындағы қателерді қарастырмаймыз.

5 (a) - суретте біздің көзқарасымыз бойынша қайтарылған қиылыстарда камераларды орналастырудың жалпы құнын және желінің әртүрлі өлшемдерінде WVC таңдалғандарды көрсетеді. Біздің көзқарасымыз WVC-тен жоғары. Біздің шешіміміздің күші - сызықтық жүйенің шешімі арқылы өлшеулер арасындағы корреляцияны қолдану мүмкіндігі.

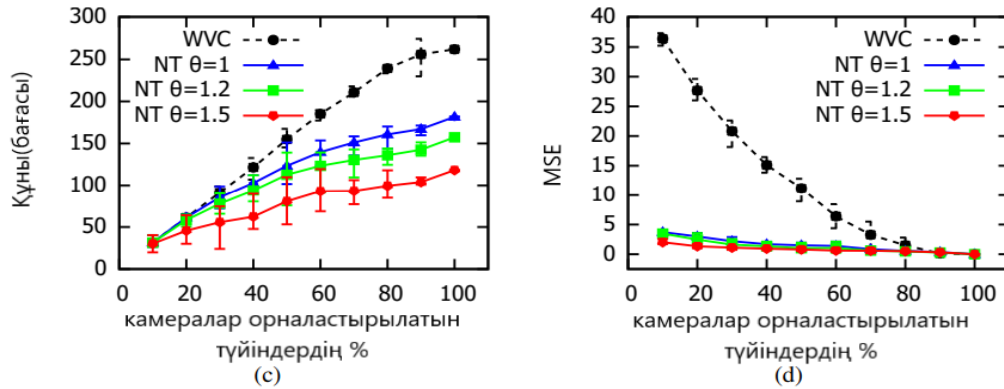
Керісінше, WVC-дегі әрбір камера тек жергілікті бағалауды қамтамасыз ете алады, бірақ оның көрші байланыстары объективті емес. Нәтижесінде, WVC көп камераларды қажет етеді, сондықтан ол жоғары шығындарға әкеледі. Сонымен қатар, біздің шешіміміз θ мәні жоғарылаған сайын төмен шығындарды талап етеді, өйткені желіні жабу үшін аз камералар қажет. Дегенмен, әр камера жұбы арасындағы бір жолдың шымшу жағдайында ($\theta = 1$) біз әлі де WVC-ден едәуір асып түсеміз.

Назар аударыңыз, камераларды әр қиылыста орналастыруға мүмкіндік беру арқылы біздің тәсіліміз желідегі барлық байланыстарды бірегей түрде анықтай алады. Сол сияқты, WVC әр сілтеме осы жиынтықтағы кем дегенде бір түйінге жалғасатын түйіндер жиынтығын қайтарады. Нәтижесінде, екі тәсіл де толық қамтуға жетеді және нөлдік шығыс қатесіне әкеледі.



5 – сурет. Синтетикалық желілер: желінің көлеміне байланысты құны (a), жабылуы (b).

II тәжірибе. Осы тәжірибелер жиынтығында біз камераларды тек $V' \subseteq V$ қиылысының ішкі жиынына орналастыруға және V' өлшемін үлкейту кезінде өнімділікті зерттеуге мүмкіндік береміз. V' қиылыстары кездейсоқ таңдалады және біз қателіктер жоқ деп санаймыз. 5 - суреттегі (b) және (c) камералар орналастырылуы мүмкін V -дағы түйіндердің пайызымен көрсетілген V' мөлшеріне байланысты камераларды қамту және орналастыру құнын көрсетеді. Бір қызығы, біздің тәсіліміз WVC - мен салыстырғанда аз шығындар қамтамасыз ете алады. Сандық мысал ретінде, біздің тәсіліміз V' -да тек 30% қиылысқан кезде және 75-тен аз шығындар болған кезде 90% желіні жабудан жоғары қамтуды қамтамасыз етеді. Керісінше, WVC ұқсас қамтуға жету үшін кем дегенде 70% қол жетімді қиылыстарды қажет етеді және бұл шамамен 150 шығынды талап етеді. Төменгі қамту 5(d)-суретте көрсетілгендей шығыс сапасына да әсер етеді. Біздің көзқарасымыз барлық θ параметрлері үшін өте төмен қателікке әкеледі, бұл автомобиль желілеріне қатысты желілік томографияны шығару мүмкіндіктерін тағы бір рет көрсетеді. Керісінше, WVC біздің көзқарасымыздан әлдеқайда жоғары қателікке әкеледі.



5 – сурет. Синтетикалық желілер: желінің көлеміне байланысты құны (c), MSE (d)

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада ақылды қаладағы жол қозғалысын бақылау мәселесі қарастырылды. Біз таңдалған қиылыстарда орналастырылатын бақылау құрылғыларының ең аз санын ғана талап ете отырып, қала жолының әр учаскесіндегі қозғалыс уақытын анықтау әдісін сипаттадық. Біздің әдістің теориялық негіздері желілік томографиялық тәсілмен қамтамасыз етіледі. Біз бақылау камераларын оңтайлы орналастыру үшін оңтайландыру мәселесін тұжырымдадық және тиімді шешім ұсыну үшін сызықтық алгебраны қолдандық. Біз шулы өлшеулер мен көлік құралдарының траекторияларын болжауға мүмкіндік бере отырып, желілік томографияның классикалық тәсілін одан әрі бейімдедік. Нақты және синтетикалық желілердегі эксперименттік нәтижелерді жүргізу арқылы біздің тәсіліміз жол желісін толығымен жабуға және өте төмен шығыс қатесіне қол жеткізуге мүмкіндік беретіндігіне көз жеткіземіз.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Smart Cities Council, ‘Smart cities readiness guide: The planning manual for building tomorrow’s cities today,’ Smart Cities Council, Redmond, 2014.
- [2] Oh S., Ritchie S., and Oh C., ‘Real-time traffic measurement from single loop inductive signatures,’ Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2002, (1804), pp. 98–106.
- [3] Denaxas E., Mpollas S., Vitsios D., Zolotas C., Bleris D. G., Spanos G. M., and Pitsianis N. P., ‘Real-time urban traffic information extraction from GPS tracking of a bus fleet,’ in ‘IEEE CIVTS,’ 2019.
- [4] Du R., Chen C., Yang B., Lu N., Guan, X., and Shen, X., ‘Effective urban traffic monitoring by vehicular sensor networks,’ IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 64(1), pp. 273–286.
- [5] Sohn K. and Hwang K., ‘Space-based passing time estimation on a freeway using cell phones as traffic probes,’ IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(3), pp. 559–568.
- [6] Atherton K., Israel students of Waze kartasyna zhalgan keptelis ұуымдастыру, 2019, <http://tinyurl.com/p4gcgkv>
- [7] Bu T., Duffield N., Lo Presti F., and Towsley D., ‘Network tomography on general topologies,’ in ‘ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review,’ volume 30, ACM, 2012 pp. 21–30.
- [8] Morimura T., Osogami T., and Idé T., ‘Solving inverse problem of markov chain with partial observations,’ in ‘Advances in Neural Information Processing Systems,’ 2013 pp. 1655–1663.
- [9] Kernighan B. W. and Lin S., ‘An efficient heuristic procedure for partitioning graphs,’ The Bell system technical journal, 1970, 49(2), pp. 291–307.
- [10] Tati S., Silvestri S., He T., and La Porta T., ‘Robust network tomography in the presence of failures,’ in ‘IEEE ICDCS,’ 2014
- [11] Du S., Ibrahim, M., Shehata M., and Badawy W., ‘Automatic license plate recognition (alpr): A state-of-the-art review,’ IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2013, 23(2), pp. 311–325.
- [12] Bartolini N., He T., and Khamfroush H., ‘Fundamental limits of failure identifiability by boolean network tomography,’ in ‘IEEE INFOCOM,’ 2019.

- [13] Batty M., Axhausen K. W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., and Portugali Y., 'Smart cities of the future,' *The European Physical Journal Special Topics*, 2019, 214(1), pp. 481–518.
- [14] Google, Google Maps APIs, 2020, <https://developers.google.com/maps/>.
- [15] Newman M., *Networks: an introduction*, Oxford university press, 2010.
- [16] Lam A. Y., Leung Y.-W. and Chu X., 'Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions,' *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2014, 5(6), pp. 2846–2856.
- [17] Clarkson K. L., 'A modification of the greedy algorithm for vertex cover,' *Information Processing Letters*, 1983, 16(1), pp. 23–25.
- [18] Idé T., Katsuki T., Morimura T., and Morris R., 'City-wide traffic flow estimation from a limited number of low-quality cameras,' *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2017, 18(4), pp. 950–959.
- [19] Ma L., He T., Leung K. K., Swami A., and Towsley, D., 'Inferring link metrics from end-to-end path measurements: Identifiability and monitor placement,' *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 2014, 22(4), pp. 1351–1368.
- [20] Kumar R. and Kaur J., 'Practical beacon placement for link monitoring using network tomography,' *IEEE Selected Areas in Communications*, 2006, 24(12), pp. 2196–2209.

REFERENCES

- [1] Smart Cities Council, 'Smart cities readiness guide: The planning manual for building tomorrow's cities today,' Smart Cities Council, Redmond, 2014.
- [2] Oh S., Ritchie S., and Oh C., 'Real-time traffic measurement from single loop inductive signatures,' *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2002, (1804), pp. 98–106.
- [3] Denaxas E., Mpollas S., Vitsios D., Zolotas C., Bleris D. G., Spanos G. M., and Pitsianis N. P., 'Real-time urban traffic information extraction from GPS tracking of a bus fleet,' in 'IEEE CIVTS,' 2019.
- [4] Du R., Chen C., Yang B., Lu N., Guan, X., and Shen, X., 'Effective urban traffic monitoring by vehicular sensor networks,' *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2020, 64(1), pp. 273–286.
- [5] Sohn K. and Hwang K., 'Space-based passing time estimation on a freeway using cell phones as traffic probes,' *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2008, 9(3), pp. 559–568.
- [6] Atherton K., Israel students of Waze kartasyna zhalgan keptelis yyymdastyru, 2019, <http://tinyurl.com/p4gcgkv>
- [7] Bu T., Duffield N., Lo Presti F., and Towsley D., 'Network tomography on general topologies,' in 'ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review,' volume 30, ACM, 2012 pp. 21–30.
- [8] Morimura T., Osogami T., and Idé T., 'Solving inverse problem of markov chain with partial observations,' in 'Advances in Neural Information Processing Systems,' 2013 pp. 1655–1663.
- [9] Kernighan B. W. and Lin S., 'An efficient heuristic procedure for partitioning graphs,' *The Bell system technical journal*, 1970, 49(2), pp. 291–307.
- [10] Tati S., Silvestri S., He T., and La Porta T., 'Robust network tomography in the presence of failures,' in 'IEEE ICDCS,' 2014
- [11] Du S., Ibrahim, M., Shehata M., and Badawy W., 'Automatic license plate recognition (alpr): A state-of-the-art review,' *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2013, 23(2), pp. 311–325.
- [12] Bartolini N., He T., and Khamfroush H., 'Fundamental limits of failure identifiability by boolean network tomography,' in 'IEEE INFOCOM,' 2019.
- [13] Batty M., Axhausen K. W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., and Portugali Y., 'Smart cities of the future,' *The European Physical Journal Special Topics*, 2019, 214(1), pp. 481–518.
- [14] Google, Google Maps APIs, 2020, <https://developers.google.com/maps/>.
- [15] Newman M., *Networks: an introduction*, Oxford university press, 2010.
- [16] Lam A. Y., Leung Y.-W. and Chu X., 'Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions,' *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2014, 5(6), pp. 2846–2856.
- [17] Clarkson K. L., 'A modification of the greedy algorithm for vertex cover,' *Information Processing Letters*, 1983, 16(1), pp. 23–25.

[18] Idé T., Katsuki T., Morimura T., and Morris R., ‘City-wide traffic flow estimation from a limited number of low-quality cameras,’ IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18(4), pp. 950–959.

[19] Ma L., He T., Leung K. K., Swami A., and Towsley, D., ‘Inferring link metrics from end-to-end path measurements: Identifiability and monitor placement,’ IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2014, 22(4), pp. 1351–1368.

[20] Kumar R. and Kaur J., ‘Practical beacon placement for link monitoring using network tomography,’ IEEE Selected Areas in Communications, 2006, 24(12), pp. 2196–2209.

СЕТЕВОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УМНЫХ ГОРОДАХ

Т.С. Иманкулов, А.Б. Болатов*

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: bolatov.adil97@gmail.com

***Аннотация.** Контроль над дорожным движением является решающим фактором для нескольких функций планирования и управления «умным городом». Однако традиционные методы часто не являются экономичными, гибкими и масштабируемыми. В этой статье предлагается новый подход к мониторингу дорожного движения, который не опирается на зондовые транспортные средства и не требует локализации транспортных средств с помощью GPS. Напротив, он использует ограниченное количество камер, установленных на перекрестках, для измерения времени проезда автомобилей. Для того чтобы сделать вывод о времени прохождения всех отдельных участков дорожной сети, смоделируем проблему в теоретических рамках сетевой томографии. Мы специально имеем дело с возможным наличием шумовых габаритов и непредсказуемостью траекторий движения транспортных средств. Кроме того, мы решаем проблему оптимального размещения камер наблюдения, чтобы максимизировать охват при уменьшении логической погрешности вывода и общей стоимости.*

***Ключевые слова:** мониторинг трафика, сетевая томография, умные города.*

A NETWORK TOMOGRAPHY APPROACH FOR TRAFFIC MONITORING IN SMART CITIES

T.S. Imankulov, A.B. Bolatov*

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: bolatov.adil97@gmail.com

***Abstract.** Traffic monitoring is a critical factor for several planning and control functions of a “smart city.” However, traditional methods are often not economical, flexible and scalable. In this article, a new approach to traffic monitoring was proposed. It does not rely on probe vehicles, and does not require the localization of vehicles using GPS. On the contrary, it uses a limited number of cameras installed at intersections to measure the travel times of vehicles. In order to infer the travel times of all individual sections of the road network, we modeled the problem in the theoretical framework of the network. We specifically dealt with the potential for noise and unpredictability of vehicle trajectories, and we also addressed the issue of optimal placement of surveillance cameras to maximize coverage while reducing inference error and overall cost.*

***Keywords:** traffic monitoring, network tomography, smart cities.*

Басылымның шығыс деректері

| | |
|--|---|
| Мерзімді баспасөз басылымының атауы | «Алматы энергетика және байланыс университетінің Хабаршысы» ғылыми-техникалық журналы |
| Мерзімді баспасөз басылымының меншік иесі | «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы |
| Бас редактор | Профессор, т.ғ.к., В.В. Стояк |
| Қайта есепке қою туралы куәліктің нөмірі мен күні және берген органның атауы | № KZ14VPY00024997, күні 17.07.2020, Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі |
| Мерзімділігі | Жылына 4 рет (тоқсан сайын) |
| Мерзімді баспасөз басылымының реттік нөмірі және жарыққа шыққан күні | Жалпы нөмір 53, 2-басылым, 2021 жылғы 30 маусым |
| Басылым индексі | 74108 |
| Басылым таралымы | 200 дана |
| Баға | Келісілген |
| Баспахана атауы, оның мекен-жайы | «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ баспаханасы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1 үй, А120 каб. |
| Редакцияның мекен-жайы | 050013, Алматы қ., «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Байтұрсынұлы к-сі, 126/1 үй, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz |

Выходные данные

| | |
|---|---|
| Название периодического печатного издания | Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетики и связи» |
| Собственник периодического печатного издания | Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» |
| Главный редактор | Профессор, к.т.н., Стояк В.В. |
| Номер и дата свидетельства о постановке на учет и наименование выдавшего органа | № KZ14VPY00024997 от 17.07.2020 Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан |
| Периодичность | 4 раза в год (ежеквартально) |
| Порядковый номер и дата выхода в свет периодического печатного издания | Валовый номер 53, выпуск 2, 30 июня 2021 |
| Подписной индекс | 74108 |
| Тираж выпуска | 200 экз. |
| Цена | Договорная |
| Наименование типографии, ее адрес | Типография НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 120 |
| Адрес редакции | 050013, г. Алматы, НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz |

Issue output

| | |
|---|--|
| Name of the periodical printed publication | Scientific and technical journal "Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications" |
| Owner of the periodical printed publication | Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev" |
| Chief Editor | Professor, candidate of technical sciences Stoyak V.V. |
| Number and date of the registration certificate and the name of the issuing authority | № KZ14VPY00024997 from 17.07.2020 Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan |
| Periodicity | 4 times a year (quarterly) |
| Serial number and date of publication of a periodical printed publication | Number 53, edition 2, June 30, 2021 |
| Subscription index | 74108 |
| Circulation of the issue | 200 copies |
| Price | Negotiable |
| The name of the printing house, its address | Printing house of Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", 126/1 Baitursynuly str., office A 120 |
| Editorial office address | 050013, Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev", A 224, tel.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz |