

Г.Ә.Төлебидің 6D070500-«Математикалық және компьютерлік модельдеу» мамандығы бойынша PhD философия докторы дәрежесін алу үшін ұсынылған «Көлік ағындарын адаптивті басқару» диссертациялық жұмысына

АНДАТПА

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Ұсынылған жұмыс көлік ағынының қарқындылығын болжау және көлік желісінің жүктемесін азайту үшін адаптивті басқару модельдерін зерттеуге және дамытуға арналған. Берілген зерттеу жұмысы есептеу интеллектінің әдістеріне негізделген болжау және басқару модельдерін ұсынады.

Тақырыптың өзектілігі. Қазіргі уақытта қалаларда көлік құралдарының тез өсуі маңызды мәселе болып табылады. Жолдардағы кептелістер кідірістер, ауаның ластануы және экологияның нашарлауы сияқты көптеген жағымсыз салдарға әкеледі. Сондықтан көлік ағынын барынша тиімді басқарудың өткір қажеттілігі бар.

Көлік желісі - бұл бағдаршамдар, қиылыстар және жол қозғалысына қатысушылар сияқты көптеген әр типті агенттері бар күрделі стационарлық емес ашық орта. Мұндай желідегі өзгерістер ағынның қарқындылығының кездейсоқ ауытқуларына және агенттердің болжанбайтын әрекеттеріне байланысты болуы мүмкін. Осылайша, бағдаршамды адаптивті басқару (TSC) тапсырмасы өте күрделі болып табылады.

Жұмыстың мақсаты. Есептеу интеллектінің әдістерін қолдана отырып, көлік ағынын болжау мен жол қозғалысын басқарудың тиімді әдістерін зерттеу және дамыту.

Зерттеу міндеттері:

- Көлік қозғалысын дәстүрлі басқару саласындағы зерттеулерге және есептеу интеллектіне негізделген көлік басқару әдістеріне шолу.
- Есептеу интеллектінің әдістерін, соның ішінде *Reinforcement Learning* (RL), нейрондық желілерді, жол сигналдарын басқарудың мультиагентті жүйелерін талдау.
- Симуляторда эксперименттік орта құру.
- Оқшауланған қиылысқа арналған Q-learning негізделген модельсіз, онлайн адаптивті бағдаршамды модельдеу.
- Оқшауланған қиылысқа арналған Deep QNetwork бар RL негізінде контроллер жасау.
- Терең оқыту (Deep learning) әдістерін қолдана отырып, көлік ағынын болжау модельдерін құру.
- Жасанды нейрондық желі негізінде адаптивті бағдаршам жобалау.
- Симуляциялар және сандық эксперименттерді орындау.

Зерттеу пәні мен нысаны. Зерттеу нысаны-көлік желісіндегі ағын. Зерттеу пәні-көлік ағындарын интеллектуалды басқару моделі.

Зерттеу әдістері. Зерттеудің негізгі тәсілдері-есептеу интеллектінің әдістері болып табылады. Басқару және болжау модельдерінің құрылысы

микроскопиялық деңгейде көлік ағынын модельдеуге негізделген. RL әдісі көлік ағындарын адаптивті басқару үшін қолданылады. Кесте әдісі тапсырманы қарапайымдау үшін, ал терең QNetwork әдісі кеңейтілген көрініс үшін пайдаланылады. Сонымен қатар, болжау және басқару міндеттері екіге бөлінген жол қозғалысын басқарудың басқа тәсілі ұсынылған. Ағынды болжау моделін құру үшін Deep learning әдістері қолданылады. Деректер уақыт қатарлары ретінде қарастырылады. Модельдер конволюциялық (CNN) және қайталанатын (RNN) нейрондық желілерге негізделген. Болжанған ағындар негізінде басқару толық байланысқан нейрондық желіге негізделген модель арқылы жүзеге асырылады. SUMO симуляторы эксперименттік ортаны құру үшін қолданылады. Сандық эксперименттер модельдердің сапасын бағалау және қажет болған жағдайда тиісті түзетулер енгізу үшін пайдаланылады. Эксперименттер үшін симуляторда генерациялау арқылы алынған синтетикалық деректер пайдаланылды.

Ғылыми жаңалығы. Бұл жұмыс қоршаған орта туралы алғашқы мәліметсіз жұмыс істейтін адаптивті қозғалыс контроллерін ұсынады. Марапаттау функциясы (reward) негізгі компоненттердің бірі болып табылатын RL әдісіне негізделген жүйе жасалды. Жаңа reward функциясы ұсынылды. Бұл reward формуласының ерекшелігі - ол тепе-теңдік және кезектің қысқаруына бағытталған мүшелерінен тұрады. Бұл жұмыста RL әдісінің көптеген артықшылықтарымен қатар бағдарламаларды басқару қызметі аясында кейбір кемшіліктер анықталды. Мысалы, ол негізінен динамикалық өзгеріп тұратын емес, жабық ортаға арналған. Егер RL агенті динамикалық өзгеретін ортаға қойылса, сұраныс өзгерген сайын, ол өзінің шешім қабылдау саясатын қайта қарастыруы керек. RL-дің басқа кемшіліктерінің бірі-агенттер бір-біріне сілтеме жасамай жұмыс істеуге арналған. Олар бірлесіп жұмыс жасауда өте жақсы нәтиже бермейді, өйткені бір агенттің кез-келген әрекеті басқалар үшін қоршаған ортаны өзгертеді. Демек, бұл стационарлық болжамға әсер етеді. Сонымен қатар, агенттер бірлесіп жұмыс істеген кезде, олар өздерінің күйлерімен бөлісіп, іс-әрекеттерін үйлестіруі керек. Бұл агенттер саны өскен сайын күй-әрекет кеңістігінің экспоненциалды өсуін білдіреді.

Берілген диссертацияда ұсынылған терең оқытудың бірқатар модельдеріне негізделген көлік желілеріндегі ағындарды болжаудың жаңа тәсілін ұсынады. Көлік ағыны дегеніміз уақыт бірлігі ішінде көлік құралдарының жолда болу ықтималдығы ретінде қарастырылады. Бұл мән қиылысқа келген көлік құралдарының нақты үлесі емес, бірақ көлік ағынының белгілі бір байланыстағы қасиеттерін білдіреді. Қазіргі уақытта ғылыми мақалаларда үстемдік ететін модельдерде тоқтап тұрған автомобильдердің саны немесе жолда күту уақыты ретінде жедел нәтижелерді пайдаланады. Алайда, біз деректерді уақыт қатарлары ретінде қарастырамыз. Ағынды бағалау үшін уақыт қатарларын қолданған кезде екі негізгі мәселе туындайды: уақыт қатарларын талдау процестің статикалық болуын талап етеді, алайда көлік ағыны динамикалық түрде өзгереді; уақыт қатарларының кеңістіктік сипаттамалары классикалық әдістерде ескерілмейді. Алайда, дәйекті деректерді қарастырған кезде белгілердің терең көрінісін ескеру қажет. Бұл сұрақтар осы зерттеуде алғаш рет

ұсынылған RNN және CNN гибриді моделінің көмегімен шешілді. Осы диссертацияда алынған нәтижелер көлік ағындарын басқару саласындағы жасанды интеллекттің дамуына ықпал етеді.

Қорғауға шығарылатын қағидалар. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес келесі қағидалар қорғауға шығарылады:

- мәселенің ағымдағы жағдайы және бар шешімдер сипатталған;
- жол қозғалысын басқаруға модельсіз, онлайн Q-оқыту (Q-table, Deep-QNetwork) негізінде жасалған адаптивті контроллер ұсынылды;
- марапаттаудың (reward) жаңа формуласы ұсынылды;
- алдын-ала алынған мәліметтер негізінде жақын болашақта көлік ағынын болжау мүмкіндігі негізделген;
- терең оқыту негізінде буын ағынын бағалаудың жаңа үлгілері ұсынылған;
- стационарлық емес орта үшін мультиагенттік тәсілді пайдалана отырып, бағдаршамдарды басқару мәселесін шешу ұсынылды;
- болжанған көлік ағынының негізінде көлік желісі үшін бағдаршамның оңтайлы жоспарын болжау жүзеге асырылды;
- сандық эксперименттердің нәтижелері және оларды талқылау келтірілген.

Жұмыстың теориялық және практикалық құндылығы. Зерттеу барысында жасалған алгоритмдер мен модельдерді бағдаршамдарды басқарудың жаңа әдістерін жасау үшін пайдалануға болады. Олар сондай-ақ интеллектуалды көлік жүйесімен байланысты кез-келген жобаларға біріктірілуі мүмкін. Зерттеу нәтижелері осы тақырыпты одан әрі теориялық зерттеу үшін, жол қозғалысын басқаруда, көлік ағындарын болжауда және қолданыстағы бағдаршамдарды басқару жүйелерін оңтайландыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Жүргізілген зерттеулер көлік ағындарын адаптивті басқару саласындағы білімді кеңейтуге және тереңдетуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелерінің апробациясы. Алынған нәтижелердің сенімділігі алгоритмдер мен симуляторды қолданумен сандық эксперименттер негізінде, халықаралық конференция басылымдарында, журналдарда, соның ішінде SCOPUS қорындағы мақалаларда, авторлық құқықтың 2 куәлігінде, сондай-ақ King's College London (Лондон, Ұлыбритания), Қазақстан-Британ техникалық университетінде, Сәтбаев Университетінде өткізілетін семинарларда көптеген пікірталастар негізінде дәлелденді.

Диссертация 2018-2020 жылдарға арналған ҚР БҒМ қаржылық бағдарламасы бойынша Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың № BRO05236316 "Қалалық және өнеркәсіптік аумақтардағы атмосфералық ауаның ластану деңгейін 3D-модельдеу, онлайн-мониторингілеу және болжау үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу" ғылыми-зерттеу жұмысы аясында орындалды.

Басылымдар. 9 жұмыс жарияланды, оның ішінде: 3 Комитет ұсынған журналдарда, 1 SCOPUS индекстелетін журналда, 4 халықаралық конференция еңбектерінде (3 SCOPUS индекстеледі):

Диссертация тақырыбы бойынша 9 жұмыс жарияланған, оның 3 – ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, 1

SCOPUS индекстелетін журналда, 4 халықаралық конференция еңбектерінде (3 SCOPUS) жарияланған:

1. Link Flow Estimation on an Isolated Intersection Based on Deep Learning Models. Gulnur Tolebi, Nurlan S. Dairbekov , Daniyar Kurmankhojayev. International Review of Automatic Control (I.RE.A.CO.), Vol. 13, N. 1. ISSN 1974-6059, pp. 19-26, January 2020.
2. Deep learning models for link flow estimation. Tolebi G., Dairbekov N. Traditional April international mathematical conference in honor of Day of science workers of the Republic of Kazakhstan, dedicated to the 1150th anniversary of Abu Nasir al-Farabi and the 75th anniversary of the Institute of mathematics and mathematical modeling, pp 141-142, Almaty, 2020.
3. Road Traffic Demand Estimation and Traffic Signal Control. Kurmankhojayev D., Tolebi G., Dairbekov N. The 5th International Conference on Engineering; MIS 2019. June 6–8, 2019, Astana, Kazakhstan. ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3330431.3330433>. (SCOPUS)
4. Link flow estimation using neural network. Tolebi G., Kurmankhojayev D. Herald of the KBTU, Vol. 16, Issue 2, pp. 170-174, June 2019.
5. Analysis of existing traffic detectors for taking measurements. Tolebi G., Kurmankhojayev D., Herald of the KBTU, Vol. 16, Issue 1, pp. 73-79, March 2019.
6. Adaptive control of traffic flows. Dairbekov N.S., Kurmankhojayev D., Tolebi
7. G. III International innovation Forum "Digital Kazakhstan: sustainable development of urban planning systems in the XXI century, pp. 120-124, April 2019.
8. Reinforcement Learning Intersection Controller. Tolebi G., Dairbekov N.S., Kurmankhojayev D., Mussabayev R. Proceedings of 14th International Conference on Electronics and Computer and Computation (ICECCO), pp. 65-69, Electronic ISBN: 978-1-7281-0132-3, DOI:10.1109/ICECCO.2018.8634692, Kaskelen, 2018. (SCOPUS)
9. Analysis of the traffic flow modeling systems. Kurmankhojayev D., Tolebi G., Herald of the KBTU, ISSN 1998-6688, Vol. 15, Issue 4, pp.86-91, December 2018
10. Online model-free adaptive traffic signal controller for an isolated intersection. Kurmankhojayev D., Suleymenov N., Tolebi G. XIII International Asian School-seminar "Problems of complex systems' optimization" in the scope of International multi-conference IEEE SIBIRCON 2017, pp. 109-112, Novosibirsk, Russia, 2017. (SCOPUS)

Диссертация құрылымы мен көлемі. Диссертация баспа мәтінінің 92 бетінде ұсынылған. Ол нормативтік сілтемелерден, белгілер мен қысқартулардың тізімінен, кіріспеден, бес негізгі тараудан, қорытындыдан және әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертацияда 19 кесте, 26 сурет бар. Әдебиеттер тізімі 91 атаудан тұрады.

Бірінші тарау - диссертациялық жұмыстың мәселелері мен оның мазмұнын сипаттайтын кіріспе.

Екінші тарауда бағдарламды басқарудың жалпы ұғымдары сипатталған. Негізгі белгілер, көлік ағынын оңтайландырудың жалпы архитектуралары,

модельдеу түрлері туралы анықтамалық ақпарат берілген. Сонымен қатар, бағдарламды басқарудың қолданыстағы әдістеріне егжей-тегжейлі шолу жасалады.

Үшінші тарауда RL әдістеріне шолу жасалады. Осы әдістердің элементтері мен негізгі түрлері сипатталған.

Төртінші тарауда RL негізделген бағдарламды басқару әдісі ұсынылған. TSC міндеті аясында екі тәсіл жүзеге асырылады. Сандық эксперименттер, модельдеу және нәтижелер осы тарауда келтірілген.

Бесінші тарауда терең оқыту модельдеріне негізделген көлік ағынының қарқындылығын болжау модулі ұсынылған. Тиісті кестелер мен диаграммаларды талқылай отырып, әдіс пен эксперимент нәтижелеріне шолу жасалады. Сонымен қатар, ұсынылған модельдердің салыстырмалы талдауы ұсынылған.

Алтыншы тарауда нейрондық желілер негізінде жасалған ағынның қарқындылығын қолдана отырып, адаптивті бағдарлам контроллері ұсынылған. Эксперименттердің нәтижелері және оларды талқылау келтірілген.

Қорытынды тарауда осы жұмыстың негізгі қорытындылары келтіріледі.