Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы

Машина таануу, автоматика жана геомеханика институту

Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университети

Д 05.23.686 Диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда
УОК: 556.025(575.2)(04)

Токтошов Гулжигит Ысакович

Инженерндик коммуникациялык сеттерди оптималдаштыруунун моделдерин жана методдорун иштеп чыгуу

05.13.18 – математикалдык моделдөө, сандык ыкмалар жана программалар комплекси

Техника илимдеринин доктору
даражасын алуу үчүн диссертациянын
автореферати

Бишкек – 2024

Жумуш Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Математика институтун “Экономика-математикалык методдор” лабораториясында **аткарылды**

Илимий кеңешчи: Физика-математика илимдеринин доктору, профессор А.Жусупбаев

Расмий оппоненттер:

Жетектөөчү мекеме:

Диссертацияны коргоо 20__-жылдын «____» ________ күнү саат _______ Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Машина таануу, автоматика жана геомеханика институтунун жана Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университетинин алдындагы физика-математика жана техника илимдеринин доктору (кандидаты) окумуштуулук даражасын изденип алууга диссертацияларды коргоо боюнча Д 05.23.686 диссертациялык кеңештин отурумунда болот. Дареги: 720071, Бишкек ш., Чуй пр., 265, 374. Диссертацияны коргоонун онлайн трансляциясынын идентификациялык коду https://vc.vak.kg/b/052-lto-twi-0js.

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын (720071, Бишкек ш., Чүй пр., 265а), Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университетинин (720000, Бишкек ш., Киев көч., 44) китепканасынан жана Кыргыз Республикасынын Президентине караштуу Улуттук аттестациялык комиссиянын сайтында https://stepen.vak.kg/diss_sovety/d-05-23-686 таанышууга болот.

Автореферат 2024-жылдын «___» ___________ таратылган.

Диссертациялык кеңештин
окумуштуу катчысы
ф.-м.и.к., у.и.к. Г.К. Керимкулова

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Заманбап инженердик сеттер көп деңгээлдүү иерархиялык системала болуп саналышат. Аларды долбоорлоо жана куруу алардын түзүмдүк жана функционалдык өзгөчөлүктөрүн, аны өнүктүрүүнүн жана кеңейтүүнүн келечегин, ошондой эле тиешелүү экономикалык негиздеменин болушун кылдат талдоону талап кылат. Өз кезегинде инженердик сеттерди куруунун жана эксплуатациялоонун наркы шаар куруу тармагындагы чыгымдардын олуттуу бөлүгүн түзөт (30% га чейин). Ошондуктан, ар кандай чектөөлөр менен кабыл алынуучу долбоордук чечимдин наркын математикалык моделдердин жана оптималдаштыруу ыкмаларынын, ошондой эле программалык комплекстеринин негизинде инженердик сеттерди долбоорлоо этабында эле балоо зарылчылыгы келип чыгат.

Илимий изилдөөлөрдүн талдоосу көрсөткөндөй, учурдагы моделдерде жана ыкмаларда долбоорлонуучу коммуникациялардын иерархиясын, инженердик сеттерди жана коммуникацияларды жайгаштыруудагы аймактык чектөөлөрдү жана аймакта учурда бар инженердик сеттерди дээрлик эске албайт, бул акыркы натыйжага абдан олуттуу таасир этиши мүмкүн. Шаардык курулуш шартында долбоордук чечимди тандоого учурдагы жана келечекте долбоорлонуучу инженердик сеттер чоң таасир этет

Мүмкүн болгон альтернативалардын ичинен кабыл алынуучу долбоордук чечимге илимий негизде талдоо жүргүзүү жана тандоо математикалык моделдөөсүз жана оптималдаштыруу ыкмаларысыз, ошондой программалардын комплексин колдонуусуз мүмкүн эмес. Ошого байланыштуу, иштин актуалдуулугу ар кандай арналыштагы инженердик сеттерди долбоорлоодо жана эксплуатациялоодо долбоордук чечимди кабыл алууну колдоо үчүн программалык каражаттарды жана эсептөө техникасын пайдаланууга мүмкүндүк берүүчү жаңы математикалык моделдерди жана оптималдаштыруу ыкмаларын, жана ошондой эле сандык эсептөө алгоритмдерин иштеп чыгуу болуп саналат

Диссертациянын темасынын артыкчылыктуу илимий багыттар, негизги илимий программалар (долбоорлор), окуу жана илимий мекемелер тарабынан жүргүзүлүүчү фундаменталдык изилдөө иштери менен байланышы. Иш "Топологиялык жана кинематикалык мейкиндиктердин маанилүү класстарын, дифференциалдык жана интегралдык-дифференциалдык теңдемелерди изилдөө жана экономикалык системалардын математикалык моделдерин иштеп чыгуу" темасынын алкагында, Мамлекеттик каттоо номери 0007730, 2021-2023, "Инфокоммуникациялык системаларды мониторингдөө, талдоо жана оптималдаштыруунун математикалык моделдерин жана ыкмаларын иштеп чыгуу жана теориясын өнүктүрүү", мамлекеттик каттоо номерлери 01200712228, 0315-2016-0006, 0315-2019-0006, 2012-2020, "Табият таануунун чоң маселелерин суперкомпьютердик технологиялары, , татаал маалымат системаларын талдоонун

жана оптималдаштыруунун математикалык моделдери жана ыкмалары", номери 0251-2021-0005, 2021, 14-01-00031 А "Супер ЭЭМде ишке ашыруу менен теплейттердин негизинде сызыктуу эмес математикалык моделдерди эволюциялык синтездөө ыкмаларын иштеп чыгуу жана изилдөө", 14-01-92694 ИНД_а "Каржы математикасындагы оптималдаштыруу маселелери үчүн гибриддик биоинспирирленген алгоритмдер", жана 8-07-00460 А "Ар кандай арналыштагы инженердик сеттердин ишенимдүүлүгүн талдоо үчүн математикалык методдорду жана программалардын комплексин иштеп чыгуу" темаларына байланыштуу аткарылды.

Изилдөөнүн максаты жана милдеттери. Диссертациянын максаты – шаардык аймактын гетерогендүүлүгү, долбоорлонуучу инженердик сеттердин жана коммуникациялардын түрлөрүнүн дал келбестиги, ошондой эле кабыл алынган долбоордук чечимдердин натыйжалуулугунун көрсөткүчтөрүнүн карама-каршылыгы шартындагы оптималдаштыруу моделдерин жана ыкмаларын, ошондой эле долбоордук чечимди кабыл алууну колдоо үчүн программалык каражаттарды жана эсептөө техникасын колдонууга мүмкүндүк берген сандык эсептөө алгоритмдерди иштеп чыгуу болуп саналат.

Коюлган максатка жетүү үчүн төмөнкү **маселелер** чечилди:

1. Инженердик сеттер жана коммуникацияларды төшөөдө бийиктик жана пландык чектөөлөрдү эске алуучу аймактын жаңы математикалык моделин иштеп чыгуу;
2. Берилген аймак менен долбоорлонуучу инженердик сеттин байланышын бирдиктүү математикалык объект катары эске алуучу инженердик сеттердин жана коммуникациялардын түзүмү үчүн математикалык моделди иштеп чыгуу;
3. Инженердик сеттердин жана коммуникациялардын өз ара жайгашуу шарттарында мыкты долбоордук чечимди тандоону камсыздаган математикалык моделди жана оптималдаштыруу методдорун иштеп чыгуу;
4. Ар кандай арналыштагы инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоодо жана курууда пайда болгон оптималдаштыруунун кээ бир классикалык жана колдонмо маселелерин изилдөө жана талдоо;
5. Сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелеринин татаалдыгын жана ошондой аларды чечүү ыкмаларын талдоо;
6. Оптималдаштыруунун ар кандай критерийлери боюнча (үнөмдүүлүк, шайкештик, ишенимдүүлүк ж.б.) шаардык курулуш шарттарында долбоорлонуучу инженердик сеттерди оптималдуу төшөө үчүн ыкмаларды жана алгоритмдерди иштеп чыгуу;
7. Илимий маалыматтарды талдоо, иштеп чыгуу жана сактоо, ошондой эле эсептөө экспериментин жүргүзүү үчүн программалардын комплексин иштеп чыгуу;

8. Сандык эксперименттерди жүргүзүү жана алынган натыйжаларды талдоо, ошондой эле учурдагы оптималдаштыруу ыкмаларынын натыйжалары менен салыштыруу.

Алынган жыйынтыктардын жана илимий жоболордун ишенимдүүлүгү. Алынган натыйжалардын жана илимий жоболордун ишенимдүүлүгү теориялык негиздөө, эсептөө алгоритмдерин жана программаларын, жана математикалык моделддерди иштеп чыгуу, гиперсет теориясынын моделдеринин жана методдорунун жана эволюциялык синтездин негизинде долбоорлонуучу инженердик сеттердин жана коммуникациялардын түзүмүн моделдөөнүн жаңы ыкмасы, ошондой эле эсептөө экспериментин жүргүзүү, алынган теориялык жана эксперименталдык натыйжалардын шайкештиги менен тастыкталат.

Алынган натыйжалардын илимий жаңылыгы.

1. Долбоорлонуучу сеттердин иерархиясын жана камтылуусун, ошондой эле оптималдаштыруу маселелеринин көп крититериялуулугун комплекстүү эске алуучу инженердик коммуникациялык сеттерди моделдөө жана оптималдаштыруу боюнча жаңы концепция иштелип чыкты;
2. Үч өлчөмдүү мейкиндикке сеттерди жана коммуникацияларды курууда аларды план боюнча да, профиль боюнча да куруу мүмкүнчүлүгүн, ошондой эле тоскоолдуктарды айланып өтүүдөгү коммуникациялардын берилген октун айланасында айлануу бурчтарын эске алуучу математикалык модель иштелип чыкты;
3. Ар кандай арналыштагы инженердик коммуникациялык сеттерди бир коллектордо биргеликте жайгаштырууда учурдагы техникалык ченемдерди жана коопсуздук эрежелерин эске алуучу инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун математикалык модели иштелип чыкты;
4. Оптималдаштыруу маселесинин гиперсеттик коюлушу, аны графтар теориясындагы белгилүү NP-татаал Штейнер маселесине келтирүү менен NP-татаалдыгы далилденди;
5. Эволюциялык синтез жана гиперсеттик ыкманын негизинде реалдуу рельефти эске алуу менен экинчи сетти баштапкы сетке жайгаштырууга мүмкүндүк берген дифференциалдык эволюция ыкмасы иштелип чыкты;
6. Тийешелүү эрежелер менен жөнгө салынуучу кумурскалардын жүрүм-турумуна ылайык маршруттарды курууга мүмкүндүк берген кумурскалар колониясынын өзгөртүлгөн алгоритми иштелип чыкты;
7. k-кыска жол методунун негизинде инженердик сеттерди жана коммуникацияларды ишенимдүүлүктүн берилген босогосуна чектөө жана жалпы курулуш чыгымдарын минималдаштыруу критерийлери боюнча көп критериялуу оптималдаштыруу маселелерин чечүү үчүн жаңы эвристикалык алгоритм иштелип чыкты;
8. Ар кандай арналыштагы инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоодо сандык эксперименттерди жүргүзүүгө мүмкүндүк берүүчү

программалардын комплекси иштелип чыкты жана бир катар тесттик жана практикалык маселелердин мисалында сандык эксперименттер жүргүзүлдү жана алынган натыйжалар талданды.

Алынган натыйжалардын практикалык маанилүүлүгү

Диссертациялык иштин практикалык баалуулугу инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун моделдерин жана ыкмаларын, ошондой эле аймактын табигый жана кырдаалдык чектөөлөрүн эске алуу менен оптималдуу долбоордук чечимди тандоого мүмкүндүк берүүчү программалардын комплекстерин иштеп чыгууда турат. Сунушталган ыкмалар инженердик сеттерди жана коммуникацияларды бир коллекторго биргеликте төшөөдө алардын шайкештигин же шайкеш эместигин, жана ошондой эле техникалык ченемдерди жана коопсуздук эрежелерин эске алат. Алынган натыйжалар долбоорлоо уюмдарында долбоорлоо чечимдерин талдоо жана синтездөө үчүн колдонулушу мүмкүн, бул долбоорлоонун убактысын жана эмгек сыйымдуулугун азайтууга өбөлгө түзөт. Мындан тышкары, алар курулуш жана монтаждоо иштери башталганга чейин долбоордук чечимди баалоого мүмкүндүк берет, бул убакытты жана каржылык чыгымдарды үнөмдөө үчүн маанилүү.

Диссертациялык иштин натыйжалары Бишкек шаарындагы "Реалпроект" ЖЧК долбоорлоо фирмасы тарабынан ар кандай объекттер үчүн инженердик камсыздоо сеттерин (электр байланыш тармактары, жылуулук трассалары) курууга долбоордук документтерди иштеп чыгууда, ошондой эле Ош шаарындагы Ош технологиялык университетинде, окуу процессинде колдонулду, бул ишке ашыруу актылары менен ырасталат.

Коргоого коюлуучу диссертациянын негизги жоболору

1. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун математикалык моделдери жана ыкмалары;
2. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселесинин мазмундуу жана формалдык коюлушу;
3. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды курууга жана оптималдаштырууга гиперсеттик мамиле;
4. Үч өлчөмдүү мейкиндикте инженердик сеттерди жана коммуникацияларды төшөө маселелери; модификацияланган нурларды трассирлөө ыкмасы жана алгоритмдин татаалдыгын баалоо;
5. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун көп критериялуу маселелери жана аларды чечүүнүн натыйжалары;
6. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелеринин NP-татаалдыгын далилдөө;
7. Инженердик сеттерди төшөөдөгү дифференциалдык эволюция ыкмасы;
8. Инженердик сеттерди оптималдуу төшөө жолдорун табуу үчүн модификацияланган кумурскалар колониясынын алгоритми;

9. Модификацияланган k-кыска жол ыкмасы жана анын натыйжалуулугу;

10. Сандык эксперименттин жыйынтыктарын талдоо жана практикалык колдонууга сунуштар.

Изденүүчүнүн жеке салымы. Диссертациялык иште келтирилген жана илимий жаңылыкка ээ болгон бардык жыйынтыктар автор тарабынан жеке түрдө алынган.

Жарыяланган эмгектерде авторлоштордун салымы төмөндөгүлөрдөн турат: Мигов Д. А., Юргенсон А. Н. – берилген ишенимдүүлүктөгү инженердик сеттерди куруу боюнча методдорду жана алгоритмдерди ишке ашыруу боюнча программаларды иштеп чыгууда, Монахов О. Г., Монахова Э. А. – дифференциалдык эволюциянын алгоритмин ишке ашыруу боюнча программаларды иштеп чыгууда, Жусупбаев А. Ж., Ляхов О. А., Попкова В. К. – инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелерин гиперсет теориясы жана дискреттик оптималдаштыруу тилинде коюу маселелерин кеңеш берүүдө.

Диссертациянын жыйынтыктарын аппробациялоо. Иштин негизги илимий натыйжалары төмөндөгү семинар жана конференциялардын отурумдарында билдирилди жана талкууланды: академик А. А. Бөрүбаевдин математика семинарында, КР УИАнын Математика институту, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, 20-май, 2024-ж.; РИА СБ ЭМиМГИ, НМУ жана СибМТИУ биргелешкен "Информатика системаларын моделдөө" семинарында, 17-май, 2016-жыл; РИА СБ ИСИ жана НМУ "Программаларды конструкциялоо жана оптималдаштыруу" биргелешкен семинарында 17-май, 2022-жыл; Баку Мамлекеттик Университетинин Колдонмо Математика Институтунун «Колдонмо математиканын заманбап маселелери» аттуу жумалык илимий семинарында, 13 сентябрь, 2022-жыл; РИА СБ Л.А. Мелентьев атындагы Энергетикалык системалар институтунун эл аралык катышуучулар менен болгон VIII бүткүл россиялык “Өнүгүүчү түтүк жана гидравликалык системаларды талдоонун жана оптималдык синтездөөнүн математикалык моделдери жана ыкмалары” илимий семинарынын жыйынында, 12-18-сентябрь, 2022-жыл; жыл сайын өтүүчү “Татаал системаларды оптималдаштыруу маселелери” Эл аралык Азия мектеп-семинарында (Кыргызстан, Казакстан, Россия, 2012-2022); жыл сайын өтүүчү россиялык "Маалыматтык сигналдарды иштеп чыгуу жана математикалык моделдөө" илимий-техникалык конференциясында (Россия, Новосибирск ш., 2012-2022-жж.); “Эсептөө жана колдонмо математиканын актуалдуу көйгөйлөрү” эл аралык конференциясында, (Россия, Новосибирск шаары, 2014-2015-жж.); КР УИАнын автоматика жана маалыматтык технологиялар институтунун 55 жылдыгына арналган “Башкаруу жана маалыматтык технологиялар маселелери” эл аралык конференцияда, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, 25-26-сентябрь, 2015-ж.; "Оптималдаштыруу көйгөйлөрү жана экономикалык колдонулуштар" VI эл аралык конференцияда, Россия, Омск ш., 28 - июнь-4-июль 2015-ж.; КРСУ түзүлгөндүгүнүн 20 жылдыгына арналган "Башкаруу теориясынын, топологиянын жана оператордук теңдемелердин актуалдуу көйгөйлөрү" II эл аралык илимий

конференцияда, Кыргыз Республикасы, Чолпон-Ата ш., 5-7-сентябрь 2013-ж.; РИА СБ ЭМжМГИ жаш окумуштууларынын Эсептөө математика жана информатика боюнча конференциясында, Россия, Новосибирск шаары, 2-4-апрель, 2013-ж.

Диссертациядагы негизги илимий жыйынтыктар 1 монографияда [1],Web of Science жана Scopus [2-10] эл аралык мезгилдүү басылмаларында, РФ ЖАК, КРП УАК [11-27], ошондой эле эл аралык конференциялардын материалдарында [28-49] жарыяланган.

Диссертациянын түзүлүшү жана көлөмү. Диссертациялык иш кириш сөздөн, жети бөлүмдөн, корутундулардан, адабияттардын тизмесинен, тиркемелерден турат. Иштин жалпы көлөмү - 272-бет. Диссертациянын негизги тексти 215 беттен турат, анда 240 аталыштагы билбиографиялык тизме жана 23 чиймелер камтылган.

ИШТИН МАЗМУНУ

Кириштүүдө диссертациялык иштин темасынын актуалдуулугу негизделип, анын максаттары жана милдеттери, илимий жаңылыгы, алынган натыйжалардын практикалык мааниси келтирилген. Коргоо үчүн коюлуучу диссертациянын негизги жоболор, автордун жеке салымы жана диссертациялык жумуштун аппробациясы келтирилип, иштин түзүмү жана көлөмү чагылдырылган.

Биринчи бөлүм “Адабиятка серепсалуу” инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу аймагындагы илимий изилдөөлөрдүн азыркы абалына, шаарларда инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоодо жана оптималдаштырууда келип чыккан оптималдаштыруу көйгөйлөрүнүн жалпы концепциясына, сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу теориясынын өнүгүшүнө окумуштуулардын кошкон салымына арналган.

Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштырууну изилдөөгө жакынкы жана алыскы чет мамлекеттердин окумуштуулары чоң салым кошушкан. Сеть түзүлүшүндөгү объекттерди берилген аймакка жайгаштыруу маселелерин чечүүнүн теориялык негиздерин В.К. Попков (1970, 2000, 2006), А.С. Родионов (2014, 2015, 2018), Е.Х. Гимади (2009, 2017), Ю.А. Кочетов (2009, 2014), А.И. Ерзин (1996, 2012) жана А.Жусупбаевдер (2015, 2017) изилдешнкен.

Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелерин алардын бири бирине камтылышын эсепке албастан алыскы чет өлкөлүк окумуштуулар Berge Djebedjian, Mohamed El-Naggar and Islam Shahin (2011), Fangfang Li, Qiang Liu, Xiu Guo, Jun Xiao (2015), Edgar T.F., Himmelblau D.M., Bickel T.C. (1978), Shie-Yui Liong and Md. Atiquzzaman (2004), Ho Min Lee, Do Guen Yoo, Ali Sadollah and Joong Hoon Kim (2016) изилдешкен.

Азыркы учурда В.К. Попковдун (1970) гиперсеть математикалык моделинин негизинде, изденүүчүнүн (2011, 2024) шаардык курулуш шартында салынган тармактарды жана коммуникацияларды оптималдаштырууга гиперсеттик ыкмасы сунушталган. Сунушталган ыкма бир структуранын экинчисине камтылышын эсепке

алууга мүмкүндүк берет жана долбоорлонуучу коммуникациялардын түрлөрүнүн иерархиясын сүрөттөйт. Азыркы учурда бул жаатта Петрозавод мамлекеттик университетинде: А.М. Воронова, Р. В. Воронов, М. А. Пискунов (2012); Н. Э. Бауман атындагы МТУда: А. Н. Божко, А. М. Андреев, Г. П. Можаров, В. Сюзев (2011); Азов алдындагы мамлекеттик техникалык университетинде: Я.Н. Нефедова, М.С. Мнацаканян (2013); Эсептөөчү математика жана математикалык геофизика институтунда: А. С. Родионов (2000), О.Д. Соколова (2003), А. Н. Юргенсон (2005) жана Д. А. Миговдор (2017) алектенишет. Бул ар кандай арналыштагы инженерндик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун учурдагы моделдерин жана ыкмаларын иштеп чыгуу жана өркүндөтүү актуалдуу экенин көрсөтүп турат.

Экинчи бөлүмдө "Изилдөө методологиясы жана методдору" долбоорлонуучу коммуникациянын топологиясын, элементтердин түзүмдүк байланыштарын, ошондой эле шаардын башка инфраструктуралык объектилери менен өз ара байланышын ачууга мүмкүндүк берген системалык ыкмага берилген. **Изилдөөнүн объектиси** болуп шаардык курулуш шарттарында долбоорлонуучу инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселеси эсептелет. **Изилдөөнүн предмети болуп** долбоордук чечимдерди кабыл алууну колдоо үчүн программалык каражаттарды жана эсептөө техникасын колдонууга мүмкүндүк берүүчү математикалык моделдер жана оптималдаштыруу методорун, жана эсептөө алгоримтдерин иштеп чыгуу саналат.

Диссертациялык иште графтар теориясынын жана гиперсет теориясынын методдору, табигый эсептөө ыкмалары жана эволюциялык синтез, аймактын рельефин компьютердик моделдөө жана ошондой эле сеттик жакындаштыруунун, вариациялык эсептөөнүн, дискреттик оптималдаштыруунун, тармактардын ишенимдүүлүгүн талдоонун **методдору** колдонулган.

Ар кандай арналыштагы инженердик коммуникацияларды анализдөө жана синтездөө маселелери келтирилген. Инженердик коммуникацияларды синтездөө маселелери жаңы коммуникацияны долбоорлоодо, учурдагы коммуникацияларды реконструкциялоодо жана өнүктүрүүдө да пайда болоору көрсөтүлгөн. Синтездөөдө маселелеринде коммуникациянын түйүндүк элементтеринин жайгашкан жери берилген болуп эсептелет, б.а. алар берилген аймакта фиксирленет. Долбоорлонгуучу коммуникациянын түзүмү анын сызыктуу бөлүгүнүн техникалык-экономикалык көрсөткүчтөрүнө жараша долбоордук чечимди кабыл алуу процессинде өзгөрүшү мүмкүн. Ушуга байланыштуу бул иште долбоордук чечимди тандоо үчүн оптималдуулуктун критерийи катары сызыктуу курулмаларды курууга жана эксплуатациялоого кеткен жалпыланган капиталдык салымдар колдонулат.

Учурдагы же жаңыдан долбоорлонуучу коммуникациялардын элементтеринин көрсөткүчтөрүн изилдөөдө актуалдуу болгон инженердик сеттерди жана коммуникацияларды талдоо маселелери келтирилген. Инженердик коммуникацияларды талдоо маселелри болуп берилген түйүндөрүнүн ортосундагы

оптималдуу маршрутту куруу, берилген транзиттүүлүк маршруттарды аныктоо, инженердик коммуникациянын түйүндөрүнүн жана сызыктуу элементтеринин өткөрүү жөндөмдүүлүгүн талдоо, инженердик коммуникациянын түйүндөрүнүн берилген жуптарынын байланыш ыктымалдуулугун аныктоо, берилген ишенимдүүлүктөгү коммуникацияларды куруу жана башка маселелер эсептелишет.

Үчүнчү бөлүмдө инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун моделдери жана ыкмалары, алардын негизинде коммуникацияларды оптималдаштыруу маселесинин мазмундук жана формалдуу коюлушу келтирилген, долбоорлонуучу коммуникациянын түзүмүнүн иерархиялык сүрөттөлүшүнө негизделген инженердик коммуникациялардын түзүлүшү үчүн жаңы модель сунушталган. Сызыктуу курулмалардын математикалык модели катарында сызыктуу граф сунушталган.

Сызыктуу граф – бул акыркыдан башка ар кандай чокусунун $v \in V$ даражасы 2ге барабар болгон граф $G = (V, E)$, б.а.

$$\forall v \in V, \qquad d(v) = 2$$

(Сызык граф эки илинүүчү чокуга ээ - булак чокусу жана керектөөчү чокусу бар).

Мейли сызыктуу граф $G = (V, E)$, $V=\{v_1,\ldots,v_n\}$, $n\geq 2$, жүктүү/салмактуу болсун. Андан сызыктуу курулманы булактан керектөөчүгө чейин төшөө маселеси төмөндөгүдөй коюлушу мүмкүн: графтагы $G = (V, E)$ берилген $u \in V$ жана $v \in V$ чокуларынын ортосундагы минималдык маршрутту тап $\mu'(u, v)$, , б.а.:

$$\mu'(u, v) = \min_{u \in V,\ v \in V} \mu(u, v) \tag{1}$$

мында: $\mu(u, v)$ – берилген жуп $u \in V$ и $v \in V$ чокуларынын ортосундагы мүмкүн болгон маршруттар. (1) маселени Дейкстранын классикалык алгоритминин жардамында, $O(n^2)$ убакыт ичинде чечүүгө болот.

Долбоорлонуучу коммуникациянын математикалык модели катары жайгаштыруу аймагы жана долбоорлонуучу коммуникация сыяктуу эки подсистеманын өз-ара камтылуусун эске алууга мүмкүндүк берүүчү эки деңгээлдүү гиперсеть модели сунушталган.

Инженердик коммуникациялар сеттерге карата колдонулуучу *баштапкы сеть* (primary network - PN) катары берилген аймактагы инженердик сеттерди жана коммуникацияларды төшөөдө белгиленген чекиттердин ортосундагы эң оптималдуу трассаны тандоого мүмкүндүк берүүчү математикалык же санариптик модель түрүндөгү жайгаштыруу аймагынын дискреттик аналогу сунушталган.

Экинчи сеть (secondary network - SN) катарында максаттуу продуктуну булактан керектөөчүлөргө ташууну жүзөгө ашыруучу физикалык сызыктуу курулмалар (түтүк өткөргүчтөр, байланыш линиялары, автомобиль же темир жолдорунун участоктору ж.б.) түшүнүлөт.

Инженердик сеттердин жана коммуникациялардын түзүмү катарында, жалпы жөнүнөн, баштапкы сетке PN чагылдыруулучу бардык экинчи сеттердин SN

түзүмдөрү түшүнүлөт. Баштапкы PN жана экинчи SN сеттердин графтарынын структуралык өз ара аракеттешүүсү эң жөнөкөй учурда төмөндө келтирилген эки деңгээлдүү гиперсеть менен чагылдырылышы мүмкүн

Төмөндөгүчө аныкталуучу эки деңгелдүү гиперсеть HN (hyper net) модели келтирилген:

Аныктоо: Гиперсеть $HN = (X, V, R; P, W, F)$ – бул төмөндөгү деңгээлдерден турган иерархиялык математикалык объект:

<u>баштапкы сеть PN деңгелинде:</u>

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – чокулардын көптүгү;

$V = (v_1, v_2, \dots, v_g)$ – бутактардын көптүгү;

$P: V \to 2^X$- ар бир элементке $v \in V$ чокулардын көптүгүн $P(v) \subseteq X$ тийешелештикке коюучу жана баштапкы сеть графын $PN = (X, V; P)$ аныктоочу чагылдыруу;

<u>экинчи сеть SN деңгелинде:</u>

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ – коммуникациянын түйүндүк элементтеринин көптүгү;

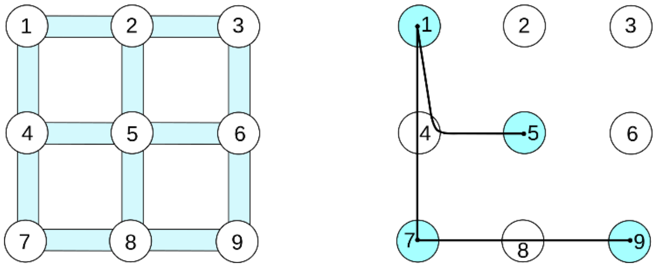
$R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$ – кырлардын көптүгү (сызыктуу курулмалар);

$W: r \to 2^{P(F(r))}$ ар бир элементке $r \in R$ чокулардын көптүгүн $W(r) \subseteq P(F(r))$ тийешелештикке коюучу, мында $P(F(r))$ бутактарга $F(r) \subseteq V$ инцидентүү болгон баштапкы графтын PN чокуларынын көптүгү, экинчи сеть графын $SN = (Y \subseteq X, R; W)$ аныктоочу чагылдыруу. Практикада SN долбоорлонучу коммуникациянын түзүлүшүнө дал келет.

Анда экинчи сеттин SN ар бир элементине $r \in R$ баштапкы сеттин PN $v \in V$ элементтеринен турган анык бир маршрутту тийешелештикке коюучу чагылдыруу $F: R \to 2^V$, гиперсетти аныктайть. Ошентип, инженердик коммуникация менен жайгаштыруу аймагынын з ара аракетенүүсү гиперграф $FS = (V, R; F)$ менен аныктала, б.а. графтын PN бутактары $v \in V$ экинчи сеть графынын SN кырларына $r \in R$ качан гана r тиешелүү v аркылуу өткөндө, ал эми SN графынын PN графына чагылдырылышы гиперсетти $HN = (PN, SN; F)$ аныктайт.

PN жана SN – багытталган эмес деп болжолдонушат.

1-сүрөттө баштапкы сеть графы PN торчо түрүндө, ал эми экинчи сеть графы SN, баштапкы сеть графына PN чагылдырылган R = {(1, 4, 5), (1, 4, 7), (7, 8, 9)} маршруттары аркылуу көрсөтүлгөн.



1-сүрөт – Гиперсеттин мисалы

$F: R \to 2^V$чагылдыруусу ар кандай максаттар үчүн сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоодо жана куруудa колдонулган ар кандай типтеги гиперсеттерди аныктай тургандыгы көрсөтүлгөн.

Аныктоо. Эгерде $F: R \to 2^V$ чагылдырууда PN графтын ар бир $V' \in V$ маршруту SN графтын жок дегенде бир элементинин $r \in R$ элеси болсо, б.а. PN графтын $\forall V' \in V$ SN графтын $\exists r \in R$: $V' = F(r)$, анда гиперсеть HN сюръективдүү деп аталат.

Сюръективдүү гиперсеть HN ар кандай багыттагы инженердик коммуникацияларды жайгаштыруу маселелеринде алардын шайкештигин эске алуу менен топтук трассалар боюнча төшөөдө колдонулат.

Аныктоо. Эгерде $F: R \to 2^V$ чагылдырууда SN графтын ар түрдүү элементи $r \in R$, PN графындагы ар түрдүү $V' \in V$ маршруттарга туура келсе, б.а. PN графтын ар бир $V' \in V$ маршруту SN графтын бир элементинин $r \in R$ элеси болсо, SN графтын $\forall r \in R$ PN графта $\exists V' \in V$: $V' = F(r)$, анда гиперсеть HN инъективдүү деп аталат.

Аныктоо. Эгерде $F: R \to 2^V$ чагылдырууда SN графтын ар бир $r \in R$ элементине PN графтын толук аныкталган $V' \in V$ маршруту туура келсе, б.а. т.е. PN графтын $\forall V' \in V$ SN графта $\exists r \in R$ жана SN графтын $\forall r \in R$ PN графта $\exists V' \in V$: $V' = F(r)$, анда гиперсеть HN биективдүү деп аталат.

Гиперсеттердин акыркы эки түрү биргелешпеген типтеги инженердик сеттерди көз-карандысыз, кесилишпеген маршруттар аркылуу төшөө маселесинде практикалык колдонууга ээ.

Ири мегаполистерде финансылык жана башка чыгымдарды үнөмдөө, ошондой эле жер астындагы же жер үстүндөгү мейкиндикти натыйжалуу пайдалануу максатында бири-бирине механикалык же электромагниттик таасири жок ар түрдүү арналаштагы инженердик коммуникацияларды коллекторлор, траншеялар, трассалар ж. б. сыяктуу курулуш түзүмдөрүндө бирдиктүү орнотуу керектиги көрсөтүлгөн.

Ар түрдүү арналыштагы инженердик коммуникацияларды сызыктуу курулмаларда бирдиктүү жайгаштыруу математикалык жактан структураланган гиперсет (*structural hyper net - SHN*) моделинин негизинде сүрөттөөгө болот.

Мейли:

- ар түрдүү арналыштагы экинчи сеттерге туура келген $G_0=(X^0,V)$, $G_1=(X^1,U^1),\dots,G_n = (X^n,U^n)$ – графтары;
- топтук трассага туура келүүчү баштапкы сеть $T_0=(Z,R)$ – тамыр дарагы белгилүү болсун.

мында: $G_0=T_0$ жана $z_i=G_i$ $(0\leq i\leq n)$ ал эми $r_i=(P,F)$, G_i графтарынын $G_{i-1}(1\leq i\leq n)$ графтарына чагылдыруулусун аныктаган, P - G_i графынын кырларын G_{i-1} графынын маршруттарына, ал эми F - G_i графынын чокуларын G_{i-1} графынын чокуларына чагылдырууну аныктаган жуп чагылдыруулар.

Ошентип, G_i $(0 \leq i \leq n)$ графтарды $T_0=(Z,R)$ тамыр дарагына удаалаш сюръективдүү чагылдыруу структураланган гиперсетти аныктайт: $SHN = (Y, V, G(X_i, R_i))$.

Андан ары инженердик сеттерди жана коммуникацияларды курууда жана эксплуатациялоодо кабыл алынган долбоордук чечимдин натыйжалуулугун баалоо үчүн үнөмдүүлүк, жандуулук жана ишенимдүүлүк сыяктуу көрсөткүчтөр келтирилген.

Кабыл алынуучу долбоордук чечимдин экономикалык натыйжалуулугу катары капиталдык салымдарды жана мезгилдин бир эле учуруна келтирилген жылдык эксплуатациялык сарптоолорду эске алуучу келтирилген чыгымдар пайдаланылат.

Долбоорлонуучу инженердик коммуникацияны эки деңгелдүү гиперсеть түрүндө курууга кеткен келтирилген чыгымдар төмөнкүдөй бааланышы көрсөтүлгөн:

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in F^*(r), \forall r \in R} a(v)\gamma_1 + \sum_{r \in R} b(r)\, \gamma_2 \right) \tag{2}$$

мында: $F^*(r)$ – экинчи сеттин SN ар бир $r \in R$ элементине PN графынын толук аныкталган маршрутун тийешелештикке коючу трассирлөө функциясы; $a(v)$ – бутактын баасы (ижара, сатып алуу, салык, жер жумуштары, траншеяны бошотуу, көчөлөрдү калыбына келтирүү жана башкалар); $b(r)$ – кырдын баасы (түтүктөр, кабелдер, куруу жана монтаждоо, эксплуатациялоо ж. б.); γ_1 жана γ_2 - чыгымдардын тиешелүү түрлөрү боюнча келтирүү коэффициенттери. Ошентип, (2) түрүндөгү максаттуу функция ар кандай арналыштагы инженердик сеттерди жана коммуникацияларды курууга жана эксплуатациялоого кеткен чыгымдардын бардык түрлөрүн эске алат.

Ар кандай штаттан тышкаркы бузуучу факторлордун таасири астында инженердик сеттердин жана коммуникациялардын үзгүлтүксүз иштөөсү жандуулук (живучесть) менен мүнөздөлөөрү көрсөтүлгөн. Берилген аймакта белгиленген чекиттердин ортосунда максаттуу продукцияны жеткирүүнүн үзгүлтүксүздүгү инженердик коммуникация берилген k чоңдугунан кем эмес байланышка ээ болгондо гана мүмкүн болот. Анда, минималдуу наркка жана жана байланыштуулугу kдан кем эмес инженердик коммуникацияны куруу маселеси төмөнкүчө коюлат:

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in F^*(r), \forall r \in R} a(v)\gamma_1 + \sum_{r \in R} b(r)\, \gamma_2 \right) \to min$$

$$\omega(HN) \geq k$$

мында: $\omega - \omega(HN) = mi\,n\{\omega(PN), \omega(SN)\}$ катары аныкталуучу гиперсеттин HN байланыштуулугу.

Андан ары инженердик коммуникациянын элементтеринин (түйүндөрүнүн же сызыктуу элементтеринин) биринчи иштебей калышына чейин үзгүлтүксүз иштөө

(иштеп чыгуу) жөндөмдүүлүгүн мүнөздөөчү ишенимдүүлүктүн көрсөткүчү келтирилген. Ишенимдүүлүк көрсөткүчүн баалоодо жандуулук көрсөткүчүнөн айырмаланып, убакыттын белгилүү бир бөлүгүндө келечектеги коммуникациянын ишке жөндөмдүүлүгүнө таасир этүүчү тышкы таасир этүүчү факторлор боюнча статистика же божомол бар. Ишенимдүүлүк көрсөткүчү инженердик коммуникациянын элементтеринин берилген убакыт аралыгындагы үзгүлтүксүз иштөө ыктымалдыгы менен бааланат, б. а.

$$p(t) = p\{\xi > t\},\ t \geq 0$$

мында: ξ – коммуникациянын биринчи отказга чейин үзгүлтүксүз иштөөсү; t – коммуникациянын элементтеринин иштен чыгуусу болбой турган убакыт аралыгы.
Башка сөз менен айтканда, инженердик коммуникациянын элементтеринин биринчи отказга чейин ξ үзгүлтүксүз иштөө ыктымалдуулугу t дан чоң болушу ишенимдүүлүк функциясы болуп саналат.Инженердик сеттердин жана коммуникациялардын иштешинин ишенимдүүлүгүнүн жеке көрсөткүчтөрү кийинки бөлүмдөрдө кененирээк берилген.

Төртүнчү бөлүмдө сеттердин жана коммуникациялардын долбоорлонучу типтеринин иерархиялуулугун жана көп критерийдүүлүгүн эске алган оптималдаштыруу маселелери берилген. Ар түрдүү математикалык моделдерди жана методдорду колдонууга мүмкүндүк беген сеттерди оптималдаштыруу маселелеринин үзгүлтүксүз жана дискреттик формалардагы формалдык коюлуштары келтирилген.

Үч ченемдүү $D \subseteq R^3$ мейкиндикте $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чекиттерини ортосундагы трассаларды тандоо маселелеринин ар түрдүү коюлушу көрсөтүлгөн. Мейли:

- $\mu(x, y, z)$ – $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чекиттерини ортосундагы каалагандай маршрут болсун;
- $f(x, y, z)$ – үч ченемдүү $D \subseteq R^3$ мейкиндиктин(x, y, z) чекитиндеги курулуш чыгымдарынын функциясы. Бул функциянын аныкталуу областына жараша үзгүлтүксүз, бөлүкчө-үзгүлтүксүз же дискреттүү болушу мүмкүн.

Үзгүлтүксүз маселе. Үч ченемдүү $D \subseteq R^3$ мейкиндикте $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чекиттерини ортосундагы трассаны тандоо маселеси каралат. Албетте, y = y(x), z = z(x) теңдемелер системасы менен берилген жана $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чекиттери аркылуу өтүүчү мейкиндиктик ийри сызыктын $\mu(x, y, z)$ узундугу төмөнкүгө барабар:

$$l(\mu) = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + [y_x'(x)]^2 + [z_x'(x)]^2}\, dx. \qquad (3)$$

Биздин учурда мейкиндиктик ийринин $l(\mu)$ узундугу баштапкы сеть PN графынын бутагынын $v \in V$ узундугуна барабар (тийешелеш), б.а..

$$l(\mu) \equiv l(v)$$

(3) интеграл астындагы туюнтманы dl катары белгилейбиз, б.а. $dl = \sqrt{1 + [y_x'(x)]^2 + [z_x'(x)]^2 dx}.$

Андан сызыктуу түзүлүштү курууга кеткен чыгымдар (маршрут, таянычтар ж.б.) төмөнкүчө аныкталат

$$c[x,y(x),z(x)] = \int_{x_1}^{x_2} f[x,y(x),z(x)]dl. \qquad (4)$$

Мейли $M_{ij} - D \subseteq R^3$мейкиндигиндеги $A(x_1,y_1,z_1)$ жана $B(x_2,y_2,z_2)$ чекиттери аркылуу өтүүчү ийрилердин көптүгү болсун.

Анда (4) негизинде, $D \subseteq R^3$ мейкиндигиндеги $(x_i,y_i,z_i) \in D, i = 1{,}2$ чекиттерин байланыштыруучу ийри $\mu[x,y(x),z(x)]$, төмөндөгүчө аныкталат:

$$\mu[x,y(x),z(x)] = \arg\min_{\mu_{ij}(x,y,z)\in M_{ij}} \int_{x_1}^{x_2} f[x,y(x),z(x)]dl \qquad (5)$$

жана үзгүлтүксүз трасса деп аталат, ал эми

$$C(\mu) = \int_{x_1}^{x_2} f[x,y(x),z(x)]dl \qquad (6)$$

бул трассанын наркы.

Биз, төшөлүп жаткан сызыктуу курулманын узундугу $(r \in R)$ бул кырга инциденттүү болгон бутактардын (трассалардын) суммардык санына барабар деп эсептейбиз:

$$l(r) = \sum_{v\in F(r)} l(v)$$

Үзгүлтүксүз учур каралып жаткандыктан сызыктуу курулманын узундугу үзгүлтүксүз трассанын узундугуна барабар, б.а.

$$l(r) = l(v)$$

Анда $\mu[x,y(x),z(x)]$ трассасын бойлото курулуучу коммуникациянын наркы төмөндөгүчө аныкталат:

$$D(\mu) = \int_{x_1}^{x_2} g[x,y(x),z(x)]dx \qquad (7)$$

мында: $g(x,y,z)$ – үч ченемдүү $D \subseteq R^3$ мейкиндиктеги(x,y,z)чекитинин координтасынан көз-каранды болгон бирдик нарк функциясы.

Анда үзгүлтүксүз маселе төмөндөгүчө коюлат: (5) функция менен аныкталуучу мейкиндиктик ийрилердин арасынан (6) (сызыктуу курулмаларды даярдоого жана курууга кеткен чыгымдар (маршруттар, таянычтар ж.б.) жана (7) (сатып алуу жана инженердик коммуникацияларды төшөө наркы) аркылуу аныкталуучу суммардык чыгым минималдуу болгондой μ_0 ийрисин табуу талап кылынат, б.а.

$$\min_{\mu_0\in\mu(A,B)}[C(\mu) + D(\mu)] = \int_A^B [f(x,y(x),z(x) + g(x,y(x),z(x)]dx \qquad (8)$$

(8) түрүндөгү үзгүлтүксүз маселе аны вариациялык эсептөөлөрдүн методдору менен чечүүгө мүмкүндүк берет.

Дискреттик маселе. Үч өлчөмдүү $D \subseteq R^3$ дискреттик мейкиндиктеги баштапкы сеттеи PN $A(x_1,y_1,z_1)$ жана $B(x_2,y_2,z_2)$ чекиттеринин ортосундагы мүмкүн болгон $\mu(A,B)$ маршруттарынын ичинен минималдык наркка ээ болгон μ_{AB} маршрутту жана

аларды бойлото экинчи сеттин SN сызыктуу курулмасын $r \in R$ чагылдырууна табуу талап кылынат, б.а.

$$F: R \to 2^{V}\,, \tag{9}$$

$$Q(SN) = \min_{\mu(A,B)}\left(\sum_{(i,j)\in\mu_{AB}}\left(c_{ij}+d_{ij}\right)\cdot l(r)\right), \tag{10}$$

где: $\mu(A,B)$ – $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чекиттеринин ортосундагы мүмкүн болгон $\mu(A,B)$ маршруттарынын көптүгү;

μ_{AB} – $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чекиттеринин ортосундагы минималдык маршрут;

c_{ij}– баштапкы сет графынын PN μ_{AB} маршрутунун (i,j) звеносунун наркы, т.е. $(i,j) \in \mu_{AB}$;

d_{ij} – экинчи сет графынын SN i пунктунан j га өтүүдөгү $r \in R$ (сызыктуу курулманын бирдик наркы;

$l(r)$ – сызыктуу курулманын узундугна туура келген метрикалык аралык.

Инженердик коммуникацияны төшөөдө тыюу салынган аймактарды эске алган рельефтин математикалык модели келтирилген. Тыюу салынган аймактарды эске алууда, жайгаштыруу аймагынан Ω социалдык, өндүрүштүк жана аскердик арналыштагы объектилер, жана ошондой эле учурдагы коммуникациялар, жана долбоорлонуучу коммуникация менен биргелешпеген башка объектилер чыгарылып салынат. Тыюу салынган займактар үчүн $\Omega_s, s = 1,2,\ldots,S$ – белгилөөсүн колдонобуз, мында: $\Omega_s \subset \Omega; \Omega_s \bigcup_{s\neq q}\Omega_q = \varphi, \forall s, q = 1,2,\ldots,S$.

$\mu = x_{ji}v_{ji}x_{j+1,i+1}\ldots x_{j-n,i-m}v_{j-n,i-m}x_{j+n,i+m}$ аркылуу баштапкы сет графындагы PN берилген жуп түйүндөрдү байланыштырган маршрутту белгилейбиз, мында: $j = 1,2,\ldots,n; i = 1,2,\ldots,m$ маршрутка кирүүчү чокулардын номери. Анда инженердик коммуникациялык сеттерди берилген аймак боюнча төшөө маселеси төмөндөгү чектөөлөрдү эске алуу менен коюлушу зарыл:

1. $\mu \subset \Omega$, $\forall j \neq k, i \neq r: k, r = \{-1; 0; 1\}$ – долбоорлонуучу трасса изилденүүчү аймакка тийешелүү болуусу зарыл;

2. $\mu \not\subset \Omega_s$, $\forall j \neq k, i \neq r: k, r = \{-1; 0; 1\}$ и $\forall s$ – долбоорлонуучу трасса тыюу салынган аймактар аркылуу өтпөөсү зарыл.

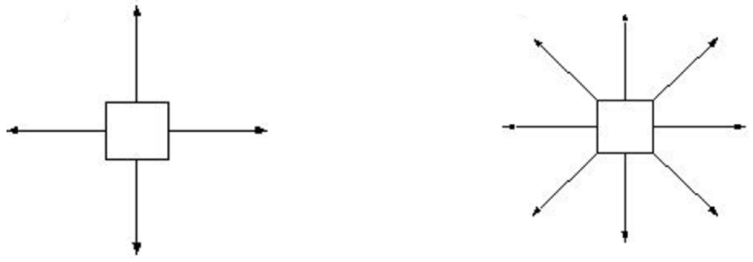
2-чектөө кайсыл бир $\Omega_s, s = 1,2,\ldots,S$ аймакка дал келген $\Delta_x \times \Delta_y$ торчонун түйүндүк элементтери $X'_\Delta \subset X_\Delta$ бул түйүнгө X'_Δ инциденттүү болгон бутактары менен кошо алынып салынаарын билдирет. Башкача айтканда баштапкы сет графынын $PN = (X, V)$, түйүндүк жана сызыктуу элементтери $X = X_\Delta \backslash X'_\Delta$; $V = V_\Delta \backslash V'_\Delta$ жана $X \subseteq X_\Delta$, $V \subseteq V_\Delta$ болот.

Үч өлчөмдүү мейкиндикте $A(x_1, y_1, z_1)$ чекитинен $B(x_2, y_2, z_2)$ чекитине өтүүнүн мүмкүн болгон багыттары маселенин өзгөчөлүгүнө жараша үзгүлтүксүз да, дискреттик да түрүндө берилет.

Үзгүлтүксүз маселеде, $A(x_1, y_1, z_1)$ чекити конустун чокусу менен, ал эми $B(x_2, y_2, z_2)$ чекитинин мүмкүн болгон абалы анын негизи менен дал келет (2а - сүрөт)

2-сүрөт – Үч өлчөмдүү мейкиндиктеги чокулардын байланыштуулугу
а) үзгүлтүксүздүк   б) дискретүүлүк

Дискретүү учурда мейкиндиктеги PN графындагы $A(x_1, y_1, z_1)$ жана $B(x_2, y_2, z_2)$ чокуларынын байланыштуулугу төрт байланыштуулук $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| + |z_1 - z_2| \leq 1$ (3а-сүрөт) же сегиз байланыштуулук $|x_1 - x_2| \leq 1$, $|y_1 - y_2| \leq 1$ и $|z_1 - z_2| \leq 1$ (2б, 3б-сүрөттөр) принциптеринин негизинде аныкталышы мүмкүн:



3-сүрөт – Дискретүүлүк учурундагы чекиттердин байланыштуулугу
а) төрт байланыштуулук   б) сегиз байланыштуулук

Задача оптимизации коммуникаций поставлена в виде построения минимальной гиперсети при ограничениях и требованиях, накладываемых на проектируемую коммуникацию, учитывающей углы поворота пространственной прямой при обходе препятствий.

Инженердик коммуникацияларды оптималдаштыруу маселеси мейкиндик түз сызыгынын тоскоолдуктарды айланып өтүүдө бурулуу бурчтарын эске алуу менен долбоорлонуучу инженердик коммуникацияга коюлган чектөөлөр жана талаптар боюнча минималдуу гиперсетти куруу түрүндө коюлат.

Маселенин коюлушу:

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in F^*(r), \forall r \in R} a(v) * T + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min \tag{11}$$

шартын канаттандыруучу $F^*(r): SN \to PN$ чагылдырууну табуу талап кылынат,

мында: $a(v)$ – баштапкы сеттин PN бутактарынын наркы;

$b(r)$ – экинчи сеттин SN кырларынын наркы стоимость;

(11) функцияда $F^*(r) = \mu^*$ - экинчи сеттин SN кырларын $r \in R$ баштапкы сеттин PN тийешелүү маршруттарына төшөөнү ишке ашыруучу оптималдык маршрут; T – мейкиндик түзүн (бутактарды) $v_i \in V$ өзгөртүү композициялары $T_{\text{план}}$ и $T_{\text{профил}}$:

$$T_{\text{план}} = T_{y \text{ айланасында } \beta \text{ буруу}} * T_{x \text{ айланасында } \alpha \text{ буруу}} * T_{z=0 \text{ тегиздигине проецирлөө}}$$

и

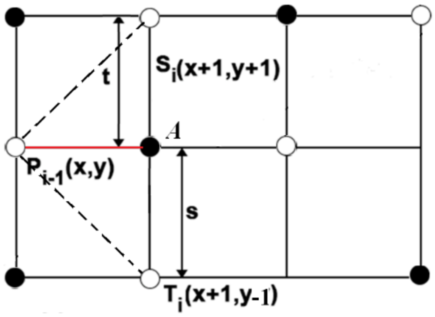
$$T_{\text{профил}} = T_{z \text{ айланасында } \gamma \text{ буруу}} * T_{x \text{ айланасында } \alpha \text{ буруу}} * T_{\text{п}y=0 \text{ тегиздигине проецирлөө}}$$

мында: $T_{x \text{ айланасында } \alpha \text{ буруу}}$, $T_{y \text{ айланасында } \beta \text{ буруу}}$ жана $T_{z \text{ айланасында } \gamma \text{ буруу}}$ – берилген симмтерия окторунун айланасында айлантуу өзгөртүү матрицасы.

Коюлган маселени чечүү үчүн нурларды трассирлөөнүн модифицирленген методу сунуш кылынган. Алгоритм эки кадамдан турат: түз жана тескери. Түз кадамда баштапкы чекиттен максатык чекитке чейинки мүмкүн болгон маршруттар курулат, ал эми тескери кадамда берилген критерийге жараша маршрут калыбына келтирилет.

Түз кадам: мейли (i-1)-кадамда бутактын $v_i \in V$ баштапкы чекити $P_{i-1} = (x, y)$ болсун. Айталык, P_{i-1} чекитинен чыккан нур А чекитине кагылышып, кайра байкоочуга кайтып келет дейли, б.а. А пункту инженердик коммуникациянын бул түрү үчүн тоскоолдук болуп саналат. Анда тоскоолдукту S_i же T_i чекиттери аркылуу айланып өтүү “ач көздүк” стратегиясынын жардамында ишке ашырылат (4-сүрөт), б.а.:

- эгерде $(s - t) < 0$ анда $P_i(x', y') = T_i(x + 1, y - 1)$, жана $x' = x_i + 1, y' = y_i - 1$;
- эгеде $(s - t) \geq 0$ анда $P_i(x', y') = S_i(x + 1, y + 1)$ жана $x' = x_i + 1, y' = y_i + 1$



4-сүрөт – Тоскоолдукту айланып өтүү

Тоскоолдукту айланып өтүү стратегиясында s жана t метрикалары P_{i-1} чекитинен S_i же T_i чекиттерине чейин сызыктуу курулманы куруунун наркы катары интерпретацияланат. Бирок практикалык маселелерди чечүүдө s жана t чокулары тандоо бир тараптуу болбой калышы күтүлөт, анткени $s - t = 0$ болушу мүмкүн. Бул кээде баштапкы жана максаттык чекиттердин ортосунда бир нече минималдуу жолдор бар экенин көрсөтүп турат.

Сунушталган алгоритмдин эсептөө татаалдыгы болжолдуу $O(N^2)$ экени далилденген.

Бешинчи бөлүмдө предметтик аймактын өзгөчөлүктөрүн, долбоорлонуучу коммуникациянын түрүн жана максатын, ошондой эле жайгаштыруу аймагынын өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен гиперсеть теориясынын алкагында инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруунун прикладдык жана классикалык маселелери каралат. Төмөндө алардын айрымдарын сунуштайбыз.

Экинчи сеть графынын чокуларын басып өтүү маселеси. Маселе экинчи сеть графынын SN бардык чокуларын бир жолудан гана өтүп, кайрадан баштапкы чокуга кайтып келүүчү, берилген критерий боюнча (эң тез, эң арзан, эң ишенимдүү ж.б.) эң кыска жолду табуудан турат.

Ал үчүн төмөндөгү белгилөөлөрдү киргизебиз: $Y = (y_0, y_1, \ldots, y_n)$ - экинчи сеть графынын SN чокуларынын көптүгү, мында y_0 – баштапкы чоку, $y_1, \ldots, y_n$– бардык калган чокулар; R – кырлардын көптүгү; $r = (y_i, y_j) \in R$ берилген $y_i, y_j \in Y$ чокуларынын туташтыруучу кыр; $\forall v \in V$: $a_r(v) = 1$, б.а. $r \in R$ үчүн $v \in V$ ны куруу наркы жана ресурстарын ижаралоо наркы 1 ге барабар; $b_v(r) = [b_{ij}]$ - $y_i, y_j \in Y$ чокуларынын ортосундагы $r = (y_i, y_j) \in R$ кыры аокылуу жүрүүдөгү терс эмес аралыктардын матрицасы (жолдун наркы). Бул матрицанын жолчолору – бул коммивояжер жол тартып чыгуучу чокулар, ал эми мамычалар коммивояжер жол тартып кирүүчү чокулар. Ал эми ячейкалар ал чокулардын ортосундагы аралык (убакыт, нарк ж.б.). Булдук өзгөрүлмөлөр $\mathrm{x_{ij}}$:

$$\mathrm{x_{ij}} = \begin{cases} 1, \text{эгерде коммивояжер i чокусунан j чокусуна жол тартса} \\ \quad 0, \quad \text{тескери учурда} \end{cases}$$

Анда маселе, төмөндөгү максатуу функция минималдык маанини кабыл ала турган:

$$Q(HN) = \sum_{v \in F^*(r)} \sum_{r \in (y_i, y_j)} b_v(r) \cdot \mathrm{x_{ij}} \to min \tag{12}$$

жана

$$\sum_{\mathrm{i=0}}^{\mathrm{n}} \mathrm{x_{ij}} = \sum_{\mathrm{j=0}}^{\mathrm{n}} \mathrm{x_{ji}} \leq 1, \ \ 0 \leq \mathrm{i, j} \leq \mathrm{n} \tag{13}$$

$$\mathrm{u_i - u_j + (n+1)x_{ij}} \leq 1, \ \ 0 \leq i, j \leq n \tag{14}$$

$$\mathrm{x_{ij}} = \{0,1\}, 0 \leq i, j \leq n \tag{15}$$

чектөөлөрдү канаттандыруучу $F(r): SN \to PN$ - чагылдыруусун табууга келтирилет. мында $\mathrm{u_i}$ – $F^*(r)$ маршрутундагы экинчи сеть графынын SN i-чокусунун катар номерин аныктоочу жардамчы бүтүн сандык өзгөрүлмө;

(13) шарт $F^*(r)$ маршрутунун y_0 чокусунан башталышын жана аяктоосун, ал эми (14) $F^*(r)$ маршрутундагы ички чокуларды бир жолудан гана басып өтүүгө

кепилдик берет. (12)-(15) NP-татаал маселе, ошондуктан аны чечүү үчүн жакындаштырылган алгорим иштеп чыгуу зарыл.

Экинчи сеть графынын чокуларын көптүгүн каптоо жөнүндөгү маселе. $A = \{a_{ij}\}, i = 1,2,\ldots,m; j = 1,2,\ldots,n,$ a_{ij} элементтери 0 же 1 барабар болгон $m\times n$ өлчөмдүү матрицаны карайбыз. Эгерде А матрицасынын i-жолчосу менен j-мамычасынын кесилишинде 1 барабар болсо, анда a_{ij} = 1, тескери учурда a_{ij} = 0. Ар бир j мамычага анын салмагы деп аталуучу $\phi_{ij}, i \in I, j \in J$ оң саны тийешелештикке коюлат. Анда, минималдык суммардык салмакка ээ болуучу I көптүгүнүн бардык жолчолорун каптоочу $J' \subseteq J$ камтылуучу көптүгүн табуу талап кылынат, мында $I = \{1,\ldots,m\}$ - максаттуу продукциянын булактары жайгашкан пункттардын жыйындысы (газ, мунай, суу ж.б.); $J = \{1,\ldots,n\}$- керектөөчүлөр жайгашкан пункттардын жыйындысы (өнөр жай зоналары, турак жай аймактары, соода борборлору ж.б.). Эгерде коюлган маселенин чечими катары $x_j = \{0,1\}, j = \overline{1,n}$ бинардык өзгөрүлмөлүү $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ векторун кабыл алсак, анда маселе төмөнкү формада коюлат:

$$Q(HN) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\phi_{ij}\cdot x_j \to min \qquad (16)$$

максатуу функциясы минималдык маанини кабыл ала турган, жана

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j \geq 1, i = \overline{1,m} \qquad (17)$$

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{эгерде j-мамыча i-жолчону камтыса} \\ 0, \text{тескери учурда} \end{cases} \qquad (18)$$

чектөөлөрдү канаттандыруучу $F: SN \to PN$ – чагылдыруусун табуу талап кылынат.

Белгилүү болгондой (16)-(18) маселеси эң жөнөкөй коюлушунда дагы NP-татаал маселелердин катарына кирет.

Андан ары, электр менен жабдуу тармактарын оптималдаштыруу үчүн колдонулуучу маселелердин бири - берилген аймактагы берилген жуп $x_i \in Y_{source}$ жана $x_j \in Y_{consumer}$ чокуларынын ортосунда электр линияларын куруу маселеси сунушталат. Задача сведена к задаче построения гиперсети HN минимальной стоимости, удовлетворяющей заданным ограничениям Маселе берилген чектөөлөрдү канааттандырган минималдуу гиперсетти HN куруу маселесине келтирилет, б.а. төмөндөгү максаттуу функиця минималдуу маанини кабыл алуучу:

$$Q(HN) = \left(\left(\sum_{v\in F^*(r)}\sum_{r\in R} c(v) + \sum_{r\in R} c(r)\right) l(x_i, x_j) + w(x_j)\cdot z_{ij}\right) \to min \qquad (19)$$

жана

$$\left|l(x_i, x_j)\right| \leq M \tag{20}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, \text{эгерде } r = (x_i, x_j) \text{ жаасы } x_j \text{чокусуна кирсе;} \\ \qquad 0, \text{тескери учурда} \end{cases} \tag{21}$$

чектөөлөрүн канаттандыруучу $F: SN \rightarrow PN$ чагылдыруусун табуу талап кылынат. мында: M- x_i жана x_j түйүндөрүнүн ортосундагы максималдуу уруксат берилген аралык; $w(x_j)$ – жаалар келип кирген түйүндүк элементтердин наркы (станциялар, подстанциялар ж.б.); $c(v)$ – таяныч конструкцияларын куруу наркы; $c(r)$ – берилген түйүндөрдү туташтыруучу өткөргүчтөрдүн наркы. Ошентип, берилген түйүндүк элементтердин ортосундагы электр линияларын куруу маселеси (19)-(21), (20)-(21) чектөөлөрүсүз Дейкстранын алгоритминин жардамында $O(n^2)$ убакыт аралыгында чечилиши мүмкүн.

Андан ары ар кандай максаттар үчүн колдонулуучу инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоодо жана эксплуатациялоодо практикалык мааниге ээ болгон көп критерийлүү маселелер келтирилген. Төмөндө алардын айрымдары келтирилген.

Берилген ишенимдүүлүктөгү минималдуу гиперсеть. Предложены альтернативные показатели надёжности для постановки задачи оптимизации сетей по критерию минимальности и заданного порога надежности проектируемой сети. Инженердик сеттерди оптималдаштыруу маселесин минималдуулук жана берилген ишенимдүүлүк чегин канаттандыруучулук көрсөткүчтөрү боюнча коюу үчүн ишенимдүүлүктүн альтернативалуу көрсөткүчтөрү сунушталат.

Мындай көрсөткүчтөрдүн бири болуп экинчи сеттин $r \in R$ кырларынын ишенимдүүлүгү эсептелет:

$$R_r(HN) = \prod_{v \in F(r)} p(v), \text{ мында } p_i, 1 \leq i \leq g. \tag{22}$$

Гиперсеттин ишенимдүүлүгү $R(HN)$ жалпысынан, баштапкы сетте үзгүлтүктөр болуп турарын эске алуу менен, бирок ошол эле учурда бардык керектөөчүлөр керектүү сатуучулар менен байланышта болушу керек экендигин эске алып төмөнкүчө аныкталат:

$$Min(R_{pair}) = min\{R_{ab}(HN)\}, a \in Y_{source}, b \in Y_{consumer} \tag{23}$$

мында: Y_{source} – ресурс булактары; $Y_{consumer}$ - керектөөчүлөр.

Сеттин орточо ишенимдүүлүгү:

$$Av(R_{pair}) = \frac{1}{\Omega}\sum_1^{\Omega} R_{ab}(HN), a \in Y_{source}, b \in Y_{consumer} \tag{24}$$

мында: Ω – бардык каралып жаткан булак-керектөөчү жуптарынын саны, же бардык кырлар, эгерде алар айкын түрдө берилбесе.

Рассмотрен также показатель, который необходим для описания надёжности в случае, когда нужно чтобы все потребители и поставщики одновременно были связны

с максимальной вероятностью. Определим его как вероятность существования путей между каждой парой источник-потребитель

Ошондой эле бардык керектөөчүлөр жана сатуучулар максималдуу ыктымалдуулук менен байланышта болушу зарыл экендигин эске алуу менен, ишенимдүүлүк булак-керектөөчү жуптун ортосунда жолдордун болушу ыктымалдыгы катары аныкталган:

$$R_{All_Pairs}(HN) = probability(Exist_a_path_betweena \in Y_{source}, b \in Y_{consumer}) \quad (25)$$

Инженердик сеттердин жана коммуникациялардын (22)-(55) түрүндөгү ишенимдүүлүк көрсөткүчтөрү төмөндөгү маселени коюга мүмкүндүк берет: төмөндөгү максатуу функция минималдык маанини кабыл алуучу

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in F(r), \forall r \in R} a(v) + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min \quad (26)$$

жана

$$R(HN) = \min_{r} p(r) \geq R_0 \quad (27)$$

шартын канаттандырган, мында: $0 < R_0 \leq 1$ – берилген ишенимдүүлүк босогосу, $F: SN \to PN$ чагылдыруусун табуу талап кылынат. (26)-(27) маселеси көп критериялуу болуп саналат.

Инженердик сеттердин биргелешкендигин жана берилген ишенимдүүлүк босогосун канаттандыруучу минималдык гиперсеть. Мейли T – долбоорлонуучу инженердик сеттердин көптүгү болсун. Ар бир $r \in R$ кыр үчүн долбоорлонуучу коммуникациянын түрүн жана максатын бир жактуу аныктаган $type(r) \in T$ функциясын аныктайлы. Ар түрдүү сеттердин биргелешкендигин сүрөтөө үчүн, төмөндөгүчө аныкталуучу $CT \subseteq T \times T$ бинардык катышын киргизебиз: эгерде $(t_1, t_2) \in CT$ болсо, анда бул типтеги коммуникациялар механикалык жана электромагниттик таасирлер боюнча биргелешкен деп эсептейбиз.

Мейли $MinCT(t_1, t_2, ..., t_h)$, $\{t_1, t_2, ..., t_h\}$ сеттерини алардын биргелешкендигин эске алуу менен бөлүүгө мүмкүн болгон - кесилишпеген көптүкчөлөрдүн минималдуу саны болсун.

Мисалы, $(t_1, t_2), (t_2, t_3) \in CT$, бирок $(t_2, t_3) \notin CT$ болгон $\{t_1, t_2, t_3\}$ сеттери бар болсо, анда $MinCT(t_1, t_2, t_3) = 2$, анткени бул сеттерди $\{t_1, t_2\}$ жана $\{t_3\}$ эки көптүкчөгө бөлүүгө болот.

Көп критериялуу маселе бул учурда төмөнкүчө коюлушу мүмкүн: төмондөгү максатуу функция минималдык маанини кабыл алуучу

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in V', \forall r \in R} a(v) \cdot MinCT(v) + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min$$

(28)

жана

$$R(HN) \geq R_0, \text{ мында: } 0 < R_0 \leq 1.$$

шартын канаттандырган $F: SN \to PN$ чагылдыруусун табуу талап кылынат.

(28) функцияда $V' \subseteq V$ көптүкчөсү төмөндөгүчө аныкталат: ар бир $v \in V'$ элементи үчүн $v \in F(r)$ болуучу $\exists r \in R$. Мейли $v \in V'$ жана $v \in F(r_i), i = 1, \ldots, l; r_1, \ldots, r_l \in R$, анда $MinCT(v) = MinCT(type(r_1), \ldots, type(r_l))$.

Мындай маселелерди чыгарууда машина убактысынын чыгымдары экспоненциалдуу түрдө өсө тургандыгы көрсөтүлдү. Ал тургай маселенин өлчөмдүүлүгүнүн салыштырмалуу кичине өсүшү машина убактысынын эң заманбап компьютердин мүмкүнчүлүгүнөн ашып кетишине алып келет.

Алтынчы бөлүм инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу көйгөйлөрүнүн татаалдыгын жана аларды чечүү ыкмаларын талдоого арналган. Атап айтканда, кээ бир маселелердин математикалык формулировкалары жана NP-татаалдыгынын далилдери келтирилген: эки деңгээлдүү минималдык гиперсетти куруу; Штайнердин k-кошумча чекитин жайгаштыруу менен инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу; берилген ишенимдүүлүктү канаттандыруууучу минималдык гиперсетти түзүү; шаар курулуш шартында инженердик сеттерди жана коммуникацияларды биргеликте жайгаштыруу.

1-маселе. Мейли $PN = (X, V)$ жан $SN = (Y \subseteq X, R)$. графтарынын болжолдуу түзүмдөрү белгилүү болсун. Анда маселе төмөндөгү максаттуу функиця минималдуу маанини кабыл алуучу:

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in V', \forall r \in R} a(v) + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min$$

F чагылдыруусун табууну талап кылат.

Инженердик сеттерди оптималдаштыруу маселесинин *1-маселе* түрүндө коюлушу эки деңгээлдүү гиперсетти куруу чөйрөсүндө эң кеңири таралган жана ар кандай максаттардагы инженердик сеттерди оптималдаштырууда, мисалы, мунай түтүктөрүн төшөөдө кеңири колдонулат.

2-маселе. Мейли экинчи сетти $SN = (Y \subseteq X, R)$ баштапкы сетке $PN = (X, V)$ жайгаштырууда Штейнердин чекиттери түрүнөгү $|Y_{additional}| = k$ кошумча чекитин жайгаштуруу уруксат берилсин (станциялар, подстанциялар, күчөткүчтөр ж.б.). Анда маселе төмөндөгүчө коюлат: $|Y_{additional}| = k$ кошумча чекитин жайгаштуруу аркылуу төмөндөгү максаттык функцияны минимумга айландыруучу

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in F(r), \forall r \in R} a(v) + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min.$$

$F: SN \to PN$ чагылдыруусун тапкыла.

3-маселе. Мейли $PN = (X, V)$ жана $SN = (Y \subseteq X, R)$ графтары белгилүү болсун. Ошондай эле баштапкы графтын $v \in V$ бутагынын жашоо ыктымалдуулугу $p(v)$ жана экинчи сеттин кырынын $r \in R$ жашоо ыктымалдуулуктары $p(r) = \prod_{\forall v \in F(r)} p(v)$ белгилүү болсун. Анда маселе төмөндөгү максатуу функция минималдык маанини кабыл алуучу:

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in F(r), \forall r \in R} a(v) + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min$$

жана

$$R(HN) = \min_{r} p(r) \geq R_0$$

шартын канаттандыруучу, мында: $0 < R_0 \leq 1$ – берилген ишенимдүүлүк босогосу, $F: SN \to PN$ чагылдыруусун табууга келтирилет.

4-маселе. Мейли $\{r_1, r_2, \ldots, r_h\} \in R$ долбоорлонуучу инженердик сеттердин тиби жана $CT \subseteq R \times R$ төмөндөгү эреже менен аныкталуучу бинардык катыш болсун: эгерде $(r_1, r_2) \in CT$ болсо, анда бул типтеги сеттер биргелешкен, тескери учурда биргелешпеген болуп саналат. Мейли жогоруда айтылгандай $MinCT(t_1, t_2, \ldots, t_h)$, $\{t_1, t_2, \ldots, t_h\}$ сеттерини алардын биргелешкендигин эске алуу менен бөлүүгө мүмкүн болгон - кесилишпеген көптүкчөлөрдүн минималдуу саны болсун.

Анда маселе төмөндөгү максаттык функцияны минималдаштыруучу:

$$Q(HN) = \left(\sum_{v \in V', \forall r \in R} a(v) \cdot MinCT(v) + \sum_{r \in R} b(r) \right) \to min$$

жана берилген $\{r_1, r_2, \ldots, r_h\}$ көптүгүн $r_1^{'}, r_2^{'}, \ldots \in CT, r_1^{''}, r_2^{''}, \ldots \in CT, \ldots$ түрүндөгү кесилишпеген минималдуу сандагы биргелешпеген көптүкчөлөргө бөлүү шартында $F: SN \to PN$ чагылдыруусун табууга келтирилет.

Андан ары инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоодо колдонулуучу жогорудагы 1-4 – маселелердин полиномдук чечилүүчүлүгү жана NP-татаалдыгы далилденген.

Айрым учурда, $a(v) = 0, \forall v \in V$ болгон учурда төмөндөгү ырастоонун тууралыгы далилденген:

1-ырастоо: Мейли баштапкы сеттин бутактарынын наркы $a(v) = 0, \forall v \in V$ болсун, анда *1-маселе* полиномдук чечилүүчү болот.

Далилдөө:

Баштапкы сеттин PN бутактарынын наркы экинчи сеттин SN кырларынын наркына салыштырмалуу эске албай кюуга болот деп болжойлу, б.а. $a(v) = 0, \forall v \in V$. Анда гиперсеттин $Q(HN)$ наркы 1-маселедеги экинчи кошулуучудан гана көкаранды болот, б.а. $Q(HN) = \sum_{r \in R} b(r)$. Бул учурда экинчи сеттин кырын $r \in R$ биринчи сеттеги PN каалаган маршрут аркылуу төшөөгө болот. Анда минималдык нарктагы гиперсетти түзүү үчүн классикалык минималдык маршрутту табуу ыкмасын

(Дейкстаранын алгоритми) колдонууга болот. Ошентип, $a(v) = 0, \forall v \in V$ болгон учурда 1-маселе полиномдук чечилүүчү болот.

Андан ары, “кысуу” методунун негизинде 1-4-маселелердин NP-татаалдыгы далилденген. “Кысуу” методуна ылайык адегенде, жалпы учурда 1-маселенин NP-татаалдыгын көрсөтүү керек. Бул учурда калган 2-4-маселелери дагы NP-татаал болушат, анткени алар өз ичине NP-татаал болгон 1-маселени камтышат.

2-ырастоо: Мейли азыр $b(r) = 0, \forall r \in R$ болсун, анда 1-маселе NP-татаал болуп эсептелет.

Далилдөө:

Мейли $|R| \geq 2$ болсун, анда төмөндөгү учурлар болушу мүмкүн:

1) Экинчи сеть графы SN байланыштуу болсун деп болжойлу. Бул учурда 1-маселенин чечими баштапкы сеть PN графындагы Штейнердин дарагы катарында изилденет. Белгилүү болгондой берилген графтагы Штейнердин дарагын түзүү NP-татаал болуп саналат.

Тескрисинен болжойлу, б.а. баштапкы сеть PN графында же экинчи сеть SN графында цикл жана минималдык наркка ээ болгон дарак бар болсун.

1.1) Мейли экинчи сеть SN графы дарак түзүмүнө ээ болсун.

a) Мели PN графынын AD жана AC маршруттары циклдерди түзүшсүн (5a-сүрөт), мында B – бул маршруттардын кесилишүү чекити. Төмөндөгү белгилөөлөрдү киргизебиз: m_1 жана m_2 – AD жана AC маршруттарынын части B чекитине чейинки бөлүктөрү, ал эми $|m_1|$ жана $|m_2|$ - алардын наркы.

Эгерде m_1 наркы m_2 наркынан чоң болсо, б.а. $|m_1|>|m_2|$, анда m_1 маршрутун m_2 бойлото жайгаштырууга болот. Бул учурда гиперсеттин наркы $|m_1|$ чоңдугуна чейин кыскарат, бул өз кезегинде карама-каршылыкка алып келет, б.а баштапкы сеть PN графындагы дарак минималдык наркка ээ болот.

b) Мейли азыр баштапкы сеть PN графында циклдарды түзгөн AD, AE, EC, үч маршрут жашасын (5b-сүрөт), мында: B – бул маршруттардын кесилишүү чекити, m_1, m_2, m_3 – AD, AE, EC маршруттарынын В чекитине чейинки бөлүктөрү, ал эми $|m_1|$, $|m_2|$, $|m_3|$ - бул маршруттардын наркы.

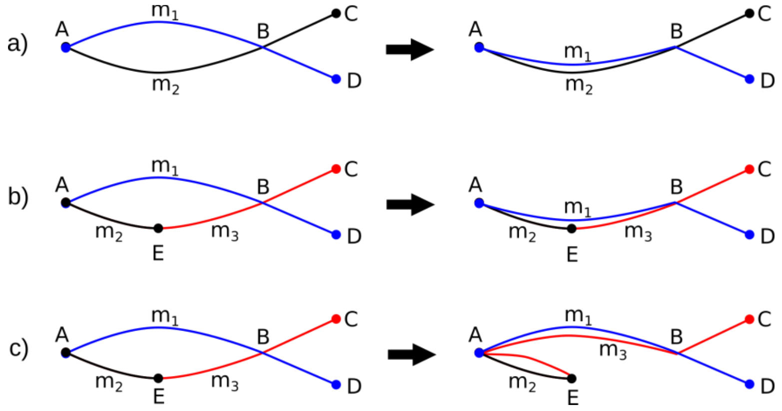
Эгерде m_1 маршрутунун наркы m_2, m_3 маршруттарынын суммардык наркынан кичине эмес болсо, т.е. $|m_1| \geq |m_2| + |m_3|$, анда m_1 маршрутун m_2 жана m_3 маршруттарын бойлото жайгаштырууга болот(AEB). Анда гиперсеттин наркы $|m_1|$ чоңдугуна чейин кыскарат, бул өз кезегинде карама-каршылыкка алып келет, б.а. баштапкы сеть PN графындагы дарак минималдык наркка ээ болот.

Эгерде m_1 маршрутунун наркы m_2, m_3 маршруттарынын суммардык наркынан кичине болсо, ал эми m_2 маршрутунун наркы m_3 маршрутунун наркынан кичине болсо, б.е $|m_1| < |m_2| + |m_3|$ жана $|m_2| < |m_3|$, анда m_3 маршрутун m_2 жана m_1 маршруттарын бойлото жайгаштырууга болот (EAB) (5c-сүрөт). Анда гиперсеттин

наркы $|m_3|$ чоңдугуна чейин кыскарат, бул өз кезегинде карама-каршылыкка алып келет, б.а. баштапкы сеть PN графындагы дарак минималдык наркка ээ болот.

c) Эгерде баштапкы сеть графындагы цикл 4 же андан көп маршрутту түзсө, анда жыйынтык мурдагы учуплагыдай болот. Бул учурда, эң кымбат маршрут калган маршруттар боюнча кайра жайгаштырылат. Бул биринчи кезекте гиперсететтин наркынын эң кымбат маршруттун наркына төмөндөөсүн, экинчиден, баштапкы сеть PN графигиндеги дарак минималдык наркка ээ болгон карама-каршылыкка алып келет.

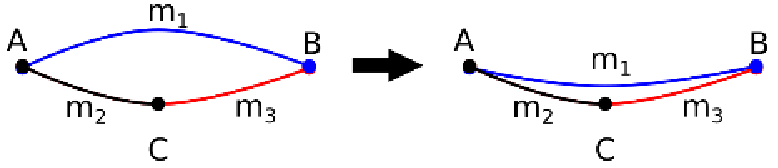
Ошентип, эгерде экинчи сеть SN графынын тузүмү дарак болсо, анда баштапкы сеть PN графындагы маршрут дагы даракты түзөт. Ошондуктан минималдык нарка ээ болгон гиперсеть биринчи сеть PN графындагы даракты түзөт.



5-сүрөт – Баштапкы сеть PN графындагы маршруттардын мисалы

1.2) Мелйи азыр экинч сеть SN графынын түзүлүшү дарак болбосун. Бул учурда дагы минималдык наркка ээ болгон гиперсеть баштапкы сеть PN графында даракты түзөөрүн көрсөтөлү.

Тескерисинче болжойлу, б.а. баштапкы сеть PN графы циклдарды кармап турсун. Мейли азыр баштапкы сеть PN графында циклдарды түзгөн AB, AC, CB, үч маршруту жашасын (6-сүрөт). AB, AC жана CB маршруттарынын ичинен эң чоң наркка ээ болгон маршрутту тандайлы (мисалы, m_1) жана аны m_2 жана m_3 маршруттарын бойлото жайгаштыралы (ACB). Анда гиперсеттин наркы $|m_1|$ чоңдугуна чейин азаят, бул өз кезегинде карама-каршылыкка алып келет, б.а. баштапкы сеть PN графындагы дарак минималдык наркка ээ болот.

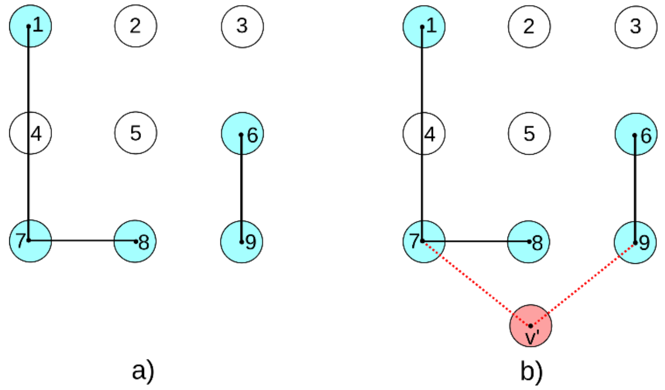


6-сүрөт – Баштапкы сеть PN графындагы маршруттардын мисалы

Ошентип, минималдык наркка ээ болгон гиперсеть баштапкы сеть PN графында даракты түзөөрү көрсөтүлдү.

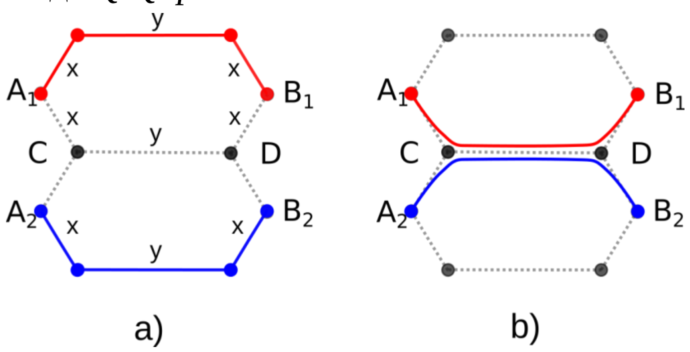
2) Мейли азыр SN графы байланышсыз болсун (7a - сүрөт), т.е. маселенин чечими токой болсун. Фиктивдик v' чокусу киргизилип (7b-сүрөт), ал наркка ээ болбогон фиктивдик кырлар жана бутактар аркылуу экинчи сеть графынын байланыш компоеннталары менен туташтырылган болсун. Ар бир байланыштуулук компонентасы бир жана бир гана кыр менен туташтырыла тургандыгын белгилейбиз.

Анда кошумча v′, жана фиктивдик кырларды жана бутактарды киргизүү менен алынган экинчи сеть SN графы байланыштуу болот чокусун экинчи сеть графы. Белгилүү болгондой бул графта түзүлгөн Штейнердин дарагы алгачкы маселенин чечими болот.



7-сүрөт – a) байланышсыз граф SN; b) байланыштуу граф SN

Андан ары инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелерин чыгаруунун “ач көздүк” идеясына негизделген негизделген “ач көздүк алгоритм” суеушталган. Ал үчүн биринчи сеть графына жайгаштыруу керек болгон $(A_1, B_1),\dots(A_k, B_k)$ k кырлары каралатКыска бутактардын наркы - x, ал эми узундарыныкы - y $(y \leq 2x)$. Минималдык остовдук даракты түзүү үчүн “ач көз” алгоритминин бирден бир түрү болгон Краскалдын алгоритмин колдонуууга болот. Краскалдын алгоритминин негизинде тузулгөн чечимдин наркы $Q=k(y+2x)$ (8a-сүрөт), ал эми Штейнердин дарагынын наркы $Q_{opt}=y+2kx$. (8b-сүрөт) болот. Эгерде $y=2x$, анда $k\to\infty$ умтулганда $Q/Qopt\to 2$ болот.



8-сүрөт – Штейнердин дарагынын мисалы

Эгерде кырлардын наркы нөлдөн чоң болсо, анда баштапкы сеть графындагы Штейнердин дарагын издөо маселеси ар дайым оптималдуу чечимди бербейт. 8-сүрөттө биринчи сеть графына $(A_1, B_1),\dots(A_k, B_k)$ k кырларын жайгаштыруунун мисалы келтирилген (k - так сан). Мейли кыска бутактардын наркы x, узундарыныкы y, вл

эми кырлардын каалаган бутак аркылуу өтүү наркы ε болсун. Ошондой эле $y \geq 2x+2(k-1)\varepsilon$ деп эсептейбиз.

Төмөндө экинчи сеть графын баштапкы сеть графына жайнаштырууда “ач көздүк” стратегиясы колдонулда. Мейли *r* кырларынын наркы, өзү жайгаштырылуучу бутактардын санынан көз-каранды болсун. Аны *e(v)* аркылуу белгилейбиз.

«Ач көз» алгоритми

0-кадам. Биринчи сеть *PN* графынын ар бир *v* бутагына $c(v)=a(v)+e(v)$ чоңдугун тийешелештикке коебуз.

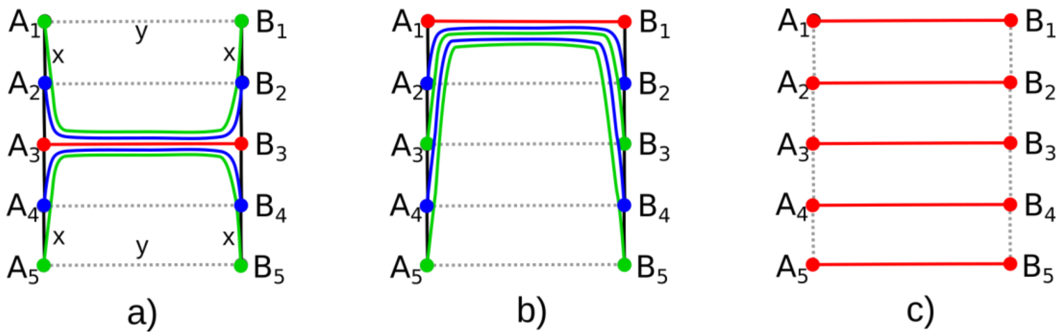
1-кадам. Экинчи сеть *SN* графынын чокуларын эске алуу менен баштапкы сеть *PN* графындагы белгиленген жуп чокулардын ортосундагы бардык кыска жолдорду табуу. Мисалы, Флойддун алгоритмин колдонуу.

2-кадам. Табылган жолдордун арасынан (азырынча кырлар жайгаштырылбаган) эң кыска жолду табуу жана ал аркылуу кырды жайгаштыруу. Мындай кырлар үчүн бутактардын баасы $c(v)= e(v)$ болот. Эгерде бардык кырлар жайгаштырылып бүтсө, анда алгоритм аяктайт, тесекри учурда 1-кадамга өтүү.

Эгерде $\varepsilon=0$ болсо, анда оптималдык чечимдер бирдей болушат, ал эми алардын наркы $Q=y+2x(k-1)$.

Эгерде $\varepsilon>0$ болсо анда оптималдык чечим 9а -сүрөт менен дал келет, ал эми анын наркы $Q_{opt}=y+2x(k-1)+ \varepsilon((k+1)^2/2 -1)$ болот. “Ач көз “ алгоритм 9b-сүрөттөгү чечимди табууга жардам берет, ал эми чечимдин наркы - $Q=y+2x(k-1)+ \varepsilon k^2$. Эгерде $y=2x+(k-1)\varepsilon$ болсо, анда $k\to\infty$ умтулганда $Q/Qopt\to 2$ болот.

Эгерде $y\leq 2(x+\varepsilon)$ болсо, анда оптималдык чечим 9с-сүрөттөгүдөй болот, ал эми анын наркы $Q_{opt}=k(y+\varepsilon)$ болот.



9-сүрөт – Ар түрдүү нарктагы *k* кырлар жана бутактар үчүн гиперсетти түзүүнүн мисалдары (*k* =5).

Жетинчи бөлүмдө иштелип чыккан методдор жана алгоритмдер, ошондой эле сандык эксперимент жүргүзүү үчүн программалык комплексти ишке ашыруу, ошондой эле алынган натыйжаларды талдоо берилген.

Оптималдуу гиперсетти куруу үчүн эки этаптуу алгоритмге жана эволюциялык синтез идеологиясына негизделген *дифференциалдык эволюциянын модифицирленген методу сунушталган.* Методдун маңызы баштапкы жакындоону түзүүдө жана аны экинчи сеттин чокуларынын санына $|Y|$ жараша *k* кошумча

чекиттерди (КЧ) (станцияларды, подстанцияларды, бөлүштүрүүчү пункттарды ж.б.) эркин жайгаштыруу жолу менен аны удаалаш жакшыртууда турат.

1-этап. ***Баштапкы чечимди түзүү:***

1.1.-кадам. Флойд – Уоршеллдин алгоритминин негизинде PN=(X,V) графында кыска жолдордун матрицасын түзүү;

1.2.-кадам. Прима же Крускалдын алгоритминин жардамында SN=(Y⊆X,R) графында минималдык каптоочу TS дарагын түзүү;

1.3.-кадам. Минималдык каптоочу даракты TS анын ар бир кыры биринчи сет PN графындагы берилген чокулардын ортосундагы минималдык жолдор аркылуу чагылдыруу.

2-этап. ***Чеичмди жакшыртуу:***

Чечимдин оптималдуулугу көз-каранды болгон КЧ координаталарын издөө үчүн дифференциалдык эволюция алгоритми колдонулат.

2.1.-кадам. КЧ координаталарын $Gen = \{P\} = \{p_1, p_2, \dots, p_k\},\ k > 0$ вектору түрүндө көрсөтүү. Gen векторлорунун көптүгү *популяция* деп аталуучу $TS(Gen)$ дарактарынын көптүгүн аныктайт;

г2.2.-кадам. Оптималдаштыруу маселесинин мүмкүн болгон чечимдерин мүнөздөгөн, *муун* деп аталуучу x_i^G кокустук векторлорунун көптүгүн инциализациялоо;

2.3.-кадам. Ар бир вектор үчүн максатуу функциянын маанилерин эсептөө. Эң жакшы натыйжаны камсыздаган вектор базалык x_i^G вектор (*муун*) катары кабыл алынат;

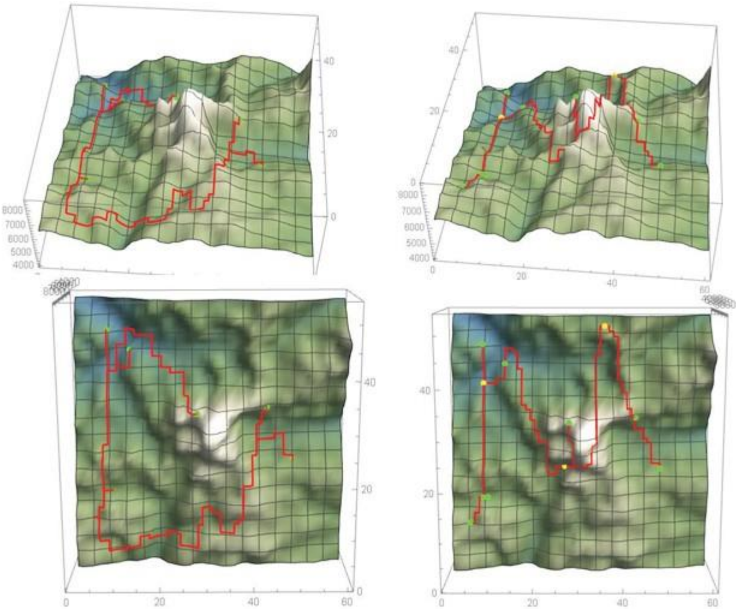
2.4.-кадам. x_i^G векторунан ар түрдүү x_1^G, x_2^G, x_3^G үч кокустук векторлорун тандоо жана $v_i^{G+1} = x_{r1}^G + F(x_{r3}^G - x_{r2}^G)$ катышы v_i^{G+1} мутанттык векторун генерациялоо, мында: $F \in \{0; 2\}$ – мутациядагы масштабдоочу коэффициент;

2.5.-кадам. v_i^{G+1} векторлорунун үстүнүн кроссовер (аргындаштыруу) операциясын жүргүзүү, б.а. мутанттык вектордун координаталары базалык вектордогу тийешелеш координаталар менен алмаштырылат. Кроссовер (аргындаштыруудан) кийин алынган вектор сыналуучу вектор деп аталат. Эгерде максатуу функцянын мааниси сыналуучу вектордо базалык векторго караганда жакшы натыйжа берсе, анда жаңы муундагы базалык вектор сыналуучу вектор менен алмаштырылат, тескери учурда жаңы муунда базалык вектор сакталат.

Сандык экспериментти жүргүзүү үчүн негизги параметрлердин төмөндөгү маанилери колдонулду: популяциянын өлчөмү - 100, мутация учурундагы масштабдоочу коэффициент - 0.6, кроссовердин (аргындаштыруунун) жыштыгы - 0.7, керектөөчү-чокулардын саны - 10дон 100гө чейин, КЧ саны – 3төн 20га чейин.

Бул алгоритмди ишке ашыруу үчүн берилген аймактын реалдуу рельефин колдонууга мүмкүндүк берүүчү Wofram Mathematica 10 системасы колдонулду.

10-сүрөттө 8 керектөөчү-чоку жана 3 кошумча чоку үчүн сунуш кылынган алгоритмдин иштөөсүнүн жыйынтыктары келтирилген.



10-сүрөт – Баштапкы чечимди табуу жана аны жакшыртуу: а) капталынан көрүнүшү; б) үстүнөн көрүнүшү

1-таблицада ар түрдүү сандагы керектөөчү-чоку жана кошумча чекиттер үчүн инженердик коммуникациялар долбоорлоого кетүүчү чыгымдарды баштапкы чечимге салыштырмалуу кыскартуунун орточо чоңдугу (тегерек кашаада - анын орточо квадраттык четтөөсү) келтирилген.

1-таблица – баштапкы чечимди табуу жана аны жакшыртуу

ДТ/П	10	40	70	100
3	7.3 (3.4)	11.0 (5.7)	11.0 (5.3)	9.0 (2.4)
5	7.3 (3.1)	11.8 (7.7)	11.2 (3.3)	10.3 (2.1)
7	6.1 (3.0)	8.0 (2.9)	10.6 (4.8)	14.6 (5.4)
10	0.3 (0.5)	8.8 (4.0)	14.3 (4.9)	13.6 (2.7)
15	0	9.7 (5.5)	9.5 (2.6)	10.3 (2.8)
20	0	4.6 (3.0)	12.7 (5.3)	15.9 (5.8)

Сандык эксперименттер көрсөткөндөй, модифицирленген дифференциалдык эволюциянын алгоритми конфигурацияга, параметрлерге жана жайгаштыруу аймагына жараша баштапкы чечимге салыштырмалуу берилген инженердик сеть үчүн орточо суммалык чыгымдарды 3% - 12% га кыскартууга мүмкүндүк берет.

Долбоорлонуучу инженердик коммуникациянын ишенимдүүлүгүнө чектөөлөрдү эки деңгээлдүү ишенимдүү гиперсет *HN* түрүндө курууну эске алган *модификацияланган кумурска алгоритми* (*AntColony*) суеуш кылынды. Экинчи сеть

графынын ар бир $\forall r \in R$ кыры үчүн төмөндөгүэрежелер менен аракеттенүүчү "кумурскаларды" түзөбүз:

– t-итерацияда кумурсканын кийинки чокуга өтүү ыктымалдуулугу төмөндөгүчө аныкталат:

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum[\tau_{ij}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}$$

– ар бир $l_i(0 < l < L)$ кумурска TimeToLive белгисине ээ болот, б.а. $TTL(l_i)$:

$$TTL(l_i) = \prod_{v \in Path(l_i)} p(v)$$

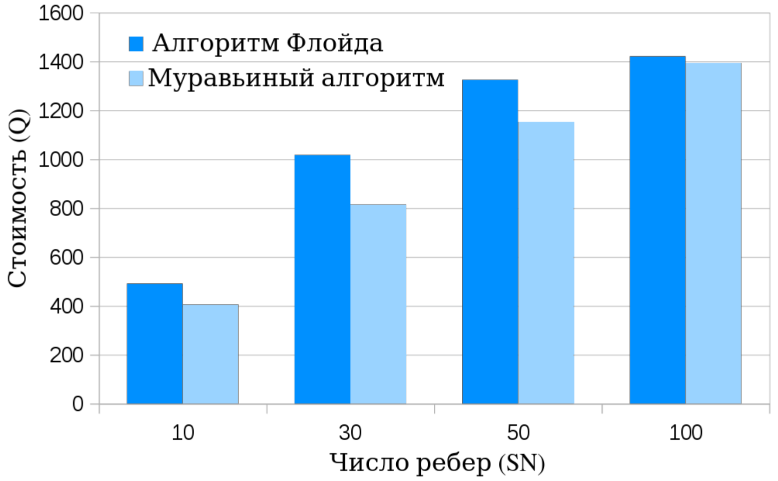
мында $Path(l_i) - l_i$-кумурска үчүн жол. Эгерде $TTL(l_i) < P_0$ анда l_i-кумурска жашоосун токтотот.

– $\forall r \in R$: l_i-кумурска ар бир $v \in V$ бутагында $\Delta\tau_{ij}(t) = Q/leght(t)$ феромонун калтырат;

– эң көп каттамдардын топтому минималдуу маршрутту камсыздайт жана фиксирленет, баштапкы сеттин бутактарынын наркы төмөндөйт;

11-сүрөттө көрсөтүлгөндөй сандык эксперимент жүргүзүүдө төмөндөгү параметрлер колдонулду: $p_i = 0.99, 1 \le i \le g, R_0 = 0.9$, 10x10 өлчөмүндөгү торчо $\alpha := 1; \beta := 3;$ $\tau_0 := 1;$ $q := 50, SN$ дин PN ге жайгаштырылуучу кырларынын саны 10дон 100гө чейин өзгөрүлдү.

Ордината огу – гиперсетти төшөөнүн наркы $Q(HN)$. Ач көздүк алгоритминин жана кумурскалар колониясы алгоритминин натыйжалары салыштырылды. Сүрөттөн көрүнүп тургандай, кумурскалар колониясы алгоритми аз сандагы кырлар үчүн мыкты натыйжа берет. Кырлардын саны көп болгондо, алгоритмдердин натыйжалары дээрлик бирдей. Бирок, Флойддун алгоритми чечимди кыйла тезирээк табат.



11-сүрөт – Сандык эксперименттердин натыйжалары

Оптималдуу гиперсетти синтездөөдө *k-кыска жол методу* жана анын башка оптималдаштыруу методдору менен болгон ар түрдүү комбинациялары сунушталды.

Методдун маңызы жеткиликтүү альтернативдүү маршруттардын иреттелген тизмеси түрүндөгү k-кыска жолдорду генерациялоо жана алардын ичинен берилген критерий боюнча оптималдуусун тандоо болуп саналат.

Сунушталган алгоритмдин жардамында MaxProb, FloydGreedyProb сыяктуу бир нече жеке алгоритмдер иштелип чыкты.

MaxProb алгоритми:

1-кадам. Ар бир бутакка $v \in V$ *(1-p(v))* санын тийешелештикке коебуз.

2-кадам. Флойддун алгоритминин негизинде баштапкы сеть $PN = (X, V)$ графындагы берилген $(y_i, y_j), i, j = 1, \dots n, i \neq j$ жуп чокуларынын ортосундагы бардык минималдык жолдорду табуу.

Табылган жолдор боюнча берилген $r \in R$ кырларынын байланыштуулук ыктымалдуулугун $p(r) = \prod_{\forall v \in F(r)} p(v)$ эсептөө.

Алынган натыйжа берилген байланыштуулук босогосун канаттандырса, анда маселе чечимге ээ болот. MaxProb алгоритминин ыктымалдуулук боюнча кепилденген чектөө катары колдонсо болот.

FloydGreedyProb алгоритми:

1-кадам. Флойддун алгоритминин негизинде баштапкы сеть $PN = (X, V)$ графындагы берилген $(y_i, y_j), i, j = 1, \dots n, i \neq j$ жуп чокуларынын ортосундагы бардык минималдык жолдорду табуу.

2-кадам. Алардын ичинен ыктымалдуулук чектөөсүн канаттандырган минималдык наркка ээ болгон жолду табуу. Табылган r жолду (кырды) $PN = (X, V)$ графындагы (y_i, y_j) жолу аркылуу чагылдырууну ишке ашыруу.

Баштапкы сеть PN графындагы $v \in F(r)$: $a(v) \coloneqq 0, b(v) \coloneqq 0$ (кийинки кырларды чагылдырууда бутактардын баасы нөлгө барабар).

Экинчи сеть графынын калган бардык $r \in R$ кырлары үчүн **1-2-кдамдарды** кайталоо.

3-кадам. Жол табылбаган кырлар үчүн (ыктымдуулук чектөөлөрүн канааттандырбаган) MaxProb алгоритми тарабынан табылган жолдорду жол катары алыңыз.

Бул алгоритм “Ач көздүүлүк” алгоритминин адаптацияланган варианты болот. Бул жерде бутактардын Бул жердеги бутактардын салмагы - бутактын баасы.

Кумурскалардын колониясы алгоритмине (AntColony) аналогиялуу, эгерде “кумурскалар” кээ бир кырлар үчүн жол таппай калса, анда MaxProb алгорими аркылуу табылган жолдорду колдонулат. Мындан ары ыктымалдык чектөөсүнө кепилдик берүүгө, бирок ошол эле учурда арзаныраак жолдорду табууга мүмкүнчүлүк берген k-кыска жол алгоритминин модификациясы сунушталат.

k-кыска жол алгоритми (k-path).

1-кадам. MaxProb алгоритминин жардамында берилген жуп чокулардын ортосундагы жолдорду табуу.

2-кадам. Экинчи сеть $SN = (Y, R)$ графынын кырларын $r \in R$ салмактарынын өсүүсү боюнча тартиптештирүү ($\{r_i\}$ тизмесин алуу).

3-кадам. Йендин белгилүү алгоритми менен тандалган $r_i \in R$ кырынын акыркы түйүндөрүнүн ортосундагыбардык k-кыска жолдорду табуу. Бул кыска жолдор PN графындагы иреттелген жеткиликтүү альтернативдүү маршруттардын тизмесин түзөт. Модифицирленген Йендин алгоритмин келтиребиз:

3.1.-кадам. $r_i \in R$ кырларын v∈ V бутактардын нарктарынын кемүү тартиби боюнча ирээттөө.

3.2.-кадам. Тизме боюнча $v \in V$ бутакты жок кылуу жана пайда болгон жаңы графта Дейкстранын алгориминин жардамында r_i кыры үчүн ыктымалдуулук көрсөткүчү боюнча “кыска” жолду табуу.

3.3.-кадам. Эгерде табылган жол мурдагы жолго салыштырмалуу ыктымалдуулук чектөөсүн канаттандырса жана минималдык наркка ээ болсо, анда аны эстеп калуу. Бутакты $v \in V$ биринчи сетке кайтаруу жана 3.2.кадамга өтүү.

Бул алгоритмди башка алгоритмдердин бөлүгү катары колдонууга болот:

- **Greedy+ k-path** – FloydGreedyProb 3-кадамда k-path алгоритми менен табылган жолдор колдонулат.
- **AntColony+ k-path** – изделүүчү жолдор үчүн k-path алгоритми тарабынан табылган жолдор колдонулган AntColony алгоритми.

2- k-кыска жол алгоритми (k-path 2).

Бул жогорудагы алгоритмдин жолдор эң ишенимдүү эмес, эң арзан жолдордон жүргүзүлүүчү вариациясы.

Алгач Floyd алгоритми менен кыска жолдорду табабыз. Аларды ишенимдүүлүк чектөөлөрү K боюнча текшеребиз. Бул шарт аткарылбаган жолдор үчүн төмөндөгү кадамдарды жүргүзөбүз:

- жолдогу $v \in V$ бутактарды алардын ыктымалдуулуктары $\{p(v)\}$ боюнча ирээттөө;
- жолдон эң төмөн ыктымалдуулукка ээ болгон бутакты алып салуу. Дейкстранын алгоритминин негизинде жаңы кыска жолдорду табуу, эгерде анын ишенимдүүлүгү $p(r) \leq K$ болсо, анда аягы. Болбосо алынып салынган бутакты биринчи сеть графына кайтаруу, жана кийинки бутакты алып салуу ж.б.

Эгерде ишенимдүүлүгү $p(r) \leq K$ болгон жолду табуу мүмкүн болбосо, анда кырларды чагылдыруучу жол катары MaxProb алгоритми менен табылган жол колдонулат.

Андан ары сунуш кылынган алгоритмдерди колдонуудагы сандык эксперименттердин натыйжалары келтирилген (12-сүрөт). Баштапкы сеть графы катарында 10x10 торчо колдонулду. Баштапкы сеть графынын бутактарынын наркы 5тен 10го чейинки, ал эми экинчи сеть графынын крыларынын наркы 1ден 5ке чейинки кокустук сандар.

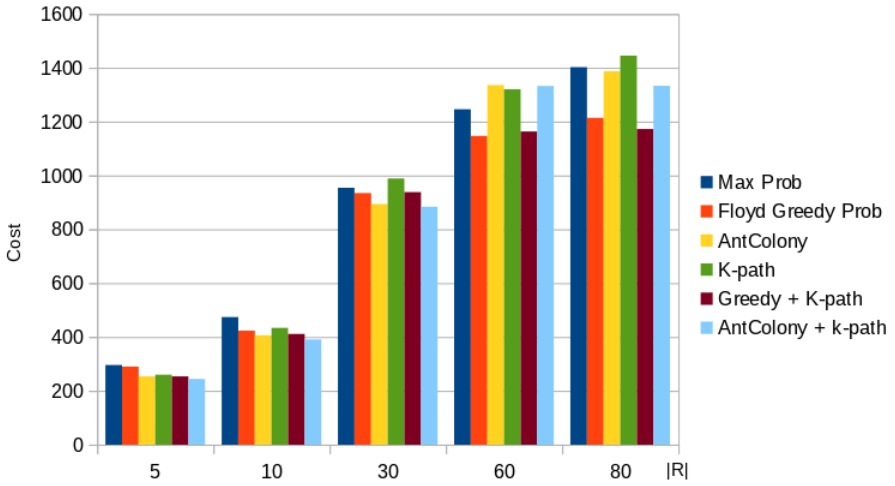
Кктымалдуулук чектөөлөрү: $|R|=5, 10$ үчүн $P_0= 0.7$, $|R|=30, 60$ үчүн - $P_0= 0.6$, ал эми $|R|=80$ үчүн $P_0= 0.5$.

12-сүрөттө ордината огу боюнча алынган гиперсеттин наркы, ал эми абцисса огу боюнча биринчи сетке чагылдыруу керек болгон кырларын саны $|R|$ көрсөтүлгөн.

Алынган натыйжалар көрсөткөндөй AntColony + k-path алгоритмдеринин комбинациясы жөнөкөй AntColony алгоритмине караганда төмөн наркка ээ болгон чечимди таба алат.

Анчалык чон эмес $|R|$ кырлардын саны үчүн, эң жакшы чечимди AntColony алгоритмдеринин группасы, ал эми чоң сандагылар үчүн ач көз алгоритмдер (Greedy) жакшы натыйжа беришет.

k-path алгоритми MaxProb алгоритмине салыштырмалуу арзан чечимди кырлардын саны $|R|$ аз болгон учурда гана камсыздай алат.Ар бир жеке жолду k-path алгоритми MaxProbдан арзан тапканы менен, акырында баштапкы сеттин бутактарынын баасы алар аркылуу канча кыр өткөндүгүнө карабастан бир гана жолу эсепке алынаарын эске албайт. MaxProb алгоритминде бутак канчалык ишенимдүү болсо, ал аркылуу көп сандагы кырлар өтүүсү күтүлөт, ал эми k-path алгоритминде кээ бир бутактарга начар топтолуучу арзан кырларды издөө ишке ашырылат, бул өз кезегинде натыйжалоочу кымбат чечимге алып келет. Бирок k-path алгоритми башка алгритмдердин бөлүгү катары колдонулганда бир топ арзан чечимдер табылат.



12-сүрөт – Алгоритмдердин иштөөсүнүн натыйжалары.

Диссертациянын жыйынтыгында изилдөөнүн жыйынтыктары жана иштелмелери жалпыланган, ошондой эле бул жумушта чечилиген бир катар практикалык маселелер келтирилген.

Тиркемеде диссертациянын натыйжаларын колдонуу боюнча актылар жана тийешелүү долбоордук чечимди кабыл алууну жүзөгө ашыруучу программалык комплекстин листинги келтирилген.

ЖЫЙЫНТЫКТАР

Изилдөөлөрдүн жүрүшүндө төмөндөгү натыйжалар алынды:

1. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды аймактын бийиктик жана пландык чектөөлөрүн эске алуу менен курууну, ошондой эле үч өлчөмдүү мейкиндикте сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелерин коюгу мүмкүндүк берүүчү үч өлчөмдүү математикалык модель сунушталды;
2. Эки деңгээлдүү гиперсеттин негизинде долбоорлонуучу сеттердин жана коммуникациялардын түзүмү үчүн алардын шайкештигин (же шайкеш эместигин), ошондой эле берилген аймакка долбоорлонуучу коммуникациянын камтылышын эске алууга мүмкүндүк берген математикалык моделдер иштелип чыкты,
3. Шаар курулуш шартында учурдагы тоскоолдуктарды, ошондой эле бул тоскоолдуктарды айланып өтүүдө айлануу бурчтарын эсепке алуу менен үч өлчөмдүү мейкиндикте инженердик сеттерди жана коммуникацияларды төшөөгө мүмкүндүк берүүчү нурларды издөөнүн модификацияланган ыкмасы иштелип чыкты;
4. Ар кандай арналыштагы инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоо жана куруу боюнча оптималдаштыруу маселелерди талдоо жана изилдөө жүргүзүлдү. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларлы оптималдаштыруу маселелери биринчи жолу ар кандай карама-каршы көрсөткүчтөргө ээ болгон мультикритериалдык оптималдаштыруу маселеси түрүндө берди;
5. Инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу көйгөйлөрүнүн татаалдыгы жана аларды чечүү ыкмаларын талдоо боюнча изилдөөлөр жүргүзүлүп, бул маселелердин NP-татаалдыгы далилденди;
6. Долбоорлонуучу сеттин тибине коюлуучу берилген чектөөлөрдү жана талаптарды эске алган көп критериялуу маселер үчүн артыкчылыктуу чечимдерди түзүүгө мүмкүндүк берген модификацияланган дифференциалдык эволюция ыкмасы, модификацияланган кумурскалар колониясынын алгоритми, модификацияланган k-кыска жол ыкмасы сыяктуу бир катар ыкмалар жана алгоритмдер иштелип чыкты;
7. Гиперсеть моделинин жана эволюциялык синтездин, ошондой эле адаптация менен локалдык издөө, генетикалык алгоритмдер, дифференциалдык эволюциянын методу жана кумурскалардын колониясы алгоритми сыяктуу ар кандай метаэвристикага негизделген бир катар алгоритмдерди ишке ашырууга мүмкүндүк берүүчү программалык комплекс иштелип чыкты.
8. Сандык эксперименттер жана алынган натыйжаларды талдоо жүргүзүлдү. Натыйжаларды талдоо көрсөткөндөй, эсептөө эксперименттерин жүргүзүүдө оптималдаштыруунун классикалык методдоруна караганда сунушталган алгоритмдердин натыйжалуулугу аныкталды.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН ТЕМАСЫ БОЮНЧА ЖАРЫЯЛАНГАН ИШТЕРДИН ТИЗМЕСИ:

1. Токтошов, Г.Ы. Математические модели и методы как основа цифровизации инженерных коммуникаций: монография [Текст]/Г.Ы. Токтошов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 212 с.

2. Токтошов, Г. Ы. Математические модели и алгоритмы для проектирования магистрального трубопровода транспортировки георесурсов [Текст] / Г. Ы. Токтошов, Д. А. Мигов // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 7. – С. 155–165.

3. Toktoshov, G. Y. The Routes Choosing Methodology for Laying Networks in Three-Dimensional Space Proceedings [Text] / G. Y. Toktoshov // Optimization Problems of Complex Systems: 17th Int. Asian School-Seminar. – Moscow; Novosibirsk; Almaty, 2021. – P. 134–138.

4. Lyakhov, O. A. The Repair Works Planning Problems in the Utility Networks Nodes [Text] / O. A. Lyakhov, G. Y. Toktoshov // Optimization Problems of complex systems: 15th Int. Asian School-Seminar, 26-30 Aug. 2019, Novosibirsk, 2019. – Novosibirsk, 2019. – P. 92–95.

5. Toktoshov, G. The Application of the k-shortest Paths Method for Constructing an Optimal Hypernet [Text] / G. Toktoshov, D. Migov // Optimization Problems of complex systems: 15th Int. Asian School-Seminar, 26-30 Aug. 2019, Novosibirsk. – Novosibirsk, 2019. – P. 162–166.

6. Токтошов, Г. Ы. Оптимизация маршрутов прокладки магистрального трубопровода для транспортировки георесурсов [Текст] / Г. Ы. Токтошов, А. Н. Юргенсон, Д. А. Мигов // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 6. – С. 41–49.

7. Toktoshov, G. Y. On a Problem of the Utility Network Design [Text] / G. Y. Toktoshov, A. N. Yurgenson, D. A. Migov // OPTA-SCL 2018, 8-14 July 2018. – 2018. – Vol. 2098. – P. 385–395.

8. Toktoshov, G. Models and Algorithms of Evolutionary Synthesis for Optimization of Engineering Networks [Text] / G. Toktoshov, O. Monakhov // Proc. of Int. Multi-Conf. on Engineering, Computer and Information Sci. (SIBIRCON), Novosibirsk, 18-22 Sept. 2017. – Novosibirsk, 2017. – P. 167–171.

9. Toktoshov, G. Design of Utility Network Subject to Reliability Constraint [Text] / G. Toktoshov, A.Yurgenson, D. Migov // Proc. of Int. Multi-Conf. on Engineering, Computer and Information Sci. (SIBIRCON), Novosibirsk, 18-22 Sept. 2017. – Novosibirsk, 2017. – P. 172–175.

10. Токтошов, Г. Ы. О создании геоинформационных систем на основе гиперсетей для организации инженерной инфраструктуры современных городов [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 1. – С. 46–52.

11. Токтошов, Г. Ы. Методология выбора трасс для прокладки сетей и коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Вестн. Сиб. гос. ун-та телекоммуникаций и информатики. – 2022. – № 1. – С. 97–107.
12. Токтошов, Г. Ы. Модели организации ремонтных работ для обеспечения работоспособности коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов, А. О. Ляхов // Вестн. Сиб. гос. ун-та телекоммуникаций и информатики. – 2021. – № 1. – С. 94–101.
13. Токтошов, Г. Ы. О сложности задач оптимизации сетей инженерных коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов, А. Н. Юргенсон, Д. А. Мигов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14, № 9. – С. 17–23.
14. Токтошов, Г. Ы. Задачи оптимизации сетей инженерных коммуникаций различного назначения [Текст] / Г. Ы. Токтошов. – Проблемы автоматики и управления. – 2019. – № 1 (36). – С. 5–11.
15. Токтошов, Г. Ы. Об оптимизации сетей инженерных коммуникаций различного назначения [Текст] / Г. Ы. Токтошов, Д. А. Мигов // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Математика, информатика. – 2019. – № 1. – С. 78–90.
16. Toktoshov, G. Y. An approach to the utility network design [Text] / G. Y. Toktoshov, D. A. Migov, A. N. Yurgenson // Bull. of the Novosibirsk Computing Center. Series. Computer Sci. – 2018. – Iss. 42. – P. 77–84.
17. Жусупбаев, А. Об одной задаче оптимизации распределения ресурсов в иерархических сетях [Текст] / А. Жусупбаев, Г. Ы. Токтошов // Проблемы информатики. – 2017. – № 1. – С. 2–14.
18. Монахов, О. Г. Алгоритм дифференциальной эволюции в задачах оптимизации маршрутов прокладки инженерных сетей [Текст] / О. Г. Монахов, Э. А. Монахова, Г. Ы. Токтошов // Наука и образование. – 2015. – № 9. – С. 135–144.
19. Токтошов, Г. Ы. Методы эволюционного синтеза для решения задач оптимизации сетей инженерных коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы управления и информационных технологий: докл. II-й междунар. конф., посвящ. 55-летию Ин-та автоматики и информ. технологий НАН КР, г. Бишкек, 25-26 сент. 2015 г. – Бишкек, 2015. – С. 183–192.
20. Токтошов, Г. Ы. Вопросы об организации инфраструктуры мегаполиса [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы информатики. – 2015. – № 1 (26). – С. 65–72.
21. Монахов, О. Г. Применение алгоритма муравьиной колонии для построения оптимальной гиперсети [Текст] / О. Г. Монахов, Г. Ы. Токтошов // Проблемы информатики. – 2014. – № 3 (24). – С. 3–11.
22. Токтошов, Г. Ы. Выбор оптимального способа прокладки подземных инженерных коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы автоматики и управления (Бишкек). – 2014. – № 1. – С. 108–115.
23. Токтошов, Г. Ы. Гиперсети в моделировании и оптимизации совмещенной прокладки подземных инженерных коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы информатики. – 2014. – № 1 (22). – С. 15–23.

24. Токтошов, Г. Ы. Гиперсетевая модель размещения инженерных коммуникаций на пересеченной местности [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы автоматики и управления (Бишкек). – 2013. – № 1. – С. 40–45.
25. Токтошов, Г. Ы. Методика выбора трассы для автомобильных дорог в горной лавиноопасной местности [Текст] / Г. Ы. Токтошов. – Проблемы информатики. – 2013. – № 1 (18). – С. 37–41.
26. Токтошов, Г. Ы. Методология и практические методы построения сетей автомобильных дорог минимальной стоимости [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы автоматики и управления (Бишкек). – 2012. – № 2. – С. 64–70.
27. Попков, В.К. Об одном подходе к оптимизации инфраструктуры инженерных сетей [Текст] / В. К. Попков, Г. Ы. Токтошов, А. Н. Юргенсон // Вестн. Сиб. гос. ун-та телекоммуникаций и информатики. – 2012. – № 3. – С. 11–28.
28. Токтошов, Г.Ы. Исследование эффективности метода k-кратчайших путей для оптимизации топологии иерархических сетей [Текст]/Г.Ы.Токтошов, А.Н. Юргенсон, Д.А. Мигов// Проблемы оптимизации сложных систем: тр. XVI Междунар. азиат. школы-семинара, Россия, Новосибирск, 25–29 августа 2020 г. – Новосибирск, 2020. – С.38-42.
29. Токтошов, Г.Ы. Об одной задаче мультикритериальной оптимизации сетей инженерных коммуникаций [Текст]/Г.Ы.Токтошов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 24-25 апр. 2019. – С. 192 – 197.
30. Токтошов, Г.Ы. Задачи оптимизации инженерных сетей в условиях городской застройки [Текст]/Г.Ы.Токтошов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 26-27апр. – Новосибирск, 2018. – С.253 – 257.
31. Токтошов, Г.Ы. Об одной задаче структурной оптимизации инженерных сетей [Текст]/Г.Ы.Токтошов// Проблемы оптимизации сложных систем: тр. XIV Междунар. азиат. школы-семинара, Кыргызская Республика, оз. Иссык-Куль, 20-31 июля 2018 г. – Алматы, 2018. – Ч. 2. – С. 261–268.
32. Токтошов, Г.Ы. Гиперсетевая модель и методы оптимизации инженерных и транспортных сетей [Текст]/Г.Ы.Токтошов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 26-27 апр. – Новосибирск, 2017. – С.267 – 272.
33. Токтошов, Г. Ы. О выборе трасс для прокладки сетей инженерных коммуникаций [Текст]/ Г. Ы. Токтошов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 22-24 апр. 2016 г. – Новосибирск, 2016. – С. 291–297.
34. Токтошов, Г.Ы. Об одной модификации алгоритма муравьиной колонии для построения гиперсетей [Текст]/Г.Ы.Токтошов, О.Г. Монахов// Проблемы

оптимизации сложных систем: тр. XII Междунар. азиат. школы-семинара, Новосибирск, 12-16 дек. 2016 г. – С.536 – 541.
35. Токтошов, Г. Ы. Применение алгоритма дифференциальной эволюции для синтеза оптимальной структуры инженерных сетей [Текст] / О. Г. Монахов, Э. А. Монахова, Г. Ы. Токтошов // Проблемы оптимизации сложных систем: тр. XI междунар. азиат. школы-семинара, Кыргыз. Респ., г. Чолпон-Ата, 27 июля-7 авг. 2015 г. – Бишкек, 2015. – Ч. 2. – С. 458–463.
36. Токтошов, Г.Ы. Эволюционный подход к решению задач оптимизации маршрутов прокладки инженерных сетей [Текст] / О. Г. Монахов, Э. А. Монахова, Г. Ы. Токтошов // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики-2015: междунар. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. Г. И. Марчука, Новосибирск, 19-23 окт. 2015 г. – Новосибирск, 2015. – С. 506–510.
37. Токтошов, Г. Ы. Системный подход к оптимизации сетевой инфраструктуры мегаполиса [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 22-24 апр. 2015 г. – Новосибирск, 2015. – С. 299–307.
38. Токтошов, Г. Ы. Об одной задаче размещения элементов инженерных коммуникаций [Текст] / А. Ж. Жусупбаев, Г. Ы. Токтошов // Обработка информации и математическое моделирование: материалы Рос. науч.- техн. конф., Новосибирск, 22-24 апр. 2015 г. – Новосибирск, 2015. – С. 314–320.
39. Токтошов, Г.Ы. Об оптимизации инженерных сетей крупных городов [Текст]/Г. Ы. Токтошов// Современные концепции научных исследований: тр. XII международ. научно-практ. конференции, Москва, 27-28 марта 2015 г. – Москва, 2015. – Ч.5 – С. 16 – 19.
40. Монахов, О. Г. Об одном подходе к эволюционному синтезу регулярных сетей [Текст] / О. Г. Монахов, Э. А. Монахова, Г. Ы. Токтошов // Проблемы оптимизации сложных систем: тр. X Междунар. азиат. школы-семинара, Кыргыз. Респ., 25 июля-5 авг. 2014 г. –Новосибирск, 2014. – Ч. 2. – С. 505–509.
41. Токтошов Г.Ы. Методика построения инженерных коммуникаций в горной пересеченной местности [Текст] / Г. Ы. Токтошов// Проблемы оптимизации сложных систем: тр. X Междунар. азиат. школы-семинара, Кыргыз. Респ., 25 июля-5 авг. 2014 г. –Новосибирск, 2014. – Ч. 2. – С. 675 – 682.
42. Токтошов, Г. Ы. Методика совмещенного размещения инженерных коммуникаций в городских условиях [Текст] / Г. Ы. Токтошов// Обработка информационных сигналов и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 22-25 апр. 2014 г. – Новосибирск, 2014. – С. 98–101.
43. Токтошов, Г. Ы. Об одном подходе к оптимизации совмещенных инженерных коммуникаций [Текст] / В. К. Попков, Г. Ы. Токтошов // Проблемы оптимизации сложных систем: тр. IX Междунар. азиат. школы-семинара, Респ. Казахстан, г. Алматы, 15-25 авг. 2013 г. – Алматы, 2013. – С. 254–261.

44. Токтошов, Г.Ы. Задачи выбора трассы для прокладки инженерных коммуникаций на пересеченной местности [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Информатика и телекоммуникаций: тр. конф. молодых ученых Инист. вычислит. матем. и матем. геофизики Сибирское отд. Росс. акад. наук, Новосибирск, 2-4 апр. 2013 г. – Новосибирск, 2013. – С.151 – 157.

45. Токтошов, Г. Ы. Иерархический подход к выбору трасс линейных сооружений [Текст] / В. К. Попков, Г. Ы. Токтошов // Актуальные проблемы теории управления, топологии и операторных уравнений: материалы II Междунар. науч. конф., Кыргыз. Респ., Иссык-Куль (Аврора), 5-7 сент. 2013 г. – Бишкек, 2013. – Т. 1. – С. 207–216.

46. Токтошов Г.Ы. Задачи размещения инженерных коммуникаций на пересеченной местности [Текст] / Г. Ы. Токтошов// Обработка информационных сигналов и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 23-24 мая 2013 г. – Новосибирск, 2013. – С.152 –155.

47. Токтошов, Г. Ы. Построение цифровой модели местности для задачи размещения инженерных коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Обработка информационных сигналов и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 23-24 мая 2013 г. – Новосибирск, 2013. – С. 155–156.

48. Токтошов, Г. Ы. Об одном методе в задачах оптимизации инженерных коммуникаций [Текст] / Г. Ы. Токтошов // Проблемы оптимизации сложных систем: тез. докл. Восьмой междунар. азиат. школы-семинара, 2-12 июля 2012 г., г. Омск. – Омск, 2012. – С. 191–194.

49. Токтошов, Г.Ы. Об одной задаче эффективного размещения линейных объектов на заданной территории [Текст] / Г. Ы. Токтошов// Обработка информационных сигналов и математическое моделирование: материалы Рос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 26-27 апр. 2012 г. – Новосибирск, 2012. – С.131 – 134.

Токтошов Гүлжигит Ысаковичтин 05.13.18 – математикалык моделдөө, сандык ыкмалар жана программалар комплекси адистиги боюнча техника илимдердин доктору илимий даражасын алуу үчүн «Инженердик коммуникациялык сеттерди оптималдаштыруу моделдерин жана ыкмаларын иштеп чыгуу» темасына жазылган диссертациясына

РЕЗЮМЕ

Ачкыч сөздөр: инженердик коммуникация, сызыктуу курулуш, граф, гиперсет, баштапкы сеть, экинчилик сеть, ишенимдүүлүк, жашоо жөндөмдүүлүгү, көп критериалдуулук, NP-татаалдык, натуралдык эсептөө, эволюциялык синтез, ач көздүк стратегия, дифференциалдык эволюция, эсептөө алгоритми.

Изилдөө объектиси: берилген аймакка курулуучу инженердик сеттер жана коммуникациялар.

Иштин максаты: инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелеринин көп критериялуулугун жана NP-татаалдыгын эсепке алуучу моделдерди жана ыкмаларды, ошондой эле сандык эксперимент жүргүзүү үчүн эсептөө алгоритмдерин жана программаларды ишеп чыгуу, жана алынган натыйжаларды салыштырып талдоо.

Изилдөө ыкмалары: графтар теориясынын жана гиперсеть теориясынын ыкмалары; табигый эсептөө жана эволюциялык синтез ыкмалары, аймактын рельефин компьютердик моделдөө, тор жакындаштыруу ыкмалары, вариациялык эсептөө ыкмалары, дискреттик оптималдаштыруу ыкмалары, сеттердин ишенимдүүлүгүн талдоо ыкмалары.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы: үч өлчөмдүү мейкиндиктеги инженердик сеттердин жана коммуникациялардын түзүлүшү үчүн математикалык модель; инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу маселелеринин гиперсеттик коюлушу жана алардын NP-татаалдыгын далилдөө; гиперсеть теориясынын моделине жана эволюциялык синтезге негизделген инженердик сеттерди жана коммуникацияларды оптималдаштыруу моделдери жана алгоритмдери; көп критериялуу оптимизация маселесин чечүү үчүн табигый эсептөө ыкмалары; k-кыска жолдордун ыкмасына, “ач көз” эвристикага жана гиперсеть теориясынын моделдерине негизделген гибриддик эсептөө алгоритмдери; сандык эксперимент жана тесттик эсептөөлөрдү жүргүзүү үчүн программалык комплекс.

Колдонуу аймагы: иштелип чыккан моделдер жана ыкмалар, ошондой эле эсептөө алгоритмдери жана программалык продуктылар ар кандай максаттар үчүн инженердик сеттерди жана коммуникацияларды долбоорлоо жана куруу, долбоорлоо уюмдарында чечимдерди кабыл алууну колдоо жана адистештирилген ГИС-технологияларды иштеп чыгуу үчүн, жана ошондой эле окуу процессинде колдонууга багытталган.

Токтошов Гулжигит Ысакович

Инженердик коммуникациялык сеттерди оптималдаштыруу моделдерин жана ыкмаларын иштеп чыгуу

техника илимдеринин доктору окумуштуу даражасын алуу үчүн диссертациянын Авторефераты

Басмага кол коюлган: “___”_________20___
Буйрутма № _____

Формат 60х84 /16. Көлөмү 2.5 басма табак. Наклад _____ даана.
Басма: ______________, Бишкек