

АННОТАЦИЯ

философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін
«8D06201 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы
бойынша
диссертациясына

ТУРЛЫКОЖАЕВА ДАНА АБДИКУМАРОВНА

СЫМСЫЗ ЖЕЛІЛЕРДІ БАҒЫТТАУДЫҢ ИНФОРМАЦИЯЛЫҚ- ЭНТРОПИЯЛЫҚ ӘДІСІ

Тақырыптың өзектілігі. Қазіргі уақытта WMN (ағылш. Wireless Mesh Networks) сымсыз желілердің ең маңызды және динамикалық түрде дамып келе жатқан технологияларының бірі болып табылады. Олардың танымалдылығы бірнеше негізгі артықшылықтарымен түсіндіріледі, олар: орналастырудың қарапайымдылығы, өзін-өзі қалпына келтіру қабілеті, өзін-өзі ұйымдастыру, сондай-ақ жоғары экономикалық тиімділік. Осы сипаттамалардың арқасында WMN желілері динамикалық және жоғары жүктемелі желілік ортада тұрақты әрі икемді байланыс қамтамасыз етеді, әсіресе күрделі қалалық құрылыс жағдайларында, өнеркәсіптік кәсіпорындарда және желінің жоғары деңгейде автономды болуын талап ететін жағдайларда.

WMN желілерінің үлкен әлеуетіне қарамастан, бірқатар бар мәселелер олардың тиімді жұмысын қиындатады. Желі топологиясының динамикалығы және арнаның үнемі өзгеріп отыратын жағдайлары түйіндерді теңдестіріп орналастыруды қиындатады, бұл маршруттаудың жылдамдығын төмендетеді және теңгерімсіз жүктеме пайда болуына әкелуі мүмкін. Дәстүрлі маршруттау алгоритмдері осы өзгерістерге бейімделуде қиындықтар тудырады, бұл өткізгіштік қабілеті мен байланыс сенімділігіне теріс әсер етеді. Шуды және көпарналық таралу әсерін ескере отырып, сигналдарды қабылдау қателіктері және BER көтерілуі мүмкін, бұл демодуляция сапасына теріс әсер етеді.

WMN желілерінің динамикалық топологиясы, арнаның өзгермелі сипаттамалары, жоғары деңгейдегі шу мен интерференция жағдайларында сенімді және бейімделетін жұмысын қамтамасыз ету үшін инновациялық әдістерді әзірлеу қажет, олар желінің өзекті мәселелерін шеше алады. Атап айтқанда, сигналдардың сенімді қабылдануын қамтамасыз ететін, түйіндерді теңдестіріп орналастыруға және жылдамдықты арттыруға арналған, сондай-ақ жоғары өткізгіштігі бар арналармен маршруттарды таңдауды және BER-ді минимизациялауды қамтамасыз ететін алгоритмдерді жасау қажет. Мұндай қажеттілік дәстүрлі маршруттау әдістері үнемі өзгеріп тұратын беру жағдайларына бейімделе алмайтынынан туындап отыр, бұл байланыс сапасына теріс әсер етеді. Осылайша, модуляцияны автоматты түрде классификациялау, желіні кластерлеу және ақпараттық энтропия негізінде

маршруттау алгоритмін әзірлеу WMN жұмысын оңтайландыру және жалпы тиімділігін арттыру үшін қажет.

Жұмыстың мақсаты – сигналдарды сенімді қабылдау үшін модуляция түрлерін жіктеу алгоритмін, өнімділікті арттыру үшін CIEA және желінің сенімділігі мен өткізу қабілетін жақсарту үшін IERA қоса алғанда, инновациялық алгоритмдерді әзірлеу арқылы желіні оңтайландыру және WMN-ге бағыттау.

Зерттеу міндеттері:

1. Қабылдау қателіктерін азайтуға және маршруттау алгоритмдерінің өнімділігін арттыруға бағытталған сигнал модуляцияларының түрлерін жіктеу алгоритмін әзірлеу.

2. WMN-ді кластерлерге оңтайлы бөлу, желінің фракталдық өлшемін есептеу және маршруттау алгоритмінің жылдамдығын қамтамасыз ету үшін 'box covering' теориясына негізделген CIEA алгоритмін әзірлеу.

3. Деректер жылдамдығын арттыру және биттік қатені азайту үшін wmnс-те шартты жол ақпараты мен өткізу қабілеттілігінің максималды мәні негізінде маршруттар құратын ақпараттық энтропия теориясына (IERA) негізделген маршруттау алгоритмін құру.

Зерттеу объектісі:

Сымсыз ұяшықтық желі (WMN).

Зерттеу әдісі:

Бұл жұмыста графикалық теория, ақпараттық теория, сандық модельдеу әдістері, соның ішінде NS3 және Python-да бағдарламалық қамтамасыздандыру, сондай-ақ MIMO антенналары арқылы тәжірибелік сигнал беру қолданылады. Графикалық теориядан 'box covering' әдісі күрделі желілерді кластерлерге бөлу үшін қолданылады, бұл оларды маршруттау процестерін оңтайландыру арқылы талдауға мүмкіндік береді. Ақпараттық теорияның әдістері байланыс арнасы арқылы берілетін ақпаратты талдауға бағытталған, бұл желідегі өткізу қабілеттілігі мен биттік қатені бағалауға мүмкіндік береді. Өзара ақпарат алгоритмінің шуға төзімділігін қамтамасыз ете отырып, сигналдарды сенімді жіктеудің негізгі көрсеткіші ретінде қолданылады. Сандық модельдеу әдісі (NS3) бақыланатын жағдайларда бар алгоритмдерді сынау үшін қолданылады. Бұл желі параметрлері мен сигналдарының әсерін талдауға, жүйенің әрекетін болжауға және оңтайлы параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, mimo антенналары арқылы сигнал беруді қамтитын нақты эксперимент жүргізілді, бұл жабдықты дәл баптауды және байланыс арнасының физикалық сипаттамаларын ескеруді қажет ететін уақытты қажет ететін процесс. Алынған нақты сигналдар модуляцияны жіктеудің ұсынылған алгоритмі арқылы өңделді, бұл оның тиімділігін іс жүзінде растауға мүмкіндік берді. Ұсынылған әдістер Python-да жүзеге асырылды, бұл олардың сандық модельдеуде тексерілуін қамтамасыз етті. Ол үшін Python кітапханалары, соның ішінде желіні модельдеу үшін NetworkX, есептеу үшін NumPy және SciPy, сондай-ақ Matplotlib және Seaborn сияқты визуализация құралдары қолданылды.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар

1. Өзара Ақпарат теориясына негізделген модуляцияны жіктеу алгоритмі 5 дБ-ден жоғары сигнал/шу қатынасы (SNR) төмен болған кезде күрделі телекоммуникациялық сигналдардың модуляция түрін дұрыс анықтауды қамтамасыз етеді.

2. ‘Box covering’ теориясына негізделген және орталықты ескеретін эксцентриситет алгоритмі (CIEA) сымсыз ұяшықтық желіні (WMN) маршрутизаторлар саны бойынша біркелкі кластерлерге бөлуге мүмкіндік береді, бұл классикалық Dijkstra алгоритмімен салыстырғанда 3280 түйінмен 20 микросекундтық маршруттау алгоритмінің өнімділігін арттырады.

3. Маршруттау алгоритмі (IERA), шартты ақпараттың максимумын бірлескен және шартты энтропияның айырмасы ретінде анықтай отырып (шуылмен қабылданған сигнал мәндері ансамблінің жиынтығы), классикалық Dijkstra алгоритмімен салыстырғанда 100 түйін үшін сандық модельдеу нәтижелері бойынша WMN-нің өткізу қабілетін 5 Мбит/с-қа арттырады.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы-бұл бірінші рет

Осы жұмыстың ғылыми жаңалығы WMN желісінде фракталдық қасиеттерді, тарату ортасының сипаттамаларын және ақпараттық-энтропиялық критерийлерді ескеретін желіні оңтайландыру мен маршруттаудың инновациялық алгоритмдерін әзірлеуде жатыр.

1. Әзірленген модуляция түрлерін классификациялау алгоритмі алғаш рет модуляцияланған сигналдың статистикалық белгісін алу үшін өзара ақпаратты қолданады, бұл айнымалылар арасындағы өзара байланыстарды ескеруге мүмкіндік беріп, НОС-негізіндегі алгоритммен салыстырғанда классификация дәлдігін 50 %-ға арттырады.

2. ‘Box covering’ теориясына негізделген әзірленген CIEA алгоритмі алғаш рет эксцентриситет тұжырымдамасын қолданады, желіні GC, OBCA, CBV және MEMB кластерлеу алгоритмдерімен бөліп салыстырғанда неғұрлым тиімді артырады.

3. Әзірленген IERA маршруттау алгоритмі WMN-де жолдың шартты ақпаратының максималды мәніне негізделген маршруттарды алғаш рет құрады, бұл деректерді беру жылдамдығын оңтайландыруға және биттік қате ықтималдығын Dijkstra, ACO, OLSR және AODV сияқты бар маршруттау алгоритмдеріне қарағанда төмендетуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Әзірленген және жүзеге асырылған алгоритмдер, оның ішінде күрделі сигналдардың модуляция түрлерін классификациялау алгоритмі, CIEA және IERA, WMN желілері үшін жоғары теориялық және практикалық маңызға ие. Олардың теориялық маңыздылығы желіні оңтайландыру мен маршруттауға арналған инновациялық тәсілдер болып табылатындығында, сондай-ақ желіні кластерлерге біркелкі және оңтайлы бөлу, арнаның қате ықтималдығы мен шлюз орналасуы сияқты маңызды аспектілерді ескеретіндігінде. Практикалық маңыздылығы – бұл алгоритмдер тек әзірленіп қана қоймай, WMN сценарийлерінде сәтті жүзеге асырылып, желі операторлары мен соңғы пайдаланушылар тап болатын нақты міндеттерді шешуде көрініс табады.

CIEA алгоритмі желіні біркелкі кластерлеуді жүзеге асырады, бұл өз кезегінде маршруттау алгоритмінің жұмыс жылдамдығын арттыруға ықпал етеді. Ал ақпараттық энтропия теориясына негізделген IERA алгоритмі маршруттарды шартты ақпараттың максималды мәні бойынша таңдауды іске асырып, деректерді жеткізудің сенімділігін арттырып, биттік қателерді азайтады. Бұл алгоритмдердің практикалық қолдануға жарамдылығы мен тиімділігінің дәлелі – олардың пайдалы модельге берілген патент аясында сәтті енгізілуі, онда кластерлік маршрутизатор мен ақпараттық энтропияға негізделген маршрутизатор ұсынылған.

Автордың жеке үлесі

Қорғауға ұсынылған барлық негізгі нәтижелер диссертанттың жеке еңбегінің нәтижесінде алынған. Автордың жеке үлесіне әдебиеттерге шолу жүргізу, ғылыми мақалаларды жазу және редакциялау кіреді, бұл зерттеуді құрылымдауға және негіздеуге ықпал етті; сондай-ақ Python және NS3 орталарында желілерді әзірлеу мен модельдеуді жүзеге асыру, бұл сымсыз желілердің жұмысын егжей-тегжейлі талдауға және ұсынылған шешімдердің тиімділігін, соның ішінде желіні кластерлеу тапсырмаларын бағалауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, автор желінің топологиялық сипаттамаларын зерттеу және олардың маршруттау үдерістеріне әсерін талдау үшін қажет фракталдық өлшемділіктерді есептеулерді жүргізді; маршруттау бойынша бар алгоритмдерді Python және NS3 тілдерінде іске асырып, оларды әзірленген әдістермен салыстырмалы талдау үшін пайдаланды; сондай-ақ ұсынылған алгоритмдерді әзірлеуге, бағдарламалық іске асыруға және сынақтан өткізуге, оның ішінде параметрлерді оңтайландыру мен кодты жөндеуге белсенді қатысты. Сонымен қатар, автор модуляцияны автоматты түрде классификациялау әдісінің практикалық іске асатынын растаған MIMO нақты сигналдарын алу бойынша эксперимент жүргізді. Теориялық бөлім ғылыми жетекшінің басшылығымен дайындалды, ал есептеулер, бағдарламалық іске асыру және эксперименттік жұмыс автордың өзі орындады, зерттеу міндеттерін қою мен нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

Нәтижелердің сенімділігі

Жұмыстың ғылыми тұжырымдарының дұрыстығы модельдеу, сандық талдау, эксперименттік зерттеулер, әдебиеттерге шолу, сондай-ақ WMN және маршруттау саласында қолданылатын негізделген теориялық модельдер мен принциптер арқылы расталады. Бұл модельдерге өзара ақпарат, шартты ақпарат және фракталдық өлшемділік кіреді, олар желі құрылымын және маршруттаудың тиімділігін терең түсінуге мүмкіндік беріп, WMN жұмысын оңтайландыруға арналған неғұрлым жетілдірілген алгоритмдерді әзірлеуге ықпал етеді.

Жұмысты апробациялау

Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 8 баспа жұмысы жарияланды.

Thomson Reuters Дерекқоры бойынша немесе Scopus халықаралық ғылыми дерекқорына кіретін басылымдардағы жоғары импакт-факторы бар мақалалар:

1. Ussipov N., Akhtanov S., Zhanabaev Z., Turlykozhaeva D., Karibayev B., Namazbayev T., & Tang X. (2024). Automatic modulation classification for MIMO system based on the mutual information feature extraction. *IEEE Access*.
2. Akhtanov S. N., Turlykozhaeva D. A., Ussipov N. M., Ibraimov M. K., Zhanabaev Z. Zh., 2022. Centre including eccentricity algorithm for complex networks. *Electronics Letters*, 58(7), 283-285.
3. Zhanabaev Z., Akhtanov S., Turlykozhaeva D., Ussipov N., & Ibraimov M., (2022). Cluster router based on eccentricity. *Eurasian Physical Technical Journal*, 19(3 (41)), 84-90.
4. Turlykozhaeva D. A., Akhtanov S. N., Ussipov, N. M., Akhmetali A., Bolysbay A., Shabdan, Y., 2023. Routing Algorithm for Software Defined Network Based on Boxcovering Algorithm. In 2023 10th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM) (pp. 1-5). IEEE.
5. Turlykozhaeva D. A., Akhtanov S. N., Baigaliyeva, A., Temesheva, S., Zhexebay D. M., Zaidyn M. & Skabylov A. (2024). EVALUATING ROUTING ALGORITHMS ACROSS DIFFERENT WIRELESS MESH NETWORK TOPOLOGIES USING NS-3 SIMULATOR. *Eurasian Physical Technical Journal*, 21(2 (48)), 70-82.
6. Turlykozhaeva, D., Waldemar, W., Akhmetali, A., Ussipov, N., Temesheva, S., & Akhtanov, S. (2024). Single Gateway Placement in Wireless Mesh Networks. *Physical Sciences and Technology*, 11(1-2).
7. Turlykozhaeva, D., Ussipov, N., Baigaliyeva, A., Temesheva, S., Bolysbay, A., Abrakhmatova, G., & Akhtanov, S. ROUTING METRIC AND PROTOCOL FOR WIRELESS MESH NETWORK BASED ON INFORMATION ENTROPY THEORY. *Eurasian Physical Technical Journal*. – 2023. – T. 20. – №. 4 (46). – С. 90-98.
8. Turlykozhaeva, D. A., Akhtanov, S. N., Zhanabaev, Z. Z., Ussipov, N. M., & Akhmetali, A. (2025). A routing algorithm for wireless mesh network based on information entropy theory. *IET Communications*, 19(1), e70011.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс ҚР ҒЖБМ Ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» бағдарламасы аясындағы іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес орындалған. Тақырыбы: «AP19674715 – ‘Box-covering’ алгоритмдері негізіндегі сымсыз ‘mesh’ желілерінде маршруттау». Осы жоба аясында автор қазіргі уақытқа дейін ғылыми қызметкер ретінде жұмыс істеп, WMN желілері үшін желіні оңтайландыру және маршруттау алгоритмдерін әзірлеу мен енгізуге қатысуда.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады және үш қосымшаны қамтиды. Жұмыс 119 бетте баяндалған, 60 суретпен иллюстрацияланған, 46 формула, 7 кесте және 125 атаудан тұратын библиографиялық дереккөз келтірілген.