

УДК 519

Жаксыгельдин Е.А.

*Ақпараттық жүйелер мамандығының магистранты,
Байтурсинов атындағы Қостанай өңірлік университеті,*

Қазақстан, Қостанай

Абатов Н.Т., ғылыми кеңесші,

Профессор, физика-математика ғылымдарының кандидаты,

Ақпараттық жүйелер және информатика кафедрасының доценті

А. Байтурсинов атындағы Қостанай өңірлік университеті,

Қазақстан, Қостанай

СЫМСЫЗ АҒЫН ЖЕЛІЛЕРІНЕ АРНАЛҒАН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕР

Мақала сымсыз қатынау желілерінің математикалық модельдерін құрумен байланысты ағымдағы мәселелерді қарастыруға арналған. Үлкен практикалық маңызы бар сымсыз сенсорлық желілерге (ССЖ) ерекше назар аударылады. Зерттеу барысында ССЖ математикалық моделінің жеке құрамдас бөліктері әзірленді, энергия тиімділігін арттыру, ақауларға төзімділік, желінің істен шыққанға дейін жұмыс уақытын ұлғайту және қамту аймағын барынша арттыру талаптарына бағытталған. Жұмыста рұқсат етілген желінің өлшемін бағалаудың математикалық сипаттамасы, қамту аймағын барынша ұлғайту және ССЖ кластерлік орталықтарының орналасуын анықтау моделі, ССЖ энергиясын тұтынуды оңтайландыру моделі, сондай-ақ энергияны үнемдейтін ССЖ топологиясын құру алгоритмдері және желіні динамикалық бағыттау.

Түйінді сөздер: сымсыз қатынау желілері, модель, трафик, энергия тұтыну, топология, маршруттау.

Zhaxygeldin Y.A.,
Master's student of the specialty information systems,
Kostanay Regional University named after A. Baitursynov,
Kazakhstan, Kostanay

Abatov N.T., scientific consultant,
Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Information Systems and
Informatics,
Kostanay Regional University named after A. Baitursynov,
Kazakhstan, Kostanay

MATHEMATICAL MODELS FOR WIRELESS FLOW NETWORKS

Article is devoted to the urgent problems related to the construction of mathematical models for wireless access networks. Particular attention is paid to wireless sensor networks (WSN), which is of great practical importance. The study developed a mathematical model of the individual components of the FSU oriented requirements of energy efficiency, resiliency, increasing the time the network until its failure and maximizing the coverage area. The paper presents a mathematical description of the allowed size of the network, a model of maximizing the coverage area and location of cluster centers FSU FSU model of optimization of energy consumption, as well as algorithms for constructing energy efficient WSN topology and dynamic routing network.

Keywords: wireless access network model, traffic, energy, topology, routing.

Қазіргі уақытта деректерді беру желілері белсенді түрде дамуын жалғастыруда. Бұл процесте әртүрлі ұйымдардың тиімді басқаруын және табысты жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін сымсыз

желілер (СЖ) ерекше орын алады. СЖ әртүрлі ақпараттың үлкен көлемін жинау және өңдеу құралдарының ішінде ерекше рөл атқарады [1]. СЖ құрамындағы сымсыз сенсорлық желілерге (ССЖ) ерекше назар аудару керек. Олар терроризмге қарсы іс-шаралар, әскери қолдану, бөлінген объектілерді басқаруды автоматтандыру, төтенше жағдайларды анықтау және алдын алу, тіршілікті қамтамасыз ету жүйелерін автоматтандыру, бақылау және бақылау сияқты маңызды салаларда қолдану тұрғысынан үлкен қызығушылық тудырады. әртүрлі физикалық сипаттағы көлік жолдарының және т.б. [2] .

ССЖ қолдану аясын кеңейту олардың тұрақты күрделенуін, сенімділігін, ұзақ мерзімділігін, жылдамдығын және ақпараттық қауіпсіздік деңгейін арттыруды талап етеді. ССЖ пайдаланудағы негізгі мәселелердің бірі жоғары ақауларға төзімділік пен өмір сүру ұзақтығын қамтамасыз ету, сонымен қатар трафикті тиімді басқару және бөлу болып табылады. Бұл, бір жағынан, оларды қолдану ерекшеліктерімен, екінші жағынан, түйіндер мен байланыс арналарының істен шығуы нәтижесінде желінің бұзылуының жоғары ықтималдығымен анықталады, бұл түйіндердің көптігімен, сыртқы қолайсыз әсерлердің мүмкіндігімен және олардың қуат көздерінің шектеулі ресурсына байланысты түйіндердің энергия тұтынуындағы шектеулермен байланысты.

Бұл есептерді шешуге математикалық модельдеудің тиімді әдістерінің болуы ықпал етеді. ССЖ математикалық модельдеу нақты құрылғыларды пайдалану жағдайына қарағанда айтарлықтай төмен шығындармен аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуге мүмкіндік беретіні белгілі.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, ССЖ модельдеудің жаңа әдістерін әзірлеуге және сынақтан өткізуге ерекше назар аударылады. Бірақ ССЖ оңтайлы математикалық моделін құрудағы қиындықтар, ең алдымен, мұндай модель жеткілікті түрде жеңілдетілген және жеткілікті

толық болуы керек екендігімен байланысты. Қарапайымдылық модельдеуге және теориялық нәтижелерді шығаруға мүмкіндік береді, ал пайдалылық мұндай модельді тәжірибеде қолдану үшін қажет.

Зерттелетін мәселелер бойынша жұмыс шетелдік ғалымдармен айтарлықтай қарқынды жүргізілуде, олардың ішінде Л.И. Абросимова, В.В. Крылова, А.И. Шелухина, А.В. Осина, А.К. Скуратова, Н.А. Олифера, Н. Шварца, К. Парка, Дж. Медхи, IF Akyildiz, P. Wang және т.б. Chinh T., R. Hakim еңбектерінде ССЖ-лар бет ретінде және оларды математикалық сипаттау мен визуализациялау үшін берілген (графикалық бейнелеу) олар Делоне триангуляция әдістерін, Вороной диаграммаларын және т.б. Ақпараттық түйіндердің сигналдарының параметрлерін, атап айтқанда ССЖ-дегі сигналдардың күшін талдау үшін геометриялық модельдер жиі пайдаланылады, оларды құру үшін есептеу геометриясының ең қолайлы құралдары, атап айтқанда қашықтық геометриясы А. Вешер, Кулакова Ю.И., Плахтева А.П., В. Roober және т.б.

Дегенмен, ССЖ математикалық модельдеу мәселелерінің айтарлықтай бөлігі әлі толық зерттелмеген, сонымен қатар қолданыстағы әзірлемелер тар қолданбалы есептерді шешуге бағытталған.

Осылайша, мақаланың мақсаты рұқсат етілген желі өлшемін бағалауға, ССЖ энергиясын тұтынуды оңтайландыруға, трафикті басқаруға және таратуға мүмкіндік беретін ССЖ математикалық үлгілерінің құрамдастарын әзірлеу болып табылады.

Жақында ғалымдар мен практиктердің зерттеулері, ең алдымен, ұялы немесе хабар тарату жүйелерінде сигналдың таралуын модельдеуге бағытталған. Кейбір сарапшылар бұл үлгілерді ССЖ үшін де пайдалануды ұсынады. Дегенмен, автор бұл пікірмен келіспейді, өйткені ұялы байланыс жұп түйіндердің бірін (базалық станция, антенна дінгегі) жер бетінен жоғары қашықтықта міндетті түрде орналастырумен сипатталады, ал

сенсорлық желі, барлық түйіндер жер бетінде орналасуы мүмкін (мысалы, тікелей шөпте) немесе бөлменің қабырғаларына әртүрлі биіктікте бекітілуі мүмкін.

Сондықтан ССЖ математикалық модельдеу бағыты белсенді түрде дамып келеді және осы кластағы желілер үшін әртүрлі модельдер енді ғана пайда бола бастады. Қолданыстағы әзірлемелер үнемі жетілдіріліп отырады және оларға жаңа нақтылаулар пайда болады. Математикалық модельді дұрыс құру және оны тексеру ССЖ сәтті жұмыс істеуін қамтамасыз етуге, оны жобалауға және орнатуға кететін уақытты қысқартуға және қолданыстағы желінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретіні күмәнсіз.

Осылайша, модельдеу үшін L ауданының екі өлшемді R аймағында біркелкі таралған стационарлық түйіндері бар ССЖ қарастырамыз. Яғни түйіндердің орналасуын екі өлшемді кеңістікте құрылған R нүктелері ретінде қарастыруға болады. а Пуассондық үлестірім және тұрақты қарқындылық (түйіндердің тығыздығы) N/L . Әрбір түйін r беру диапазонын және $L \gg \pi r^2$ деп есептей отырып, бірде-бір түйіннің оқшауланбауының нақты ықтималдығын алу үшін R -ның шеткі әсерлерін елемеуге болады. Түйіндер әрбір шекарадан r қашықтықта орналасуы мүмкін; немесе шекаралардың бірінің бойымен r -ден аз, бірақ басқаларынан алыс; немесе екі шекараның бойында r -ден жақынырақ орналасады.

Оқиға агенттері оқиға өткенше (яғни оның жарамдылық мерзімі аяқталғанша) немесе өмір сүруге есептегіш уақыт біткенше кездейсоқ тарату әдісін пайдаланып түйіннен түйінге тасымалданады. Түйіндер ақпаратты оның берілу ауқымындағы түйіндер жиынтығынан кездейсоқ таңдалған түйінге жібереді. Түйіндер желіден деректерді немесе ресурстарды сұрау үшін сұрауларды да жасай алады. Сұрау аяқталғанға дейін сұрау хабарланған түйінді таба алмаса, сұрау сәтсіз болады.

Сонымен қатар, егер батарея заряды аз болғандықтан түйін жұмыс істемесе, онда түйінге қызмет көрсетілмеген деп есептейміз. Әйтпесе, түйін «тірі» болып саналады. «Тірі» түйін ұйқы (күту) режимінде немесе белсенді режимде болуы мүмкін. Ұйқы режимінде түйін қуатты үнемдеу үшін оқу және ауысу мүмкіндіктерін өшіреді.

Сонымен, желінің рұқсат етілген өлшемін бағалау үшін протокол стекінің барлық деңгейлері енгізетін резервтілікті сипаттайтын α_A жалпы резервтік коэффициентін енгіземіз

$$Z_A = Y_b \times \alpha_A \quad (1)$$

мұндағы Z_A – өлшенген деректерді беру жылдамдығы қолдану деңгейі; Y_b – деректерді беру жылдамдығы.

Заманауи хаттамалар үшін α_A мәні 0,1-ден 0,5-ке дейін болатынын ескеріңіз.

Әр E секунд сайын ұзындығы K деректер схемасы жіберілсін, содан кейін бір реттік жіберу үшін бізде:

$$|N| \leq \frac{Y_b \times \alpha_A \times E_r}{8 \times K} \quad (2)$$

Мысалы, сенсорлық түйіндерге екі секунд сайын 56 кбит/с жылдамдықпен 5 байт деректер пакетін жіберуге рұқсат етіңіз; Біз α_A -ны 0,3 -ке тең қабылдаймыз, содан кейін біз сол желінің 840 максималды рұқсат етілген өлшемін аламыз.

Көп буынды беру үшін h_m тұжырымдамасын енгіземіз - пакеттің мониторға жетуі үшін сілтемелердің орташа саны, онда:

$$N \leq \frac{Y_b \times \alpha_A \times E_r}{8 \times K \times h_m} \quad (3)$$

Яғни, көп буынды тарату желісінің максималды өлшемі буындардың орташа санына кері пропорционалды.

Бірнеше мониторы және көп буынды берілістері бар желі үшін:

$$O_s \leq \frac{O_s \times Y_b \times \alpha_A \times E_r}{8 \times K \times h_m} \quad (4)$$

мұндағы O_s – мониторлар/контроллерлер саны.

Келесі кезеңде біз қамту аймағын барынша ұлғайту және ССЖ кластерлік орталықтарының орналасуын анықтау мәселесін ресімдейміз. Осы мақсатта кластерлік орталықтарды орналастыру және жылжыту шығындарын азайту кезінде максималды қамтуға қол жеткізуге мүмкіндік беретін математикалық модель ұсынылады.

$$\max \sum_{t \in Y} \sum_{j \in N} \sum_{k=1}^K (1-p) p^{k-1} d_j v_{jkt} - C \sum_{i \in K} \sum_{t \in Y} w_i \quad (5)$$

$$P_i \quad (6)$$

$$\sum_{i \in K} x_{i \leq n} t \in Y \quad (7)$$

$$w_i \geq x_{i-1} - x_i \quad i \in K, t \in Y \{1\} \quad (8)$$

$$w_i \geq x_{i-1} - x_{i-1} \quad i \in K, t \in Y \{1\} \quad (9)$$

$$w_i > 0, x_i \in \{0,1\} \quad i \in K, t \in Y \quad (10)$$

$$v_{jkt} \in \{0,1\} \quad i \in K, t \in Y, k \in K \quad (11)$$

мұндағы d_j – $j \in N$ сенсоры тудыратын кезең талабы; p – кез келген кластер орталығы мен сенсор арасындағы байланыстың үзілу ықтималдығы ($0 < p < 1$); C – бір кластерлік орталықтың бірлігінің құны немесе ауысу құны; Z_{jit} – t периодында i кластер орталығының j сенсорына жақындығын көрсететін кездейсоқ шама.

$$z_{jit} = \begin{cases} 1, \text{ егер } i \text{ кластерінің центрі } t \text{ периодында } j \text{ датчигі} \\ \text{жететін жерде орналасса;} \\ 0, \text{ басқаша.} \end{cases}$$

Ұсынылған модельдің мақсаты - кластер орталықтарын сол жерде орналастыру және жылжыту және әрбір кезеңдегі кластер орталықтары

үшін сенсорларды қайта анықтау. Сондықтан модельде келесі айнымалылар қолданылады:

x_i - күтілетін кластер орталығының орнын анықтауға арналған екілік айнымалы.

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ егер кластер орталығы } t \text{ кезеңінде} \\ \quad i \text{ орнында орналасса;} \\ 0, \text{ басқаша.} \end{cases}$$

v_{jkt} - екілік айнымалы, t кезеңіндегі кем дегенде k кластерлердің сенсорлық қамтуын көрсетеді.

$$v_{jkt} = \begin{cases} 1, \text{ егер } j \text{ сенсоры } t \text{ периодында кем дегенде} \\ k \text{ кластер орталықтарымен қамтылған болса;} \\ 0, \text{ басқаша.} \end{cases}$$

w_i - t кезеңіндегі i кластерінің берілген сенсорын сипаттайтын немесе басқаратын екілік айнымалы.

$$w_i = \begin{cases} 1, \text{ егер кластер орталығы } t \text{ периодында емес,} \\ \quad i t - 1 \text{ периодында орналасса;} \\ 1, \text{ егер кластер орталығы } t - 1 \text{ периодында емес,} \\ \quad i t \text{ периодында орналасса;} \\ 0, \text{ басқаша.} \end{cases}$$

Мақсатты функция (5) - сенсорларды жылжытудың жалпы құнын алып тастағандағы кластер орталықтарының қамту талабы.

$\sum_{k=1}^K (1-p) p^{k-1} d_j v_{jkt}$ құрамдас бөлігі байланыс сапасын ескере отырып, j сенсорының t кезеңінде күтілетін қамтуы. Шектеу (6) кепілдік береді, егер j сенсоры t уақытында k кластермен қамтылса, онда $v_{j1t}, v_{j2t}, \dots, v_{jkt}$

айнымалыларының әрқайсысы 1 мәнін қабылдайды, өйткені мақсат функциясында v_{jkt} компоненті бар.

Шектеулер (7) кластер орталықтарының ең көп саны кез келген кезең үшін n -ден аспайтынына кепілдік береді. (8) және (9) шектеулер кластер орталықтарының қозғалысын анықтайды және t уақытында кластер анықтамасы тұрғысынан i кластер орталығының орналасуында өзгеріс болса, бізді 1-ге тең ақылды қабылдауға мәжбүр етеді. Айнымалылардың рұқсат етілген мәндері (10) және (11) шектеулермен қамтамасыз етіледі.

Энергия тиімділігі тұрғысынан ССЖ негізгі міндеті - желінің жұмыс уақытының ұлғаюына әкелетін энергияны тұтынуды оңтайландыру [3]. Осылайша, ССЖ қызмет ету мерзімін ұлғайту жолдарының бірі әрбір сенсордың максималды жұмыс уақытын ескере отырып, әрбір жабынның жұмыс уақытын анықтау болып табылады.

Барлық тірі сенсор түйіндері барлық уақыт кезеңдерінде белсенді болғанда, яғни. $p_t=1$, барлық $t \in T$ үшін желінің қызмет ету мерзімін барынша арттыратын әрбір кезеңдегі оңтайлы беру диапазонын анықтау үшін бір периодты модель құра аламыз.

Әрбір t үшін бір болжам енгізейік:

N1. $\Delta(n_t, a_t)$ nt -да өспейді;

N2. $\Psi(n_t, a_t)$ nt -да артады;

мұндағы n_t – t кезеңінің басындағы белсенді түйіндердің күтілетін саны; a_t – t кезеңінің ең басында қабылданған шешім; $\Psi(n_t, a_t)$ – желінің t уақытында қосылу ықтималдығы; $\Delta(n_t, a_t)$ – t уақытындағы сұраныстың орындалмауының жылдамдығы.

Ұсынылған болжамдарды «қайта келу» әсерімен түсіндіруге болады, осылайша сұраудың түйінге қайта кіру ықтималдығы маңызды болуы мүмкін. «Қайта қарау» әсері хабарланбаған түйіндердің санын, ақпараттандырылған түйінді анықтау уақытын және, тиісінше, сәтсіз сұраныстардың үлесін арттырады.

Белсенді түйіндер саны артқан сайын, «қайта келу» әсері азырақ көрінеді.

N2 болжамы $\sqrt{L} > 2r_t$ және

$$\frac{n_t(4+3\pi^2)r_t^2}{4L\pi} \geq 1 \quad (12)$$

болуы мүмкін.

(12) жағдайында астындағы формула орын алатынын ескеріңіз,

$$1 \leq \frac{n_t(4+3\pi^2)r_t^2}{4L\pi} = \frac{n_t r_t^2}{L\pi} + \frac{3n_t \pi r_t^2}{4L} < \dot{\iota}$$

$$\dot{\iota} \frac{n_t \pi r_t^2}{4L} + \frac{3n_t \pi r_t^2}{4L} = \frac{n_t \pi r_t^2}{L} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \Psi(n_t, a_t)}{\partial a_t} = \dot{\iota}$$

$$\exp \left[-C - \frac{n_t(4+3\pi^2)r_t^2}{4L\pi} n_t \left(1 - \frac{(\sqrt{L}-2r_t)^2}{L} \right) - \frac{c n_t (\sqrt{L}-2r_t)^2}{L} \right] \times \dot{\iota} \quad (14)$$

Осылайша, $\Psi(n_t, a_t)$ n_t -да өседі.

$\sqrt{L}-2r_t$ шарты әдетте іс жүзінде орындалатынын ескеріңіз, өйткені сенсордың беру диапазоны желі өрісінің өлшемімен салыстырғанда салыстырмалы түрде аз. (12) келесідей интерпретациялауға болады: егер орналасуы шекаралардың бірінде r -ден аз, бірақ басқаларынан алшақ орналасқан түйіндердің күтілетін дәрежесі кем дегенде біреу болса, онда N2 болжам орындалады.

Осы болжамдарға сәйкес, әрбір $t \in T$ үшін белсенді түйіндердің саны максимумға жеткенде оңтайлы шешім алынады. Мұны әрбір $t \in T$ уақыты үшін энергияны азайту есебін (бір периодты модель) ретімен шешу арқылы жасауға болады.

Түйіндердің ұтқырлығы, олардың істен шығуы, сыртқы ортаның сыни өзгерістері жалпы ССЖ-ден жоғары динамизмді талап етеді. Сондықтан белгілі бір ССЖ немесе оның бір бөлігінің топологиясы оның жұмыс істеу барысында бірнеше рет өзгеруі мүмкін [4]. Осыған байланысты ССЖ фрагменттері қазіргі заманғы алгоритмдерді қажет етеді, олар тиімді және өзгертін шарттарға сәйкес болуы керек.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, автор энергияны үнемдейтін ССЖ топологиясын құрудың келесі алгоритмін ұсынады.

1-ші кезең. Түйіндер S аймағында кездейсоқ таратылады. Әрбір түйін хабар арқылы жіберу диапазонындағы өзінің әлеуетті көрші түйіндері туралы ақпаратты алады. Қазіргі уақытта желі топологиясы қалыптаспаған, желі қосылмаған.

2-ші кезең.

1. Топологияны құру шлюзден және m_0 түйіндерінен (шлюз және оның жанындағы m_{0-1} потенциалдық түйіндері) және олардың арасындағы e_0 кездейсоқ байланыстардан басталады.

2. Әрбір итерацияда желіге жаңа түйін қосылады. Ол үшін көрші ортада қол жетімді түйіндердің ең көп саны бар m_0 түйіні анықталады және a_0 түйіні ретінде белгіленеді. a түйінінің маңайынан кездейсоқ таңдалған жаңа түйін b түйіні ретінде байқалады. Осы тәсілге сәйкес желі қосылған түйіндерге қарай «өседі» және аймақты қолжетімді жылдамдықпен қамтиды.

3. Топологияға әлдеқашан енгізілген және b түйінінің әлеуетті көршілері болып табылатын m түйіндер кездейсоқ таңдалады және оған қосылады. Егер b түйінінің потенциалды көршілерінің саны m -нан аз болса, онда бұл түйіндердің барлығы жаңа түйінге қосылады. b түйіні басымдықты біріктіру ережесіне негізделген m ықтимал көршілерімен i түйініне қосылады:

$$\prod_i i \frac{\prod_i f(E_i) k_i}{\sum_j f(E_j) k_j - q k_{max}} \quad (15)$$

мұндағы $i, j \in local-area$ берілу диапазонындағы b түйінінің көршілес потенциалды түйіндерінің жиыны; k_{max} - түйін дәрежесі мәнінің алдын ала анықталған жоғарғы шегі; q – ең жоғары дәрежелі k дәрежесі бар түйіндер саны; $f(E)$ - түйіндер арасындағы өзара әрекеттесу процесіндегі энергия шығындарының функциясы.

Түйіннің дәрежесі k_{max} мәніне жеткенде, оған басқа сілтемелерді қосу мүмкін емес.

4. (1), (2) және (3) қадамдар топологияға барлық түйіндер қосылғанша қайталанады.

[5] сәйкес энергия балансының ықтималдық тығыздығы E :

$$P(k) = \int_{E_{min}}^{E_{max}} \rho P(K_E) dE = \int_{E_{min}}^{E_{max}} \rho \frac{1}{\beta} m^{1/\beta} k^{-(1+\frac{1}{\beta})} dE \quad (16)$$

осындағы $\beta \in (E_{min}/2\bar{E}, E_{max}/2\bar{E})$, E_{min}, E_{max} – E энергияның шекті мәндері, ρ – E -нің E_{min}, E_{max} шекараларымен таралуы $\int_{E_{min}}^{E_{max}} \rho dE = 1$ өрнегімен анықталады.

Осылайша, топологияны басқару ССЖ ресурстарын тиімді пайдаланудағы негізгі мәселелердің бірі болып табылады. Энергия үнемдейтін ССЖ топологиясын құрудың ұсынылған алгоритмі жергілікті ақпаратты пайдаланады. Сонымен қатар, ұсынылған алгоритмдегі түйіндердің қосылу дәрежесінің теориялық таралуы, $k \geq m$ шарты бойынша қуат заңына бағынады, сондықтан мұндай алгоритм бірдей энергия шығындары немесе түйіндердің кездейсоқ істен шығулары бар ақауларға төзімділік көрсеткіштері жақсырақ болады.

Осы тұрғыда айтарлықтай есептеу ресурстарын және жылдам байланыс арнасын қажет етпейтін тиімді динамикалық маршруттау протоколын (ДМ) әзірлеу міндеті өзекті болып табылады. ДМ хаттамасының ең маңызды кезеңі оның жеке түйіндері арасындағы байланыс сапасын бағалау негізінде маршруттау кестесін құру болып табылады.

ССЖ құрылымының нейрондық желілер құрылымымен ортақ ерекшеліктері бар екенін ескере отырып, ДМ оңтайландыру үшін нейрондық желілердің принциптерін қолданған жөн.

Бірінші кезеңде метрикаға, яғни маршруттарды сапалық немесе сандық бағалауға негізделген маршруттау кестесі құрастырылады. Маршрутты бағалау желі жұмыс істейтін жағдайлармен анықталады. Егер қоршаған ортаға күшті араласу бар екені белгілі болса, онда сапалық бағалауды, әйтпесе сандық бағалауды қолдану керек. Желі қолданыстағы маршруттау кестесіне сәйкес жұмыс істей бастайды, ол өз кезегінде әрбір бағыт үшін салмақ мәнімен толықтырылады. Алдымен барлық маршруттардың салмағы бірдей. Содан кейін әрбір сәтті жеткізілген пакетпен сәйкес бағытқа жаңа салмақ мәні тағайындалады - алдыңғысынан үлкен. Егер пакеттің жеткізілуі расталмаса немесе қателермен жеткізілсе, сәйкес бағытқа алдыңғысынан төмен салмақ мәні тағайындалады. Біраз уақыттан кейін Tgr, салмақ коэффициенттері метрикаға (сапалық немесе сандық бағалау) қарағанда басымдыққа ие болады және ең үлкен салмағы бар бағыт оңтайлы болып саналады. Осылайша, ССЖ сыртқы ортадағы өзгерістерге бейімделеді.

Зерттеу нәтижелерін қорытындылай келе, келесі қорытындыларды жасауға болады. ССЖ-дің қарқынды дамуы мен жетілдірілуі, олардың энергия тиімділігіне қойылатын жоғары талаптар осы желілердің жұмыс істеуінің икемді және бейімделгіш математикалық модельдерін жасау мәселелерін өзекті етеді. Жұмыста желінің рұқсат етілген көлемін

анықтауға, қамту аймағын барынша ұлғайтуға және ССЖ кластерлік орталықтарының орналасуын анықтауға, энергияны тұтынуды оңтайландыруға және энергияны үнемдеуге мүмкіндік беретін ССЖ жұмысының математикалық моделінің жеке құрамдас бөліктері ұсынылған. ССЖ топологиясы. Сонымен қатар, тиімді динамикалық маршруттау хаттамасын әзірлеу үшін нейрондық желілер принциптеріне негізделген маршруттау алгоритмінің блок-схемасы ұсынылған.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Arivudainambi, D.; Sreekanth, G.; Balaji, S. Energy Efficient Sensor Scheduling for Target Coverage in Wireless Sensor Network // Lecture notes in electrical engineering. – 2016. – Vol. 348. - Set 2. – P. 693-706.
2. Vasuhi, S.; Vaidehi, V. Target tracking using Interactive Multiple Model for Wireless Sensor Network // Information Fusion. – 2016. – Vol. 27. – P. 41-53.
3. Zhang, Jing; Yang, Ting; Zhao, Chengli Energy-efficient and self-adaptive routing algorithm based on event-driven in Wireless Sensor Network // International journal of grid and utility computing. – 2016. – Vol. 7 issue 1. – P. 41.