

ӘОЖ 004.725

LORAWAN ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЭНЕРГИЯ ҮНЕМДІЛІГІН ҚАРАСТЫРУ

Базарбаева Шандоз Косаевна

shandoz1999@gmail.com

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының магистранты,

Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ғылыми жетекшісі – Д.М. Шарифов

LPWAN қуатты аз тұтынатын, алыс қашықтыққа қосылу және көптеген пайдаланушыларды қолдау мүмкіндігі сияқты сипаттамалардың арқасында Интернеттің негізгі технологиясы (IoT) тез дамып келеді. Өсудің жоғары қарқынымен Long Range (LoRa) LPWAN-дің ең көп таралған технологиясына айналады. Сенсорлық түйіндер (датчиктер) әдетте батареялармен және көптеген желілік қосымшалармен жұмыс істейді, датчиктерді ұзақ уақыт сенімді жұмыс істейді деп күтеді. Өзін-өзі қамтамасыз ететін сенсорлық тораптар желісін модельдеу үшін тиісті физикалық деңгейлер мен MAC деңгейлерінің әсерін ескере отырып, LoRaWAN Ғаламдық желісіндегі А класының соңғы құрылғыларының энергия шығынын зерттеу өте маңызды.

Бұл жұмыста ақпараттық хабарламаларды тарату үшін жүздеген сенсорлық түйіндерді орналастыру арқылы LoRaWAN энергиясының құнын қарастырады. Ұсынылған схема 4000 мАч батареясы бар соңғы құрылғының орташа қуат тұтынуын ескере отырып бағаланады.

Сонымен қатар, әр кеңейту коэффициенті (SF) үшін сенсорлық түйіндердің оңтайлы санын қамтамасыз ету үшін тарату желісінің энергия тиімділігін анықтайды.

LoRa – бұл LPWAN технологиясы қос бағытты байланысты қамтамасыз ету үшін кең жолақты спектр (CSS) арқылы сигналды модуляциялайды. Сонымен қатар, бұл модуляцияланған сигналды арнадағы шуылға төзімді етеді. LoRa сәйкесінше жер мен судан 15 км және 30 км жоғары байланыс ауқымын қамтамасыз етеді [1].

Желілік архитектура "жұлдыз" топологиясы бойынша орналастырылған, онда соңғы құрылғылар (ED) шлюз (GW) арқылы желілік серверлерге (NS) қосылған. LoRaWAN бит жылдамдығын қол жетімді арна сапасына сәйкес өзгертеді. Ол модуляцияланған сигналдың сенімділігі мен бит жылдамдығы арасында бейімделу үшін SF функциясын қолданады. Сенсорлық түйін байланыс сапасының нашарлығына тап болған кезде, LoRaWAN модуляцияланған сигналды ұзақ қашықтыққа беру үшін SF-ті арттырады. Бұл дегеніміз бит жылдамдығы төмендейді.

Деректер жылдамдығының бұл өзгерісі LoRaWAN (DR – Data Rate) параметрімен басқарылады және DR0 (SF 12, Төмен бит жылдамдығы)-ден DR5-ке дейін (SF 7, жоғары бит жылдамдығы) өзгереді.[2]

Деректерді кодтау үшін уақыт жиілігінің үздіксіз өзгеруі CSS модуляциясын Доплер әсеріне төзімді етеді. Таратқыш пен қабылдағыш арасындағы жиілік өзгерісі жалпы жолақтың 20%-на жетсе де, бұл декодтау жұмысына әсер етпейді. Сондықтан таратқышқа салынған кристалл максималды дәлдікті қажет етпейді, бұл LoRa таратқышын жасау құнын төмендетеді. LoRa радиосының бірнеше негізгі конфигурация параметрлері бар.

Тасымалдаушы жиілік (CF – Carrier Frequency): Бұл хабарламаны түйіннен шлюзге жіберу үшін қолданылатын жиілік. LoRa Қазақстан үшін 865-868 МГц лицензияланбаған ISM жиілік диапазонында жұмыс істейді [3].

Кеңейту коэффициенті (SF – Spreading Factor): LoRa-да 6 SF бар, яғни 7, 8, 9, 10, 11, 12. Жоғары SF үлкен қамту аймағын қамтамасыз етеді; алайда, кемшілік ретінде олар деректерді беру жылдамдығын төмендейді және LoRa пакеттерінің эфир уақытын (ToA) көбейтеді [21].

Өткізу қабілеті (BW – Bandwidth): LoRa байланысы үшін үш өткізу қабілеті бар, яғни 125 кГц, 250 кГц және 500 кГц. 125 кГц әдетте 863-870 МГц жиілік диапазоны үшін қолданылады, демек біздің жұмыста 125 кГц өткізу қабілетін қолданамыз. Жылдам беру үшін 500 кГц өткізу қабілеттілігін қолданған дұрыс, ал егер үлкен қамту аймағы қажет болса, 125 кГц ұсынылады.

T_s символының ұзақтығы, өткізу жолағы және кеңейту коэффициенті арасындағы қатынасының теңдеуі көрсетілген.

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (1)$$

Кодтау жылдамдығы (CR): кодтау жылдамдығының өрнегі

$$CR = \frac{4}{4+n} \quad \text{түрінде болады, мұндағы } n \in \{1,2,3,4\}.$$

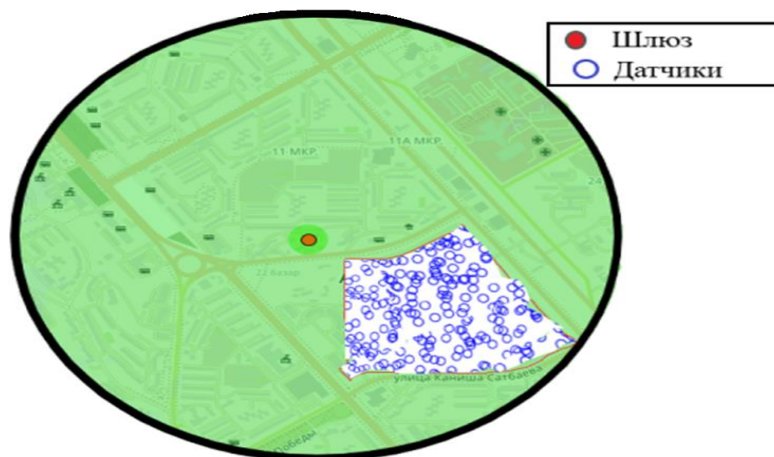
Төменгі кодтау жылдамдығы ақпаратты тарату үшін эфирде (ToA time on air) көбірек уақыт береді. R_{bis} Битрейт LoRa модуляциясы келесідей анықталады[4].

$$R_b = \frac{4}{4+n} \frac{BW}{2^{SF}} \quad (2)$$

Бұл параметрлер қабылдағыштың сезімталдығына теріс әсер етеді. Өткізу қабілеттілігінің жоғарылауы декодердің сезімталдығын төмендетеді, дегенмен кеңейту коэффициенті қабылдағыштың сезімталдығына пропорционалды.

Бұл мақалада R км радиусында және жобаланған S аумаққа ғана бөлінген датчиктердің N хабарламаларын тарататын бір шлюзден тұратын A классты LoRaWAN желісін талдаймыз. Датчик түйіндерінің таралуы $P=N/S$ қарқындылығымен Пуассонның гетерогенді нүктелік процесіне (PPP) сәйкес келеді. Әрбір жеке PPP нүктесі датчик түйінін білдіреді. 1-суретте $N=500$ датчиктер және шлюздың $R=1$ км болатын қамту аймағы

көрсетілген. Датчиктер $S=0,39$ км²-ге парк аумағына ғана орналастырылған, ең алыс орналасқан датчиктер мен шлюз арақашықтығы 1 км. Бұл модель "ақылды парк" жобасында қолданылатын қашықтықтан зондтау қосымшаларының сипаттамаларын көрсетеді.



Сурет 1 – Парк аумағына ұсынылған жүйе моделі

SF-тің әртүрлі тарату стратегиялары [48]-де ұсынылған және қарапайым болу үшін кеңейту коэффициенті жүйелік модельдерге негізделген эквивалентті тәсілмен тағайындалады.

Кесте 5. $BW=125$ кГц [24]кезінде 9 байтты пакеттерге арналған LoRa-ның шығу линиясының сипаттамалары(LEON платформасынан алынған).

DR	SF	Bit Rate R_{bi} (кбит/с)	SNR q_{SF} (дБ)	Time-on-Air (мс)	Диапаз он (км)
5	7	5.47	-6	113.152	$l_0 - l_1$
4	8	3.13	-9	113.152	$l_1 - l_2$
3	9	1.76	-12	185.344	$l_2 - l_3$
2	10	0.98	-15	205.824	$l_3 - l_4$
1	11	0.54	-17.5	205.824	$l_4 - l_5$

SF құрылғылары әр 600 м сайын өзгертін d_i шлюзінен қашықтыққа сәйкес бөлінеді, бұл әр кеңейту коэффициентіне әр түрлі соңғы құрылғыларға ие болуға мүмкіндік береді. Осылайша, ішкі сақинадағы сенсорлық түйіндер төменгі SF қолданады және әр SF тығыздығы сыртқы сақиналарға қарай жоғарылайды, ал барлық соңғы құрылғылар бірдей қуатты, $P_t=14$ дБм деректер хабарламасын жібереді.

Біздің жұмысымызда біз $CR=1$ қабылдаймыз, ал LoRa-ның шығу арнасының жалпы берілу жылдамдығы $battery_u = \sum_{i=7}^{11} R_{bi}$ $R_{bi} = 12,17$ кбит/с.

Мысал ретінде 1-кестеде (өткізу жолоғы) $BW=125$ кГц қосылған 9 байттық LoRa пакеттерінің сипаттамалары келтірілген. ТоА әр SF-пен бірге өсетінін ескере отырып, сенсорлық түйіннен шлюзге деректерді беру кезінде деректерді беру жылдамдығының төмендеуі қабылдағыштың сезімталдығын арттырады. Сондықтан LoRaWAN үшін максималды қамту аймағы жоғары SF арқылы қол жеткізіледі.

Бұл жұмыстағы батарея сыйымдылығы 4000 мАч-қа тең. Таңдалған датчиктің қызмет ету мерзімінің максималды мәні 7 жыл. Осы батареяның уақытын сақтау үшін SF7 функцияларын қолдану және 100 минуттық хабарландыру кезеңімен жіберу арқылы қол жеткізуге болады. Жоғары SF арқылы деректер хабарламасын беру ең көп қуат тұтынуға әкеледі, бұл датчиктердің қызмет ету мерзіміне теріс әсер етеді.

Пайдаланылган әдебиеттер:

1. Chen S., Xu H., Liu D., Hu B. & Wang H. A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective // IEEE Internet of Things. 2014, P.349–359.
2. Lauridsen M., Vejlgard B., Kovacs I.Z., Nguyen H. & Mogensen P. Interference Measurements in the European 868 MHz ISM Band with Focus on LoRa and SigFox. //IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2017. P.1–6.
3. Mahmood Aamir, Sisinni Emiliano, Guntupalli Lakshmikanth et al. Scalability Analysis of a LoRa Network under Imperfect Orthogonality // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2018. P. 1425–1436.
4. Hoeller Arliones, Souza Richard Demo. Analysis and Performance Optimization of LoRa Networks with Time and Antenna Diversity // IEEE Access. 2018. P. 32820–32829
5. Cattani M., Boano C.A. An Experimental Evaluation of the Reliability of LoRa Long-Range Low-Power Wireless Communication.