

UOT 004.71

DOI: 10.25045/jpit.v11.i1.13

Ağaşov C.C.¹, Ağaşov T.C.²

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹javid@iit.science.az, ²tabriz@iit.science.az

LORAWAN ŞƏBƏKƏSİ ƏSASINDA HƏRƏKƏTDƏ OLAN OBYEKTLDƏ MƏLUMATLARIN ÖTÜRÜLMƏSİNİN KONSEPTUAL ARXİTEKTURASININ İŞLƏNİLMƏSİ

Daxil olmuşdur: 07.10.2019 Düzəliş olunmuşdur: 15.10.2019 Qəbul olunmuşdur: 31.10.2019

Məqalədə LoRaWAN şəbəkəsinin mövcud vəziyyəti analiz olunmuş, inkişaf perspektivləri göstərilmiş, onun əsasında hərəkətdə olan obyektlərdə məlumatların ötürülməsinin konseptual arxitekturası təklif olunmuşdur. Müasir dövrdə Əşyaların İnterneti (IoT) informasiya texnologiyalarının tətbiqinin ən perspektivli sahələrindən biri hesab olunur və IoT şəbəkələrinin qurulması üçün müxtəlif naqilsiz rabitə texnologiyalarından istifadə edilir. Bu məqsədlə məqalədə yeni rabitə texnologiyası olan LoRaWAN texnologiyalarının arxitekturası, şəbəkə xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri tədqiq olunmuşdur. LoRaWAN şəbəkəsinin qurulması üçün texniki tələblər, LoRa qurğuları və onların növləri analiz edilmişdir. LoRaWAN-nın digər texnologiyalarla müqayisəli təhlili aparılmışdır. IoT qurğuları vasitəsilə toplanan məlumatların sürətlə ötürülməsi və itkisiz qəbul edilməsi üçün LoRaWAN-dan istifadənin digər texnologiyalara nisbətən üstünlükləri göstərilmişdir. LoRaWAN-dan istifadə etməklə hərəkətdə olan obyektlərdə məlumatların ötürülməsinin konseptual arxitekturası təklif olunmuşdur. Təklif edilən yanaşmanın səmərəliliyi məlumatların daha operativ ötürülməsinə imkan verməsi ilə təyin edilir.

Açar sözlər: LPWAN, LoRa, LoRaWAN, IoT/M2M, tezlikləri manipulyasiya olunmuş siqnallar, Qauss filtri, paylanmış şəbəkələr, baza stansiyaları.

Giriş

2020-ci ilədək “Əşyaların İnterneti”nin (*ing. Internet of Things, IoT*) sayının 20,8 milyard olacağı, 2020-ci ilin sonunda isə dünyada İnternetə qoşulan qurğuların ümumi sayının 50 milyard təşkil edəcəyi və gələcəkdə qlobal IoT bazarında dayanıqlı artımının davam edəcəyi proqnozlaşdırılır [1, 2]. 2022-ci ildə IoT bazarının həcminin 1 trilyon dolları üstələyəcəyi ehtimal edilir, on ildən sonra onun həcminin 8 trilyon dollara çatacağı bildirilir.

IoT/M2M (*ing. Machine-to-Machine – maşınlararası qarşılıqlı əlaqə*) üçün hazırlanmış tətbiqlərin böyük bir hissəsi İnternetə çıxış vasitəsi kimi əhatə dairəsi o qədər də böyük olmayan Zigbee, Wi-Fi və Bluetooth texnologiyalarından istifadə edəcəkdir [2]. Eyni zamanda, onların əhəmiyyətli bir hissəsi aşağı ötürmə gücünə və bir neçə kilometrə qədər geniş hərəkət radiusuna (diapazon, yaxud əhatə dairəsi) malik şəbəkələrlə əlaqələndiriləcəkdir. Belə şəbəkələrə LoRa texnologiyasına əsaslanan şəbəkələr aiddir. LoRa (*ing. Long Range-Uzaq məsafə*) – yeni texnologiyadır, həm də eyniadlı modulyasiya üsuludur. Digər texnologiyalardan fərqli olaraq verilənləri daha uzaq məsafəyə ötürmək imkanına malikdir. LoRa aşağı güclü ötürücülərdən istifadə etməklə uzaq məsafəyə radioəlaqəni yaradan unikal bir texnologiyadır: məsələn, cəmi 25 mVt gücə malik ötürücülərdən istifadə edilərsə, verilənləri şəhərdə 1–5 km məsafəyə, açıq sahələrdə isə 30 km məsafəyə ötürmək olur. LoRa texnologiyası lisenziyasız radiodiapazonlarda işləyir və bu texnologiyaya əsaslanan şəbəkənin qurulması üçün idarəedici orqanlardan icazə tələb olunmur.

LoRa ilk dəfə 2008-ci ildə Fransanın Cycleo şirkəti tərəfindən patentləşdirilmişdir və tezliyi manipulyasiya edərək spektrini genişləndirmə xassəsinə malik bir texnologiyadır. Cycleo şirkəti istehlakçılara korporativ bazarlara təqdim etmək üçün naqilsiz rabitə və yarımkeçiricilər, ağıllı sayğaclar və digər müxtəlif məhsullara aid texniki həllər hazırlayırdı. Yeni texnologiyanın inkişafı üçün böyük vəsaitlər tələb olunurdu. 2012-ci ildə Kaliforniyanın yarımkeçiricilərin təchizatı ilə məşğul olan Semtech şirkəti Cycleo şirkətini, onun aktivləri və layihələri ilə birlikdə əldə etdi. Sonradan Semtech LoRa

texnologiyasını daha da inkişaf etdirərək, IBM və Cisco kimi məşhur şirkətləri bu işə cəlb etməyi bacardı. Nəticədə, bu kimi İT nəhənglər LoRa Alliance adlanan alyansa qoşuldular. 2015-ci il Barselonada keçirilmiş Ümumdünya Mobil Konqresində LoRa Alliance-ın yaradılması haqqında rəsmi məlumat verilmişdir. Bu konsorsiumun əsas fəaliyyəti LoRa texnologiyasının texniki xarakteristikasının, eləcə də yeni biznes-modellərin hazırlanması və təkmilləşdirilməsindən ibarətdir. LoRa Alliance assosiasiyasının qarşısında duran əsas məsələ bu texnologiya əsasında LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) adlanan yeni bir şəbəkənin yaradılması və qlobal olaraq onu dəstəkləmək idi. 2015-ci ilin iyun ayında LoRaWAN-nın ilk 1.0 versiyasının texniki göstəriciləri dərc edilmişdir.

2018-ci ilə olan məlumatlara görə, bu assosiasiyaya 500-dən çox şirkət üzv olmuşdur. Onların arasında aparat və proqram təminatlarını hazırlayan şirkətlər, LoRaWAN şəbəkə operatorları və s. vardır. Dünyanın 34 ölkəsi və 250-dən çox şəhərində 42 operatora LoRaWAN şəbəkəsi öz xidmətlərini göstərir [3].

Bu sahədə aparılan tədqiqat işləri

LoRaWAN şəbəkə texnologiyaları yaxın vaxtlarda meydana gəlmiş və yayılmağa başlamışdır, ona görə də onların tədqiqatına aid işlər hələlik kifayət qədər deyildir. Bəzi icmal xarakterli məqalələrdə müasir bazarda mövcud olan LoRaWAN şəbəkə texnologiyaları haqqında ümumi məlumatlar verilir və onların texniki xarakteristikalarının müqayisəli analizi aparılır [4, 5]. Bu işlərdə əsasən IoT-lar, onların tətbiq ediləcəyi sahələrdə reallaşdırılması üsulları və bunun üçün hansı texnologiyalardan istifadə edilməsi haqqında ilkin materiallar verilir. LoRaWAN şəbəkəsinin analitik modelləşdirilməsi [6]-da verilmişdir. Burada LoRaWAN texnologiyalar qrupuna aid olan məşhur SigFox (eyniadlı naqilsiz texnologiya istehsalı ilə məşğul olan Fransa şirkətidir) texnologiyası araşdırılır. İşin məqsədi – texnologiyanın daha effektiv işləməsi üçün təkrar ötürmələrin sayına olan optimal məhdudiyəti tapmaqdır. Bu iş MAC (*ing. Media Access Control – müraciətin idarə olunması*) səviyyəli protokollar üçün sadə həllərin mövcud LoRaWAN texnologiyaları bazarında necə istifadə edilməsinə nümunədir. [7]-də Böyük Britaniyanın Sautqempton şəhərində LoRaWAN şəbəkəsinin genişləndirilməsi təcrübəsi təqdim edilmişdir. Burada havanın keyfiyyət göstəriciləri, küçələrin işıqlandırılmasının idarə edilməsi üçün sensorların quraşdırılması və sensorlar vasitəsilə toplanmış məlumatların ötürülməsi üçün LoRaWAN şəbəkəsindən istifadə etmək təcrübələri göstərilmişdir. [8]-də LoRaWAN-nın enerji istehlakı araşdırılmışdır. LoRaWAN şəbəkəsindəki LoRa qurğularının cari enerji istehlakı, məlumatların çatdırılma müddəti və enerjinin dəyəri xarakterizə edilərək analitik modellər təqdim edilmişdir. [9]-də LPWAN (*ing. Low-power wide area network – geniş əhatə dairəli az enerji sərfiyyətli şəbəkə*) qrupuna aid olan texnologiyaların ümumi və müqayisəli təhlili verilmişdir. Onların hər birinin üstünlükləri və mənfi cəhətləri göstərilmişdir. Bu texnologiyaların texniki xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili praktikada onların hansının daha üstün və səmərəli olmasını müəyyən etməyə kömək edir. [10]-da geniş potensiala malik IoT-lar üçün mövcud olan maneələr: qida mənbəyi (batariya) ilə işləyən cihazların qısa ömrü, kiçik məsafəli rabitə, yüksək xərclər və ümumi standartların olmaması kimi texniki maneələr göstərilmişdir. Bu işdə bütün bu maneələri dəf etməyə imkan verən LoRaWAN texnologiyasının neft istehsalı obyektlərində istifadə edilməsi üçün əhəmiyyətli potensiala malik olduğu vurğulanmışdır.

Bu məqalədə qeyd edilən ədəbiyyatların təhlilini nəzərə alaraq, əsasən hərəkətdə olan obyektlərdə quraşdırılmış LoRa qurğularından məlumatların ötürülməsi üçün LoRaWAN şəbəkəsinin yeni konseptual arxitekturası təklif olunmuşdur.

LoRaWAN şəbəkə standartı, arxitekturası və xüsusiyyətləri

LPWAN – paylanmış şəbəkələr (telemetriya, maşınlararası qarşılıqlı əlaqə, IoT) üçün hazırlanmış və az enerji sərf etməklə kiçik həcmli məlumatların uzaq məsafələrə ötürülməsini təmin edən naqilsiz şəbəkə texnologiyasıdır. Adından göründüyü kimi, LPWAN IoT-ların aşağıdakı iki əsas göstəricisinin optimallaşdırılmasına yönəlmiş naqilsiz şəbəkə standartları qrupudur:

- aşağı enerji istehlakı – IoT-ların istifadə etdiyi ötürücülər və sensorlar daim məlumat

ötürdükleri üçün onlardakı qida mənbəyinin mümkün qədər uzunmüddətli işləməsi çox vacibdir;

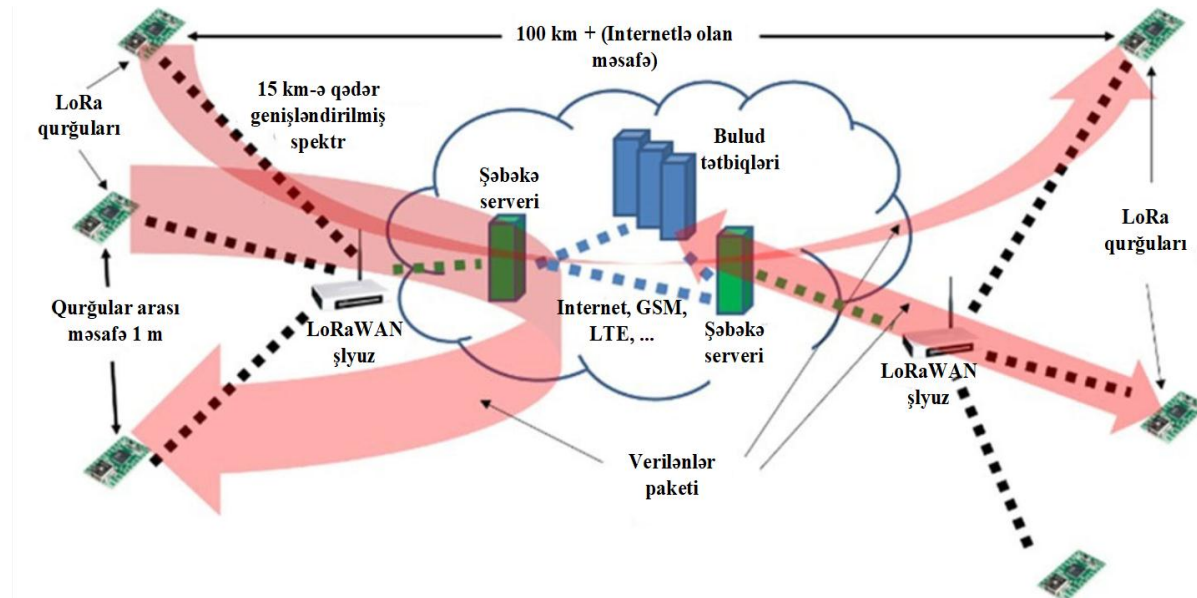
- geniş əhatə dairəsi – IoT-ların işinin faydalı olması üçün, məlumatların emal olunduğu yerdən daha uzaq məsafələrdə yerləşən sənaye və kənd təsərrüfatı obyektləri də daxil olmaqla, istənilən yerdən əlaqə yaratmağı bacarmalıdır [11].

LPWAN naqilsiz şəbəkə qrupuna daxil olan standartlar müxtəlif üstünlüklərinə görə bir-birindən fərqlənir və iki kateqoriyaya bölünürlər:

- mobil standartlar – LTE (Cat-M / Cat-M1 / LTE Cat-M1 / eMTC), NB-IoT (Cat-M2), EC-GSM-IoT. Bunlar üçün lisenziyalaşdırılmış mobil şəbəkə tezlikləri istifadə edilir;
- qeyri-mobil standartlar – LoRa (LoRaWAN, Symphony Link), Sigfox, Ingenu, UNB, Weightless (Weightless-P, Nwave) və s. Bu standartlar üçün əsasən sənaye, elm və tibb sahələrində nəzərdə tutulan lisenziyalaşdırılmamış radiotezlik diapazonlarından istifadə edilir.

Göründüyü kimi, çox sayda LPWAN naqilsiz şəbəkə standartları mövcuddur və bunlardan hansının daha effektiv olduğunu müəyyənləşdirmək asan olmayan vacib bir məsələdir. Aparılan araşdırmalar belə deməyə imkan verir ki, əgər seçimi mobil istiqamətə yönəltsək, onda bu LTE (*ing. Long-Term Evolution*) standartıdır. Hal-hazırda bu standart telekommunikasiya operatorları və ticarət avadanlığı istehsalçılarının geniş dəstəyinə malikdir. Lakin yuxarıda qeyd edildiyi kimi, bu standart lisenziyalaşdırılmış tezliklər diapazonunda işlədiyi üçün maliyyə resursları tələb edir. Əgər seçimi qeyri-mobil istiqamətə yönəltsək, onda bu LoRaWAN standartıdır. Bu standart müasir dövrdə LPWAN-nın ilk texnologiyalarından biridir və əsasən IoT qurğularına xidmət etmək üçün nəzərdə tutulub [12]. Bu məqalədə LoRaWAN standartının (bundan sonra LoRaWAN şəbəkəsi) texniki xüsusiyyətləri, digər standartlardan fərqli cəhətləri, üstünlükləri, tətbiq sahələri haqqında araşdırmalar aparılmışdır.

LoRaWAN – aparat səviyyəli LoRa protokolu ilə dəstəklənən geniş əhatə radiuslu qlobal şəbəkədir və şlüzlər vasitəsilə (baza stansiyalar) sondakı LoRa qurğuları (qovşaqlar) arasında kommunikasiya yaradır [13]. Şəkil 1-də LoRaWAN-nın tipik şəbəkə arxitekturası göstərilmişdir.

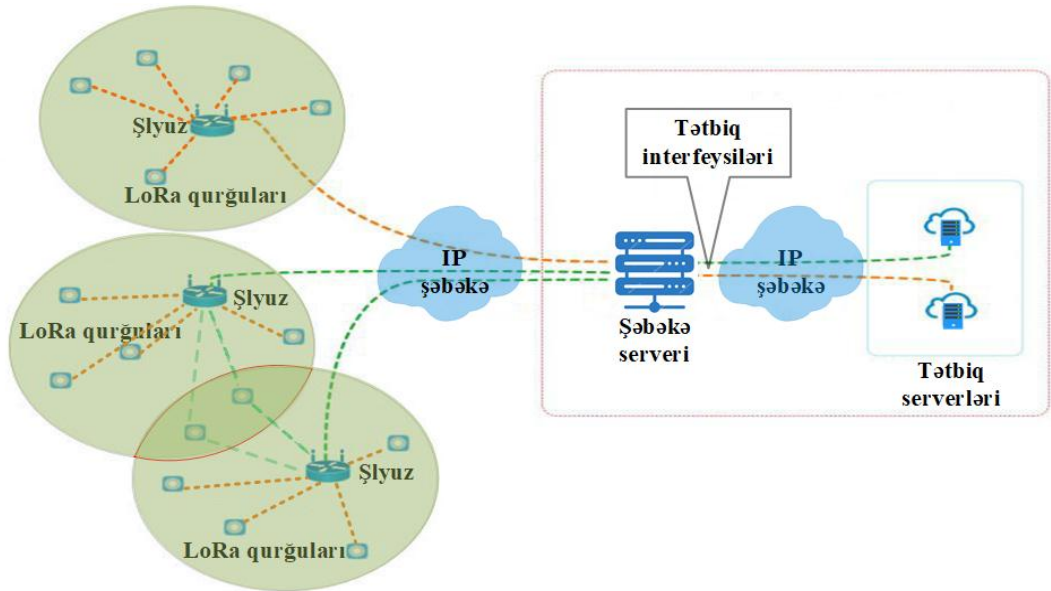


Şəkil 1. LoRaWAN şəbəkəsinin tipik arxitekturası

LoRaWAN az enerji istifadə etmək üçün optimallaşdırılmış ağıllı cihazların bir-biri ilə əlaqə yaratmasını həyata keçirən, məlumatı uzaq məsafələrə (2–5 km) ötürən və geniş əhatə radiuslu şəbəkə (WAN) xüsusiyyətlərinə malikdir. LoRaWAN şəbəkənin ulduzvari topologiyasına əsaslanır. Burada eyni vaxtda çox sayda qurğudan naqilsiz əlaqə vasitəsilə şlüzə məlumatlar ötürülür. Qurğularla şlüzlərarası əlaqə ikitərəfli kanala əsaslanaraq əks əlaqənin idarə edilməsinə

imkan verir. Şlüzlərlə qurğulararası əlaqə genişzolaqlı LoRa modulyasiyadan istifadə etməklə naqilsiz baş verir. Şlüzlər qovşaqlardan qəbul edilmiş məlumat paketlərini GSM yaxud İnternet vasitəsilə bulud şəbəkə serverlərinə ötürür. Buludlardakı məlumatlar emal olunmaq üçün tətbiqi serverlərə yerləşdirilir. Aparılan tədqiqatları və məqalədə qeyd edilən ədəbiyyatların təhlilini nəzərə alaraq LoRaWAN şəbəkəsində qovşaqlardan məlumatların maneəsiz və itkisiz qəbul edilməsi üçün şəbəkədəki şlüzlərin sayının artırılması təklif olunmuşdur.

Çoxlu sayda şlüzdən istifadə edilməsi LoRa qurğularının yalnız bir şlüzlə bağlılığını aradan qaldırır və rahatlığı təmin edə bilər. Bu, ilk növbədə hərəkətdə olan obyektlər üçün quraşdırılmış qurğulardan informasiyanın ötürülməsinə və həmin qurğulara nəzarət edilməsinə təminat verir. Məsələn, uzaq məsafələrə daşınan yük konteynerlərinə bərkidilmiş naqilsiz mayaklar yalnız konkret bir şlüzlə bağlı olarsa, bu, əlaqənin kəsilməsinə və informasiya itkisinə səbəb ola bilər. Şlüzlərin sayının artırılması qovşaqların bağlantı üçün etdiyi cəhdlərin sayını azaldır və nəticədə onların enerji sərfiyyatı da azalar. Belə olduğu halda informasiya mübadiləsi problemsiz yerinə yetirilə bilər. Şəkil 2-də LoRaWAN şəbəkəsinin konseptual arxitekturası göstərilmişdir. Göründüyü kimi, bu şəbəkə LoRa qurğuları, şlüzlər, şəbəkə serveri və tətbiqi serverlərdən ibarətdir (tətbiqi serverlərin sayı birdən çox ola bilər). Şlüzlərin sayı çox olduğu halda onların əhatə dairələri kəsişir və bu sahələrdə yerləşən LoRa qurğularından məlumatların ötürülməsi daha operativ baş verir.



Şəkil 2. LoRaWAN şəbəkəsinin konseptual arxitekturası

Baza stansiyası müəyyən tezlik diapazonunda efiri dinləyir və qurğuların hər hansı birindən göndərilən sorğunu aldıqda, o, həmin tezlikdəki qurğunun müraciətinə cavab verir. Baza stansiyaları (arxitekturaada bu stansiyalar şlüz adlandırılıb) məlumat paketlərini qəbul edir və bu paketlərlə növbəti işi şəbəkə serveri davam etdirir. Server şəbəkədəki bütün şlüzlərin idarə edilməsinə cavab verir, qovşaqlara müraciəti təmin etmək üçün hansı şlüzdən istifadə edilməsini müəyyən edir (qovşaqlar eyni vaxtda bir neçə şlüzlə əlaqə yarada bilər) və şəbəkənin təhlükəsizliyini təmin edir. Lakin şəbəkə serveri qəbul etdiyi paketdəki faydalı məlumatları emal etmir. Məlumatların emal edilməsi isə zəncirvari bu prosesin növbəti hissəsində – tətbiq serverlərində yerinə yetirilir. Tətbiq serverlərində qovşaqların göstəriciləri deşifrə edilərək başa düşülən formada ya billinqə, ya istifadəçi interfeysinə, ya da təyinatı üzrə digər bir yerə paylanır [14]. Qovşaqlarla şlüzlər arasındakı məlumatların ötürülmə sürəti 0,3 kbit/s-dən 50 kbit/s qədər dəyişir. Bu sürət şlüzlərdə qurulan parametrlərdən aslı olaraq tənzimlənir.

LoRaWAN şəbəkə texnologiyası iki başlıca elementə əsaslanır:

- fiziki səviyyədəki radiointerfeys – LoRaWAN şəbəkəsində şlüzlər və qovşaqlar arasında

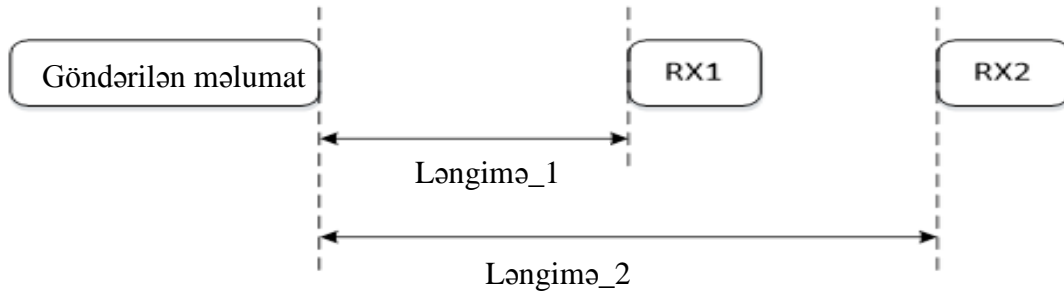
radiosiqnalların ötürülməsinin bütün aspektlərini müəyyənləşdirir. Yəni, radiointerfeys şəbəkədəki ötürücü və qəbuledici qurğular (sensorlar) arasındakı tezliyi, modulyasiyanın növünü, gücün səviyyəsini, siqnalları və sensorların mübadiləsini müəyyən edir;

- şəbəkənin strukturu – IoT/M2M abonent qurğularını, şlüzləri, İnternet şəbəkəsinə qoşulmuş serverləri və tətbiq serverlərini özündə birləşdirir (şəkil 2).

Qovşaqlar və onların sinifləri

IoT/M2M abonent qurğuları dedikdə, bir qayda olaraq, ötürücülər, yaxud sensorlar nəzərdə tutulur. Bu qurğular qəbuletmə rejimlərinə görə bir-birindən fərqlənirlər və üç sinfə bölünürlər. Hər bir sinif öz təyinatı üzrə aşağıdakı xassələrə malikdir [15]:

- **A sinfindən olan qurğular** (ing. *Bi-directional end-devices, Class A*) – ikitərəfli mübadilə yaratmaq xassəsinə malik qovşaqlardır (bunlar çox vaxt *end-device*, yaxud *end-node* adlandırılır). A sinfi əsas baza sinfi olaraq şəbəkədəki bütün qurğular tərəfindən dəstəklənir. Qeyd edək ki, əlaqənin yaranmasını təşkil edən də elə bu qovşaqlardır. Qovşaq hər bir ötürmədən sonra qəbul üçün qısamüddətli iki müvəqqəti pəncərə (RX1 və RX2) ayırır və bu qısa vaxt ərzində serverdən cavab gözləyir (şəkil 3). Ötürmə intervalı qovşaqların ehtiyac meyarına əsaslanaraq planlaşdırılır. A sinfindən olan qurğular az enerji sərf edərək serverə məlumatı ötürür və yalnız bundan sonra tətbiqlərin vasitəsilə serverdən geriye məlumat göndərilməsini tələb edir. Serverdən son qovşaqlara məlumatların ötürülməsi həmin qovşaqların serverlə əlaqəyə girdiyi anda mümkün olur;



Şəkil 3. A sinfindən olan qurğuların iş prinsipi

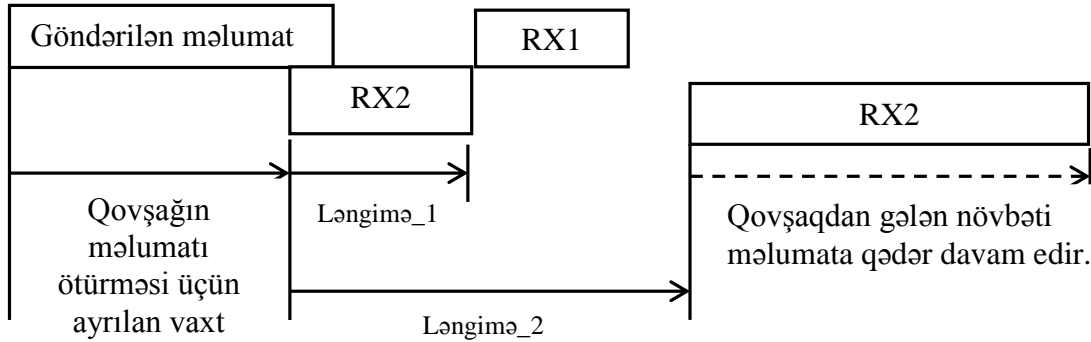
- **B sinfindən olan qurğular** (ing. *Bi-directional end-devices, Class B*) – onlar da ikitərəfli mübadilə yaradır. B sinfində də A sinfində olan funksiyalar mövcuddur. Bundan başqa B sinfindən olan qurğular cədvəl üzrə qeyd edilmiş vaxtda qəbul üçün əlavə pəncərə açır. Qəbul üçün pəncərənin açılması, şlüzlərin xüsusi siqnallarla (ing. *beacons – mayak*) qovşaqları sinxronlaşdırmasından sonra baş verir. Bu isə serverə qovşağın məlumatı qəbul etməsinə hazır olduğunu bildirir;

- **C sinfindən olan qurğular** (ing. *Bi-directional end-devices, Class C*) – verilənləri qəbul etmək üçün maksimal sayda pəncərə ayırmaq imkanına malikdirlər. Qəbul pəncərəsi verilənləri ötürmə anında bağlanır. Bu tip qovşaqlar böyük həcmli verilənlərin mübadiləsi üçün tətbiq edilir. Praktiki olaraq, C sinfindən olan qovşaqlar verilənləri ötürdükləri hallar istisna olmaqla, hər zaman qəbul rejimində olurlar.

Belə qovşaqların enerji saxlama müddəti çox olur və bunun nəticəsində qəbuledicinin işləmə vaxtını məhdudlaşdırmağa ehtiyac olmur. Müvəqqəti açılmış RX1 pəncərəsi istisna olmaqla, qovşaq RX2-nin qəbul parametrlərindən istifadə edir. C sinfindən olan qurğuların iş prinsipi şəkil 4-də göstərilmişdir.

C sinfindən olan qurğulardan enerjiyə qənaət etmək lazım olmadığı yerlərdə yaxud vaxtın istənilən anında onlara müraciətin təşkil edilməsi üçün istifadə edilir (elektrik, qaz sayğacları və s.) [16]. LoRaWAN texnologiyasında verilənlərin mübadiləsi zamanı qurğuların ötürmə sürətinin

adaptasiya olunması sisteminə (*ing. adaptive data rate, ADR – məlumatların ötürmə sürətini avtomatik tənzimləmə*) önəm verilmişdir.



Şəkil 4. C sinfindən olan qurğuların iş prinsipi

Bu sistem şəbəkə serveri ilə idarə olunur və nəticədə qovşaqlar yalnız verilənləri ötürən anda aktiv olur. Bu işə kiçik gücə malik ötürücülərə xas olan bir funksiyadır. Belə qurğular avtonom olaraq 7 ildən 10 ilə qədər bir batareya ilə işləmə imkanına malikdir. LoRa qurğularının belə xarakteristikası bir baza stansiyası ilə əlaqədə olan qurğuların sayını artırmağa və bununla da şəbəkənin miqyasını genişləndirməyə imkan verir [17].

Verilənlərin adaptasiya olunmuş sürətlə ötürülməsi üsulundan istifadə etməklə faktiki sürət elə tənzimlənir ki, nəticədə paketlər etibarlı çatdırılır, şəbəkənin məhsuldarlığı və yükünün lazımı miqyasda optimallaşdırılması təmin edilir. Məsələn, şlüzə daha yaxın olan qovşaqlar (*ing. end-node*) verilənləri ötürmək üçün daha yüksək sürətdən (radiokanalda aktiv ötürülmə daha qısa zamanla baş verəcək) və çıxışda daha az enerjiden istifadə edəcək. Əksinə, uzaqda yerləşən qovşaqlar (*ing. end-node*) verilənləri ötürmək üçün aşağı sürətdən istifadə edəcək və bu zaman ötürücünün çıxışında daha çox güc sərf ediləcək. Beləliklə, ADR texnologiyasını tətbiq etməklə, siqnalların radiokanalla ötürülməsi zamanı itkiləri kompensasiya edərək, şəbəkənin infrastrukturunda əhəmiyyətli dərəcədə dəyişikliklərə nail olmaq olar [18].

LoRaWAN şəbəkəsinin qurulması üçün texniki tələblər və xüsusiyyətlər

Aparılan araşdırmalar və təcrübələr nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, LPWAN texnologiyalar qrupuna daxil olan LoRa texnologiyası texniki tələblər baxımından növbəti ilkin şərtlərə əsaslanaraq formalaşır (şəkil 5):

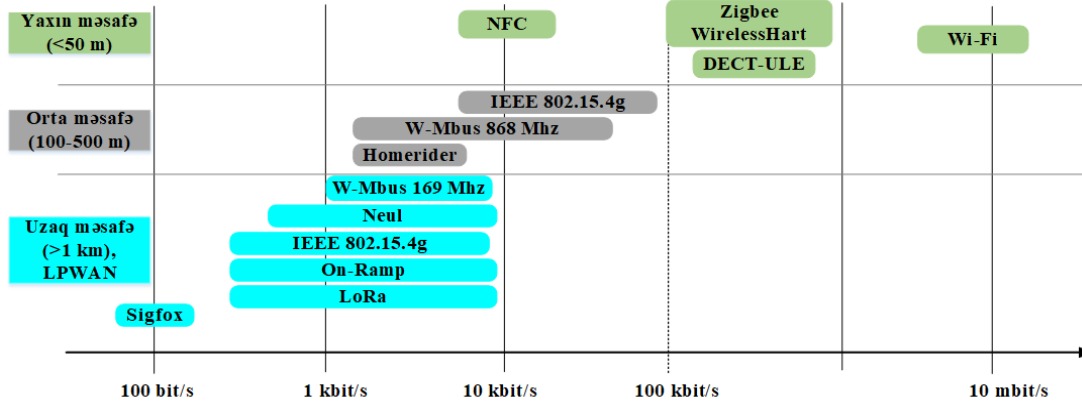
- IoT qurğularının əksəriyyəti sadə sensorlardır və trafikdən az bir hissəsini istifadə edir – gündə bir neçə dəfə olmaqla 10 baytdan 50 bayt həcmində məlumat ötürür;
- açıq sahələrdə verilənlər daha uzaq məsafəyə, bir neçə kilometrədən 10 kilometrə və daha çox məsafəyə ötürülür;
- verilənlərin əsas trafiki IoT qurğularından birbaşa olaraq baza stansiyalarına (radioşlüzlərə) ötürülür.

LoRaWAN şəbəkə texnologiyasının əsas funksiyası bir-birindən yaxın və uzaq məsafədə yerləşən müxtəlif radiogirişli qurğuların: ötürücülər və sensorların IoT-larda istifadə olunan tətbiqlərlə şəbəkə yaratmasından ibarətdir.

LoRaWAN spektrin genişləndirilməsi (fiziki yayımın, tezlik zolağının genişləndirilməsi) texnologiyasına əsaslanır və birbaşa radioəlaqəni yaradan sistemlərdən fərqli olaraq, eynixassəli ötürücülər üçün radioəlaqə məsafəsini 10 dəfəyə qədər artırır. Buna aşağıdakıları tətbiq etməklə nail olunur [19]:

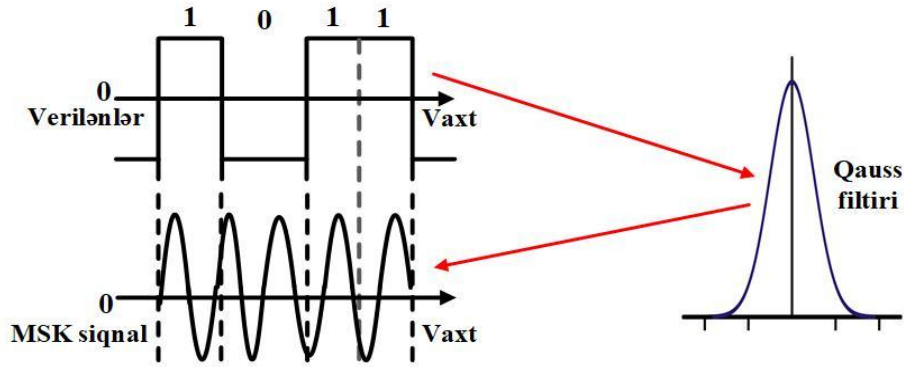
- tezliyi minimallaşdırılmış xüsusi Qauss modullu GMSK (*ing. Gaussian Minimum Shift Keying*) siqnallar ilə (şəkil 6). Bu siqnallar modullaşmadan əvvəl “0” və “1”-lərdən ibarət rəqəmsal düzbucaqlı impulslar ardıcılığı şəklində olur, sonra Qauss filtrlərindən keçərək əmələ gəlir;

- FSK (*ing. Frequency Shift Keying*) – tezlikləri manipulyasiya olunmuş siqnallar ilə (şəkil 7)
- genişzolaqlı modullaşma üsulu ilə (şəkil 8).



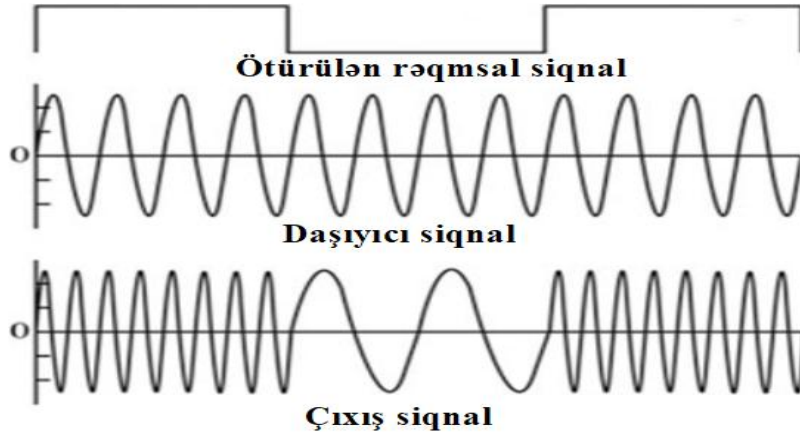
Şəkil 5. Müxtəlif radiogirişli texnologiyalar üçün IoT-ların hərəkət radiusunun verilənlərin ötürülmə sürətindən asılılığı

Bu zaman verilənlər xətti tezlikli modullaşma hesabına genişzolaqlı impulsalara çevrilir. Bu proses nəticəsində siqnalın spektri alçaq tezlik sahəsindən yüksək tezlik sahəsinə köçürülür. Radiosiqnalın spektrinin genişləndirilməsi metodu yalnız hərbi məqsədlərlə istifadə olunmaq üçün nəzərdə tutulmuşdu. Bu metodun əsas ideyası istifadəçi siqnalının radiodiapazonunun geniş spektrində paylaşdırılması idi. Bu da öz növbəsində ötürülən siqnalın aşkar edilməsinin qarşısını alırdı. Bu metodun əsas iş prinsipi siqnalı xüsusi paylaşdırma alqoritmlərdən istifadə etməklə geniş spektrə «yaymaqdan» ibarətdir

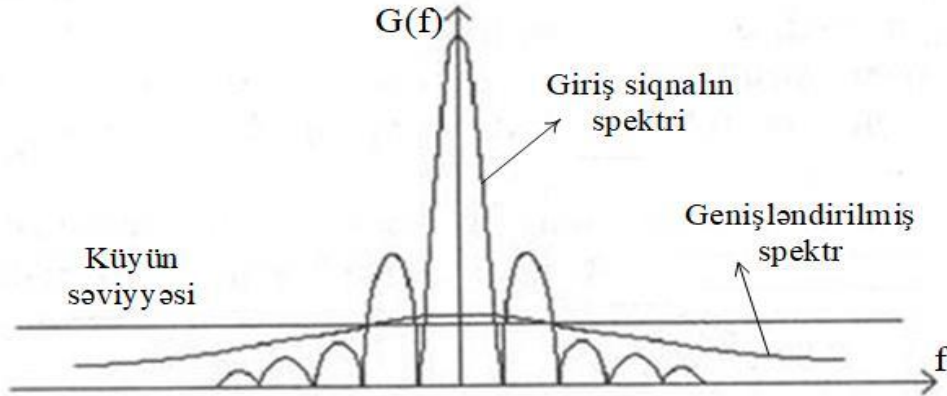


Şəkil 6. Tezliyi minimallaşdırılmış xüsusi Gauss modullu GMSK siqnallar ilə spektrin genişləndirilməsi

- LoRaWAN şəbəkə texnologiyası verilənlərin ötürülməsi üçün müxtəlif sürətləri dəstəkləyir:
- tezliyi 125 kHs olan kanalda 250 bit/s-dən 5 kbit/s-yə qədər;
 - 250 kHs tezlikli kanalda 11 kbit/s-yə qədər;
 - FSK istifadə edilirsə, 50 kbit/s-yə qədər.



Şəkil 7. Tezlikləri manipulyasiya olunmuş siqnallar ilə spektrin genişləndirilməsi



Şəkil 8. Genişzolaqlı modullaşma üsulu ilə spektrin genişləndirilməsi

LoRaWAN şəbəkəsində radiokanalın eninin xarakterik qiymətləri şəkil 9-da göstərilmişdir. Onlar yalnız texnoloji həllərdən deyil, həm də regional radiotezliklərin tələblərindən asılıdır.

LoRaWAN şəbəkəsindəki radiodalğalarla ötürülən verilənlərin yuxarıda göstərilmiş sürətləri üçün enerji sərfiyyatı 160 db səviyyəsindən də çox olur. LoRa şəbəkəsində abonent qurğuları 3V gərginlikli siqnalın ötürülməsi üçün cərəyanın 40 mA-ni, qəbulu üçün 10 mA- ni istifadə edir. Enerji sərfiyyatının aşağı olması bu qurğuların qida mənbələrini dəyişmədən uzunmüddətli fəaliyyətini təmin edir.

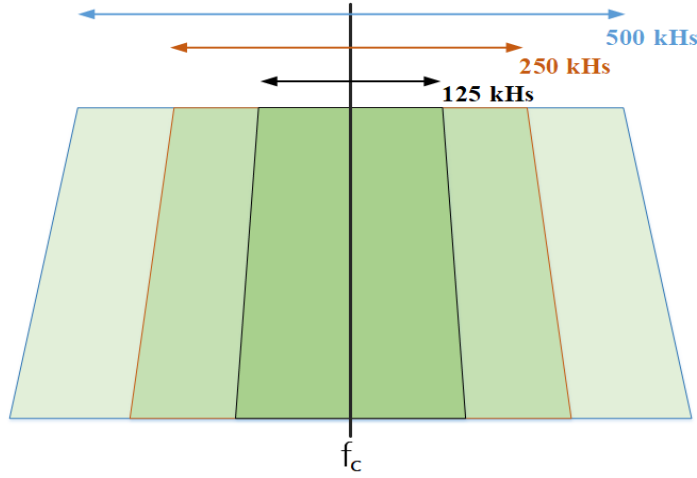
LoRaWAN-nın işləməsi üçün aşağıdakı tezlik diapazonlarından istifadə edilir. Bu tezlik diapazonları regional məhdudiyyətlərə əsaslanaraq təyin edilmiş və tənzimlənmiş spektrin lisenziyasız hissələrinə aiddir:

- 430 MGs – Asiya regionu üçün;
- 780 MGs – Çin üçün;
- 866 MGs – Avropa üçün;
- 915 MGs – ABŞ üçün.

Avropada LoRaWAN şəbəkələri üçün ETSI EN 300.200 standartına uyğunlaşdırılmış 864-868 MHz tezlikli ISM-diapazon kanallarından istifadə edilir [20]. Lakin bu tezlik kanallarından yalnız üçü – 868.10, 868.30, 868,50 MHz tezlikli kanallar LBT (*ing. Listen Before Talk* – əvvəlcə

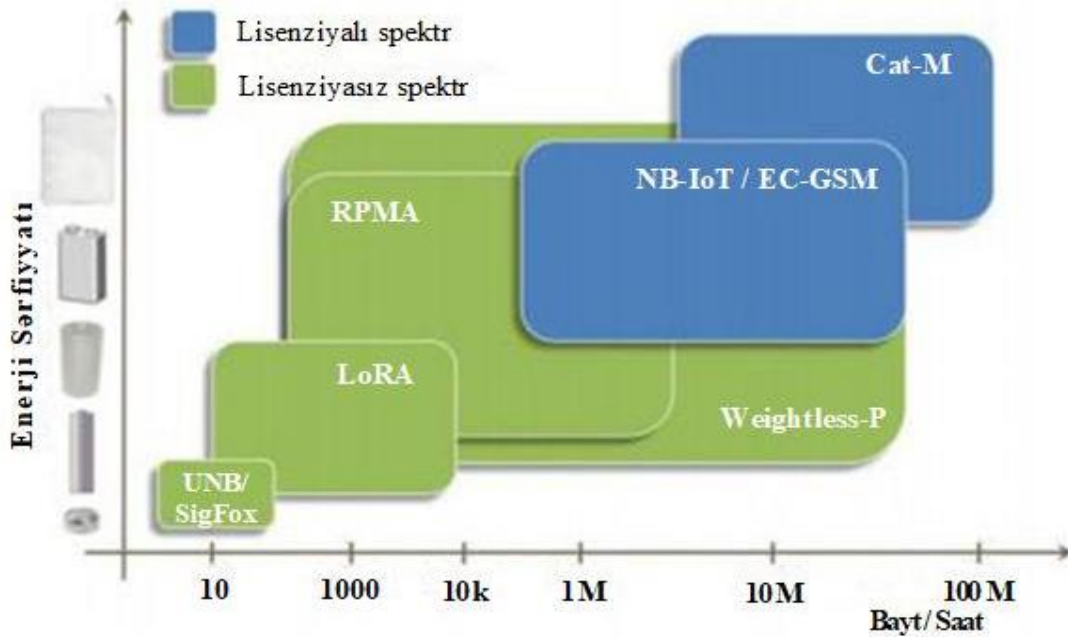
istifadə olunan tezliklərə görə efiri dinləyən və yalnız bundan sonra müvafiq radiotezliyini seçən bir rejim) rejimində abonent qurğuları və şlüzlərin hamısında istifadə edilir.

Növbəti üç kanal: 864.10, 864.30, 864.50 MHz tezlikli kanallar şəbəkələrin idarə olunması üçün ümumi yayım kanalında sorğuların qəbul olmasını (*ing. JoinReq message*) təmin etmək üçün istifadə olunur.



Şəkil 9. LoRaWAN şəbəkəsi üçün radiokanalın eninin tipik qiymətləri

Şəkil 10-da LoRaWAN digər texnologiyaların enerji sərfiyyatının müqayisəli qiymətləndirilməsi göstərilmişdir. Burada mavi rəng lisenziyalı tezlik diapazonlarını, yaşıl rəng lisenziyasız tezlik diapazonlarını, X oxu verilənlərin həcmi (bayt/saat), Y oxu isə enerji sərfiyyatını göstərir.



Şəkil 10. LoRa və digər texnologiyaların enerji sərfiyyatının müqayisəsi

LoRaWAN şəbəkə texnologiyasının mövcud vəziyyətinin analizi

Aparılan araşdırmaların nəticəsi olaraq LoRaWAN texnologiyasının tətbiq perspektivi aşağıdakı iki əsas amillə müəyyən edilmişdir:

1) IoT/M2M şəbəkələrini yaratmaq üçün istifadə edilən müxtəlif radioəlaqə texnologiyalarının texniki göstəricilərinə görə (cədvəl 1). Burada UNB (*ing. Ultra Narrow Band*) – ultraqısa zolaqlı modulyasiya üsulu, LTE (*ing. Long-Term Evolution*) – mobil telefonlar və digər məlumat terminalları üçün yüksəksürətli naqilsiz standart, NB-IoT (*ing. Narrow Band Internet of Things*) isə telemetriya qurğuları üçün az həcmli məlumat mübadiləsini yerinə yetirən mobil əlaqə standartıdır.

2) bazara həm ənənəvi mobil rabitə ilə, həm də çox uzaq inkişaf tarixi olmayan yeni radioəlaqə texnologiyaları ilə daxil olmağa imkan verən IoT xidmətlərinə artan tələbata görə.

Cədvəl 1

Müxtəlif radioəlaqə texnologiyalarının texniki göstəriciləri

Xüsusiyyətlər	LoRaWAN	UNB	LTE	NB-IoT
Spektr	Lisensiyasız	Lisensiyasız	Lisensiyalı	Lisensiyalı
Modulyasiya	SS Chirp GMSK/FSK	UNB/GFSK/ BPSK	OFDMA	OFDMA
Qəbul üçün tezlik (Rx)	500–125 kHs	100 Hs	1,4 MHs	200 kHs
Ötürmə sürəti	250 bit/s – 50 kbit/s	100 bit/s 128 bayt	200 kbit/s – 1 Mbit/s	~20 kbit/s
Ötürülən məlumatların maksimal sayı	Limitsiz	140	Limitsiz	Limitsiz
Çıxışda maksimal güc	20 dBm	20 dBm	23/30 dBm	20 dBm
Radioxəttin gücü	154 dB	151 dB	146 dB	150 dB
Batareyanın işləmə müddəti	105 ay.	90 ay.	18 ay.	10 il qədər
Enerji effektivliyi	Çox yüksək	Çox yüksək	Orta	Orta–yüksək

LoRaWAN şəbəkəsinin tətbiq sahələri olduqca genişdir:

- cihazlararası qarşılıqlı əlaqə (M2M, Machine-to-Machine);
- sənaye avtomatlaşdırılması;
- ağıllı şəhər və ağıllı evlər;
- küçələrin işıqlandırılmasına nəzarət və idarə edilməsi;
- kənd təsərrüfatı;
- mənzil kommunal xidmətlərində istifadə edilən sayğaclardakı məlumatların toplanması (elektrik, su, qaz və s.);
- Smart Grid yeni nəsil elektrik şəbəkələrinin monitorinqi;
- havanın monitorinqi;
- yanğından mühafizə sistemləri;
- nəqliyyatın izlənməsi;
- istehsalat və telemetriya;
- ofislər və yaşayış komplekslərinin avtomatlaşdırılması (temperatur və rütubətə nəzarət, qapıların və jalüzlərin idarə edilməsi və s.);
- neft və qaz sənayesi obyektləri və s.

LoRaWAN texnologiyasının tətbiqinin mövcud vəziyyətinin təhlili göstərir ki, 2012-ci ildən başlayan bu proses yalnız 2015-ci ildə IoT şəbəkələri üçün ənənəvi mobil texnologiyaların

(lisensiyasız bir sıra digər yeni IoT/M2M radio texnologiyaların) inkişafını üstələdi. Hal-hazırda şəbəkə avadanlığı bazarında LoRaWAN texnologiyasının tətbiqinin genişləndirilməsi üçün *Semtech Corporation, Ingenu, Sensus, Microchip, Silicon Labs* və *Kerlink* kimi məşhur şirkətlərdən çox sayda təkliflər irəli sürülür. Bu da IoT/M2M şəbəkə operatorlarına lisensiyalar almadan 433, 868 və 915 MHz diapazonlarında IoT xidmətləri üçün kifayət qədər geniş radioəlaqə şəbəkələri yaratmağa imkan verir. Nəticədə onlar üçün yüksək biznes potensialı yaranır [21].

Lisensiyalı spektrdən istifadə edərək mobil rabitə texnologiyalarına əsaslanan ən perspektivli EC-GSM və NB-IoT həllərinin standartlaşdırılması yalnız 2016-cı ilin birinci yarısında tamamlandı və istehsalçılar tərəfindən NB-IoT abonent qurğularının real sisteminin yaradılmasına başlanılması 2017-ci il üçün planlaşdırılırdı. Həm LoRaWAN, həm də mobil EC-GSM və NB-IoT texnologiyalarından istifadə edən biznes-modellər IoT-lara göstərdikləri xidmət seqmentlərinə görə bir-birinə uyğundur. Ona görə LoRaWAN şəbəkə operatorlarının əsas bazar strategiyası EC-GSM və NB-IoT şəbəkələrinin bazarda meydana çıxmasına qədər bu xidmətləri bir növ zəbt etmək məsələsinin həllindən ibarət idi.

500-dən çox üzvü olan LoRa Alliance-a görə, LoRaWAN şəbəkəsinə əsaslanan IoT/M2M xidmətlər bazarı seqmentindəki xüsusiyyətləri cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəl 2-nin analizi göstərir ki, LoRa texnologiyasına əsaslanan IoT/M2M xidmətlər bazarı artıq Avropa və Amerikanın ən böyük ölkələrində təmsil olunur.

Cədvəl 2

LoRaWAN-nın bazar seqmentindəki xüsusiyyətləri

Ölkələr	IoT/M2M operatorları	LoRa şəbəkəsinin xüsusiyyətləri	Qeydlər
Fransa	Orange, Numericable-SFR	15000 BS olan Milli şəbəkə. İlk BS Qrenobl şəhərində qurulub.	2018-ci il üçün 635 mil. mənfəət əldə edilib
ABŞ	Senet	Bu şəbəkə San-Fransisko, San-Xose, Los-Anjeles, Nyu-York, Boston, Atlanta, Ostin, Huston, Dallas Çikago şəhərlərini əhatə edir.	150-dən çox BS, 260000 km ² . əhatə dairəsi, 25 mil. istifadəçisi olan bir şəbəkə
Belçika	Proximus	Bu şəbəkə ölkənin 10 ən əsas şəhərində fəaliyyət göstərir: Brüssel, Gent, Antverpen, Lyej və s.	Artıq 2016-cı ildən Belşikanın bütün ərazisi bu şəbəkə ilə əhatə edilmişdir.
Rusiya Federasiyası	LACE	15 milyonçu-şəhərində	Maşın dayanacaqları və MKX
Böyük Britaniya	Open TRV	Londonun mərkəzində bir BS	Əsas mərkəzi küçələrdə
Almaniya	Digimond	Hannover, Hamburq və Berlin şəhərlərində qurulmuş şəbəkə	Yoxlanılır

LoRaWAN-ın ən əsas üstünlüyü bu texnologiyanın lisensiyasız radi diapazonlarda işləməsi, naqilsiz genişzolaqlı LoRa modulyasiyasından istifadə edilməsi və bu şəbəkəni qurmaq üçün idarəedici orqanlardan heç bir icazə tələb olunmamasıdır. Bunlardan əlavə LoRaWAN şəbəkəsinin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- az enerji sərfiyyatı – şəbəkədə istifadə edilən qurğular və sensorların enerji mənbəyi 10 il müddətinə qədər işləyir;
- qurğu və sensorların bahalı olmaması – LoRa modulları müxtəlif formatlı analoqlarından dəfələrlə ucuz olur;
- çətin yerlərdə işləməsi – adi mobil əlaqənin mövcud olmadığı yerlərdə radioəlaqənin mümkün olması;

- verilənlərin iki istiqamətə ötürülməsi – şəbəkənin və istifadəçi qurğularının ikitərəfli kanalla işləməsi məlumatların tam ötürülməsinə, qurğuların və əks əlaqənin idarə edilməsinə imkan verir;
- geniş əhatə dairəsi – bir baza stansiyasının əhatə dairəsi 15 km-dir və bu stansiyanın enerji sərfiyyatı GSM formatlı stansiyanın enerji sərfiyyatından 7 dəfə, servis xərcləri isə 10 dəfə aşağı olur;
- mövcud şəbəkələr yaxud verilənlərin ötürülməsi üçün istifadə edilən simsiz texnologiyalarla uyğunlaşır;
- yüksək küy maneələrini dəf etməyə malikdir;
- on və yüz minlərlə qurğulara (sensor, ötürücülər) xidmət etmək imkanına malikdir;
- və s.

LoRaWAN şəbəkələri qısa bir müddətə quraşdırılır və istismarı asan olur. Ulduzvari topologiya hər bir baza stansiyası üçün böyük bir əhatə dairəsi yaradır və bu zaman aralıq avadanlıqların quraşdırılmasına ehtiyac olmur.

Nəticə

Müasir dövrdə iqtisadi cəhətdən səmərəli olan naqilsiz texnologiyaların və bu texnologiyalar üçün hazırlanan sistem həllərin sürətlə yayılması IoT-qurğuların kəskin artmasına səbəb olmuşdur. Hal-hazırda müxtəlif şirkətlərin LoRa texnologiyasına əsaslanaraq yaratdıqları ötürücülər yüksək qəbuletmə həssaslığına, az enerji sərfiyyatına, rabitə kanalında səs-küy maneələrini dəf etmək xassəsinə və geniş funksionallığa malikdirlər. Onu da qeyd edək ki, LoRa texnologiyası əsasında qurulan şəbəkədə açıq LoRaWAN protokolundan istifadə edilməsi naqilsiz qurğuların inkişaf prosesini daha da sürətləndirir. Kənd təsərrüfatı, sənaye və şəhər infrastrukturunun bir çox sahələrində LoRa texnologiyalarından istifadə edərək verilənlərin daha effektiv və etibarlı şəkildə ötürülməsi digər texnologiyalarla müqayisədə ən potensial həll hesab edilir. Bu məqsədlə təqdim edilmiş məqalədə əsasən hərəkətdə olan obyektlərdə quraşdırılmış LoRa qurğularından ötürülən məlumatların maneəsiz və itkisiz qəbul edilməsi üçün LoRaWAN şəbəkəsində baza stansiyaların sayının artırılması və bu stansiyaların əhatə dairələrinin maksimum dərəcədə kəşiməsi təklif olunmuşdur. Bu isə həm də LoRa qurğularının az enerji sərf etməsi və şəbəkənin istismar xərclərini azaltmaq baxımından çox böyük faydalar verə bilər. Bu işdə təklif edilmiş LoRaWAN şəbəkəsinin konseptual arxitekturası LoRa texnologiyasına əsaslanan şəbəkələrin qurulması layihələrində nəzərə alınmalıdır.

Ədəbiyyat

1. Analysts to Explore the Value and Impact of IoT on Business at Gartner Symposium / ITxpo 2015, November 8-12 in Barcelona, Spain. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-11-10-gartner-says-6-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2016-up-30-percent-from-2015>
2. Cellular networks for Massive IoT – enabling low power wide area applications / Ericsson White paper, January 2016. <https://www.ericsson.com/en/white-papers/cellular-networks-for-massive-iot--enabling-low-power-wide-area-applications>
3. About the LoRaWAN Specification. <https://loro-alliance.org/lorawan-for-developers>.
4. Centenaro M., Vangelista, L., Zanella, A. and Zorzi M. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios // IEEE Wireless Communications, 02 November 2016, vol.23, no.5, pp.60–67.
5. Vangelista L., Zanella A., Zorzi M. Long-Range IoT Technologies: The Dawn of LoRaTM // Springer International Publishing, 2015, pp.51–58.
6. Mo Y., Do M-T., Goursaud C., Gorce J-M. Optimization of the predefined number of replications in a Ultra Narrow Band based IoT network / Wireless Day, march 2016, Toulouse, France, pp.1–6.

7. Basford P.J., Johnston S.J., Apetroaie M.C., Bulot M.J., Cox S.J. LoRaWAN for city scale IoT deployments / Global IoT Summit, Aarhus, Denmark, June 2019, no.6, pp.17–21.
8. Casals L., Mir B., Vidal R., Gomez C. Modeling the Energy Performance of LoRaWAN // Sensors, 2017, vol.17, no.10, pp.1–30.
9. Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей // Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, том 4, №4, с.33–48.
10. Marisov D.A., Zatsepin A.Y., Marin E.A., Terleev A.V., Larionov M.Y. Internet Of Things In The Oil And Gas Industry: LoRaWAN Technology Analysis & Use Cases // PRONEFT". Professional'no o nefti, 2019, vol. 2, no.12, pp.76–80.
11. Petajarvi J., Mikhaylov K., Roivainen A., Hanninen T., Pettissalo M. On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology / 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, Denmark, 2–4 December 2015, pp.55–59.
12. Bardyn J.P., Melly T., Seller O., Sornin N. IoT: The era of LPWAN is starting now / Proceedings of the 42nd European Solid-State Circuits Conference, 2–4 September 2016.
13. Sornin N., Luis M., Eirich T., Kramp T., Hersent O. LoRaWAN Specification, Version: V1.0.2, July 2016.
14. Gloria A., Cercas F., Souto N. Design and implementation of an IoT gateway to create smart environments // Procedia Computer Science, 2017, vol.109, pp.568–575.
15. Спецификация LoRaWAN. Введение. Основные понятия и классы оконечных устройств. <https://habr.com/ru/post/316954/>
16. Oratile K., Basseyy I., Adnan M. IoT Devices and Applications based on LoRa/LoRaWAN / Proceedings of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON, Beijing, China, 29 October-1 November 2017, pp.6107–6112.
17. Мосеев В. LoRaWAN: широкие возможности сети дальнего радиуса. <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-shirokie-vozmozhnosti-seti-dalnego-radiusa>
18. Kim D.Y., Kim S., Hassan H., Park J.H. Adaptive data rate control in low power wide area networks for long range IoT services // Journal of Computational Science, September 2017, vol.22, pp.171–178.
19. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М.: Радио и связь, 2000, 520 с.
20. Lauridsen M., Vejlgard B., Kovacs I.Z., Nguyen H., and Mogensen P. Interference Measurements in the European 868 MHz ISM Band with Focus on LoRa and SigFox / 2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), San Francisco, CA, USA, ISBN: 978-1-5090-4184-8, 19-22 March 2017, pp.1–6.
21. Верхулевский К. Базовые станции Kerlink для LoRaWAN // Беспроводные технологии, 2016, с.50–55.

УДК 004.71

Агашов Джавид Дж.¹, Агашов Табриз Дж.²

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан

¹javid@iit.science.az, ²tabriz@iit.science.az

Концептуальная архитектура передачи данных в мобильных объектах на основе сети LoRaWAN

В статье анализируется текущее состояние сети LoRaWAN, показаны перспективы ее развития, и на ее основе предложена концептуальная архитектура передачи данных с подвижных объектов. В современном мире Интернет вещей (IoT) является одной из наиболее перспективных областей применения информационных технологий, и для построения сетей IoT используются различные беспроводные коммуникационные технологии. С этой целью в статье исследованы архитектура новой коммуникационной технологии LoRaWAN, сетевые свойства и области применения. Были проанализированы технические требования к построению сетей LoRaWAN, устройства LoRa и их типы. Проведен сравнительный анализ LoRaWAN и других аналогичных технологий. Были продемонстрированы преимущества использования LoRaWAN для быстрой передачи и приема данных, собранных с устройств IoT, по сравнению с другими технологиями. Эффективность предложенного подхода определяется возможностью более оперативной передачи данных.

Ключевые слова: LPWAN, LoRa, LoRaWAN, IoT/M2M, частотно-модулированные сигналы, гауссов фильтр, распределенные сети, базовые станции.

Javid J. Agashov¹, Tabriz J. Agashov²

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

¹javid@iit.science.az, ²tabriz@iit.science.az

Development of conceptual architecture for data transfer in the facilities in the movement based on LoRaWAN network

In the article, the current status of LoRaWAN network and development perspectives are analyzed, and conceptual architecture of data storage on moving objects are proposed. In the modern world, Internet of Things (IoT) is one of the most promising areas of information technology various wireless technologies are used to build IoT networks. Therefore, the article explores the architecture of the new communication technology LoRaWAN, network features and application areas. Technical requirements for LoRaWAN network construction, LoRa devices and their types are analyzed. A comparative analysis of LoRaWAN with other technologies is carried out. The advantages of using LoRaWAN compared to other technologies for the rapid transfer and loss of data collected through IoT devices are explained. Using LoRaWAN, a conceptual architecture of data transfer on moving objects is proposed. The effectiveness of the proposed approach is determined by its efficient data transmission.

Keywords: LPWAN, LoRa, LoRaWAN, IoT/M2M, frequency manipulated signals, Gaussian filter, distributed networks, base stations.