

## LoRaWAN NETWORK ARCHITECTURE

**Abstract:** This article focuses on one of the newly presented wireless technologies LoRa a technology especially developed to serve the need of the constantly growing IoT. The article presents a summary of the LoRa technology incorporating architecture elements, radio interference resistance, speed and security levels in LoRaWAN network.

**Keywords:** LoRa, LoRaWAN, IoT, Network architecture.

### Author information:

#### Dimitar Chobanov

Chief assist. prof. PhD in “Vasil Levski” National Military University, Artillery, AD and CIS Faculty – Shumen

✉ [chobanov.d@abv.bg](mailto:chobanov.d@abv.bg)  
🌐 Bulgaria

#### Zdravko Kuzmanov

Chief assist. prof. PhD in Management of Security Systems Department at Konstantin Preslavsky University of Shumen

✉ [z.kuzmanov@shu.bg](mailto:z.kuzmanov@shu.bg)  
🌐 Bulgaria

През януари 2015 година бе създадена некомерсиалната организация LoRa Alliance с цел създаване и развитие на протокола LoRaWAN в качеството на единен стандарт за глобални мрежи с ниска консумация на енергия (LPWAN – от англ. Low Power Wide Area Network). Участници на различни нива в LoRa Alliance са производители на програмно осигуряване, микроелектроника, комуникационни оператори и т.н. В организацията участват компании като: IBM, Cisco, Inmarsat, Swisscom и други.

Когато се говори за технологията LoRa се има предвид метода на модулация LoRa, разработен от Semtech и отворения протокол LoRaWAN.

Ако модулацията LoRa се явява физическо ниво (OSI media layer 1), то LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks) – това е каналния MAC слой (OSI media layer 2) за мрежи с множество възли с голям радиус на действие и ниска собствена консумация. Мрежата LoRaWAN има проста архитектура тип „звезда“ (от англ. Star) без ретранслатори и mesh-връзки. Характерно за възлите в мрежата е ниската консумация на енергия (до десет години работа със стандартни батерии тип AA), неголямата скорост на обмен на данни, голямото разстояние на връзка (15 километра в слабо урбанизирана среда и 5 километра в плътна градска среда) и ниска стойност на крайното оборудване.

Протоколът LoRaWAN е оптимизиран за крайни устройства, работещи с батерии и включва различни класове възли, обезпечавайки компромис между скоростта на доставка на информация и времето на работа на устройствата при използване на запазване от батерии (акумулатори). Протоколът осигурява пълна двустранна връзка, а архитектурата, посредством специалните методи на криптиране, осигурява общата надежност и безопасност на цялата мрежа. Архитектурата LoRaWAN е разработена с отчитане възможността за активна работа с мобилни крайни устройства (end-node), което се явява едно от бързо развиващите се направление – Интернет на нещата (IoT, от англ. Internet of Things).

В типичната LoRaWAN мрежа шлюзовете предават криптирани данни, получени от крайните устройства (end-node), на централния сървър на мрежата (Network Server) и по-нататък на сървъра на приложенията (App Server), от който данните постъпват към крайния потребител.

В LoRaWAN мрежите, за разлика например от Ethernet, шлюзовете (от англ. Gateway) също се наричат концентратори. Крайните устройства се наричат крайни възли (end-node) или

просто възли (node) или точки (point). Мрежовия стек LoRaWAN понякога се нарича и LoRaMAC, за да се подчертае, че работи на второ ниво на OSI модела OSI media layer 2 – MAC (от англ. Media Access Control). Именно така – LoRaMAC, се е наричал стандарта LoRaWAN, когато се е разработвал само от Semtech до създаването на LoRa Alliance.

В настоящия момент съществуват две open-source реализации на стека LoRaWAN: първата разработена от Semtech – LoRaMAC, а втората на IBM (LoRaWAN in C). Двете реализации използват универсални HAL драйверни устройства. Така отвореният LoRaWAN код е приложим в различно оборудване.

#### LoRaWAN end-node – крайни устройства

Крайните устройства LoRa (крайни устройства, end-node) са елементи на LoRaWAN, които изпълняват такива функции като измерване или управление и контрол. Те се разполагат отдалечено и имат, като правило, батерийно хранване. С използването на протокола LoRaWAN, тези крайни точки (end-node) могат да бъдат настроени за връзка с LoRa шлюза – концентратор или базова станция.

Данните в LoRaWAN мрежа могат да се предават двупосочно, както от крайно устройство към сървър, така и обратно. Точките (end-node) предават данни през определен интервал от време (по правило 1-5 секунди), след което отварят два времеви прозореца за приемане на данни. През останалото време трансивърите на крайните устройства се намират или в неактивно състояние (sleep) или в състояние на приемане, в зависимост от класа на устройството (A, B или C).

#### Клас А

Крайното устройство предава данни към шлюза чрез кратки съобщения по зададен график. Инициатор на обмена е крайния възел. По правило крайното устройство не се нуждае от потвърждение на своето съобщение (съобщение без квитиране), но протоколът предвижда и съобщения, на които сървърът на приложенията формира специален отговор, „квитанция“, а мрежовия сървър избира най-добрия маршрут за потвърждение в момента на отваряне на прозореца за приемане от крайния възел (съобщение с квитиране). Възелът преминава в режим на приемане (отваря прозореца за приемане) веднага след изпращане на данни за определено непродължително време, а през останалото, по-продължително време, се намира в режим на енергоспестяване или сън (sleep). Сървърът натрупва съобщенията към точките и ги предава към съответната точка веднага след като тя иницира обмен. Този клас крайни възли е най-икономичен при консумацията на енергия и е най-често използван в практиката.

#### Клас В

Крайният възел включва приемника си по график зададен от сървърът. Сървърът изпраща съобщение до крайния възел съгласно графика. Инициатор на обмена може да бъде и сървърът на LoRaWAN мрежата. Крайните устройства от този клас синхронизират вътрешното си време с времето в мрежата с помощта на маяци (от англ. beacon), които получават регулярно от шлюза. Възлите от този клас имат относително малко време на задръжка в обмена на данни и отварят по-широк прозорец за приемане в сравнение с клас А. Крайните устройства клас В също така притежават всички възможности на устройствата клас А.

#### Клас С

Крайните устройства от този клас поддържат отворен прозорец за приемане постоянно и го закриват само за кратък период от време за предаване на данни. Сървърът може да иницира обмен по всяко време и да предава съобщения към възела веднага след тяхното появяване. Този клас крайни устройства консумират най-много енергия, поради което обичайно не използват батерийно хранване, но получават данни от мрежовия LoRaWAN сървър с най-малко

закъснение (lowest latency). Устройствата клас С притежават всички възможности на устройствата клас А и В.

Точките могат да извършват обмен както с един, така и с няколко шлюза. Възлите могат да работят в два режима: точка-точка (от англ. P2P – point to point), когато обмена е между крайните устройства и шлюза (напълно реализуем е и обмен между два възела без използване на концентратори и даже сървър), и в хибриден режим, когато един от възлите е включен от едната страна по радиоканал с другите възли, а от другата има проводна връзка с мрежата по TCP/IP и изпълнява ролята на шлюз (използва се програмно осигуряване packet forwarder). Такъв едноканален минишлюз може да обслужва от един до няколко десетки крайни устройства, които се помежду си за свободни времеви слотове (от англ. time slot) на минишлюза за приемане и предаване.

#### LoRa шлюзове (концентратори)

LoRa шлюзовете са предназначени за използване в радиални звездообразни архитектури с голям радиус на действие в система LoRaWAN. Съобразно свойствата на LoRa технологията тези шлюзове могат да бъдат многоканални мултимодемни трансивъри, които са способни да демодулират едновременно няколко канала и даже едновременна демодуляция на множество сигнали в един и същи канал. Тези шлюзове използват различни радиочестотни компоненти от тези, използвани в крайните точки, за да осигурят висок капацитет на мрежата. Шлюзовете служат в качеството на интерфейс във вид на прозрачен мост за предаване на съобщения между крайните възли и централния сървър.

Връзката между концентраторите и централния сървър на LoRaWAN мрежовия оператор (транспортна backhaul мрежа) се осъществява с помощта на традиционните технологии (Ethernet, WiFi, GSM) по протокола TCP/IP.

Докато шлюзовете се включват към мрежовия сървър чрез стандартни IP – съединения, то крайните устройства използват безжично свързване към един или няколко шлюза. Всички крайни точки, като правило, са двупосочни, но също така поддържат и функциониране в режим осигуряващ възможност за осъществяване на групово обновяване на фърмуеъра по радиоканал или предаване на масови съобщения (Broadcast), което позволява да се съкрати времето за тяхното предаване. В зависимост от желаниния канален капацитет и мястото на монтаж са достъпни различни версии на шлюзовете, като те могат да бъдат монтирани както в помещение (indoor), така и на кули или сдания (outdoor).

Крайните възли в LoRaWAN мрежа могат да бъдат в зона на покритие на един или няколко шлюза. Шлюзовете в мрежи с висока плътност на абонатни устройства са специални многоканални концентратори, които имат възможност да приемат данни едновременно от няколко възела. Именно тази способност на шлюза пряко влияе на максималната плътност на крайни устройства обслужвани от един концентратор.

Концентратори изградени на базата на Semtech SX 1301 притежават възможност да обслужват до пет хиляди абонатни устройства на един квадратен километър (с два чипа SX1257, обезпечавачи двоен RF фронт-енд на 8 независими канала, които могат да работят едновременно и един транспортен backhole канал).

Капацитетът на мрежата зависи от броя на пакетите, които могат да бъдат получени в даден момент от време. Един шлюз изграден на базата на SX1301 с 8 канала, при използването на LoRaWAN, е способен да получи около 1,5 милиона пакета за денонощие. Така, ако възел изпраща един пакет на час, то един шлюз изграден с SX 1301 може с успех да обслужва до 62500 такива крайни устройства.

Понастоящем се води сериозна борба в средите на поддръжниците на различните IoT технологии и в сравнителни таблици може да се видят различно количество крайни възли обслужвани от един канал: от няколко стотин до милиони. Такива данни са неинформативни и могат да въведат в заблуда. Доколкото всеки краен възел може да изпраща данни с различна

периодичност, обема на данни и скоростта на предаване могат съществено да се различават, да се говори за теоретичния капацитет на мрежата е достатъчно сложно и за точни разчети е необходимо да се вземат предвид множество фактори.

Ако капацитета на мрежовия сегмент е недостатъчен, то LoRaWAN мрежата се мащабира: по-висока плътност на възлите, което се постига чрез инсталиране на допълнителни шлюзове. При появяване на нов шлюз, централния мрежов сървър преразпределя натоварването изпращайки на крайните устройства „нов график“ за режима на предаване.

#### Централен сървър на LoRaWAN мрежа

Проблема с възможни колизии при едновременно предаване на данни от няколко крайни устройства се решава от централния сървър на LoRaWAN мрежата, който адресно изпраща към възлите управляващи команди чрез шлюза, отделяйки тайм-слотове за предаване и приемане индивидуално за всяка крайна точка. Адресацията се извършва чрез 32-битов DevAddr, уникален за всеки възел.

Централният сървър на LoRaWAN мрежата взема решение за необходимостта от промяна на скоростта на предаване на данни от точките, мощността на предавателя, началото и продължителността по време, контролира заряда на батериите, т.е. изцяло контролира цялата мрежа и управлява всяко абонатно устройство индивидуално.

Всеки LoRaWAN пакет данни, изпращан от краен възел съдържа уникален идентификатор на приложението AppEUI, принадлежащ на приложение на сървъра на сервис-провайдера, за който е предназначен като този идентификатор се използва от централния сървър на LoRaWAN мрежата за последваща маршрутизация на пакета и неговата обработка на от приложение на сървъра на сервис-провайдера.

На практика, като правило, услуги като сервис-провайдер се предоставят от производители на крайни устройства, които поддържат обработка на данни, където се маршрутизират пакетите от сървъра на LoRaWAN мрежата за работа с тези данни от крайните ползватели.

Като частен случай, сървър на приложенията, мрежов сървър и единствен шлюз (под формата на едноканален LoRa трансивър) могат да бъдат за построяването на опростен модел на мрежа в лабораторни условия. Програмното осигуряване на мрежовия сървър не се разпространява свободно, но може да бъде получен след сключване на споразумение с LoRa Alliance.

#### Устойчивост на радиосмущения

Високата проникваща способност на радиосигнал в субгигагерцовия диапазон в сгради и подземия осигурява стабилна връзка там, където други безжични технологии се оказват безсилни.

LoRa модемът в комбиниран GMSK канал има възможност за потискане на шум до 19,5 dB (благодарение на Гаусовата филтрация) или казано с други думи може да приема и демодулира сигнали с 19,5 dB под нивото на смущенията или шума, което за правилна демодулация в болшинството системи с честотна манипулация изисква мощност на сигнала минимум с 8-10 dB над нивото на шума.

Този имунитет към шумовете позволява да се използва несложна и евтина система с LoRa технология в тези места, където има тежка спектрална обстановка (както е в всеки съвременен мегаполис) или в хибридни мрежи за връзка. В този случай използването на LoRa технология разширява диапазона на покритие на мрежата.

#### Скорост в LoRaWAN мрежа

LoRaWAN протоколът регламентира скорост на предаване от 300 бита за секунда до 50 килобита в секунда, като скоростта на предаване намалява с увеличаване на разстоянието

между приемника и предавателя. Фактически в съществуващите устройства не превишава 11 килобита в секунда, което е напълно достатъчно за решаване на дадената технологична задача.

За Европа е достъпен един GMSK канал (от англ. Gaussian Frequency-Shift Keying – честотна манипулация, при която се използва Гаусов филтър) със скоростта на предаване до 50 килобита в секунда. В Северна Америка, във връзка с ограниченията наложени от FCC (Federal Communications Commission) минималната скорост на предаване е 0,9 килобита в секунда.

За удължаване живота на батериите (акумулаторите) в крайното устройство и оптимизиране на общата пропускателна способност на мрежата, мрежовият LoRaWAN сървър управлява скоростта на предаване и мощността на предавателя на всяко крайно устройство индивидуално на основата на разстоянието от шлюза. Управлението се осъществява с помощта на алгоритъма за адаптивна скорост на предаването на данни ADR (от англ. Adaptive Data Rate). Това има решаващо значение за високата производителност на мрежата и позволява осъществяването на необходимата мащабируемост.

Адаптивната скорост на предаване на данни представлява метод, при който фактическата скорост на предаване на данни се регулира по начин осигуряващ оптимална производителност на мрежата и необходимата мащабируемост. Така например възлите по-близки до шлюза ще използват по-висока скорост на предаване на данни (следователно и по-малко време на активност в радиоканала) и по-малка изходна мощност. Само най-одалечените крайни устройства ще използват ниска скорост на предаване и висока изходна мощност на предавателя. Технологията на адаптивна скорост на предаване ADR може да внесе необходимите изменения в мрежовата инфраструктура и по такъв начин да компенсира различни загуби по трасето на предаване на сигнала.

LoRaWAN мрежата може да бъде развърната с минимални инвестиции в инфраструктура и с такъв капацитет, който е конкретно необходим за дадено приложение. Ако се инсталират голям брой шлюзове технологията ADR ще променя скоростта на предаване на данни в посока на повишаване, което може да осигури мащабиране на капацитета на мрежата в рамките на 6 до 8 пъти.

Протоколът LoRaWAN определя конкретен набор от скорости на предаване, но крайният чип или така наречения физически слой (PHY, OSI media layer 1), т.е. интегралната схема, предназначена за изпълняване функциите на физическото ниво на OSI мрежовия модел е способна да предложи повече варианти. Например, Semtech SX1272 поддържа скорости на предаване на данни от 0,3 до 37,5 килобита в секунда, а SX1276 от 0,018 до 37,5 килобита в секунда.

#### Сигурност в LoRaWAN мрежа

За защита от несанкциониран достъп и прихващане на данни, предавани от крайните устройства, в LoRaWAN мрежата е предвиден като стандарт задължително криптиране на данните на две нива с два различни AES – 128 ключа по RFC – 4493.

Осигурява се пълна конфиденциалност на данните при преминаване през всички задействани по веригата устройства, следователно съдържанието на пакета е достъпно само на изпращача (крайната точка) и получателя, за който е предназначен. Мрежовият сървър оперира с данните в криптиран вид, удостоверява и проверява целостта на пакета, като при това няма достъп до полезния товар (от англ. payload), т.е. до информацията от включените към възела сензори.

*Тази статия се реализира във връзка с Проект № РД-08-77/03.02.2017 г.) – Създаване на пространствена база данни на обектите от критичната инфраструктура в сектор енергетика (подсектор електроенергетика), финансиран от ШУ „Епископ Константин Преславски.*

**References:**

1. LoRa Alliance, 2017: WHAT IS LoRaWAN? From: <https://www.lora-alliance.org>.
2. SEMTECH, 2017: SX1301 Datasheet (sx1301.pdf). From: <http://www.semtech.com>.
3. SEMTECH, 2017: SX1257 Datasheet (sx1257.pdf). From: <http://www.semtech.com>.
4. SEMTECH, 2017: SX1272 Datasheet (sx1272.pdf). From: <http://www.semtech.com>.
5. SEMTECH, 2017: SX1276 Datasheet (sx1276.pdf). From: <http://www.semtech.com>.