

Wykorzystanie standardu LoRaWAN do budowy bezprzewodowych sieci sensorowych w inteligentnych budynkach

Bartosz Koperski, Mariusz Nowak, Agnieszka Szymborska

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach, w których ponad 60% Polaków posiada smartfony [1], nikogo nie dziwi rozwój systemów inteligentnych domów, osiedli, a nawet inteligentnych miast, które umożliwiają zdalny monitoring, nadzór oraz sterowanie wybranymi instalacjami. Ze względu na stale rosnącą popularność rozwiązań inteligentnych budynków na rynku pojawia się coraz więcej systemów oferujących takie funkcjonalności, jak: możliwość zarządzania oświetleniem, sterowanie otwieraniem/zamykaniem okien oraz rolet, sterowanie systemem HVAC, nadzorowanie oraz monitorowanie systemów przeciwpożarowych czy przeciwwłamaniowych. Wszystko to odbywa się automatycznie, w oparciu o realizację zaawansowanych inteligentnych algorytmów sterowania, między innymi dzięki zastosowaniu sieci wyspecjalizowanych czujników (temperatury, wilgotności, jakości powietrza, ruchu, obecności CO₂ lub dymu). Możliwość zbierania danych z urządzeń funkcjonujących w ramach różnych instalacji budynkowych przyczynia się do integracji instalacji, co jest podstawowym wymogiem stawianym systemom automatyki budynkowej. Jednym z problemów pojawiających się podczas projektowania systemów automatyki budynkowej jest skomunikowanie czujników i urządzeń wykonawczych, które będą ze sobą wymieniały dane. Często liczba łączonych urządzeń jest znaczna, dodatkowo rozmieszczone są w wielu, często niedostępnych miejscach oraz w znacznych odległościach pomiędzy sobą, co powoduje, że połączenia za pomocą zwykłych przewodów nie mogą zostać zastosowane. W budynkach nie zawsze jest możliwość ukrycia przewodów, a wystawienie ich na widok może psuć estetykę wnętrza, natomiast w przypadku systemów obejmujących większą powierzchnię zastosowanie przewodów może być znacznie utrudnione lub niemożliwe oraz nieuzasadnione ekonomicznie. Z pomocą mogą przyjść powszechnie wykorzystywane standardy komunikacji bezprzewodowej, które jednak posiadają określone wady. Najważniejszą wadą standardów Wi-Fi, Bluetooth oraz ZigBee jest niewielki zasięg, natomiast wykorzystanie modułów GSM wiąże się z dodatkowymi kosztami eksploatacji tego systemu. Ze względu na wymienione wady standardy komunikacji bezprzewodowej Wi-Fi, Bluetooth oraz ZigBee nie są najlepszym rozwiązaniem do budowy systemów automatyki budynkowej, wymagających zarówno znacznego zasięgu działania, jak i rozsądnego czasu pracy na zasilaniu bateryjnym. W ostatnim czasie pojawił się jednak nowy standard komunikacji bezprzewodowej – LoRaWAN (ang. *Long Range Wireless Network*), który

Streszczenie: W artykule opisano nowy standard komunikacji bezprzewodowej LoRaWAN. Przedstawiono możliwości wykorzystania sieci LoRa oraz korzyści wynikające z zastosowania standardu w zakresie komunikacji bezprzewodowej, dedykowanej między innymi dla IoT (*Internet of Things*). Dokonano porównania LoRaWAN z istniejącymi i wykorzystywanymi obecnie standardami komunikacji bezprzewodowej. Przedstawiono jedno z możliwych zastosowań sieci LoRaWAN do budowy bezprzewodowych sieci sensorowych instalowanych w inteligentnych budynkach.

CREATING WIRELESS SENSOR NETWORKS IN INTELLIGENT BUILDINGS USING LORAWAN STANDARD

Abstract: *In this article new wireless communication standard called LoRaWAN was characterised.*

Possibilities of usage and benefits of wireless communication using LoRa for IoT (Internet of Things) were presented. The LoRaWAN was compared to other wireless communication standards currently used. An example usage of LoRaWAN in intelligent buildings was described.

nie posiada wymienionych wcześniej wad. System ten zostanie bliżej przedstawiony i scharakteryzowany w dalszej części artykułu. Zostanie również przedstawiona propozycja wykorzystania technologii LoRaWAN do budowy bezprzewodowych sieci sensorowych w inteligentnych budynkach.

2. LoRaWAN

LoRaWAN jest standardem komunikacji bezprzewodowej należącym do rodziny LPWAN (ang. *Low Power Wide Area Network*), dedykowanym dla rozwiązań Internetu Rzeczy (IoT – ang. *Internet of Things*), który w przyszłości może stać się bardzo dużą konkurencją dla takich rozwiązań, jak Bluetooth, Wi-Fi czy GSM. Przeznaczeniem technologii LoRa jest realizacja komunikacji na bardzo duże odległości przy bardzo niskim koszcie zużycia energii. Technologia ta ukierunkowana została na przesyłanie małych ilości danych z wykorzystaniem algorytmu szyfrującego AES kluczem 128-bitowym. Sieć LoRa bazuje na technologii rozpraszania widma CSS (ang. *Chirp Spread*

Tabela 1. Porównanie wartości poboru prądu przez różne moduły komunikacji bezprzewodowej [2–8]

Nazwa modułu	Standard	Maksymalny pobór prądu w zależności od trybu pracy			
		Uśpienie (Sleep)	Bezczynny (Idle)	Odbiór (Receive)	Nadawanie (Transmit)
ESP8266	WiFi	0,9 mA	15 mA	56 mA	170 mA
NRF51822	Bluetooth	1,2 uA	2,6 uA	13 mA	11,8 mA
Xbee	ZigBee	-	-	45 mA	50 mA
nRF24L01	RF 2.4 GHz	22 uA	0,3 mA	12,3 mA	11,3 mA
RFM69HCW	RF 868 MHz	0,1 uA	1,2 uA	16 mA	130 mA
Fibocom G610	GSM	2,3 mA	21 mA	343 mA*	343 mA*
SX1272	LoRa	0,1 uA	1,5 uA	10 mA	125 mA

* w nocie katalogowej brak rozróżnienia na nadawanie i odbiór

Spectrum). LoRa wykorzystuje protokół asynchroniczny, a zastosowana modulacja pozwala na odbiór sygnałów 22 dB poniżej progu szumów. W omawianej sieci komunikacja realizowana jest dwukierunkowo w półduplexie w topologii gwiazdy. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną zalety i wady standardu LoRaWAN oraz opisana zostanie propozycja budowy sieci sensorowej z wykorzystaniem nowej, przedstawianej w artykule technologii.

2.1. Zalety standardu LoRaWAN

Pierwszą zaletą LoRaWAN jest niskie zapotrzebowanie na energię urządzeń używanych do komunikacji, gwarantowane poprzez realizację adaptacyjnego dostosowywania mocy nadajnika i szybkości transmisji do aktualnych warunków propagacyjnych. Przykładowy moduł SX1272 firmy Semtech, w zależności od wybranej mocy nadajnika, pobiera przy nadawaniu od 18 mA (przy 7 dBm) do 125 mA (przy 20 dBm), 10 mA podczas odbierania i zaledwie 1,5 μ A w stanie bezczynności [2]. Tak niski poziom zużycia energii pozwala na bardzo długi czas pracy czujnika na jednej baterii, a nawet całkowitą rezygnację z zasilania bateryjnego na rzecz rozwiązań typu *energy harvesting*, czyli wykorzystania dostępnej w miejscu zainstalowania urządzenia energii pozyskiwanej z niewielkich ogniw fotowoltaicznych bądź elementów piezoelektrycznych. Porównanie zapotrzebowania na energię elektryczną różnych modułów komunikacji bezprzewodowej, pracujących według różnych standardów, przedstawione zostało w tabeli 1.

Kolejnym atutem standardu LoRaWAN jest bardzo duży zasięg. Bluetooth oraz WiFi można wykorzystać jedynie przy komunikowaniu urządzeń na niewielkie odległości, jednak w sytuacji, w której istnieje potrzeba zbierania danych z rozległego obszaru, stworzenie takiej sieci za pomocą wspomnianych standardów komunikacji jest niepraktyczne, natomiast wykorzystanie sieci GSM kosztowne. LoRaWAN oferuje znaczny zasięg, przykładowo transceivery firmy Semtech, obsługujące standard LoRaWAN, mają zasięg do 5 km w środowisku miejskim oraz do 15 km w terenie otwartym [9]. Dla przykładu – zaledwie 10 bramek jest wystarczających do pokrycia zasięgiem siecią LoRaWAN całego Amsterdamu [10].

Dodatkową korzyścią z zastosowania standardu LoRaWAN jest fakt, że wykorzystanie go nie wymaga ponoszenia żadnych

dodatkowych opłat, ze względu na wykorzystanie nielicencjonowanych pasm częstotliwości ISM (433 MHz, 868 MHz oraz 915 MHz) [11].

Do sieci LoRaWAN można podłączyć miliony urządzeń, a więc może ona z powodzeniem być wykorzystywana jako rozwiązanie komunikacyjne nie tylko dla pojedynczego domu, ale również dla inteligentnych osiedli, a nawet inteligentnego miasta. Pomimo tego, że standard LoRaWAN jest dostępny na rynku od niedawna, jego potencjał dostrzeżono już w takich krajach, jak: Anglia, Francja, Holandia czy Rosja, a wiele europejskich i światowych firm telekomunikacyjnych realizuje już projekty określane mianem Smart City [12].

2.2. Wady i ograniczenia standardu LoRaWAN

Najważniejszym ograniczeniem sieci LoRaWAN jest szybkość transmisji danych, która waha się między 0,3 a 50 Kbps [13]. Jest to prędkość wystarczająca w przypadku tworzenia sieci czujników – zazwyczaj nie potrzebujemy próbkować wielkości mierzonej częściej niż kilka razy na sekundę.

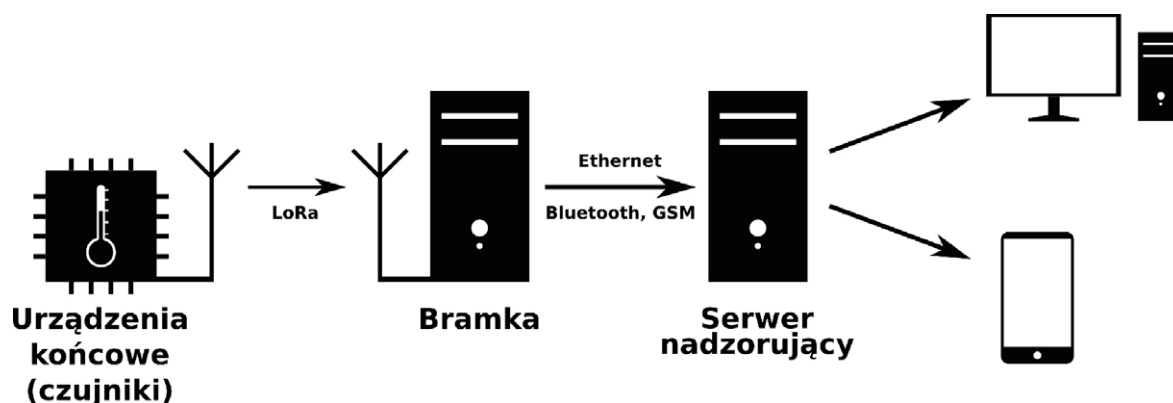
Kolejną wadą sieci LoRaWAN jest cena modułów komunikacyjnych – moduły oferowane przez firmy Semtech oraz Microchip są obecnie dostępne w cenie około 10 \$, co niejednokrotnie może stanowić ponad połowę kosztu wykonania urządzenia wykorzystującego standard LoRaWAN.

Przy planowaniu wykorzystania standardu LoRaWAN należy też uwzględnić fakt, że zasięg sieci jest w obszarze gęsto zabudowanym znacznie mniejszy niż reklamowane przez producentów kilkanaście kilometrów. Jednak wciąż jest to dystans znacznie większy od tych proponowanych przez pozostałe dostępne na rynku standardy komunikacji bezprzewodowej.

2.3. Budowa systemu komunikacji bezprzewodowej opartej na LoRaWAN

Na rysunku 1 przedstawiony został ogólny schemat komunikacji bezprzewodowej z wykorzystaniem LoRaWAN. Komunikacja realizowana jest od urządzenia końcowego, poprzez bramkę, do serwera nadzorującego.

Sieć LoRaWAN jest zbudowana w topologii gwiazdy. Sieć jest zarządzana przez specjalny serwer, który jest odpowiedzialny za nadzorowanie parametrów sieci LoRaWAN (m.in. dynamicznie ustala prędkość transmisji, indywidualnie dla każdego



Rys. 1. Schemat ogólny systemu komunikacji bezprzewodowej opartego na technologii LoRaWAN

urządzenia końcowego połączonego z siecią LoRaWAN) oraz umożliwi komunikację z siecią LoRaWAN urządzeniom połączonym z serwerem, np. za pomocą sieci Internet. Serwer nadzorujący nie jest połączony z siecią LoRaWAN bezpośrednio, lecz za pośrednictwem specjalnych bramek, często za pomocą innych standardów komunikacji, np. Ethernet, Wi-Fi, sieć GSM.

Komunikacja w standardzie LoRaWAN pozwala na multicasting, czyli wysyłanie jednej wiadomości do wielu odbiorców jednocześnie, co może być przydatne np. w trakcie aktualizacji oprogramowania urządzeń końcowych, znacznie ograniczając w ten sposób wymaganą do przesłania wielkość danych [13].

3. Przykład implementacji – bezprzewodowa sieć sensorów monitorujących parametry środowiska wewnętrznego w inteligentnych budynkach

W ramach prac badawczych zrealizowany zostanie system bezprzewodowych sieci sensorowych zainstalowanych w kilku inteligentnych budynkach kampusu uczelni. Sieci sensorowe wyposażone zostaną w przetworniki pomiarowe gwarantujące zbieranie danych o parametrach mikroklimatu wewnątrz budynków z różnych stref i pomieszczeń. Dane zbierane będą z sal wykładowych, sal laboratoryjnych i pomieszczeń pracowniczych, usytuowanych zarówno w nowoczesnych, energooszczędnych budynkach wyposażonych w zintegrowane instalacje budynkowe oraz w budynkach pasywnych, jak i w budynkach bez zaawansowanej automatyki budynkowej. Dane pozyskiwane z sieci sensorowych, charakteryzujące poziom komfortu mikroklimatycznego i preferencje użytkowników, będą wiązane z danymi dotyczącymi zużycia energii konwencjonalnej oraz energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych. Dane o zużyciu energii pozyskiwane będą z systemu BMS (ang. *Building Management System*). Zestawienie informacji o zużyciu energii i wartościach komfortu mikroklimatycznego w odpowiednich budynkach będzie bazą do dalszych analiz z zakresu automatyki budynkowej oraz ekonomii.

Układy przetworników pomiarowych służące do pomiaru parametrów mikroklimatu wewnątrz inteligentnych budynków będą składały się z prostego mikrokontrolera oraz połą-

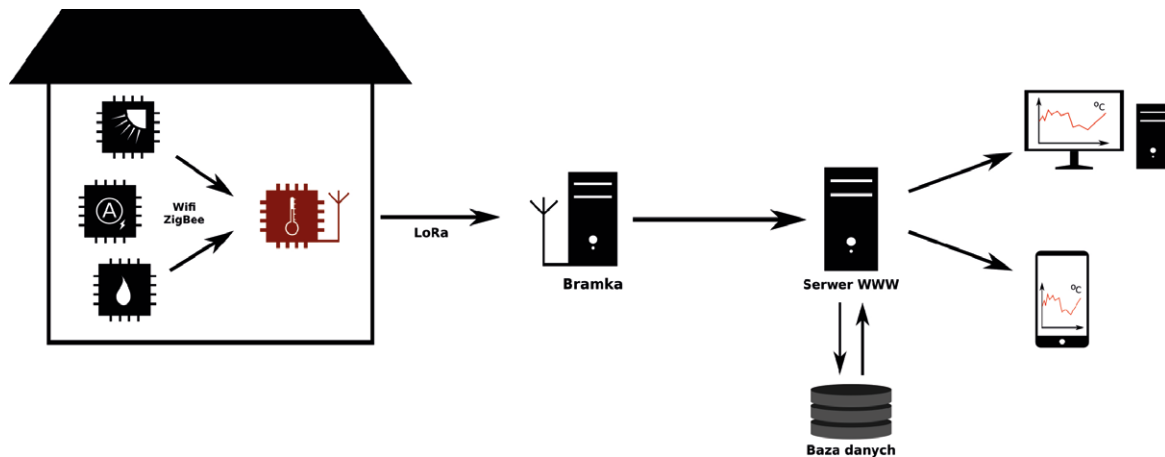
czonych z nim różnych sensorów. Z racji znacznie wyższych cen modułów LoRaWAN w stosunku do dostępnych na rynku innych, funkcjonujących od dłuższego czasu rozwiązań komunikacji bezprzewodowej oraz braku konieczności zapewnienia znacznego zasięgu komunikacji w ramach jednego budynku, czujniki będą się komunikować za pomocą ogólnie dostępnych modułów komunikacji bezprzewodowej. Rozwiązanie komunikacji bezprzewodowej wykorzystujące różne standardy zostało przedstawione na rysunku 2.

Aby mieć możliwość zbierania danych z przetworników pomiarowych, ich analizy oraz przechowywania, należy zapewnić połączenie pomiędzy sensorami a serwerem przechowującym i analizującym dane. W tym celu w każdym budynku jeden z czujników będzie posiadał dodatkowy moduł do komunikacji w standardzie LoRaWAN i za jego pomocą będzie przekazywał do bramki wartości pomiarów zebrane od pozostałych czujników w danym budynku. Czujnik taki został wyróżniony na rysunku 2 kolorem bordowym. Bramka po zebraniu danych z czujnika przekaże dane do serwera WWW, który będzie odpowiedzialny za odbieranie paczek danych i przechowywanie ich w bazie danych. Dodatkową funkcjonalnością serwera WWW i bazy danych będzie udostępnianie wyników pomiarów w sieci lokalnej lub za pomocą stron internetowych, w odpowiedni sposób zwizualizowanych, np. w formie wykresów statystycznych.

System taki, standardowo ukierunkowany na zbieranie danych z przetworników pomiarowych, będzie rozbudowany o komunikację dwukierunkową, która pozwoli na zaoferowanie użytkownikowi możliwości sterowania urządzeniami automatyki budynkowej poprzez stronę WWW. Serwer WWW po otrzymaniu odpowiedniego żądania będzie poprzez bramkę LoRaWAN wysyłał polecenia do odpowiednich elementów wykonawczych.

4. Podsumowanie

LoRaWAN jest nowym standardem komunikacji bezprzewodowej, który bardzo szybko zdobywa popularność. Łączy wiele zalet oferowanych przez dostępne już na rynku standardy



Rys. 2. Propozycja architektury sieci czujników do pomiaru mikroklimatu w inteligentnych budynkach

komunikacyjne, oferując dodatkowe, zwiększające efektywność rozwiązania. Urządzenia korzystające z LoRaWAN mogą być zasilane z jednej baterii nawet kilka lat, oferując dodatkowo znaczny zasięg, nawet do kilkunastu kilometrów, przy jednoczesnym zerowym koszcie użytkownika, co preferuje je do zastosowań m.in. w dziedzinie inteligentnego budownictwa. Technologia LoRaWAN bardzo dobrze nadaje się do realizacji niskoprzepustowej transmisji danych dla aplikacji Internetu Rzeczy (IoT) oraz Machine-to-Machine (M2M) łącząc w sieć miliony urządzeń końcowych [14]. LoRaWAN nadaje się zatem do zastosowań wspierających idee inteligentnych domów, osiedli, a nawet całych miast. Amerykańskie przedsiębiorstwo analityczno-doradcze Gartner, specjalizujące się w zagadnieniach strategicznych wykorzystania technologii oraz zarządzania technologiami, przewiduje, że do 2020 roku na świecie będzie około 25 miliardów rzeczy połączonych w sieć [15]. Na dzień dzisiejszy technologia LoRaWAN jest jednym z najlepszych rozwiązań komunikacyjnych dla realizacji tego typu specyficznych sieci komunikacyjnych.

Literatura

- [1] MIKOWSKA M.: *Nowy raport Polska. Jest. Mobi 2015*, <https://mobi-rank.pl/2015/05/28/nowy-raport-polska-jest-mobi-2015/>
- [2] SEMTECH, SX1272/73- 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver, Datasheet, <http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1272.pdf>
- [3] ESP 8266EX Datasheet, version 4.3, https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf
- [4] nRF 51822 Product Specification, <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-Smart-Bluetooth-low-energy/nRF51822>
- [5] XBee/XBee-PRO RF Modules, Product Manual v1.xEx – 802.15.4 Protocol, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>
- [6] nRF24L01 Product Specification, <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>
- [7] RFM69 HCW Datasheet, <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69HCW-V1.1.pdf>
- [8] Fibocom G610, G610 Hardware User Manual, http://www.fibocom.com/upfile/down/file_2_3_3_2_11_4.pdf
- [9] SEMTECH, LoRa, Wireless RF Solutions, https://www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/ism_sg.pdf
- [10] GIEZEMAN W.: *The Things Network Launches World's First Crowdfunded Internet of Things Data Network in Amsterdam and The World is Next*, <http://thethingsnetwork.pr.co/108437-the-things-network-launches-world-s-first-crowdfunded-internet-of-things-data-network-in-amsterdam-and-the-world-is-next>
- [11] POOLE I.: *LoRa Physical Layer & RF Interface*, <http://www.radioelectronics.com/info/wireless/lora/rf-interface-physical-layer.php>
- [12] BALLARD B.: *LoRa driving IoT projects from London base*, <http://www.internetofbusiness.co.uk/insight/2016/02/18/lora-driving-iot-projects-from-london-base/>
- [13] LoRa Alliance Website, LoRa Technology, <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology>
- [14] POOLE I.: *LoRa Wireless for M2M & IoT*, <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/basics-tutorial.php>
- [15] Gartner, Inc., <http://www.gartner.com/technology/home.jsp>

dr inż. Mariusz Nowak – adiunkt w Instytucie Informatyki na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej,
e-mail: Mariusz.Nowak@put.poznan.pl

Bartosz Koperski, Agnieszka Szymborska – studenci kierunku Informatyka na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej,
e-mail: Bartosz.Koperski@student.put.poznan.pl;
e-mail: Agnieszka.Szymborska@student.put.poznan.pl