

Bezprzewodowy system automatyki domowej pracujący w standardzie sieci Z-Wave

Marek Długosz, Jacek Chronowski, Jerzy Baranowski, Paweł Piątek, Wojciech Mitkowski, Paweł Skruch
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

Streszczenie: W ostatnich latach można zaobserwować wzrost popularności urządzeń, które wykorzystują bezprzewodową transmisję danych. Standardy komunikacji bezprzewodowej, takie jak Wi-Fi, Bluetooth, RFID, są powszechnie wykorzystywane w wielu urządzeniach codziennego użytku. Ta technologiczna zmiana nie ominęła także szeroko pojętych systemów automatyki domowej. Jeszcze do niedawna w tego typu układach sterownia prym wiodły różnego rodzaju przewodowe standardy komunikacji. Są to standardy opracowywane specjalnie pod zastosowania w układach automatyki domowej (np. BACNet, KNX), czy też adaptacje przemysłowych standardów sieci przesyłu danych (np. CAN).

Aktualnie istnieje kilka zdefiniowanych standardów komunikacji bezprzewodowej, które można wykorzystać w układach automatyki domowej, są to np.: EnOcean, INSTEON, MyriaNed, One-Net, ZigBee. W pracy zaprezentowano kilka przykładowych urządzeń wykorzystujących do komunikacji standard Z-Wave. Są to typowe urządzenia, które wykorzystuje się w układach automatyki domowej i są ogólnodostępne na rynku. Wybrane urządzenia zostały przebadane pod kątem dostępnej funkcjonalności, możliwości budowy systemu automatyki domowej, niezawodności działania, możliwości implementowania nietypowych rozwiązań czy też algorytmów sterowania.

Słowa kluczowe: inteligentny budynek, sieci bezprzewodowe, programowanie, Z-Wave

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach można zaobserwować szybki rozwój systemów automatyki domowej (ang. *Home Automation System*). Stosowanie tego typu systemów sterowania małymi budynkami lub lokalami mieszkalnymi przynosi szereg korzyści użytkownikom, ale też wiąże się ze znacznymi nakładami finansowymi oraz organizacyjnymi. Obecnie stosuje się kilka standardów przewodowych systemów automatyki domowej. Systemy przewodowe są jednak obciążone pewnymi wadami. Jedną z nich jest konieczność zaplanowania i montażu całego systemu na etapie budowy budynku. W przypadku budownictwa indywidualnego może stanowić to istotną przeszkodę w ich stosowaniu.

Tej wady wydają się być pozbawione bezprzewodowe systemy automatyki domowej, które zyskują coraz większą popularność. Wśród standardów sieci bezprzewodowych, które są wykorzystywane do budowy systemów automatyki domowej można wyróżnić standardy otwarte i zamknięte [2, 3, 7]. Przykładem otwartego standardu sieci bezprzewodowych jest np. ZigBee, przykładem zamkniętego np. Z-Wave [4]. W przypadku standardów otwartych,

dostęp do ich specyfikacji jest ogólnie dostępny. Standardy takie najczęściej są opracowywane przez różnego rodzaju organizacje rządowe albo przez grupy producentów. Otwarty dostęp do dokumentacji może znacząco przyczynić się do wzrostu popularności takiego standardu. W przypadku zamkniętych standardów, dostęp do specyfikacji może, ale nie musi być ogólnodostępny (tak jest w przypadku Z-Wave). Standardy zamknięte są najczęściej opracowywane przez pojedyncze firmy chcące chronić i kontrolować podmioty korzystające z ich rozwiązań. Oprócz kwestii dostępności do specyfikacji danego standardu istotnym argumentem przemawiającym za lub przeciw jego stosowaniu jest dostępność i funkcjonalność konkretnych urządzeń. Obecnie spora liczba urządzeń systemów automatyki domowej oferowana jest w standardzie Z-Wave. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest to, iż specyfikacja Z-Wave została opracowana i wprowadzona na rynek znacznie wcześniej niż ZigBee.

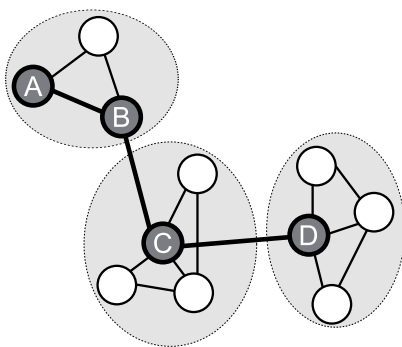
Celem niniejszej pracy jest przetestowanie i opisanie wybranych urządzeń automatyki domowej pracujących w standardzie Z-Wave. Urządzenia te są typowymi urządzeniami wykorzystywanymi przy budowie systemów automatyki domowej, np.: centralka, przełączniki, ściemniacze, czujniki (temperatury, wilgotności i natężenia oświetlenia), głowica termostatyczna. Zostaną także opisane dwa sposoby logowania danych z czujników pomiarowych.

Zagadnienie to jest tematem projektu „Algorytmy sterowania i zarządzania budynkami mieszkalnymi” nr N N514 644440 realizowanego z funduszy Narodowego Centrum Nauki.

2. Standard Z-Wave

Z-Wave (<http://www.z-wave.com>) jest bezprzewodowym protokołem zaprojektowanym przez firmę ZenSys przeznaczonym do urządzeń automatyki domowej [4, 8]. Technologia Z-Wave nie jest otwartym standardem komunikacji bezprzewodowej urządzeń automatyki domowej, ale ze względu na jej popularność oraz liczbę dostępnych urządzeń jest bardzo popularna i często stosowana. Firmy produkujące urządzenia Z-Wave zrzeszone są w Z-Wave Alliance (<http://www.z-wavealliance.org>). Pierwsze trzy generacje układów Z-Wave nie miały możliwości sprzętowego szyfrowania przesyłanych danych [5]. Można było w sposób programowy włączyć szyfrowanie danych, ale nie było to obligatoryjne. Brak szyfrowania stanowił pewną lukę, która mogła być wykorzystana do przejęcia kontroli nad takim systemem sterowania. W aktualnie produkowanej

czwartej wersji chipów obsługujących komunikację Z-Wave wprowadzono sprzętowe szyfrowanie przesyłanych danych. Urządzenia sieci Z-Wave mogą pracować tylko w topologii sieci *mesh*. Struktura takiej sieci jest tworzona w sposób automatyczny, bez ingerencji użytkownika (rys. 1). Roz-



Rys. 1. Sposób komunikowania się urządzeń niemających fizycznego połączenia w sieci Z-Wave
Fig. 1. The way of communications between Z-wave devices which are not physically connected

poznawane są urządzenia w niej pracujące oraz wytyczane są trasy przesyłania pakietów danych do poszczególnych urządzeń. W sieci Z-Wave mogą pracować dwa typy urządzeń: kontrolery i urządzenia końcowe (ang. *slave*). Część urządzeń w sieci oprócz tego, że wykonuje odebrane komendy, może przekazywać komunikaty do następnych urządzeń. Dzięki takiemu rozwiązaniu dwa urządzenia, które są poza swoim zasięgiem, mogą się bez problemu komunikować, przez co zwiększa się zasięg całej sieci [4; s. 100–102]. Na rys. 1 linią pogrubioną przedstawiono przykładową drogę komunikacji między urządzeniami A i D. Jak widać, w komunikacji biorą udział także urządzenia B i C jako przekaźniki komunikatów. Każde kolejne urządzenie biorące udział w przekazie wprowadza opóźnienie w ich przesyłaniu. Może to być przyczyną wydłużenia czasu reakcji urządzenia końcowego, do którego był adresowany komunikat. Nie każde urządzenie w sieci może pełnić rolę tzw. *repeatera* komunikatów. Część urządzeń pracujących w sieci Z-Wave może być zasilana bateryjnie. Aby maksymalnie wydłużyć czas działania takich urządzeń, są one wprowadzane w stan uśpienia, tzw. *standby*. Komunikują się jedynie w określonych chwilach czasowych albo w przypadku wystąpienia określonego zdarzenia. W sieci Z-Wave jedno z urządzeń musi pełnić rolę tzw. kontrolera. Jest to specjalne urządzenie, którego głównym zadaniem jest zarządzanie siecią, dodawanie lub usuwanie urządzeń z sieci, wyznaczanie i zarządzanie trasami routingu. W tabeli 1 zamieszczono podstawowe parametry techniczne standardu Z-Wave.

3. Urządzenia Z-Wave

W ramach realizowanego projektu badawczego zaprojektowano i wykonano stanowisko do badania bezprzewodowych urządzeń automatyki domowej. Do budowy stanowiska wykorzystano dostępne na rynku urządzenia. Starano się uzyskać odpowiedź na pytanie, czy na takich urządzeniach można implementować zaawansowane algorytmy sterowania (np. stabilizacji temperatury na podstawie modelu matematycznego pomieszczenia).

Tab. 1. Podstawowe parametry sieci bezprzewodowej Z-Wave
Tab. 1. The main parameters of Z-Wave wireless networks

Częstotliwość pracy (MHz)	868/906 2400 – w układach serii 400
Zasięg (m)	30 – w pomieszczeniach 100 – na zewnątrz
Prędkość transmisji (kb/s)	9,4 40 – w układach serii 200 200 – w układach serii 400
Wielkość wiadomości (byte)	64
Kontrola błędów	8-bitowa suma kontrolna ACKs (opcjonalnie)
Bezpieczeństwo	AES 128 bit – w układach serii 400
Wielkość i rodzaj pamięci	32–64 kB flash 2–16 kB SRAM
Identyfikatory	32-bitowy <i>home ID</i> 8-bitowy <i>node ID</i>

3.1. Centralka

W zbudowanym stanowisku laboratoryjnym wykorzystano kontroler (centralkę) Vera3 firmy Micasaverde. Nie jest to jedyny dostępny kontroler sieci Z-Wave na rynku. Swoje wersje kontrolerów opracowały takie firmy jak Fibaro, Aeon Labs, HomeSeer. Centralka Vera3 bazuje na procesorze 500 MHz MIPS SoC, ma 32 MB pamięci flash, 32 MB pamięci SDRAM i 128 MB pamięci DDR2. Wyposażona jest także w dwa porty USB, jeden port sieci WAN, 4 porty sieci LAN oraz moduł do komunikacji z urządzeniami sieci Z-Wave. Ma także wbudowany access point Wi-Fi w standardzie 802.11n. Centralka pracuje pod kontrolą popularnego, w tego typu urządzeniach (domowe routery sieciowe), systemu Linux OpenWRT. Sama centralka



Rys. 2. Kontroler Vera3
Fig. 2. Control unit Vera3

oprócz komunikacji i zarządzania urządzeniami Z-Wave może także pełnić funkcję domowego routera sieciowego. W kontrolerze Vera3 zainstalowane jest także odpowiednie oprogramowanie do zarządzania bezprzewodowymi urządzeniami automatyki domowej. Oprogramowanie to jest dostępne dla użytkownika poprzez interfejs WWW. Za jego pomocą można dodawać, wykluczać urządzenia, tworzyć bezpośrednie połączenia (tzw. asocjacje) między urządzeniami lub tworzyć tak zwane sceny. Termin scena oznacza pewien scenariusz działania (listę rozkazów do wykonania), które wykonywane są okresowo, co jakiś czas, lub w zależności od wystąpienia zdefiniowanego zdarzenia. Dodatkowo



Rys. 3. Przykład ekranu kontrolnego centralki Vera3
Fig. 3. Example view of control screen of Vera3 controller

możliwe jest programowanie centralki (pisanie skryptów) z wykorzystaniem języka LUA (<http://www.lua.org/>) (ściślej języka Luup, czyli LUA wzbogaconego o obsługę komunikatów protokołu UPnP). Centrałka Vera3 umożliwia też komunikację z urządzeniami sieci przez interfejs API. Poprzez odpowiednie wywołania HTTP (format przesyłu danych XML lub JSON) można wysyłać i odbierać dane do/z urządzeń lub wykonywać na nich określone akcje. W takim przypadku sama centrałka pełni tylko rolę pośrednika przy komunikacji z urządzeniami, a dzięki tej funkcjonalności można stworzyć swoje własne oprogramowanie do zarządzania urządzeniami automatyki domowej. Niestety, jest to komunikacja jednokierunkowa, tj. centrałka wysyła informacje tylko po odebraniu odpowiedniego żądania. Taki sposób komunikacji może nie być wystarczający, np. w przypadku urządzeń baterijnych czy też urządzeń raportujących wystąpienie jakiegoś zdarzenia (np. czujnik ruchu, dymu).

3.2. Przełącznik

Jednym z podstawowych zadań realizowanych w układach automatyki domowej jest włączanie lub wyłączanie odpowiednich urządzeń elektrycznych. Większość zastosowań tego typu dotyczy sterowania oświetleniem. Przy budowie stanowiska wykorzystano przełącznik FGS221. Jest to przełącznik firmy Fibaro; umożliwia on niezależne załączanie dwóch urządzeń o mocy nieprzekraczającej 1,5 kW każde. Przełącznik FGS221 zasilany jest z sieci elektrycznej w związku z czym nie ma konieczności, aby przechodził on w stan uśpienia. Zgodnie ze specyfikacją standardu Z-Wave, urządzenie takie może pośredniczyć przy przekazywaniu komunikatów do innych urządzeń Z-Wave pozostających poza zasięgiem samej centralki. Wymiary przełącznika pozwalają na jego bezproblemowy montaż w standardowej puszce elektrycznej. Sam przełącznik może być sterowany na dwa sposoby: przez włącznik bistabilny, który zwraca odpowiednie styki albo odbierając rozkazy z centralki lub innego urządzenia sieci.

3.3. Ściemniacz

Innym rodzajem urządzeń wykorzystywanych do sterowania oświetleniem są ściemniacze, które oprócz funkcji załączania mogą także regulować natężenie oświetlenia. W opisywanym stanowisku wykorzystano ściemniacz firmy Aeon Labs o nazwie *Micro Smart Dimmer*. Podobnie jak w przypadku przełącznika FGS221 wymiary opisywanego urządzenia są na tyle małe, iż bez problemu można je montować w standardowych puszkach elektrycznych. Przełącznik jest zasilany z sieci elektrycznej. Załączanie i regulacja jasności oświetlenia może odbywać się sprzętowo (zamontowany standardowy przełącznik monostabilny) lub programowo (oprogramowanie centralki).

3.4. Czujnik temperatury i wilgotności

W zrealizowanym stanowisku wykorzystano czujnik temperatury i wilgotności firmy Everspring o oznaczeniu ST814. Oprócz temperatury urządzenie to mierzy także wilgotność powietrza. Możliwe jest także zaprogramowanie wartości maksymalnej i minimalnej temperatury oraz wilgotności, których przekroczenie będzie raportowane do centralki. Termostat ST814 jest rodzajem urządzenia zasilanego z baterii, w związku z tym po przesłaniu informacji do centralki przechodzi w stan uśpienia (nadawanie danych jest sporym wydatkiem energetycznym). Aktualne dane o temperaturze i wilgotności są przesyłane okresowo po upływie czasu uśpienia. Jeśli temperatura obniży się (lub wzrośnie) a urządzenie jest w stanie uśpienia, to układ sterowania powinien się o tym dowiedzieć niezwłocznie tak, aby odpowiednio szybko zareagować. W opisywanym czujniku rozwiązano ten problem w taki sposób, że termostat raportuje zmianę temperatury, gdy wielkość tej zmiany przekroczy ustalony poziom. Dzięki temu, jeśli temperatura w danym pomieszczeniu jest stała, to urządzenie nie wysyła tych informacji (poza okresami wybudzenia), oszczędzając baterie.



Rys. 4. Czujnik temperatury i wilgotności
Fig. 4. Temperature and humidity sensor

3.5. Głowica termostatyczna

Obecnie jedyną głowicą termostatyczną, która pracuje w standardzie Z-Wave jest głowica firmy Danfoss, model Living Connect. Głowica ta jest częścią systemu firmy Danfoss do bezprzewodowego sterowania temperaturą. Ponieważ głowica termostatyczna pracuje w standardzie Z-Wave, w związku z tym powinna istnieć możliwość sterowania nią za pomocą innego kontrolera sieci Z-Wave niż opracowany przez firmę Danfoss. Niestety, pomimo deklaracji zgodności z standardem Z-Wave, nie wszystkie funkcjonalności opisywanej głowicy termostatycznej są dostępne

w innych centralkach (np. brak możliwości odczytu temperatury mierzonej przez samą głowicę). W praktyce można również zaobserwować, że centralka nie zawsze może skomunikować się z głowicą. Sytuacja taka zachodzi nawet, gdy odległość centralki od głowicy to tylko kilka metrów, więc raczej można wykluczyć potencjalną utratę zasięgu sieci. Opisywana przypadłość może być bardzo uciążliwa w przypadku stosowania odpowiedniego harmonogramu zmian temperatury w danym pomieszczeniu. Sytuacja braku komunikacji z głowicą może skutkować tym, że temperatura w pomieszczeniu pozostanie niezmienną. Przykładowo, według harmonogramu o godzinie 6:30 w dzień roboczy system ma zmienić temperaturę w łazience z 17 °C na 22 °C. Jeżeli nie dojdzie do przesłania nowej wartości zadanej (22 °C), to głowica będzie pracować z poprzednią (19 °C), do następnej zmiany temperatury, czyli np. do wieczora. Nie do końca jest też jasne, jakiego typu regulator zaimplementowano w opisywanych głowicach. Producent deklaruje, że jest to regulator PID. W praktyce można zaobserwować, że po zmianie wartości zadanej za pośrednictwem sieci Z-Wave silnik głowicy reaguje wolniej, np. dopiero po godzinie. Może to być uciążliwe w sytuacji, gdy chcemy szybko podgrzać pomieszczenie. Rozwiązaniem jest ręczna zmiana wartości zadanej za pomocą przycisków umieszczonych na głowicy. Głowica, podobnie jak termostat, jest urządzeniem zasilanym z baterii, w związku z czym co jakiś czas przechodzi w stan uśpienia, trwający 5 minut. Producent deklaruje, iż przy normalnej pracy urządzenie powinno działać bez wymiany baterii około 2 lat.



Rys. 5. Bezprzewodowa głowica termostatyczna Danfoss Living Connect

Fig. 5. Wireless radiator thermostat Danfoss Living Connect

3.6. Uniwersalny czujnik binarny

Firma Fibaro opracowała urządzenie o nazwie *Univesal Binary Sensor* (FGBS321), które umożliwia integrację istniejących przewodowych systemów alarmowych z bezprzewodowym systemem automatyki domowej. Dodatkowo urządzenie to umożliwia pomiar temperatury z czterech czujników DS18B20. Czujnik jest zasilany z zewnętrznego źródła (np. przewodowy sensor ruchu). Dokładność pomiaru temperatury wynosi 0,5 °C.

3.7. Multisensor

Wśród urządzeń pracujących w standardzie Z-Wave znajdują się także multisensory. Urządzenia takie zazwyczaj mierzą równocześnie kilka parametrów, jak: temperatura, wilgotność, natężenie oświetlenia a także mają wbudowany



Rys. 6. Uniwersalny czujnik binarny

Fig. 6. Universal Binary Sensor

czujnik ruchu. Jednym z takich urządzeń jest multisensor Aeon Labs. Prezentowane urządzenie może być zasilane z baterii lub z zewnętrznego źródła napięcia. Zasilanie baterijne daje swobodę montażu czujnika w dowolnym, dogodnym miejscu, natomiast ogranicza czas raportowania pozostałych danych.



Rys. 7. Multisensor Aeon Labs

Fig. 7. Multisensor Aeon Labs

4. Przykłady zaimplementowanych funkcjonalności

Funkcjonalność układu automatyki domowej w dużej mierze jest uzależniona od funkcjonalności samych urządzeń końcowych, możliwości zmiany ich lokalizacji lub modyfikacji całego układu. Funkcjonalność bezprzewodowych urządzeń automatyki domowej jest już w zasadzie identyczna z funkcjonalnością przewodowych urządzeń. W większości przypadków bez problemu można znaleźć bezprzewodowe urządzenie końcowe o takiej samej funkcjonalności jak urządzenie przewodowe. W bezprzewodowych systemach automatyki domowej można w prostszy i szybszy sposób realizować różne funkcjonalności, które nie były przewidziane na etapie projektowania samego systemu a konieczność ich realizacji wynika z różnych czynników, które wystąpiły w trakcie użytkowania systemu. Przede wszystkim można łatwo modyfikować, np. zmieniać role samych urządzeń końcowych, a także implementować nowe algorytmy współdziałania urządzeń. Oprócz zmian, które umożliwiają łatwe programowanie takich systemów, można także zmieniać samą strukturę fizyczną systemu automatyki przez dodawanie, usuwanie lub zmianę lokalizacji urządzeń.

4.1. Logowanie temperatury

Jednym z zadań bezprzewodowego systemu automatyki domowej jest stabilizacja temperatury wewnątrz kontrolowanych pomieszczeń. Z jednej strony użytkownik oczekuje utrzymania ustawionej przez niego temperatury, z drugiej strony istnieje szereg czynników zakłócających mających wpływ na temperaturę powietrza (np. temperatura zewnętrzna, wiatr, stopień nasłonecznienia, liczba osób

przebywających w pomieszczeniu itd.). Chcąc więc skutecznie sterować wartością temperatury, musimy znać jej aktualną wartość, a także znać model matematyczny, który co najmniej w przybliżeniu opisuje dynamikę zmian temperatury. Aktualnie pomiary wartości temperatury umożliwiają generowanie odpowiednich sterowań, natomiast dane historyczne mogą być wykorzystane do dostrajania, polepszania parametrów modelu zmian temperatury (modele takie z reguły nie są skomplikowane, trudność natomiast sprawia prawidłowa identyfikacja ich parametrów). Wykorzystując opisane urządzenia automatyki domowej, można zrealizować prosty system logowania temperatury.

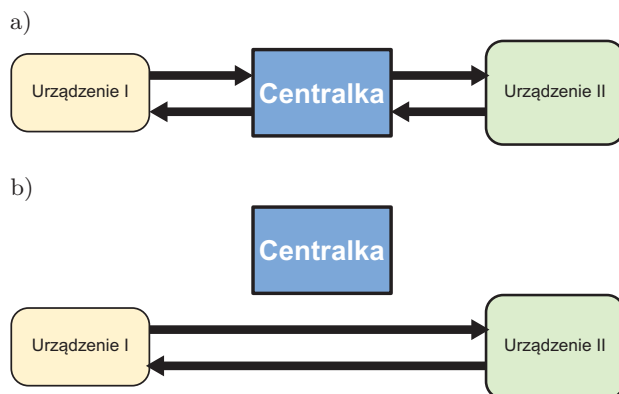
Urządzenie Universal Binary Sensor (FGBS321) umożliwia dołączenie i pomiar temperatury z czterech czujników. Czujniki temperatury są widziane z poziomu centrali jako cztery osobne urządzenia. Wykorzystując funkcjonalność scen centrali, można okresowo odczytywać temperaturę z czujników. W taki sposób można zrealizować bieżący pomiar temperatury w pomieszczeniu i może on być wykorzystany do generowania aktualnych sterowań. Aby mieć dostęp do danych historycznych temperatury, należy je zapisać. Istnieje możliwość logowania informacji na samej centralce Vera3. Nie jest to jednak rozwiązanie dobre z dwóch względów. Po pierwsze, jeśli zapisujemy zbyt dużo danych, to można całkowicie zapełnić dostępną pamięć centrali. Drugi powód – wszystkie pliki z logami na centralce są kasowane co 24 godziny. Rozwiązaniem może być wysyłanie logowanych danych na inny zewnętrzny serwer. Instalując na serwerze zewnętrznym oprogramowanie do logowania informacji (np. syslog) i wykorzystując funkcjonalność scen centrali oraz język programowania LUA można zapisywać odczytane dane z czujników temperatury na tym serwerze. Dzięki takiemu rozwiązaniu nie ma obawy, że wykorzystamy całą dostępną pamięć centrali lub oprogramowanie centrali usunie dane. Oczywiście, do poprawnego działania tego rozwiązania konieczne jest aktywne połączenie centrali z serwerem, na którym logujemy dane oraz poprawna praca tego serwera. Pewnym minusem jest konieczność okresowego uruchamiania sceny do odczytywania danych z czujników temperaturowych i przez to w jakimś stopniu wykorzystywanie zasobów samej centrali (co przy dużej liczbie urządzeń oraz scen może wprowadzać znaczne opóźnienia).

Do logowania danych o temperaturze można także wykorzystać API, jakie jest udostępniane przez samą centralę. Przez wywołanie odpowiednio skonfigurowanego żądania HTTP można odczytać aktualną temperaturę z danego czujnika. Tak otrzymane dane można już zachować, np. w bazie danych. W rozwiązaniu tym zewnętrzny komputer inicjuje zdarzenie odczytania danych, w związku z tym nie jest konieczne dodawanie specjalnej sceny. Z jednej strony przewagą takiego rozwiązania nad poprzednim jest brak dodatkowej sceny, która uruchamia się cyklicznie, z drugiej strony, jeśli wartość temperatury zmieniła się gwałtownie, to informacja o tym fakcie zostanie przesłana na serwer z pewnym opóźnieniem. Oczywiście obsługa rozkazów przychodzących za pośrednictwem API także wymaga określonego nakładu czasu i zasobów centrali.

4.2. Sterowanie oświetleniem

Włączanie/wyłączanie oświetlenia może być realizowane w układach bezprzewodowej automatyki domowej dwoma sposobami. Pierwszy sposób polega na tym, że centrala odbiera rozkaz załączenia oświetlenia od przełącznika, następnie wysyła odpowiedni rozkaz do układu załączania oświetlenia. Takie podejście wymaga zdefiniowania odpowiedniej sceny. Scena taka jest uruchamiana zdarzeniem – w tym przypadku zwarcie styków przełącznika. Z przeprowadzonych prób wynika, iż opóźnienia, jakie mogą się pojawić przy tego typu sterowaniu mogą mieć wartości 2–5 s, co jest całkowicie nieakceptowalne w codziennym użytkowaniu.

Standard Z-Wave umożliwia bezpośrednie komunikowanie się urządzeń między sobą (wysyłanie i odbieranie rozkazów) z pominięciem samej centrali. W sieci Z-Wave każde z urządzeń ma określone urządzenie nadrzędne, które może wysyłać do niego rozkazy. Domyślnie jest to kontroler sieci, ale w centralce Vera3 można ustawić inne urządzenie, które przejmie rolę kontrolera.



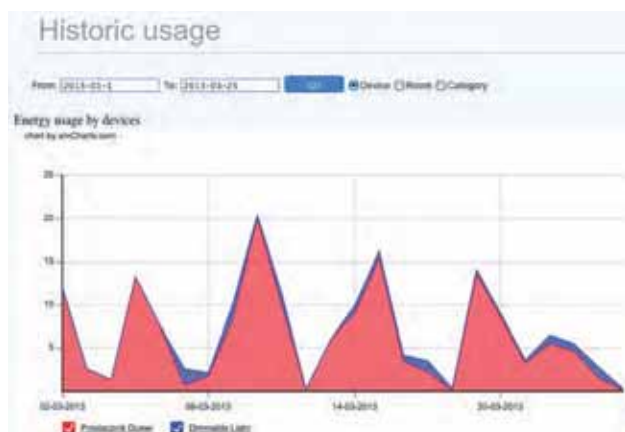
Rys. 8. Rodzaje komunikacji pomiędzy urządzeniami końcowymi a) z udziałem jednostki centralnej, b) bez udziału jednostki centralnej

Fig. 8. Communication between end devices a) with participation of the central unit, b) without participation of the central unit

W ten sposób definiuje się bezpośrednią komunikację pomiędzy dwoma (lub więcej urządzeniami). Opisane rozwiązanie jest dedykowane do tego typu zastosowań. Po takim skonfigurowaniu pracy urządzeń opóźnienia we włączaniu/wyłączaniu są niezauważalne. Oczywiście mechanizm scen do sterowania oświetleniem może być wykorzystany do tworzenia bardziej zaawansowanych scenariuszy działania, np. funkcjonalności wyłączenia oświetlenia w chwili opuszczania mieszkania lub tak zwany „panic button” – jednoczesne załączenie oświetlenia w przypadku zagrożenia.

4.3. Pomiar zużycia energii elektrycznej

Opisywana centrala umożliwia także pomiar i logowanie ilości zużytej energii elektrycznej. Funkcjonalność ta jest realizowana na dwa sposoby. W pierwszym urządzenie mają wbudowany układ pomiarowy zużycia energii i logują te dane w systemie. Drugi sposób polega na podaniu mocy urządzenia końcowego i pomiarze, przez jaki czas jest załączone urządzenie, oraz oszacowanie ilości zużytej energii elektrycznej. Zebrane dane o wielkości zużycia energii elektrycznej są prezentowane w formie wykresów. Po podaniu



Rys. 9. Pomiar zużycia energii elektrycznej w centralce Vera3
Fig. 9. The measurement of electricity consumption in the central Vera3

średniej ceny za 1 kWh możliwe jest też bezpośrednie przeliczanie kosztu zużytej energii. Informacje o zużyciu energii elektrycznej można także wykorzystać do wykrywania potencjalnych uszkodzeń zasilanych urządzeń. Jeśli mamy możliwość pomiaru zużycia energii w sposób ciągły to wysłanie rozkazu załączenia urządzenia powinno skutkować zużyciem energii przez to urządzenie. Jeśli po określonym czasie nie odczytujemy zużycia energii z monitorowanego źródła pomimo wysłania rozkazu załączenia, to można przypuszczać iż odbiornik jest uszkodzony. Może się też zdarzyć, że samo urządzenie wykonawcze nie działa poprawnie.

4.4. Sterowanie temperaturą w pomieszczeniach

Jednym z głównych zadań urządzeń automatyki domowej jest zapewnienie komfortu przebywającym w nich osobom. Uczucie komfortu jest odczuciem subiektywnym, innym dla każdego człowieka. Można określić pewnie parametry, od których ono zależy. Jednym z takich parametrów jest temperatura powietrza w pomieszczeniu. Zależy ona od bardzo wielu czynników, które nie zawsze dają się zmierzyć. Opisywana w pracy głowica termostatyczna ma wbudowany algorytm działania. Oprócz zadanej temperatury w pomieszczeniu, którą chcemy otrzymać, opisywanej głowicy termostatycznej nie konfiguruje się w żaden inny sposób. Producent deklaruje, że w głowicy zaimplementowany jest regulator PID.

Korzystając z możliwości obliczeniowych centrali i dostępnego języka programowania można spróbować stworzyć bardziej efektywny (np. minimalnoenergetyczny) układ stabilizacji temperatury w pomieszczeniu, który np. uwzględni dynamikę zmian temperatury, temperaturę zewnętrzną, stopień nasłonecznienia lub wpływ innych zakłóceń. Ponieważ w prezentowanej głowicy termostatycznej możliwe jest jedynie wysyłanie zadanej temperatury, i tylko w taki sposób można zmieniać stopień otwarcia głowicy, układ sterowania musi uwzględniać te ograniczenia przy generowaniu danych. Dodatkowym utrudnieniem jest także fakt, iż głowica termostatyczna jest urządzeniem zasilanym bateryjnie i minimalny czas między jej „wybudzeniami” i komunikacją z centralą wynosi 5 min. Z praktycznych doświadczeń wynika, iż opisywana głowica nie sprawdza się w tego typu zadaniach. Podczas użytkowania zdarzały

się sytuacje, że nie odbierała albo odbierała, lecz nie reagowała na wysyłane do niej nowe wartości nastawianej temperatury.

5. Wnioski

W pracy zaprezentowano podstawowe urządzenia, które mogą służyć do budowy bezprzewodowego systemu automatyki domowej. Opisywane urządzenia były testowane na stanowisku laboratoryjnym, a także praktycznie w mieszkaniach dwóch autorów pracy. Bezprzewodowe układy automatyki domowej to przyszłość układów sterowania budynkami mieszkalnymi (i prawdopodobnie nie tylko nimi). Jednak aktualnie nie wszystkie urządzenia wykorzystywane do budowy tego typu systemów sterowania charakteryzują się wymaganą funkcjonalnością czy też pewnością działania (np. problemy ze sterowaniem głowicą termostatyczną). Osobnym problemem jest zasilanie części urządzeń za pomocą baterii. Pomimo testowania różnych rozwiązań, których celem było maksymalne wydłużenie pracy urządzenia bez wymiany baterii, to realnie patrząc – minimum raz w roku należy wymieniać baterię. Nie chodzi tylko o stopień rozładowania samej baterii, ale także o jej wiek i związane z tym efekty starzenia się baterii. Kolejną barierą, która utrudnia przede wszystkim wzrost praktycznych implementacji tego typu systemów są ceny urządzeń – w niektórych przypadkach bardzo wysokie, przez co zwrot kosztów takiego systemu sterowania (np. w postaci oszczędności energii elektrycznej lub ciepłej) rozkłada się na wiele lat. Korzystając z układów automatyki domowej można podnieść komfort samego użytkownika lokali mieszkalnych, bezpieczeństwo przebywających w nich osób (np. przez zamontowanie różnego rodzaju czujników dymu, czadu, zalania itp.) czy też zoptymalizować wykorzystanie źródeł energii (np. ciepłej).

Dużym plusem bezprzewodowych układów sterowania jest ich „otwartość” rozumiana jako łatwość przerabiania, dostosowywania czy też implementowania nowych funkcjonalności (np. brak odczytu poboru prądu przez dane urządzenie może świadczyć o jego potencjalnym uszkodzeniu). Drugą kwestią jest sprawa standardu Z-Wave. Jeszcze 2–3 lata temu wydawało się, że standard ten będzie znaczną część rynku i stanie się jego liderem. Tak się jednak nie stało. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy może być to, iż Z-Wave nie jest otwartym standardem. Jest to standard promowany przez jedną z firm i tylko jedna firma produkuje układy scalone obsługujące komunikację Z-Wave, co odbija się na cenach, np. układów prototypowych. Ceny najprostszyc modeli płytek prototypowych zaczynają się od 250 zł. Dla przykładu, w przypadku konkurencyjnego standardu ZigBee można otrzymać bezpłatnie kilka sztuk układów scalonych do testów.

Na koniec należy zwrócić uwagę na rosnącą popularność i praktyczne zastosowania bezprzewodowych sieci pomiarowych (*wireless sensor networks*). Do takich sieci zaliczają się również sieci ZigBee i Z-Wave. Oprócz systemów automatyki domowej kolejnymi obszarami, w których próbuje się je wykorzystywać to np. układy ciągłego monitoringu parametrów życiowych osób, w szczególności starszych czy też hospitalizowanych [1], czy rozproszony system sterowania oświetleniem ulicznym [6].

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki, nr projektu N N514 644440.

Bibliografia

1. Csernath G., Szilagyi L., Fordos G., Szilagyi S.M., *Anovel ECG telemetry and monitoring system based on Z-Wave communication*, 2008, 2361–2364.
2. Gill K., Yang S.-H., Yao F., Lu X., *A zigbee-based home automation system*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(2), 422–430.
3. Gomez C., Paradells J., *Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies*. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(6), 92–101.
4. Gratton D.A., *Developing Practical Wireless Application*. Elsevier 2007.
5. Knight M., *Wireless security-How safe is Z-wave?* "Computing Control Engineering Journal", 2006, 17(6), 18–23.
6. Li L., Chu X., Wu Y., Wu Q., *The Development of Road Lighting Intelligent Control System Based on Wireless Network Control*, International Conference on Electronic Computer Technology, 2009, 353–357.
7. Walko J., Home Control, "Computing Control Engineering Journal", 2006, 17(5), 16–19.
8. Zareei M., Zarei A., Budiarto R., Omar M., A comparative study of short range wireless sensor network on high density networks, 17th Conference on Communications (APCC), Asia-Pacific, 2011, 247–252. ■

Wireless home automation system working in a standard Z-Wave network

Abstract: This article contains a brief description of one of the standards for wireless networks, Z-Wave, which is used to build home automation system. At first short description of Z-Wave standard is presented. In next sections a few typical devices are presented (like: switch, dimmer, multi sensor, central unit, radiator thermostat), which are used in home automation systems. Each of these devices is briefly described taking into account the their advantages and disadvantages. Next sections present solution to log temperature value on to remote server, control method a group of lights, and temperature inside room. The simple energy consumption monitor is also presented. At the end of the article includes some conclusions on the future of home automation systems built using wireless standards such as Z-Wave.

Keywords: intelligent building, wireless networks, programming, Z-Wave

dr inż. Marek Długosz

Adiunkt w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Wydziału EAIiB Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Od 2011 r. prowadzi grant naukowo-badawczy, którego tematyka obejmuje systemy sterowania budynkami mieszkalnymi. Tematyka prac badawczych dotyczy zagadnień sterowania



przy wykorzystaniu złożonych układów sterowania oraz zastosowania systemów informatycznych w przemyśle, szczególnie budowy systemów zarządzających pracownikami i jakością produkcji.

e-mail: mdlugosz@agh.edu.pl

Jacek Chronowski

Student w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Wydziału EAIiB Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jego zainteresowania naukowe to teoria sterowania, układy dynamiczne, wbudowane układy sterowania, sieci bezprzewodowe.

e-mail: jacek.chronowski@gmail.com



dr inż. Jerzy Baranowski

Adiunkt w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Wydziału EAIiB Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jego zainteresowania badawcze obejmują estymację stanu, układy niecałkowitego rzędu i dynamikę populacyjną. Zajmuje się również zagadnieniami optymalizacji systemów dynamicznych i metodami numerycznymi.

e-mail: jb@agh.edu.pl



dr inż. Paweł Piątek

Adiunkt w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Wydziału EAIiB Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Zajmuje się projektowaniem i budową systemów sterowania czasu rzeczywistego, jak również wykorzystaniem układów FPGA w systemach sterowania szybkimi obiektami.

e-mail: ppi@agh.edu.pl



prof. hab. inż. Wojciech Mitkowski

Profesor w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Wydziału EAIiB Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obszar zainteresowań naukowych dotyczy sterowania systemów dynamicznych, w szczególności problemów stabilizacji, projektowania regulatorów, systemów o parametrach rozłożonych, elektrycznych układów drabinokowych, optymalizacji, problemu liniowo-kwadratowego, metod aproksymacji, teorii macierzy.

e-mail: wojciech.mitkowski@agh.edu.pl



dr inż. Paweł Skruch

Adiunkt w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej Wydziału EAIiB Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W obszarze jego zainteresowań naukowych jest teoria sterowania, układy dynamiczne, modelowanie matematyczne i symulacje komputerowe.

e-mail: skruch@agh.edu.pl

