

# Zastosowanie niedrogich modułów bezprzewodowych do sterowania oświetleniem

Leszek Jarzębowicz, Marek Kuciński

Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano niedrogi system zdalnego sterowania oświetleniem w budynku. Dokonano krótkiego przeglądu dostępnych na rynku, gotowych rozwiązań. Zaproponowano własną strukturę sterowania wykorzystując tanie moduły bezprzewodowe. Przedstawiono projekt najistotniejszych elementów systemu. Omówiono sposób oprogramowania modułów oraz nadrzędną aplikację sterującą. Artykuł zawiera ocenę systemu, z uwzględnieniem możliwości modyfikacji i usprawnień.

**Słowa kluczowe:** inteligentny budynek, moduły bezprzewodowe, pasmo 868 MHz, sterowanie radiowe, sterowanie oświetleniem

Łączność bezprzewodowa jest coraz szerzej wykorzystywana. Jednym z jej rozwijających się zastosowań jest szeroko rozumiana automatyka budynków. Oczekiwania użytkowników w zakresie funkcjonalności rosną, lecz w większości zastosowań bardzo istotnym czynnikiem jest również cena. Oferta gotowych rozwiązań systemów automatyki budynkowej jest szeroka, lecz brakuje w niej rozwiązań prostych, w cenie przystępnej dla amatorów. Niedrogi uniwersalne moduły radiowe, które dostępne są na polskim rynku, umożliwiają opracowanie własnego, bardzo taniego bezprzewodowego systemu automatyki. Projekt takiego systemu, przeznaczonego do sterowania oświetleniem w budynku mieszkalnym, opisano w artykule.

## 1. Automatyka budynków

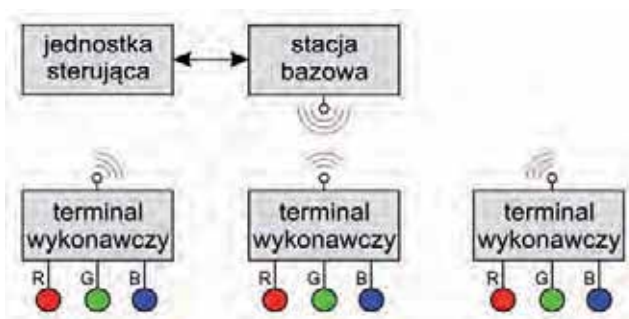
Największą popularnością w obszarze automatyki budynkowej cieszą się obecnie rozwiązania przewodowe. Wymagają one jednak przystosowanej instalacji elektrycznej, zawierającej dodatkowe przewody transmisyjne (najczęściej 2). Niewątpliwą zaletą tych rozwiązań jest ugruntowana pozycja na rynku, której skutkiem jest szeroka oferta modułów zgodnych z takimi standardami, jak EIB, LCN czy Lonworks [1].

Częstym problemem jest implementacja systemów przewodowych w już istniejących budynkach. Duży koszt związany z wymianą instalacji, na zgodną z systemami automatyki budynkowej, zazwyczaj nie jest rekompensowany przez korzyści z poczynionej modernizacji. Wybrani producenci oferują moduły komunikujące się przez standardową sieć zasilającą 230 V, ale są to rozwiązania droższe i mające ograniczoną funkcjonalność [2].

Producenci osprzętu automatyki, wychodząc naprzeciw powyższym przeciwnościom, oferują urządzenia komunikujące się bezprzewodowo [3]. Najczęściej wykorzystywanym standardem jest ZigBee (wywodzący się z rozwiązań przemysłowych), wykorzystywany m.in. przez firmę CONTROL4. Dostępne są też inne rozwiązania, jak Z-Wave z osprzętem firmy FIBAR czy DUWI. Jednakże koszt tych rozwiązań jest stosunkowo wysoki, co ogranicza obszar ich zastosowań. Istnieje potrzeba zaproponowania prostego i niedrogiemu systemu sterowania oświetleniem w budynku mieszkalnym. Jedno z możliwych rozwiązań, wykorzystujące moduły radiowe kosztujące ok. 20 zł za sztukę, przedstawiono w referacie.

## 2. Struktura systemu sterowania

Proponowaną strukturę systemu sterowania przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Struktura systemu sterowania

Fig. 1. Control system diagram

System składa się ze stacji bazowej oraz terminali wykonawczych. Jako urządzenia wykonawcze zastosowano trój-kolorowe diody LED mocy.

Jednostka sterująca, którą może być komputer lub panel operatorski, pełni funkcję intuicyjnego interfejsu użytkownika. Umożliwia ona m.in.:

- odczyt i zmianę stanów wszystkich punktów oświetleniowych,
- dodawanie i usuwanie punktów oświetleniowych,
- podstawową diagnostykę systemu, zarówno w zakresie transmisji bezprzewodowej, jak i stanu poszczególnych terminali.

Stacja bazowa połączona jest z jednostką sterującą przez jeden z przewodowych interfejsów komunikacyjnych. Dostępne są złącza: USB oraz RS-232. Zadaniem stacji bazowej jest realizacja transmisji bezprzewodowej z ter-

minalami wykonawczymi. Stacja ta pełni rolę bramki między urządzeniem nadrzędnym przyłączonym przewodowo, a zdalnymi terminalami komunikującymi się z wykorzystaniem transmisji radiowej.

Terminale wykonawcze sterują oświetleniem zgodnie z poleceniami przesyłanymi drogą radiową. Wykonane są w postaci zunifikowanych modułów.

### 3. Projekt modułów systemu

#### 3.1. Założenia

W efekcie analizy wymagań stawianych przed elementami systemu, poczyniono następujące założenia projektowe:

- możliwość sterowania trzema diodami LED mocy (lub jedną trójkolorową) przez każdy terminal,
- wykorzystanie gotowych modułów transmisji bezprzewodowej,
- utrzymanie niskiego kosztu systemu,
- transmisja dwukierunkowa z wykorzystaniem protokołu master-slave oraz z potwierdzaniem rozkazów,
- otwarta struktura systemu umożliwiająca jego rozwój w przyszłości,
- wykorzystanie popularnych interfejsów komunikacji przewodowej do połączenia stacji bazowej z jednostką sterującą.

#### 3.2. Rozwiązania sprzętowe

Bazując na wymienionych założeniach dokonano wyboru elementów składowych modułu systemu.

Za komunikację radiową odpowiada moduł RFM-23B firmy Hope RF [4]. W sprzedaży dostępne są moduły pracujące w pasmach częstotliwości: 433 MHz, 868 MHz oraz 2,4 GHz. Wszystkie te pasma są ogólnodostępne dla amatorskiej komunikacji bezprzewodowej. Na korzystanie z nich nie jest wymagana licencja pod warunkiem nieprzekroczenia odpowiedniej wartości mocy wypromieniowanej. Do projektu wybrano moduły na pasmo 868 MHz, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby wykorzystać moduły na pozostałe pasma. Z pewnością będzie miało to wpływ na maksymalny zasięg komunikacji. Musi on być jednak wyznaczony empirycznie w konkretnym środowisku. Zmiana pasma wymaga jedynie nieznacznych poprawek w oprogramowaniu modułów.

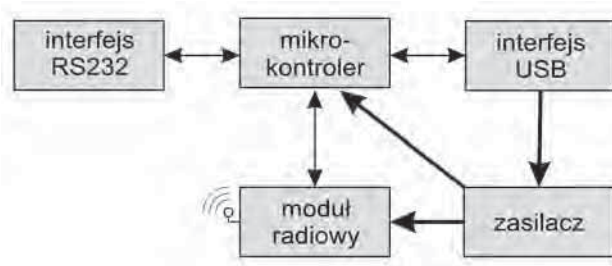
W stadium prototypu wykorzystano taki sam obwód drukowany do budowy stacji bazowej oraz terminali wykonawczych. Układy te różnią się między sobą zamontowanymi elementami (interfejsy komunikacyjne, obsługa dołączonych wyjść itp.). Pozwoliło to skrócić czas wymagany na zaprojektowanie elementów systemu.

#### 3.3. Stacja bazowa

Schemat blokowy stacji bazowej został przedstawiony na rys. 2. Przyjęta struktura pozwala na łatwe późniejsze modyfikacje poszczególnych segmentów.

Jako jednostkę obliczeniową i sterującą w prototypie modułu stacji bazowej wybrano mikrokontroler STM32F103 z rdzeniem ARM Cortex-M3 [5]. Wybór został podyktowany jego szerokimi możliwościami komunikacyjnymi oraz wysoką wydajnością obliczeniową, zapewniającą duże możliwości rozwoju systemu, przy stosunkowo niskiej cenie. Nie bez znaczenia jest także dostępność literatury pomocniczej oraz wsparcia ze strony polsko- i angielskojęzycznych grup dyskusyjnych. W obecnej wersji projektu nie wszystkie możli-

wości mikrokontrolera zostały wykorzystane. W kolejnych rewizjach urządzeń planowane jest wykorzystanie wbudowanego kontrolera USB, co pozwoliłoby wyeliminować zewnętrzny moduł konwertera USB-UART, oraz implementacja szyfrowania całej transmisji w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa.



Rys. 2. Schemat blokowy stacji bazowej

Fig. 2. Base station diagram

Komunikacja z jednostką sterującą możliwa jest przez dwa przewodowe kanały transmisyjne. Pierwszy wykorzystuje obecny od wielu lat na rynku standard RS-232. Jego implementacja w urządzeniu pozwala wykorzystać szeroko dostępne rozwiązania, jak na przykład dotykowe panele operatorskie czy miniaturowe komputery. Zapewnia to również współpracę ze sprzętem starszego typu, którego cena na rynku wtórnym jest niska. Drugim kanałem transmisyjnym jest nowocześniejsza magistrala USB. Dzięki wykorzystaniu tego standardu możliwe jest bezproblemowe podłączenie urządzenia do typowego komputera domowego. Obecnie coraz częściej komputer staje się domowym centrum rozrywki i sterowania, nierzadko udostępniając możliwość monitoringu i kontroli systemu alarmowego czy podgląd obrazu z kamer monitoringu. Uzupełnienie tej funkcjonalności o możliwość sterowania urządzeniami wykonawczymi poszerza zakres jego zastosowań.

Zasilanie układu może być realizowane na dwa sposoby. Wybór podyktowany jest miejscem instalacji oraz typem urządzenia nadrzędnego. W przypadku zastosowania urządzenia z interfejsem RS-232 (np. panel operatorski), niezbędne jest zewnętrzne źródło zasilania. Dzięki zastosowaniu przetwornicy obniżającej, opartej na układzie MC34063, dopuszczalny zakres napięć wejściowych jest bardzo szeroki i wynosi od 6 V do 40 V. Maksymalny pobór prądu nie przekracza 100 mA. Umożliwia to zastosowanie niedrogiego zasilacza wtyczkowego. W przypadku wykorzystania interfejsu USB, zasilanie stacji bazowej odbywa się bezpośrednio z portu komunikacyjnego.

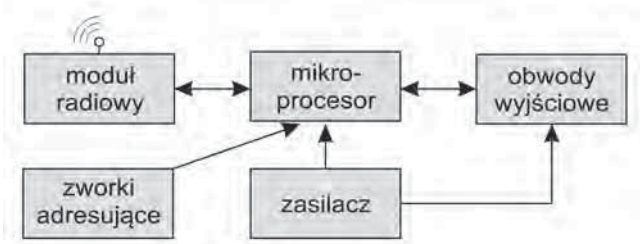
Jakość zasilania, rozumiana jako niski poziom tętnień, jest kluczowym czynnikiem warunkującym wysoką niezawodność transmisji radiowej. Niezbędne jest umieszczenie filtra w bezpośredniej bliskości miejsca montażu modułu łączności bezprzewodowej. Niezastosowanie się do tego wymagania skutkuje trudnymi do zdiagnozowania (niezgodnymi z kartą katalogową) zachowaniami modułu.

#### 3.4. Terminal wykonawczy

Struktura terminala wykonawczego jest znacznie mniej skomplikowana niż stacji bazowej, co przedstawiono na rys. 3.

Jako jednostkę obliczeniową, w prototypie terminala wykonawczego, zastosowano mikrokontroler identyczny jak

w stacji bazowej. Podyktowane to zostało łatwością opracowania oprogramowania dla obydwu urządzeń. Wykonanie projektu części sprzętowej zostało dzięki temu również znacząco uproszczone.



Rys. 3. Schemat blokowy terminala wykonawczego

Fig. 3. Terminal-node diagram

W terminalu wykonawczym możliwe jest także wykorzystanie znacznie tańszego mikrokontrolera z tej samej rodziny, np. STM32F100. Nie pociąga to za sobą ograniczeń w funkcjonalności systemu, ponieważ realizacja zadań postawionych przed terminalem wykonawczym nie wymaga dużej mocy obliczeniowej.

Zasilanie modułu terminala wykonawczego jest ściśle związane z dołączonym urządzeniem wykonawczym. W prezentowanym rozwiązaniu użyto zasilacz o napięciu wyjściowym wynoszącym 12 V, dostosowanym do wykorzystanych diod LED. Terminal umożliwia również przyłączenie innych układów wykonawczych o napięciu pracy 12 V lub 24 V. Przykładowym zastosowaniem są systemy oświetlenia oparte na żarówkach halogenowych lub żarówkach LED. Przystosowanie układu do takiej konfiguracji polega na zastosowaniu innych tranzystorów wykonawczych w obwodach wyjściowych.

Dla umożliwienia identyfikacji modułów systemu wykorzystano sprzętowe ustawianie adresu za pomocą zworek SMT (ang. *Surface Mount Technology*).

## 4. Oprogramowanie modułów systemu

### 4.1. Algorytm programu

Program modułu stacji bazowej realizuje funkcję bramki pośredniczącej między interfejsem przewodowym a bezprzewodowym, dlatego nie zamieszczono opisu jego działania.

Algorytm działania programu terminala wykonawczego przedstawiono na rys. 4. Program rozpoczyna się od konfiguracji zegarów, portów wejścia/wyjścia oraz interfejsów komunikacyjnych. Następnie nawiązywana jest komunikacja z modulem bezprzewodowym oraz jego konfiguracja.

W głównej pętli program oczekuje na rozkazy nadsyłane drogą radiową. Po wykryciu sygnału odbierany jest pakiet oraz sprawdzana jest jego poprawność. Zaimplementowany został prosty algorytm sprawdzający strukturę nadesłanego rozkazu oraz poprawność żądanych wartości. Po pomyślnym sprawdzeniu poprawności, przesłany rozkaz zostaje wykonany. Wszystkie otrzymane pakiety: zarówno te o poprawnej ramce, jak i z błędami, są potwierdzane. Informacja zwrotna jest kluczowa dla sterownika nadrzędnego do oceny poprawności działania wszystkich terminali oraz wizualizacji stanu. Błędy w transmisji mogą być spowodowa-

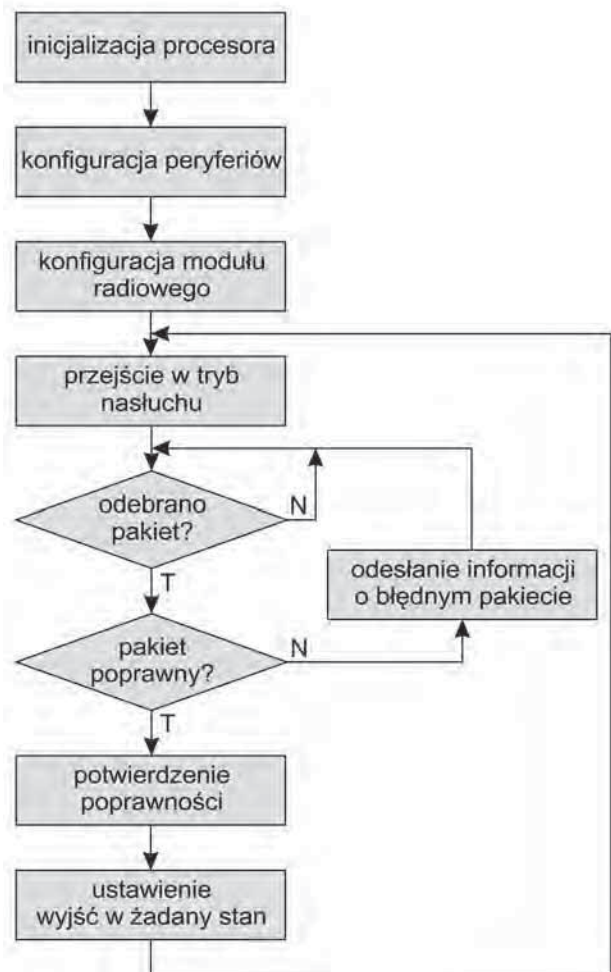
ne zbyt dużą odległością pomiędzy stacją bazową a terminalem, dużymi zaburzeniami elektromagnetycznymi lub uszkodzeniem samych modułów.

### 4.2. Obsługa modułu bezprzewodowego

Komunikacja z modulem bezprzewodowym RFM23B [4] odbywa się z użyciem wbudowanego w mikrokontroler sterujący sprzętowego interfejsu SPI. Znacznie upraszcza to jego obsługę w porównaniu do wykorzystania rozwiązania programowego.

Inicjalizacja modułu rozpoczyna się od wyłączenia wszystkich źródeł przerwań. Następnie konfigurowane są wbudowane w moduł wyprowadzenia GPIO. Kolejnym krokiem jest ustawienie parametrów związanych z przesyłem radiowym: pasma filtru selektywnego, dewiacji czy szybkości adaptacji zegara. Dalszym etapem jest wybór parametrów synchronizacji ramki. Ich poprawna konfiguracja jest niezbędna w celu poprawnego rozpoznawania pakietów przez moduł. Możliwe jest również włączenie sprzętowej adresacji modułów, jednak w przedstawionym projekcie wykorzystano bardziej elastyczne rozwiązanie programowe (mogące obsługiwać np. adresy grupowe).

Szybkość transmisji została ustawiona na 9600 bodów, co jest wartością wystarczającą dla prezentowanego zastosowania. Moc wyjściową nadajnika ustawiono na +3 dBm.



Rys. 4. Algorytm programu terminala wykonawczego

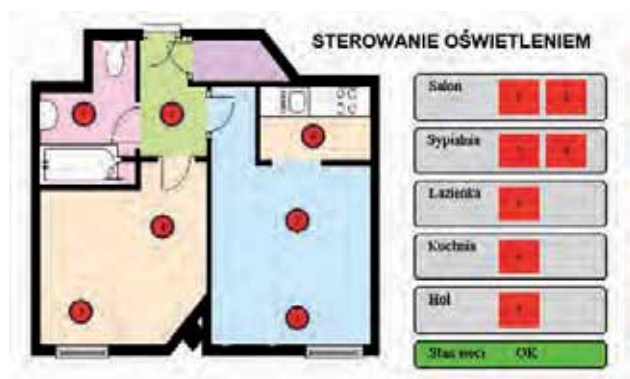
Fig. 4. System terminal program algorithm



Zapewniło to poprawną transmisję w warunkach przeprowadzenia testów (mieszkanie w kamienicy o ceglanych murach i powierzchni 70 m<sup>2</sup>). Moduły zostały zestrojone na 868 MHz. Transmisja odbywa się z wykorzystaniem wbudowanego bufora FIFO (ang. *First In First Out*). Wybrano modulację FSK (ang. *Frequency Shift Keying*) z kodowaniem Manchester oraz wybielaniem przesyłu (ang. *whitening*).

#### 4.3. Wykorzystanie panelu operatorskiego

Jako przykładowe urządzenie nadrzędne wykorzystano dotykowy siedmioalowy panel operatorski Advantech WOP-2070V. Widok aplikacji sterującej punktami oświetleniowymi przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Widok okna programu urządzenia nadrzędnego  
Fig. 5. Master device program window

Aplikacja umożliwia załączanie i wyłączanie poszczególnych punktów oświetleniowych, które zostały naniesione na szkic sytuacjijny mieszkania.

## 5. Podsumowanie

Zaprezentowany system został wykonany oraz przetestowany z pozytywnym wynikiem. Umożliwia on zdalne sterowanie punktami oświetleniowymi za pomocą panelu operatorskiego. Zachowano otwartą strukturę umożliwiającą rozbudowę systemu w przyszłości. Dalszy rozwój będzie dotyczył w szczególności wykorzystania sensorów zbierających informacje od środowiska (przyciski, czujniki zmierzchowe i ruchu) oraz szyfrowania danych.

Koszt elementów systemu składającego się ze stacji bazowej oraz trzech terminali wykonawczych wyniósł ok. 230 zł. Kwotę tę można zmniejszyć przez zastosowanie tańszych mikrokontrolerów w terminalach wykonawczych oraz wyeliminowanie konwertera UART-RS-232 na rzecz interfejsu wbudowanego w układ w stacji bazowej.

Głównym problemem podczas uruchamiania systemu była trudna do zdiagnozowania niestabilność przesyłu radiowego. Jej powodem były zaburzenia pracy modułów radiowych pochodzące od napięcia zasilającego. Rozwiązaniem problemu było dołączenie kondensatora elektrolitycznego o pojemności 1  $\mu\text{F}$  tuż przy wyprowadzeniach zasilających modułu.

Przedstawiony system jest nieskomplikowany, co jest efektem położenia głównego nacisku na niski koszt kompletnego rozwiązania. Specjalizowane systemy wykorzystujące modu-

ły bezprzewodowe wykorzystujące np. standard ZigBee oferują np. znacznie dłuższy czas pracy przy zasilaniu baterijnym oraz większy zasięg związany z zaimplementowaną topologią siatki (ang. *mesh*).

## Bibliografia

1. Wang S., *Intelligent Buildings and Building Automation*, Spon Press, USA 2010.
2. Anatory J., Theethayi N., *Broadband Power-line Communication Systems – Theory and Applications*, WIT Press, UK 2010.
3. Elahi A., Gschwender A., *ZigBee Wireless Sensor and Control Network*, Prentice Hall, USA, 2009.
4. Hope Microelectronics: RFM22B/23B ISM Transceiver Module. [www.hoperf.com](http://www.hoperf.com), 2006.
5. STMicroelectronics: RM0008 Reference Manual for STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx [www.st.com](http://www.st.com), 2009. ■

### Application of low-cost wireless modules in home lighting automation

**Abstract:** The paper presents a low-cost remote control of house lighting system. A short overview on the market ready-to-use solutions is included. Proposed control structure, using low-cost wireless modules is described. A project of the most important elements of the system is described. Software development process is presented. Article is summarized by the assessment of the system with an indication of possible modifications and improvements.

**Keywords:** home automation, wireless modules, 868 MHz band, radio control, lighting control

#### inż. Marek Kuciński

Ukończył z wyróżnieniem pierwszy stopień studiów inżynierskich na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej w 2012 r. Obecnie kontynuuje studia na drugim stopniu. Zainteresowania: systemy mikroprocesorowe i wbudowane.

e-mail: [marek@kucinski.eu](mailto:marek@kucinski.eu)



#### dr inż. Leszek Jarzębowski

Adiunkt na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania badawcze koncentrują się głównie na trakcyjnych układach napędowych i diagnostyce pojazdów oraz infrastrukturze elektrotrakcyjnej.

e-mail: [l.jarzebowski@ely.pg.gda.pl](mailto:l.jarzebowski@ely.pg.gda.pl)

