

intelli Dom

System sterowania inteligentnego budynku z interfejsem ZigBee (1)


**AVT
5313**

W swojej praktyce inżynierskiej już dwukrotnie podejmowałem wyzwanie zaprojektowania systemu automatyzacji różnych procesów związanych z utrzymaniem mieszkania, lecz za każdym razem był on kompromisem pomiędzy ceną a funkcjonalnością. Głównym ograniczeniem była jak zwykle cena dobrej klasy modułów do bezprzewodowej transmisji sygnałów, która nawet w przypadku dość nieskomplikowanych podzespołów dochodziła do 70 złotych. Na szczęście ten okres mamy już za sobą i dzisiaj za cenę około 50 złotych można kupić zaawansowany technicznie moduł ZigBee, który swoją funkcjonalnością przewyższa tradycyjny moduł RF, rzec by można, o kilka dekad rozwoju technologii transmisji. Czas więc na projekt zaawansowany, w pełni konfigurowalny i pozbawiony wielu poprzednich ograniczeń, a dodatkowo wyposażony w ultranowoczesny interfejs użytkownika – **intelliDom**.

Rekomendacje: urządzenie przyda się wszystkim domatorom-majsterkowiczom, którzy chcą uczynić swoje mieszkanie jeszcze bardziej funkcjonalnym.

Inteligentny dom – to słowo-klucz do niedawna kojarzyło się ze wspnianą, uciążliwą technologią przyszłości, niedostępną

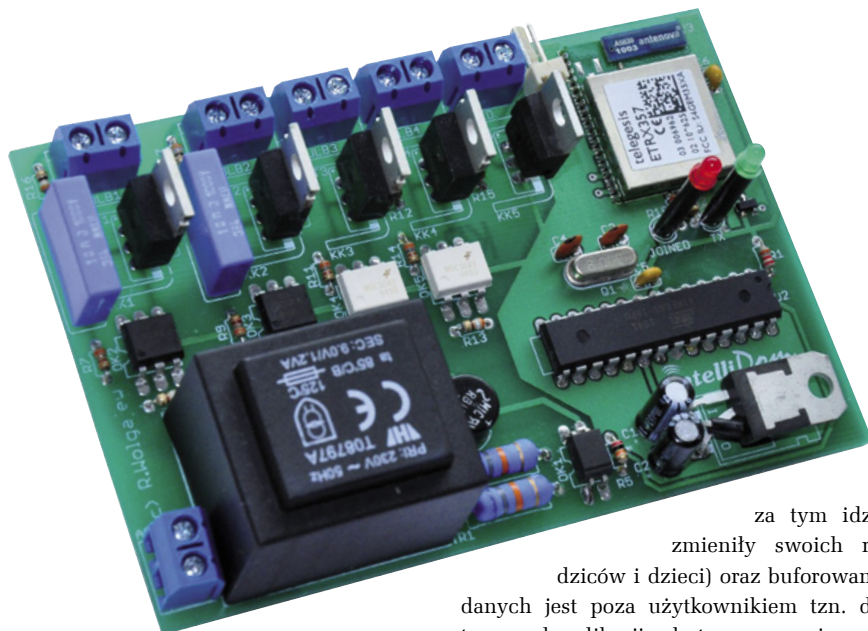


dla przeciętnego użytkownika. Czasy zmieniają się i to, co jeszcze kilka lat temu było poza zasięgiem technicznych i finansowych możliwości większości z nas, nadciąga dzisiaj ku nam wielkimi krokami. To wszystko za sprawą inteligentnych technologii oraz stałego, dynamicznego rozwoju mikrokontrolerów, czego najlepszym przykładem może być technologia ZigBee.

Podstawy ZigBee

Aby w pełni zrozumieć zasadę działania i sposób konfigurowania tego typu systemów należy choćby pokrótce opisać technologię, dzięki której stała się możliwa budowa tak zaawansowanego systemu. ZigBee jest standardem bezprzewodowej transmisji danych w sieciach PAN (*Personal Area Network*). Transmisja może odbywać się w topologiach: mesh, gwiazda, drzewo lub *peer-to-peer*. ZigBee jest przeznaczone do budowy np. sieci automatyki domowej, systemów monitoringu i kontroli dostępu, systemów kontrolnych czy bezprzewodowych sieci pomiarowych. Sieci ZigBee charakteryzują się małym poborem energii (czas pracy na zasilaniu baterijnym

nawet kilka lat), nieskomplikowaną i taną budową oraz ograniczonym zasięgiem (zwykle rzędu kilkudziesięciu metrów). Specyfikacja protokołu transmisji oparta na standardzie IEEE 802.15.4 podlega ciąglemu rozwojowi, za który jest odpowiedzialna grupa zrzeszająca ponad 150 firm z całego świata, stowarzyszona pod nazwą ZigBee Alliance (wśród nich znajdują się tacy giganci, jak Intel, Philips, Motorola czy Samsung). Dla przykładu, w tej chwili ZigBee Alliance pracuje nad standardem, dzięki któremu bezprzewodowe produkty ZigBee będą mogły pracować bez baterii, pobierając energię wyłącznie z otoczenia (dzięki zastosowaniu specjalnego układu, który przetworzy na prąd elektryczny wibracje, ruch, światło czy fale radiowe). Bezprzewodowa transmisja pakietów danych, w ramach specyfikacji ZigBee, odbywać się może w nielicencjonowanych pasmach 868 MHz, 915 MHz lub 2,4 GHz, przy czym komunikacja ta charakteryzuje się niewielkimi przepływnościami danych (do 250 kbps). W paśmie 2,4 GHz przewidziano 16 kanałów szerokości 5 MHz. Specyfikacja ZigBee określa ponadto w sposób szczegółowy parametry wszystkich



warstw fizycznych i programowych interfejsu danych jak również definiuje mechanizmy bezpieczeństwa (możliwe jest użycie 128-bitowego szyfrowania AES) i zarządzania siecią minimalizując niezbędne działania po stronie użytkownika. Nie zagłębiając się w detale skomplikowanych mechanizmów warstwy sprzętowej należy zauważyć, że urządzenia ZigBee można podzielić na 3 typy:

- koordynator (ZigBee Coordinator – ZC): w każdej sieci ZigBee może występować tylko jeden koordynator, który służy jako węzeł początkowy (zapoczątkowujący tworzenie sieci), i do którego to mogą się przyłączać pozostałe urządzenia. Koordynator zazwyczaj pełni rolę urządzenia zbierającego dane i zarządzającego utrzymaniem sieci (jego adres sieciowy NodeID równy jest zawsze 0x0000).
- router (ZigBee Router – ZR): to urządzenie które zarządza przekazywaniem pakietów danych pomiędzy modułami ZigBee ale może też posiadać pełną funkcjonalność urządzenia końcowego. Router może być jednocześnie tzw. rodzicem (dla urządzeń do niego przyłączonych) jak i tzw. dzieckiem (dla urządzeń, do których jest przyłączony).
- urządzenie końcowe (ZigBee End Device – ZED): zwykle jest urządzeniem wykonawczym/pomiarowym, które okresowo odbiera lub przesyła dane do routera, do którego jest przyłączone a resztę czasu jest usypiane w celu zmniejszenia zużycia energii. Urządzenie końcowe może komunikować się z innymi modułami tylko za pośrednictwem swojego rodzica.

Z punktu widzenia użytkownika najważniejsze jest, iż cały skomplikowany mechanizm utrzymania sieci, przekierowywania pakietów danych, znajdowania nowych dróg transmisji pomiędzy urządzeniami wymieniającymi dane (np. urządzeniami mobilnymi, jeśli zmieniły swoje położenie a co

za tym idzie zmieniły swoich rodziców i dzieci) oraz buforowanie danych jest poza użytkownikiem tzn. dla typowych aplikacji cały ten proces nie musi być znany, wystarczy znać adres urządzenia (sprzętowy EUI64 lub sieciowy NodeID), do którego chcemy przesłać dane, a cała droga transmisji (routing) i mechanizm, który należy zastosować nie jest już naszym zmartwieniem. O to dba specyfikacja stosu ZigBee i oprogramowanie producenta konkretnego modułu ZigBee (tzw. firmware).

Słowa wyjaśnienia wymagają jeszcze pojęcia „rodzic” i „dziecko” w znaczeniu specyfikacji ZigBee. Wyobraźmy sobie sytuację, że włączamy zasilanie nowego modułu ZigBee w związku, z czym nastąpi próba połączenia go z istniejącą siecią. W takim wypadku moduł ten musi połączyć się z obecnym w sieci innym modułem ZigBee. To właśnie ten już włączony do sieci moduł spełnia funkcje rodzica dla podłączającego się modułu – łączy go z innymi urządzeniami i przekazuje mu adres sieciowy. W takim przypadku nowo podłączony moduł jest właśnie dzieckiem dla modułu, z którym się połączył. Biorąc to pod uwagę należy przypomnieć, że:

- Koordynator może być tylko rodzicem – jest on pierwszym urządzeniem w sieci.
- Router może być jednocześnie rodzicem i dzieckiem dla innych modułów.
- Urządzenie końcowe może być tylko dzieckiem.
- Koordynator i router nie mogą przejść w tryb uśpienia, gdyż muszą spełniać swoje zadania zarządzania siecią.

Na rysunku **rysunku 1** przedstawiono przykładowe konfiguracje pracy sieci ZigBee.

Na tym etapie dysponujemy podstawową wiedzą na temat specyfikacji technologii ZigBee. Pora więc na wybór konkretnego rozwiązania sprzętowego (modułu) z długiej listy urządzeń dostępnych na rynku.

Podstawowym założeniem przyświecającym wyborowi modułu ZigBee była chęć posiadania urządzenia, które jest dość rozbudowane pod względem sprzętowym, a zarazem łatwe do konfiguracji i obsługi. Ideałem

AVT-5313 w ofercie AVT:
AVT-5313A – płytką drukowaną

Podstawowe informacje:

- Ustawienia ważniejszych FUSE BIT'ów (sterownik główny):
CKSEL3..0: 1111
SUT1..0: 11
JTAGEN: 1
CKDIV8: 1
EESAVE: 0
- Ustawienia ważniejszych FUSE BIT'ów (moduł pokojowy):
CKSEL3..0: 1111
SUT1..0: 11
- Napięcie zasilania modułów: 230 V_{AC}.
- Moduł sterownika i moduły wykonawcze.
- Sterowanie maksymalnie 8 modułami wykonawczymi za pomocą kontrolera z wyświetlaczem TFT i panelem dotykowym.
- Nowoczesny design, sterowanie za pomocą interfejsu dotykowego.
- Komunikacja za pomocą sieci ZigBee (moduły Telegesis ETRX357).

Dodatkowe informacje:

- Prezentację wideo demonstrującą funkcjonowanie systemu intelliDom można obejrzeć na stronie internetowej <http://www.youtube.com/watch?v=lcYnrZms7l8>

Dodatkowe materiały na CD/FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 14464, pass: 87f371o5
- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD/FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT5276 RadioTherm – Bezprzewodowy system pomiaru i kontroli temperatury (EP 2/2011)

byłoby aby takie urządzenie było wyposażone w szereg automatycznych mechanizmów realizowanych przez nie samodzielnie (np. jako wynik predefiniowanych zdarzeń), co przyczyniłoby się do uproszczenia programu obsługi po stronie aplikacji systemu docelowego lub umożliwiłoby budowę takiego systemu nawet bez udziału dedykowanego mikrokontrolera. Oczywiście, nie bez znaczenia pozostawał aspekt finansowy. Po długich poszukiwaniach i przejrzeniu tomów dokumentacji wybór padł na moduł ETRX357 produkowany przez firmę Telegesis (UK) Limited (www.telegesis.com). Nie dość, że spełnia wymagania z dużym zapasem, to dodatkowo firma Telegesis dostarcza doskonałe oprogramowanie Telegesis Terminal, wsparcie techniczne (w tym miejscu serdecznie

REKLAMA

podziękowania dla Pana Davida Chalmersa) i środowisko testowe.

Moduł ETRX357 charakteryzuje się następującymi, wybranymi cechami funkcjonalnymi:

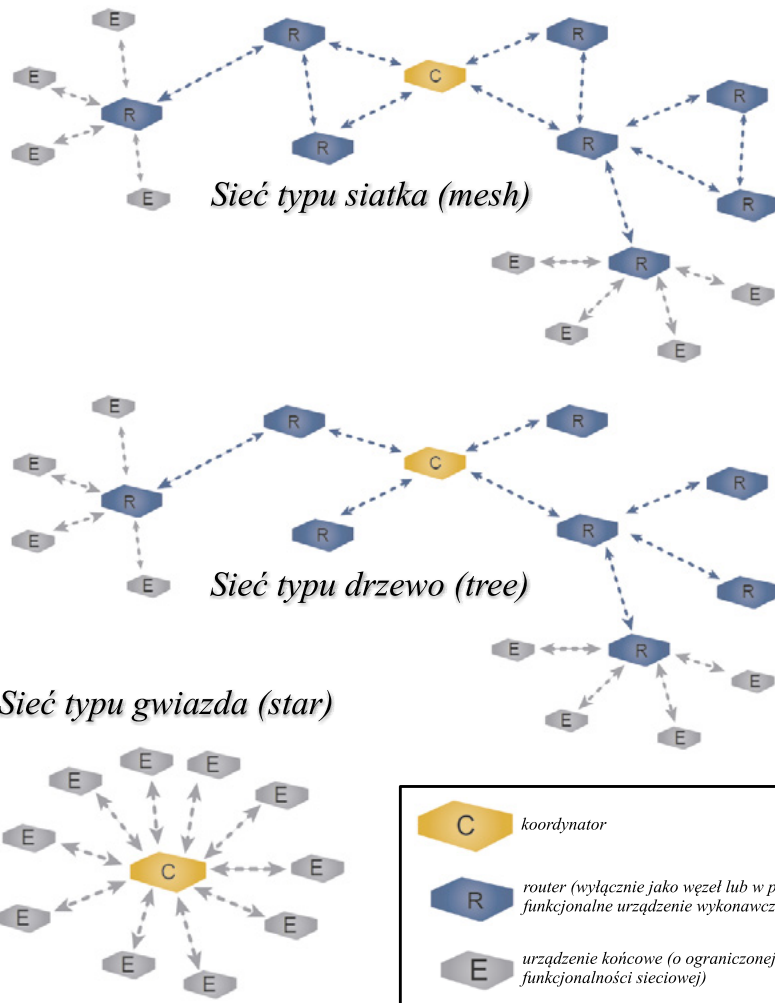
- wbudowany mikrokontroler sterujący ARM Cortex-M3 ze 192 kB pamięci Flash i 12 kB pamięci RAM (implementacja stosu EmberZNet ZigBee stack),
- Szeroki zakres napięć zasilających (2,1 do 3,6 V),
- mały pobór prądu w trybie uśpienia (ok. 1 μA),
- może pracować jako urządzenie końcowe, router lub koordynator,
- 24 linie I/O,
- 6-wejściowy przetwornik ADC,
- 4 wejścia przerwań zewnętrznych,
- 8 układów czasowo-licznikowych,
- 14 konfigurowalnych zdarzeń sprzętowych mogących generować automatyczne akcje,
- zestaw 50 akcji automatycznych realizowanych przez moduł samodzielnie po wystąpieniu dedykowanego zdarzenia,
- możliwość pracy jako koncentrator danych (funkcjonalność „sink” wprowadzona wyłącznie w modułach firmy Telegesis),
- wyspecjalizowana i wygodna w użyciu lista komend sterujących AT,
- wysoka czułość toru radiowego (-100 dBm) oraz odporność na współistniejące sieci WiFi i Bluetooth,
- sprzętowy mechanizm szyfrujący wykorzystujący kodowanie AES-128,
- aktualizacja oprogramowania dzięki wbudowanemu interfejsowi RS232 lub poprzez sieć ZigBee,
- małe wymiary modułu i wygodny w montażu rodzaj obudowy SMT (25 mm×19 mm).

Te wszystkie cechy funkcjonalne sprawiły, że implementacja obsługi tego rodzaju modułu jest dość łatwa, biorąc oczywiście pod uwagę stopień skomplikowania samego urządzenia i sprowadza się do odpowiedniego skonfigurowania sprzętowych cech modułu oraz reakcji na generowane komunikaty.

Opis komend AT modułów ZigBee

Moduły ZigBee firmy Telegesis mogą być obsługiwane za pomocą komend AT. Każda komenda wysyłana do modułu ZigBee za pośrednictwem interfejsu RS232 musi zaczynać się przedrostkiem AT a kończyć znacznikiem <CR> (Carriage Return, heksadecymalnie 0x0D). Każda odpowiedź modułu ZigBee na przesłane dane (jeśli jest oczekiwana) ma następującą składnię: <CR><LF><Komunikat><CR><LF>

CR to znak powrotu karetki (0x0D), natomiast LF to znak nowej linii (0x0A). Zaleca się, aby przed każdym, kolejnym wysłaniem komendy sterującej odczekać na poprawne wykonanie poprzedniej komendy sygnali-



Rysunek 1. Przykładowe konfiguracje pracy sieci typu ZigBee

Tabela 1. Składnia komendy AT+N	
Składnia komendy	Opis
AT+N?	Zapytanie o informacje o parametry pracy modułu ZigBee
	+N=<devicetype>,<channel>,<power>,<PID>,<EPID> lub +N=NoPAN (w przypadku niepołączonego modułu)
Odpowiedź modułu (tylko lokalnie)	a następnie OK.
Komendy tej używamy w celu weryfikacji czy lokalny moduł ZigBee jest już zalogowany do sieci jak również w celu identyfikacji głównych cech sprzętowych i sieciowych tegoż modułu.	

Tabela 2. Składnia komendy AT&F	
Składnia komendy	Opis
AT&F	Zerowanie urządzenia do ustawień fabrycznych
Odpowiedź modułu	Brak
Komendy tej używamy w celu przywrócenia wartości wszystkich rejestrów konfiguracyjnych modułu ZigBee do ich wartości domyślnych (fabrycznych). Ponadto, zastosowanie tej komendy powoduje wylogowanie modułu z sieci ZigBee czyszcząc tablice Neighbour Table i Routing Table, w których znajdują się informacje dotyczące konfiguracji sieci.	

Tabela 3. Składnia komend ATS	
Składnia komendy	Opis
ATSXX[b bb]=<data>[,<password>]	Zapis do rejestru konfiguracyjnego lokalnego modułu ZigBee
Odpowiedź modułu (tylko lokalnie)	OK(poprawnie dokonany zapis) lub ERROR:<errorcode> (w przypadku wystąpienia błędu)
Komendy używamy do zapisania wartości do rejestru konfiguracyjnego modułu ZigBee. Należy pamiętać, iż niektóre z tych rejestrów są chronione hasłem dostępu (wartość domyślna= password). Parametr XX to numer rejestru, zaś parametr data to liczba szesnastkowa wpisywana do rejestru XX (16- lub 32-bitowa, w zależności od specyfikacji konkretnego rejestru konfiguracyjnego). Ponadto, udostępniono możliwość zapisu (zmiany) wyłącznie wybranych bitów rejestrów konfiguracyjnych, których deskryptor określa parametr b (dla rejestrów 16-bitowych) lub bb (dla rejestrów 32-bitowych). Przykłady zastosowań: ATS00=3FFC – zapis do 32-bitowego rejestru 0x00 wartości heksadecymalnej 0x3FFC ATS0AE=1:password – ustawienie bitu nr 0x0E 16-bitowego rejestru 0x0A chronionego hasłem dostępu	

zowane ciągiem: <CR><LF>OK<CR><LF> lub <CR><LF>ERROR:XX<CR><LF> (w wypadku wystąpienia błędu). Szczegółowe opisy wybranych komend AT umieszczono w tabelach 1...9.

Dla zrozumienia zasady działania modułów firmy Telegesis oraz sposobu ich konfigurowania, poniżej przedstawię krótką listę najczęściej używanych rozkazów sterujących, których użyto przy

Tabela 4. Składnia komendy ATREMS podczas zapisu rejestru

Składnia komendy	Opis
ATREMS:<address>,XX[b[b]]=<data> [,<password>]	Zapis do rejestru konfiguracyjnego innego modułu ZigBee (zapis zdalny)
Odpowiedź modułu (tylko lokalnie)	SEQ:XX (potwierdzenie sekwencji nadawczej wraz z kolejnym jej numerem) i OK a następnie: SWRITE:<NodeID>,<EUI64>,<errorcode> NodeID i EUI64 to parametry identyfikujące moduł ZigBee, którego rejestr poddano operacji zapisu. Poprawny zapis potwierdzany jest kodem błędu równym 0 (errorcode=00) lub ERROR:<errorcode> (w wypadku wystąpienia błędu)
Komendy używamy do zapisu wartości do rejestru konfiguracyjnego innego modułu ZigBee o znanym adresie. Adres modułu, którego rejestr konfiguracyjny chcemy poddać operacji zapisu określa wartość address, która to może być numerem EUI64 lub NodeID urządzenia docelowego. Należy pamiętać, że niektóre z tych rejestrów są chronione hasłem dostępu (wartość domyślna=password). Parametr XX to numer rejestru, zaś parametr data to liczba szesnastkowa (16- lub 32-bitowa, w zależności od specyfikacji konkretnego rejestru konfiguracyjnego). Ponadto, udostępniono możliwość zapisu (zmiany) wyłącznie wybranych bitów rejestrów konfiguracyjnych, których deskryptor określa parametr b (dla rejestrów 16-bitowych) lub bb (dla rejestrów 32-bitowych). Przykłady zastosowań: ATREMS:000D6F0000012345,00=3FFC – zapis do 32-bitowego rejestru 0x00 modułu ZigBee o adresie EUI=000D6F0000012345 wartości heksadecymalnej 0x3FFC ATREMS:000D6F0000012345,0AE=1:password – ustawienie bitu nr E 16-bitowego rejestru 0x0A chronionego hasłem dostępu modułu ZigBee o adresie EUI=000D6F0000012345	

Tabela 5. Składnia komendy ATREMS podczas odczytu rejestru

Składnia komendy	Opis
ATREMS:<address>,XX[b[b]]?	Odczyt wartości rejestru konfiguracyjnego innego modułu ZigBee (odczyt zdalny)
Odpowiedź modułu (tylko lokalnie)	SEQ:XX (potwierdzenie sekwencji nadawczej wraz z kolejnym jej numerem) i OK a następnie SREAD:<NodeID>,<EUI64>,<Register>,<errorcode>[=<Data>] NodeID i EUI64 to parametry identyfikujące moduł ZigBee, którego rejestr odczytywano. Register to numer odczytanego rejestru a Data to odczytana wartość. Poprawny odczyt potwierdzany jest kodem błędu równym 0 (errorcode=00) lub ERROR:<errorcode> (w przypadku wystąpienia błędu)
Komendy używamy do odczytu wartości do rejestru konfiguracyjnego innego modułu ZigBee o znanym adresie. Do tego celu moduł nadawczy używa polecenia unicast. Pozostałe parametry jak dla operacji zapisu. Przykłady zastosowań: ATREMS:000D6F00000AAC93,00? – zapytanie o wartość 32-bitowego rejestru 0x00 modułu ZigBee o adresie EUI=000D6F00000AAC93 ATREMS:000D6F00000AAC93,0AE? – zapytanie o wartość bitu nr 0x0E 16-bitowego rejestru 0x0A modułu ZigBee o adresie EUI=000D6F00000AAC93 ATREMS:000D6F00000AAC93,1812? – zapytanie o wartość bitu nr 0x12 32-bitowego rejestru 0x18 modułu ZigBee o adresie EUI=000D6F00000AAC93	

Tabela 6. Składnia komendy AT+UCAST

Składnia komendy	Opis
AT+UCAST:<address>=<data>	Wysła wiadomość (unicast) do wybranego modułu ZigBee
Odpowiedź modułu (lokalnie)	SEQ:XX (potwierdzenie sekwencji nadawczej wraz z kolejnym jej numerem) a następnie OK i ACK:XX lub NACK:XX (potwierdzenie odebrania danych lub jego brak po stronie odbiornika transmisji) lub ERROR:<errorcode> (w przypadku wystąpienia błędu)
Reakcja modułu po stronie odbiorczej (adresata wiadomości)	UCAST:[<EUI64>,<length>]=<data> EUI64 jest numerem nadawcy, natomiast wartość length określa długość wiadomości zapisaną hexadecymalnie. Dołączanie numeru EUI64 do nagłówka wiadomości wychodzących można wyłączyć poprzez ustawienie bitu nr 0 rejestru konfiguracyjnego 0x10.
Komendy używana do wysłania krótkiej wiadomości do wybranego modułu ZigBee. Numer modułu, do którego jest adresowana wiadomość określa parametr address, który może być numerem EUI64 lub NodeID urządzenia docelowego. Maksymalna długość wiadomości wynosi 82 bajty w wypadku podania numeru NodeID lub 74 bajty dla numeru EUI64. Jeśli zainicjowana przez użytkownika transmisja zakończy się powodzeniem, moduł nadawczy ZigBee poinformuje swojego hosta wysyłając potwierdzenie sekwencji nadawczej wraz z kolejnym jej numerem (SEQ:XX) i notyfikatorem OK. Dodatkowo, lokalny host zostanie także poinformowany o potwierdzeniu transmisji po stronie odbiornika (adresata) przy pomocy notyfikatorów ACK:XX lub NACK:XX (jeśli potwierdzenia takie nie zostały wyłączone) przy czym wystąpienie notyfikatora NACK nie daje pewności, iż adresat wiadomości nie odebrał przesłanych danych. Przykład wiadomości: AT+UCAST:000D6F0000012345,Hello – wiadomość „Hello” wysłana do modułu ZigBee o numerze EUI64 równym 0x000D6F0000012345	

Tabela 7. Składnia komendy AT+SCAST

Składnia komendy	Opis
AT+SCAST:<data>	Wysła dane do koncentratora danych
Odpowiedź modułu (lokalnie)	SEQ:XX (potwierdzenie sekwencji nadawczej wraz z kolejnym jej numerem) a następnie OK i ACK:XX lub NACK:XX (potwierdzenie odebrania danych lub jego brak po stronie odbiornika transmisji) lub ERROR:<errorcode> (w przypadku wystąpienia błędu)
Reakcja koncentratora danych	UCAST:[<EUI64>,<length>]=<data> EUI64 jest numerem nadawcy, natomiast parametr length zawiera liczbę bajtów wiadomości zapisaną szesnastkowo. Dołączanie numeru EUI64 do nagłówka wiadomości wychodzących można wyłączyć poprzez ustawienie bitu nr 0 rejestru konfiguracyjnego 0x10.
Koncentrator danych jest funkcjonalnością wprowadzoną przez firmę Telegesis do modułów ZigBee serii ETRX2 i ETRX3. Dzięki temu moduł może w sposób automatyczny wysłać dane do zdefiniowanego wcześniej koncentratora danych (modułu ZigBee pracującego jako koncentrator), bez znajomości jego parametrów sieciowych. Funkcjonalność tę wykorzystuje wiele automatycznych mechanizmów zintegrowanych w modułach firmy Telegesis, takich jak: reakcje na zdarzenia zewnętrzne (zmiany stanów portów wejściowych), zdarzenia generowane przez timery dostępne w modułach ZigBee czy też reakcje na zdarzenia sieciowe. Maksymalna długość wiadomości wynosi 82 bajty lub 74 bajty, gdy do nagłówka wiadomości sieciowych dołączany jest numer EUI64 modułu nadawczego. Jeśli zainicjowana przez użytkownika transmisja zakończy się powodzeniem, moduł nadawczy ZigBee poinformuje swojego hosta wysyłając potwierdzenie sekwencji nadawczej wraz z kolejnym jej numerem (SEQ:XX) i notyfikatorem OK. Dodatkowo, lokalny host zostanie także poinformowany o potwierdzeniu transmisji po stronie odbiornika (adresata) przy pomocy notyfikatorów ACK:XX lub NACK:XX (jeśli potwierdzenia takie nie zostały wyłączone) przy czym wystąpienie notyfikatora NACK nie daje pewności, iż adresat wiadomości nie odebrał przesłanych danych. Przykład wiadomości: AT+SCAST:Hello world – wysłanie danych o treści „Hello world” do koncentratora danych	

implementacji obsługi technologii ZigBee w urządzeniu intelliDom. Należy podkreślić, iż jest to jedynie próbka możliwości modułów ZigBee firmy Telegesis, ponieważ pełna dokumentacja, chociażby listy obsługiwanych rozkazów sterujących, zawiera niemalże 100 stron. Dla poprawienia czytelności opisu w specyfikacji składni wszystkich rozkazów pominięte zostały noyfikatory <CR> i <LF>.

Znaczenia użytych skrótów:

<PID> 16-bitowy PAN ID (identyfikator sieci ustalany przez koordynatora) zapisany heksadecymalnie (0000... FFFF)

<EPID> 64-bitowy extended PAN ID (identyfikator sieci) zapisany heksadecymalnie wykorzystywany w przypadku współlistnienia sieci o takim samym numerze PAN ID

<NodeID> 16-bitowy unikalny adres sieciowy modułu ZigBee nadawany przez koordynatora (czasami nazwany „krótkim adresem sieciowym”). Adres ten jednoznacznie identyfikuje każdy moduł ZigBee, przy czym należy mieć na uwadze, iż jest on nadawany dynamicznie w czasie logowania urządzenia do sieci w związku, z czym może się zmienić np. podczas kolejnego logowania. Użycie tego adresu zapewnia skrócenie pakietów danych transmitowanych przez sieć ZigBee.

Tabela 8. Składnia komendy AT+EN	
Składnia komendy	Opis
AT+EN	Utworzenie nowej sieci ZigBee
Odpowiedź modułu (tylko lokalnie)	JPAN:<channel>,<PID>,<EPID> a następnie OK lub ERROR:<errorcode> (w przypadku wystąpienia błędu)
Komendy używamy do ustanowienia nowej sieci ZigBee dla modułów, które nie są elementami jakiegokolwiek istniejącej sieci. Czas jej wykonania może wynosić nawet 16 s. Moduł, który odebrał tego polecenie przeprowadza analizę możliwości utworzenia sieci ZigBee (skanuje wszystkie kanały transmisji, poza wykluczonymi wartością rejestru 0x00), wybiera przypadkowy, nieużywany przez inną sieć numer PID i EPID (chyba, że określono inaczej ustawieniami rejestrów 0x02 i 0x03) i automatycznie staje się koordynatorem sieci oraz jej centrum uwierzytelniającym dla kolejnych elementów tej sieci.	

Tabela 9. Składnia komendy AT+JN	
Składnia komendy	Opis
AT+JN	Zalogowanie (dołączenie) do sieci ZigBee
Odpowiedź modułu (lokalnie)	JPAN:<channel>,<PID>,<EPID> a następnie OK lub ERROR:<errorcode> (w przypadku wystąpienia błędu)
Zgłoszenie modułu po stronie koordynatora	NEWNODE:<node EUI64>,<NodeID>,<parent EUI64>
Komendy używamy do zalogowania modułu do istniejącej sieci ZigBee dla modułów, które nie są elementami jakiegokolwiek istniejącej sieci. Czas jej wykonania może wynosić do 4 s. Moduł, który odebrał to polecenie skanuje wszystkie kanały transmisji (poza wykluczonymi wartością rejestru 0x00) w poszukiwaniu sieci ZigBee, która zezwoli na przyłączenie. W wypadku, gdy wartości rejestrów 0x02 (PID) i 0x03 (EPID) są różne od 0 (wartość domyślna) moduł ZigBee zaloguje się wyłącznie do sieci o podanych wartościach PID i/lub EPID. Opcjonalne komunikaty wysyłane przez moduł ZigBee do hosta a związane z procesem logowania do sieci to: LeftPAN – moduł ZigBee opuścił sieć, do której był wcześniej zalogowany (efekt zamierzonego wylogowania modułu z sieci jako reakcji na wysłane polecenie), LostPAN – moduł ZigBee typu End Device stracił kontakt ze swoim „rodzicem” (innym modułem ZigBee (routerem), który pośredniczył w komunikacji z koordynatorem).	

Tabela 10. Struktura rejestru pod adresem 0x0A (mechanizmy logowania i uwierzytelniania)			
Rejestr	0x0A	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Podstawowe funkcje sieciowe i zabezpieczeń		
Wartość domyślna	0000 (16-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	0114		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATSOA=0114:<password> Zdalnie: ATREMS:<address>,<0A=0114:<password>		
Zastosowanie	Wartość ta znajduje zastosowanie podczas procesu ustanawiania nowej sieci ZigBee jak i w trakcie procesu logowania do sieci, gdyż ustanawia podstawowe mechanizmy sieciowe dotyczące procesów logowania i uwierzytelniania jak również ustanawia typ urządzenia ZigBee (domyślnie: router). Ustawiane są następujące bity: - Bit 2: wysyła klucz sieciowy zakodowany z użyciem klucza uwierzytelniającego przy powtórnym logowaniu - Bit 4: wysyła klucz sieciowy zakodowany z użyciem klucza uwierzytelniającego przy logowaniu do sieci - Bit 8: wymusza użycie predefiniowanego (rejestr 0x09) klucza uwierzytelniającego zamiast klucza przypadkowego Domyślnie, w trakcie procesu logowania do sieci, koordynator wysyła niezakodowany klucz sieciowy do każdego urządzenia próbującego zalogować się do sieci a następnie wysyła zakodowany, przypadkowy klucz uwierzytelniający. Taki mechanizm nie zapewnia bezpieczeństwa naszej sieci i powoduje, iż dowolny, inny moduł ZigBee zostanie zalogowany do sieci w sposób automatyczny. Powyższe, zmienione ustawienia domyślne powodują natomiast, iż do naszej sieci ZigBee nie będą już mogły zalogować się w sposób automatyczny żadne, inne moduły ZigBee, których ustawienia klucza uwierzytelniającego są inne aniżeli te wpisane do rejestru 0x09.		

<EUI64> 64-bitowy, niepowtarzalny adres modułu ZigBee zapisany heksadecymalnie (wg. specyfikacji IEEE 802.15.4). Adres ten jest przypisany każdemu modułowi ZigBee na etapie produkcji i nie może być zmieniony przez użytkownika (możliwa jest wyłącznie operacja odczytu odpowiedniego rejestru, gdzie przechowywany jest wspomniany adres).

<channel> numer kanału zapisany dziesiętnie (11...26)

<devicetype> typ modułu ZigBee:

- COO: koordynator,
- FFD: router,
- ZED: urządzenie końcowe (End Device)

Tabela 11. Struktura rejestru pod adresem 0x09 (ustanawianie nowej sieci)			
Rejestr	0x09	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	128-bitowa wartość klucza uwierzytelniającego dla centrum uwierzytelniającego (koordynatora sieci) zapisana heksadecymalnie		
Wartość domyślna	00000000000000000000000000000000		
Wartość ustawiana	Zależna od aplikacji intelliDom (niejawna)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATSO9=<key>:<password> Zdalnie: ATREMS:<address>,<09=<key>:<password>		
Zastosowanie	Wartość ta znajduje zastosowanie podczas procesu ustanawiania nowej sieci ZigBee jak i w trakcie procesu logowania do sieci. Wartość domyślna (0) powoduje, iż w trakcie ustanawiania nowej sieci ZigBee używana jest przypadkowa wartość klucza uwierzytelniającego.		

- **MED**: mobilne urządzenie końcowe w trybie uśpienia,
- **SED**: urządzenie końcowe w trybie uśpienia.

<errorcode> 8-bitowy kod błędu zapisany heksadecymalnie (0x00 = OK)

<power> 16-bitowy deskryptor trybu zasilania (domyślnie 0xC110) według specyfikacji ZigBee (rozdział 2.3.2.4)

<password> 8 znakowe hasło dostępu

Jako dopełnienie opisu możliwości modułów ZigBee firmy Telegesis zaprezentować należy listę rejestrów sterujących wraz z opisem znaczenia poszczególnych ustawień dla pracy modułu. Jak w wypadku opisu komend sterujących, zestawienie zawiera jedynie opis wybranych rejestrów sterujących. Ich wartości zmieniano implementując obsługę technologii

ZigBee w urządzeniu **intelliDom** pozostawiając w reszcie rejestrów wartości domyślne.

Czas na skrótowy choćby opis rejestrów sterujących odpowiedzialnych za automatyczne mechanizmy sterujące wbudowane w moduły firmy Telegesis. Jest to kolejna, wyjątkowa cecha modułów serii ETRX2 i ETRX3. Przegląd struktur wybranych rejestrów konfiguracyjnych, wraz z opisem znaczenia poszczególnych bitów nastaw, umieszczono w **tabelach 10...27**. Dzięki mechanizmowi reakcji na zdarzenia, dla których mogą być podejmowane akcje automatyczne, po wstępnej konfiguracji takich urządzeń w wielu praktycznych zastosowaniach mogą one pracować autonomicznie bez potrzeby stosowania mikrokontrolera jako medium sterującego. Zdarzenia, dla których przewidziano akcje automatyczne to:

- 4 przerwania zewnętrzne wyzwalane zmianą stanów na portach wejściowych modułu (konfigurowane zupełnie dowolnie),
- zdarzenie uruchomienia modułu po włączeniu zasilania,
- zdarzenie zalogowania się do sieci ZigBee,
- zdarzenia generowane przez 8 16-bitowych liczników wbudowanych w moduły ZigBee taktowanych przebiegiem o częstotliwości 4 Hz (dokładnie przez zdarzenie przepełnienia się licznika), dla których konfiguracji podlega zarówno czas przepełnienia się licznika (wartość maksymalna licznika) jak i rodzaj automatycznej akcji podejmowanej przez moduł po zajściu tegoż zdarzenia.

W naszej implementacji obsługi technologii ZigBee dla modułu pokojowego systemu **intelliDom** konfiguracji użytkownika podlegają jedynie 2 zdarzenia. Pierwsze z nich to zdarzenie wyzwolenia przerwania zewnętrznego IRQ2 inicjowane opadającym zboczem sygnału na wejściu PBO modułu odpowiedzialne za obsługę czujnika ruchu. Zdarzenie to generuje akcję automatyczną podejmowaną przez moduł ZigBee, która polega na wysłaniu informacji o stanach wejść do koncentratora danych (w naszym przypadku koordynatora sieci). Funkcjonalność

REKLAMA

Tabela 12. Struktura rejestru pod adresem 0x0C (hasło dostępu)

Rejestr	0x0C	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Hasło dostępu		
Wartość domyślna	password		
Wartość ustawiana	Zależna od aplikacji intelliDom (niejawna)		
Składnia komendy konfiguracyjnej	Lokalnie: ATSOC=<NEW>:<OLD> Zdalnie: ATREMS:<address>,0C=<NEW>:<OLD>		
Zastosowanie	Wartość ta znajduje zastosowanie podczas zapisu do rejestrów konfiguracyjnych zabezpieczonych hasłem dostępu. Długość hasła dostępu musi wynosić dokładnie 8 znaków!		

Tabela 13. Struktura rejestru pod adresem 0x0E (powiadomienia)

Rejestr	0x0E	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Ustanawia blokady powiadomień		
Wartość domyślna	0000 (16-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	1CC4		
Składnia komendy konfiguracyjnej	Lokalnie: ATSOE=1CC4 Zdalnie: ATREMS:<address>,0E=1CC4		
Zastosowanie	Rejestr ten służy do włączania/wyłączania wysyłania poszczególnych powiadomień będących wynikiem wykonania komend sterujących czy też nadchodzących wiadomości przez moduł ZigBee do swojego hosta. Ustawiane są następujące bity: Bit 2: wyłącza wysyłanie powiadomienia: PWRCHANGE:nn Bit 6: wyłącza wysyłanie powiadomienia: ACK:XX Bit 7: wyłącza wysyłanie powiadomienia: NACK:XX Bit A: wyłącza wysyłanie powiadomienia: SR:XX Bit B: wyłącza wysyłanie powiadomienia: SINK Bit C: wyłącza wysyłanie powiadomienia: SEQ:XX		

Tabela 14. Struktura rejestru pod adresem 0x0F (opcje powiadomień)

Rejestr	0x0F	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Ustanawia zaawansowane blokady powiadomień		
Wartość domyślna	0006 (16-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	007F		
Składnia komendy konfiguracyjnej	Lokalnie: ATSOE=007F Zdalnie: ATREMS:<address>,0F=007F		
Zastosowanie	Rejestr ten służy do włączania/wyłączania wysyłania zaawansowanych powiadomień będących wynikiem funkcjonowania sieci ZigBee. Ustawiane są następujące bity: - Bit 0: wyłącza wysyłanie powiadomień: COO, FFD, SED i MED - Bit 1: wyłącza wysyłanie powiadomień o nieodebranych wiadomościach dla Endpoint 2 i 0 - Bit 2: ukrywa prezentację koncentratora danych - Bit 3: wyłącza wysyłanie powiadomienia: OPEN - Bit 4: wyłącza wysyłanie powiadomienia: CLOSED - Bit 5: wyłącza wysyłanie powiadomienia: DataMODE - Bit 6: wyłącza ostrzeżenia menadżera utrzymania sieci		

Tabela 15. Struktura rejestru pod adresem 0x10 (zaawansowane funkcje sieciowe)

Rejestr	0x10	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Konfiguruje zaawansowane funkcje sieciowe		
Wartość domyślna	0000 (16-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	0011 (ustawiana wyłącznie dla koordynatora sieci)		
Składnia komendy konfiguracyjnej	Lokalnie: ATS10=0011 Zdalnie: ATREMS:<address>,10=0011		
Zastosowanie	Rejestr ten konfiguruje zaawansowane funkcje sieciowe modułu ZigBee. Ustawiane są następujące bity: - Bit 0: wyłącza dołączanie numeru EUI64 do nagłówka wiadomości sieciowych - Bit 4: ustanawia bieżący moduł ZigBee koncentratorom danych		

Wykaz elementów

Moduł koordynatora sieci (sterownik główny):

Rezystory: (SMD1206)
 R1, R2: 22 kΩ
 R3, R4: 4,7 kΩ
Kondensatory:
 C1, C2, C6: 10 μF/20 V (typ B, EIA 3528-21)
 C3, C4: 22 pF (SMD1206)
 C5, C7, C10, C11: 100 nF (SMD1206)
 C8, C9: 10 nF (SMD1206)
Półprzewodniki:
 U1: LM1117DT-3.3V (TO-220)
 U2: ATmega644P (TQFP44)
 U3: AR1020 (SOIC20)
 D1: dioda prostownicza S1A (DO214AC)
 D2...D5: dioda dwukierunkowa ESD typu PESD5V0S1BA (SOD323)
Inne:
 TFT – wyświetlacz TFT typu WF35DTIBCDF#
 U4: ETRX357
 Q1 – rezonator kwarcowy 11,0592 MHz (HC49S)
 PWR, ALARM – gniazdo męskie kątowe 90° 2-pin (NSL25-2W)
 BUZ – buzzer piezoelektryczny 3 V
 ZIF1 – złącze typu ZIF do montażu powierzchniowego (raster 0,5 mm, 32-pin, styki od góry)
 ZIF2 – złącze typu ZIF do montażu powierzchniowego (raster 1 mm, 4-pin, styki od góry)
 Taśma połączeniowa dla złącz typu ZIF (raster 0,5 mm, 32 styki, długość ok. 7 cm).

Moduł pokojowy:

Rezystory: (miniaturowe 1/8W)
 R1: 22 kΩ
 R2, R18: 220 Ω
 R3, R4: 68 kΩ/2W
 R5: 20 kΩ
 R6, R8, R10, R13: 390 Ω
 R7, R9, R11, R14: 360 Ω
 R12, R15: 330 Ω
 R16, R17: 39 Ω
 R19: 1 kΩ
Kondensatory:
 C1, C2: 10 μF/16 V
 C3, C4: 22 pF
 C5, C6: 100 nF
 C7, C8: 10 nF/400 V
Półprzewodniki:
 U1: LM1117DT-3.3V (TO220)
 U2: ATmega8L (PDIP28)
 U4: TC1047 (SOT-23B)
 B1: mostek prostowniczy 1 A
 OK1: PC814 (DIP4)
 OK2, OK3: MOC3023 (DIP6)
 OK4, OK5: MOC3043 (DIP6)
 T1...T4: BT138 (TO220)
 T5: BUZ11 (TO220)
 TX: czerwona dioda świecąca 3 mm
 JOINED: zielona dioda świecąca 3 mm
Inne:
 U3: ETRX357
 Q1: rezonator 8 MHz (HC49S)
 ALARM, EX: gniazdo męskie kątowe 90° 2-pin (NSL25-2W)
 BULB1...BULB4, LED, AC: złącze śrubowe typu AK500/2
 TR1: transformator SMD typu TEZ1.5/D/6V (wysokość 22 mm)
 KK1...KK5: radiator D02PA czarny
 CLEAR: jumper 2,54 mm

tą otrzymano konfigurując rejestr 0x25 modułu ZigBee w następujący sposób:

Drugie ze zdarzeń to zdarzenie zalogowania się do sieci modułu ZigBee, które powoduje wyzerowanie portu wyjściowego PA0 modułu (domyślnie ustawiono na nim stan wysoki) zapalając tym samym diodę

LED oznaczoną jako JOINED. Wspomniana konfiguracja wygląda następująco:

Ponadto, producent ustawił domyślne akcje dla zdarzeń liczników Timer0... Timer3 ułatwiające utrzymanie i zarządzanie siecią ZigBee w sposób całkowicie zautomatyzowany (zaleca się pozostawie-

Tabela 16. Struktura rejestru pod adresem 0x11 (funkcje sprzętowe)

Rejestr	0x11	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Konfiguruje sprzętowe funkcje modułu ZigBee		
Wartość domyślna	0005 (16-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	8101 (ustawiana wyłącznie dla modułów pokojowych – urządzeń typu Slave)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATS11=8110 Zdalnie: ATREMS:<address>,11=8110		
Zastosowanie	Rejestr ten konfiguruje sprzętowe funkcje modułu ZigBee: - Bit 4: ustanawia wyzwalanie przerwania zewnętrznego IRQ2 modułu ZigBee przy pomocy opadającego zbocza sygnału na wejściu PBO - Bit 8: uruchamia moduł niwelujący drgania styków dla wszystkich wejść przerwań zewnętrznych (czas detekcji zmiany stanu na wejściach wynosi 100ms) - Bit F: włącza generowanie przebiegu PWM na wyjściu PB7 modułu ZigBee. Parametry przebiegu określają ustawienia rejestrów 0x1B i 0x1D.		

Tabela 17. Struktura rejestru pod adresem 0x13 (ustawienia I/O)

Rejestr	0x13	Zapis	Wartość ulotna	
Opis	Rejestr ten łącznie z ustawieniami rejestrów S16 i S18 konfiguruje ustawienia portów I/O modułu ZigBee.			
Wartość domyślna	00000000			
Wartość ustawiana	00000500 (wyłącznie dla modułów pokojowych)			
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATS13=00000500 Zdalnie: ATREMS:<address>,13=00000500			
Zastosowanie	32-bitowa wartość XXXXXXXX reprezentuje następujące porty: xxxxxxxx<PC7...PC0><PB7...PB0><PA7...PA0> przy			
	S13	S16	S18	Typ portu I/O
	0	0	0	Wejściowy typu floating
	0	0	1	Wejściowy typu floating
	0	1	0	Wyjściowy – stan „0”
	0	1	1	Wyjściowy – stan „1”
	1	0	0	Wejściowy z rezystorem podciągającym do masy
	1	0	1	Wejściowy z rezystorem podciągającym do zasilania
	1	1	0	Typu otwary dren (0)
	1	1	1	Typu otwary dren (flo ting)

Tabela 18. Struktura rejestru pod adresem 0x15 (alternatywne funkcje I/O)

Rejestr	0x15	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Konfiguruje alternatywne funkcje portów modułu ZigBee		
Wartość domyślna	00000600 (32-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	00000600 (dla koordynatora) lub 00202600 (dla modułów pokojowych)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATS15=00202600 Zdalnie: ATREMS:<address>,15=00202600		
Zastosowanie	Rejestr ten konfiguruje alternatywne funkcje portów modułu ZigBee, przy czym ustawienia stają się aktywne po restarcie modułu. Ustawiane są następujące bity: - Bit 9: uaktywnia wyjście TXD interfejsu RS232 - Bit 10: uaktywnia wejście RXD interfejsu RS232 - Bit 13: uaktywnia wejście ADC0 wbudowanego przetwornika ADC (tylko moduły pokojowe) - Bit 21: uaktywnia wyjście TX_Active modułu ZigBee, na którym pojawia się wysoki stan logiczny w trakcie transmisji danych (tylko moduły pokojowe)		

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym

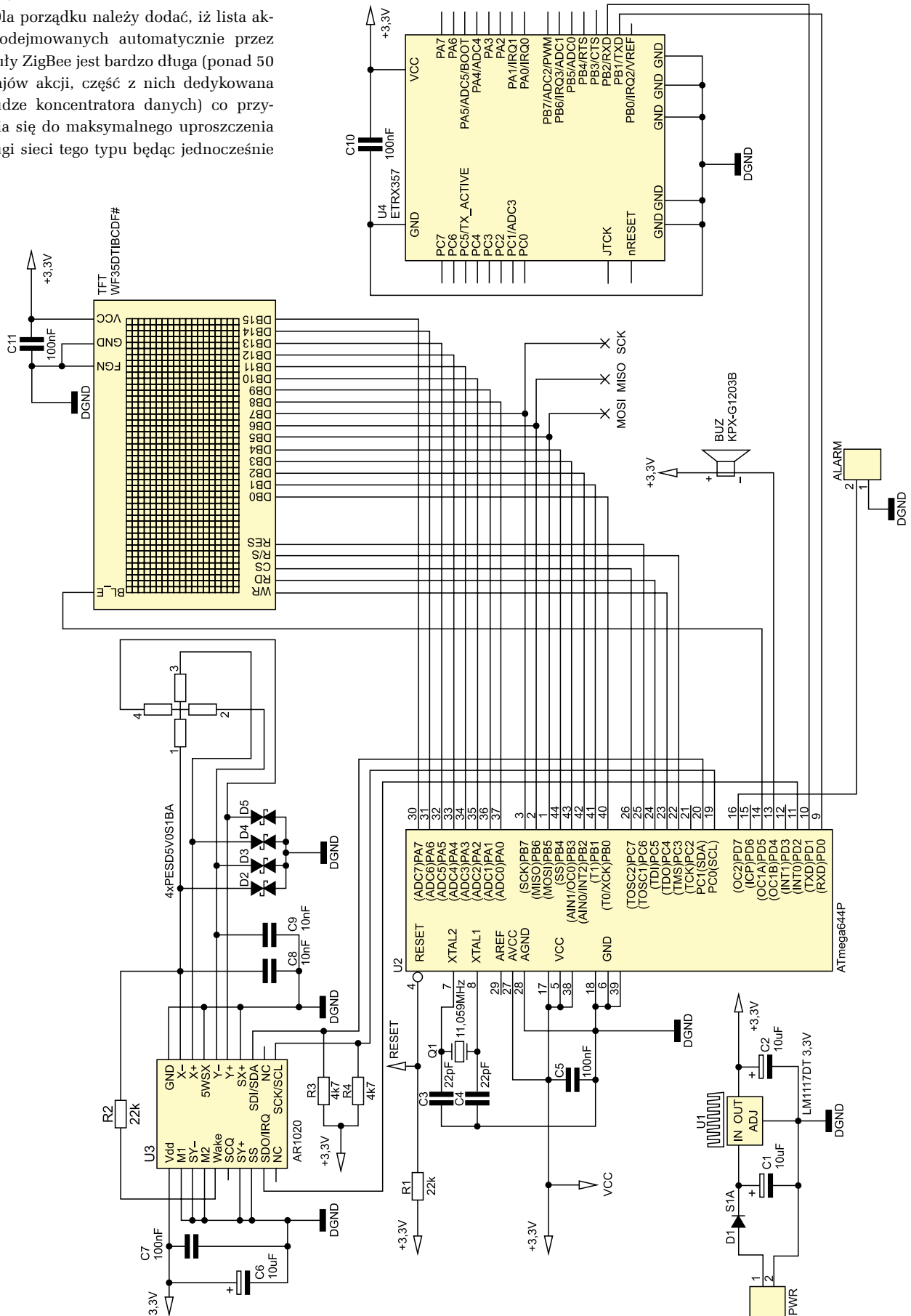


nie ustawień domyślnych). Poniżej przedstawiono listę tych zdarzeń z interwałami czasowymi przyporządkowanymi każdej z nich:

Dla porządku należy dodać, iż lista akcji podejmowanych automatycznie przez moduły ZigBee jest bardzo długa (ponad 50 rodzajów akcji, część z nich dedykowana obsłudze koncentratora danych) co przyczynia się do maksymalnego uproszczenia obsługi sieci tego typu będąc jednocześnie

doskonałym rozszerzeniem funkcjonalności technologii ZigBee (zwłaszcza biorąc pod uwagę wprowadzenie funkcjonalności

koncentratora danych, którym, o czym jeszcze nie wspomniano, nie musi być konieczny koordynator sieci).



Rysunek 2. Schemat ideowy sterownika głównego systemu IntelliDom

Reasumując, po włączeniu zasilania każdy moduł ZigBee systemu intelliDom przechodzi proces konfiguracji, który ma na celu ustalenie wstępnych sprzętowych parametrów pracy jak również ustala sposób współpracy modułu z wbudowanym mikrokontrolerem. Konfiguracja ta jest, co oczywiste, odmienna dla sterownika głównego (Master) systemu intelliDom, w którym to moduł ETRX357 pełni rolę koordynatora, centrum uwierzytelniającego oraz koncentratora danych a inna dla modułów pokojowych, których moduły pełnią rolę routerów ZigBee jak i urządzeń wykonawczych. Proces ten polega na wysłaniu następujących komend sterujących.

Tabela 19. Struktura rejestru pod adresem 0x16 (kierunek I/O)

Rejestr	0x16	Zapis	Wartość ulotna
Opis	Ustawia kierunek portów modułu ZigBee		
Wartość domyślna	Zdefiniowana wartością rejestru 0x17		
Wartość ustawiana	00FFDAFF (wyłącznie dla modułów pokojowych)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: AT516=00FFDAFF Zdalnie: ATREMS:<address>,16=00FFDAFF		
Zastosowanie	Rejestr ten decyduje o kierunku portów I/O modułu ZigBee. 32-bitowa wartość XXXXXXXX reprezentuje następujące porty: xxxxxxx<PC7...PC0><PB7...PB0><PA7...PA0> przy czym bit ustawiony oznacza port wyjściowy a bit wyzerowany port wejściowy. Odpowiednie ustawienia zmieniane są natychmiast jednak nie podlegają zapamiętaniu w nieulotnej pamięci modułu.		

Tabela 20. Struktura rejestru pod adresem 0x17 (kierunek po restarcie)

Rejestr	0x17	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Ustawia domyślną wartość rejestru kierunku portów (0x16) wczytywaną po restarcie modułu (Soft lub Hard Reset) lub po włączeniu zasilania		
Wartość domyślna	000142CC (32-bitowa zapisana heksadecymalnie)		
Wartość ustawiana	00FFDAFF (wyłącznie dla modułów pokojowych)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: AT517=00FFDAFF Zdalnie: ATREMS:<address>,17=00FFDAFF		
Zastosowanie	Jak dla rejestru 0x16 przy czym odpowiednie ustawienia podlegają zapamiętaniu w nieulotnej pamięci modułu.		

Tabela 21. Struktura rejestru pod adresem 0x18 (poziomy wyjściowe)

Rejestr	0x18	Zapis	Wartość ulotna
Opis	Ustawia stany na wyjściach modułu ZigBee (wartość jego bufora wyjściowego)		
Wartość domyślna	Zdefiniowana wartością rejestru 0x19		
Wartość ustawiana	00000001 (na wszystkich portach zdefiniowanych jako typowe porty I/O stan logiczny „0” za wyjątkiem portu PA0, dla którego domyślnie ustawiono stan logiczny „1”) – tylko dla modułów pokojowych		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: AT518=00000001 Zdalnie: ATREMS:<address>,18=00000001		
Zastosowanie	Rejestr ten decyduje o stanach logicznych na poszczególnych portach modułu ZigBee, jeśli skonfigurowano je do pracy jako standardowe porty I/O w konfiguracji jako porty wyjściowe. 32-bitowa wartość XXXXXXXX reprezentuje następujące porty: xxxxxxx<PC7...PC0><PB7...PB0><PA7...PA0> Odpowiednie ustawienia zmieniane są natychmiast jednak nie podlegają zapamiętaniu w nieulotnej pamięci modułu.		

Tabela 22. Struktura rejestru pod adresem 0x19 (poziomy wyjściowe po restarcie)

Rejestr	0x19	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Ustawia domyślne stany na wyjściach modułu ZigBee (wartość jego bufora wyjściowego określonego rejestrem 0x18) wczytywaną po restarcie modułu (Soft lub Hard Reset) lub po włączeniu zasilania		
Wartość domyślna	00000000		
Wartość ustawiana	00000001 (na wszystkich portach zdefiniowanych jako typowe porty I/O stan logiczny „0” za wyjątkiem portu PA0, dla którego domyślnie ustawiono stan logiczny „1”) – tylko dla modułów pokojowych		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: AT519=00000001 Zdalnie: ATREMS:<address>,19=00000001		
Zastosowanie	Jak dla rejestru 0x18 przy czym odpowiednie ustawienia podlegają zapamiętaniu w nieulotnej pamięci modułu.		

Tabela 23. Struktura rejestru pod adresem 0x1A (bufor wyjściowy)

Rejestr	0x1A	Tylko odczyt
Opis	Rejestr bufora wyjściowego modułu ZigBee	
Wartość domyślna	Brak	
Składnia komendy odczytującej	Lokalnie: AT51A? Zdalnie: ATREMS:<address>,1A?	
Zastosowanie	Rejestr ten pozwala na odczyt stanów na portach wejściowych modułu ZigBee. 32-bitowa odczytywana wartość XXXXXXXX reprezentuje następujące porty: xxxxxxx<PC7...PC0><PB7...PB0><PA7...PA0>	

Tabela 24. Struktura rejestru pod adresem 0x1B (licznik generatora PWM)

Rejestr	0x1B	Zapis	Wartość ulotna
Opis	Rejestr wartości maksymalnej, do jakiej zlicza wbudowany 16-bitowy licznik sprzętowego generatora PWM.		
Wartość domyślna	Zdefiniowana wartością rejestru 0x1C.		
Wartość ustawiana	2EEO (przebieg PWM o częstotliwości 1kHz).		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: AT51B=2EEO Zdalnie: ATREMS:<address>,1B=2EEO		
Zastosowanie	Rejestr ten pozwala na konfigurację sprzętowego generatora PWM wbudowanego w moduł ZigBee. Jego wartość reprezentuje wartość maksymalną, do której zlicza wbudowany 16-bitowy licznik sprzętowego generatora PWM taktowany częstotliwością 12MHz. W chwili osiągnięcia przez licznik generatora PWM wpisanej wartości maksymalnej zostaje ustawiony port wyjściowy PB7 modułu ZigBee (pod warunkiem, iż stosowna funkcja została uaktywniona ustawieniami rejestru 0x11).		

Tabela 25. Struktura rejestru pod adresem 0x1C (stan licznika generatora PWM po restarcie)

Rejestr	0x1C	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Ustawia domyślną wartość maksymalną, do jakiej zlicza wbudowany 16-bitowy licznik sprzętowego generatora PWM wczytywaną po restarcie modułu (Soft lub Hard Reset) lub po włączeniu zasilania.		
Wartość domyślna	3A98 (przebieg PWM o częstotliwości 800 Hz).		
Wartość ustawiana	2EEO (przebieg PWM o częstotliwości 1 kHz).		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: AT51C=2EEO Zdalnie: ATREMS:<address>,1C=2EEO		
Zastosowanie	Jak dla rejestru 0x1B przy czym odpowiednie ustawienia podlegają zapamiętaniu w nieulotnej pamięci modułu.		

Tabela 26. Struktura rejestru pod adresem 0x1D (wypełnienie PWM)

Rejestr	0x1D	Zapis	Wartość ulotna
Opis	Rejestr konfiguruje wypełnienie impulsów przebiegu PWM sprzętowego generatora PWM		
Wartość domyślna	Zdefiniowana wartością rejestru 0x1E		
Wartość ustawiana	0000 (przebieg PWM o wypełnieniu 0%)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATS1D=0000 Zdalnie: ATREMS:<address>,1D=0000		
Zastosowanie	Rejestr ten pozwala na ustawienie wypełnienia impulsów przebiegu generowanego przez sprzętowy generator PWM. Jego wartość reprezentuje wartość, przy której zachodzi zdarzenie porównania zawartości licznika z wartością rejestru 0x1D i dla której to port wyjściowy PB7 modułu ZigBee zostaje wyzerowany (pod warunkiem, iż stosowna funkcja została uaktywniona ustawieniami rejestru 0x11).		

Tabela 27. Struktura rejestru pod adresem 0x1E (wypełnienie PWM po restarcie)

Rejestr	0x1E	Zapis	Wartość nieulotna
Opis	Ustawia domyślną wartość wypełnienia impulsów przebiegu PWM sprzętowego generatora PWM czytawaną po restarcie modułu (Soft lub Hard Reset) lub po włączeniu zasilania		
Wartość domyślna	1D4C (przebieg PWM o wypełnieniu 50%)		
Wartość ustawiana	0000 (przebieg PWM o wypełnieniu 0%)		
Składnia komendy konfigurującej	Lokalnie: ATS1E=0000 Zdalnie: ATREMS:<address>,1E=0000		
Zastosowanie	Jak dla rejestru 0x1D przy czym odpowiednie ustawienia podlegają zapamiętaniu w nieulotnej pamięci modułu.		

Jak widać, w wypadku modułów pokojowych odpowiednie konfiguracje przeprowadzane są zarówno dla pewnych rejestrów nieulotnych będących źródłem ustawień po włączeniu zasilania, jak i dla ich „odpowiedników” mających charakter ulotny. Oczywiście, można każdorazowo sprawdzać wartość rejestru nieulotnego (czytawanego po włączeniu zasilania) i w przypadku, gdy nie ma wartości domyślnej – na bieżąco zmieniać wartość jego „odpowiednika”, jednak taki proces zajmowałby więcej czasu niż zaprezentowane rozwiązanie.

Budowa sterownika

Znamy już wszelkie szczegóły dotyczące obsługi modułów ZigBee jak i ich implementacji w systemie intelliDom – pora na przedstawienie rozwiązań sprzętowych. W systemie intelliDom jest jeden, bezprzewodowy sterownik główny zarządzającym całą siecią i wieloma sterownikami wykonawczymi (do 8 sztuk, zależne od oprogramowania sterownika), które realizują rozkazy wysyłane przez użytkownika za pośrednictwem rozbudowanego interfejsu graficznego obsługiwanego przy użyciu panelu dotykowego. Sterownik główny odpowiada za realizację poleceń wydawanych przez użytkownika, przechowuje parametry sieciowe zalogowanych urządzeń (modułów pokojowych), pozwala na dodawanie nowych modułów do listy obsługiwanych urządzeń (w tym nadawanie im prostej nazwy identyfikującej dany moduł pokojowy) oraz realizuje mechanizmy odpowiedzialne za utrzymanie naszej sieci typu PAN. Ponadto, po włączeniu zasilania, sterownik główny odpytuje wszystkie aktywne i zalogowane moduły pokojowe w celu uaktualnienia nastaw pokazywanych na ekranie graficznego interfejsu użytkownika. Schemat sterownika głównego pokazano na **rysunku 2**.

Robert Wołgajew
robert.wolgajew@ep.com.pl