

Sieć ZigBee w praktyce

Moduły Telegesis ETRX357

Kiedyś poproszono mnie o zbudowanie systemu do bezprzewodowej akwizycji danych. Zleceniodawca chciał zbierać dane z sieci czujników rozmieszczonych na pewnym obszarze. Zbadałem różne możliwości, jednak od razu moją uwagę przyciągnęła sieć ZigBee, której specyfikacja idealnie przystawała do potrzeb. Jednak gdy zapytałem kolegów konstruktorów, to ich zdaniem był to standard drogi i bardzo trudny do użycia. Czy aby naprawdę diabeł jest tak straszny, jak go malują?

Błędem byłoby założyć, że elektronika się nie rozwija. Dlatego techniki i technologie niegdyś niedostępne dla produkcji małoseryjnej lub o niskim budżecie dziś są bardzo łatwe do użycia nawet w konstrukcjach amatorskich. Tak stało się też z sieciami ZigBee.

Do zbudowania sieci akwizycji danych z czujników, o której mowa na wstępie, po analizie oferty różnych producentów, wybrałem moduły komunikacyjne ETRX357 produkowane przez firmę Telegesis. Przekonała mnie do nich łatwość obsługi za pomocą dobrze opisanych w dokumentacji modułów komend AT.

Właściwości i parametry ETRX357

Moduły są zbudowane w oparciu o układ typu EM357 produkowany przez firmę Ember. Umożliwiają one utworzenie bezprzewodowej sieci transmisji danych w standardzie ZigBee. Transmisja ta odbywa się w paśmie ISM (2,4 GHz), do użycia którego nie są wymagane żadne zezwolenia. Wybrane przeze mnie moduły mają zintegrowaną antenę typu A5839 firmy Antenova. Teoretyczny, podawany przez producenta zasięg transmisji wynosi do 300 metrów. Napięcie zasilania modułów powinno być z przedziału 2,1...3,6 V. Pobór prądu w stanie aktywnym waha się około 30 mA.

Moduły są wyposażone w kompletny stos protokołu ZigBee oraz oprogramowanie (*firmware*) umożliwiające komunikację za pomocą 24 wejść/wyjść ogólnego przeznaczenia. Niektóre z nich mogą być skonfigurowane jako wyprowadzenia interfejsu UART, przetworników A/C lub JTAG.

W sieciach ZigBee moduły ETRX357 mogą pracować w następujących trybach:

- COO – koordynator,
- FFD – router,
- ZED – urządzenie końcowe,
- SED – urządzenie końcowe mogące przejść w stan uśpienia,
- MED – ruchome urządzenie końcowe mogące przejść w stan uśpienia.

Aktualny stan modułów oraz ustawienia ich parametrów pracy są przechowywane w 79 rejestrach. Część z nich to rejestry umieszczone w pamięci nieulotnej, zachowujące zawartość po odłączeniu zasilania. Przechowywane są w nich na przykład: stany początkowe portów I/O, ustawienia portu UART, ustawienia timerów i parametry sieciowe.

Tworzenie sieci ZigBee

Oprogramowanie modułów pozwala na komunikowanie się z nimi za pomocą komend AT wysyłanych i odbieranych przez interfejs UART. Producent udostępnił dodatkową funkcję niebędącą przedmiotem specyfikacji standardu ZigBee. Pozwala ona na ustanowienie funkcji jednego z mo-



dułów pracujących w sieci jako punktu zbiorczego (*sink*). Jest wówczas możliwe przesyłanie komunikatów do urządzenia typu *sink* bez znajomości 64-bitowego adresu sieciowego. Dodatkowo, jest możliwe przypisanie niektórym wejściom przerwań funkcjonalności wywołującej reakcję nie tylko modułu lokalnego, ale również innego będącego w zasięgu sieci ZigBee. Innymi słowy, projekt niewielkiej sieci czujników może zostać utworzony bez konieczności wykonywania zaawansowanego oprogramowania modułów komunikujących się między sobą lub dołączania dodatkowego mikrokontrolera.

Koordinator sieci. Aby utworzyć połączenie bezprzewodowe pomiędzy dwoma modułami, należy jednemu z modułów przyporządkować funkcję koordynatora sieci (ZC – *ZigBee Coordinator*). Można to zrobić, wysyłając do tego modułu poprzez UART komendę `at+en`. W odpowiedzi moduł powinien przesłać komunikat informujący, że sieć została ustanowiona:

```

JPAN:25,2AE2,A5DDBB4B6880E064
OK
- połączenie modułu
  lokalnego z siecią:
  numer kanału, 16-bitowy
  identyfikator sieci,
  64-bitowy rozszerzony
  identyfikator sieci
- koniec wiadomości
  
```

Moduł odbierający komendę `at+en` zaczyna pełnić rolę koordynatora i jest gotowy do zarządzania siecią. Taka jednopunktowa sieć jest gotowa do pracy i mogą do niej być dołączane kolejne moduły komunikacyjne.

Dołączanie modułów. Koordynator pełni rolę zaawansowanego punktu dostępowego, który tworzy sieć, nadaje jej identyfikator i ustala numer kanału komunikacyjnego w jej obrębie. Aby dołączyć kolejne moduły – klientów do sieci lub koordynatora, należy do nich wysłać komendę `at+jn`. Wówczas moduł rozpocznie przeszukiwanie kanałów radiowych w celu znalezienia działającej sieci ZigBee. Jeśli zostanie znaleziona więcej niż jedna sieć, moduł dołączy się do sieci o najsilniejszym sygnale. Należy mieć na uwadze, że działające sieci ZigBee mogą być zabezpieczone przed dołączaniem nowych modułów.

W przypadku pomyślnego dołączenia modułu do sieci, koordynator wyśle komunikat przez swój interfejs UART informujący, że pojawiło się nowe urządzenie w sieci.

```

NEWNODE:102A,0021ED0000071EEA,0000
- nowe urządzenie:
  identyfikator
  urządzenia, 64-bitowy
  adres wg standardu
  IEEE 802.15.4,
  identyfikator
  urządzenia
  nadrzędnego (rodzica)
  
```

```
SR:00,0021ED0000071EEA,102A - otrzymano wiadomość
sieciowa
- router ZigBee -
(ZR) rozgłasza swoją
obecność, podając
64-bitowy adres
zgodny ze standardem
IEEE 802.15.4
oraz identyfikator
urządzenia

FFD:0021ED0000071EEA,102A
```

Nastawy parametrów pracy. Modyfikację rejestrów odpowiedzialnych za parametry pracy modułów można przeprowadzić zarówno lokalnie, jak i zdalnie. Aby lokalnie sprawdzić zawartość jednego z 79 rejestrów, należy posłużyć się komendą `atsXX[x]?`, podając szesnastkowy numer rejestru (XX) oraz opcjonalnie numer bitu rejestru (x). Jak w komendach Hayes, znak zapytania oznacza, że komenda dotyczy odczytu zawartości adresowanego rejestru. Na przykład ustawienia interfejsu UART są przechowywane w rejestrze S12. Aby sprawdzić jego stan, należy posłużyć się komendą `ats12?`

W odpowiedzi moduł wysła komunikat:

```
0500 gdzie 0500 (szesnastkowo) oznacza następujące
ustawienia:
- starszy bajt (05) - prędkość portu: 19200 bps
- młodszy bajt (00) - pozwala w przypadku
ustawienia danego bitu na wybranie poniższych
parametrów:
- bit 7 - oznaczanie początku transmisji bajtem
STX (0x02) oraz końca transmisji bajtem ETX
(0x03),
- bit 6 - niewykorzystane,
- bit 5 - sprzętowa kontrola przepływu (RTS,
CTS),
- bit 4 - siedem bitów danych (zamiast ośmiu),
- bit 3 - dwa bity stopu (zamiast jednego),
- bit 2 - kontrola parzystości (odd),
- bit 1 - kontrola parzystości (even).

OK koniec wiadomości
```

Każdy wiersz komunikatów wysyłanych przez moduł kończy się znakami końca linii (CR tj. 0D) i nowego wiersza (LF tj. 0A). Aby włączyć oznaczanie początku i końca każdego wiersza znacznikami STX – ETX (szesnastkowo 02 03), na przykład w celu łatwiejszej interpretacji wiadomości przez program zarządzający siecią, należy ustawić najstarszy bit młodszy bajtu. W tym celu można posłużyć się komendą ustawiającą wybrany bit tego rejestru `ats127=1` lub komendą ustawiającą zawartość całego rejestru `ats12=0580`.

W obu przypadkach moduł potwierdza ustawienia, przesyłając komunikat OK. Świadczy on o prawidłowym przeprowadzeniu operacji.

Aby upewnić się co do wykonanej modyfikacji rejestru S12, można odczytać jego zawartość za pomocą komendy `ats12?` Odpowiedź modułu powinna być następująca:

```
0580
OK
Ponieważ znaczniki STX – ETX są tzw. znakami niedrukowalnymi, nie są one widoczne w przykładzie. Niżej umieszczono pełną odpowiedź modułu wraz z wartościami odebranych bajtów w kodzie szesnastkowym:
☐ 02 0D 0A
0580 30 35 38 30 0D 0A
☐ 03 02 0D 0A
OK 4F 4B 0D 0A
☐ 03
```

W trakcie dołączania się sieci, drugi moduł rozpoczął pracę jako router (FFD). Jeśli będzie wskazane, aby do modułu nie mogły być dołączane kolejne, należy zmienić typ urządzenia z routera (FFD) na urządzenie końcowe (ZED). W tym celu jest konieczne zmodyfikowanie rejestru S0A. Odpowiada on między innymi za wybór typu urządzenia sieci ZigBee, którym stanie się moduł ETRX357 po dołączeniu do sieci. Zmiana zawartości rejestru S0A w module drugim może zostać przeprowadzona zdalnie, przy użyciu komendy `atrem:s:<adres>,XX[x]` (adres – adres docelowego urządzenia

podany w postaci 64-bitowego adresu EUI64 zgodnie ze standardem IEEE 802.15.4 lub identyfikator urządzenia, XX – szesnastkowy numer rejestru, x – opcjonalny bit rejestru).

Posłużenie się komendami `atrem:s:0021ED0000071EEA,0a?` lub `atrem:s:102A,0a?` umożliwi zdalne sprawdzenie zawartości rejestru S0A. W jego trakcie moduły nawiązują połączenie, przesyłają wiadomość (w tym wypadku zapytanie), a następnie jest transmitowana odpowiedź. Dodatkowo, jest dostępna informacja o kolejnym numerze wiadomości nadawanej (SEQ:0E) oraz potwierdzenie, że wiadomość ta została odebrana (ACK:0E).

```
SEQ:0E - jednobajtowy
numer wiadomości

OK - komunikat
o otrzymaniu
wiadomości od
urządzenia
zdalnego o podanym
adresie

SR:00,0021ED0000071EEA,102A - potwierdzenie
otrzymania
wiadomości

ACK:0E - odpowiedź na
zdalne zapytanie
o zawartość
rejestru:
identyfikator
urządzenia,
64-bitowy adres
wg standardu
IEEE 802.15.4
(EUI64), numer
rejestru, kod
błędu, zawartość
rejestru.

SREAD:102A,0021ED0000071EEA,0A,00=0000
```

Typ modułu pracującego w sieci ZigBee określają dwa najstarsze bity rejestru S0A. Ich znaczenie podano w tabeli 1.

W celu zmiany funkcji drugiego modułu z routera (FFD) na urządzenie końcowe (ZED) należy do koordynatora wysłać komendę ustawiającą w module B najstarszy bit rejestru 0A. Ze względów bezpieczeństwa modyfikacja tego rejestru wymaga podania hasła. Hasło ustalone fabrycznie to wyraz „password”. Pełna komenda służąca do zmiany funkcji modułu jest następująca `atrem:s:0021ED0000071EEA,0af=1:password`. Ponieważ typ urządzenia pracującego w sieci jest określany w momencie ustanawiania sieci lub dołączania do niej nowego urządzenia, niezbędne jest odłączenie modułu B od sieci oraz jego ponowne dołączenie. Do przeprowadzenia tej operacji należy do portu UART modułu B wysłać komendę odłączającą od sieci `at+dass1`, a następnie komendę dołączającą do sieci `at+jn`.

Koordynator zakomunikuje tę sytuację, wysyłając do portu UART komunikaty oznajmiające dołączenie do sieci nowego urządzenia:

```
NEWNODE:02E1, - nowe urządzenie: identyfikator
0021ED0000071EEA,0000 urządzenia, 64-bitowy adres
wg standardu IEEE 802.15.4,
identyfikator urządzenia
nadrzędnego (rodzica)

ZED:0021ED0000071EEA,02E1 - urządzenie końcowe rozgłasza
swoją obecność: 64-bitowy
adres wg standardu IEEE
802.15.4 (EUI64), identyfikator
urządzenia
```

W trakcie operacji ponownego dołączenia do sieci ulega zmianie 16-bitowy identyfikator modułu i aby móc komunikować się z tym

Bit F	Bit E	Rodzaj urządzenia
0	0	router (FFD)
1	0	urządzenie końcowe (ZED)
0	1	urządzenie końcowe mogące przejść w stan uśpienia (SED)
1	1	ruchome urządzenie końcowe mogące przejść w stan uśpienia (MED)

modułem, należy użyć niezmiennego, 64-bitowego adresu EUI64 lub pozyskać nowy identyfikator modułu.

Odczyt lub zmiana stanu linii I/O. Jak wspomniano, moduł Telegesis ETRX357 jest wyposażony w linie I/O ogólnego przeznaczenia. Opisane wcześniej sposoby modyfikacji rejestrów mogą również służyć do odczytu i/lub zmiany ich stanu oraz kierunku pracy.

Rejestr S16 przechowuje ustawienia kierunku pracy portów I/O, S18 poziomy wyjściowe portów I/O, natomiast poziomy wejściowe są w rejestrze S1A. Rejestry S16 i S18 są umieszczone w pamięci ulotnej. Aby uniknąć każdorazowego ustawiania kierunku i stanu portów I/O po włączeniu zasilania, należy skorzystać z rejestrów S17 oraz S19 umieszczonych w pamięci nieulotnej. Ich zawartości rejestrów wpływają na stany początkowe rejestrów, odpowiednio – S16 i S18. Dodatkowo, jest możliwe ustawienie wejść z podciąganiem do zasilania (pull-up) lub do masy (pull-down) oraz wyjść z otwartym drenem. Można to uzyskać, modyfikując zawartość rejestru S13. Pełny wachlarz ustawień rejestru S13 w połączeniu z ustawieniami przechowywanymi w rejestrach S16 oraz S18 zamieszczono w tabeli 2.

Użycie komendy `atrem`s przedstawia przykład zdalnego odczytu rejestru S1A w module B, zawierającego stany wejściowe wszystkich 24 linii I/O `atrem`s:0021ED0000071EEA, 1A?

Odpowiedź może wyglądać następująco:

```
SEQ:15          - jednobajtowy numer wiadomości
OK              - potwierdzenie otrzymania wiadomości
ACK:15
SREAD:02E1,    - odpowiedź na zdalne zapytanie
0021ED0000071EEA,1A,  o zawartość rejestru:
00=00000000     identyfikator urządzenia,
                  64-bitowy adres wg standardu
                  IEEE 802.15.4 (EUI64), numer
                  rejestru, kod błędu, zawartość
                  rejestru
```

Ostatni człon odpowiedzi (osiem zer) podano w postaci liczby szesnastkowej. Z uwagi na liczbę linii I/O należy pominąć dwa pierwsze znaki, a następnie interpretować stany linii, przyjmując, że dwa następujące po sobie znaki przedstawiają stan jednego z trzech 8-bitowych portów w postaci liczby szesnastkowej. W podanym przykładzie wszystkie linie I/O mają stan niski. Aby sprawdzić stan pojedynczej linii, np. 8 należy odczytać ósmy bit rejestru 1A, używając komendy w postaci: `atrem`s:0021ED0000071EEA, 1A7?

W odpowiedzi otrzymujemy wiadomość:

```
SEQ:16          - jednobajtowy numer wiadomości
OK              - potwierdzenie odbioru wiadomości
ACK:16          - odpowiedź na zdalne zapytanie
                  o zawartość rejestru:
                  identyfikator urządzenia,
                  64-bitowy adres wg standardu
                  IEEE 802.15.4 (EUI64), numer
                  rejestru, kod błędu, zawartość
                  rejestru
SREAD:02E1,
0021ED0000071EEA,1A7,00=0
```

S13	S16	S18	
0	0	0	Wejście pływające
0	0	1	Wejście pływające
0	1	0	Wyjście o stanie logicznym 0
0	1	1	Wyjście o stanie logicznym 1
1	0	0	Wejście z podciąganiem do masy (pull-down)
1	0	1	Wejście z podciąganiem do zasilania (pull-up)
1	1	0	Wyjście typu otwarty dren o stanie logicznym 0
1	1	1	Wyjście typu otwarty dren o stanie otwartym

W celu ustawienia odczytanej w poprzednim kroku linii wyjściowej, należy ustawić odpowiedni bit rejestru 18, stosując komendę: `atrem`s:0021ED0000071EEA, 187=1

W odpowiedzi otrzymujemy informację o zakończonej sukcesem modyfikacji rejestru S18 (kod błędu 00).

```
SEQ:17          - jednobajtowy numer wiadomości
OK              - potwierdzenie otrzymania wiadomości
ACK:17
SWRITE:         - odpowiedź na zdalną komendę
02E1,0021ED0000071EEA,32,00  zmieniającą zawartość rejestru:
                                identyfikator urządzenia,
                                64-bitowy adres wg standardu
                                IEEE 802.15.4 (EUI64),
                                numer rejestru, kod błędu
```

Odczyt i zapis linii I/O w lokalnym module przeprowadza się za pomocą odwołań do rejestrów S18 i S1A z wykorzystaniem komendy `ats`. Na przykład za pomocą komendy `ats187=1` ustawia się poziom wysoki na linii ósmej modułu lokalnego. Jeśli operacja przebiegła pomyślnie, w odpowiedzi otrzymamy komunikat OK.

Aby sprawdzić stan wszystkich linii wejściowych modułu lokalnego, należy posłużyć się komendą odczytującą cały rejestr S1A `ats1A?` Odpowiedź modułu może wyglądać następująco:

```
00000080
OK
```

Podsumowanie

W kolejnej części artykułu zostaną opisane możliwości wykorzystania systemu przerwań i timerów w samodzielnej pracy modułów ETRX357. Po odpowiednim skonfigurowaniu moduły nie wymagają dodatkowych komend AT, aby przesłać i odbierać komunikaty.

Arcadiusz Hutnik, a.hutnik@op.pl

REKLAMA

fronty foliowe

klawiatury silikonowe

klawiatury membranowe

klawiatury pojemnościowe

HORIZON TECHNOLOGIES www.horizontech.pl

Horizon Technologies Sp. z o.o. 66-400 Gorzów Wielkopolski ul. Walczaka 25
tel. 95 782 12 11 faks 95 782 12 14 e-mail: biuro@horizontech.pl

ponadto oferujemy panele dotykowe, obudowy i wiele innych rozwiązań