

Emil MICHTA

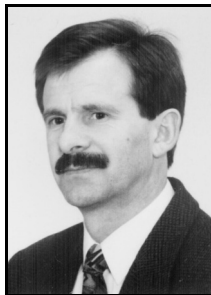
INSTYTUT METROLOGII ELEKTRYCZNEJ, UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra

Sieci ZigBee w systemach Smart Metering

Doc. dr inż. Emil MICHTA

Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze w 1978r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Instytucie Automatyki i Metrologii w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze. Stopień naukowy doktora otrzymał w Instytucie Metrologii Elektrycznej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w 1989r. Zainteresowania ogniskują się wokół zagadnień inteligentnej aparatury pomiarowo – sterującej, systemów rozproszonych i sieci przemysłowych.

e-mail: E.Michta@ime.uz.zgora.pl

**Streszczenie**

W artykule omówiono wybrane architektury komunikacyjne bazujących na profilu komunikacyjnym *ZigBee Smart Energy* (ZSE). Przedstawiono ich syntetyczną charakterystykę i ocenę rozwiązań według kryterium poziomu bezpieczeństwa w systemach *Smart Metering*, zbudowanych na bazie dyskusowanych w artykule architektur.

Słowa kluczowe: stacjonarne monitory promieniowania, systemy monitorowania.

ZigBee networks in Smart Metering systems**Abstract**

The paper deals with communication architectures based on communication profile *ZigBee Smart Energy* (ZSE). They are characterized and evaluated according to the safety issues in *Smart Metering* systems built on architectures discussed in the paper. ZSE profile defined in 2008 is described. In Fig. 1 the simplest *ZigBee Smart Energy* home networking structure belonging to Utility is shown. The more complex ZSE structures are shown in Figs. 2 and 3. In all cases, ZSE net is integrated with the HAN network by means of the Energy Service Provider node. A high level of security required in such applications is provided by *ZigBee Trust Center* in a local network and by use of VPN tunnels in communications in a public network. The solutions presented are ready for use in the newest generation of smart meters and may provide a good basis for *Smart Grid* networks. At the end, a new idea of the distributed processing provided for digital power counters (Fig. 4) is described.

Keywords: Smart Metering, ZigBee Networks.

1. Wprowadzenie

W inteligentnych sieciach elektroenergetycznych (*Smart Grid*) informacja o aktualnym zużyciu energii elektrycznej jest niezbędna do efektywnego zarządzania procesem jej wytwarzania, przesyłania i dystrybucji. Poza systemem elektroenergetycznym informacja o zużyciu energii elektrycznej może być przydatna jej odbiorcom do lokalnego zarządzania ich odbiorami w celu podniesienia efektywności energetycznej. O ile wymienione powyżej zadania wydają się oczywiste, to rozwiązania części pomiarowo – sterującej i architektury komunikacyjnej, zwłaszcza z uwzględnieniem zagadnień bezpieczeństwa urządzeń i informacji oraz funkcjonalności dodatkowych węzłów pomiarowo – sterujących nie są tak oczywiste. W artykule przedstawione zostaną wybrane rozwiązania architektur komunikacyjnych bazujących na profilu komunikacyjnym *ZigBee Smart Energy* (ZSE). Przedstawiona zostanie dyskusja i ocena rozwiązań pod kątem poziomu bezpieczeństwa w systemach *Smart Metering*. Ponadto zaprezentowana zostanie autorska koncepcja zastosowania przetwarzania rozproszonego bazująca na przetwarzaniu regułowym do realizacji wybranych funkcjonalności właściwym systemom klasy *Smart Grid* na poziomie lokalnym.

2. Sieć ZigBee

Sieć ZigBee jest bezprzewodową siecią nowej generacji, klasy WPAN bazującą na standardzie IEEE 802.15.4 oraz warstwie sieciowej i warstwie aplikacji. Obecność warstwy sieciowej oznacza możliwość realizacji funkcji adresowania logicznego i routowania, co pozwala na budowę sieci typu „multihop”, w których informacja z węzła źródłowego do docelowego przechodzi przez węzły pośrednie i które mogą pracować w topologii drzewa lub siatki. Topologie te poza elastycznością tworzenia i rozbudowywania sieci (do 256 węzłów), gwarantują wysoki poziom niezawodności w dostarczaniu informacji poprzez możliwość dynamicznego zestawiania trasy przesyłania danych pomiarowych lub sterujących, w sytuacji kiedy ustalona wcześniej trasa stanie się niedostępna.

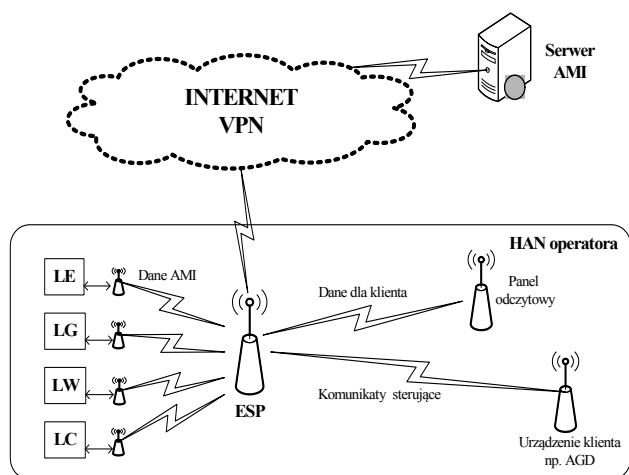
Z wielu funkcji dostępnych w warstwie aplikacji na uwagę zasługuje obecność funkcji *Trust Center* związanej z polityką bezpieczeństwa w sieci ZigBee. Funkcja ta służy do uwierzytelniania dołączanych do sieci węzłów oraz do generacji i dostarczania kluczy sesyjnych dla komunikujących się pomiędzy sobą węzłów. Z uwagi na znaczenie przesyłanych danych pomiarowych a zwłaszcza danych sterujących, w systemach *Smart Metering* i *Smart Grid* jednym z kluczowych wymagań stawianych technologiom komunikacyjnym jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa. W typowych zastosowaniach, stosowanie kluczy sesyjnych w transmisji pomiędzy dwoma węzłami końcowymi, zarówno w standardzie ZigBee jak i ZigBee Pro jest opcjonalne. Natomiast w profilu ZSE używanie *Trust Center* oraz stosowanie kluczy sesyjnych jest obligatoryjne.

Właściwości tej technologii komunikacyjnej spełniają wysokie wymagania niezawodnościowe i gwarantują wysoki poziom bezpieczeństwa. Obie te cechy oferowane przez standard ZigBee implikują duże zainteresowanie środowiska przemysłowego wykorzystaniem tego standardu we współczesnie opracowywanych systemach klasy *Smart Metering* i *Smart Grid*. We współczesnie wdrażanych systemach klasy *Smart Metering*, które stanowią bazę dla systemów *Smart Grid* instaluje się obecnie elektroniczne liczniki pomiarowe trzeciej i czwartej generacji. W licznikach tych moduły komunikacyjne bazują głównie na technologiach komunikacyjnych PLC, GPRS i ZigBee, ale jeżeli chodzi o dynamikę przyrostu, to największy przyrost obserwuje się w obszarze technologii bezprzewodowych [5].

3. Profil ZigBee Smart Energy

W 2008 roku zdefiniowano pierwszą specyfikację profilu *ZigBee Smart Energy* (ZSE) dedykowanego do budowy inteligentnych systemów opomiarowania czynników energetycznych i mediów (*Smart Metering*) oraz do budowy inteligentnych systemów elektroenergetycznych. Specyfikację tę zmodyfikowano w 2011 r. i ona obecnie obowiązuje, ale organizacja ZigBee Alliance pracuje nad kolejnymi funkcjami tego profilu. W profilu ZSE wyróżniono dwie podstawowe funkcjonalności sieci ZigBee. Jedna służy do realizacji funkcji pomiarowych, a druga do celów lokalnego zarządzania energią. W obu rodzajach sieci mogą pracować jedynie te urządzenia, które spełniają wymagania stosu ZigBee 2007 lub ZigBee 2007 Pro, a podstawowym elementem architektury komunikacyjnej jest węzeł ESP (*Energy Service Provider*).

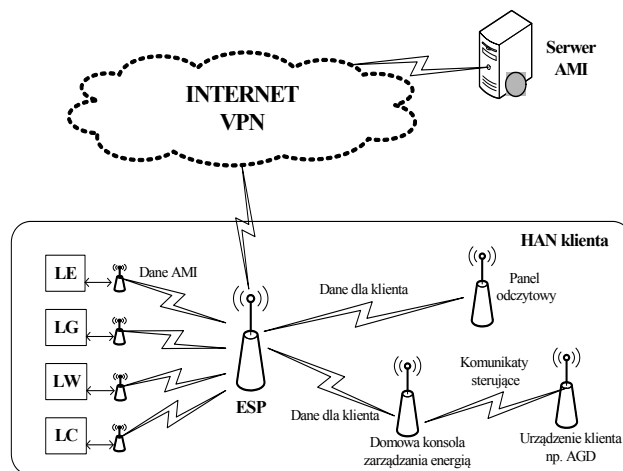
Na rysunkach 1 – 3 przedstawiono modelowe rozwiązania systemów Smart Metering zgodne ze specyfikacją profilu ZSE. Wyróżniono w nich trzy podstawowe elementy: serwer AMI (Advanced Metering Interface), publiczną sieć komunikacyjną z szyfrowanymi kanałami komunikacyjnymi VPN (Virtual Private Network) oraz lokalne bezprzewodowe sieci klasy HAN (Home Area Network) lub NAN (Neighborhood Area Network) z urządzeniami pomiarowymi, panelem odczytowym oraz węzłami do realizacji sterowania urządzeniami zasilanymi z sieci elektrycznej.



Rys. 1. Struktura domowej sieci ZigBee należącej do NOP
Fig. 1. ZigBee home networking structure belonging to the NOP (Utility)

Na rysunku 1 przedstawiono strukturę najprostszej bezprzewodowej sieci ZigBee, która jest prywatną siecią dostawcy energii lub NOP-a. Sieć ta nie może zawierać żadnych urządzeń sterowanych przez klienta. Pomimo tego, że w tym modelu funkcjonowania ZSE zakłada się, że sieć ZigBee należy do dostawcy usługi, to w sieci tej, poza centralnym węzłem ESP, który realizuje funkcje odczytu wskazań z licznika energii elektrycznej (LE), licznika gazu (LG), licznika ciepła (LC) oraz liczników ciepłej i zimnej wody (LW), wyróżniono węzeł panelu odczytowego oraz węzeł reprezentujący urządzenia będące odbiornikami energii elektrycznej, które mogą być załączane lub odłączane. Zakłada się, że w normalnym trybie pracy liczniki pracujące w prywatnej sieci HAN nie będą odczytywane częściej niż co 7,5 sek. Zaleca się, ażeby komunikacja pomiędzy węzłem ESP a pozostałymi węzłami nie odbywała się częściej niż co 30 sek. Węzeł ESP powinien występować jako koordynator, który inicjuje sieć i odpowiada za dołączanie i odłączanie urządzeń do/z sieci oraz jako *Trust Center* sieci ZigBee, który odpowiada za zarządzanie kluczami szyfrującymi sieciowym (*Network Key*) i sesyjnym (*Application Link Key*). Przyjęcie centralnego modelu zarządzania siecią i zarządzania funkcjami bezpieczeństwa gwarantuje wysoki poziom odporności na próby ingerencji w strukturę sieci oraz próby ingerowania w przesyłaną informację.

Zgodnie z zaleceniami ZigBee Alliance, węzły sieci pomiarowej powinny być instalowane przez specjalizowany personel firmy dystrybucyjnej lub poprzez NOP. Pozostałe węzły sieci bezprzewodowej takie jak panele odczytowe, domowa konsola zarządzania energią lub inne urządzenia klienta mogą być instalowane przez właściciela lub przez personel techniczny nie mający doświadczenia ze standardem ZigBee. Urządzenia te nie muszą spełniać wymogów bezpieczeństwa nakładanych na część pomiarową sieci ZigBee, ale muszą spełniać wymogi ZigBee Compliant Platform (ZCP), co oznacza konieczność używania certyfikowanego stosu ZigBee, dzięki czemu zapewniona jest właściwa komunikacja z węzłami spełniającymi wymagania profilu ZSE.

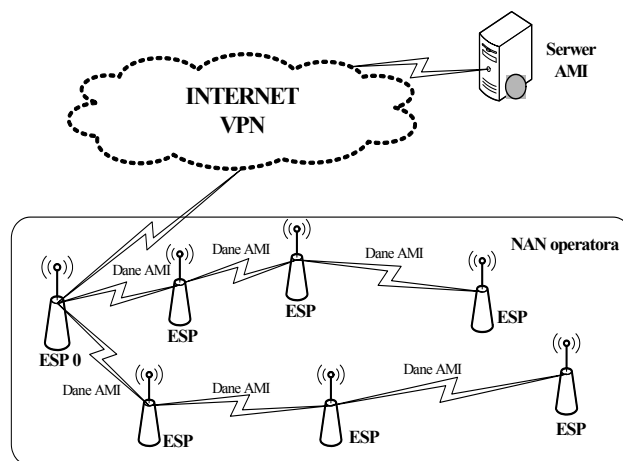


Rys. 2. Struktura domowej sieci ZigBee należącej do klienta
Fig. 2. ZigBee home networking structure belonging to the Customer

Na rysunku 2 przedstawiono strukturę bezprzewodowej sieci HAN przystosowanej do realizacji funkcji systemu *Smart Metering*. W odróżnieniu od struktury przedstawionej na rysunku 1, w tym przypadku właścicielem sieci HAN jest klient. Węzeł ESP należy do dostawcy usługi, ale poza funkcją odczytu pomiarów spełnia jedynie rolę przekaźnika informacji (np. o cenach, aktualnym poborze mocy itp.) do panelu odczytowego lub do domowej konsoli zarządzania energią, która zgodnie z ustawioną przez klienta strategią realizuje funkcje sterowania pracą urządzeń klienta. Informacje o cenie i poborze mocy przesyłane są z węzła ESP do węzłów nie należących do sieci ZSE przy wykorzystaniu mechanizmu transmisji anonimowej (*anonymous Inter PAN transmission*).

Podczas formowania sieci ZSE lub podczas dołączania urządzenia do istniejącej sieci, w celu uniknięcia kolizji z sieciami WiFi, zaleca się w pierwszej kolejności skanować następujące kanały: 11, 14, 15, 19, 20, 24 i 25.

Na rysunku 3 przedstawiono bardziej rozbudowaną strukturę sieci ZSE klasy NAN, w której wyróżniono węzeł ESP 0 pełniący rolę koordynatora sieci i realizujący funkcję *Trust Center* do centralnego zarządzania bezpieczeństwem w sieci NAN. Bezpieczeństwo przesyłanych danych w sieci zapewnione jest przez stosowanie kluczy sesyjnych w sieci NAN i stosowanie połączeń VPN w transmisjach przez publiczną sieć WAN. Sieć NAN w całości należy do dostawcy usługi lub operatora NOP.



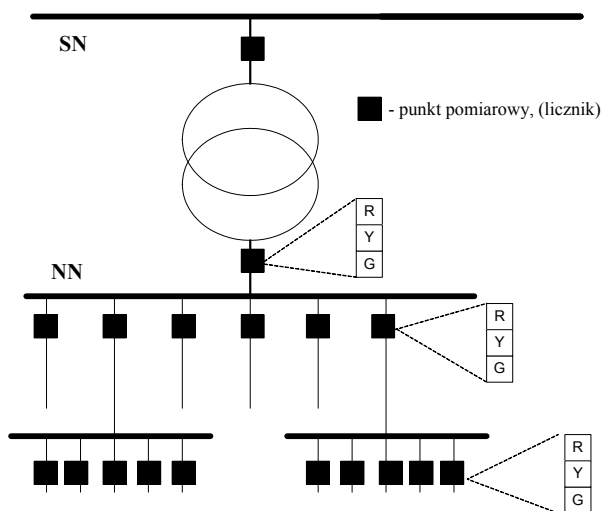
Rys. 3. Struktura sieci NAN należącej do NOP
Fig. 3. NAN networking structure belonging to the NOP

Poza koordynatorem pozostałe węzły sieci są routerami i poza funkcjami odczytu liczników mogą świadczyć poszczególnym klientom usługi przedstawione na rysunku 1. Sieć ZSE o strukturze przedstawionej na rysunku 3 jest dedykowana dla budynków mieszkalnych.

4. Przetwarzanie w systemie inteligentnego opomiarowania

Szacuje się, że w krajowym systemie inteligentnego opomiarowania czynników energetycznych i mediów jest około 15 mln liczników energii elektrycznej, 8 mln liczników gazu i parędziesiąt milionów liczników CO, CW i ZW. Zadanie polegające na odczytaniu ich zawartości, przetworzeniu, a następnie przeanalizowaniu wyników pomiarów, podjęciu odpowiednich decyzji i zwrotnym ich przesłaniu do punktów pomiarowych lub do węzłów ESP, jest zadaniem czasochłonnym i znacznie angażującym system komunikacyjny. Zatem przyjęcie centralnego modelu przetwarzania jako dominującego w rozproszonym systemie inteligentnego opomiarowania czynników energetycznych i mediów nie jest rozwiązaniem zalecanym. W takim systemie pewna grupa zadań może, czy nawet musi być realizowana w sposób centralny, ale część z zadań może być realizowana na niższych poziomach systemu inteligentnego opomiarowania.

Na rysunku 4 przedstawiono schemat logiczny fragmentu systemu elektroenergetycznego średniego (SN) i niskiego napięcia (NN), w którym wyróżniono punkty pomiarowe w postaci cyfrowych liczników energii elektrycznej. Na najniższym poziomie znajdują się liczniki energii elektrycznej instalowane u klientów, natomiast na wyższych poziomach znajdują się liczniki sumujące.



Rys. 4. Przetwarzanie rozproszone w systemie inteligentnego opomiarowania
Fig. 4. Distributed processing in Smart Metering System

Zarówno liczniki podstawowe jak i liczniki sumujące mogą znajdować się w jednym z trzech stanów określonych jako *Red* (*R*), *Yellow* (*Y*) i *Green* (*G*).

Stan *G* w liczniku u odbiorcy lub w liczniku sumującym oznacza, że aktualny pobór mocy jest poniżej poboru maksymalnego danego odbiorcy energii elektrycznej lub grupy odbiorców energii elektrycznej. Ocena *R*, *Y*, *G* stanu poboru energii elektrycznej może odnosić się również do mocy 15. minutowej.

Stany *Y* lub *R* oznaczają odpowiednio ostrzeżenie o możliwości przekroczenia poboru maksymalnego (*Y*) lub jego przekroczenie

(*R*). Stany *R*, *Y*, *G* liczników powinny być wyznaczane lokalnie tzn. przez poszczególne liczniki lub przez węzeł ESP, a informacja o aktualnym ich stanie dla danego licznika powinna być przesyłana do liczników znajdujących się na wyższym poziomie hierarchii. Do centralnej bazy danych przesyłane są informacje o stanach *R* w chwili ich wystąpienia w danym liczniku energii elektrycznej lub w chwili zmiany stanu na *Y* lub *G*. Przy takich założeniach można w prosty sposób wdrożyć przetwarzanie rozproszone typu regułowego [4], w którym wykorzystuje się stany poboru energii, a nie przetwarza się jej bezwzględnej wartości. Taki sposób rozwiązania przetwarzania rozproszonego prowadzi do znacznego odciążenia systemu komunikacyjnego. W przypadku braku komunikacji lub awarii systemu centralnego, system jest w stanie nadal funkcjonować. Ponadto, z uwagi na przewidywane w modelach ZSE powiązanie sieci pomiarowej z siecią domową HAN, informacje o aktualnym stanie poziomu zużycia energii elektrycznej mogą zostać wykorzystane lokalnie do zarządzania zainstalowanymi w mieszkaniu lub firmie odbiornikami energii elektrycznej.

5. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wybrane architektury komunikacyjne dedykowane do budowy systemów *Smart Metering* bazujące na bezprzewodowej sieci ZigBee należy uznać za elastyczne, ponieważ nie narzucają przynależności sieci funkcjonującej po stronie odbiorcy energii elektrycznej, gazu, wody lub ciepła. Najważniejszym elementem prezentowanych struktur jest węzeł ESP będący koordynatorem oraz węzłem zarządzającym kluczami szyfrującymi wykorzystywanymi w sieciach HAN lub NAN. Przyjęcie centralnego modelu zarządzania siecią i zarządzania funkcjami bezpieczeństwa zapewnia wysoki poziom zabezpieczenia sieci przed podłączeniem nieuprawnionego węzła do sieci *Smart Metering* oraz przed nieuprawnionym dostępem do przesyłanej w niej informacji. Odmienną strategię funkcjonowania proponuje się wykorzystywać do realizacji funkcji oceny aktualnego zużycia energii elektrycznej (stany *R*, *Y*, *G*) na poszczególnych poziomach systemu elektroenergetycznego. Proponowane rozwiązanie przetwarzania rozproszonego typu regułowego powinno w znacznym stopniu zmniejszyć obciążenie systemu komunikacyjnego i centralnego serwera.

6. Literatura

- [1] Deng R. Bao F, Yang Y: Better security enforcement in trusted computing enabled heterogeneous wireless sensor networks. *Security and Communication Networks*, 2011, No 4, pp. 11-22.
- [2] Michta E.: Niezależny operator pomiarowy w systemie inteligentnego opomiarowania czynników energetycznych. *Pomiary, Automatyka, Kontrola*. 2010, Vol. 56, nr 11, s. 1268-1270.
- [3] Michta E.: System inteligentnego opomiarowania czynników energetycznych i mediów. *Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemysle - VIII konferencja naukowa*. Łagów, 2010. Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2010, s. 107-110.
- [4] Michta E., Powroźnik P., Szulim R.: Przetwarzanie rozproszone w bezprzewodowych sieciach czujnikowych. *Pomiary, Automatyka, Kontrola*. 2008, Vol. 54, nr 6, s. 350-352.
- [5] ZigBee Smart Energy Profile Specification. 2011, ZigBee Standards Organizations.

otrzymano / received: 10.07.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.09.2012

artykuł recenzowany / revised paper