

Uniwersalne moduły technologii Internetu Rzeczy (IoT) dla systemów automatyki budynkowej i zarządzania energią w budynkach

Jakub Greła, Andrzej Ożadowicz

Wstęp

Internet Rzeczy (ang. IoT – *Internet of Things*) jest nowym paradygmatem w systemach komunikacji i sterowania, dedykowanym również do wykorzystania w budynkach, łączącym w sobie idee i rozwiązania technologiczne pochodzące z różnych obszarów technologii komunikacji i przetwarzania danych oraz sterowania [1]. Dodatkowo utrzymująca się tendencja stałego wzrostu oczekiwań ze strony użytkowników budynków (poprawa komfortu użytkowania, zapewnienie bezpieczeństwa oraz redukcja zużycia energii), wymaga stosowania złożonych technologicznie i funkcjonalnie rozwiązań, ukierunkowanych na jak najpełniejszą integrację instalacji technologicznych w ramach infrastruktury budynków [2]. Dlatego implementacja technologii IoT w budynkach ma za zadanie umożliwienie płynnej oraz bezproblemowej integracji różnych fizycznych obiektów, będących elementami instalacji technologicznych, w sieci Internet za pośrednictwem ich wirtualnej reprezentacji [3]. Technologia ta dostarcza narzędzi umożliwiających realizację np. instalacji monitoringu i zarządzania energią w ramach systemów zarządzania energią w budynku (ang. BEMS – *Building Energy Management Systems*), stanowiących docelowo integralny element teleinformatycznych sieci komunikacji w budynkach [4]. Jednym z podstawowych elementów rozwijanych w ramach koncepcji IoT, jest komunikacja typu M2M (*Machine-to-Machine*). Pozwala ona na ujednoczenie standardu komunikacji danych na wszystkich poziomach hierarchii systemów sterowania urządzeń infrastruktury budynkowej, w tym na najniższym poziomie obiektowym. Takie podejście umożliwia interakcję na poziomie obiektowym urządzeń pochodzących z różnych obszarów, podsystemów infrastruktury budynkowej [5]. Przewodzone obecnie badania i prace rozwojowe w zakresie standaryzacji urządzeń i realizowanych przez nie funkcji w obrębie technologii IoT, mają na celu zapewnienie dopasowania technologii IPv6 i internetowych usług sieciowych do obsługi urządzeń, które do tej pory nie były aktywnymi uczestnikami systemów automatyki budynkowej [6]. Równolegle prowadzone są badania ukierunkowane na zastosowanie technologii IoT w wielu obszarach powiązanych z trendami rozwojowymi współczesnej automatyki budynkowej, np. Inteligentne Miasta (ang. *Smart Cities*) [7].

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę możliwości realizacji technicznej i wyniki badań związanych z opracowaniem modułów technologii Internetu Rzeczy (IoT) w zintegrowanych, sieciowych systemach automatyki budynkowej. Istotnym elementem przeprowadzonych przez autorów badań było określenie funkcji sterujących i sposobu ich realizacji jako uniwersalnych urządzeń automatyki budynkowej, bazujących na technologii IoT, które powinny zapewnić jak największą elastyczność i interoperacyjność modułów automatyki w obszarze redukcji zużycia energii w budynkach. Przeprowadzone prace badawcze wskazują na możliwość wykorzystania technologii IoT do opracowania zbioru funkcji dla systemu automatyki, zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej budynków oraz zmniejszenie zużycia energii. Artykuł wskazuje na trendy rozwoju zintegrowanych systemów automatyki budynkowej, ze wsparciem obsługi i komunikacji danych przez sieci protokołu IP, oraz przedstawia wyniki implementacji uniwersalnego licznika energii elektrycznej w technologii IoT.

BUILDING AUTOMATION AND ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS WITH UNIVERSAL INTERNET OF THINGS MODULES

Abstract: In this paper authors present a technical analysis and results of implementation of Internet of Things (IoT) modules in integrated, networked building automation systems. The research is focused on defining control functions and their implementation as universal building automation devices. To provide an interoperability of building automation modules in the field of energy consumption reduction, authors proposed use of IoT technology.

In conducted research authors have confirmed that there is a possibility of using IoT technology to develop a set of control functions to improve the energy efficiency of buildings and reducing energy consumption. This paper shows trends in the development of integrated building automation systems, support services and data communication over IP networks, and presents the results of the implementation of universal IoT energy meter as well.

Przegląd dostępnych technologii

Zastosowanie rozproszonych systemów sterowania jest doskonałym rozwiązaniem technicznym do organizacji zaawansowanych systemów automatyki budynkowej (ang. BAS – *Building Automation Systems*), szczególnie biorąc pod uwagę ciągle wzrastającą liczbę parametrów i sygnałów z czujników oraz elementów wykonawczych instalowanych w nowoczesnych budynkach. Skutecznie działający BEMS, będący integralną częścią BAS, w takich obiektach jest konieczny dla zredukowania zużycia energii, a tym samym ograniczenia kosztów eksploatacji, przy zachowaniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa i komfortu użytkownika [8]. Powszechną praktyką podczas realizowania rozproszonych systemów sterowania w budynkach było wykorzystanie otwartych standardów i protokołów, dedykowanych dla sieci BAS. Natomiast technologia IoT otwiera nowe możliwości w tym zakresie, umożliwiając połączenie i skomunikowanie tysięcy urządzeń, modułów, sterowników w różnych domenach¹, obsługujących systemy zasilania, monitoringu, telekomunikacji oraz infrastruktury tzw. *smart meteringu* (inteligentne liczniki), zarządzania energią i mediami w budynkach. Dlatego też technologia ta coraz częściej stanowi podstawę realizacji sieciowych systemów BAS i BEMS [6, 9].

Istotnymi cechami współczesnych systemów automatyki budynkowej są integralność i elastyczność. Dostępnych jest wiele standardów i rozwiązań technicznych dedykowanych dla takich systemów, w różnych konfiguracjach i architekturach. Część z nich bazuje na centralnym sterowniku (lub kilku sterownikach) rozszerzonym o moduły wejść/wyjść (I/O) z dołączanymi bezpośrednio czujnikami i elementami wykonawczymi systemu automatyki i monitoringu. Spotykane są również rozwiązania hybrydowe, z częściowo zaimplementowanymi standardami otwartych, rozproszonych sieci sterowania, np. Modbus, CANopen – również w nich podstawowym elementem jest centralny sterownik. Takie platformy systemowe automatyki budynkowej oferowane są zwykle jako rozwiązania firmowe. Kolejną grupą rozwiązań dedykowanych BAS są otwarte standardy

automatyki, np. BACnet, KNX, LonWorks, EnOcean, Modbus etc. W standardach KNX i LonWorks podstawowymi elementami integracji i otwartości są standardowe profile funkcjonalne, zmienne sieciowe i obiekty danych, jako podstawowe elementy interfejsu logicznego urządzeń sieciowych. Standardy te wspierają obsługę kanałów protokołu IP jako medium komunikacji – zarówno wykorzystywanych w tunelowaniu komunikatów, jak i w zdalnym dostępie do sieci z zewnątrz [4, 10]. W standardzie BACnet zdefiniowano protokoły i usługi komunikacji danych, obsługujących urządzenia i moduły różnych podsystemów infrastruktury budynkowej. Komunikaty standardu BACnet mogą być przesyłane przez dowolną sieć komunikacji danych, ale tylko niewielka liczba standardów sieciowych jest przygotowana do obsługi transmisji danych sieci BACnet. Wszystkie wymienione standardy otwarte są dedykowane do realizacji przede wszystkim połączeń sieciowych na poziomie obiektowym – bezpośredniej obsługi czujników i elementów wykonawczych na obiekcie [11]. Często w instalacjach budynkowych spotykane są również standardy komunikacji danych specyficzne dla konkretnych typów instalacji, podsystemów. Przykładem może być standard DALI, stosowany w instalacjach oświetleniowych lub SMI wykorzystywany do sterowania napędów rolet, okien. Wymienione standardy i technologie spełniają w infrastrukturze systemów obsługi budynków bardzo specyficzne role i zadania w zakresie obsługi urządzeń na poziomie obiektowym. Funkcjonują one zwykle poprawnie i niezawodnie i dlatego ich wymiana na moduły z interfejsem IoT nie wydaje się być konieczna. Dlatego proponuje się możliwość ich integracji z tą technologią oraz aktywne włączenie w strukturę powstających sieci IoT, bazujących na protokole IP w wersji 4 i 6.

„Techniki Internetowe” i usługi sieciowe Web, takie jak: oBIX, OPC UA czy BACnet/WS (WS-Web Service), oraz coraz częściej implementowany interfejs RESTful, bazujący na standardowym protokole obsługi stron WWW – http, są wykorzystywane jako rozwiązania dedykowane do integracji danych w branży

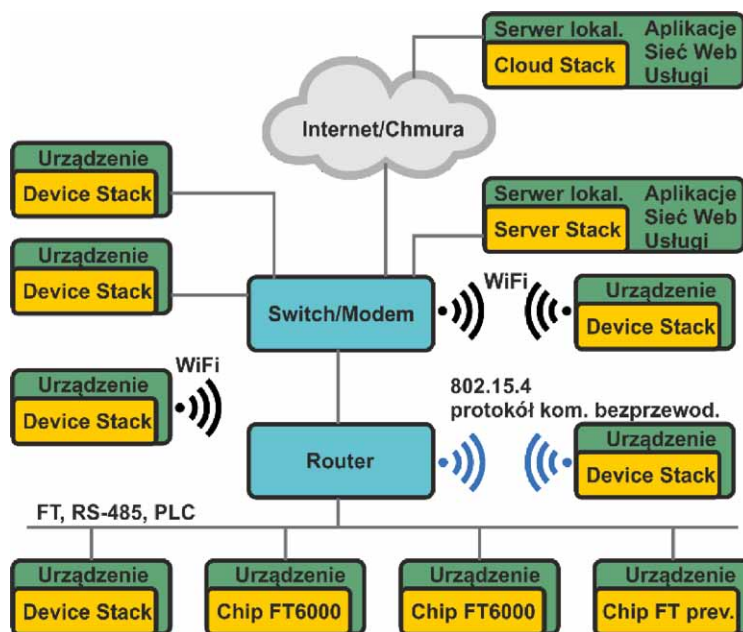
automatyki budynkowej. Jednak technologicznie te, choć popularne i sprawdzone w praktyce w komunikacji klient – serwer, stawiają dość wysokie wymagania sprzętowe węzłom sieci – w zakresie mocy obliczeniowej, pamięci i długości obsługiwanych pakietów danych. Dla potrzeb implementacji protokołu IP w niewielkich urządzeniach (małe czujniki, elementy wykonawcze, jednokomputerowe sterowniki czy moduły monitorujące) opracowano protokół aplikacji CoAP (ang. *Constrained Application Protocol*), dedykowany do aplikacji z węzłami sieciowymi o ograniczonych zasobach pamięci i mocy obliczeniowej, realizujących proste zdania i funkcjonalności, ale wymagających komunikacji za pośrednictwem sieci Ethernet lub Internet [7]. Protokół CoAP umożliwia implementację funkcji protokołu HTTP i obsługi stron WWW w prostych konstrukcyjnie modułach i węzłach sieciowych. Wykorzystanie tych rozwiązań sieciowych pozwala na łatwą integrację różnych platform systemowych BAS i automatyki przemysłowej [12]. Dynamicznie rozwijającą się technologią, wykorzystującą protokół IP w komunikacji urządzeń i użytkowników, jest wspomniany już wcześniej Internet Rzeczy, dzięki któremu możliwe jest zintegrowanie wszystkich elementów BAS i BEMS. Koherencja technologii IoT i BAS otwiera nowe możliwości w realizacji funkcji automatyki budynkowej. Zastosowanie technologii IoT w systemach BAS pozwala na bezpośrednią wymianę danych między wszystkimi ich urządzeniami i modułami, niezależnie do tego, czy są one fizycznie podłączone do kanałów sieci obiektowych czy kanałów protokołu IP. Koncepcja takiej integracji w rozproszonej sieci IP została pokazana m.in. w [13, 14] i nazwana BIoT (ang. *Building Internet of Things*). Przy takiej realizacji sieci automatyki i monitoringu budynków istotna jest sprawna organizacja systemu (np. dobór funkcji sterowania itp.) oraz efektywne jego wykorzystanie w kierunku ograniczenia zużycia energii i mediów, przy zachowaniu komfortu i bezpieczeństwa. Nowe urządzenia i mechanizmy w sieciach BIoT wykorzystują bowiem dane i informacje z dużej liczby czujników i innych modułów sieciowych,

sterując elementami wykonawczymi. Prawna integracja rozwiązań podczas realizacji BAS, w oparciu o technologię IoT, powinna umożliwić organizację zaawansowanych funkcji sterowania urządzeniami w budynkach, które mogą być wykorzystane do zarządzania energią i popytem na nią, zależnie od np. czynników środowiskowych, obecności osób, sygnałów od dostawców energii, taryfikacji itp.

Platforma IzoT

Ciekawą propozycją platform rozwojowych urządzeń automatyki budynkowej w kierunku ich wykorzystania i integracji w ramach technologii IoT, jest oferowana przez firmę Echelon platforma IzoT. Stanowi ona kompleksowe rozwiązanie sprzętowo-programowe, w skład którego wchodzi jednostki mikrokontrolerów (FT 6050, Neuron 6000), modułów komunikacyjnych (Wi-Fi, RF 802.15.4 i innych) oraz tzw. stosów programowych: 16-, 32- i 64-bitowego (IzoT Device Stack EX, IzoT Device Stack DX, IzoT Server Stack). Oferuje ona również routery IzoT jako interfejs między różnymi typami nośników danych i kanałów transmisji (różne media transmisyjne), a także niezbędne narzędzia wsparcia usług sieciowych i integracji sieci. IzoT to również rodzina protokołów aplikacji i łącza, bazująca na IPv6 i IPv4. Protokoły aplikacji IzoT to m.in. IzoT/IP oraz BACnet/IP. W urządzeniach IzoT możliwe jest zaimplementowanie także innych protokołów aplikacji, które korzystają z warstwy transportowej IP IzoT, np.: protokół Modbus TCP, LonTalk/IP [15]. Przykład sieci IzoT zbudowanej z wykorzystaniem różnych technologii i mediów transmisji danych przedstawia rysunek 1.

Platforma IzoT zawiera również narzędzia programistyczne: IzoT Network Services Server, IzoT Commissioning Tool oraz tzw. stosy IzoT Device Stack, IzoT Server Stack, umożliwiające programistom i inżynierom budowanie własnych urządzeń, modułów sieciowych oraz węzłów sieci IzoT w oparciu o różne zasoby sprzętowe. Stos urządzenia IzoT (IzoT Device Stack) jest zbiorem plików zawierających kody źródłowe dla mikrokontrolerów, będących pod-



Rys. 1. Schemat sieci IzoT wykorzystującej różne technologie i media transmisji danych

stawowymi elementami modułów IzoT. Dzięki niemu możliwa jest budowa urządzeń komunikujących się w ramach sieci IzoT – zgodnej z ideą Przemysłowego Internetu Rzeczy (IIoT), z wykorzystaniem 16-, 32- lub 64-bitowego procesora i systemu operacyjnego. Stos urządzenia IzoT pozwala na szybką i łatwą wymianę danych między urządzeniami przez kanał IP. Z kolei stos serwera IzoT (IzoT Server Stack) zawiera kod źródłowy pozwalający programistom i inżynierom na opracowywanie aplikacji serwera sieci Web dla platformy IzoT. Serwery takie umożliwiają podłączenie urządzeń IzoT do klientów sieci Internet, zapewniając użytkownikom dostęp do monitorowania i sterowania urządzeń w ramach lokalnych sieci. Wspomniane stosy IzoT zostały udostępnione w postaci kodu źródłowego dla popularnej platformy sprzętowej Raspberry Pi. Kod ten może zostać „przeportowany”, przeniesiony do różnych 32-bitowych procesorów i systemów operacyjnych [16]. Rozwiązanie to umożliwia łatwą i szybką budowę prototypów urządzeń automatyki pracujących w ramach platformy IzoT, z wykorzystaniem interfejsów Ethernet lub Wi-Fi.

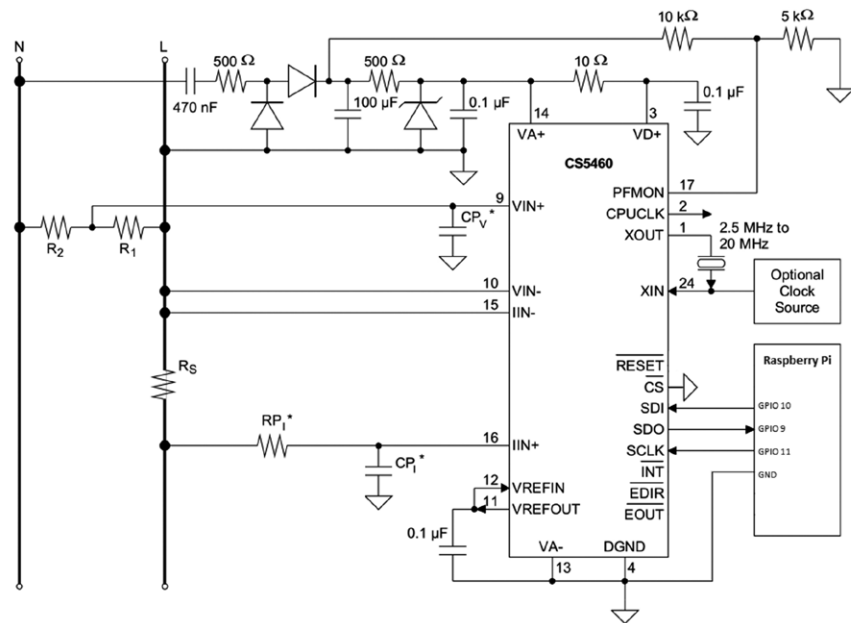
Przykład implementacji wybranych urządzeń automatyki budynkowej w technologii IoT

Autorzy niniejszego artykułu podjęli prace badawczo-rozwojowe w celu opracowania i zrealizowania w technologii IoT modułów automatyki budynkowej dedykowanych dla systemu BEMS. Do tego celu zdecydowano się wykorzystać wspomnianą platformę IzoT. Jednym z istotnych czynników determinujących jej wybór jest zastosowanie w tej platformie profili funkcjonalnych, opisujących zmienne i funkcje charakterystyczne dla modułów automatyki budynkowej. Ważną grupą urządzeń w systemach BEMS są liczniki energii. Dla zapewnienia ich integracji na poziomie obiektowym powinny one być budowane właśnie jako moduły automatyki budynkowej. Prace rozwojowe i implementacyjne opracowanych przez autorów modułów licznikowych podzielono na etapy. Pierwszym z nich była realizacja sprzętowa licznika energii elektrycznej, który ma być autonomicznym węzłem sieci IzoT z zaimplementowanym stosem urządzenia IzoT. Bazując na tanim i powszechnie dostępnym układzie scalonym CS5460

firmy CIRRUS LOGIC, wyposażonym w dwa przetworniki analogowo-cyfrowe, opracowano rozwiązanie układu pomiarowego dla projektowanego licznika energii elektrycznej [17]. Układ realizuje pomiar i obliczanie: mocy i energii czynnej, wartości skutecznych prądów (IRMS) i napięć (VRMS) dla układów jednofazowych 2- lub 3-przewodowych. W opisywanej aplikacji wspomniany układ pomiarowy został podłączony do modułu Raspberry Pi za pośrednictwem wejść/wyjść ogólnego przeznaczenia GPIO (ang. *general purpose input/output*) udostępniających sygnały SDI, SDO, CLK, GND, CS [18]. Schemat zrealizowanych połączeń przedstawia rysunek 2.

Kolejnym etapem prac było opracowanie uniwersalnej aplikacji sterowania mikrokontrolerem dla wykonanego w pierwszym kroku modułu pomiarowego, tak by w ten sposób zbudować węzeł sieci IzoT. Wymagania postawione przed aplikacją dotyczyły zapewnienia: (i) komunikacji pomiędzy układem pomiarowym CS5460 a Raspberry Pi z wykorzystaniem interfejsu szeregowego SPI oraz (ii) odczytanie danych pomiarowych rejestrowanych przez układ CS5460, z wykorzystaniem dedykowanych do jego obsługi komend. Po przeprowadzeniu kalibracji układu pomiarowego CS5460, w aplikacji zostały uwzględnione współczynniki korekcyjne, tak aby dopasować mierzone parametry do ich rzeczywistych wartości. W opracowanej aplikacji zaimplementowano również punkty danych, własności konfiguracyjne oraz algorytmy przetwarzające te dane dla licznika energii oraz rejestratora danych z licznika.

W ostatnim etapie prac implementacyjnych urządzeń wchodzących w skład systemu BEMS – IoT opracowano aplikację serwera, zrealizowaną na kolejnym węźle sieci IzoT z wykorzystaniem modułu Raspberry Pi. Serwer sieci IzoT komunikuje się z opracowanym wcześniej urządzeniem IzoT (licznik energii elektrycznej), wykorzystując mechanizmy zdalnego dostępu do punktów danych licznika oraz możliwości ich wizualizacji i sprawdzenia poprawności działania. Serwer okazał się bardzo pomocnym elementem sieci w czasie testów i uruchomienia systemu BEMS.



Rys. 2. Schemat połączeń układu pomiarowego CS5460 z minikomputerem Raspberry Pi z zainstalowanym stosem urządzenia IzoT

Funkcja licznika energii elektrycznej

Poza wspomnianymi pracami związanymi z implementacją sprzętową oraz podstawową aplikacją sterowania mikrokontrolerem, bardzo istotnym zadaniem było opracowanie i wdrożenie koncepcji funkcjonowania urządzenia jako licznika energii elektrycznej z interfejsem funkcjonalnym dla uniwersalnej platformy IoT. Dlatego też autorzy zaproponowali odpowiedni profil funkcjonalny urządzenia, wraz z blokiem funkcjonalnym, zgodnie z koncepcją i standardami organizacji interfejsu funkcjonalnego urządzeń w systemach BAS. Rolą opracowanego profilu funkcjonalnego jest zdefiniowanie punktów danych jako zmiennych sieciowych, własności konfiguracyjnych oraz związanych z nimi zadań realizowanych w urządzeniu, jak również algorytmów przetwarzających zmienne. Na podstawie określonego profilu, zaimplementowano w urządzeniu blok funkcjonalny licznika energii, który został przedstawiony na rysunku 3.

Zaproponowane zmienne sieciowe i algorytmy je przetwarzające cechują się uniwersalnością i mogą być łatwo wyko-

rzystane w systemach BAS, bazujących na otwartych, międzynarodowych standardach automatyki budynków. Głównym zadaniem bloku funkcjonalnego licznika energii jest pozyskiwanie i obsługa danych pomiarowych, a następnie ich udostępnienie w sieci sterowania. Zmienne sieciowe zawarte w bloku funkcjonalnym umożliwiają odczytanie aktualnej zmierzonej wartości zużycia energii, jak również zestawu danych innych charakterystycznych parametrów, jak moc, napięcie, prąd lub częstotliwość. Każda z wymienionych zmiennych, oprócz wartości pomiaru, udostępnia informacje o czasie jego rejestracji. Dodatkowo udostępniono zmienne raportujące status pracy urządzenia oraz czas pracy od ostatniego zaniku zasilania. Istotnym elementem opisywanego bloku funkcjonalnego są zmienne odpowiedzialne za sterowanie odbiornikiem lub grupą odbiorników podłączonych do licznika energii. Ich zastosowanie jest uzasadnione koniecznością interakcji systemu pomiarowego z systemem automatyki, tak aby umożliwić zarządzanie odbiornikami, w zależności od zapotrzebowania i od zmierzonych wartości zużycia

energii. Są to elementy niezwykle istotne w perspektywie implementacji systemów aktywnego zarządzania popytem na energię – *active Demand Side Management* [19, 20].

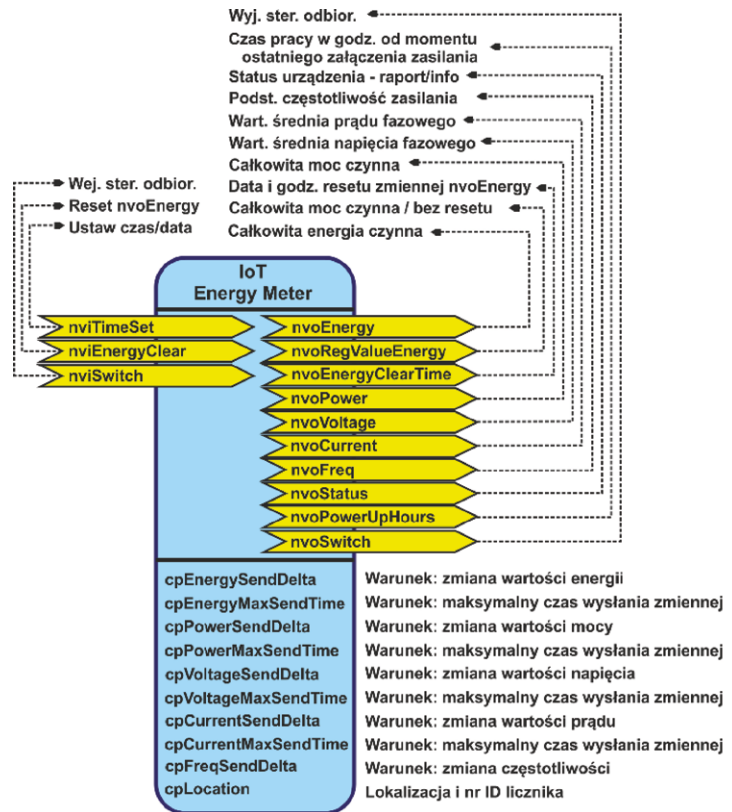
Funkcja rejestrator danych

Dla usprawnienia obsługi licznika energii i umożliwienia dostarczenia informacji historycznych, zaproponowano również profil funkcjonalny i zaimplementowano blok funkcjonalny rejestratora danych z liczników. Podobnie jak wcześniej, zadaniem profilu funkcjonalnego jest zdefiniowanie zmiennych sieciowych, własności konfiguracyjnych i algorytmów niezbędnych do działania rejestratora. Zaimplementowany w urządzeniu odpowiedni blok funkcjonalny został przedstawiony na rysunku 4.

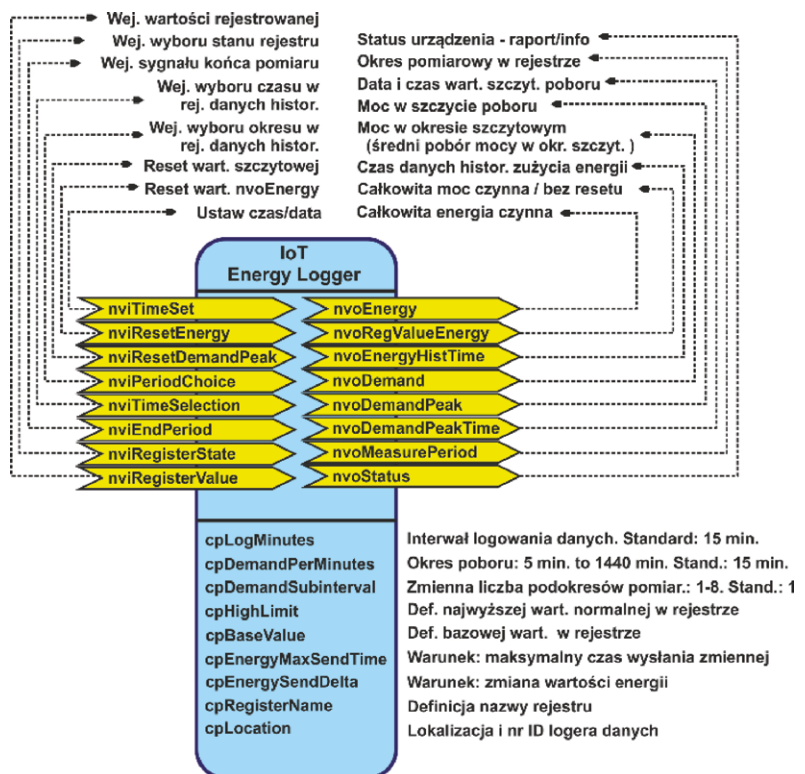
Realizacja funkcji rejestratora umożliwia dostęp do zestawu danych historycznych, które mogą być rejestrowane zgodnie z ustawionym interwałem czasowym. Wyświetlanie danych w zadanym okresie również może być konfigurowalne; domyślną wartością czasu jest okres miesiąca, ale może to być godzina, dzień lub tydzień. Rejestrator udostępnia informacje o zużyciu energii i obciążeniu odbiornika lub odbiorników podłączonych do licznika. Umożliwia on również przeprowadzenie analizy ich popytu na energię elektryczną. Został on zdefiniowany jako średnia z mocy w poszczególnych, zadanych interwałach czasu. Zaimplementowano ponadto mechanizm „okna przesuwającego” dla analizy popytu, w którym wspomniane interwały zostały równo podzielone na stałą liczbę podprzedziałów, a moc średnia jest obliczana w każdym z podprzedziałów. Ponadto zarejestrowana i obliczona największa wartość popytu, wraz z datą i godziną, została udostępniona w odpowiednich zmiennych sieciowych.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych możliwe jest stwierdzenie, że zastosowanie platformy IzoT pozwala na szybkie projektowanie uniwersalnych węzłów sieci IoT, wraz z opracowaniem ich interfejsu funkcjonalno-logicznego. Dodatkowo wskazują one na fakt, że technologia IzoT umożliwia integrację



Rys. 3. Zaimplementowany blok funkcjonalny licznika energii



Rys. 4. Zaimplementowany blok funkcjonalny rejestratora danych z licznika energii


na poziomie obiektowym z innymi urządzeniami systemów BAS i sieci IoT. Jest to bardzo istotne w pracach rozwojowych i organizacyjnych nowoczesnych, efektywnych systemów BEMS. Zmienne sieciowe i własności konfiguracyjne, zaimplementowane w przedstawionym w artykule urządzeniu IzoT, zostały przetestowane z wykorzystaniem narzędzi monitorujących dedykowanych dla tej platformy. Mogą one zostać wykorzystane w systemach BEMS do monitorowania i zarządzania urządzeniami infrastruktury budynku oraz poprawy jego efektywności energetycznej. Dodatkowo przeprowadzone testy opracowanego licznika potwierdziły możliwość integracji urządzeń IzoT z innymi modułami systemów BAS.

Przypisy

1. Koncepcja domen została opisana w artykule A. Ożadowicz *Internet Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.

Literatura

- [1] BORGIA E.: *The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues*. Comput. Commun., vol. 54, Oct. 2014, pp. 1–31.
- [2] MORENO M., ÚBEDA B., SKARMETA A., ZAMORA M.: *How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?* Sensors, vol. 14, no. 6, May 2014, pp. 9582–9614.
- [3] JUNG M., REINISCH C., KASTNER W.: *Integrating building automation systems and IPv6 in the internet of things*. Proc. – 6th Int. Conf. Innov. Mob. Internet Serv. Ubiquitous Comput. IMIS 2012, pp. 683–688.
- [4] GRELA J.: *Koncepcja organizacji systemów zarządzania energią w sieciach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.
- [5] JUNG M., WEIDINGER J., KASTNER W., OLIVIERI A.: *Heterogeneous device interaction using an IPv6 enabled service-oriented architecture for building automation systems*. Proc. 28th Annu. ACM Symp. Appl. Comput. (SAC '13), 2013, pp. 1939–1941
- [6] JUNG M., WEIDINGER J.J., REINISCH C., KASTNER W., CRET'AZ C., OLIVIERI A., BOCCHI Y.: *A Transparent IPv6 Multi-protocol Gateway to Integrate Building Automation Systems in the Internet of Things*. IEEE International Conference on Green Computing and Communications, 2012, pp. 225–233.
- [7] JUNG M., WEIDINGER J., KASTNER W., OLIVIERI A.: *Building Automation and Smart Cities: An Integration Approach Based on a Service-Oriented Architecture*. 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2013, pp. 1361–1367.
- [8] SCHERER H.F., PASAMONTES M., GUZMÁN J.L., ÁLVAREZ J.D., CAMPOGARA E., NORMEY-RICO J.E.: *Efficient building energy management using distributed model predictive control*. J. Process Control, vol. 24, no. 6, Jun. 2014, pp. 740–749
- [9] OŻADOWICZ A.: *Internet Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.
- [10] JARA A.J., MORENO-SANCHEZ P., SKARMETA A.F., VARAKLIOTIS S., KIRSTEIN P.: *IPv6 addressing proxy: mapping native addressing from legacy technologies and devices to the Internet of Things (IPv6)*. Sensors (Basel), vol. 13, no. 5, Jan. 2013.
- [11] KASTNER W., KOFLER M., JUNG M., GRIDLING G., WEIDINGER J.: *Building Automation Systems Integration into the Internet of Things The IoT6 approach, its realization and validation*. Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), 2014 IEEE, 2014, pp. 1–9.
- [12] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *PORTFOLIO: Opracowanie analizy możliwości technicznych i funkcjonalnych integracji technologii Internetu Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. Kraków 2014.
- [13] BIN S., GUIQING Z., SHAOLIN W., DONG W.: *The development of management system for Building Equipment Internet of Things*. IEEE 3rd Int. Conf. Commun. Softw. Networks, 2011, pp. 423–427.
- [14] YOUNG J.: *BloT BUILDING Internet of Things*. AutomatedBuildings.com. [Online]. Available: <http://www.automated-buildings.com/news/mar14/articles/realcomm/140219043909realcomm.html>.
- [15] Echelon Corp., „IzoT Platform Info,” WWW page, 2014.
- [16] Echelon Corp., „The Industrial Internet of Things is Really Control Networking 2.0,” 2014.
- [17] Cirrus Logic Inc., „Single Phase, Bi-directional Power / Energy IC,” vol. 2011, no. DS678F3, p. 46, 2011.
- [18] Echelon Corp., „IzoT Device Stack,” datasheet, 2014.
- [19] BETTINAZZI G., NACCI A.A., SCIUTO D.: *Methods and Algorithms for the Interaction of Residential Smart Buildings with Smart Grids*. IEEE 13th Int. Conf. Embed. Ubiquitous Comput., 2015, pp. 178–182.
- [20] FERNANDES F., MORAIS H., VALE Z., RAMOS C.: *Dynamic load management in a smart home to participate in demand response events*. Energy Build., vol. 82, Oct. 2014, pp. 592–606.

 mgr inż. Jakub Grela,
dr inż. Andrzej Ożadowicz –
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza;
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej;
Katedra Energoelektroniki i Automatyki
Systemów Przetwarzania Energii

artykuł recenzowany

reklama

