

Łukasz STEFANOWICZ, Remigiusz WIŚNIEWSKI, Marek WĘGRZYN  
 UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI, INSTYTUT INFORMATYKI I ELEKTRONIKI,  
 ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra

## Zastosowanie układów reprogramowalnych FPGA w projekcie „Inteligentny Dom”

Mgr inż. Łukasz STEFANOWICZ

Absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, pracę magisterską obronił w 2011 roku. Jest słuchaczem studiów doktoranckich, specjalność informatyka. Członek PTI oraz Uczelnianego Koła Naukowego. Aktywnie uczestniczy w realizacji pokazów naukowych o zasięgu krajowym oraz międzynarodowym. Jego zainteresowania obejmują zagadnienia dotyczące programowania oraz projektowania systemów informatycznych, bazodanowych, rozproszonych w środowisku JAVA oraz technologii nVidia CUDA.

e-mail: L.Stefanowicz@we.it.uz.zgora.pl



Dr inż. Marek WĘGRZYN

Pełni funkcję kierownika Zakładu Inżynierii Komputerowej w Instytucie Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego. Jego zainteresowania badawcze obejmują zagadnienia projektowania systemów cyfrowych, ze szczególnym uwzględnieniem logiki programowalnej i języków opisu sprzętu (VHDL i Verilog). Członek PTI, POLSPAR, IEEE oraz IFAC (przewodniczący komitetu TC 3.1: Computers for Control).

e-mail: M.Wegrzyn@iie.uz.zgora.pl



Dr inż. Remigiusz WIŚNIEWSKI

Absolwent Uniwersytetu Zielonogórskiego, pracę doktorską obronił w 2008 roku. W latach 2000-2001 dwukrotnie odbył przemysłową praktykę studencką w firmie Aldec Inc. w Stanach Zjednoczonych. Aktualnie pracuje jako adiunkt w Uniwersytecie Zielonogórskim. Jego zainteresowania badawcze obejmują zagadnienia z zakresu kryptologii (zarówno sprzętowej, jak i programowej), oraz metodologii projektowania i implementacji systemów cyfrowych z wykorzystaniem struktur programowalnych FPGA.

e-mail: R.Wisniewski@iie.uz.zgora.pl



### Streszczenie

W artykule zaprezentowano zastosowanie układów reprogramowalnych FPGA do zdalnego sterowania elementami wyposażenia domu. Wykorzystano rozwiązania zdalne w oparciu o najnowsze technologie: Android, Windows Mobile. W referacie przedstawiono architekturę zaproponowanego systemu, możliwości oraz podstawowe funkcjonalności, a także porównano z innymi systemami tego typu. Opisany system został zaprezentowany podczas masowych imprez popularyzujących najnowsze rozwiązania techniczne (Międzynarodowy Piknik Naukowy, Festiwale Nauki, itp.).

**Słowa kluczowe:** FPGA, układy reprogramowalne, inteligentny dom, Android, Windows Mobile, sterowanie zdalne, system sterowania.

### Application of reprogrammable devices FPGA based on Smart Home project

#### Abstract

The paper presents application of reprogrammable devices (FPGAs) in a *Smart House* project. The aim of the proposed system was to create an “intelligent” platform that permitted to control various elements of a *Smart Building*; like home appliances, temperature control, lightning, window and door operations, etc. The management of the whole system can be performed remotely via the Internet, a local area network or Mobile (GSM). An FPGA device is the most important part of the presented solution. It is the “heart” of a system and its role is to execute proper commands in order to control the devices and elements of the *Smart House* (*Smart Building*). The system can be managed via mobile devices (mobile computers, phones, tablets) that are based on various operating systems (Android, Windows Mobile, Symbian). The communication between the FPGA and mobile devices is encrypted. To achieve better encryption performance, the modified digital signature algorithm was implemented. The proposed system was compared with existing solutions. The main concept of the presented system was not to replace other *Smart House* projects but to co-operate with them. It is one of the further tasks that can be performed to extend the system performance. The preliminary results of experiments are given. The described system was introduced during mass events popularizing the latest technology (International Scientific Picnic in Warsaw in 2011; Festival of Science, Zielona Gora 2010, 2011, etc.).

**Keywords:** FPGA, reprogrammable devices, intelligent house, Android, Windows Mobile, remote control, control system.

### 1. Wstęp

W XXI wieku wszechobecna elektronika już nikogo nie dziwi. Powszechne stało się podwyższanie komfortu życia z użyciem urządzeń inteligentnych oraz umożliwiających zdalne sterowanie poszczególnymi przyrządami użytku domowego. Koncepcja inteligentnego domu wywodzi się jeszcze z wczesnych lat 70 XX wieku, z sektora przemysłowego Stanów Zjednoczonych. Poprzez próby optymalizacji środowiska rozwoju roślin wyklarował się pomysł kompletnego systemu zarządzania budynkiem. Opracowane do końca 1980 roku koncepcje stanowią rdzeń dzisiejszych technologii oraz rozwiązań [1]. Niektóre pomysły zostały rozwinięte, inne funkcjonują do dziś w formie solidnych fundamentów znacznie zaawansowanych.

Masowy rozwój elektroniki pozwolił na utworzenie gotowych rozwiązań z wykorzystaniem zarówno układów dedykowanych, zbudowanych na podstawie mikroprocesora, jak i sterowników PLC. Zarówno rozwój systemów wbudowanych, opartych o układy reprogramowalne FPGA [2], a także urządzeń mobilnych [3, 4] umożliwił ich wykorzystanie w szerszym zakresie zadań. Coraz powszechniejsze stały się smartfony oparte o architekturę ARM oraz dedykowany system operacyjny. Obsługa technologii Java oraz znaczne możliwości samego urządzenia umożliwiły wykorzystanie go jako elementu sterującego, bez potrzeby budowania specjalistycznych systemów operacyjnych.

Niniejszy artykuł ma przybliżyć możliwości wykorzystania zarówno systemów wbudowanych bazujących na układach FPGA, jak i urządzeń mobilnych w celu utworzenia kompletnego systemu inteligentnego domu. Zostały przedstawione zarówno założenia samego projektu, koncepcja systemu, jak i budowa realnego urządzenia oraz badania wyjaśniając sposób jego działania oraz wykorzystania w życiu codziennym.

### 2. Istniejące rozwiązania

W bieżącej chwili można znaleźć przynajmniej kilka interesujących rozwiązań określanych mianem „sterowników inteligentnego domu”. Użytkownik końcowy w zależności od potrzeb jest w stanie wybrać określone funkcjonalności, z których będzie korzystać. Generalnie ich zakres w podstawowych wersjach dotyczy sterowania:

- oświetleniem,
- roletami,
- ogrzewaniem.

W przypadku bardziej zaawansowanych instalacji, dodatkowo możliwe staje się sterowanie:

- dedykowanym sprzętem,
- nawadnianiem w ogrodzie,
- dostępem do domu.

Istnieje możliwość podłączenia różnego rodzaju czujników, jak chociażby dymu, oblodzenia, wilgotności oraz gazu. Sterowanie systemem w podstawowej wersji sprowadza się do pilota IR (promieniowanie podczerwone), bądź w niektórych przypadkach wykorzystującego fale radiowe. Takie rozwiązanie mimo swojej prostoty posiada jedną podstawową wadę – zasięg. W przypadku IR zasięg jest naprawdę niewielki oraz ogranicza się do wykorzystania w danym pomieszczeniu, natomiast w przypadku fal radiowych można przyjąć wykorzystanie na terenie danej posesji. Oprócz wykorzystania pilota „zdalnego” sterowania, możliwe staje się programowanie za pomocą dedykowanego panelu, umieszczonego w danym pomieszczeniu.

Instalacje bardziej zaawansowane pozwalają co prawda na prawdziwie zdalne sterowanie za pomocą komputera, bądź też telefonu, jednak w tym przypadku użytkownik końcowy nie jest informowany o jakichkolwiek zabezpieczeniach transmisji. Przechwycenie połączenia zapewne umożliwiłoby będzie uzyskanie całkowitej kontroli nad obiektem sterowanym, co w rezultacie skutkowało może katastrofalnymi skutkami. Często brakuje także informacji w postaci sprzężenia zwrotnego, a mianowicie potwierdzenia wykonania danej operacji. Szyfrowanie przesyłu danych za pomocą dostępnych algorytmów kryptograficznych umożliwia w stosunkowo prosty sposób podniesienie bezpieczeństwa [5,6], natomiast potwierdzenie wykonania danej operacji skutkowało będzie większą niezawodnością systemu.

Warto także podkreślić, że zaawansowane instalacje wymagają dużego nakładu finansowego, niekiedy wynoszącego 1/3 wartości danego obiektu. Większość spotykanych urządzeń została zaprojektowana na podstawie mikroprocesorów, a co za tym idzie jest to rozwiązanie typowo programowe. W tym przypadku stosunkowo proste jest manipulowanie całym systemem.

W niniejszym artykule przedstawiono propozycję nowatorskiego systemu sterowania inteligentnym budynkiem. „Sercem” opracowanego systemu jest układ programowalny FPGA [2,7]. Matrycowe układy programowalne są coraz częściej stosowane na całym świecie w specjalistycznych projektach, jak chociażby w misjach kosmicznych organizowanych przez NASA (łaziki marsjańskie).

Do zarządzania systemem można wykorzystać komputer klasy PC (biurowy), laptop lub jakiegokolwiek urządzenie mobilne, obsługujące jeden z systemów operacyjnych: Android, Windows Mobile lub dowolny inny, wspierający technologię Java. Użytkownik końcowy ma możliwość sterowania poszczególnymi urządzeniami zdalnie, poprzez sieć Internet. Transmisja jest w pełni szyfrowana, natomiast wykonanie poszczególnych operacji jest potwierdzane przez układ, co daje potwierdzenie dokonywanych operacji.

### 3. Opis funkcjonalny systemu

Projekt "Inteligentnego Domu" zakłada zrealizowanie określonych zadań na podstawie układu reprogramowalnego FPGA. Zalety takiego rozwiązania są powszechnie znane, do najistotniejszych należy zaliczyć elastyczność i łatwość dostosowania do konkretnych projektów. Jest to także rozwiązanie typowo sprzętowe, z uwagi na to, jego użycie wydaje się być naturalne, w porównaniu do rozwiązań programowych.

Założenia projektowe proponowanego systemu sterowania są następujące:

- wykorzystanie układu reprogramowalnego FPGA jako jednostki nadrzędnej projektowanego urządzenia,
- sterowanie zdalne, jak i lokalne,
- interfejs sterowania zdalnego / lokalnego: moduł WLAN oraz LAN,
- interfejs rozszerzający, realizujący zadanie końcowego sterownika określonych urządzeń,
- zdalna obsługa podstawowych urządzeń RTV, AGD,
- szyfrowanie połączenia,
- szyfrowanie danych sterujących,
- potwierdzenie przesyłanych danych podpisem cyfrowym,

- platforma umożliwiająca zdalne sterowanie oparta o najpopularniejsze rozwiązania informatycznych: Android, Windows Mobile oraz Java.

Najistotniejszym punktem projektowanego urządzenia jest wykorzystanie układu reprogramowalnego FPGA. Bardzo istotną kwestią jest także sterowanie zdalne oraz lokalne. Użytkownik końcowy powinien mieć możliwość sprawowania kontroli nad określonymi urządzeniami z bliżej nieokreślonej odległości. Oczywiście wtedy wymagane jest połączenie z Internetem urządzenia, które umożliwić ma zdalne sterowanie. W tym przypadku można wyróżnić następujące urządzenia:

- komputer PC (wymagana obsługa technologii Java),
- telefon komórkowy (wymagana obsługa technologii Java),
- smartfon (wymagany system operacyjny Android, Windows Mobile, bądź obsługa technologii Java).

Aplikacja umożliwiająca zdalne sterowanie zostanie przystosowana do pracy na takich urządzeniach, z uwagi na co wykorzystana zostanie technologia Java oraz .NET. Jeżeli chodzi o system Android, wykorzystany zostanie Android API Level 9.

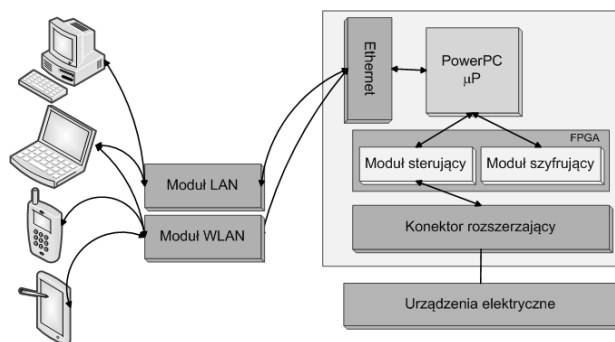
Aby móc mówić o zdalnym sterowaniu, projektowane urządzenie musi posiadać moduł WLAN (lub LAN). WLAN umożliwiłoby będzie sprawowanie bezprzewodowej kontroli z odległości 100m. Możliwa jest także kontrola *globalna*, bez względu na odległość. Jedynym wymogiem jest dostęp do Internetu urządzenia sterującego, w tym przypadku bez względu na to, czy jest to notebook, komputer stacjonarny, telefon komórkowy, czy też smartfon.

Oprócz samego układu centralnego, w tym przypadku urządzenia opartego o układ reprogramowalny FPGA, wymagane jest zaprojektowanie interfejsu pomocniczego, realizującego rozkazy sterujące. W tym przypadku będzie to dodatkowy układ, na potrzeby samego projektu realizujący zadanie związane z dostarczaniem energii elektrycznej. Podstawowe urządzenie ma w założeniach umożliwiać obsługę kilku urządzeń AGD / RTV.

Podstawową kwestią są także względy bezpieczeństwa. Opracowany algorytm szyfrujący zrealizowany został na podstawie zaawansowanych algorytmów kryptograficznych (zastosowano własny niejawni algorytm szyfrowania, na bazie istniejących symetrycznych szyfrów strumieniowych) [6,7]. W ten sposób użytkownik może zarządzać inteligentnym budynkiem bez obawy, że przesyłane komunikaty zostaną rozkodowane oraz podmienione przez osoby nieuprawnione.

Aktualnie trwają prace nad opracowaniem, a następnie wdrożeniem do systemu koncepcji podpisu elektronicznego - komunikacja pomiędzy urządzeniem mobilnym, a systemem sterowania będzie dodatkowo zabezpieczona i potwierdzana poprzez zastosowanie funkcji skrótu (funkcje hashujące) [6, 7].

Koncepcję opracowanego systemu przedstawiono na rys. 1. Główny element systemu stanowi układ FPGA, w którym zaimplementowano moduły sterujące, szyfrujące oraz zarządzające interfejsami (dodatkowo także wykorzystano wbudowane procesory *PowerPC*).

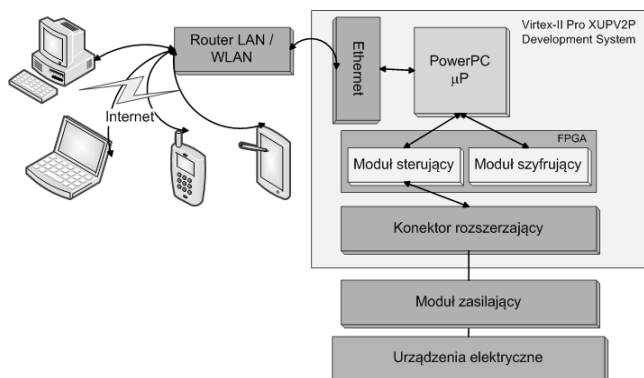


Rys. 1. Projekt systemu "Inteligentny Dom"  
Fig. 1. "Smart House" system design

Z kolei urządzenia mobilne służą do wydawania poleceń. Komunikacja jest szyfrowana i może opierać się zarówno o sieć lokalną (intranet) lub ogólnosięciową (Internet).

#### 4. Badania eksperymentalne

Zgodnie z uprzednio zdefiniowaną specyfikacją oraz opisem funkcjonalnym zaprojektowany został rzeczywisty system. Funkcję rdzenia całego systemu stanowił zestaw startowy XUP, zawierający układ programowalny firmy Xilinx (serii Virtex-II Pro). Idea systemu została przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Zrealizowany system "Inteligentnego Domu"  
Fig. 2. Implemented system of "Smart House"

Zaprojektowany oraz zrealizowany system "Inteligentnego Domu" oparto o zestaw startowy XUPV2P (z układem Virtex-II Pro). Jak pokazano na rys. 2, w strukturach FPGA zaimplementowano moduł sterujący oraz szyfrujący. Moduł sterujący pełni rolę analityka rozkazów oraz umożliwia przekazanie sterowania do modułu zasilającego względem określonego końcowego urządzenia elektrycznego. Z kolei moduł szyfrujący zawiera sprzętową implementację własnego, niejawnego algorytmu kryptograficznego (odmiana strumieniowego szyfru symetrycznego).

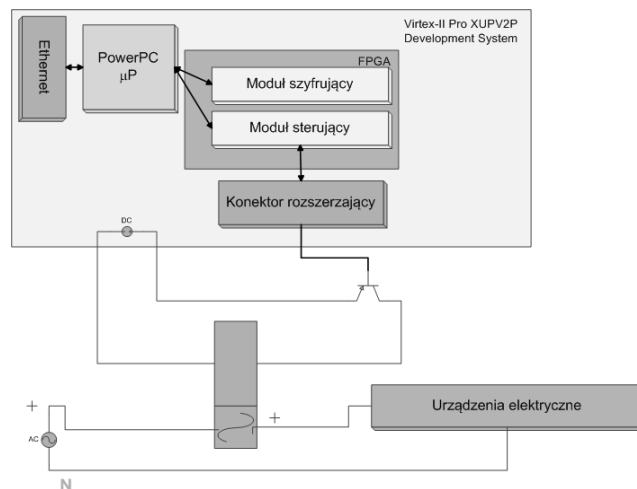
Połączenie realizowane pomiędzy routerem LAN / WLAN jest szyfrowane – pakiet sterujący odpowiednio zaszyfrowany pokonuje drogę pomiędzy obiektem sterowanym, a sterującym. W ten sposób użytkownik końcowy ma pewność co do niejawności transmisji.

Oprogramowanie sterujące zostało zaprojektowane oraz zrealizowane zgodnie z założeniami, a mianowicie utworzone na następującej platformy:

- komputer stacjonarny oraz notebook – Java,
- smartfon – Android API 9,
- telefon komórkowy – Java J2ME.

Należy podkreślić, iż niezależnie od wykorzystanej platformy, oprogramowanie końcowe posiada takie same możliwości co do sterowania określonymi urządzeniami. Z uwagi na powyższe założenia, bez względu na to, czy użytkownik w danej chwili dysponuje telefonem, smartfonem, czy też komputerem PC ma możliwość jednakowego sterowania danymi urządzeniami, podłączonymi do modułu zasilającego. Rys. 3 przedstawia strukturę opisywanego modułu.

Rolę modułu LAN (a dokładniej WLAN) pełni router bezprzewodowy, dostarczający także podstawowe funkcjonalności w zakresie bezpieczeństwa transmisji na poziomie protokołu. Urządzenia bezprzewodowe łączą się poprzez Wi-Fi z użyciem WPA2 szyfrowanego algorytmem kryptograficznym AES. W tym momencie istotę bezpiecznej transmisji gwarantuje urządzenie pośredniczące pomiędzy obiektem sterującym, a wykonawczym – router. Dane przesyłane za pomocą komputera stacjonarnego, notebooka, telefonu bądź też smartfona są na poziomie układu FPGA deszyfrowane oraz diagnozowane pod kątem poprawności. Nieprawidłowe dane są odrzucane przez moduł sterujący. W przypadku wykrycia masowych nieprawidłowości system uruchamia alarm oraz informuje użytkownika o zaistniałej sytuacji.



Rys. 3. Struktura modułu sterującego  
Fig. 3. Control module structure

#### 5. Wnioski

Zrealizowany system "Inteligentnego Domu" przedstawia możliwości układów reprogramowalnych FPGA jako autonomicznych elementów centralnych, sprawujących rolę zarządzającą, nadzorującą oraz wykonawczą – sterowania urządzeniami. Istotne są także możliwości układów programowalnych: stosunkowo niedrogie układy scalone umożliwiają zaprojektowanie zaawansowanych systemów, z uwagi na co koszt całościowy nie jest wygórowany.

Opracowany projekt "Inteligentnego Domu" obrazuje możliwości budowania systemu wbudowanego zorientowanego na FPGA. Wykorzystanie nowoczesnych technologii umożliwia użytkownikowi końcowemu na sprawowanie bezprzewodowej kontroli nad podłączonymi do systemu urządzeniami, wskutek czego niezależnie od miejsca przebywania ma on pełną kontrolę bez względu na okoliczności.

Warto zwrócić uwagę, iż proponowany system został zaprojektowany przy uwzględnieniu aspektów bezpieczeństwa – dane sterujące są szyfrowane / deszyfrowane na poziomie obiektu sterującego / sterowanego, natomiast drogę w obrębie medium transmisyjnego pokonuje odpowiednio zakodowany.

*Praca została częściowo zrealizowana w ramach projektu badawczego dla młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich finansowanego przez Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego.*

#### 6. Literatura

- [1] Niezabitowska E.: Budynek inteligentny. Tom I. Potrzeby użytkownika, a standard budynku inteligentnego, Gliwice, 2005.
- [2] Maxfield C.: The Design Warrior's Guide to FPGAs, Devices, Tools and Flows, Elsevier, Amsterdam, 2004.
- [3] Hashimi S., Komatineni S., MacLean D.: Android 2. Tworzenie aplikacji, Helion, 2010.
- [4] Matulewski J., Turowski B.: Programowanie aplikacji dla urządzeń mobilnych z systemem Windows Mobile, Helion, 2010.
- [5] Stinson D. R.: Kryptografia w teorii i praktyce, WNT, Warszawa, 2005.
- [6] Schneier B.: Kryptografia dla praktyków, Protokoły, algorytmy i programy źródłowe w języku C, WNT, Warszawa, 2002.
- [7] Łuba T.: Synteza układów logicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.