

AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**

Zdalnie dostępna platforma dydaktyczna z układem FPGA

**Paweł J. Rajda
Wojciech Caputa**

Motywacja

Ograniczone zasoby sprzętowe, które można wypożyczyć z laboratorium, ograniczony czas dostępu do nich podczas zajęć, stosunkowo wysoka ich cena a także obecna sytuacja związana z Covid-19 skłaniają do szukania rozwiązań umożliwiających studentom zdalny dostęp do zasobów sprzętowych w laboratorium.

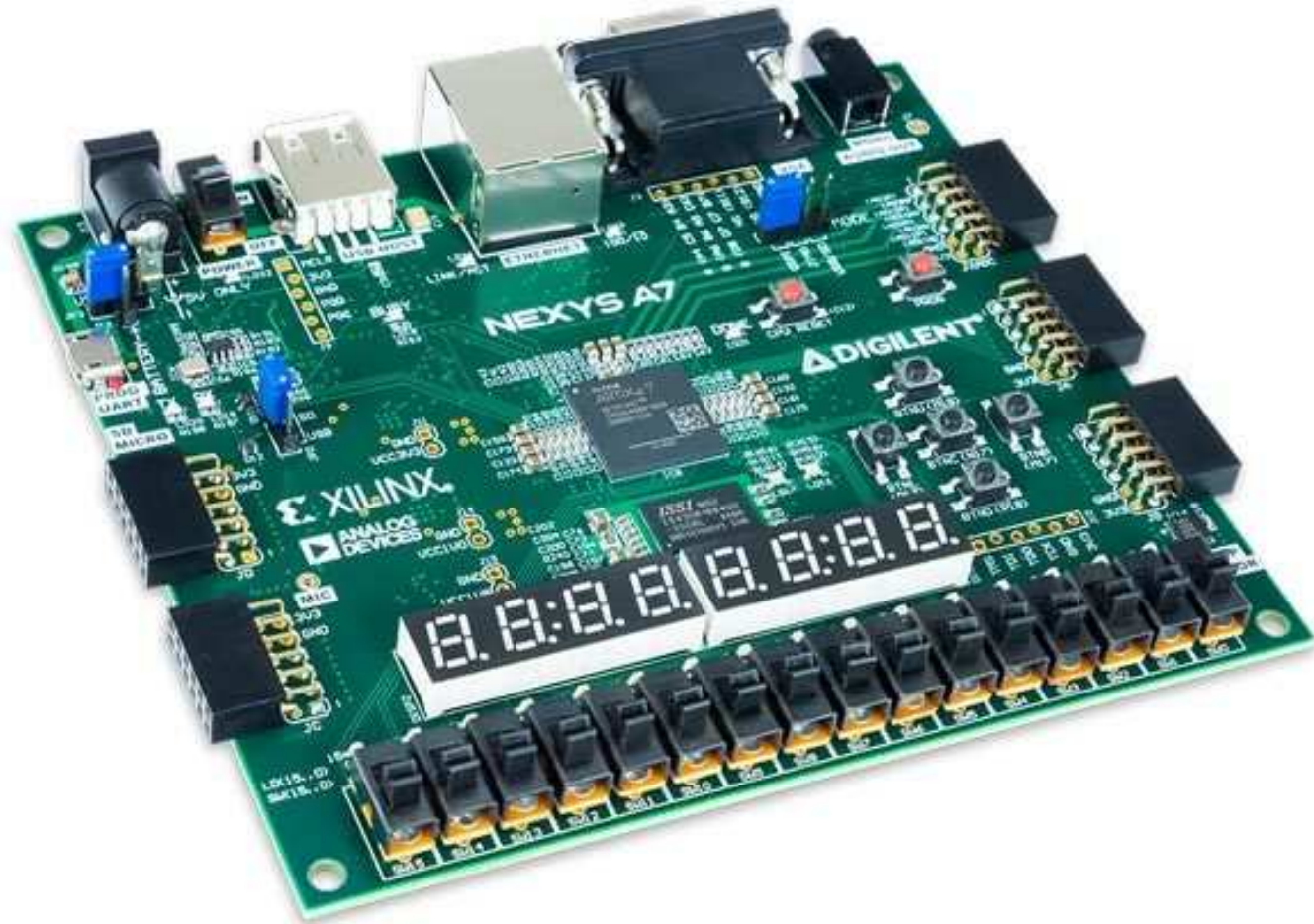
Niniejsza praca przedstawia propozycję takiego rozwiązania.

Cel i założenia pracy

Głównym celem niniejszej pracy było opracowanie platformy dydaktycznej z układem FPGA, pozwalającej na realizację projektów studenckich dotyczących elektroniki cyfrowej, zarówno zdalnie jak i lokalnie (osobiście w laboratorium) bez konieczności wielokrotnej modyfikacji tych projektów w celu zmiany sposobu ich uruchomienia.

Istotnym warunkiem technicznym pracy była realizacja założeń funkcjonalnych z wykorzystaniem standardowej platformy z układem FPGA (Nexys A7), wykorzystywanej dotychczas na zajęciach laboratoryjnych i projektowych, przy minimalnym zapotrzebowaniu na dodatkowe, specyficzne zasoby sprzętowe.

Platforma NEXYS A7



Założenia funkcjonalne

Przyjęto następujące założenia użytkowe:

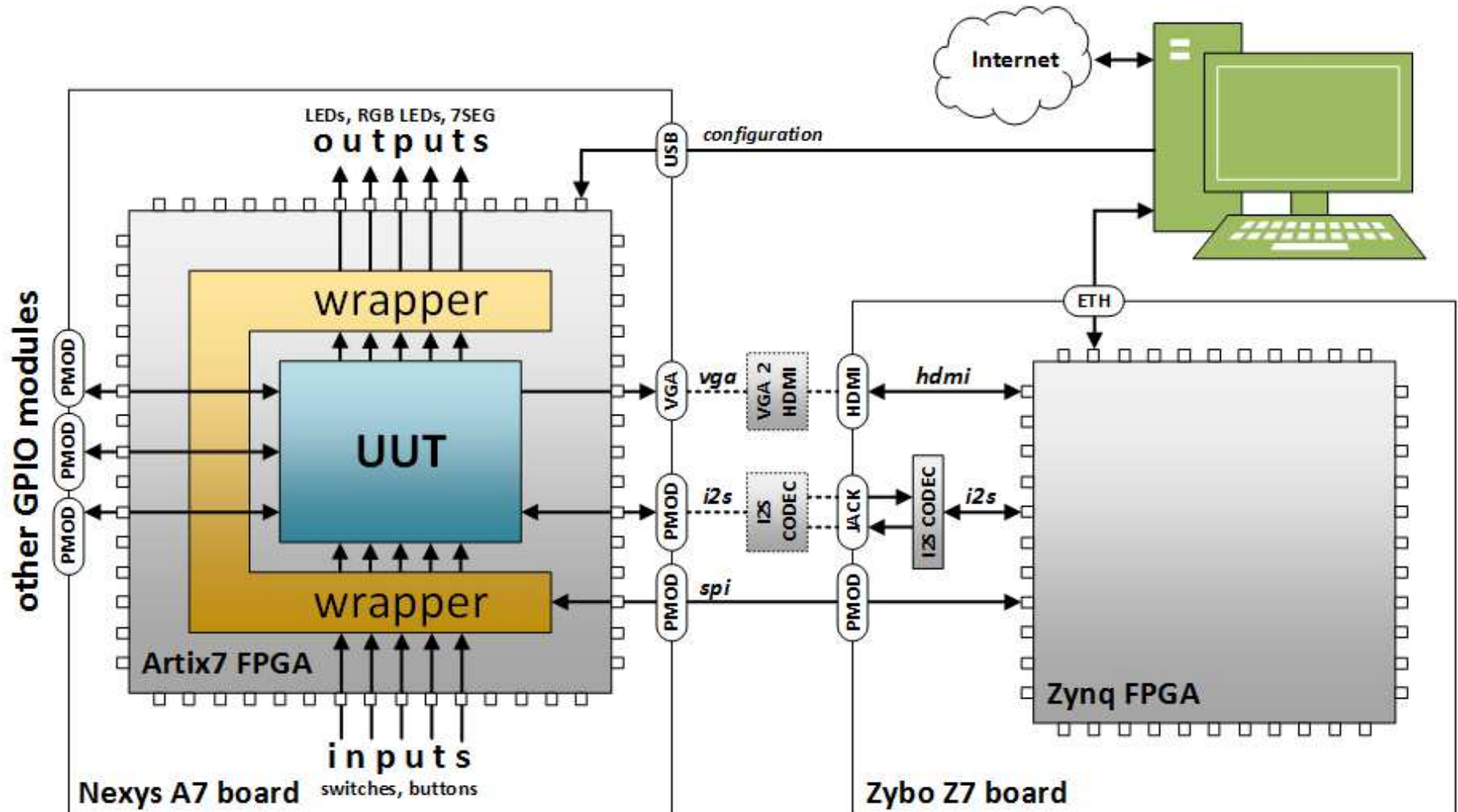
- możliwość zdalnej zmiany i podglądu stanu wszystkich:
 - przycisków,
 - przełączników,
 - diod LED (RGB i monochromatycznych),
 - oraz wyświetlacza siedmiosegmentowego,
- możliwość zdalnego przechwytywania obrazu VGA,
- możliwość zdalnej obsługi wejścia i wyjścia audio.

Dodatkowy sprzęt

Jako dodatkowy sprzęt, konieczny do realizacji projektu, wykorzystano:

- Standardową platformę ZYBO Z7 jako główny sterownik zestawu zdalnego, umożliwiający dostęp do zasobów fizycznych płytki NEXYS A7. Zawiera ona układ SoC z rodziny Zynq-7000, składający się z dwurdzeniowego procesora i logiki programowalnej,
- Standardowy konwerter VGA => DVI, realizujący konwersję analogowego sygnału VGA na postać cyfrową (DVI/HDMI),
- 5-przewodową taśmę połączeniową dla realizacji interfejsu SPI, jako jedyną wykonaną we własnym zakresie,
- Kamerę do podglądu stanu fizycznego płytki (niekonieczna).

Schemat blokowy



Opis architektury

Na funkcjonalne komponenty systemu składają się:

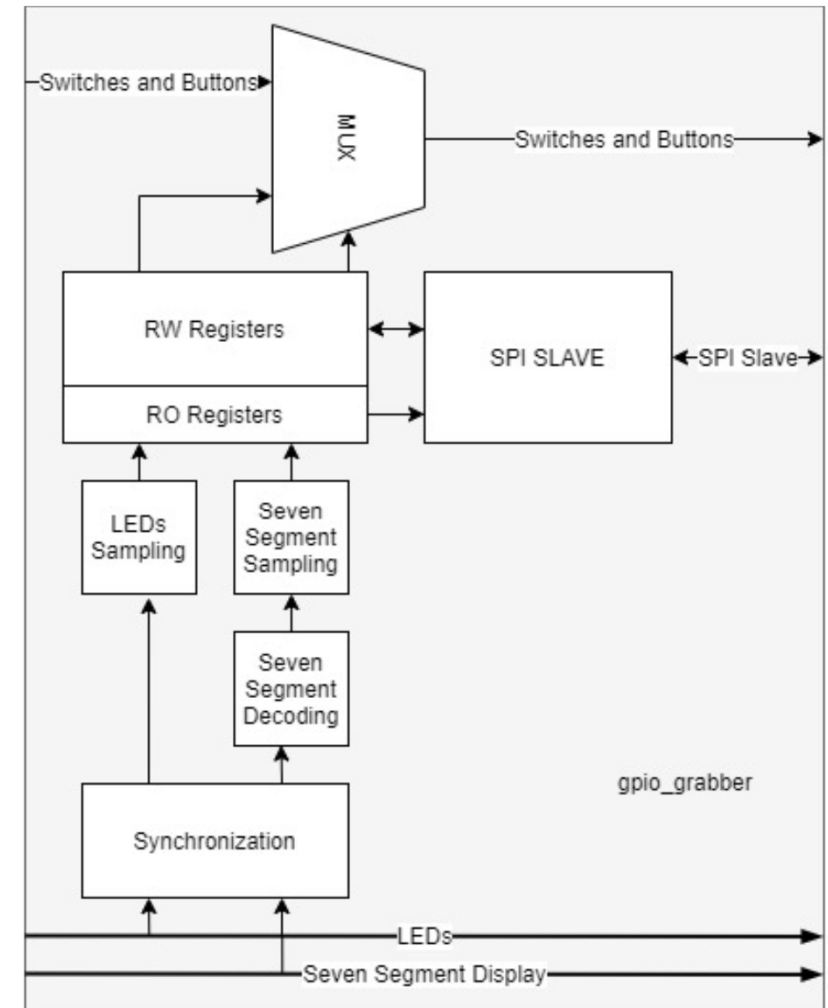
1. Podsystem obsługi GPIO na płytce Nexys (tzw. *wrapper*).
2. Sterownik Zybo Z7 – konfiguracja sprzętowa systemu mikroprocesorowego oraz aplikacja C na mikroprocesor ARM.
3. Podsystem obsługi wyjścia wideo (VGA).
4. Podsystem obsługi we/wy audio (I2S).
5. Aplikacja LabVIEW na komputer PC.

1. Podsystem obsługi GPIO (Nexys A7)

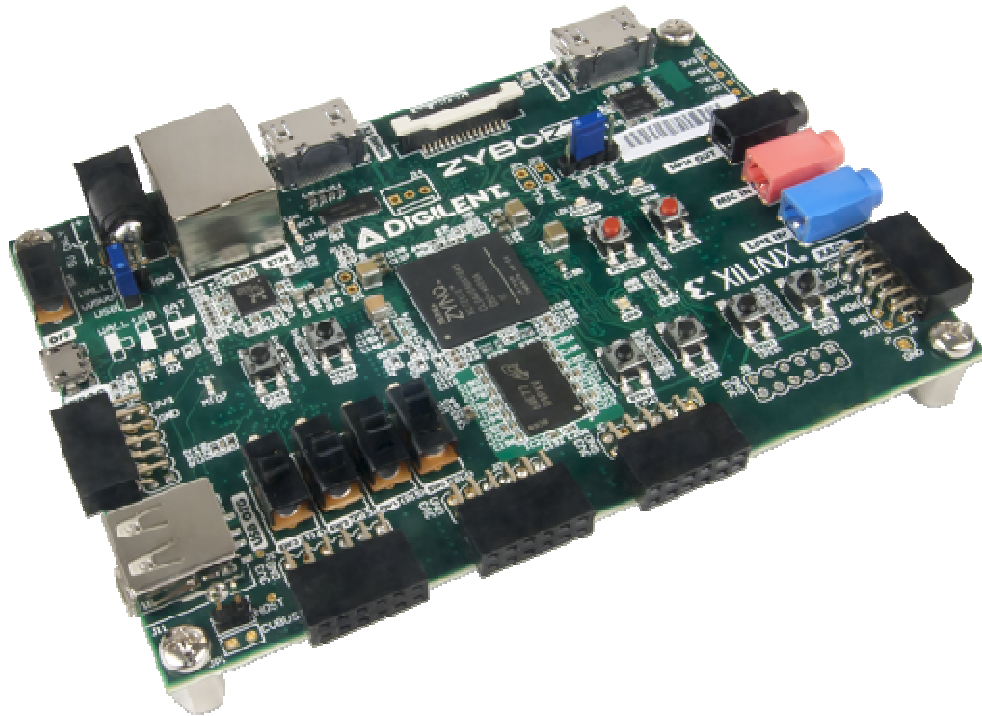
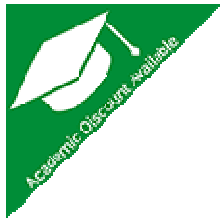
Aby zrealizować zdalną obsługę GPIO skonstruowano tzw. *wrapper*, który pośredniczy pomiędzy projektem użytkownika (studenta), a uzbrojonymi zasobami GPIO płytki Nexys (przyciski, przełączniki, LEDy, wyświetlacz). Na etapie przystosowywania swojego projektu do obsługi zdalnej użytkownik musi dołączyć do niego *wrapper*. *Wrapper* komunikuje się z kontrolerem na płycie Zybo przez standardowy interfejs SPI.

Po aktywowaniu *wrapper* emuluje stany wejść (przycisków i przełączników) oraz próbkuje stany wyjść. W trybie nieaktywnym zarówno wejścia jak i wyjścia są jedynie próbkowane. Istotną cechą *wrappera* jest jego domyślna przezroczystość, co w praktyce oznacza, że projekt użytkownika można uruchamiać także lokalnie w laboratorium bez konieczności usuwania *wrappera* z projektu raz już uzdolnionego do obsługi zdalnej.

Wrapper napisany jest w języku System Verilog i każdorazowo podlega syntezie i implementacji, zajmując jednak jedynie ok. 1% zasobów sprzętowych układu FPGA.



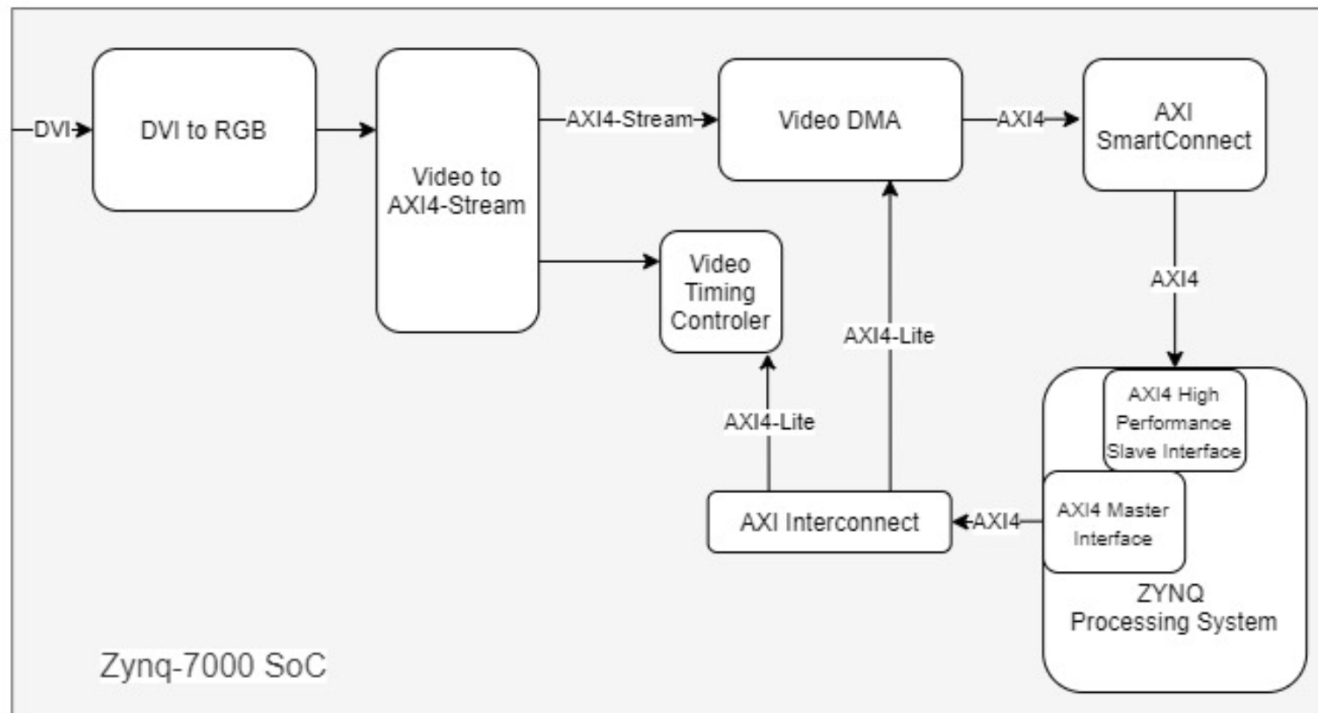
2. Sterownik Zybo Z7



Płytką Zybo Z7 pełni rolę głównego sterownika sprzętowego. Na jednym z rdzeni procesora ARM Cortex-A9 jest uruchomiona aplikacja, napisana w języku C, która realizuje funkcję serwera TCP, używanego do połączenia z komputerem PC. Aplikacja ta konfiguruje także peryferia odpowiedzialne za cały proces obsługi zasobów fizycznych płytki Nexys.

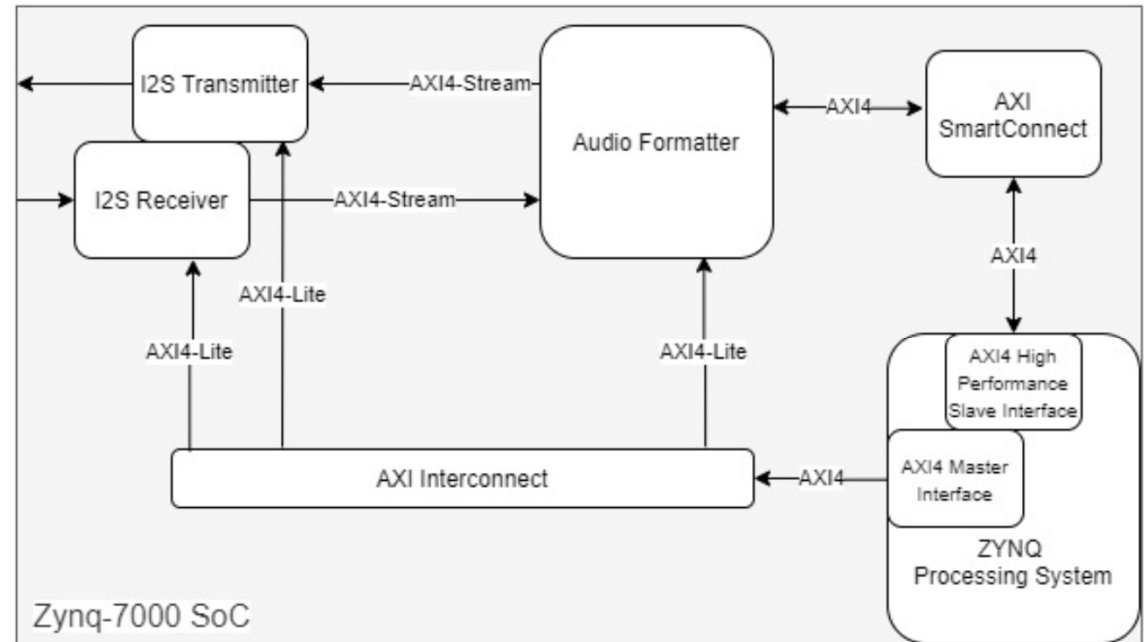
3. Podsystem obsługi wideo (Zybo Z7)

Analogowy sygnał wideo VGA z płytki Nexys konwertowany jest na sygnał HDMI (DVI) i przetwarzany przez architekturę *frame grabbera*, zrealizowaną jako implementacja sprzętowa w logice programowalnej układu Zynq na płycie sterownika. Zakwizowane ramki obrazu umieszczane są przez DMA w pamięci DDR systemu mikroprocesorowego sterownika, skąd przesyłane są dalej przez łącze Ethernet do aplikacji LabVIEW na komputerze PC.



4. Podsystem obsługi audio (Zybo Z7)

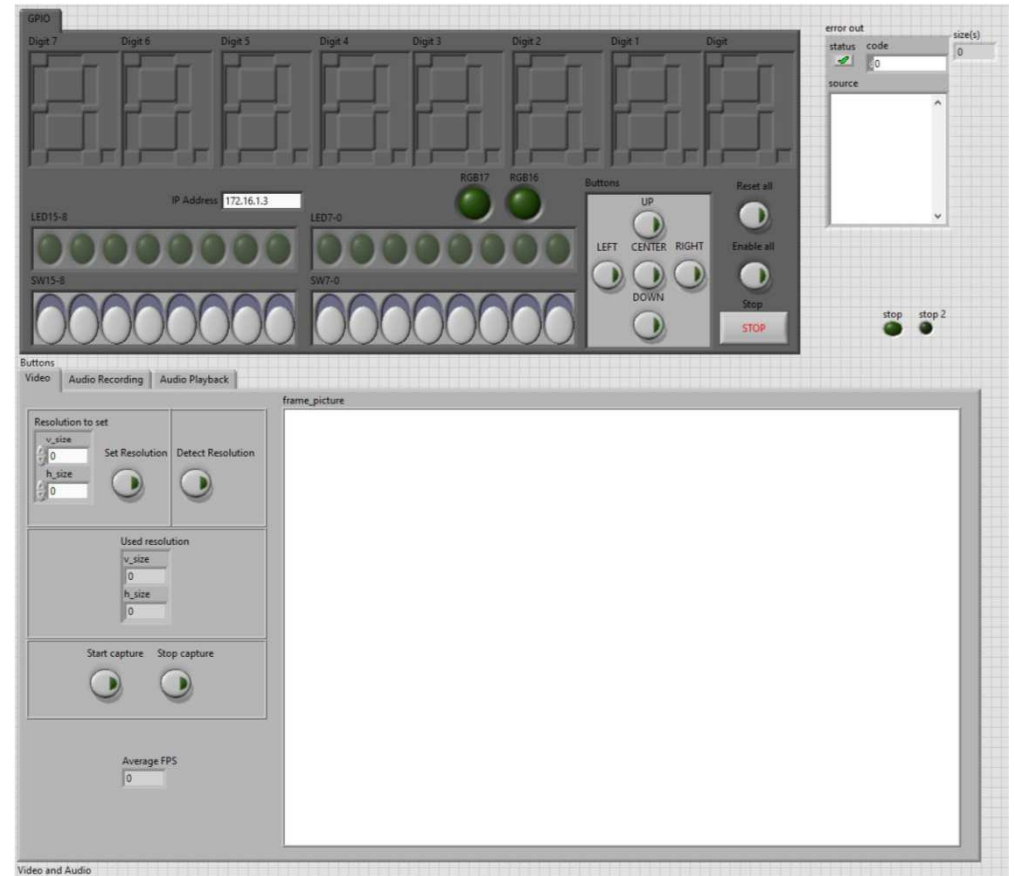
Do obsługi audio wykorzystywany jest kodek SSM2603, znajdujący się na płycie Zybo. Komunikacja z kodekiem odbywa się za pomocą magistrali I2S i I2C. Do obsługi I2C wykorzystano sprzętowe peryferium w układzie Zynq, a do I2S – gotowe IPcore’y, które poprzez układ DMA zapisują / odtwarzają audio do / z pamięci DDR, skąd przesyłane są dalej przez łącze Ethernet do aplikacji LabVIEW na komputerze PC.



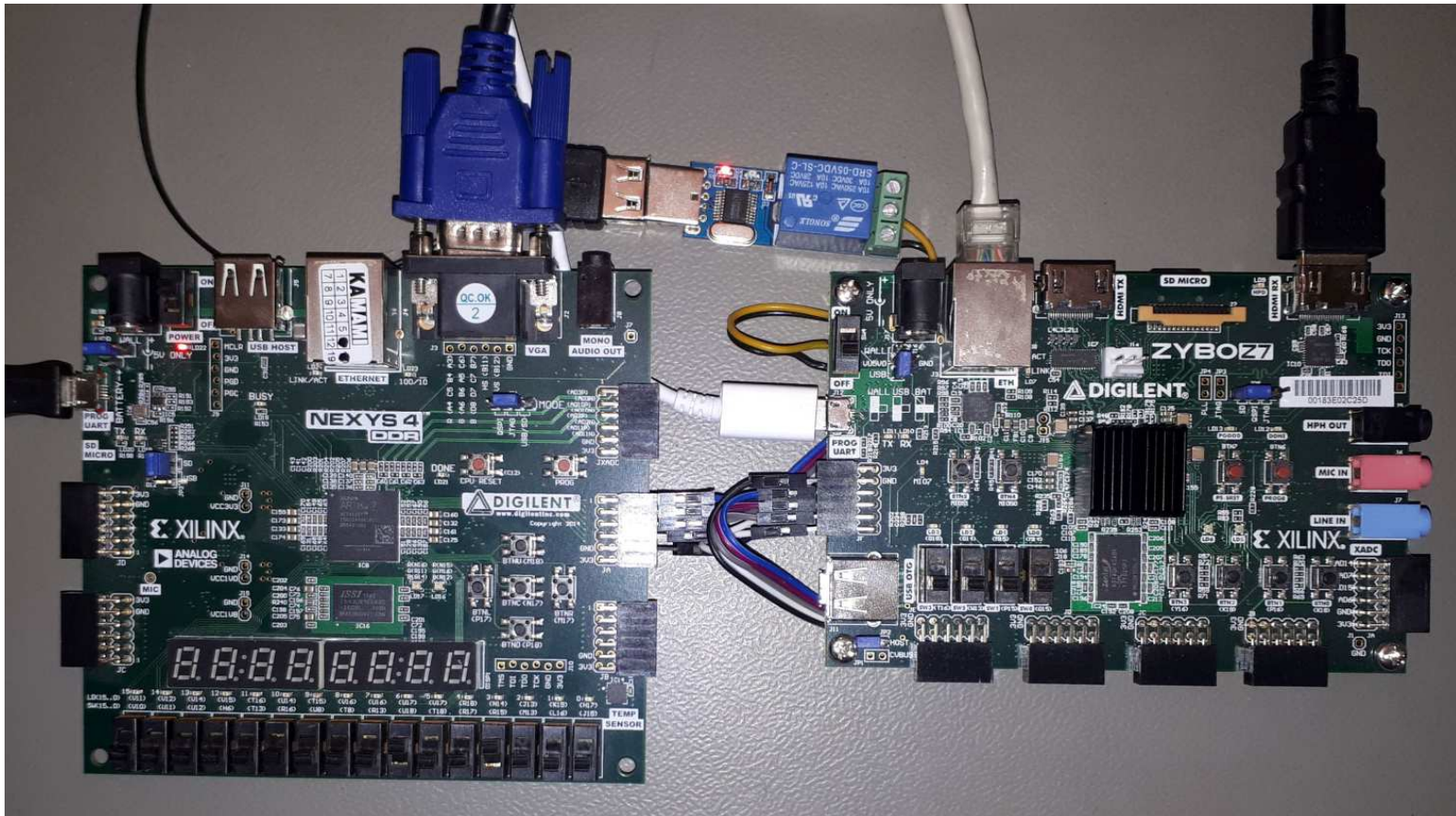
Od strony płytki Nexys A7 można tu wykorzystywać wbudowane wyjście PWM lub np. moduł Pmod I2S2 tego samego producenta.

5. Aplikacja na komputer PC

Do stworzenia interfejsu GUI dla całego systemu wybrano oprogramowanie LabVIEW, ponieważ umożliwia ono szybkie prototypowanie. Aplikacja ta poprzez klienta TCP komunikuje się ze sterownikiem. Umożliwia ona przejęcie kontroli nad przyciskami i przełącznikami platformy Nexys A7, zmianę stanu odpowiadających im sygnałów GPIO, obrazowanie stanów wejść i wyjść, wyświetlanie obrazów transmitowanych przez wyjście VGA oraz obsługę wejścia i wyjścia sygnału audio.



System podstawowy

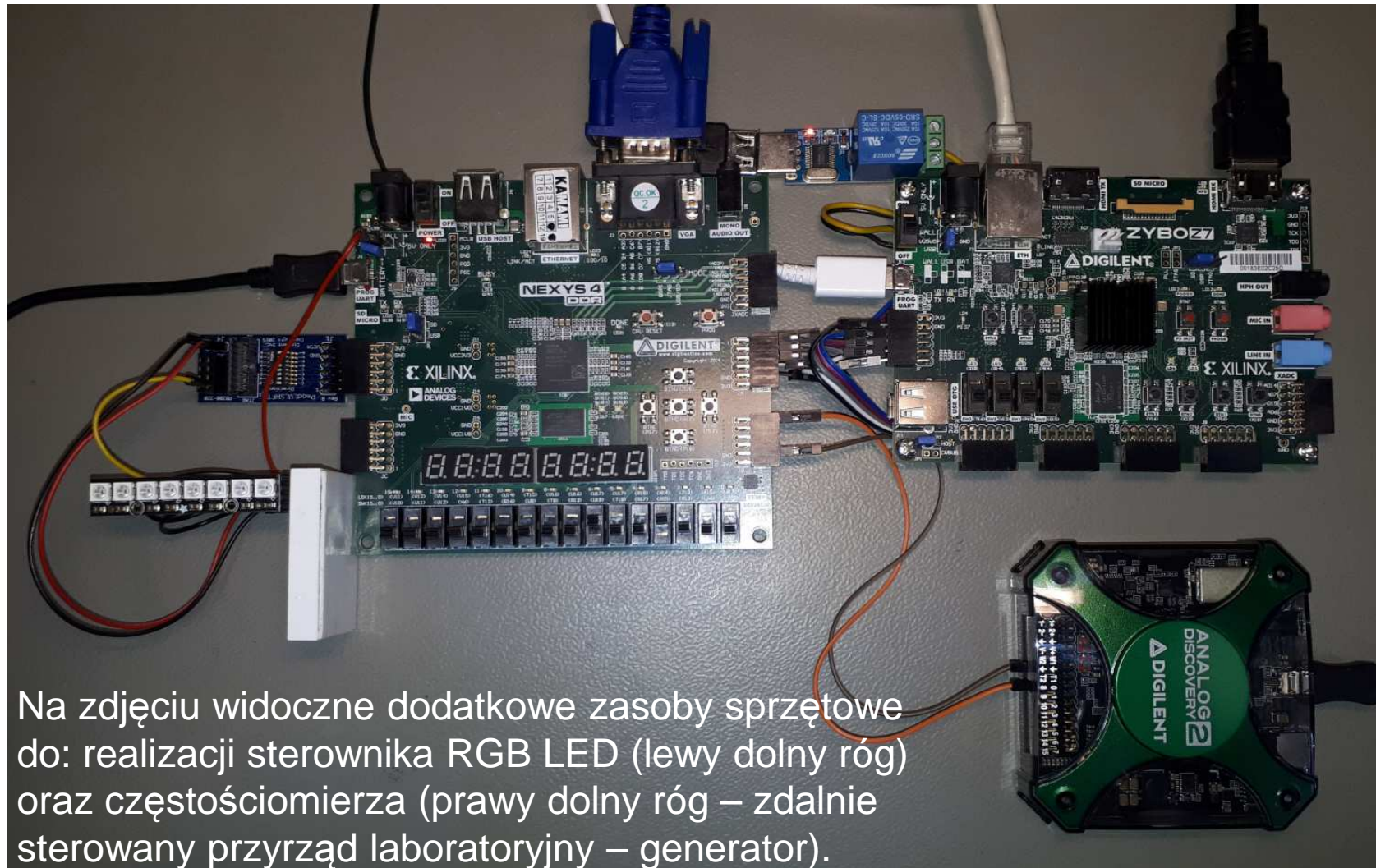


Na zdjęciu widoczne połączenie SPI (taśma wieloprzewodowa pomiędzy dwiema płytkami) oraz dodatkowy zdalnie sterowany przełącznik, załączający zasilanie w płytce sterownika (u góry na środku).

Instrukcja obsługi

W praktyce działanie całego systemu realizowane jest w następujący sposób. Po zrealizowaniu projektu, co odbywa się na indywidualnych komputerach poza laboratorium, student łączy się poprzez pulpit zdalny z komputerem w laboratorium, do którego podłączone są obie płytki – Nexys A7 za pomocą USB, a sterownik - za pomocą sieci Ethernet. Na komputerze uruchomiona jest aplikacja GUI, aplikacja do konfiguracji układu FPGA na płycie Nexys A7 oraz ewentualnie oprogramowanie dla kamery śledzącej działanie systemu czy oprogramowanie dla wirtualnych przyrządów laboratoryjnych. Następnie student przetransferowuje na komputer zdalny plik konfiguracyjny dla układu FPGA na platformie Nexys A7 i za jego pomocą programuje układ FPGA. Ostatecznie odbywa się zasadnicza faza zdalnego testowania projektu studenckiego przy pomocy GUI i ewentualnie innych zdalnych narzędzi czy przyrządów.

System uzbrojony



Na zdjęciu widoczne dodatkowe zasoby sprzętowe do: realizacji sterownika RGB LED (lewy dolny róg) oraz częstotściomierza (prawy dolny róg – zdalnie sterowany przyrząd laboratoryjny – generator).

Podsumowanie

Zrealizowano projekt pozwalający na zdalny dostęp do standardowej laboratoryjnej platformy z układem FPGA.

Projekt znalazł już praktyczne zastosowanie podczas zajęć zdalnych związanych z Covid-19. Za jego pomocą zrealizowano takie projekty, jak:

- Kolorowy wyświetlacz VGA z pamięcią obrazów,
- Zegar szachowy,
- Sterownik liniiki diod RGB LED,
- Miernik częstotliwości (z wykorzystaniem wirtualnego przyrządu Digilent Analog Discovery 2 jako generatora).