

**Grzegorz BIESZCZAD, Tomasz SOSNOWSKI, Henryk MADURA, Mariusz KASTEK**  
 WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI,  
 ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

## Interfejs komunikacyjny do rejestracji obrazu i danych z kamery termowizyjnej

**Mgr inż. Grzegorz BIESZCZAD**

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (2008) – specjalność Teleinformatyka. Obecnie pracownik Zakładu Techniki Podczerwieni i Termowizji w Instytucie Optoelektroniki WAT. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem systemów cyfrowych, programowaniem układów mikroprocesorowych oraz układów FPGA oraz zagadnieniami związanymi z cyfrowym przetwarzaniem obrazów, w tym obrazów termowizyjnych.



e-mail: [gbieszczad@wat.edu.pl](mailto:gbieszczad@wat.edu.pl)

**Dr inż. Tomasz SOSNOWSKI**

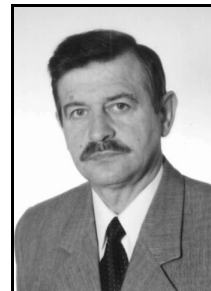
Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1996 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2003. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem i programowaniem systemów cyfrowych, cyfrową analizą sygnału, analizą obrazu termograficznego, a także zastosowaniem układów programowanych i mikroprocesorowych w technice podczerwieni i analizie sygnałów wibroakustycznych. Autor i współautor ponad 50 publikacji.



e-mail: [tsosnowski@wat.edu.pl](mailto:tsosnowski@wat.edu.pl)

**Dr hab. inż. Henryk MADURA**

Specjalista w dziedzinie optoelektroniki, techniki podczerwieni i termowizji. Absolwent Wydziału Elektroniki WAT (1976). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1983, a stopień doktora habilitowanego w 1999 roku. W latach 1991-1997 zastępca Komendanta Instytutu Optoelektroniki. Opublikował ponad 140 artykułów i referatów konferencyjnych. Autor i współautor 19 wdrożeń i 12 patentów. Od 2000 roku profesor Wojskowej Akademii Technicznej.



e-mail: [hmadura@wat.edu.pl](mailto:hmadura@wat.edu.pl)

**Dr inż. Mariusz KASTEK**

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1997 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2002. Zajmuje się problematyką detekcji obiektów w systemach czujników podczerwieni stosowanych w systemach ochrony, a także analizą sygnałów oraz algorytmami detekcji implementowanymi w czujnikach podczerwieni. Autor i współautor ponad 30 publikacji. Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Optoelektroniki WAT.



e-mail: [mkastek@wat.edu.pl](mailto:mkastek@wat.edu.pl)

### Streszczenie

W artykule opisano zewnętrzny interfejs komunikacyjny zaprojektowany do przesyłania danych pomiarowych z kamery termowizyjnej opracowanej w Wojskowej Akademii Technicznej. Omówiono opracowaną magistralę szeregową transmitującą dane w standardzie LVDS. Porównano interfejs szeregowy z interfejsem VideoBus zrealizowanym w oparciu o magistralę równoległą. Opisano moduł sterujący transmisją szeregową zaimplementowany w układzie FPGA oraz specjalnie opracowany protokół komunikacyjny.

**Słowa kluczowe:** termowizja, LVDS, FPGA, interfejs szeregowy.

### Communication interface for image and data acquisition in thermovision camera

#### Abstract

In this article the external digital interface specially designed for thermographic camera built in Military University of Technology is described. The aim of the article is to illustrate challenges encountered during design process of thermal vision camera interface. This article explains main requirements for interface to transfer Infra-Red digital data and describes the solution which we elaborated basing on Low Voltage Differential Signaling (LVDS) physical layer and signaling scheme. We have built interface using general purpose Serializer / Deserializer (SerDes) interface from National Semiconductor as a physical layer. There are many SerDes configurations with different parallel bus widths, but in order to maintain the smallest possible area occupied by the device in camera and lowest possible power consumption, we decided to use 10bit Serializer / Deserializer couple and transmit 14bit IR data words in two data cycles of LVDS link sequentially. To achieve guaranteed real-time lossless transmission, special protocol was designed. The control logic for serial interface was described in VHDL language and implemented in FPGA structure. Designed link was tested with thermovision camera employing microbolometric detector array with 384x288 pixel resolution and producing 30 frames per second. Tests with specially generated patterns of different resolutions were also performed. Designed digital link fulfill our current needs with surplus consuming less than 100 mW of energy.

**Keywords:** thermovision, LVDS, FPGA, serial interface.

### 1. Wstęp

Od współczesnych systemów militarnych oraz systemów ochrony coraz częściej wymaga się pracy w warunkach ograniczonej widoczności bądź w zupełnej ciemności. W takich systemach stosuje się kamery termowizyjne [1]. Rozwój matrycowych detektorów podczerwieni spowodował wzrost rozdzielczości obrazów generowanych przez kamery termowizyjne. Zwiększenie ilości danych generowanych przez współczesne kamery termowizyjne wymogło zastosowanie interfejsów komunikacyjnych o większej przepustowości. Istniejące standardy cyfrowych interfejsów do transmisji obrazu takie jak DVI [7] czy FPD-Link [6] nie są odpowiednie do transmisji danych termowizyjnych gdyż przesyłają nadmiarową informację o kolorze, podczas gdy obraz termowizyjny jest monochromatyczny. Ponadto standardowe interfejsy video nie pozwalają na swobodny dobór wielkości słowa niosącego informację o pojedynczym pikselu. Interfejsy do transmisji danych takie jak USB czy FireWire nie gwarantują bezstratnej transmisji w czasie rzeczywistym oraz mają z góry ograniczoną przepustowość. Dane przesyłane z kamery termowizyjnej są danymi pomiarowymi, więc muszą być przesyłane w pełni. Dlatego też zaproponowano opracowanie nowego interfejsu cyfrowego do transmisji obrazów i danych termowizyjnych.

### 2. Wymagania stawiane interfejsom do transmisji obrazów termowizyjnych

Współczesne kamery termowizyjne generują obrazy na podstawie sygnałów odczytanych z matrycowych detektorów podczerwieni. Liczba oraz organizacja detektorów w matrycy decyduje o rozdzielczości generowanego obrazu termowizyjnego, natomiast szybkość układu odczytu matrycy decyduje o częstotliwości odświeżania obrazu termowizyjnego. Współczesne kamery termowizyjne mogą generować obrazy o rozdzielczościach od około 120x160 [2] pikseli do nawet 1280x1024 [3] pikseli, generując przy tym od 30 do 300 ramek na sekundę. Wartość pojedynczego piksela obrazu termowizyjnego jest na ogół reprezentowana za pomocą 14 bitowego słowa. Kamera termowizyjna zaopatrzona

w matrycę detektorów może więc generować strumienie danych o przepływności od dziesiątek Mb/s do kilku Gb/s. Interfejs do transmisji danych obrazowych oprócz przesyłania danych obrazowych powinien umożliwić także przesyłanie danych synchronizacyjnych ramki.

Zaprojektowany interfejs do transmisji obrazów termowizyjnych przewidziany jest do zastosowania w kamerze termowizyjnej projektowanej w Wojskowej Akademii Technicznej. Zaprojektowana kamera jest urządzeniem przenośnym zasilanym bateryjnie, dlatego interfejs do transmisji obrazów termowizyjnych musiał charakteryzować się małym poborem energii.

Zaprojektowanie interfejsu spełniającego wymagania dotyczące transmisji obrazów termowizyjnych w całym zakresie występujących rozdzielczości było niemożliwe przy utrzymaniu kryterium małego poboru energii. Dlatego też w pewnym stopniu ograniczono wymagania dotyczące przepustowości interfejsu do takich, by spełnić wymagania projektu zaprojektowanej kamery. W opracowanej kamerze zastosowano detektor promieniowania podczerwonego o rozdzielczości 384x288 pikseli odczytywanego 50 razy na sekundę.

### 3. Rozwiązanie

W celu zrealizowania interfejsu do transmisji danych termowizyjnych sprawdzono dwa rozwiązania. Rozwiązanie pierwsze obejmowało zrealizowanie interfejsu transmitującego dane obrazowe oraz dane synchronizujące za pomocą magistrali równoległej. Sygnały tego interfejsu zewnętrzne odpowiadały sygnałom wewnętrznej magistrali danych VideoBus [5] zrealizowanej wewnątrz układu FPGA i służącej do komunikacji między blokami przetwarzania obrazu termowizyjnego.

Za pomocą magistrali VideoBus przesyłane są następujące sygnały:

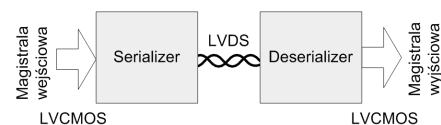
VDATA – 14-bitowa magistrala danych obrazowych,  
 VSYNC – sygnał synchronizacji pionowej – zbocze narastające tego sygnału wskazuje rozpoczęcie nowej ramki obrazu,  
 HSYNC – sygnał synchronizacji poziomej – zbocze narastające tego sygnału wskazuje rozpoczęcie nadawania nowego wiersza,  
 STB – sygnał synchronizacji danych – zbocze narastające wskazuje pojawienie się kolejnego piksela obrazu.  
 MCLK – wspólny sygnał zegarowy dla wszystkich modułów przetwarzania obrazu.

Interfejs VideoBus zastosowany został do przeprowadzenia pomiarów sygnału termowizyjnego w kolejnych modułach przetwarzania obrazu termowizyjnego. Jednak przy większych częstotliwościach pracy interfejsu, bądź długościach przewodu transmitującego dane termowizyjne, pojawiały się błędy transmisji spowodowane przesłuchami. Najbardziej destrukcyjne dla transmisji danych było zakłócenie pojawiające się na linii zegarowej interfejsu. Zakłócenie linii zegarowej powodowało, iż układ odbiorczy interpretował zakłócenie jako dodatkowy piksel w ramce, a to z kolei powodowało rozsynchronizowanie strumienia danych. Przez te zjawiska istniała konieczność przesyłania nadmiarowych informacji w celu zwiększenia wierności transmisji lub powtarzania pomiarów, w których wykryty został błąd. W praktyce interfejs ten pozwalał na wierne przesyłanie obrazów termowizyjnych o rozdzielczości 384x288 pikseli pobieranych z częstotliwością 50 ramek na sekundę na odległość nieprzekraczającą 30 cm. Zrealizowany interfejs równoległy nie spełniał wymagań stawianym interfejsom zewnętrznym, od których wymagałby się wiernej transmisji na odległości rzędu do kilku metrów.

W celu umożliwienia przesyłania danych i obrazów termowizyjnych na większe odległości zaprojektowano i zrealizowano interfejs wykorzystujący transmisję szeregową. Aby uzyskać względnie małą moc potrzebną do transmisji danych obrazowych postanowiono zrealizować interfejs z wykorzystaniem technologii Low Voltage Differential Signaling [4] (LVDS). LVDS to standard przesyłania danych określający zasady transmisji danych za pomocą szybkiej magistrali szeregowej. Standard ten określa, iż sygnał jest transmitowany za pomocą linii różnicowej o określo-

nych poziomach napięć wynoszących  $\pm 350$  mV. Transmisja różnicowa zapewnia znaczną odporność magistrali na zakłócenia zewnętrzne. Niski poziom napięcia między liniami gwarantuje, że szybka magistrala LVDS nie będzie zakłócać innych układów elektronicznych pracujących w najbliższym otoczeniu. Ponadto dzięki zastosowaniu sygnałów o tak niskim napięciu możliwe było zmniejszenie mocy pobieranej przez interfejs. Magistrala szeregowa w standardzie LVDS może być taktowana zegarem przesyłanym w oddzielnej linii, bądź za pomocą sygnału zegarowego odtworzonego z samego przebiegu sygnału na magistrali szeregowej. Częstotliwość sygnału szeregowego jest większa od częstotliwości magistrali równoległej o tyle razy, ile wynosi szerokość magistrali równoległej. Wynikowa częstotliwość sygnału w magistrali szeregowej sięga w praktyce wartości setek MHz. Do prowadzenia sygnału LVDS na zewnątrz płytki drukowanej użyto przewodu typu skrętka UTP Cat5e o impedancji charakterystycznej 100  $\Omega$ .

Do wytworzenia sygnału w standardzie LVDS zastosowano układy serializera i deserializera z rodziny Ser/Des firmy National Semiconductor. Jest to para układów służąca odpowiednio do konwersji magistrali równoległej na magistralę szeregową LVDS oraz w odwrotnym kierunku. Ogólna idea działania pary układów serializera i deserializera została przedstawiona na rysunku 1.



Rys. 1. Ogólna idea działania układów serializera i deserializera – zamiana magistrali równoległej na szeregową w serializercie, oraz z magistrali szeregowej na równoległą w deserializercie

Fig. 1. General idea of serializer and deserializer operation – converting parallel bus to serial bus in serializer followed by serial to parallel bus conversion in deserializer

W celu uzyskania jak najmniejszej powierzchni wykorzystanej przez warstwę fizyczną interfejsu, zdecydowaliśmy się użyć układu DS92LV1021A oraz DS92LV1212A. Układy te pracują z 10-bitową magistralą danych o częstotliwości od 16 MHz do 40 MHz. Aby za pomocą takich układów przesyłać dane termowizyjne o szerokości słowa 14-bitowego istnieje konieczność przesyłania danych sekwencyjnie w dwóch kolejnych cyklach magistrali 10bitowej.

Do transmisji obrazów termowizyjnych w łączu szeregowym zaprojektowany został specjalny protokół. W protokole wyróżnia się trzy słowa magistrali:

MSP – (most significant part) słowo niosące bardziej znaczącą część 14 bitowego słowa danych piksela,  
 LSP – (least significant part) słowo niosące bardziej znaczącą część 14 bitowego słowa danych piksela,  
 SYN – (synchronization) słowo niosące informacje synchronizacyjne.

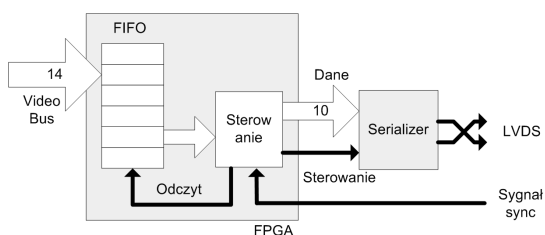
Szczegółowe zestawienie danych zawartych w każdym ze słów magistrali zostało zawarte w tabeli 1.

Tab. 1. Rodzaje słów danych przesyłanych magistralą LVDS  
 Tab. 1. Data types used in LVDS link

| Numer bitu | Typ danych    |            |               |
|------------|---------------|------------|---------------|
|            | MSP           | LSP        | SYN           |
| 9          | zawsze "1"    | zawsze "0" | zawsze "0"    |
| 8          | zarezerwowane | VDATA (8)  | HSYNC         |
| 7          | zarezerwowane | VDATA (7)  | VSYNC         |
| 6          | zarezerwowane | VDATA (6)  | zarezerwowane |
| 5          | zarezerwowane | VDATA (5)  | zarezerwowane |
| 4          | VDATA (13)    | VDATA (4)  | zarezerwowane |
| 3          | VDATA (12)    | VDATA (3)  | zarezerwowane |
| 2          | VDATA (11)    | VDATA (2)  | zarezerwowane |
| 1          | VDATA (10)    | VDATA (1)  | zarezerwowane |
| 0          | VDATA (9)     | VDATA (0)  | zarezerwowane |

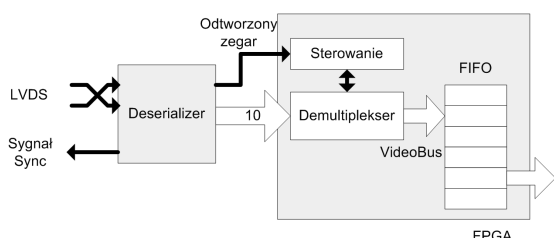
W momencie transmisji danych wartości piksela, zgodnie z zaprojektowanym protokołem, przesyłane są w magistrali kolejno dwa słowa MSP i LSP zawierające kompletną informację o pojedynczym pikselu obrazu. Po przesłaniu tych dwóch słów przesyłane są dane dotyczące kolejnego piksela obrazu. Jeśli w danym momencie dane obrazowe nie są przesyłane – tzn. między kolejnymi ramkami, między wierszami lub między kolejnymi pikselami – w magistrali przesyłane są dane synchronizacyjne SYN. Układ odbiorczy rozróżnia dane dotyczące piksela od danych synchronizujących wykrywając stan „1” na najstarszym bicie magistrali deserializera. Układ sterujący pobiera z magistrali deserializera słowo MSP a następnie zakłada, iż w następnej kolejności zostanie przesłane słowo LSP. Układ sterujący odbierem generuje dane pojedynczego piksela z pary słów MSP i LSB. Jeśli po tej sekwencji na najstarszym bicie magistrali nie pojawi się stan „1” układ przechodzi w tryb odbioru danych synchronizacyjnych. Ten schemat działania zakłada, że częstotliwość 10-bitowej magistrali układów Ser/DES jest przynajmniej dwukrotnie większa niż magistrali danych termowizyjnych.

W celu zrealizowania interfejsu pracującego z zaproponowanym protokołem, zaprojektowano specjalne moduły sterujące. Układy sterowania opisano w języku opisu sprzętu VHDL oraz zaimplementowano w układzie FPGA. Układy sterowania mogą wykryć oraz obsłużyć desynchronizację układów Ser/Des i wstrzymać transmisję. Dane obrazowe napływające w tym czasie do układu nadawczego przechowywane są w pamięci FIFO, a po resynchronizacji układów wysyłane kolejno na magistralę. W celu poinformowania układu nadawczego o konieczności resynchronizacji, w interfejsie przewidziano dodatkowy przewód niosący sygnał o takim zdarzeniu. Schematycznie architekturę układu sterującego nadawaniem zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Architektura układu nadawczego interfejsu  
Fig. 2. Transmitter architecture

Sygnał niosący informację o konieczności resynchronizacji jest generowany przez układ deserializera. Architekturę układu sterującego odbiorem danych zaprezentowano na rysunku 3.



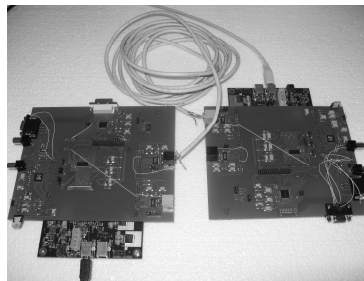
Rys. 3. Architektura układu odbiorczego interfejsu  
Fig. 3. Receiver architecture

Układ sterujący pracą deserializera był synchronizowany zegarem odtworzonym ze strumienia danych w układzie deserializera. Aby przekazać dane do kolejnych modułów zaimplementowanych w układzie FPGA konieczne było zastosowanie pamięci FIFO przystosowanej do działania z dwoma asynchronicznymi sygnałami zegarowymi magistrali zapisującej i odczytującej dane.

#### 4. Testowanie interfejsu

W celu przetestowania interfejsu zaprojektowano płytę drukowaną z układami serializera oraz deserializera. Płytki te podłączono do

dwóch zestawów ewaluacyjnych ZestSC2 firmy OrangeTree, gdzie jeden służył jako nadajnik a drugi jako odbiornik danych. Na płytkach ewaluacyjnych ZestSC2 znajdował się układ programowalny Spartan 3 firmy Xilinx. Oprócz układu programowalnego, na płytce ewaluacyjnej ZestSC2 zainstalowany był również kontroler USB firmy Cypress, dzięki któremu można było w łatwy sposób weryfikować poprawność danych odbieranych z interfejsu LVDS. Na rysunku 4 przedstawiono schemat środowiska testowego, w którym przeprowadzono badania interfejsu.



Rys. 4. Środowisko testowe do badania interfejsu szeregowego  
Fig. 4. Serial interface test bed

W celu weryfikacji danych przesyłanych interfejsem w układzie nadawczym zaimplementowano generator sygnału wzorcowego. Układ odbiorczy przesyłał odbierane dane z interfejsu LVDS do komputera PC za pomocą interfejsu USB. W komputerze PC, do którego dołączona była płytka z odbiornikiem LVDS, zainstalowane było specjalnie napisane oprogramowanie IRDiag 4.0. Oprogramowanie to pozwalało na odbiór obrazów testowych odebranych łączem LVDS oraz zapis tych danych na dysk. Zapisane dane były następnie porównywane z oczekiwanym wzorcem. Interfejs przetestowano też w pracy z kamerą termowizyjną podłączając do układu nadajnika prototyp kamery.

#### 5. Wnioski

Zaprojektowany interfejs pozwolił na transmisję danych termowizyjnych o rozdzielczości 384x288 pikseli. Ponadto interfejs sprawdzono w transmisji obrazów testowych o wyższych rozdzielczościach np. 640x480 pikseli. Protokół został tak zaprojektowany, by można było stosunkowo swobodnie dobierać szerokości magistrali danych termowizyjnych, oraz częstotliwości pracy magistral termowizyjnej oraz układów Serializera/Deserializera. Zrealizowany interfejs był w stanie transmitować dane na odległości przekraczające pięć metrów. Podczas testów nie stwierdzono błędów w transmisji, mimo sygnalizowania krótkotrwałych żądań desynchronizacji ze strony układu deserializera. Układ Serializera pobierał 100 mW pracując z częstotliwością magistrali szeregową wynoszącą 288 MHz.

#### 6. Literatura

- [1] Praca zbiorowa "Pomiary termowizyjne w praktyce" Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2004.
- [2] „Uncooled infrared LW Detector 160x120 25um”, datasheet – Uliis – [http://www.ulis-ir.com/files/PDF/Uliis\\_160x120-25m.pdf](http://www.ulis-ir.com/files/PDF/Uliis_160x120-25m.pdf)
- [3] [http://www.sofradir.com/\\_pdf/jupiter\\_mw.pdf](http://www.sofradir.com/_pdf/jupiter_mw.pdf) - SOFRADIR
- [4] "LVDS Owner's Manual", National Semiconductor, 4th Edition, 2008.
- [5] "Digital image processing system for thermal cameras" Sosnowski T., Orzanowski T., Kastek M., Chmielewski K., Advanced Infrared Technology and Applications AITA 9, Leon (8-12.10.2007).
- [6] "High Speed Transmission with LVDS Link Devices", Susan Poniatowski, National Semiconductor, Application Note 1059.
- [7] „Digital Visual Interface – DVI”, Digital Display Working Group Promoters 1999.