

**Michał KRUPIŃSKI, Tomasz SOSNOWSKI, Grzegorz BIESZCZAD, Henryk MADURA**  
 WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI  
 Kaliskiego 23a, 00-908 Warszawa

## Synchronizacja obrazów pochodzących z różnych źródeł z zastosowaniem układu programowalnego

**Mgr inż. Michał KRUPIŃSKI**

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (2010). Od 2010 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem i programowaniem systemów cyfrowych, cyfrową analizą i przetwarzaniem obrazu termograficznego, a także zastosowaniem układów programowanych w technice podczerwieni.



e-mail: mkrupinski@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

**Mgr inż. Grzegorz BIESZCZAD**

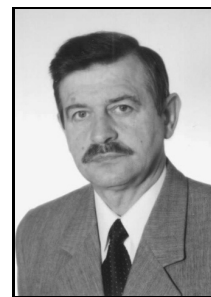
Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (2008) – specjalność Teleinformatyka. Obecnie pracownik Zakładu Techniki Podczerwieni i Termowizji w Instytucie Optoelektroniki WAT. Zajmuje się problematyką związaną z projektowaniem systemów cyfrowych, programowaniem układów mikroprocesorowych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



e-mail: gbieszczad@wat.edu.pl

**Dr hab. inż. Henryk MADURA**

Specjalista w dziedzinie optoelektroniki, techniki podczerwieni i termowizji. Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1976). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1983, a stopień doktora habilitowanego w 1999 roku. W latach 1991-1997 zastępca dyrektora Instytutu Optoelektroniki. Opublikował ponad 170 artykułów i referatów konferencyjnych. Autor i współautor 20 wdrożeń i 14 patentów. Od 2000 roku profesor Wojskowej Akademii Technicznej.



e-mail: hmadura@wat.edu.pl

### Streszczenie

W ciągu ostatnich lat na znaczeniu zyskują systemy do analizy obrazu rejestrowanego w wielu zakresach widmowych. Przetwarzanie obrazów z wielu źródeł wymaga wcześniejszej synchronizacji obrazów w czasie. W artykule przedstawiono metodę synchronizacji strumieni danych obrazowych pochodzących z różnych kamer. Moduł realizujący metodę synchronizacji został opisany w języku VHDL i zaimplementowany w układzie FPGA. Przeprowadzono testy synchronizacji obrazów z kamery wizyjnej i termowizyjnej.

**Słowa kluczowe:** synchronizacja sygnału video, przetwarzanie obrazów.

### System for synchronization of video images from different sources

#### Abstract

In the recent years the rapid development of systems for automatic or semi-automatic recording and analysis of various processes have been observed. Those systems can be used in such areas as military applications, machine diagnostic systems, security and surveillance systems and many others. They usually comprise several different sensors which operate on various physical principles. It increases the system efficiency because a multi-sensor system is usually better than the set of independent sensors. Thermal and daylight cameras are more and more often integrated in sensor fusion systems. It is mainly because thermal cameras provide the capability to constantly monitor the area (both during day and night) under varying weather conditions. One of the key problems in the processing of images originating from different sources (cameras) is spatial and temporal matching of their images. The cameras capture the images at different moments of time due to different internal clocks, which complicates the simultaneous processing of such image data. The paper presents the solution to this problem by introducing the method for synchronization of real-time recordings captured by different cameras. The appropriate algorithms have been written in the VHDL language and implemented in a programmable integrated circuit. The experimental verification of the presented method has also been performed. The algorithm has been tested on Terasic Board with two cameras, one thermovision camera (Fig. 5), and a video camera.

**Keywords:** video synchronization, image processing.

### 1. Wstęp

Współcześnie systemy realizujące automatyczną rejestrację i analizę różnych zjawisk otaczającego nas środowiska pozwalają na przetwarzanie coraz większej ilości danych. Systemy te znajdują zastosowanie w takich dziedzinach jak systemy militarne [4, 5] (np. systemy kierowania ogniem, systemy rozpoznawcze), systemy diagnostyczne maszyn, medycyna, systemy ochrony obiektów itp. W celu zwiększenia ich skuteczności coraz częściej stosuje się w nich systemy wieloczuJNIkowe (np. matryce CCD wraz z matrycami termowizyjnymi). Takie rozwiązanie pozwala na rejestrację i analizę zachodzących zjawisk w dwóch widmach (widzialnym i termowizyjnym), co znacznie zwiększa ich skuteczność [1]. Jednoczesne przetwarzanie obrazów pochodzących z różnych kamer jest zadaniem o znacznej złożoności. Jest to między innymi związane z różnymi (nieskorelowanymi ze sobą) sygnałami zegarowymi kamer powodujące, że rejestracja obrazów następuje w różnym czasie.

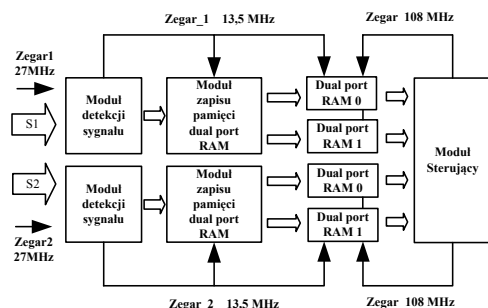
W pewnych przypadkach jak np. synteza obrazów rejestrowanych w różnych zakresach widmowych [1] lub porównywanie obrazów czy też śledzenie ruchu [6] istotne jest jak najlepsze zsynchronizowanie obrazów w czasie. Brak takiej synchronizacji może spowodować błędy w wykonywanym algorytmie przetwarzania lub analizy obrazu [1].

Jedną z metod synchronizacji obrazów w czasie rzeczywistym jest metoda Genlock [3], polegająca na podaniu do dwóch lub więcej kamer wspólnego sygnału synchronizacji. W takim przypadku urządzenie zewnętrzne dostarcza do kamer okresowy sygnał regulujący częstotliwość odświeżania pionowego. Taka metoda w większości przypadków gwarantuje jedynie jednakowy czas początku ramek. Nie gwarantuje natomiast zachowania synchronizacji na poziomie odświeżania pikseli. Poza tym nie wszystkie dostępne modele kamer mają możliwość wspólnej synchronizacji. W związku z tym przetwarzane obrazy będą przesyłane z różną prędkością, która wynika z oddzielnych układów zegara w obu kamerach. Dodatkowo częstotliwość zegarów może ulegać nieznacznym zmianom w czasie. Na podstawie wykonanego w odstępie kilku sekund pomiaru częstotliwości sygnałów z dwóch kamer stwierdzono, że różnica częstotliwości badanych

sygnałów zegarowych wyniosła od kilku do kilkudziesięciu kHz. Zestawienie obu pomiarów pozwoliło zaobserwować przesunięcie sygnału w fazie pomiędzy kolejnymi pomiarami. Ze względu na zależność sygnałów synchronizacji od sygnałów zegarowych kamer, zjawisko to dotyczy zarówno sygnałów synchronizacji poziomej jak i pionowej. Oznacza to, że jednoczesna rejestracja i przetwarzanie obu obrazów w układzie cyfrowym za pomocą tylko jednego zegara kamery jest bardzo trudne. W projekcie założono, że nie ma możliwości na bezpośrednie sterowanie sygnałem synchronizacji kamer oraz, że są one niezależne od opracowanego modułu synchronizacji. W związku z tym zadanie stawiane przed modułem synchronizacji polega na takim zapisie niezależnie przesyłanych danych, by mogły być one równocześnie odczytane i ewentualnie wyświetlone na jednym monitorze.

## 2. Moduł synchronizacji obrazów

Brak synchronizacji pomiędzy kamerami rejestrującymi obrazy a układem cyfrowym odpowiadającym za ich synchronizację, powoduje, że opracowany system działa w trzech domenach zegarowych. Taka budowa systemu cyfrowego stwarza ryzyko wystąpienia zjawiska metastabilności, co w konsekwencji może spowodować nieprawidłowe działanie systemu [2]. W związku z tym należy zastosować odpowiednie kroki zapewniające minimalizację prawdopodobieństwa wystąpienia zjawiska metastabilności. Idea działania opracowanego modułu synchronizacji obrazów polega na odseparowaniu sygnałów zegarowych kamer od zegara układu synchronizacji (układu programowalnego). W tym celu moduł synchronizacji obrazów został podzielony na trzy główne sekcje pracujące w oddzielnych domenach zegarowych: *Zegar\_1* (13,5MHz), *Zegar\_2* (13,5MHz), *Zegar* (108MHz). Schemat blokowy modułu synchronizacji obrazów został przedstawiony na rys. 1.

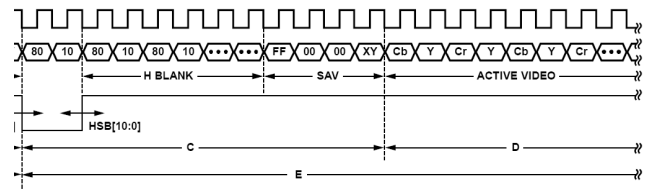


Rys. 1. Schemat blokowy modułu do synchronizacji obrazów  
Fig. 1. Block diagram of synchronization module

W pierwszym etapie sygnał wizyjny odbierany zostaje przez *Moduł detekcji sygnału*. Zadaniem tego modułu jest synchronizacja odczytu danych z przetwornika obrazowego z sygnałem wyzwalania poziomego informującego o rozpoczęciu się nowej linii obrazu wizyjnego. Przykładowe przebiegi czasowe sygnałów cyfrowych dla linii obrazu w standardzie PAL ITU-R BT.656 zostały przedstawione na rys. 2. Przetwornik obrazowy wysyła naprzemiennie wartości luminancji (Y) oraz chrominancji (Cr, Cb) kolejnych pikseli obrazu. W przypadku kamery termowizyjnej rejestrowany obraz przedstawia natężenie promieniowania obserwowanej sceny w zakresie podczerwieni. Oznacza to, że obraz termowizyjny jest najczęściej monochromatyczny, a więc nie zawiera informacji o kolorze. Powoduje to, że w rejestrowanym sygnale wideo można pominąć informację o chrominancji. W związku z tym, dane obrazowe można przesyłać z dwukrotnie mniejszą częstotliwością nie tracąc informacji. Jednocześnie w projekcie założono, że obraz wizyjny będzie także monochromatyczny. W wyniku tego wymagany obszar pamięci dla pojedynczej linii obrazu wynosi 720 bajtów zamiast 1440 bajtów, pamięć zapisywana jest z prędkością 13,5 MHz zamiast 27 MHz.

W kolejnym etapie rejestrowane dane przesyłane są do *Modułu zapisu pamięci dual port RAM*.

Zadaniem tego modułu jest na-przemienne zapisywanie pamięci dwuportowych (*Dual port RAM 0* i *Dual port RAM 1*) kolejnymi liniami obrazu wideo. Po zapisaniu jednej linii obrazu do pamięci (np. *Dual port RAM 0*), zapisywana jest druga pamięć (np. *Dual port RAM 1*).

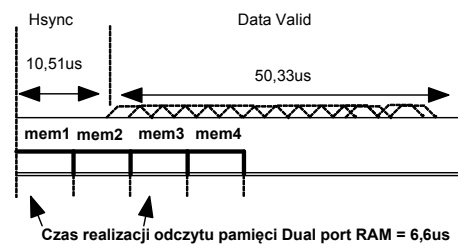


Rys. 2. Przebiegi czasowe sygnałów w standardzie PAL ITU-R BT.656  
Fig. 2. Digital PAL, ITU-R BT.656

## 3. Moduł sterujący

W przypadku złożonych systemów cyfrowych dobrą praktyką jest wyszczególnienie modułu odpowiadającego za sterowanie funkcjami systemu. Dla opisywanego modułu synchronizacji jest nim *Moduł sterujący*. Jego zadaniem jest sekwencyjne odczytywanie wewnętrznych pamięci dwuportowych oraz obsługa zewnętrznej pamięci przechowującej rejestrowane obrazy.

W opracowanym systemie obrazy z kamer przesyłane są w standardzie PAL, gdzie obraz jest złożony z 8-bitowych pikseli ułożonych w 720 kolumnach i 625 liniach. Wynika z tego, że tylko dla jednego obrazu potrzeba 450KB pamięci. Ze względu na to, że w układzie FPGA pamięci mają ograniczoną wielkość, do zapisu obrazu wideo zastosowano pamięć zewnętrzną SSRAM.



Rys. 3. Zestawienie czasu trwania jednej linii obrazu wideo do czasu jej odczytu z wewnętrznej pamięci Dual Port RAM

Fig. 3. Time of one video line compared to the time required to read this line from internal Dual Port RAM

W przypadku opracowanego systemu istnieje potrzeba zapisania i odczytu dwóch obrazów jednocześnie, ze znaczną prędkością. W celu uproszczenia implementacji zastosowano pamięć o 16-bitowej długości słowa. Pozwoliło to na zapis w jednym słowie, wartości dwóch pikseli o tych samych współrzędnych z dwóch obrazów. W przypadku odczytu pozwoli to na szybkie przełączenie się między obrazami lub odczyt dwóch obrazów jednocześnie.

Idea działania *Modułu sterującego* polega na sprawdzaniu kolejnych pamięci pod względem gotowości do odczytu. W przypadku wystąpienia takiego stanu automat przechodzi do odpowiedniego stanu, w którym dane zostają odczytane z pamięci dwuportowej i automatycznie zapisane do pamięci zewnętrznej. Aby zachować rezerwę wymaganego czasu na zadania stawiane przed *Modulem sterującym* (sprawdzenie stanu pamięci, odczyt pamięci dwuportowych, obsługa pamięci zewnętrznej) automat działa ze względnie dużą szybkością. Na rysunku 3 przedstawiono przebieg czasowy z zaznaczonymi czasem odczytu pojedynczej pamięci dwuportowej i czasem trwania jednej linii obrazu wideo. Dla podanego przypadku moduł sterujący pracuje z częstotliwością zegara równą 108 MHz. W takim przypadku czas obsługi pamięci dwuportowej (odczyt 720 B) wynosi 6,6μs co trwa znacząco