

Grzegorz GŁOMB, Józef BORKOWSKI, Janusz MROCZKA

POLITECHNIKA WROCLAWSKA, KATEDRA METROLOGII ELEKTRONICZNEJ I FOTONICZNEJ

System przetwarzania i wizualizacji sygnałów szybkozmiennych wykorzystujący procesor sygnałowy

mgr inż. Grzegorz Głomb

Ukończył studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej w 2002 roku. Obecnie jest asystentem w Katedrze Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej Politechniki Wrocławskiej. Interesuje się cyfrowym przetwarzaniem sygnałów, a w szczególności zastosowaniem metod analizy i przetwarzania obrazów w technice pomiarowej.

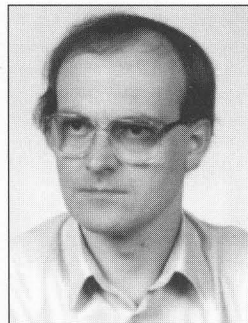
email: głomb@kneif.pwr.wroc.pl



dr inż. Józef Borkowski

Ukończył Politechnikę Wrocławską na Wydziale Elektroniki w 1986r., a stopień doktora nauk technicznych otrzymał w 1997 za pracę pt. „Metoda liniowej interpolacji dyskretnego przekształcenia Fouriera w analizie sygnału z czujnika pomiarowego”. Pracuje jako adiunkt w Katedrze Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej Politechniki Wrocławskiej. W pracy naukowej zajmuje się cyfrowym przetwarzaniem sygnałów, w szczególności teorią precyzyjnych pomiarów widma i ich praktyczną aplikacją w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem procesorów sygnałowych.

email: borkowski@kneif.pwr.wroc.pl



prof. dr. hab. inż. Janusz Mroczka

Ukończył studia w 1976 r. na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, gdzie również w 1981 r. uzyskał stopień doktora, a w 1991 r. doktora habilitowanego. W 1996 r. otrzymał tytuł profesora nauk technicznych. Tematyka badawcza obejmuje metodologię procesu poznawczego, algorytmizację problemu odwrotnego, analizę spektralną i polaryzację promieniowania rozproszonego w opisie właściwości układów dyspersyjnych, metodologię łączenia danych pomiarowych o różnej przestrzennej rozdzielczości z wykorzystaniem deterministycznych i stochastycznych metod przetwarzania, wykorzystanie reprezentacji czasowo-częstotliwościowych sygnałów w przetwarzaniu danych pomiarowych. Twórca szkoły naukowej metrologia fotoniczna.

email: mroczka@kneif.pwr.wroc.pl



Streszczenie

W niniejszej pracy został przedstawiony system przetwarzania i wizualizacji sygnałów szybkozmiennych wykorzystujący procesor sygnałowy i komputer PC. Omówiono strukturę poszczególnych bloków tego systemu oraz funkcje jakie realizują. W celu prezentacji funkcjonalności i elastyczności systemu została w nim zaimplementowana aplikacja oscyloskopu cyfrowego z analizatorem widma.

Abstract

In the paper the system for processing and visualization of high speed signals using signal processor and PC computer was presented. The structure of the system blocks and realized functions were discussed. A block diagram of this system was shown in fig. 1. To present functionality and flexibility of this system the application of the digital oscilloscope with the spectrum analyser was implemented. In fig. 2 a screenshot of the ADLab software that controls the digital oscilloscope on the PC computer was shown.

Słowa kluczowe: oscyloskop cyfrowy, analizator widma, procesor sygnałowy, FFT

Keywords: digital oscilloscope, spectrum analyser, signal processor, FFT

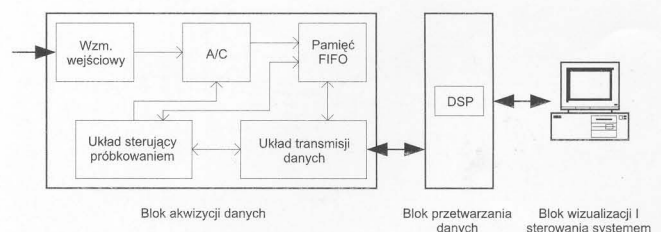
Wstęp

Wę współczesnej technice pomiarowej w wielu aplikacjach konieczne jest przetwarzanie sygnałów szybkozmiennych (np. sygnały generowane przez matryce CCD) oraz wizualizacja tak uzyskanych danych w czasie rzeczywistym. Zadania te wymagają dużej mocy obliczeniowej oraz magistral o wysokiej przepustowości danych, co jest realizowane w złożonych systemach opartych na procesorach sygnałowych.

W pracy został przedstawiony system przetwarzania i wizualizacji sygnałów szybkozmiennych w czasie rzeczywistym oparty na procesorze sygnałowym TMS320C6711. W jego budowie można wyróżnić trzy charakterystyczne bloki funkcjonalne:

- blok akwizycji danych,
- blok przetwarzania danych,
- blok wizualizacji i sterowania systemem.

Blok akwizycji danych został zrealizowany w postaci niewielkiego modułu. Rolę bloku przetwarzania danych pełni moduł DSK firmy Texas Instruments, natomiast za wizualizację i sterowanie systemem jest odpowiedzialny komputer PC. W celu prezentacji możliwości i funkcjonalności całego systemu zaimplementowano w nim aplikację oscyloskopu cyfrowego [1] z analizatorem widma.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu przetwarzania i wizualizacji sygnałów szybkozmiennych

Rys. 1. Block diagram of system for processing and visualization of high speed signals

Moduł akwizycji danych

Moduł akwizycji danych jest odpowiedzialny za kondycjonowanie sygnału wejściowego, próbkowanie sygnału z odpowiednią częstotliwością, gromadzenie danych w pamięci oraz ich transmisję do modułu przetwarzania danych. Struktura tego modułu została przedstawiona na rys. 1.

Wzmacniacz wejściowy zapewnia odpowiednią dynamikę sygnału oraz przeprowadza filtrację dolnoprzepustową w celu eliminacji zjawiska aliasingu. Do konwersji analogowo-cyfrowej został wykorzystany 8-bitowy przetwornik A/C typu „flash” firmy PHILIPS. Spróbkowany sygnał cyfrowy trafia na wejście zapisu pamięci FIFO, a sygnał wyjściowy jest pobierany z wyjścia odczytu tej pamięci. W module została zastosowana pamięć FIFO firmy Texas Instruments o pojemności 2048 słów i czasie dostępu 20 ns. Pamięć ta pełni dwie ważne funkcje, po pierwsze gromadzi próbki sygnału, a po drugie zapewnia współpracę dwóch magistral z różnymi częstotliwościami taktowania. Właściwą pracą modułu sterują dwa układy programowalne CPLD firmy LATTICE. Pierwszy układ jest odpowiedzialny za proces próbkowania sygnału, a drugi za komunikację z modułem przetwarzania danych.

W strukturze układu sterującego próbkowaniem zaimplementowany jest blok dzielników częstotliwości, układ wyzwalania oraz blok rejestrów konfiguracji. Parametry określające źródło i sposób wyzwalania oraz częstotliwość próbkowania są zapisywane w rejestrach konfiguracji, które modyfikuje układ komunikacji.

Wymiana danych pomiędzy modułem akwizycji danych, a modułem przetwarzania danych jest zrealizowana w oparciu o synchroniczny port szeregowy procesora sygnałowego. W układzie sterującym transmisją danych znajduje się blok nadajnika i odbiornika. Nadajnik odczytuje próbki z równoległej magistrali odczytu pamięci FIFO i konwertuje je do postaci szeregowej. Odbiornik odczytuje dane przesyłane z procesora sygnałowego i ustawia rejestry układu sterującego próbkowaniem oraz rejestry wzmacniacza wejściowego.

Struktura logiczna tych układów została opisana w języku ABEL i skompilowana w środowisku ispDesignExpert [2] firmy LATTICE. W module zostały wyprowadzone wszystkie nieużywane piny układów programowalnych oraz złącze ISP pozwalające na szybką zmianę konfiguracji modułu i przystosowanie go do innych zastosowań. Moduł umożliwia zmianę częstotliwości próbkowania w sekwencji 1, 2, 5 w obrębie pięciu dekad przy czym maksymalna częstotliwość próbkowania wynosi 30 MHz. Pomiar może być wyzwalany zboczem sygnału mierzonego lub zewnętrznego sygnału wyzwalającego o programowanej polaryzacji (zbocze narastające lub opadające).

Moduł przetwarzania danych

Za przetwarzanie danych odpowiedzialny jest moduł DSK (DSP Starter Kit) z procesorem sygnałowym TMS320C6711 [3, 4] firmy Texas Instruments. Moduły DSK stanowią kompletny system uruchomieniowy składający się z procesora sygnałowego, układów peryferyjnych oraz oprogramowania. Pozwalają one na szybkie projektowanie i uruchamianie aplikacji bez konieczności budowy części sprzętowej. Na płycie wykorzystanego modułu DSK znajdują się następujące komponenty:

- zmiennoprzecinkowy procesor sygnałowy TMS320C6711 taktowany zegarem 150 MHz pracujący z wydajnością sięgającą 900 MFLOPS,
- 16 Mbajtów synchronicznej pamięci SDRAM taktowanej zegarem 100 MHz,
- 128 kbajtów pamięci flash,
- kontroler portu równoległego pracujący z standardzie EPP połączony z portem HPI procesora sygnałowego,

- 16-bitowy kodek audio pracujący z częstotliwością próbkowania 8 kHz,
- złącza zewnętrznej pamięci i układów peryferyjnych.

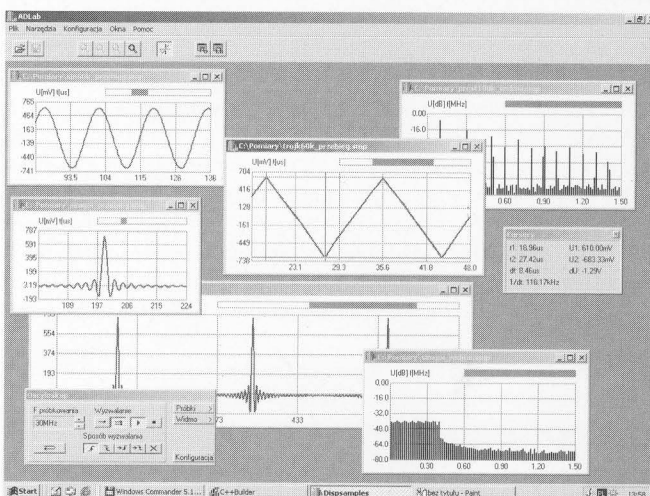
W rodzinie ‘6000 procesorów sygnałowych zastosowano wielokrotnioną liczbę jednostek przetwarzających dane. Wszystkie jednostki pracują równolegle i niezależnie od siebie pobierają i zapisują argumenty w zbiorze rejestrów wewnętrznych. Architektura tych procesorów jest określana akronimem VLIW (Very Long Instruction Word) i charakteryzuje się wykorzystaniem długich słów instrukcji, gdzie każda instrukcja kodu maszynowego jest zbiorem ośmiu niezależnych poleceń sterujących poszczególnymi jednostkami. Architektura ta dzięki wykorzystaniu możliwości przetwarzania równoległego cechuje się dużą wydajnością obliczeniową (np. w algorytmach FFT). Pisanie programów w assemblerze na procesory VLIW jest czasochłonne i wymaga dużego doświadczenia, dlatego producent zaleca korzystanie ze specjalizowanego kompilatora języka C, optymalizującego kod pod kątem architektury VLIW.

Komunikacja pomiędzy modułem przetwarzania danych a komputerem jest zrealizowana w oparciu o port równoległy pracujący w standardzie EPP. Kontroler portu równoległego w module DSK jest połączony z interfejsem HPI (Host Port Interface) procesora sygnałowego. Dzięki temu uzyskuje się szybki dostęp do zasobów procesora bez wpływu na proces przetwarzania danych, który jest niezależny od pracy interfejsu HPI.

Program umieszczony w pamięci procesora odczytuje próbki z bloku akwizycji danych, gromadzi je w pamięci oraz oblicza widmo sygnału (FFT) [5] z zastosowaniem okienkowania danych. Próbki sygnału jak i widmo amplitudowe są umieszczane w buforze odczytywanym przez HPI. Operacja transmisji danych jest synchronizowana flagami blokującymi modyfikację bufora w czasie odczytywania danych przez komputer.

Oprogramowanie dla procesora sygnałowego zostało stworzone w środowisku Code Composer Studio [6] będącym zestawem narzędzi do konfiguracji, budowy, testowania, śledzenia i analizy programów. Oprogramowanie to zawiera następujące komponenty:

- narzędzia generacji kodu dla rodziny TMS320C6000 procesorów sygnałowych,
- zintegrowane środowisko IDE (Integrated Development Environment),
- wtyczki programowe DSP/BIOS i API (Application Programming Interface),
- wtyczka programowa RTDX.



Rys. 2. Widok ekranu w czasie pracy programu ADLab
Fig. 2. Screenshot of ADLab software

Blok wizualizacji i sterowania systemem

Za wizualizację analizowanego sygnału oraz sterowanie modułami akwizycji i przetwarzania odpowiedzialny jest komputer PC oraz program ADLab działający w środowisku MS Windows. Program ADLab realizuje graficzny interfejs oscyloskopu, umożliwia użytkownikowi sterowanie procesem pomiaru, zmianę podstawy czasu, wybór metody wyzwalania pomiaru, przetwarzania sygnału, wizualizacji itp.

Program ADLab jest aplikacją wielodokumentową MDI (Multiple Document Interface), w której główne okno programu jest pulpitem dla pozostałych okien. W czasie pracy z programem wykorzystywane są 4 rodzaje okien:

- główne okno aplikacji udostępniające menu i pozwalające na zarządzanie całą aplikacją,
- okna dokumentów przedstawiające badane przebiegi, ich czasową lub częstotliwościową reprezentację,
- okno panelu oscyloskopu sterujące częścią sprzętową oscyloskopu (próbkowaniem, sposobem wyzwalania itp.),
- okna dialogowe umożliwiające zmianę konfiguracji programu.

Na pulpicie umieszczone są okna reprezentujące mierzone sygnały, wyświetlające kształt sygnału lub jego widmo. Program umożliwia pracę z maksymalnie szesnastoma oknami, z czego dwa służą do wyświetlania kształtu i widma sygnału aktualnie mierzonego, a pozostałe mogą wyświetlać widma i przebiegi wczytane z plików.

Sterowanie programem odbywa się za pośrednictwem górnego menu, paska zadań oraz okien dialogowych. Natomiast sterowanie bieżącym pomiarem jest dokonywane za pomocą panelu oscyloskopu.

Mierzony sygnał może być wyświetlany w postaci wykresu punktowego, liniowego lub słupkowego. Wykresy słupkowe wykorzystuje się do prezentacji widma, a punktowe i liniowe do wyświetlania kształtu sygnału. Przy zastosowaniu aproksymacji liniowej mierzonego sygnału możliwe jest oznaczanie punktów próbkowania za pomocą kwadratów. Program pozwala na ustawienie wielkości punktów i szerokości linii używanych do kreślenia przebiegu.

Zastosowanie kursorów umożliwia pomiar odległości w czasie (częstotliwości) i amplitudzie między dwoma dowolnymi punktami należącymi do przebiegu. Możliwość użycia kursorów również w czasie pomiaru pozwala na śledzenie wartości chwilowych amplitud, a w szczególności ich różnicy.

Opcje powiększania umożliwiają oglądanie fragmentu przebiegu lub widma. Program pozwala na powiększenie wskazanego myszką obszaru lub obszaru wokół wskazanego punktu. Operacja powiększania działa również w czasie rzeczywistym, dzięki czemu jest możliwa obserwacja zmian wybranych fragmentów mierzonego sygnału. Położenie fragmentu wyświetlanego przebiegu w rekordzie pomiarowym wskazuje pasek znajdujący się w górnej części okna.

Wykresy wyświetlane są na tle siatki opisanej rzeczywistymi wartościami, które ulegają zmianie wraz ze zmianą powiększenia, częstotliwości próbkowania lub długości rekordu pomiarowego. Program umożliwia ustawienie gęstości siatki oraz jej wyłączenie. Dane mogą być prezentowane w skali liniowej lub logarytmicznej, przy czym dla skali logarytmicznej możliwe jest ustawienie zakresu wyświetlanych wartości.

Aplikacja pozwala na zmianę kolorów poszczególnych elementów okna, osobno dla okien wyświetlających przebiegi i okien wyświetlających widma. Wszystkie ustawienia zapisywane są w pliku konfiguracyjnym i są przyjmowane domyślnie po ponownym uruchomieniu programu.

Program ADLab został napisany w języku C++ w środowisku C++ Builder firmy Borland. Praca aplikacji w systemie MS Windows w celu jej sprawnego i efektywnego działania wymusiła stosowanie charakterystycznych dla tego systemu mechanizmów.

Działanie programu jest oparte na dwóch wątkach, a sterowanie przebiegiem programu odbywa się z wykorzystaniem zdarzeń. Wątek główny programu zajmuje się przede wszystkim przetwarzaniem komunikatów docierających do aplikacji i kierowaniem ich do odpowiednich obiektów (reakcja na zdarzenia), natomiast drugi wątek jest odpowiedzialny za komunikację z procesorem sygnałowym. Wymiana danych z modułem DSK odbywa się przez port równoległy komputera, a obsługę tej transmisji realizują funkcje zawarte w bibliotece dsk6211. dll dostarczonej wraz z oprogramowaniem Code Composer Studio. Biblioteka ta pozwala na resetowanie modułu, wczytywanie programu do pamięci procesora, jego uruchamianie oraz odczyt i zapis danych do pamięci.

Podsumowanie

Przedstawiony system przetwarzania i wizualizacji sygnałów szybkozmiennych cechuje się dużą uniwersalnością oraz niewielką złożonością dzięki zastosowaniu standardowych komponentów (moduł DSK, komputer PC).

Oparcie modułu akwizycji danych na rekonfigurowalnych układach programowalnych pozwala na szybką zmianę funkcjonalności tego modułu i przystosowanie do pracy w nietypowych aplikacjach. Przykładem może być realizacja złożonego systemu wyzwalania, czy nierównomiernego próbkowania. Moduł przetwarzania danych cechuje się dużą wydajnością obliczeniową, a przede wszystkim łatwością implementacji dowolnych algorytmów przetwarzania sygnału dzięki zintegrowanemu środowisku projektowemu Code Composer Studio. Praca w systemie Windows i środowisku C++ Builder zapewnia proste i wydajne tworzenie aplikacji z graficznym interfejsem użytkownika.

Istotną cechą umożliwiającą przetwarzanie i wizualizację danych w czasie rzeczywistym jest zapewnienie odpowiednio szybkiego transferu danych pomiędzy kolejnymi członami systemu. Z modułu akwizycji danych próbki mogą być przesyłane z prędkością dochodzącą do 5 Mbajtów/s. Szczególnie ważne jest połączenie modułu przetwarzania danych z komputerem PC. Oparcie tego łącza na porcie równoległym umożliwia wymianę danych z przepływnością dochodzącą do 1 Mbajta/s. Ograniczenie prędkości transferu próbek z modułu akwizycji danych pozwala na ciągłe próbkowanie sygnału z częstotliwością nie przekraczającą 5 MHz. W przypadku przetwarzania krótkich serii próbek sygnału (ograniczonych pojemnością pamięci FIFO), np. tak jak w oscyloskopach cyfrowych, możliwa jest praca z częstotliwością próbkowania sięgającą 30 MHz.

Literatura

- [1] J. Ryzewski: *Pomiary oscyloskopowe*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [2] ispDesignExpert User Manual. Lattice 1999.
- [3] TMS320C6000 Programmer's Guide. Texas Instruments 2000.
- [4] TMS320C6000 Peripherals Reference Guide. Texas Instruments 2001.
- [5] T. Zieliński: *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2002.
- [6] Code Composer Studio User's Guide, Texas Instruments 2000.

Title: System for processing and visualization of high speed signals using signal processor