

**XIV Seminarium**  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2004**  
Oddział Gdański PTETiS

**ZASTOSOWANIE KONTROLERÓW STRUMIENIOWYCH USB  
DO BUDOWY DEDYKOWANYCH INTERFEJSÓW  
DŹWIĘKOWYCH**

**Andrzej CIARKOWSKI<sup>1</sup>, Maciej KULESZA<sup>2</sup>**

Katedra Systemów Multimedialnych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,  
Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, tel.: (058) 3471301  
e-mail: 1. [raban@sound.eti.pg.gda.pl](mailto:raban@sound.eti.pg.gda.pl), 2. [maciej\\_k@sound.eti.pg.gda.pl](mailto:maciej_k@sound.eti.pg.gda.pl)

Celem niniejszej publikacji jest omówienie zagadnień związanych z projektowaniem i budową dedykowanych komputerowych interfejsów dźwiękowych USB, charakteryzujących się wysokimi parametrami elektroakustycznymi oraz łatwością rozbudowy, z wykorzystaniem kontrolerów strumieniowych USB.

W pierwszej kolejności omówiono cechy charakterystyczne magistral komunikacyjnych PCI oraz USB, które mogą służyć do budowy komputerowych interfejsów dźwiękowych. Szerzej omówiono specyfikację magistrali USB oraz jej zalety w porównaniu z pozostałymi. W dalszej części uwagę skupiono na przeglądzie istniejących architektur interfejsów dźwiękowych USB oraz ocenie ich przydatności w kontekście realizowanych prac. Tym samym uzasadniono wybór architektury opartej na kontrolerach strumieniowych USB.

Komputerowe interfejsy dźwiękowe USB należą do klasy urządzeń, w których możliwe jest wyróżnienie dwóch zasadniczych części – analogowej i cyfrowej. Wiąże się z tym szczególne wymagania narzucane na projekt elektryczny urządzenia jak również na topologie płytki drukowanej. Zagadnienia te omówione zostały na przykładzie interfejsu dźwiękowego zrealizowanego przez autorów w ramach pracy dyplomowej.

Celem wykazania zasadności wykorzystania kontrolerów strumieniowych USB do budowy dedykowanych interfejsów dźwiękowych szczególny nacisk położono na omówienie budowy i właściwości projektów realizowanych w ramach prac prowadzonych przez Katedrę Systemów Multimedialnych, oraz na wynikające z doświadczenia wnioski.

## **1. KOMPUTEROWE MAGISTRALE ROZSZERZEŃ**

Szeroko wykorzystywana w technice komputerowej magistrala *Peripheral Component Interconnect* (PCI) pod wieloma względami wydaje się być bardzo dobrym rozwiązaniem do budowy w oparciu o nią interfejsów dźwiękowych. Przy podstawowej częstotliwości pracy 33MHz przepływność wynosi 127MB/s, co pozwala na budowę zaawansowanych, wielokanałowych interfejsów dźwiękowych. Umieszczona we wnętrzu komputera dźwiękowa karta PCI z przetwornikami analogowo-cyfrowymi i cyfrowo-analogowymi znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie innych podzespołów komputerowych, które generują zakłócenia wpływające negatywnie na parametry elektroakustyczne toru fonicznego. Z punktu widzenia użytkownika pewnym obciążeniem jest również

konieczność umieszczenia karty we właściwym gnieździe, ponowne skręcenie obudowy komputera jak również instalacja niezbędnych sterowników.

Wad tych pozbawione są interfejsy dźwiękowe zbudowane w oparciu o magistrale USB. Ponieważ z założenia tego typu urządzenia znajdują się poza wnętrzem komputera, w naturalny sposób unika się problemów związanych z przenikaniem zakłóceń do toru fonicznego. Możliwe, zatem staje się spełnienie postulatu dotyczącego jakości interfejsu dźwiękowego, bez dodatkowego nakładu pracy. Komponenty zarządzające komunikacją poprzez magistralę USB, w tym również kontrolery strumieniowe USB, należą do układów niedrogich, których cena pozostaje w odpowiedniej relacji w stosunku do kosztu całego urządzenia. Niebagatelną zaletą rozwiązań bazujących na magistrali USB jest to, iż urządzenia tego standardu w zdecydowanej większości nie wymagają instalacji dodatkowych sterowników, a ich konfiguracji odbywa się w sposób dynamiczny, bez konieczności ponownego uruchamiania komputera. Dostępna w trybie *full-speed* przepływność 12Mb/s pozwala na ciągłą obsługę do czterech stereofonicznych strumieni audio wysokiej jakości. W chwili obecnej jest już opracowana wersja 2 standardu USB, która podnosi przepływność do poziomu 480 Mb/s, co jest wystarczające do budowy nawet najbardziej zaawansowanych wielokanałowych interfejsów studyjnych [1].

## 2. WŁAŚCIWOŚCI MAGISTRALI USB

Transmisja danych poprzez magistrale USB odbywa się asynchronicznie, tylko w jednym kierunku w danym momencie czasu. Nadzór nad całym procesem przesyłania danych sprawuje host, który inicjuje każdą transmisję niezależnie od kierunku w jakim się odbywa. Struktura przesyłanych danych ma charakter pakietowy.

Urządzenia komunikujące się z komputerem poprzez magistralę USB, w tym również interfejsy dźwiękowe, reprezentowane są przez grupę tak zwanych *endpointów*, które stanowią źródła bądź też odbiorców danych, zdefiniowanego w procesie inicjalizacji urządzenia typu. Zbiór takich *endpointów* przypisanych do danej funkcji stanowi jej interfejs, udostępniany aplikacji obsługującej urządzenie.

W zależności od rodzaju danych jakie dany *endpoint* ma przyjmować, bądź też wysyłać specyfikacja USB przewiduje przypisanie mu jednego z czterech rodzajów transmisji, z których każdy różni się priorytetem w dostępie do magistrali USB, jak również wskazuje na to czy czas obsługi ma znaczenie. Na podstawie tych informacji host przydziela zasoby magistrali do poszczególnych interfejsów urządzenia. Specyfikacja USB zapewnia wsparcie dla klasy urządzeń audio, dla których przewidziano transfer izochroniczny.

Niebagatelną zaletą magistrali USB jest to, iż może ona dostarczać napięcia zasilania 5 V do obsługiwanych urządzeń, co pozwala w przypadku interfejsów dźwiękowych USB w zdecydowanej większości wyeliminować konieczność budowy zewnętrznego zasilacza [2].

## 3. MODEL LOGICZNY URZĄDZENIA DŹWIĘKOWEGO USB

W ramach specyfikacji standardu USB przewidziano wyszczególnienie wielu klas urządzeń. Urządzenia należące do określonej klasy podlegają dalszej standaryzacji, która pozwała w wielu przypadkach wyeliminować konieczność stosowania dedykowanych

sterowników urządzeń. Jedną z wyszczególnionych klas jest klasa urządzeń dźwiękowych USB Audio. Specyfikuje ona 3 rodzaje interfejsów, które może implementować urządzenie tej klasy: *Audio Control Interface* (obowiązkowy) oraz opcjonalne *Audio Streaming Interface* i *MIDI Streaming Interface*. Kolekcja interfejsów tworzy *funkcję* audio. Dla zapewnienia właściwej synchronizacji, interfejsy wewnątrz każdej funkcji muszą udostępniać informację na temat wprowadzanych opóźnień, co pozwala eliminować zniekształcenia fazowe (*jitter*). Funkcja audio składa się z encji (*entities*) o dobrze zdefiniowanej funkcjonalności i topologii. W specyfikacji zdefiniowano szereg encji odpowiadających typowym operacjom stosowanym w przetwarzaniu dźwięku (np. dozowanie, multipleksacja, sztuczny pogłos, efekt chorus). Ponadto specyfikacja wymaga, aby urządzenie dźwiękowe USB precyzyjnie określiło format danych używany w transmisji, rodzaj stosowanej synchronizacji oraz typ zabezpieczenia przed kopiowaniem. Wszystko to ma na celu umożliwić w przypadku większości urządzeń stosowanie sterownika generycznego, dostarczanego wraz z systemem operacyjnym, a więc odciąża projektanta sprzętu od trudnego zadania pisania sterownika [3].

#### 4. ARCHITEKTURY URZĄDZEŃ DŹWIĘKOWYCH USB

Urządzenia USB, w tym również dźwiękowe, są obecnie budowane w oparciu o jedną z kilku możliwych architektur różniących się skalą integracji użytych komponentów. Typowo stosowane rozwiązania dzielą się na:

- Peryferia USB – zawierają w swej strukturze osobny element pełniący funkcję interfejsu szeregowego SIĘ (*Serial Interface Engine*) oraz połączony z nim mikroprocesor lub mikrokontroler ogólnego stosowania. Takie rozwiązanie wymaga niestety od projektanta dość znacznej nakładzie pracy.
- Urządzenia ASIC – pozwalają na integrację wewnątrz jednego elementu dowolnej funkcjonalności w tym m.in. SIĘ, kontrolera protokołu, portów wejścia/wyjścia czy przetworników A/C i C/A. Obniża to koszty produkcji ale znacznie zwiększa nakład pracy wymagany do opracowania samego urządzenia.
- Mikrokontrolery USB – zawierają w swej strukturze urządzenie SIĘ oraz dedykowany do jego obsługi programowalny mikrokontroler. Jest to rozwiązanie bardzo uniwersalne a przy tym wygodne – z jednej strony uwalnia projektanta od niskopoziomowej obsługi protokołu USB, a z drugiej dostarcza szerokie możliwości rozbudowy poprzez porty wejścia/wyjścia mikrokontrolera. Przykładem tego typu rozwiązań są układy TAS1020 i TUSB3200 firmy Texas Instruments, które zostały stworzone z myślą o strumieniowym przesyłaniu danych fonicznych. Z tego względu są one określane terminem kontroler strumieniowy (*Streaming Controller*). Ich sercem jest mikrokontroler 8052 wzbogacony dodatkowo o funkcje obsługi popularnych metod transmisji dźwięku cyfrowego (I<sup>2</sup>S, AC97 i inne) z wykorzystaniem kanałów DMA. Ponadto oferowane są one w niewygórowanej cenie oraz dają szerokie możliwości rozbudowy poprzez porty GPIO. Z tego względu zostały wybrane jako idealna platforma dla realizacji projektów w KSM PG [1, 4].

## 5. CECHY TORU FONICZNEGO WYSOKIEJ JAKOŚCI

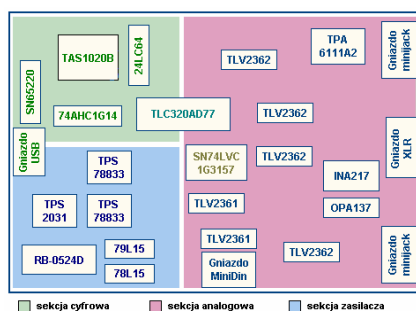
Interfejsy dźwiękowe USB są urządzeniami charakteryzującymi się dualną, analogowo-cyfrową strukturą. Konieczne zatem staje się stosowanie szczególnych reguł rządzących budową tego typu urządzeń.

Specyfika sygnałów cyfrowych o wysokiej częstotliwości wymusza w projekcie elektrycznym wyodrębnienie dwóch wzajemnie odseparowanych linii masy dla sekcji analogowej i cyfrowej urządzenia. Projekty o większym stopniu komplikacji mogą wymagać wyodrębnienia więcej niż tylko dwóch głównych linii mas. Działanie takie jest absolutnie niezbędne dla zapewnienia poprawnych warunków pracy sekcji analogowej, a w szczególności pozwala osiągnąć, założoną przez producenta komponentu dynamikę konwersji analogowo – cyfrowej. Do dobrych reguł projektowania torów fonicznych wysokiej jakości należy minimalizacja impedancji oraz indukcyjności linii masy, co jest realizowane poprzez stosowanie w projekcie płytki drukowanej możliwie szerokich ścieżek masy oraz wypełnienie wolnych obszarów laminatu jej planami.

Na szczególną uwagę w projekcie elektrycznym urządzenia zasługuje odpowiednie dystrybuowanie napięć zasilania, oraz minimalizacja zakłóceń wysokoczęstotliwościowych propagujących się poprzez te linie.

Spełnienie powyższych postulatów jest możliwe tylko wówczas gdy wszystkie moduły wchodzące w skład projektowanego urządzenia, dla których konieczne jest wyodrębnienie masy, zostaną rozmieszczone na płycie drukowanej w odpowiedni sposób. Na rysunku 1 przedstawiono topologię płytki drukowanej omówionego dalej zintegrowanego urządzenia pomiarowo – diagnostycznego z wyodrębnionymi sekcjami poszczególnych mas.

W przypadku komponentów takich jak kodeki sygnałów fonicznych, które pracują zarówno w dziedzinie analogowej jak i cyfrowej, dąży się do tego by każda z części danego komponentu leżała nad odpowiednią sekcją masy. Podczas projektowania płytki drukowanej należy unikać równoległego prowadzenia ścieżek sygnałów fonicznych, co pozwala zapobiegać powstawaniu przesłuchów i sprzężeń. Z kolei ścieżki sygnałów cyfrowych należy grupować w wiązki i starać się doprowadzić do tego, by były odseparowane od pozostałych ścieżek odpowiednim planem masy.



Rys. 1. Topologia płytki drukowanej z wyodrębnionymi sekcjami urządzenia

## 6. INTERFEJSY DŹWIĘKOWE USB REALIZOWANE W KSM PG

Pierwszą projektem wykorzystującym kontroler strumieniowy USB w KSM była praca dyplomowa „Zintegrowane urządzenia pomiarowo-diagnostyczne z interfejsem USB”

wykonana przez autorów niniejszej publikacji [1]. Jej celem było opracowanie urządzenia wielofunkcyjnego, będącego uzupełnieniem kilku projektów realizowanych w KSM.

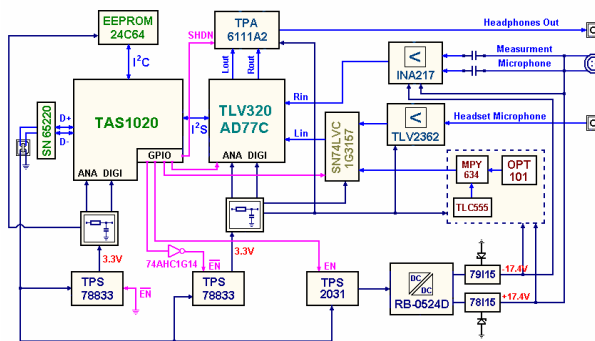
Zastosowania te obejmowały:

- Multimedialny System Pomiaru Hałasu – założono, że opracowane urządzenie będzie umożliwiać podłączenie precyzyjnego mikrofonu pomiarowego.
- System Telemedyczny „Słyszę” – urządzenie miało dysponować torem fonicznym o gwarantowanych parametrach, tak aby uniknąć uciążliwego procesu kalibracji przed wykonaniem pomiaru słuchu u pacjenta.
- System Telemedyczny „Widzę” – urządzenie powinno być wyposażone w czujnik optyczny i umożliwiać kalibrację monitora poprzedzającą badanie wzroku.

Konsekwencją docelowych zastosowań oraz dodatkowych wymogów odnośnie ergonomii i użyteczności samego urządzenia były następujące postulaty:

- Urządzenie powinno obsługiwać strumienie foniczne próbkowane z rozdzielczością 24 bitów i częstotliwością 48 lub 96kHz.
- Powinno być zasilane z magistrali USB (nie wymagać zewnętrznego zasilacza).
- Musi istnieć możliwość wytworzenia napięcia zasilającego mikrofon pomiarowy (na poziomie 15 – 48V)
- Urządzenie powinno umożliwiać programową kontrolę trybu pracy, tak aby możliwa była automatyczna konfiguracja przez dedykowane oprogramowanie hosta.
- Aby uniknąć konieczności pisania dodatkowych sterowników sygnał z czujnika optycznego powinien być poddany modulacji i przesłany jako dane foniczne.

W rezultacie opracowano urządzenie którego schemat blokowy jest zamieszczony na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat blokowy "Zintegrowanego urządzenia..."

Zastosowano kontroler strumieniowy TAS1020 oraz kodek foniczny TLV320AD77C umożliwiający próbkowanie z zakładaną rozdzielczością 24 bity. Z tego względu kodek komunikuje się z kontrolerem za pomocą interfejsu I<sup>2</sup>S (interfejs AC97 oferuje możliwość przesyłu strumieniu o szerokości maksymalnie 20 bitów). Do analogowych wejść kodeka podłączono interfejs mikrofonu pomiarowego wykorzystujący przedwzmacniacz toru symetrycznego INA217 (kanał prawy) oraz klucz pozwalający na wybór zewnętrznego mikrofonu lub sygnału z czujnika optycznego (kanał lewy). Analogowe wyjście kodeka wyposażono we wzmacniacz mocy pozwalający na bezpośrednie podłączenie słuchawek dynamicznych. Układ czujnika optycznego zbudowano w oparciu o standardowy multiwibrator TLC555 i układ mnożący MPY634 (układ TLC555 generuje nośną o

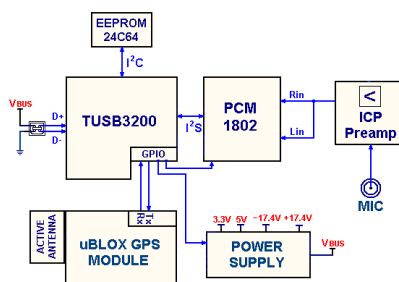
częstotliwości ok. 800Hz, która jest modulowana stałym napięciem wyjściowym fotodiody OPT101). Do generacji napięcia polaryzującego mikrofon pomiarowy wykorzystano przetwornicę impulsową RB-0524D [1].

Kolejnym projektem wykorzystującym kontrolery strumieniowe USB realizowanym w KSM jest dedykowany interfejs umożliwiający podłączenie mikrofonu pomiarowego w standardzie ICP do stacji pomiarowej systemu monitorowania hałasu. Przewidywane są dwa warianty tego urządzenia:

- Dla stacji mobilnych (komputery przenośne, urządzenia PDA), wyposażone w dodatkowy moduł lokalizacji satelitarnej GPS.
- Dla stacji stacjonarnych – pozbawione modułu GPS.

Ze względu na konieczność obsługi modułu GPS zastosowano kontroler TUSB3200. Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy opracowanego rozwiązania. Aby zwiększyć dynamikę toru fonicznego zastosowano konwerter A/C PCM1802.

W związku z realizacją w KSM projektu związanego z poprawą zrozumiałości mowy rejestrowanej wielokanałowo zaistniała potrzeba opracowania interfejsu wielokanałowego. Urządzenie to powinno umożliwiać umożliwiającego wielokanałowe odtwarzanie dźwięku. Urządzenie to powinno umożliwiać odsłuch w systemie dźwięku dookólnego 5.1, a zarazem stanowić klucz sprzętowy uniemożliwiający nielegalne wykorzystanie oprogramowania do rekonstrukcji. Weryfikując numer seryjny oprogramowania z numerem seryjnym urządzenia zyskujemy doskonałe zabezpieczenie antypirackie. Ponadto, uzyskujemy pewność, można uzyskać doskonałe zabezpieczenie antypirackie.



Rys. 2. Schemat blokowy interfejsu mikrofonu ICP z modułem GPS

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Hyde J., USB Design by Example, Wiley computer Publishing, New York 1999
2. Universal Serial Bus Specification, Revision 1.1, Compaq, Intel, Microsoft, 1998
3. USB Device Class Definition for Audio Device, Release 1.0, Geert Knapen i inni, March 18, 1998
4. Ciarkowski A., Kulesa M., Zintegrowane urządzenie pomiarowo-diagnostyczne USB, praca dyplomowa KSM WETI PG, 2003

## PODZIĘKOWANIE

Praca była dofinansowana przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej