

RAZVOJ RAZŠIRITVENE KARTICE S SIGNALNIM PROCESORJEM ZA PCI VODILO

Daniel Čeh-Ambruš, Iztok Kramberger, Zdravko Kačič
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Univerza v Mariboru, Slovenija

Ključne besede: računalništvo, DSP obdelava signalov digitalna, kartice računalniške, kartice računalniške razširitvene, PCI povezava komponent perifernih, PCI vodila, PC računalniki osebni, flash pomnilniki, TMS320C31 Texas Instruments DSP procesorji

Izvleček: Članek obravnava razvoj in programiranje PCI razširitvene kartice za digitalno procesiranje signalov, zgrajene z DSP procesorjem s plavajočo vejico Texas Instruments TMS320C31. Razširitvena kartica predstavlja ustrezno razvojno okolje za razvoj zahtevnejših aplikacij, ki zahtevajo procesiranje velike količine podatkov in njihov prenos med pomnilnikom razširitvene kartice in gostiteljskega računalnika in za katere so vodila obstoječih sistemov prepočasna. Obstoječi sistemi s tem procesorjem na PCI vodilu so zelo redki in ne izpolnjujejo postavljenih zahtev. Razvit sistem je zasnovan tako, da v največji možni meri izkorišča zmožnosti signalnega procesorja in lahko brez razširjanja pomnilniških kapacitet na njem realiziramo aplikacije kot so spektralni analizator za nizkofrekvenčne signale (z analognim vmesnikom na sistemu do frekvenc okoli 20kHz), 32-kanalni logični analizator z vzorčenjem do 25MHz (pri uri procesorja 50MHz), generator 32-bitnih digitalnih signalov do 12.5MHz, FIR filter z okoli 500 koeficienti za signale vzorčene s frekvenco 48kHz, procesor zvočnih učinkov in vrsto drugih. Sistem omogoča povezavo z gostiteljskim osebnim računalnikom preko PCI vodila in deluje v okolju Windows 95/98/Me/NT/2000 operacijskega sistema. Kartica vsebuje 1MB statičnega pomnilnika in 512kB Flash pomnilnika za zagon sistema, PCI vodilo za priključitev na gostiteljski računalnik, 20-bitni dvokanalni analogni vhodni/izhodni vmesnik s frekvenco vzorčenja do 48kHz, razširitveni vmesnik za priključitev uporabniških modulov ter programsko opremo, ki je potrebna za inicializacijo sistema, programiranje signalnega procesorja in komunikacijo s kartico. Programska oprema deluje v sistemu Windows 95/98/Me/NT/2000.

Development of Expansion Card with DSP Processor for PCI bus

Keywords: computer science, DSP, Digital Signal Processing, computer cards, computer expansion cards, PCI, Peripheral Component Interconnect, PCI buses, PC, Personal Computer, PCS, Personal ComputerS, flash memories, TMS320C31 Texas Instruments DSP processors

Abstract: This article treats the design and programming of a PCI expansion card, build around the Texas Instruments TMS320C31 floating point DSP. We encountered the need for a development system, which could be used for development of advanced applications in signal processing. The existing development kits usually use serial or parallel interface to the host PC, which are too slow for advanced signal processing applications. There are also some expansion cards using the ISA interface and very few PCI cards, but none of them suits the defined needs. The expansion card consist of several units: The first is the memory unit, which consist of 1MB static memory implemented in the form of two memory banks of 128k x 32bit. The schematic of the first memory bank is shown in figure 2. A 512kB Flash memory for booting and initialization is in-system programmable. The second unit is the PCI local bus interface for connecting to the host PC, which is realized with the PLX PCI9050 PCI bridge /9/. The PCI bridge provides low cost connectivity for PCI slave designs. It is specifically targeted at easing the transition of existing ISA designs to the more feature rich and performance oriented PCI bus. The PCI 9050 provides direct slave PCI functions by interfacing the adapter's I/O circuitry (control, address and data lines) to a host computer's microprocessor/memory architecture via the 32-bit PCI bus, which typically runs at 33 MHz. The behavior of the bridge is controled via the local configuration registers printed in table 1. The third unit is the two channel analog input/output interface, which consists of a 20-bit stereo audio CODEC from Crystal (CS4222 /8/), supporting sampling rates up to 48kHz, the corresponding input and output buffers and a microphone preamplifier. The fourth unit is presented with expansion connectors for connecting application specific hardware and an emulator connector for connection of a hardware emulator unit. The system data transfer rates between the DSP and the host PC vary between 50MB/s and 132MB/s. These figures are valid for the DSP running at 50MHz. This means that the DSP can read with a 25MHz clock (25MHz x 32bit = 100MB/s) and write with a 12,5MHz clock (50MB/s). In this way the whole 1MB RAM on the expansion card can be rewritten in 20ms. When accessing the memory via the PCI bus, the local bus operates with a 33MHz clock, which gives us the peak performance of 132MB/s. The development environment consists of the device drivers for Windows 95/98/NT/2000 and the utilities for initialization of the system, downloading of program code and communication with the card via the PCI bus. Without upgrades, the system is capable to run applications like a spectrum analyzer for low frequencies (up to 20kHz), 32 channel logic analyzer with a frequency up to 25MHz, a 32 bit generator of digital signals, with a frequency up to 12,5MHz, FIR filters with about 500 coefficients for filtering analogue signals, which are sampled with a frequency up to 48kHz, a sound effect processor, and many more.

Uvod

Pri delu z že obstoječimi sistemi (npr. DSK komplet podjetja Texas Instruments /2/) vedno znova naletimo na problem prenosa podatkov med signalnim procesorjem in osebnim računalnikom. Ta in temu podobni sistemi uporabljajo za komunikacijo z osebnim računalnikom standardni zaporedni ali vzporedni

vmesnik. Slaba lastnost obeh vmesnikov je počasnost. Komunikacija preko teh vmesnikov sicer zadostuje za spoznavanje osnov digitalnega procesiranja signalov, odpove pa pri zahtevnejših aplikacijah, pri katerih imamo opravka z veliko količino podatkov. Da rešimo ta problem je smiselno počasni zaporedni ali vzporedni vmesnik nadomestiti s hitrim PCI vodilom, ki bo

omogočal razvoj kompleksnejših aplikacij (npr. razpoznavanje in sinteza govora, obdelava slike, celotni spekter avdio procesiranja, telekomunikacijski algoritmi,...). Ker pa je razvoj takšnih aplikacij pogosto povezan tudi z dodatno strojno opremo, mora sistem omogočati tudi nadgradnjo z dodatnimi vezji, kot so npr. digitalna sita, hitri A/D in D/A pretvorniki, MPEG kompresorji,... . Trenutno je na tržišču zelo malo proizvajalcev, ki bi ponujali takšno rešitev. Eno izmed njih ponuja podjetje Innovative Integration, Inc., ki pa ne izpolnjuje podanih zahtev, saj je kartica namenjena predvsem merjenju signalov v industriji in ima slabe možnosti razširitve. Večje število proizvajalcev pa ponuja kartice zasnovane na ISA vodilu, ki pa, upoštevaje prihodnji razvoj osebnih računalnikov ni več zanimiva rešitev, saj novejša računalniška oprema ne podpira več ISA vodila. Prav tako je ISA vodilo občutno počasnejše od PCI vodila. Obstoječe ISA kartice pa tudi ne vključujejo CODECov z več kot 16 bitno kvantizacijo, in tudi možnosti razširitev so precej skromnejše.

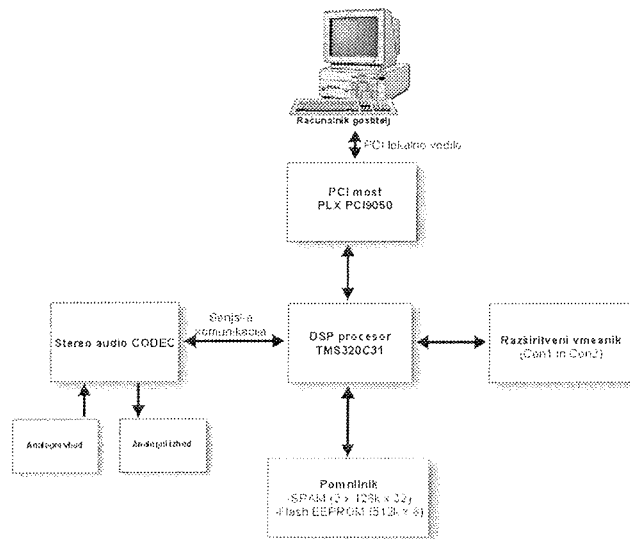
Zasnova razširitvene kartice

Osnovni deli strojnega dela sistema so: DSP procesor, pomnilniški podsistem, vhodno-izhodni vmesniki in razširitveni vmesnik.

Na sliki 1 je blokovna shema sistema. Osrednji del je digitalni signalni procesor (DSP) Texas Instruments TMS320C31. Naslednji večji del sistema je pomnilniški podsistem, ki je sestavljen iz 1MB statičnega pomnilnika in 512kB Flash pomnilnika. Slednji omogoča samostojno vzpostavitev in delovanje sistema brez priključitve na gostiteljski računalnik. Razširitveni vmesnik sestavljata dva konektorja, na katera je speljanih večina signalov. Tako imamo na razširitvenem vmesniku podatkovno in naslovno vodilo, napajanje, signale iz naslovnega dekodirnika (za enostavno dodajanje novih vezij) in prekinitvene linije. Ostali deli sistema so različni vhodni, izhodni in vhodno/izhodni vmesniki, namenjeni priključitvi perifernih naprav ter komunikaciji sistema z drugimi napravami.

DSP procesor Texas Instruments TMS320C31

Procesor TMS320C31 /1//5/ je eden od članov družine 32-bitnih procesorjev s plavajočo vejico Texas Instruments TMS320C3x. Značilnost te družine procesorjev je visoka stopnja vzporednosti; v enem ciklu lahko hkrati izvedejo množenje in aritmetično/logično operacijo nad celoštevilčnim ali realnim številom (številom s plavajočo vejico). Spremembe naslovnih registrov izvajata dve namenski aritmetično logični enoti (ARAU0 in ARAU1) in lahko zato potekajo vzporedno. Na procesorjih sta ob centralni procesni enoti (CPU-Central Processing Unit) tudi dva časovnika, zaporedni vmesnik (dva pri 'C30), DMA koprocesor (dva pri 'C32), dva bloka



Slika 1: Blokovna shema razširitvene kartice

pomnilnika, ROM pomnilnik (Boot Loader pri 'C31 in 'C32) in instrukcijski predpomnilnik (Cache).

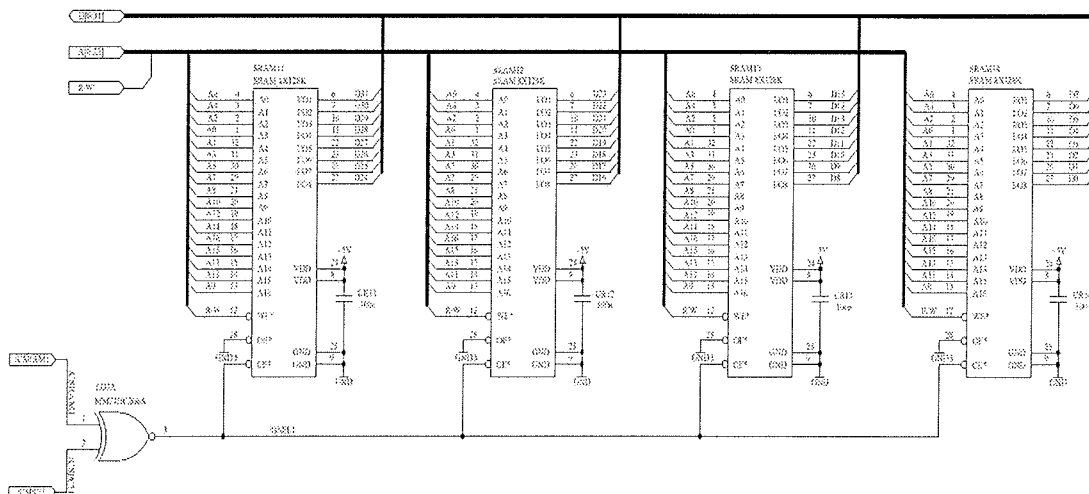
Pomnilniški podsistem

Pomnilniški sistem sestavljata statični pomnilnik /6/ velikosti 1MB in Flash pomnilnik /7/ velikosti 512kB, ki omogoča vzpostavitev in delovanje sistema brez posredovanja gostiteljskega računalnika.

Do statičnega pomnilnika lahko procesor dostopa brez čakalnih stanj, s tem popolnoma izkoriščamo procesorjevo hitrost tudi pri dostopanju do zunanjega pomnilnika. Flash pomnilnik lahko programiramo v samem sistemu, brez potrebe po programatorju. Lahko ga tudi zaščitimo pred pisanjem.

Statični pomnilnik /6/ je zgrajen iz dveh 32-bitnih bank velikosti 128k pomnilniških lokacij. Skupna velikost pomnilnika na sistemu je tako $2 \times 128k \times 32 = 8\text{Mbitov}$ oziroma 1M zlogov (1MB). Podatkovne linije RAMov so povezane na podatkovne linije procesorja. Ker ima procesor 32 podatkovnih linij, vsak RAM pa osem, so za vsako banko potrebni štirje RAM-i. Na naslovne linije RAMov je vezanih spodnjih 17 naslovnih linij procesorja ($2^{17} = 131072$ oziroma 128k naslovnih lokacij v eni banki). Prva banka je preslikana v naslovno območje od 820'000h do 83F'FFFh, druga pa v območje od 840'000h do 85F'FFFh. Zaradi izvedbe dekodirnika z vezjem 74F138 pride do večkratne preslikave fizičnega pomnilnika. Vezavo prve pomnilniške banke prikazuje slika 2.

Statični pomnilnik je dostopen tudi neposredno preko PCI vodila. Pri takšnem dostopu mora PCI most podati zahtevo po vodilu. Ko jo TMS odobri, lahko neposredno dostopamo do pomnilnika. Tak način komunikacije nam omogoča velik pretok podatkov in optimalno izkoriščenost DSP sistema. V našem sistemu smo uporabili DSP s frekvenco ure 50MHz, kar pomeni da



Slika 2: Prva pomnilniška banka sistema

lahko bere iz pomnilnika s frekvenco 25MHz. To nadalje pomeni da je prenos v tem primeru 100 MB/s. Ta vrednost je seveda najvišja meja, saj ne upošteva časa, ki je potreben za obdelavo podatka, prav tako so pisalni cikli enkrat počasnejši, kar pomeni da lahko zapisujemo z največ 50MB/s. Če posegamo do pomnilnika preko PCI vodila, je največja frekvenca vodila 33MHz, kar omogoča največji prenos do 132MB/s. Če upoštevamo dejstvo, da ima naš sistem 1MB spomina, pomeni to, da ga lahko v celoti prepišemo v 20ms, preberemo pa v 10ms.

Celotni Flash EEPROM je razdeljen na osem sektorjev, ki jih lahko neodvisno ali hkrati brišemo. V sistemu je Flash EEPROM preslikan v naslovno območje 400'000h-47F'FFFh in omogoča vzpostavitev sistema iz njega. Velikost naslovnega območja je 512k naslovov, kakršna je tudi zmogljivost EEPROMa, zato je v tem naslovnem območju le ena slika EEPROMa.

Povezava DSP sistema z osebnim računalnikom

Za povezavo signalnega procesorja z osebnim računalnikom smo uporabili PCI most podjetja PLX Technologies. Funkcija PCI mostu je, da povezuje PCI vodilo osebnega računalnika in lokalno vodilo DSP sistema. PCI most PCI 9050 /9/ je visokozmogljiv PCI vmesnik za razširitvene kartice. Načrtovan je tako, da omogoča priključitev širokega spektra sistemov z lastnim lokalnim vodilom na PCI vodilo osebnega računalnika in jim omogoča izmenjavo podatkov z osebnim računalnikom tudi do 132 MB/s. PCI 9050 lahko povežemo na multipleksirano ali nemultipleksirano lokalno vodilo, širine 8, 16 ali 32b. Predvsem možnost povezave 8b in 16b vodil na PCI vodilo omogoča enostavno predelavo starejših ISA kartic za uporabo na PCI vodilu. PCI 9050 popolnoma izpolnjuje zahteve PCI 2.1 specifikacije.

Delovanje PCI mostu PLX PCI9050 /9/ določamo in spremljamo s pomočjo lokalnih konfiguracijskih registrov. Spisek lokalnih konfiguracijskih registrov in njihovi odniki od baznega naslova, so podani v tabeli 1.

Te registre lahko razdelimo v več skupin:

- registri za definiranje velikosti lokalnih naslovnih prostorov,
- registri za preslikavo PCI naslovnega prostora v lokalni naslovni prostor,
- registri za nastavitve lastnosti posameznih lokalnih naslovnih prostorov,
- registri za nastavitve izbirnih (chip select) linij,
- register za nastavitve in obravnavo prekinitev ter
- kontrolni register.

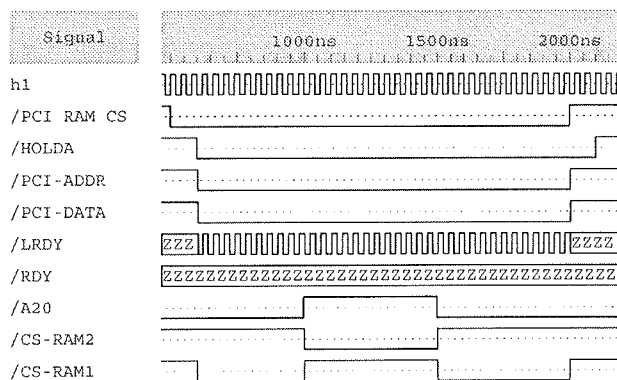
Tab. 1: Lokalni konfiguracijski registri PLX PCI9050 /9/.

PCI (Offset from Local Base Address)	To ensure software compatibility with other versions of the PCI9050 family and to ensure compatibility with future enhancements, write "8" to all unused bits.	PCI and EEPROM Writable
00h	Local Address Space 0 Range	Y
04h	Local Address Space 1 Range	Y
08h	Local Address Space 2 Range	Y
0Ch	Local Address Space 3 Range	Y
10h	Local Expansion ROM Range	Y
14h	Local Address Space 0 Local Base Address (Remap)	Y
18h	Local Address Space 1 Local Base Address (Remap)	Y
1Ch	Local Address Space 2 Local Base Address (Remap)	Y
20h	Local Address Space 3 Local Base Address (Remap)	Y
24h	Expansion ROM Local Base Address (Remap)	Y
28h	Local Address Space 0 Bus Region Descriptors	Y
2Ch	Local Address Space 1 Bus Region Descriptors	Y
30h	Local Address Space 2 Bus Region Descriptors	Y
34h	Local Address Space 3 Bus Region Descriptors	Y
38h	Expansion ROM Bus Region Descriptors	Y
3Ch	Chip Select 0 Base Address	Y
40h	Chip Select 1 Base Address	Y
44h	Chip Select 2 Base Address	Y
48h	Chip Select 3 Base Address	Y
4Ch	Interrupt Control/Status	Y
50h	EEPROM Control, PCI Slave Response, User I/O Control, Int Control	Y

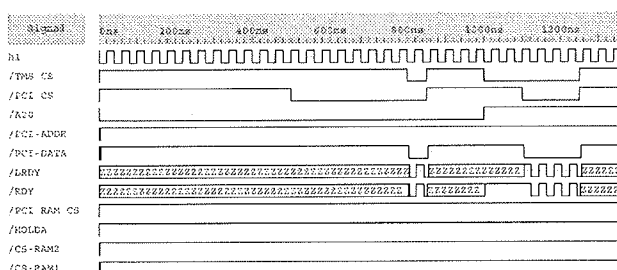
PCI most PLX PCI 9050 ima vgrajen vmesnik za priključitev zaporednega EEPROMa, ki ga lahko uporabimo za zapis začetnih nastavitvev PCI mostu. PCI most podpira 1k bitne EEPROMe, ki imajo MICROWIRE vmesnik in omogočajo sekvenčno branje. Takšni EEPROMi imajo ponavadi oznako 93C(S)46 (Pomen oznak: 93 - MICROWIRE vmesnik, C/CS – različne opcije, odvisno od proizvajalca in 46 - 1k bit spomina). V sistemu smo uporabili EEPROM proizvajalca ST Microelectronics z oznako M93C46 /10/.

Pri povezavi DSP sistema z osebnim računalnikom smo implementirali dva načina dostopa do DSP sistema. Prvi način je neposredni dostop do lokalnega pomnilnika DSP sistema, drugi način pa je neposredna komunikacija s signalnim procesorjem TMS320C31.

Neposredni dostop do lokalnega pomnilnika omogoča hitro branje in pisanje podatkov v lokalni pomnilnik DSP sistema. Pri tem načinu PCI 9050 da zahtevo po vodilu signalnemu procesorju. Ko ta zahtevo odobri, lahko PCI 9050 neposredno dostopa do lokalnega pomnilnika. Ker smo uporabili hiter statični pomnilnik, se ta komunikacija izvede v hitrem načinu. Hitrost ki jo dosežemo na ta način je odvisna od lokalne ure sistema in se giblje med 50MZlogov/s ($12.5\text{MHz} \times 32\text{b}$) in 132MZlogov/s ($33\text{MHz} \times 32\text{b}$), kar je tudi največja možna hitrost PCI 9050. Takšna komunikacija npr. omogoča prikaz rezultatov procesiranja v realnem času in popolno izkoriščanje DSP sistema. Signali, ki sodelujejo pri tej komunikaciji, so predstavljeni na sliki 3. Pri tem je h1 ura lokalnega vodila signalnega procesorja, /PCI RAM CS je signal s katerim procesorju signaliziramo, da želimo dostopati do lokalnega pomnilnika. Na to zahtevo DSP odgovori s postavitvijo signala /HOLDA, s čimer se odklopi od lokalnega vodila in prepusti pomnilnik PCI vodilu. PCI vodilo se priklopi na lokalno vodilo s pomočjo signalov /PCI-ADDR in /PCI-DATA. Pisalni in bralni cikel je določen s signalom /LRDY, pomnilniško banko pa izbiramo s signali /A20, /CS-RAM1 in /CS-RAM2.



Slika 3: Simulacija signalov za neposredni dostop do lokalnega pomnilnika.



Slika 4: Simulacija signalov za neposredno komunikacijo s TMS320C31.

Pri neposredni komunikaciji s TMS320C31 gre za neposredno komunikacijo s signalnim procesorjem TMS320C31. Pri tem izkoriščamo HOST-LOCKED način komunikacije signalnega procesorja TMS320C31. Ta način komunikacije uporabljamo večinoma za krmilno-statusno komunikacijo. Omogoča inicializacijo sistema, nalaganje programov v DSP ter krmilno - statusno komunikacijo z DSP procesorjem. Potek komunikacije prikazujejo signali na sliki 4. Če želimo podatke vpisati v DSP, postavimo signal /PCI CS na logično enico, DSP to zazna v obliki prekinitve in odgovori s postavitvijo signala /TMS CS. Ko sta oba signala aktivna se izvede pisalni cikel s pomočjo signalov /LRDY in /RDY.

Analogni vmesnik Crystal CS4222

Analogni vmesnik je namenjen zajemanju in predvajanju dveh kanalov analognih signalov, katerih frekvence so v območju človeku slišnih frekvenc (20Hz-20kHz). Kot osnovo analognega vmesnika smo uporabili stereo avdio kodek podjetja Crystal, z oznako CS4222 /8/. To je integrirano vezje, ki vsebuje 20 bitnidvokanalni analognodigitalni (A/D) pretvornik in 20 bitni dvokanalni digitalnoanalogni (D/A) pretvornik. Prenos digitalnih podatkov poteka preko zaporednega vmesnika, ki smo ga priključili na zaporedni vmesnik procesorja. A/D in D/A pretvornika delujeta po principu delta- sigma modulacije. Po podatkih proizvajalca je razmerje signal/šum 99dB, skupno harmonsko popačenje in šum pa sta tipično manjša od -90dB. Vezje podpira standardne frekvence vzorčenja 32kHz, 44.1kHz in 48kHz. S kakšno frekvenco vzorčenja bo vezje delovalo, je odvisno od systemske ure vezja ter od urinih signalov na zaporednem vmesniku kodeka. Frekvenca systemske ure je lahko 256-, 384- ali 512-kratnik frekvence vzorčenja. Avdio CODECu smo dodali tudi potrebno vhodno in izhodno prilagoditveno vezje, ter mikrofonski predojačevalec, ki omogoča neposredno priključitev mikrofona na kartico.

Emulatorski in razširitveni vmesnik

V procesor TMS320C31 je vgrajena tehnologija imenovana MPSD (Modular Port Scan Device), ki omogoča popolno emulacijo preko zaporednega XDS510 vmesnika.

Razviti sistem vsebuje tudi razširitveni vmesnik, ki služi priključevanju različnih perifernih naprav na DSP sistem. Razširitveni vmesnik je sestavljen iz dveh 50 pinskih ploščatih konektorjev. Na te konektorje je speljano celotno lokalno vodilo (naslovne in podatkovne linije, R/W', /READY in /STROBE signali), signali iz naslovnega dekodirnika, prekinitvene linije, prosti pini iz programirljive logike, linije za generiranje čakalnih stanj, liniji TCLK0 in TCLK1, ki jih lahko uporabljamo kot liniji internega časovnika TMS320C31 ali pa kot prosto programirljivi liniji (npr. za I2C) ter napajalne linije (+12V, -12V, +5V, +3.3V in GND).

Takšna zasnova rezširitvenih konektorjev omogoča enostavne nadgradnje sistema v obliki uporabniških modulov, ki se priključijo na te konektorje, saj imamo na voljo vse potrebne signale za krmiljenje in napajanje modulov ter za komunikacijo med procesorjem in moduli.

Programiranje sistema:

Programiranje sistema lahko razdelimo na dva dela. Prvi del zajema komunikacijo med osebnim računalnikom in PCI kartico. Programiranje tega dela izvajamo v okolju Windows 95/98/Me/NT/2000. Programiramo lahko v različnih programskih jezikih, kot so npr. C++, Visual Basic, Delphi,...

Drugi del programiranja zajema programiranje signalnega procesorja TMS320C31 in perifernih naprav (Audio CODEC, I²C vodilo, razširitvene kartice, Flash pomnilnik). Ta del programiranja izvajamo v programskem razvojnem okolju, ki vsebuje tudi zbirnik in programski jezik C, ki ga ponuja podjetje Texas Instruments [2] [3] [4].

Trenutno je na voljo naslednja programska oprema:

1. Gonilnik za operacijski sistem Windows 95/98/Me/NT/2000 [1].
2. Dinamična knjižnica (DLL) z osnovnim naborom funkcij, ki omogočajo inicializacijo sistema, nalaganje programske kode v DSP in komunikacijo z DSP procesorjem preko PCI vodila.
3. Programi v zbirniku, ki omogočajo uporabo perifernih enot (audio CODEC, FLASH pomnilnik ter I²C vmesnik).

Na voljo je tako vsa osnovna programska oprema, ki omogoča razvoj široke palete aplikacij digitalnega procesiranja signalov v realnem času.

Zaključek

Sistem je načrtovan zelo odprto, saj omogoča enostavno nadgrajevanje preko razširitvenih konektorjev in omogoča tudi spremembe znotraj samega sistema. Logiko v programirljivem logičnem vezju Lattice, v katerem je precejšen del sistema, lahko izkušen uporabnik po potrebi spremeni oziroma prilagodi lastnim zahtevam. V Flash pomnilnik, ki je del sistema, lahko enostavno vpišemo delujočo aplikacijo in tako dobimo namensko PCI kartico (npr. glasbena kartica, koprocesorska kartica,...). Sistem je zasnovan tako, da v največji možni meri izkorišča zmoglosti signalnega procesorja in lahko brez razširjanja pomnilniških kapacitet na njem izvedemo aplikacije kot so spektralni analizator za nizkofrekvenčne signale (z analognim vmesnikom na sistemu do frekvenc okoli 20kHz), 32-kanalni logični analizator z vzorčenjem do 25MHz (pri uri procesorja

50MHz), generator 32-bitnih digitalnih signalov do 12.5MHz, FIR filter z okoli 500 koeficienti za frekvenco vzorčenja 48kHz, procesor zvočnih efektov in podobno. Zamenjava vzporednega oz. zaporednega vmesnika s hitrim PCI vodilom, omogoča razvoj množice aplikacij, ki zahtevajo kompleksnejše obdelave signalov in predvsem hitre prenose podatkov med razširitveno kartico in gostiteljskim računalnikom.

Literatura:

- 1/ Texas Instruments TMS320C3x User's Guide, SPRU031E Revision L. Texas Instruments Incorporated, U.S.A., Julij 1997.
- 2/ Texas Instruments TMS320C3x DSP Starter Kit User's Guide, SPRU163A. Texas Instruments Incorporated, U.S.A., Junij 1996.
- 3/ Texas Instruments TMS320C3x/C4x Assembly Language Tools User's Guide, SPRU035C. Texas Instruments Incorporated, U.S.A., Februar 1998.
- 4/ Texas Instruments TMS320C3x/C4x Optimizing C Compiler User's Guide, SPRU034H. Texas Instruments Incorporated, U.S.A., Junij 1998.
- 5/ TMS320C31, TMS320LC31 Digital Signal Processors, SPRS035A. Texas Instruments Incorporated, U.S.A., Julij 1997.
- 6/ 131'072-Word by 8-bit CMOS Static Ram. Toshiba Corporation, Junij 1997.
- 7/ Flash Memory MBM29F040A - 4M (512K x 8) BIT. Fujitsu Limited, Japan, 1994.
- 8/ CS4222, 20-Bit Stereo Audio Codec with Volume Control. Crystal Semiconductor Corporation, U.S.A., Januar 1997.
- 9/ PCI 9050-1 Data Book, V1.01, PLX Technology Inc., April 1997.
- 10/ M93C86, M93C76, M93C66, M93C56, M93C46, M93C06 16K/8K/4K/2K/1K/256 Serial Microwire Bus EEPROM, STMicroelectronics, 1999.
- 11/ WinDriver for PLX I/O devices V5.0 Developer's Guide, KRF Tech LTD., 1999.

Daniel Čeh-Ambruš univ. dipl. inž., raziskovalec v laboratoriju za digitalno procesiranje signalov na fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru,

Iztok Kramberger univ. dipl. inž., asistent na fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru,

izr. prof. dr. Zdravko Kačič, izr. profesor na fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru.

*Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru
Smetanova 17, 2000 Maribor*