چکیده

بورد C6713 DSK شامل یک پردازنده ممیز شناور TMS320C6713 و یک Stereo Codec TLV320AIC23 ۳۲ بیتی برای پشتیبانی از ورودی و خروجی می‌باشد. این بورد ساخت شرکت Spectrum Digital می‌باشد. پردازنده‌های سری TMS320C67x، خانواده‌ای از محصولات شرکت Texas Instruments می‌باشند که در کاربردهایی چون مخابرات سیار، مراکز تلفن، سیستم‌های کنترلی، پردازش صدا و تصویر و سایر دستگاه‌های دیجیتالی استفاده می‌شوند. این بورد قابلیتهای فراوانی از قبیل دریافت سیگنالهای ورودی آنالوگ و دیجیتال، انجام انواع پردازشهای سیگنال دیجیتال به شکل ممیز شناور و ایجاد خروجی‌های متنوع، داشته و در پروژه‌های مختلفی برای پیاده‌سازی الگوریتمهای DSP استفاده می‌شود.

هدف از انجام این پروژه بررسی و راه‌اندازی سخت‌افزار و نرم‌افزار بورد C6713 DSK، ایجاد ارتباط آن با کامپیوتر از طریق نرم افزار Code Composer و نیز link کردن آن با نرم‌افزار Matlab و محیط Simulink می‌باشد.

در فصل اول این پایان‌نامه، به بررسی پردازنده‌های DSP پرداخته و ویژگی‌ها و مشخصات پردازنده‌های شرکتها و خانواده‌های مختلف محصولات آنها، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در فصل دوم ضمن بررسی ساختار پردازنده C6713، با تشریح نحوه نگاشت حافظه، نحوه آدرس‌دهی، تایمرها، رجیسترها، وقفه‌ها و ... چگونگی پیکربندی پردازنده توضیح داده شده است. در فصل سوم و چهارم، بورد آموزشی C6713 DSK معرفی شده و با چند مثال ساده نحوه عملکرد آن با نرم‌افزار Code Composer توضیح داده شده است. در فصل پنجم نشان داده شده است که چگونه می‌توان به وسیله Simulink برنامه‌های بسیار پیشرفته را به راحتی و به سرعت روی بورد پیاده‌سازی کرد. در فصل ششم نتایج به دست آمده و پیشنهاداتی راجع به ادامه کار ارائه شده و در خاتمه کلمات اختصاری و مراجع، ضمیمه پایان‌نامه شده است.

فهرست مطالب

فصل اول ۱
۱- بررسی پردازنده‌های DSP ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- چرا پردازش دیجیتال ۲
۱-۳- جایگاه پردازنده DSP در یک سیستم دیجیتال ۳
۱-۴- تاریخچه‌ی پردازنده‌های DSP ۳
۱-۵- کاربردهای پردازنده‌های DSP ۴
۱-۶- ساختار عمومی پردازنده‌های DSP ۵
۱-۷- مقایسه پردازنده‌های DSP با FPGAها و GPPها ۱۲
۱-۸- سازندگان پردازنده‌های DSP ۱۵
۱-۸-۱- DSPهای شرکت Texas Instruments ۱۶
۱-۸-۲- DSP های شرکت Analog Devices ۲۲
۱-۸-۳- DSPهای شرکت Freescale Semiconductor (Motorola) ۲۵
۱-۹- ملاحظات لازم در انتخاب پردازنده‌های DSP ۲۶
فصل دوم ۳۳
۲- ساختار و دستورات پردازنده‌های سری C6x ۳۳
۲-۱- مقدمه ۳۳
۲-۲- معماری TMS320C6x ۳۴
۲-۳- واحدهای عملیاتی ۳۸
۲-۴- بسته‌های واکشی و اجرایی ۳۹
۲-۵- لوله‌کشی ۴۰
۲-۶- ثبات‌ها ۴۲
۲-۷- آدرس‌دهی خطی و حلقوی ۴۳
۲-۷-۱- آدرس‌دهی غیرمستقیم ۴۳
۲-۷-۲- آدرس‌دهی حلقوی ۴۳
۲-۸- مجموعه دستورات TMS320C6x ۴۵
۲-۸-۱- قالب دستورات زبان اسمبلی ۴۵
۲-۸-۲- انواع دستورات ۴۶
۲-۹- راهنماهای اسمبلر (Assembler Directives) ۴۸
۲-۱۰- برنامه اسمبلی خطی ۴۹
۲-۱۱- دستورات اسمبلی در زبان C ۵۱
۲-۱۲- فراخوانی توابع اسمبلی در برنامه C ۵۲
۲-۱۳- زمان‌سنج‌ها (تایمرها) ۵۲
۲-۱۴- وقفه‌ها ۵۲
۲-۱۴-۱- ثبات‌های کنترل وقفه ۵۳
۲-۱۴-۲- تصدیق دریافت وقفه ۵۵
۲-۱۵- درگاه‌های سریال بافرشده چند کاناله (McBSP) ۵۵

۲-۱۶- دستیابی مستقیم به حافظه ۵۷
۲-۱۷- ملاحظات حافظه ۵۸
۲-۱۷-۱- تخصیص داده‌ها ۵۸
۲-۱۷-۲- تنظیم داده‌ها ۵۸
۲-۱۷-۳- شبه‌دستورات Pragma ۵۹
۲-۱۷-۴- مُدل‌های حافظه ۶۰
۲-۱۸- انواع داده‌ها ۶۰
۲-۱۸-۱- قالب ممیز شناور ۶۱
۲-۱۸-۲- تقسیم ۶۲
۲-۱۹- بهبود برنامه ۶۲
۲-۱۹-۱- توابع ویژه کامپایلر (Intrinsic) ۶۲
۲-۱۹-۲- راهنمای Trip مربوط به تعداد تکرارهای حلقه ۶۲
۲-۱۹-۳- مسیرهای متقاطع ۶۲
۲-۱۹-۴- لوله‌کشی نرم‌افزاری ۶۳
۲-۲۰- محدودیت‌ها ۶۳
۲-۲۰-۱- محدودیت‌های حافظه ۶۳
۲-۲۰-۲- محدودیت‌های مسیر متقاطع ۶۴
۲-۲۰-۳- محدودیت‌های عمل بارگذاری/ ذخیره‌سازی ۶۴
فصل سوم ٦٥
۳- آشنائی با بورد C6713 DSK ٦٥
۳-۱- مقدمه ۶۵
۳-۲- بورد DSK ۶۵
۳-۲-۱- پردازنده TMS320C6713 ..... ۶۷
۳-۳- Code Composer Studio ۶۷
۳-۳-۱- مشخصات CCS ۶۹
۳-۳-۲- آزمایش سریع DSK ۷۰
۳-۳-۳- فایل‌های پشتیبان ۷۱
۳-۴- مثال‌های برنامه‌نویسی برای آزمودن ابزارهای DSK ۷۱
۳-۴-۱- تولید منحنی سینوسی با استفاده از هشت نقطه همراه با کنترل DIP Switch ۷۲
۳-۴-۲- تولید منحنی سینوسی و ترسیم آن با کمک CCS (sine8_buf) ۸۲
۳-۴-۳- ضرب نقطه‌ای دو آرایه (dotp4) ۸۷
۳-۵- ملاحضات برنامه‌ها/ فایل‌های پشتیبان ۹۰
۳-۵-۱- فایل مقداردهی اولیه/ ارتباطات (c6713dskinit.c) ۹۰
۳-۵-۲- فایل سرآیند (c6713dskinit.h) ۹۳
۳-۵-۳- فایل بُرداری (vectors_intr.asm/vectors_poll.asm) ۹۳
۳-۵-۴- فایل دستور Linker (c6713dsk.cmd) ۹۵
۳-۶- پوسته مترجم/ اسمبلر/ Linker ۹۶
فصل چهارم ۹۷
٤- ورودی و خروجی بورد DSK ۹۷
۴-۱- مقدمه ۹۷
۴-۲- کُدِک استریو TLV320AIC23 (AIC23) جهت ورودی و خروجی ۹۸

۴-۳- برنامه حلقه‌ای با استفاده از وقفه (loop_intr) ۱۰۰
۴-۳-۱- ورودی با بهره ۱۰۲
۴-۳-۲- ورودی از یک میکروفن ۱۰۳
۴-۴- برنامه حلقه‌ای با استفاده از روش سرکشی (loop_poll) ۱۰۳
۴-۵- ورودی و خروجی استریو (loop_stereo/sine_stereo) ۱۰۴
۴-۵-۱- برنامه حلقه‌ای با ورودی و خروجی استریو (loop_stereo) ۱۰۴
۴-۵-۲- تولید موج سینوسی با خروجی استریو (sine_stereo) ۱۰۶
۴-۶- تولید موج سینوسی با دو لغزنده برای کنترل دامنه و فرکانس (sine2sliders) ۱۰۷
۴-۷- برنامه حلقه‌ای با داده‌های ذخیره شده در بافر حافظه و فایل (loop_print) ۱۰۸
۴-۸- تولید موج مربعی با استفاده از جدول جستجو (squarewave) ۱۱۰
۴-۹- تولید سیگنال شیب واحد با استفاده از جدول جستجو (ramptable) ۱۱۱
۴-۱۰- تولید سیگنال شیب واحد بدون استفاده از جدول جستجو (ramp) ۱۱۲
۴-۱۱- ایجاد پژواک صوتی (echo) ۱۱۳
۴-۱۲- ایجاد پژواک به همراه قابلیت کنترل برای جلوه‌های صوتی مختلف (echo_control) ۱۱۴
۴-۱۳- ایجاد موج سینوسی با استفاده از مقادیر جدول برنامه (sinegen_table) ۱۱۶
۴-۱۴- تولید موج سینوسی با استفاده از جدول ایجاد شده MATLAB (sin1500MATL) ۱۱۶
۴-۱۵- مدولاسیون دامنه (AM) ۱۱۸
۴-۱۶- موج سینوسی روبشی با استفاده از جدولی با ۸۰۰۰ نقطه (sweep8000) ۱۱۹
۴-۱۷- تولید دنباله نویز شبه تصادفی (noise_gen) ۱۲۱
۴-۱۸- تولید موج سینوسی به همراه کنترل به کمک DIP Switch (sine_led_ctrl) ۱۲۲
۴-۱۹- روش استفاده از حافظه خارجی برای ضبط صدا (record) ۱۲۳

فصل پنجم ۱۲۵

۵- بکارگیری Simulink برای برنامه‌ریزی DSK ۱۲۵

۵-۱- مقدمه ۱۲۵
۵-۲- شبیه‌سازی جلوه‌های صوتی پژواک و پس‌آوایی با ابزار Simulink ۱۲۶
۵-۲-۱- شبیه‌سازی جلوه‌های صوتی پژواک با استفاده از فایل ورودی با قالب Wave ۱۲۶
۵-۲-۲- شبیه‌سازی جلوه‌های صوتی پس‌آوایی با استفاده از فایل ورودی با قالب Wave ۱۲۹
۵-۳- پیاده‌سازی جلوه‌های صوتی پژواک و پس‌آوایی روی بورد DSP ۱۲۹
۵-۳-۱- پیکربندی پارامترهای شبیه‌سازی برای سخت‌افزار C6000 ..... ۱۳۰
۵-۳-۲- پیاده‌سازی جلوه صوتی پژواک روی بورد DSK6713 ..... ۱۳۴
۵-۳-۳- پیاده‌سازی جلوه‌های صوتی پژواک و پس‌آوایی روی بورد DSK6713 ..... ۱۳۹

فصل ششم ۱۴۱

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۴۱

فصل هفتم ۱۴۳

۷- ضمایم ۱۴۳

۷-۱- علایم اختصاری ۱۴۴
۷-۲- مراجع ۱۴۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: جایگاه DSP در سیستم‌های دیجیتال ۳
شکل ۱-۲ : ساختار معماری Harvard ۵
شکل ۱-۳ : قالب داده ممیز ثابت ۹
شکل ۱-۴ : قالب داده ممیز شناور ۹
شکل ۱-۵ : مقایسه DSP با پردازنده Pentium در انجام عملیات مختلف ۱۵
شکل ۱-۶ : روند رو به رشد پردازنده‌های DSP شرکت TI ۱۷
شکل ۱-۷ : خانواده های مختلف سری TMS320 ..... ۱۷
شکل ۱-۸ : سیر تکامل پردازنده‌های خانواده C2000 شرکت TI ۱۸
شکل ۱-۹ : کاربرد پردازنده‌های خانواده C5000 شرکت TI ۱۹
شکل ۱-۱۰ : پردازنده‌های خانواده C5000 شرکت TI ۲۰
شکل ۱-۱۱ : سیر تکامل پردازنده‌های C5000 شرکت TI ۲۱
شکل ۱-۱۲ : سیر تکامل پردازنده‌های خانواده C6000 شرکت TI ۲۲
شکل ۱-۱۳ : حوزه‌های کاربرد پردازنده‌های شرکت Analog Devices ۲۳
شکل ۱-۱۴ : بلوک دیاگرام عملیاتی پردازنده‌های سری ADSP-218xL ۲۴
شکل ۱-۱۵ : بلوک دیاگرام پردازنده DSP56301 ..... ۲۶
شکل ۱-۱۶ : روند طراحی در یک سیستم DSP ۳۰
شکل ۲-۱: بلوک دیاگرام پردازنده TMS320C6713 ..... ۳۵
شکل ۲-۲ : پیکربندی حافظه داخلی L2 ..... ۳۶
شکل ۲-۳: یک FP شامل سه EP ۳۹
شکل ۲-۴: ثبات AMR ۴۴
شکل ۲-۵: نمودار McBSP ۵۶
شکل ۳-۱ : بورد C6713 DSK ۶۶
شکل ۳-۲ : نمایی از محیط نرم‌افزار CCS ۶۸
شکل ۳-۳ : تولید منحنی سینوسی با استفاده از هشت نقطه همراه با کنترل DIP Switch (sine8_LED.c) ۷۲
شکل ۳-۴ : ایجاد پروژه sine8_LED ۷۳
شکل ۳-۵ : گزینه‌های برگه Compiler از پنجره Build Options ۷۷
شکل ۳-۶ : گزینه‌های برگه Linker از پنجره Build Options ۷۸
شکل ۳-۷ : دکمه Rebuild All ۷۹
شکل ۳-۸ : دکمه Run ۷۹
شکل ۳-۹ : فایل GEL (gain.gel) برای تغییر دادن متغیر gain، در حین اجرای برنامه تولید موج سینوسی ۸۱
شکل ۳-۱۰ : پنجره Slider، با مقدار کمینه ۱۰ برای تغییر دادن متغیر gain ۸۱
شکل ۳-۱۱ : تولید منحنی سینوسی و ترسیم آن با کمک CCS (sine8_buf) ۸۳
شکل ۳-۱۲ : پنجره Graph Property محیط CCS برای یک نمودار در حوزه زمان ۸۴
شکل ۳-۱۳: پنجره Graph Property محیط CCS برای یک نمودار در حوزه فرکانس ۸۵
شکل ۳-۱۴ : نمودارهای حوزه زمان و حوزه فرکانس موج سینوسی ۱ KHz ۸۵
شکل ۳-۱۵: پنجره Memory Window Options ۸۶
شکل ۳-۱۶: پنجره Storing Memory ۸۶

شکل ۳-۱۷: ضرب نقطه‌ای دو آرایه (dotp4.c) ۸۷
شکل ۳-۱۸ : فایل dotp4.h شامل دو آرایه، هر یک محتوای چهار عدد ۸۸
شکل ۳-۱۹: پنجره Watch ۸۹
شکل ۳-۲۰: نمایش مقدار متغیر result ۸۹
شکل ۳-۲۱: محتویات فایل c6713dskinit.c ۹۲
شکل ۳-۲۲: محتویات فایل vectors_intr.asm برای برنامه مبتنی بر وقفه ۹۴
شکل ۳-۲۳ : فایل دستور Linker (c6713dsk.cmd) ۹۵
شکل ۴-۱: سیستم ابتدائی DSP متشکل از ورودی و خروجی ۹۸
شکل ۴-۲: بلوک دیاگرام عملیاتی کُدِک AIC23 ..... ۹۹
شکل ۴-۳: برنامه حلقه‌ای با استفاده از وقفه (loop_intr) ۱۰۱
شکل ۴-۴: قسمتی از محتویات فایل c6713dskinit.h ۱۰۳
شکل ۴-۵: برنامه حلقه‌ای با استفاده از روش سرکشی (loop_poll) ۱۰۴
شکل ۴-۶ : آداپتوری با دو ورودی و یک خروجی (Stereo Adapter) ۱۰۵
شکل ۴-۷ : برنامه حلقه‌ای با ورودی و خروجی استریو (loop_stereo) ۱۰۵
شکل ۴-۸ : تولید موج سینوسی با خروجی استریو (sine_stereo.c) ۱۰۷
شکل ۴-۹ : تولید موج سینوسی با دو لغزنده برای کنترل دامنه و فرکانس (sine2sliders) ۱۰۷
شکل ۴-۱۰ : فایل sine2sliders.gel شامل دو تابع لغزنده‌ها برای کنترل دامنه و فرکانس موج سینوسی تولید شده ۱۰۸
شکل ۴-۱۱ : برنامه حلقه‌ای با داده‌های ذخیره شده در بافر حافظه و فایل (loop_print) ۱۰۹
شکل ۴-۱۲ : برنامه تولید موج مربعی با استفاده از جدول جستجو (squarewave) ۱۱۰
شکل ۴-۱۳ : تولید سیگنال شیب واحد با استفاده از جدول جستجو (ramptable) ۱۱۱
شکل ۴-۱۴ : تولید سیگنال شیب واحد بدون استفاده از جدول جستجو (ramp) ۱۱۲
شکل ۴-۱۵ : ایجاد جلوه صوتی پژواک (echo) ۱۱۳
شکل ۴-۱۶ : ایجاد پژواک به همراه قابلیت کنترل برای جلوه‌های صوتی مختلف (echo_control) ۱۱۵
شکل ۴-۱۷ : echo_control.gel ۱۱۵
شکل ۴-۱۸ : ایجاد موج سینوسی با استفاده از مقادیر جدول تولید شده برنامه (sinegen_table) ۱۱۶
شکل ۴-۱۹: برنامه MATLAB جهت ایجاد یک جدول جستجو برای داده‌های موج سینوسی ۱۱۷
شکل ۴-۲۰: فایل sin1500.h تولید شده بوسیله MATLAB شامل جدول جستجوی داده‌های موج سینوسی ۱۱۷
شکل ۴-۲۱ : تولید موج سینوسی با استفاده از جدول ایجاد شده MATLAB (sin1500MATL) ۱۱۷
شکل ۴-۲۲ : برنامه مدولاسیون دامنه (AM) ۱۱۸
شکل ۴-۲۳ : موج سینوسی روبشی با استفاده از جدولی با ۸۰۰۰ نقطه (sweep8000) ۱۱۹
شکل ۴-۲۴ : فایل sine8000_table.h ۱۲۰
شکل ۴-۲۵: تولید دنباله نویز شبه تصادفی (noise_gen) ۱۲۱
شکل ۴-۲۶ : فایل noise_gen.h ۱۲۲
شکل ۴-۲۷ : تولید موج سینوسی به همراه کنترل به کمک DIP Switch (sine_led_ctrl) ۱۲۳
شکل ۴-۲۸ : چگونگی استفاده از حافظه خارجی برای ضبط صدا (record) ۱۲۴
شکل ۵-۱ : بلوک From Wave File ۱۲۶
شکل ۵-۲ : انتخاب بلوک Delay و افزودن آن به مدل Simulink ۱۲۷
شکل ۵-۳ : تنظیم مقدار تاخیر ۱۲۷
شکل ۵-۴ : تنظیم مقدار بهره ۱۲۸
شکل ۵-۵ : شبیه‌سازی جلوه‌های صوتی پژواک با استفاده از فایل ورودی با قالب Wave ۱۲۸
شکل ۵-۶: شبیه‌سازی جلوه‌های صوتی پس‌آوایی با استفاده از فایل ورودی با قالب Wave ۱۲۹

شکل ۵-۷ : آماده‌سازی بورد C6713 DSK ۱۳۰
شکل ۵-۸ : انتخاب رده Real-Time Workshop از قسمت Select در پنجره Configuration Parameters ۱۳۰
شکل ۵-۹ : انتخاب ti c6000.tlc برای گزینه System target file ۱۳۱
شکل ۵-۱۰ : خارج کردن گزینه‌های Block reduction و Implement logic signals as boolean data از حالت انتخاب ۱۳۲
شکل ۵-۱۱ : انتخاب گزینه Symbolic debugging ۱۳۲
شکل ۵-۱۲ : انتخاب گزینه Verbose build ۱۳۳
شکل ۵-۱۳ : انتخاب گزینه Fixed-step برای Type و گزینه discrete برای Solver ۱۳۳
شکل ۵-۱۴ : انتخاب C6713DSK به عنوان بورد هدف مورد نظر از سری C6000 ..... ۱۳۴
شکل ۵-۱۵ : انتخاب بلوک‌های ADC و DAC، و افزودن آنها به مدل Simulink ۱۳۵
شکل ۵-۱۶: تنظیم پارامترهای ADC ۱۳۶
شکل ۵-۱۷ : تنظیم پارامترهای DAC ۱۳۶
شکل ۵-۱۸ : پیاده‌سازی جلوه صوتی پژواک روی بورد DSK6713 ..... ۱۳۷
شکل ۵-۱۹ : باز کردنCCS و انتخاب C6713 DSK به عنوان بورد هدف مورد نظر از سری C6000 ..... ۱۳۷
شکل ۵-۲۰ : برقراری اتصال C6713 DSK با CCS ۱۳۸
شکل ۵-۲۱ : پیاده‌سازی و اجرای EchoDSKC6713 روی C6713 DSK ۱۳۹
شکل ۵-۲۲ : پیاده‌سازی جلوه‌های صوتی پژواک و پس‌آوایی روی بورد DSK6713 ..... ۱۴۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱: کاربردهای پردازنده‌های DSP ۴
جدول ۱-۲: مقایسه FPGA و DSP/GPP ۱۳
جدول ۱-۳: خانواده‌ها و مشخصات پردازنده‌های شرکت Analog Devices ۲۳
جدول ۲-۱: نگاشت حافظه ۳۷
جدول ۲-۲: زیرمرحله‌های لوله‌کشی ۴۱
جدول ۲-۳: فرایند لوله‌کشی ۴۱
جدول ۲-۴: خلاصه‌ای از مقادیر بُرش تاخیر و تاخیر واحد عملیاتی برای مجموعه‌ای از دستورات ممیز ثابت C67x ۴۲
جدول ۲-۵: حالت‌های متناظر با ثبات‌های ثبات‌های A4 تا A7 و B4 تا B7 ..... ۴۵
جدول ۲-۶: جدول سرویس وقفه ۵۴