



به نام خدا



طراحی کنترل کننده های دیجیتال با پردازنده DSP

مؤلف

مهندس رضا خیر اللهی



هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

◀ عنوان کتاب: طراحی کنترل کننده های دیجیتال با پردازنده

DSP

◀ مولف : مهندس رضا خیر اللهی

◀ ناشر: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آرای: فرنوش عبدالهی

◀ طراح جلد: داریوش فرسای

◀ نوبت چاپ: اول

◀ تاریخ نشر: ۱۳۹۸

◀ چاپ و صحافی: صدف

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۹۰۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۵۰-۵

◀ نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

◀ فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران :

WWW.MFTBOOK.IR

www.dibagaran-tehran.com

www.mftdibagaran.ir

◀ نشانی تلگرام: @mftbook

سرشناسه: خیر اللهی، رضا، ۱۳۶۸-
عنوان و نام پدیدآور: طراحی کنترل کننده های
دیجیتال با پردازنده DSP / مولف: رضا خیر اللهی.
مشخصات نشر: تهران: دیباگران تهران: ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری: ۲۷۰ص: مصور،
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۵۰-۵
وضعیت فهرست نویسی: فیبا یادداشت : کتابنامه.
موضوع: کنترل کننده های برنامه پذیر- نرم افزار
موضوع: Programmable controllers-software
موضوع: Signal processing-digital techniques-
computer programs
موضوع: میکرو کنترلر ها- برنامه نویسی
موضوع: Microcontrollers-programming
رده بندی کنگره: TJ ۲۲۳
رده بندی دیویی: ۶۲۹/۸۹۵
شماره کتابشناسی ملی: ۵۷۶۳۵۸۱

اپلیکیشن دیباگران تهران را از سایت های اینترنتی دیباگران دریافت نمایید.

فهرست مطالب

فصل اول : معرفی نرم افزار CCS V3.3 و نحوه مدیریت فضای حافظه.....۱۳

۱-۱- مقدمه.....	۱۴
۲-۱- شروع کار با نرم افزار CCS V3.3.....	۱۴
۳-۱- محیط نرم افزار CCS V3.3 و ایجاد پروژه.....	۱۶
۴-۱- بارگذاری پروژه در فضای حافظه.....	۱۹
۱-۴-۱- ساختار فایل COMMAND.....	۲۰
۲-۴-۱- بارگذاری پروژه روی پردازنده.....	۲۳
۵-۱- ایجاد BREAK POINTS در محیط نرم افزار CCS V3.3.....	۲۴
۶-۱- بهینه سازی در نرم افزار CCS.....	۲۶
۷-۱- کار با بخش گراف در نرم افزار CCS.....	۲۸
۸-۱- مراجع.....	۳۰

فصل دوم : مروری کوتاه بر زبان برنامه نویسی C.....۳۱

۱-۲- مقدمه.....	۳۲
۲-۲- مفهوم رجیستر در فضای حافظه میکروکنترلر.....	۳۲
۳-۲- قالب کلی برنامه در زبان برنامه نویسی C.....	۳۲
۴-۲- ثوابت.....	۳۳
۵-۲- عملگرهای محاسباتی، مقایسه ای، منطقی و بیتی.....	۳۴
۶-۲- تبدیل نوع یا TYPE CASTING.....	۳۵
۷-۲- دستورهای شرطی، حلقه های تکرار و ساختار SWITCH-CASE.....	۳۵
۸-۲- انواع تابع.....	۳۶
۹-۲- ایجاد فایل های کتابخانه ای.....	۳۸

۴۰	..... ساختار «تعریف نوع» یا TYPEDEF
۴۱	..... حوزه تعریف و طول عمر متغیرها
۴۲	..... فراخوانی تابع با ارجاع
۴۴	..... STRUCTURE یا ساختمان
۴۶	..... رشته‌های بیتی
۴۶	..... UNION یا اجتماع
۴۷	..... ENUMERATION یا ساختار شمارشی
۴۹	..... مراجع

فصل سوم : واحد جانبی پایه‌های ورودی- خروجی ۵۰

۵۱	..... مقدمه
۵۱	..... قالب کلی پروژه‌های تعریف شده در نرم‌افزار CCS
۵۱	..... ۱-۲-۳- نصب پروژه‌های پایه‌ی مربوط به واحدهای جانبی
۵۲	..... ۲-۲-۳- توضیح بخش‌های مشترک مثال‌های استاندارد پایه‌ی واحدهای جانبی
۵۳	..... ۳-۲-۳- هدر فایل‌های مشترک واحدهای جانبی تراشه F28335
۵۴	..... ۴-۲-۳- سورس فایل‌های مشترک واحدهای جانبی پردازنده F28335
۵۵	..... ۵-۲-۳- فایل‌های COMMAND مورد استفاده در پروژه
۵۶	..... ۶-۲-۳- رجیسترهای محافظت شده
۵۶	..... ۷-۲-۳- الگوریتم کلی سورس فایل اصلی واحدهای جانبی در نرم‌افزار CCS تراشه F28335
۵۷	..... ۳-۳- واحد جانبی پایه‌های ورودی-خروجی
۵۷	..... ۱-۳-۳- تعیین و تنظیم وضعیت پایه‌ها
۵۸	..... ۱-۱-۳-۳- وضعیت خروجی
۵۹	..... ۲-۱-۳-۳- وضعیت ورودی
۶۰	..... ۴-۳- رجیسترهای واحد جانبی GPIO
۶۴	..... ۵-۳- برنامه نمونه مربوط به واحد جانبی GPIO
۷۶	..... ۶-۳- توضیح بخش‌هایی از نرم‌افزار CCSV6.0.1
۷۷	..... ۷-۳- تمرین
۷۷	..... ۸-۳- مراجع

فصل چهارم : تنظیمات CLOCKING ۷۸

۷۹	..... مقدمه
۷۹	..... ۲-۴- فعال کردن و غیرفعال کردن کلاک واحدهای جانبی تراشه
۸۳	..... ۳-۴- تنظیمات واحد PLL
۸۳	..... ۴-۴- مدار تشخیص از دست رفتن منبع کلاک خارجی تراشه
۸۴	..... ۵-۴- بررسی صحت عملکرد کلاک پردازنده به صورت سخت‌افزاری

- ۶-۴- تنظیمات کلاک و فلوجارت پیاده‌سازی آن در پروژه‌ها ۸۴
- ۴-۷- مراجع ۸۶

فصل پنجم : اینتراپت‌ها ۸۷

- ۵-۱- مقدمه ۸۸
- ۵-۲- روال درخواست اجرای سرویس روتین اینتراپت کنترل‌کننده PIE ۸۹
- ۵-۳- اولویت‌بندی سرویس‌های روتین وقفه ۹۰
- ۵-۴- رجیسترهای بلوک PIE ۹۲
- ۵-۵- تنظیمات بلوک PIE در پروژه توسعه داده شده در CCS ۹۳
- ۵-۶- مراجع ۹۶

فصل ششم : واحد جانبی اینتراپت خارجی ۹۷

- ۶-۱- مقدمه ۹۸
- ۶-۲- معرفی واحد جانبی وقفه سخت‌افزاری تراشه F28335 ۹۸
- ۶-۳- روال تنظیم وقفه‌های خارجی در تراشه F28335 ۹۸
- ۶-۴- رجیسترهای واحد جانبی وقفه‌های خارجی ۹۹
- ۶-۵- برنامه نمونه مربوط به واحد جانبی وقفه خارجی ۱۰۰
- ۶-۶- اجرای برنامه روی تراشه F28335 ۱۰۴
- ۶-۷- تمرین ۱۰۴
- ۶-۸- مراجع ۱۰۴

فصل هفتم : واحد جانبی تایمر-کانتر ۱۰۵

- ۷-۱- مقدمه ۱۰۶
- ۷-۲- معرفی واحد تایمر TIMER0/1/2 تراشه F28335 ۱۰۶
- ۷-۳- رجیسترهای واحد جانبی تایمر ۱۰۸
- ۷-۴- برنامه نمونه واحد جانبی تایمر-کانتر تراشه F28335 ۱۱۰
- ۷-۵- اجرای برنامه واحد جانبی تایمر روی تراشه F28335 ۱۱۳
- ۷-۶- مراجع ۱۱۴

فصل هشتم : مبدل A/D ۱۱۵

- ۸-۱- مقدمه ۱۱۶
- ۸-۲- معرفی مبدل A/D در تراشه F28335 ۱۱۶
- ۸-۳- حالت‌های عملیاتی SINGLE SEQUENCER و DUAL SEQUENCER در مبدل A/D ۱۱۷
- ۸-۳-۱- حالت عملیاتی SINGLE SEQUENCER ۱۱۸
- ۸-۳-۲- حالت عملیاتی DUAL SEQUENCER ۱۱۹

۱۲۱	.....	۴-۸	حالت‌های نمونه‌برداری SEQUENTIAL و SIMULTANEOUS در مبدل A/D
۱۲۱	.....	۱-۴-۸	حالت نمونه‌برداری SEQUENTIAL
۱۲۱	.....	۲-۴-۸	حالت نمونه‌برداری SIMULTANEOUS
۱۲۴	.....	۵-۸	تنظیم حداکثر تعداد کانال‌های نمونه‌برداری
۱۲۴	.....	۶-۸	تنظیم حالت‌های FREE RUNNING و START/STOP
۱۲۵	.....	۷-۸	تنظیم کلاک مبدل A/D
۱۲۶	.....	۸-۸	رجیسترهای مبدل A/D
۱۳۰	.....	۹-۸	برنامه نمونه اول مبدل A/D در تراشه F28335
۱۳۴	.....	۱۰-۸	اجرای برنامه نمونه اول روی تراشه
۱۳۴	.....	۱۱-۸	برنامه نمونه دوم مبدل A/D در تراشه F28335
۱۳۸	.....	۱۲-۸	اجرای برنامه نمونه دوم مبدل A/D در تراشه F28335
۱۳۸	.....	۱۳-۸	برنامه نمونه سوم مبدل A/D در تراشه F28335
۱۴۳	.....	۱۴-۸	اجرای برنامه نمونه سوم مبدل A/D در تراشه F28335
۱۴۳	.....	۱۵-۸	مراجع

فصل نهم : واحد جانبی EPWM ۱۴۴

۱۴۵	.....	۱-۹	مقدمه
۱۴۵	.....	۲-۹	معرفی واحد جانبی EPWM
۱۴۹	.....	۳-۹	کنترل‌کننده TIME-BASE (TB) MODULE
۱۴۹	.....	۱-۳-۹	تعیین شکل موج سیگنال حامل
۱۵۱	.....	۲-۳-۹	رجیستر SHADOW در کنترل‌کننده TB
۱۵۱	.....	۳-۳-۹	ایجاد سنکرونیزاسیون بین ماژول‌های واحد جانبی EPWMX
۱۵۴	.....	۴-۳-۹	کنترل فاز در ماژول‌های EPWMX
۱۵۶	.....	۵-۳-۹	رجیسترهای کنترل‌کننده TB
۱۵۸	.....	۴-۹	کنترل‌کننده COUNTER-COMPARE (CC) MODULE
۱۵۸	.....	۱-۴-۹	اهداف کنترل‌کننده CC
۱۵۹	.....	۲-۴-۹	فعال کردن حالت SHADOWING در کنترل‌کننده CC
۱۶۲	.....	۵-۹	کنترل‌کننده ACTION-QUALIFIER (AQ) MODULE
۱۶۲	.....	۱-۵-۹	زمان‌های تعیین وضعیت پالس PWM در کنترل‌کننده AQ
۱۶۳	.....	۲-۵-۹	اولویت‌بندی وقوع پالس‌های EVENT
۱۶۳	.....	۳-۵-۹	تحلیل عملکردی کنترل‌کننده AQ
۱۶۶	.....	۴-۵-۹	رجیسترهای کنترل‌کننده AQ
۱۶۷	.....	۵-۵-۹	برنامه‌های کاربردی کنترل سیگنال‌های PWM با استفاده از کنترل‌کننده‌های TB، CC و AQ
۱۷۶	.....	۶-۵-۹	اجرای برنامه‌های کاربردی کنترل‌کننده‌های TB، CC و AQ روی پردازنده
۱۷۷	.....	۶-۹	کنترل‌کننده DEAD-BAND (DB) MODULE

۱۷۷	۹-۶-۱- حالت‌های عملکردی کنترل‌کننده DB
۱۷۹	۹-۶-۲- تحلیل چند حالت عملکردی
۱۸۱	۹-۶-۳- رجیسترهای کنترل‌کننده DB
۱۸۲	۹-۶-۴- برنامه نمونه کنترل‌کننده DB
۱۸۴	۹-۶-۵- اجرای برنامه نمونه کنترل‌کننده DB
۱۸۴	۹-۷-۷- کنترل‌کننده PWM-CHOPPER (PC) MODULE
۱۸۵	۹-۷-۱- معرفی کنترل‌کننده PC و حالت‌های عملکردی آن
۱۸۶	۹-۷-۲- رجیسترهای کنترل‌کننده PC
۱۸۸	۹-۷-۳- برنامه نمونه کنترل‌کننده PC
۱۹۰	۹-۷-۴- اجرای برنامه PC روی پردازنده
۱۹۰	۹-۸-۸- کنترل‌کننده TRIP-ZONE (TZ) MODULE
۱۹۲	۹-۸-۱- حالت‌های عملیاتی کنترل‌کننده TZ
۱۹۳	۹-۸-۲- رجیسترهای کنترل‌کننده TZ
۱۹۵	۹-۸-۳- برنامه نمونه کنترل‌کننده TZ
۲۰۰	۹-۸-۴- اجرای برنامه نمونه کنترل‌کننده TZ روی پردازنده
۲۰۰	۹-۸-۵- تمرین
۲۰۰	۹-۹-۹- کنترل‌کننده EVENT-TRIGGER (ET) MODULE
۲۰۱	۹-۹-۱- مدیریت درخواست اجرای سرویس روتین وقفه ماژول‌های ePWMX در کنترل‌کننده ET
۲۰۲	۹-۹-۲- مدیریت تولید پالس‌های شروع تبدیل مبدل A/D در کنترل‌کننده ET
۲۰۳	۹-۹-۳- رجیسترهای کنترل‌کننده ET
۲۰۵	۹-۹-۴- برنامه نمونه کنترل‌کننده ET
۲۰۸	۹-۹-۵- اجرای برنامه نمونه کنترل‌کننده ET روی پردازنده
۲۰۹	۹-۱۰-۱- مراجع

فصل دهم : واحد جانبی SCI

۲۱۱	۱۰-۱- مقدمه
۲۱۱	۱۰-۲- معرفی واحد جانبی SCI در تراشه F28335
۲۱۳	۱۰-۳- انتقال اطلاعات در واحد جانبی SCI
۲۱۴	۱۰-۳-۱- قالب کلی انتقال اطلاعات در واحد جانبی SCI
۲۱۴	۱۰-۳-۲- ساختار FRAME انتقالی در حالت‌های IDLE-LINE و ADDRESS-BIT
۲۱۴	۱۰-۳-۳- ساختار بخش فرستنده واحد جانبی SCI
۲۱۵	۱۰-۳-۴- ساختار بخش گیرنده واحد جانبی SCI
۲۱۶	۱۰-۳-۵- اینتراپت‌ها در واحد جانبی SCI
۲۱۷	۱۰-۳-۶- روال تنظیم BAUD RATE در واحد جانبی SCI
۲۱۷	۱۰-۳-۷- ویژگی‌های ارتقاء یافته واحد جانبی SCI

۲۱۸	.....FIFO در واحد جانبی SCI	۱-۷-۳-۱۰
۲۱۹	.....مدار تشخیص نرخ BAUD در واحد جانبی SCI	۲-۷-۳-۱۰
۲۱۹	.....حالت عملکرد چندپردازنده‌ای	۴-۱۰
۲۲۱	.....IDLE-LINE حالت عملیاتی	۱-۴-۱۰
۲۲۱	.....ADDRESS-BIT حالت عملیاتی	۲-۴-۱۰
۲۲۲	.....رجیسترهای واحد جانبی SCI	۵-۱۰
۲۲۹	.....نمونه‌های واحد جانبی SCI	۶-۱۰
۲۳۸	.....اجرای برنامه‌های نمونه‌های واحد جانبی SCI روی پردازنده	۷-۱۰
۲۳۹	.....تمرین	۸-۱۰
۲۳۹	.....مراجع	۹-۱۰

فصل یازدهم : واحد جانبی TIMER WATCHDOG ۲۴۰

۲۴۱	.....مقدمه	۱-۱۱
۲۴۱	.....معرفی واحد جانبی WATCHDOG TIMER در تراشه F28335	۲-۱۱
۲۴۱	.....تنظیم کلاک ورودی واحد جانبی WT	۱-۲-۱۱
۲۴۲	.....ریست کردن شمارنده	۲-۲-۱۱
۲۴۳	.....ریست کردن نرم‌افزاری پردازنده	۳-۲-۱۱
۲۴۳	.....حالت‌های عملیاتی واحد جانبی WT	۴-۲-۱۱
۲۴۳	.....رجیسترهای واحد جانبی WATCHDOG TIMER	۳-۱۱
۲۴۵	.....برنامه نمونه واحد جانبی WATCHDOG TIMER	۴-۱۱
۲۴۸	.....اجرای برنامه نمونه واحد جانبی WATCHDOG TIMER روی پردازنده	۵-۱۱
۲۴۸	.....تمرین	۶-۱۱
۲۴۸	.....مراجع	۷-۱۱

فصل دوازدهم : بارگذاری برنامه در حافظه FLASH ۲۴۹

۲۵۰	.....مقدمه	۱-۱۲
۲۵۰	.....معرفی حافظه FLASH در تراشه F28335	۲-۱۲
۲۵۰	.....سرعت اجرای دستورالعمل‌ها در حافظه FLASH تراشه F28335	۳-۱۲
۲۵۰	.....استفاده از حافظه RAM برای بهینه کردن سرعت اجرای دستورالعمل‌ها	۴-۱۲
۲۵۱	.....راه اندازی رجیسترهای کنترلی حافظه FLASH در تراشه F28335	۵-۱۲
۲۵۲	.....روش‌های START-UP در پردازنده F28335	۶-۱۲
۲۵۳	.....فایل‌های COMMAND اختصاص داده شده در پروژه‌های صنعتی	۷-۱۲
۲۵۴	.....روال بارگذاری برنامه نمونه روی حافظه FLASH	۸-۱۲
۲۵۷	.....مراجع	۹-۱۲

فصل سیزدهم : پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترلی ۲۵۸

۲۵۹	..... ۱-۱۳- مقدمه
۲۵۹	..... ۲-۱۳- پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترلی زمان واقعی در پردازنده F28335
۲۵۹	..... ۱-۲-۱۳- برنامه نمونه الگوریتم کنترلی زمان واقعی
۲۵۹	..... ۲-۲-۱۳- استفاده از واحد جانی تایمر برای پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی
۲۶۳	..... ۳-۲-۱۳- استفاده از اینتراپت واحد EPWM برای پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی
۲۶۷	..... ۴-۲-۱۳- استفاده از اینتراپت مبدل A/D برای پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی
۲۷۰	..... ۳-۱۳- مراجع

مقدمه مولف

به نام خدا

سهم الکترونیک دیجیتال در پیشرفت‌های صنعتی دنیای امروز بر کسی پوشیده نیست. در این میان، میکروکنترلرها و میکروپروسورها به عنوان هسته‌های پردازشی اطلاعات دیجیتال، نقشی پایه و اساسی در توسعه تکنولوژی به عهده دارند. با افزایش توان پردازشی در این تراشه‌ها، امکان طراحی و پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترلی پیچیده‌تر فراهم می‌گردد. طی دهه‌های اخیر، با تکیه بر ابزارهای قدرتمند ارائه‌شده در پردازنده‌های سیگنال دیجیتال، مهندسين طراح به دنبال شکل واقعيت بخشیدن به رویاهای خود بوده‌اند و تا حدود زیادی می‌توان آثار آن را در دنیای صنعتی امروز مشاهده کرد.

در میان کنترل‌کننده‌های دیجیتال، تراشه‌های DSP به واسطه توان پردازشی زیاد و حضور واحدهای جانبی پیشرفته نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، مورد توجه مهندسين برق در حوزه‌های دانشگاهی و صنعتی بوده‌اند. فراهم کردن بستری انعطاف‌پذیر برای توسعه الگوریتم‌های کنترلی از جمله‌ی ویژگی‌های بارز این نوع از پردازنده‌ها است. در این بین، تراشه‌های DSP TMS320 از شرکت Texas Instrument، بواسطه‌ی ارائه سطح بسیار بالایی از قابلیت‌های پردازش سیگنال دیجیتال، توانسته‌اند نقش خود را در طراحی بسیاری از تجهیزات صنعتی به خوبی معرفی کنند. این تراشه‌ها در دو معماری نقطه-ثابت^۱ و نقطه-شناور^۲ و در تنوع مطلوبی از سری‌های پردازشی متنوع به بازار عرضه شده‌اند. به عنوان نمونه، می‌توان به سری خانواده‌های C2000، C5000، و C6000 اشاره کرد.

میکروکنترلرهای ۳۲ بیتی سری C2000 ضمن ارائه معماری بهینه برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترلی پیچیده، شامل واحدهای جانبی سخت‌افزاری متعددی هستند که امکان توسعه الگوریتم‌های کنترلی زمان-واقعی^۳ را به خوبی فراهم می‌کنند. به عنوان نمونه، پردازش توان الکتریکی مبتنی بر کنترل‌کننده‌های دیجیتال، یکی از زمینه‌های پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترلی زمان-واقعی است که در کاربردهای متنوعی مانند خودروهای الکتریکی و انرژی‌های نو مورد توجه است. تراشه‌های خانواده C2000 Piccolo و C2000 Delfino دو زیرمجموعه میکروکنترلرهای ۳۲ بیتی از سری C2000 به شمار می‌روند.

در کتاب حاضر، نکات پیاده‌سازی نرم‌افزاری تراشه TMS320F28335 از خانواده C2000 Delfino توضیح داده شده است. این تراشه ارائه‌دهنده‌ی ویژگی‌های متمایزی است که در ادامه به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود:

- (۱) توان محاسباتی و پردازشی قابل توجه^۴ 150MIPS
- (۲) معماری نقطه-شناور برای اجرای بهینه الگوریتم‌های کنترلی شامل محاسبات اعشاری
- (۳) 512KB حافظه on-chip Flash
- (۴) مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۲ بیتی با ۱۶ کانال ورودی
- (۵) دارای پروتکل‌های سریال CAN، UART، SPI، MCBSP، و I2C

¹ Fixed Point Architecture

² Floating Point Architecture

³ Real-time

⁴ Millions of Instructions Per Second

در این کتاب، پس از ارائه نکاتی پیرامون نرم‌افزار (CCS) Code Composer Studio در فصل اول و مروری کوتاه بر زبان برنامه نویسی C در فصل دوم، غالب واحدهای جانبی این تراشه در فصل‌های بعدی به صورت مفصل ارائه شده است. همچنین، در طول دوره آموزش این کتاب، دو نسخه متفاوت از CCS معرفی شده است تا ضمن فراگرفتن مفاهیم پایه در نسخه قدیمی، خواننده عزیز بتواند از مزایای ابزارهای پیشرفته ارائه شده در نسخه جدید نیز بهره‌مند گردد. نرم افزارهای مورد نیاز به همراه راهنمای نصب آن‌ها، کتابخانه‌های سودمند، مثال‌های متنوع مربوط به راه‌اندازی واحدهای جانبی تراشه F28335، نقشه‌های شماتیکی جهت راهنمای پیاده‌سازی سخت‌افزاری آن، و همچنین مراجع متعدد مرتبط با این تراشه در قالب یک DVD همراه کتاب ارائه شده است تا نیاز به فراهم کردن این فایل‌ها مرتفع گردد.

ارائه مطالب این کتاب با دو رویکرد کلی همراه بوده است:

۱) غالب بخش‌های مختلف پردازنده به صورت کاملاً عملی و با ذکر مثال‌های متعدد توضیح داده شده است. مثال‌ها به گونه‌ای ارائه شده‌اند تا علاوه بر توضیح فنی کامل، خواننده را با نکات پیاده‌سازی صنعتی نیز آشنا گرداند. همچنین، در انتهای هر فصل موضوعاتی به عنوان تمرین به خواننده واگذار شده است تا سبب افزایش هرچه بیشتر مهارت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری گردد.

۲) روال توضیح هر یک از واحدهای جانبی و همچنین ترتیب ارائه آن‌ها به گونه‌ای انجام شده است تا خواننده عزیز با یک روش عملی در مطالعه سایر تراشه‌های سری C2000 نیز آشنا شود.

کتاب ارائه شده حاصل چند سال تحقیق، پژوهش، و تدریس در حوزه پردازنده‌های DSP است. سعی بر آن شد که نگارش کتاب با بهره گرفتن از تجارب تدریس در دوره‌های آموزشی و انجام پروژه‌های دانشگاهی و صنعتی همراه باشد. هرچند که در نگارش این کتاب تمام تلاش خود را جهت اطمینان یافتن از صحت مطالب ارائه شده و هم چنین انتقال صحیح آن به کار گرفته‌ام، اما خالی از خطا و اشتباه نیست. کامل شدن این کتاب نیازمند پیشنهادات و انتقادات شما عزیزان است. از طریق ایمیل rkheirollahi@gmail.com منتظر دریافت نظرات گران‌بهای شما هستیم.

از تمامی عزیزانی که در انتشارات موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران مسئولیت امور فنی، چاپ و نشر این کتاب را به عهده داشتند، صمیمانه تشکر می‌کنم و از خداوند بزرگ موفقیت روزافزون آن‌ها را خواستارم. این کتاب را صمیمانه به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم و امیدوارم جبران قطره‌ای از دریای محبت‌شان باشد.

رضا خیراللهی

بهار ۱۳۹۸