دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان:

طراحی و ساخت سیستم مینیمم بر پایه میکروکنترلر ARM

استاد راهنما: دکتر وحید رشتچی

نگارش: محسن نورآذر

شهریور ۸۷

چکیده:

امروزه با حرکت بسیار سریع جهان به سوی دنیای الکترونیک دیجیتال، میکروکنترلرها جایگاه بالایی یافته اند. در این میان میکروکنترلرهای بر پایه معماری ARM، بدلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که ارائه داشته اند، به پرکاربردترین میکروکنترلرها تبدیل شده اند. یکی از این میکروکنترلرها، خانواده AT91SAM7S می‌باشد، که توسط شرکت ATMEL طراحی و ساخته شده است.

در این پروژه پس از آشنایی با مقدمات معماری ARM و میکروکنترلرهای AT91SAM7S، به طراحی و ساخت یک برد پایه برای استفاده از بیشتر امکانات این میکروکنترلر پرداخته شده است. این برد هم زمینه کاربردی و هم زمینه آموزشی خواهد داشت. همچنین در ادامه، پس از ساخت برد، در زمینه برنامه نویسی برای میکروکنترلر و نیز استفاده از نرم افزار IAR کار شده است.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

معرفی معماری ARM ۲

۱,۱. مقدمه‌ای بر ARM ۳

۱,۲. تاریخچه ۴

۱,۳. مجموعه دستورالعمل‌های ARM ۱۰

۱,۳,۱. ثبات‌های ARM ۱۱

۱,۳,۲. دستورالعمل‌های پردازش داده ۱۵

۱,۳,۳. دستورالعمل‌های انتقال داده ۱۶

۱,۳,۴. دستورالعمل‌های کنترل برنامه ۱۷

۱,۴. سیر تحول خط لوله ARM ۱۷

۱,۴,۱. خط لوله سه طبقه ۱۷

۱,۴,۲. خط لوله پنج طبقه ۱۸

۱,۴,۳. خط لوله شش طبقه ۲۰

۱,۴,۴. خط لوله هشت طبقه ۲۱

۱,۵. استثناءها ۲۲

۱,۶. کمک پردازنده‌ها ۲۳

۱,۷. سیستم حافظه ۲۴

۱,۷,۱. سلسله مراتب حافظه ۲۴

۱,۷,۲. حفاظت حافظه ۲۵

۱,۸. توسعه ARM ISA ۲۷

۱,۸,۱. Thumb ۲۷

۱,۸,۲. Jazelle ۲۷

۱,۸,۳. DSP ۲۸

۱,۸,۴. TrustZone ۲۸

۱,۹. معرفی هسته ARM7TDMI ۲۸

میکروکنترلر AT91SAM7S64 ..... ۳۱

۱,۱۰. مقدمه ۳۲

۱,۱۱. حافظه ۳۴
۱,۱۲. SAM-BA ۳۵
۱,۱۳. System Controller ۳۵
۱,۱۳,۱. واحد RESET Controller ۳۷
۱,۱۳,۲. واحد تولید پالس ساعت ۳۷
۱,۱۳,۳. واحد مدیریت وقفه AIC ۳۹
۱,۱۳,۴. واحد Debug ۳۹
۱,۱۳,۵. Real Time Timer ۴۰
۱,۱۳,۶. Watch Dog ۴۰
۱,۱۳,۷. Periodic Interval Timer ۴۱
۱,۱۳,۸. PIO Controller ۴۱
۱,۱۳,۹. VRC ۴۱
۱,۱۴. وسایل جانبی ۴۲
۱,۱۴,۱. SPI ۴۲
۱,۱۴,۲. TWI ۴۲
۱,۱۴,۳. USART ۴۳
۱,۱۴,۴. SSC ۴۳
۱,۱۴,۵. Timer Counter ۴۴
۱,۱۴,۶. PWM ۴۴
۱,۱۴,۷. USB ۴۵
۱,۱۴,۸. ADC ۴۵
۱,۱۵. مشخصات خطوط IO و برخی پایه‌ها ۴۶
۱,۱۶. مشخصات پایه‌های تغذیه ۴۷

طراحی و مشخصات برد AT91SAM7S ۴۸

۱,۱۷. مقدمه ۴۹
۱,۱۸. اندازه و شمای کلی برد ۵۰
۱,۱۹. تغذیه برد ۶۲
۱,۲۰. پورت USB ۶۳
۱,۲۱. LCD سریال ۶۵
۱,۲۲. سوکت MMC/SD RAM ۶۶
۱,۲۳. Two-Wire EEPROM ۶۸

۱,۲۴. مبدل آنالوگ به دیجیتال ۶۹
۱,۲۵. LEDها و Buttonها ۷۰
۱,۲۶. پورت USART و پورت سریال Debug ۷۰
۱,۲۷. JTAG ۷۲
۱,۲۸. کریستال 18.432MHz ۷۳
۱,۲۹. Expansion Port ۷۳

نرم‌افزار IAR و پروگرام کردن میکروکنترلرهای خانواده AT91SAM7S ۷۵
۱,۳۰. مقدمه ۷۶
۱,۳۱. نرم‌افزار IAR Embedded Workbench For ARM ۷۸
۱,۳۲. محیط نرم‌افزار IAR ۸۰
۱,۳۳. نحوه ایجاد و کامپایل پروژه در IAR ۸۱
۱,۳۴. نرم‌افزار SAM-BA ۹۲
۱,۳۵. نرم‌افزار H-JTAG ۹۵

برنامه‌های نمونه ۹۷
۱,۳۶. مقدمه ۹۸
۱,۳۷. برنامه C-Startup ۹۸
۱,۳۷,۱. بردار استثناءها ۹۸
۱,۳۷,۲. تابع IRQ Handler ۹۹
۱,۳۷,۳. تابع RESET Handler ۱۰۰
۱,۳۷,۴. برنامه Low-Level initialization ۱۰۰
۱,۳۸. برنامه نمونه ۱ ۱۰۵
۱,۳۸,۱. وظایف برنامه ۱۰۵
۱,۳۸,۲. واحدهای مورد استفاده ۱۰۵
۱,۳۸,۳. تجهیزات مورد استفاده‌ی روی برد ۱۰۶
۱,۳۸,۴. تنظیمات عمومی ۱۰۶
۱,۳۸,۵. استفاده از واحد Advanced Interrupt Controller ۱۰۷
۱,۳۸,۶. استفاده از Timer Counter ۱۰۸
۱,۳۸,۷. استفاده از Periodic Interval Timer ۱۱۰

۱,۳۸,۸. استفاده از Parallel Input/Output Controller ۱۱۱
۱,۳۸,۹. استفاده از واحد Debug ۱۱۵
۱,۳۹. برنامه ۲: استفاده از LCD ۱۱۸
۱,۴۰. برنامه ۳: PWM ۱۲۰
۱,۴۱. برنامه ۴: RTT ۱۲۲
۱,۴۲. برنامه ۵: ADC ۱۲۴
منابع ۱۲۶

مقدمه:

معماری ARM که در واقع همان معماری RISC ۳۲ بیتی تغییر یافته است، با همین تغییرات توانسته است فاصله زیادی از معماری RISC بگیرد به طوری که ۷۰٪ پردازنده‌های RISC را در جهان به خود اختصاص داده است. معماری ARM که اکنون توسط شرکت ARM در حال توسعه و گسترش است، دارای ویژگی‌های خاصی است مانند: مصرف بسیار کم، سادگی و کوچکی سایز، انعطاف پذیری، کارایی بالا و ... . این ویژگی‌ها و بخصوص مصرف بسیار کم باعث شده است کاربرد این معماری روز افزون گردد به طوری که اکنون ۹۰٪ پردازنده‌های موبایل‌ها را در اختیار دارد. کاربرد این معماری در زمینه‌های:

- لوازم خانگی و دستگاه‌های بازی
- موبایل‌ها، PDAها و GPSها
- سیستم‌های ذخیره و انتقال اطلاعات مانند قطعات کامپیوتر و هارد درایوها و ...
- سیستم‌های امنیتی
- صنعت خودرو مانند سیستم ترمز و ...
- تکولوژی‌های نو

گسترش یافته است.

از این رو میکروکنترلرهای پرکاربرد امروزی نیز بر پایه این معماری طراحی و ساخته می‌شوند. یکی از معروف‌ترین این میکروکنترلرها، سری AT91SAM7S از محصولات شرکت ATMEL می‌باشند که بر پایه معماری نسل چهارم ARM و هسته ARM7TDMI با خط لوله سه طبقه طراحی و ساخته شده اند. این میکروکنترلرها علاوه بر دستورالعمل‌های ARM از مجموعه دستورالعمل‌های ۱۶ بیتی Thumb نیز پشتیبانی می‌کنند و دارای Flash و SRAM داخلی بوده و توانایی کار با فرکانس 55MHz را دارند. این میکروکنترلرها علاوه بر دارا بودن ویژگی‌های معماری ARM، دارای امکانات زیادی هستند به طوری که نیاز به قطعات خارجی مورد نیاز در کنار میکروکنترلر را به حداقل رسانده اند. یکی از این امکانات جانبی پورت USB 2.0 می‌باشد که در کنار قیمت مناسب این میکروکنترلرها، آنها را به میکروکنترلرهایی ایده آل برای کاربردهایی که نیاز به ارتباط با کامپیوتر و موبایل دارند، تبدیل کرده است.

فصل اول

معرفی معماری ARM

۱. معرفی معماری ARM[1]:

۱,۱. مقدمه‌ای بر ARM:

معماری ARM در واقع یک معماری RISC[2] ۳۲ بیتی است که هم اکنون توسط شرکت ARM در حال توسعه و گسترش است. امروزه اقتصاد این شرکت بر پایه دادن مجوز به شرکت‌ها و نیز دریافت درصدی به عنوان حق الامتیاز از فروش محصولات آن‌ها می‌باشد. شرکت‌های تولید کننده‌ی پردازنده یا سیستم-های تک تراشه‌ای، برای استفاده از این معماری باید مجوز شرکت ARM را دارا باشند. دو مجوز اصلی که این شرکت اعطا می‌کند، عبارتند از: مجوز پیاده‌سازی و مجوز معماری.

مجوز پیاده‌سازی شامل کلیه اطلاعاتی که برای طراحی و ساخت یک مدار مجتمع شامل هسته ARM، مورد نیاز است، می‌باشد. شرکت ARM به دو نوع هسته مجوز می‌دهد: هسته‌های نرم و هسته‌های سخت. هسته‌های سخت برای کاربرد خاصی بهینه می‌شوند در حالی که هسته‌های نرم، یک هسته همه منظوره ولی با بهینه‌سازی کمتر می‌باشند.

و مجوز دوم یعنی مجوز معماری، شرکت‌ها را قادر به تولید پردازنده‌های خاص خود منطبق با ARM ISA[3] می‌سازد.

پردازنده‌های ARM دارای ترکیب منحصر به فردی از ویژگی‌هایی هستند که ARM را معروفترین معماری برای سیستم‌های تعبیه شده[4] در جهان کرده است. برخی از این ویژگی ها عبارتند از:

۱- هسته‌های ARM در مقایسه با دیگر پردازنده‌های همه منظوره بسیار ساده‌تر هستند. به این معنا که با تعداد ترانزیستورهای بسیار کمتر قابل ساخت می‌باشند. داشتن ترانزیستورهای کمتر علاوه بر اینکه ساخت پردازنده را ساده‌تر می‌سازد، فضای کمتری را اشغال کرده و در نتیجه فضای

[1] Advanced RISC Machines (Acron RISC Machines)
[2] Reduced Instruction Set Computer
[3] ARM Instruction Set Architecture
[4] Embedded Systems

زیادی را روی تراشه برای ساخت سایر قسمت‌ها باقی می‌گذارد. مانند: حافظه‌های روی تراشه، DSP[5] و ... .

۲- خط لوله[6] ARM و ARM ISA هر دو در جهت کمینه کردن مصرف انرژی طراحی شده‌اند، که امروزه نیز کمینه کردن مصرف انرژی، یک امر ضروری در سیستم‌هایی مانند موبایل، PDA[7] و ... می‌باشد.

۳- معماری ARM یک معماری جزء به جزء است و تنها قسمت ضروری آن خط لوله آن است و بقیه اجزا مانند: MMU[8] و Cache و ... اختیاری هستند. این ویژگی، انعطاف پذیری زیادی را در طراحی پردازنده‌های ARM ایجاد کرده است.

۴- در کنار سادگی و مصرف بسیار پایین، پردازنده‌های ARM کارایی فوق العاده‌ای دارند. به طور مثال پردازنده ARM ای مانند PXA255 XScale 400 MHz کارایی قابل مقایسه‌ای با پردازنده Pentium2 300MHz دارد، در حالی که مصرف آن ۵۰ برابر کمتر است.

هم اکنون معماری ARM بیش از ۷۵٪ پردازنده‌های RISC را در جهان در اختیار گرفته است. پردازنده-های ARM امروزه در همه لوازم الکترونیکی از قبیل موبایل‌ها، PDAها، Media Playerها، ماشین حساب‌ها و دستگاه‌های بازی گرفته تا دیسک‌های سخت و Router ها استفاده می‌شوند.

۱,۲. تاریخچه:

تاریخچه ARM به سال ۱۹۸۳، زمانی که شرکتی با نام Acron Computers به دنبال یک میکروپرسسور ۱۶ بیتی برای سیستم بعدی خود بود، برمی‌گردد. مهندسین این شرکت به این نتیجه رسیده بودند که میکروپرسسورهای تجاری موجود در بازار، نیازهای آنها را برآورده نمی‌سازند. این پردازنده‌ها از حافظه‌های زمان خود کندتر بودند و نیز دستورالعمل‌های بسیار پیچیده‌ای داشتند که گاهاً برای اجرای آنها صدها سیکل نیاز بود. دلیل این پیچیدگی نیز این بود که میکروپرسسورهای اولیه بعد از میکروکامپیوترها طراحی شده بودند و چون میکروکامپیوترها شامل تراشه‌های زیاد و دستورالعمل‌های پیچیده‌ای بودند، میکروپرسسورهای اولیه نیز بسیار شبیه آنها طراحی شده بودند. در نتیجه در اوایل دهه

[5] Digital Signal Processing
[6] Pipeline
[7] Personal Digital Assistant
[8] Memory Management Unit

۸۰، معماری میکروپرسسورها بسیار پیچیده شده بود به طوری که طراحی یک میکروپرسسور جدید حتی برای شرکت‌های بزرگ نیز چندین سال به طول می‌انجامید.

در نتیجه مهندسین شرکت Acron Computers به فکر طراحی میکروپرسسور مورد نیاز خود افتادند. ولی منابع مورد نیاز برای چنین پروژه‌ای فراتر از توانایی‌های Acron بود. ولی خوشبختانه دو سال پیش از این، پروژه RISC 1 برکلی اثبات کرده بود که طراحی یک میکروپرسسور بسیار ساده با توانایی‌های یک میکروپرسسور پیشرفته CISC امکان پذیر است. شرکت Acron از این دست آورد برکلی استفاده کرد و دو سال بعد در سال ۱۹۸۵ اولین ACRON RISC MACHINE را با نام اختصاری ARM عرضه کرد، که در واقع اولین پردازنده تجاری RISC در جهان بود. این پردازنده شامل کمتر از ۲۵۰۰۰ ترانزیستور بود که حتی در زمان خود نیز تعداد بسیار کمی به شمار می‌آمد. ولی کارایی قابل مقایسه‌ای با پردازنده‌های با کارایی بالای زمان خود مانند Intel 80286 داشت. این اولین معماری ARM بود که اکنون از آن با نام ARMv1 یاد می شود. در سال ۱۹۸۷ دومین پردازنده با معماری ARMv2 عرضه شد. مهمترین ویژگی ARMv2 پشتیبانی آن از کمک‌پردازنده‌ها[9] بود. پس از آن، پردازنده‌ای با معماری ARMv2 که با Cache همراه بود، با نام ARM3 عرضه شد.

در سال ۱۹۹۰ شرکت Apple تصمیم گرفت تا از پردازنده‌های ARM در محصول جدید خود، Newton PDA استفاده کند. در نتیجه بین دو شرکت Acron و Apple قراردادی برای طراحی پردازنده‌ای جدید بسته شد و شرکت جدید ARM نام گرفت به اختصار از Advanced RISC Machines. سومین نسل از معماری ARM توسط این شرکت جدید ارائه شد. این نسل آدرس دهی ۳۲ بیتی داشت و از MMU و دستورالعمل های ضرب و جمع ۶۴ بیتی پشتیبانی می‌کرد. پردازنده‌های ARM6 و ARM7 از این نسل یعنی ARMv3 استفاده می‌کنند. عرضه این پردازنده‌ها و محصول Newton PDA توسط شرکت Apple در سال ۱۹۹۲، ARM را در صدر بازار سیستم‌های تعبیه شده قرار داد.

نسل چهارم ARM یعنی ARMv4 در سال ۱۹۹۶ ارائه شد. مهمترین ویژگی این نسل پشتیبانی آن از دستورالعمل‌های ۱۶ بیتی Thumb بود. دستوالعمل‌های فشرده Thumb نسبت به دستورالعمل‌های ARM به ۴۰٪ فضای کمتر نیاز دارند ولی بازده آن‌ها کمتر است. اصلی ترین نماینده نسل چهارم ARM، هسته ARM7TDMI می‌باشد که هنوز هم از معروف‌ترین محصولات ARM است. ARM7TDMI در

[9] Coprocessors

بیشترiPod Player های شرکت اپل مانند Video iPod استفاده شده است. این هسته همانند ARMv1 از خط لوله ۳ طبقه‌ای استفاده کرده است و شامل ۳۰۰۰۰ ترانزیستور می‌باشد.

در سال ۱۹۹۹، نسل پنجم معماری ARM، با DSP و پشتیبانی از بایت کدهای جاوا[10] عرضه شد. مهمترین پردازنده با این معماری Intel XScale می‌باشد که در بسیاری از محصولات رده بالای موبایل و PDA ها به کار رفته است.

نسل ششم ARM نیز در سال ۲۰۰۱ با معرفی SIMD[11]، Thumb بهینه شده و TrustZone ارائه شد. و در نهایت نسل اخیر یعنی ARMv7 با ارائه SIMD گسترش یافته و ممیز شناور[12] بهینه شده عرضه شد.

در جدول ۱-۱؛ تاریخچه‌ای از محصولات ARM را با ویژگی‌ها و کاربردهایشان نشان می‌دهد.

Family	Architecture	Core	Feature	Cache(I/D)MMU	TYPICAL MIPS @ MHz	In application
ARM1	ARMv1	ARM1		None		ARM Evaluation System second processor for BBC Micro
ARM2	ARMv2	ARM2	Architecture 2 added the MUL (multiply) instruction	None	4 MIPS @ 8 MHz 0.33 DMIPS/MHz	Acorn Archimedes, Chess machine
	ARMv2a	ARM250	Integrated MEMC (MMU), Graphics and IO processor. Architecture 2a added the SWP and SWPB (swap) instructions.	None, MEMC1a	7 MIPS @ 12 MHz	Acorn Archimedes
ARM3	ARMv2a	ARM2a	First use of a processor cache on the ARM.	4K unified	12 MIPS @ 25 MHz 0.50 DMIPS/MHz	Acorn Archimedes
ARM6	ARMv3	ARM60	v3 architecture first to support addressing 32 bits of memory (as opposed to 26 bits	None	10 MIPS @ 12 MHz	3DO Interactive Multiplayer, Zarlink GPS Receiver
		ARM600	Cache and coprocessor bus (for FPA10 floating-point unit).	4K unified	28 MIPS @ 33 MHz	
		ARM610	Cache, no	4K unified	17 MIPS @	Acorn Risc PC 600,

[10] Java Bytecode
[11] Single Instruction Multiple Data
[12] Floating Point

			coprocessor bus.		20 MHz 0.65 DMIPS/MHz	Apple Newton 100 series
ARM7	ARMv3	ARM700		8 KB unified	40 MHz	Acorn Risc PC prototype CPU card
		ARM710		8 KB unified	40 MHz	Acorn Risc PC 700
		ARM710a		8 KB unified	40 MHz 0.68 DMIPS/MHz	Acorn Risc PC 700, Apple eMate 300
		ARM7100	Integrated SoC.	8 KB unified	18 MHz	Psion Series 5
		ARM7500	Integrated SoC.	4 KB unified	40 MHz	Acorn A7000
		ARM7500FE	Integrated SoC. "FE" Added FPA and EDO memory controller.	4 KB unified	56 MHz 0.73 DMIPS/MHz	Acorn A7000+
ARM7TDMI	ARMv4T	ARM7TDMI(-S)	3-stage pipeline, Thumb	None	15 MIPS @ 16.8 MHz	Game Boy Advance, Nintendo DS, iPod, Lego NXT, Atmel **AT91SAM7**
		ARM710T		8 KB unified, MMU	36 MIPS @ 40 MHz	Psion Series 5mx, Psion Revo/Revo Plus/Diamond Mako
		ARM720T		8 KB unified, MMU	60 MIPS @ 59.8 MHz	Zipit Wireless Messenger
		ARM740T		MPU		
	ARMv5TEJ	ARM7EJ-S	Jazelle DBX, Enhanced DSP instructions, 5-stage pipeline	None		
StrongARM	ARMv4	SA-110		16 KB/16 KB, MMU	203 MHz 1.0 DMIPS/MHz	Apple Newton 2x00 series, Acorn Risc PC, Rebel/Corel Netwinder, Chalice CATS, Psion Netbook
		SA-1110		16 KB/16 KB, MMU	233 MHz	LART, Intel Assabet, Ipaq H36x0, Balloon2, Zaurus SL-5x00
ARM8	ARMv4	ARM-810	5-stage pipeline, static branch prediction, double-bandwidth memory	8 KB unified, MMU	84 MIPS @ 72 MHz 1.16 DMIPS/MHz	Acorn Risc PC prototype CPU card
ARM9TDMI	ARMv4T	ARM9TDMI	5-stage pipeline	None		
		ARM920T		16 KB/16 KB, MMU	200 MIPS @ 180 MHz	Armadillo, GP32,GP2X (first core), Tapwave Zodiac (Motorola i.MX1), Hewlet Packard HP-49/50 Calculators, Sun SPOT, Samsung s3c2442 (HTC TyTN, FIC Neo1973)
		ARM922T		8 KB/8 KB, MMU		
		ARM940T		4 KB/4 KB, MPU		GP2X (second core), Meizu M6 Mini Player
ARM9E	ARMv5TE	ARM946E-S	Enhanced DSP instructions	variable, tightly coupled memories, MPU		Nintendo DS, Nokia N-Gage, Conexant 802.11 chips

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

۶. منابع:

۱-The ARM Architecture , Leonid Ryzhyk , june 2006

۲- ARM Architecture Reference Manual

۳- ARM7TDMI Technical Reference Manual

۴- Getting Started with AT91SAM7S Microcontrollers, Application Note

۵- AT91SAM7S Datasheet

۶- ARM IAR Reference guide

۷- AT91 In-system Programmer

۸- www.arm.com

۹- www.atmel.com

۱۰- www.at91.com

۱۱- www.embeddedrelated.com