

مروری بر سیر تحول پردازنده‌ها

حدود چهاردهه پیش گوردون مور^۱، مدیر شرکت اینتل، به این نکته پی برد که تعداد ترانزیستورهای قابل قرار گرفتن روی یک تراشه هر ۱/۵ تا ۲ سال، دو برابر می‌شود. این روند که به قانون مور معروف شد، از آن سالها تاکنون ادامه داشته و طبق پیش‌بینی SIA^۲ تا سال ۲۰۱۲ ادامه خواهد داشت (جدول ۱-۱).

تغییرات بسیار سریع فوق، سبب پیشرفت خارق‌العاده تکنولوژی الکترونیک و کامپیوتر، به نحوی که امروزه شاهد آن هستیم شده است.

در طول دهه ۵۰ و اوایل دهه ۶۰ میلادی، بردهای تشکیل‌دهنده سیستمهای کامپیوتری و الکترونیکی، از قطعات مختلف مانند ترانزیستور، خازن، مقاومت و ... به صورت جدا از هم تشکیل می‌شدند.

جدول ۱-۱- پیش‌بینی SIA در مورد ترانزیستورهای MOS

2012	2009	2006	2003	2001	1999	1997	تاریخ
0.03	0.05	0.07	0.12	0.12	0.14	0.25	اندازه گیت (μm)
5	4	4	24	16	14	-	میلیون ترانزیستور بر واحد سطح cm^2
100	64	40	900	850	800	-	حداکثر مساحت تراشه (mm^2)

پس از گذشت چند سال از دهه ۶۰، به مرور تراشه‌های مجتمع جای قطعات جدا از هم را گرفت، به طوری که در نیمه دوم این دهه، بوردهای تشکیل‌دهنده کامپیوترها و دیگر دستگاههای الکترونیکی، به جز تعداد کمی از قطعات منفرد، از تراشه‌های مجتمع ساخته شده بودند. نمونه‌ای از این بوردها، پردازنده مرکزی کامپیوترهای PDP-8 و PDP-11 بودند.

تراشه‌های مورد استفاده در دهه ۶۰ از نظر تعداد ترانزیستور و قدرت پردازش، به‌هیچ وجه با تراشه‌های امروزی قابل قیاس نیستند. به این تراشه‌ها که انواع دریچه‌های منطقی، انواع جمع‌کننده‌ها، فلیپ‌فلاپها، شمارنده‌ها و ثباتهای ساده را دربرمی‌گیرند، بر حسب تعداد ترانزیستورهای به کار رفته در آن، تراشه‌های SSI^۳ (زیر ۱۰۰ ترانزیستور) و MSI^۴ (زیر ۱۰۰۰ ترانزیستور) گفته می‌شود.

Gordon Moore

Semiconductor Industry Association

Small Scale Integrated Circuits

Medium Scale Integrated Circuits

حدود سال ۱۹۷۰ میلادی، با پیشرفت تکنولوژی LSI^۱، امکان قرار دادن چند هزار ترانزیستور روی یک تراشه به وجود آمد. یکی از این تراشه‌ها، اولین پردازنده دنیا (البته نه به معنای امروزی)، یعنی پردازنده ۴۰۰۴ اینتل بود. این تراشه به همراه سه تراشه دیگر، در مجموع یک پردازنده ۴ بیتی را تشکیل می‌دادند.

پردازنده ۴۰۰۴ در سال ۱۹۷۱ و به منظور استفاده در ماشین‌های حساب به بازار عرضه شد؛ اما مدتی نگذشت که کاربرد آن به عنوان جایگزین برنامه‌ریزی‌شونده مدارهای منطقی سیم‌کشی شده و به‌عنوان هسته مرکزی سیستمهای کنترلی، جای خود را باز کرد. با آنکه ۴۰۰۴ با معیارهای امروزی به هیچ وجه پردازنده قابل ملاحظه‌ای نیست، ولی در زمان خود کاربردهای زیادی از جمله در بازیهای ویدیویی و سیستمهای کنترل صنعتی کوچک یافت و در مدت زمان کوتاهی حجم وسیعی از آن به فروش رفت.

نقاط ضعف عمده ۴۰۰۴ سرعت پایین (فرکانس کاری ۴۰۰۴، تنها ۷۰۰ KHz بود!)، گذرگاه داده کوچک ۴ بیتی، حجم آدرس‌دهی پایین (۴ KByte) و تعداد دستورات کم (۴۵ دستور) بود.

پس از مدتی کوتاه، اینتل پردازنده ۴۰۴۰ را روانه بازار کرد. این تراشه بر خلاف ۴۰۰۴ که با تکنولوژی P-MOS ساخته شده بود، از تکنولوژی N-MOS استفاده می‌کرد و همین موضوع باعث افزایش فرکانس کاری آن شد. اما از دیگر جهات تفاوتی عمده با پردازنده پیشین خود نداشت.

اینتل پس از مشاهده موفقیت قابل توجه پردازنده‌های ۴ بیتی، اولین پردازنده ۸ بیتی خود به نام ۸۰۰۸ را به سال ۱۹۷۳ به بازار عرضه نمود. ۸۰۰۸ علاوه بر داشتن گذرگاه داده وسیعتر (۸ بیتی)، دارای فضای آدرس‌دهی ۱۶ KByte و ۴۸ دستورالعمل بود.

یک سال بعد، اینتل پردازنده جدید ۸۰۸۰ را معرفی نمود. ۸۰۸۰ در واقع پدربزرگ پردازنده‌های مدرن امروزی و نقطه آغاز تحولی عظیم در تکنولوژی ریزپردازنده‌هاست.

این پردازنده ۸ بیتی که با تکنولوژی N-MOS ساخته شده بود، از فضای آدرس‌دهی معادل ۶۴ KByte، فرکانس پایه ۲ مگاهرتز و مجموعه دستورالعمل کاملتری نسبت به انواع پیشین بهره می‌برد. به‌علاوه اجرای یک دستورالعمل در ۸۰۸۰، ده برابر سریعتر از اجرای همان دستورالعمل در ۸۰۰۸ بود و نیز تطابق ولتاژهای ۸۰۸۰ با ولتاژهای TTL باعث تسهیل کار طراحان سیستمهای مبتنی بر پردازنده شد. در مجموع هر یک از این قابلیت‌ها، نقطه آغاز تحول پردازنده‌ها محسوب می‌شود.

در همین اوان شرکت‌های دیگری نظیر Motorola ، Ziloge ، Mos-Technology ، Fair ، Child ، National Semiconductor و ... وارد صحنه ساخت پردازنده‌ها شدند؛ ولی با گذشت زمان، تنها اینتل و موتورولا در بازار اصلی پردازنده‌های با کاربرد عمومی باقی ماندند و بقیه کم و بیش از صحنه خارج شدند.

به سال ۱۹۷۷، نوع پیشرفته‌تر ۸۰۸۰ یعنی پردازنده ۸۰۸۵ توسط اینتل به بازار آمد. ۸۰۸۵ برخلاف ۸۰۸۰ که به سه منبع تغذیه +۵ و -۵ و +۱۲ ولتی نیاز داشت، تنها از یک منبع تغذیه ۵ ولتی استفاده می‌کند. به‌علاوه دو تراشه کمکی ۸۰۸۰ که یکی مولد پالس ساعت و دیگری کنترل‌کننده گذرگاه‌های آن بود، در ۸۰۸۵ داخل تراشه اصلی مجتمع شده است. فرکانس کاری اولین نسخه ۸۰۸۵، ۳ مگاهرتز بود که به مرور افزایش یافت. برای دانستن اهمیت اقتصادی ۸۰۸۵، کافی است بدانید که اینتل تاکنون بیش از صد میلیون عدد از این تراشه را به فروش رسانده و هنوز هم در بسیاری از سیستم‌های از پیش ساخته شده، از این تراشه استفاده می‌شود.

سال ۱۹۷۸، سال ورود اولین پردازنده ۱۶ بیتی اینتل به نام ۸۰۸۶ به بازار و نقطه عطفی در سیر تکاملی پردازنده‌ها بود. ۸۰۸۶ چه از نظر معماری داخلی و چه از نظر گذرگاه داده خارجی، یک پردازنده ۱۶ بیتی است؛ بنابراین به‌دلیل عدم سازگاری با سیستم‌های جانبی که برای پردازنده‌های ۸ بیتی ساخته شده بود، در ابتدا موفقیت چندانی نیافت. اینتل برای رفع این مشکل یک سال بعد پردازنده ۸۰۸۸ را روانه بازار کرد که تنها تفاوت آن با ۸۰۸۶، گذرگاه داده خارجی ۸ بیتی در پردازنده جدید بود.

هر دو پردازنده قابلیت آدرس‌دهی یک مگابایت حافظه و ۶۴ کیلو بایت فضای ورودی/خروجی را دارند و در نوع پایه خود (فرکانس ساعت 5 MHz) می‌توانند یک دستورالعمل ساده را در ۴۰۰ نانوثانیه اجرا کنند که در انواع بعدی با رسیدن فرکانس کاری به ۱۰ مگاهرتز، این زمان کاهش یافت. به‌علاوه در این دو پردازنده دستورات ۱۶ بیتی و نیز دستورالعمل‌های ضرب و تقسیم، به مجموعه دستورالعمل‌ها اضافه شده که باعث افزایش سرعت و کارایی آنها نسبت به انواع قبلی شده است. اگر تمام حالات یک دستورالعمل را به حساب آوریم، ۲۰۰۰۰ دستورالعمل مختلف در این دو پردازنده به کار می‌رود که در نگاه اول کمی غیرعادی است، اما در عمل ایجاد برنامه‌های پیچیده و حرفه‌ای را ساده می‌کند. به پردازنده‌هایی که دارای مجموعه دستورات زیاد و پیچیده هستند، پردازنده‌های CISC¹ گفته می‌شود. در نقطه مقابل پردازنده‌هایی قرار دارند که مجموعه دستورات آنها کوچک و



ساده است. به این دسته پردازنده‌ها، پردازنده‌های RISC^۱ گفته می‌شود که از جمله آنها می‌توان به پردازنده i860 اینتل اشاره کرد.

در ۸۰۸۸ اولین کامپیوترهای شخصی شبیه به انواع امروزی به کار گرفته شد. کامپیوترهای شخصی اولیه به صورت معمول دارای ۶۴۰ KB حافظه، دو عدد فلاپی دیسک و امکان ضبط اطلاعات روی کاست معمولی بود و از یک مانیتور تک‌رنگ به‌عنوان نمایشگر استفاده می‌کرد. در این سیستمها از دیسک سخت اثری دیده نمی‌شد.

با توجه به کاربردهای جدید کامپیوترها مانند واژه‌پردازها، صفحه گسترده‌ها، پایگاههای داده و ... ، چندی نگذشت که یک مگابایت فضای آدرس کمبود خود را نشان داد و این موضوع به انضمام نیازهای دیگر از جمله حفاظت از داده‌ها، حافظه مجازی، چند کاربری بودن سیستمها و ... سبب شد که اینتل در سال ۱۹۸۳ پردازنده ۸۰۲۸۶ را وارد بازار کند. تفاوت‌های عمده ۸۰۲۸۶ با انواع پیشین عبارتند از :

- ◆ ۱۶ مگابایت فضای آدرس‌دهی
- ◆ تعدادی دستورالعمل اضافی
- ◆ قابلیت حفاظت از داده‌ها
- ◆ یک گیگابایت حافظه مجازی
- ◆ امکان چند کاربری بودن
- ◆ امکان تقسیم‌بندی و استفاده از حافظه بر حسب نیاز توسط سیستم عامل با ایجاد بخش مدیریت حافظه (MMU)^۲

فرکانس پایه این پردازنده، ۸ مگاهرتز بود که پس از مدتی به ۱۲/۵ مگاهرتز افزایش یافت. زمان اجرای یک دستورالعمل ساده، دو سیکل ساعت بود که در نسخه ۸ مگاهرتزی، برابر ۲۵۰ نانوثانیه می‌شود که معادل سرعت ۴ MIPS است.

به مرور با مفصلتر و پیچیده‌تر شدن برنامه‌های کاربردی کامپیوترها به خصوص با ورود کاربردهای گرافیکی به دنیای کامپیوتر، نیاز به گذرگاه داده بزرگتر و سرعت بالاتر به شدت احساس می‌شد.

اولین پردازنده اینتل که برای به عهده گرفتن وظیفه پردازشهای سریع و با حجم بالا به خصوص پردازش تصاویر به بازار عرضه شد، پردازنده ۸۰۳۸۶ بود که در سال ۱۹۸۶ وارد صحنه شد. ۸۰۳۸۶ یک پردازنده ۳۲ بیتی با فضای آدرس‌دهی ۴ گیگابایت حافظه

فیزیکی و ۶۴ ترابایت حافظه مجازی است. اولین نسخه این پردازنده دارای فرکانس ساعت ۲۰ مگاهرتز بود که بعدها تا ۳۳ مگاهرتز افزایش یافت. سیستم‌عامل گرافیکی ویندوز برای اولین بار به صورت عملی و کارا روی سیستم‌های دارای پردازنده ۸۰۳۸۶ پیاده شد.

در سال ۱۹۸۹ اینتل پردازنده ۸۰۴۸۶ را معرفی نمود. این تراشه شامل کمک‌پردازنده محاسباتی ۸۰۳۸۷ و ۸ کیلوبایت حافظه نهان^۱ مشترک بین داده و دستورالعمل است. ۸۰۴۸۶ در نوع پایه دارای فرکانس ساعت ۳۳ مگاهرتز بود که در انواع بعدی به ۵۰ و ۱۰۰ مگاهرتز افزایش یافت. دو پردازنده اخیر با پسوندهای DX2 و DX4 مشخص می‌شوند؛ دلیل این نامگذاری این است که نوسان‌ساز استفاده شده برای هر دو پردازنده دارای فرکانس کاری ۲۵ مگاهرتز است که در نوع اول در داخل پردازنده در ۲ و در نوع دوم در ۴ ضرب می‌شود و فرکانس اصلی را می‌سازد.

۸۰۴۸۶ از لحاظ گذرگاه داده و آدرس مانند ۸۰۳۸۶ است؛ ولی با استفاده از تکنیک خطلوله^۲، تعداد زیادی از دستورالعمل‌های آن تنها به یک پالس ساعت برای اجرا نیاز دارند. بنابراین اجرای یک برنامه نمونه در ۸۰۴۸۶ نسبت به اجرای همین برنامه در ۸۰۳۸۶ به زمان کمتری نیاز دارد.

قدم بعدی اینتل برای افزایش کارایی پردازنده‌ها، معرفی پردازنده پنتیوم در سال ۱۹۹۳ بود. اینتل نام پنتیوم را برای محصول جدید خود انتخاب کرد، زیرا نامها را بر خلاف اعداد می‌توان به ثبت رساند. پنتیوم در نسخه پایه خود دارای فرکانس پایه ۶۰ مگاهرتز است. بعلاوه پنتیوم اولین پردازنده دارای CPI^۳ کمتر از یک است؛ به این معنی که می‌تواند یک دستورالعمل را در کمتر از یک پالس ساعت اجرا کند. به این پردازنده‌ها، پردازنده‌های فوق‌عددی^۴ می‌گویند.

پنتیوم درون خود دارای دو واحد اجرایی یکی برای اعداد صحیح ۳۲ بیتی و اعداد با ممیز شناور می‌باشد. گذرگاه خارجی پنتیوم به جهت داشتن توانایی تأمین داده برای هر دو واحد اجرایی در آن واحد، ۶۴ بیتی است.

از دیگر تفاوت‌های قابل ملاحظه پنتیوم با انواع قبلی می‌توان به داشتن امکان پیش‌بینی نتیجه پرش‌های شرطی و نیز داشتن حافظه نهان جداگانه برای داده و دستورالعمل هر کدام به اندازه ۸ کیلوبایت اشاره کرد.

Cache

Pipe Line

Cycle Per Instruction

Super Scalar



در نیمه دوم سال ۱۹۹۵، اولین پردازنده سری P6 به نام پنتیوم‌پرو روانه بازار شد. امکانات جدید پنتیوم‌پرو عبارتند از:

- ◆ امکان اتصال چهار پردازنده به یکدیگر برای ایجاد یک مجموعه چندپردازنده‌ای
- ◆ وجود دستورالعمل‌های ویژه MMX¹ برای کارهای گرافیکی و ارتباطات
- ◆ صرفه‌جویی در مصرف انرژی با پیش‌بینی حالات مختلف کاری پردازنده

Pentium II محصول بعدی پردازنده‌های سری P6 بود که در سال ۱۹۹۷ وارد بازار شد. این پردازنده قابلیت‌های پنتیوم‌پرو را به نحو کاملتری عرضه می‌کند. بعلاوه Pentium II در بعضی از انواع خود دارای حافظه نهان سطح ۲ نیز می‌باشد. بسته‌بندی Pentium II به صورت کارت‌تریچ است و به فرم عمودی در برد اصلی کامپیوتر جا می‌گیرد و بهمین دلیل فضای بیشتری را برای نصب قطعات دیگر باقی می‌گذارد.

محصول بعدی اینتل از سری P6، پردازنده Pentium III است. این پردازنده علاوه بر داشتن دستورات MMX، دارای مجموعه‌ای از دستورات SIMD² نیز می‌باشد که کیفیت پردازنده را برای محاسبات اعداد شناور و گرافیک بهبود می‌بخشد. وجود ۲۵۶ کیلوبایت حافظه نهان سطح ۲ از دیگر ویژگی‌های این محصول است.

Pentium IV محصول جدید اینتل بود که در سال ۲۰۰۱ به بازار آمد. Pentium IV مانند چند نوع اخیر، ۳۲ بیتی اما با معماری داخلی جدید بود.

مشخصات عمده Pentium IV عبارتند از:

- ◆ فرکانس ساعت بالای ۲ گیگاهرتز (سال ۲۰۰۳)
 - ◆ فرکانس گذرگاه خارجی ۴۰۰ مگاهرتز
 - ◆ آدرس‌دهی ۶۴ گیگابایت فضای حافظه
 - ◆ امکان اجرای عمقی و خارج از نوبت دستورالعملها
 - ◆ سیستم پیشرفته پیش‌بینی پرش‌های شرطی
 - ◆ دستورالعمل‌های جدید SIMD
 - ◆ ویژگی‌های خاص برای استفاده از اعداد شناور، محیط‌های چندرسانه‌ای، رمزنگاری، گرافیک سه‌بعدی و ...
 - ◆ بهینه بودن برای استفاده تحت کنترل سیستم‌عامل‌های ۳۲ بیتی
- جدول ۱-۲ مشخصات پردازنده‌های اینتل را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

توجه کنید که اینتل دارای محصولاتی مانند ۸۰۱۸۸ و ۸۰۱۸۶ و ۸۰۱۹۶ نیز هست که در مقاطع مختلف به بازار عرضه شدند؛ اما چون مشخصات آنها بیشتر آنان را در رده میکروکنترلرها قرار می‌دهد، در این بحث از آنها یاد نکردیم.

جدول ۱-۲- سیر تحول ریزپردازنده‌های ساخت اینتل

پردازنده	سال معرفی به بازار	عرض گذرگاه داده داخلی	عرض گذرگاه داده خارجی	حافظه قابل آدرس‌دهی	تعداد ترانزیستور	فرکانس ساعت پایه
4004	1971	4	4	4 KB	2250	740 KHz
8008	1972	8	8	16 KB	3000	800 KHz
8080	1974	8	8	64 KB	4500	2 MHz
8085	1976	8	8	64 KB	6500	3 MHz
8086	1978	16	16	1 MB	29000	5 MHz
8088	1979	16	8	1 MB	29000	5 MHz
80286	1982	16	16	16 MB	134000	12.5 MHz
80386	1985	32	32	4 GB	275000	20 MHz
80486	1989	32	32	4 GB	1200000	25 MHz
Pentium	1993	32	64	4 GB	3100000	60 MHz
Pentium Pro	1995	32	64	64 GB	5500000	200 MHz
Pentium II	1997	32	64	64 GB	7000000	266 MHz
Pentium III	1999	32	64	64 GB	8200000	500 MHz