

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Computer Architecture

- 1 -

Introduction

عاماً بعد عام، تستمر تكلفة الحواسيب في الانخفاض بصورة كبيرة، في حين تزداد كفاءة و سرعة تلك الحواسيب و سعتها التخزينية بصورة كبيرة أيضاً. ففي الإمكان اليوم، و مقابل مبلغ زهيد نسبياً، الحصول على حاسوب شخصي (Personal Computer) يتفوق في القوة و الإمكانيات على حاسوب Mainframe من شركة IBM كان يتم إنتاجه قبل عشر سنوات و يكلف عشرات و ربما مئات ألوف الدولارات. و بتحسين أداء الحواسيب ظهرت لها تطبيقات جديدة غاية في التطور و التعقيد، مثل معالجة الصور (Image Processing) و التعرف على الحديث (Speech Recognition) و المحاكاة (Simulation)، و غيرها. و المثير للدهشة أنه رغم هذا التقدم الكبير في أداء الحواسيب إلا أن التصميم الأساسي لحواسيب اليوم المتطورة هو نفس تصميم حاسوب الـ IAS الذي أنتج قبل ما يزيد عن خمسين عاماً. فكيف حدث هذا التحسن في أداء الحواسيب؟

تحسين أداء الحواسيب :

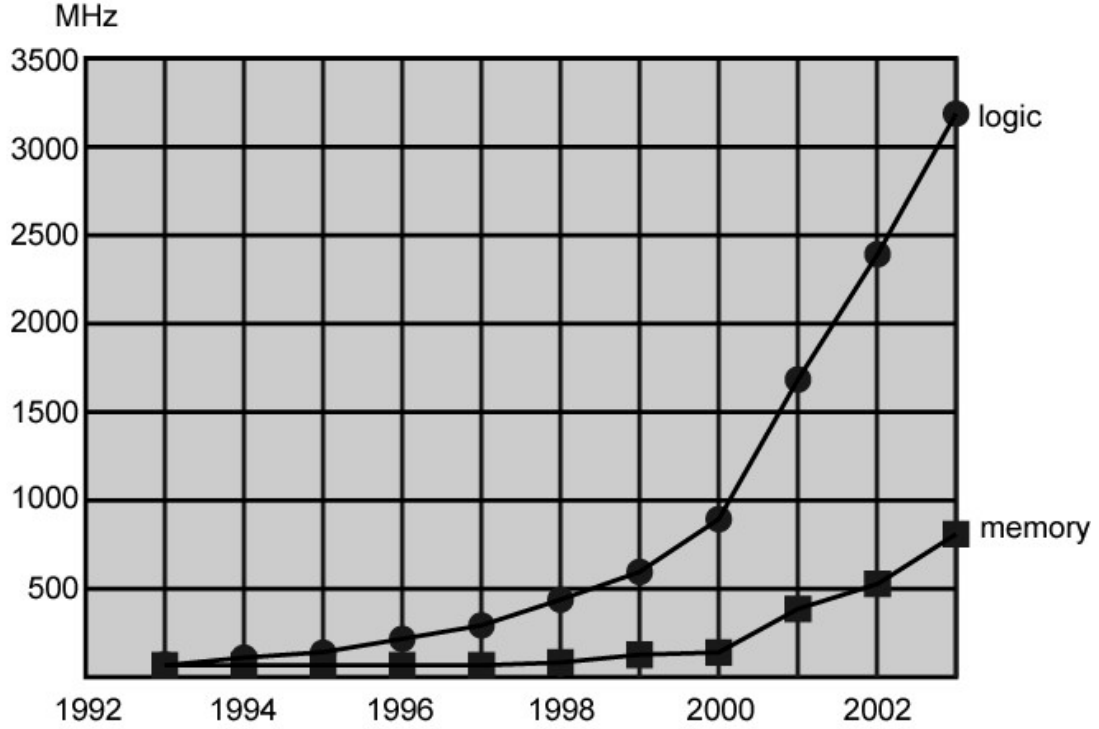
• سرعة المعالج (Microprocessor Speed)

تضاعفت سرعة المعالجات أربعة أو خمسة مرات كل ثلاثة سنوات، و ذلك منذ قيام شركة Intel بإطلاق أول معالجات عائلة الـ x86 في عام 1978. و بنفس الأسلوب، تضاعفت سعة ذاكرة الـ DRAM أربعة مرات تقريباً كل ثلاثة سنوات.

و مع الزيادة الهائلة في سرعة المعالجات ظهرت مشكلة أخرى؛ و هي كيفية إيصال التعليمات للمعالج بالسرعة الكافية، بحيث لا يتعطل عن المعالجة بانتظار وصول التعليمات إليه. و ظهرت تقنيات جديدة مثل الالتقاط المسبق للتعليمات (Instruction Prefetch)، حيث بدلاً من أن يتم التقاط التعليمات من الذاكرة عندما يحين دورها في التنفيذ يتم التقاط عدد من التعليمات من الذاكرة بصورة مسبقة و وضعها في Buffer خاص في متناول المعالج عندما يحتاج لتنفيذها، و بالتالي لا يضيع أي زمن من المعالج في انتظار التقاط تلك التعليمات من الذاكرة.

• موازنة الأداء (Performance Balance)

على الرغم من التطور الهائل في قوة المعالجات و سرعتها إلا أن أجزاء أخرى أساسية في الحاسوب لم تتمكن من ملاحقة هذه الزيادة الكبيرة في سرعة المعالجات، و أهم هذه الأجزاء هو الذاكرة (Memory). الشكل التالي يوضح مقارنة ما بين التطور في سرعة المعالجات و التطور في سرعة الذاكرة:



نلاحظ من الشكل الفرق الكبير في السرعة ما بين المعالج و الذاكرة. و هذا الفرق في السرعة له تأثير كبير على أداء المعالج، حيث أن الذاكرة هي المكان الذي يتم فيه اختزان التعليمات و البيانات التي يحتاج إليها المعالج، و أي تأخر في قراءة هذه التعليمات و البيانات من الذاكرة يؤثر بالضرورة على أداء المعالج. و عليه فالمطلوب إيجاد نوع من الموازنة في الأداء تعوض مثل هذا الفرق في السرعات.

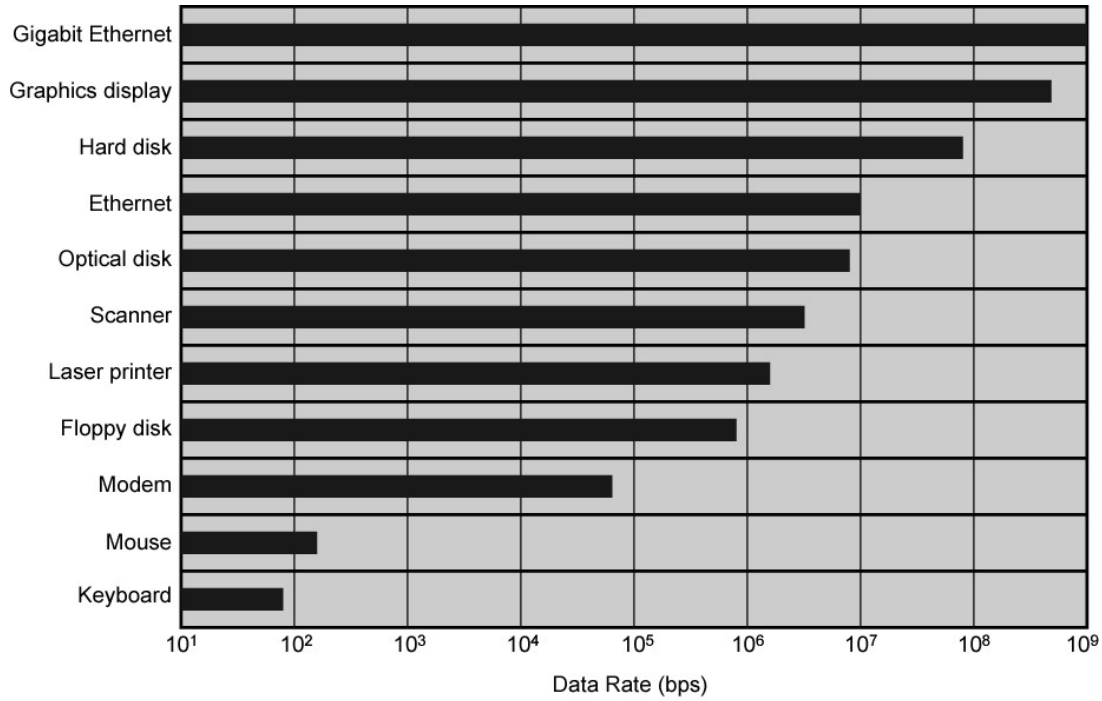
من الحلول التي استخدمت لعلاج هذه المشكلة:

1. زيادة عدد الـ bits التي يتم قراءتها من الذاكرة في المرة الواحدة و ذلك بزيادة عرض الذاكرة.

2. استخدام ذاكرة الكاش (Cache Memory).

3. زيادة عرض الناقل (Bus) الذي يربط ما بين المعالج و الذاكرة.

و الموازنة في الأداء مطلوبة أيضاً عند التعامل مع أجهزة الإدخال و الإخراج (I/O Devices). حيث صاحب التطور الكبير في سرعة و أداء الحواسيب نمو كبير أيضاً في متطلبات أجهزة الـ I/O، كما هو موضح بالشكل التالي:



حيث نلاحظ أن بعض أجهزة ال I/O لها معدلات نقل بيانات (Data Rates) عالية جداً، كما نلاحظ التفاوت الكبير في معدلات نقل البيانات ما بين أجهزة ال I/O. و لا تكمن المشكلة هنا في معالجة البيانات بالسرعة الكافية، حيث أن المعالجات الحديثة ذات السرعات العالية تفي بهذا الغرض، و لكن تكمن المشكلة في التمكن من نقل البيانات بالسرعة الكافية من و إلى أجهزة ال I/O، و في التعامل مع التفاوت الكبير في السرعات.

من الطرق التي استخدمت لعلاج مشاكل ال I/O:

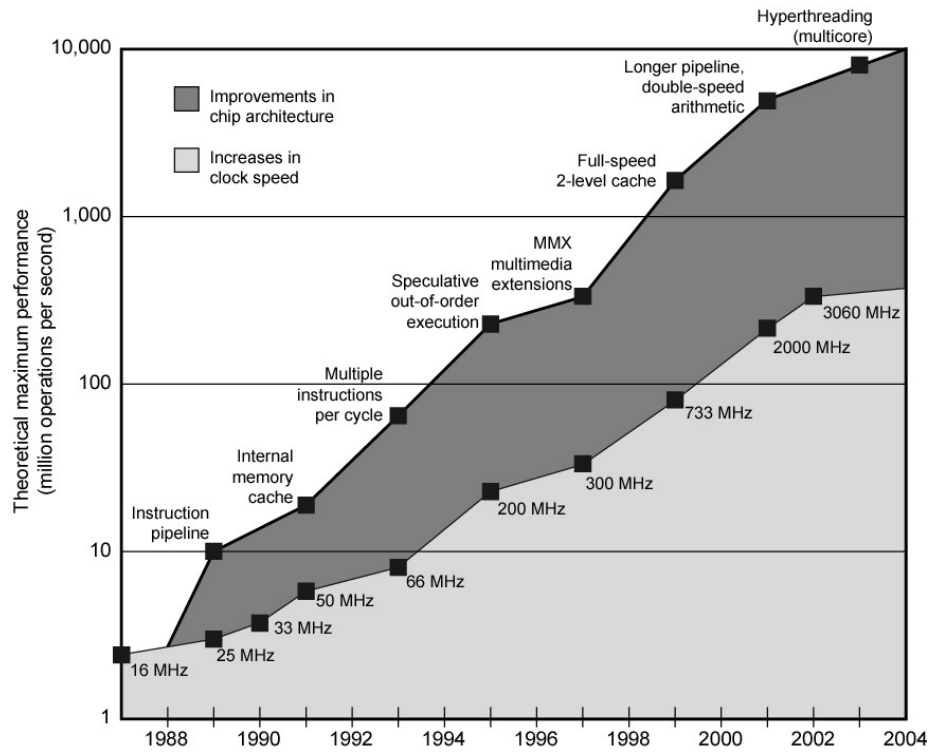
1. استخدام ال Caching و ال Buffering، أي تخزين البيانات القادمة بسرعة عالية، بصورة مؤقتة، في ذاكرة Cache أو في Buffer، ثم إعادة إرسالها بسرعة أقل. و هذا يقلل من تأثير مشكلة التفاوت الكبير في السرعات ما بين أجهزة ال I/O المختلفة.
2. استخدام نواقل (Buses) ذات سرعات عالية و استخدام نواقل متعددة (Multiple Buses).
3. استخدام المعالجات المتعددة (Multiple Processors)، أي استخدام معالجات متخصصة في عمليات ال I/O. مثل المعالج المستخدم في كرت الشبكة (Network Interface Card) و المعالج المستخدم في كرت الشاشة (Display Card). مما يؤدي إلى إزاحة عبء عمليات ال I/O عن المعالج الرئيسي و تحسين الأداء.

● تصميم المعالج (Chip Design)

أن الزيادة في سرعة المعالج، عن طريق تصغير المكونات و مضاعفة عددها في الشريحة الواحدة، ليست كافية وحدها لتحسين الأداء. فمثل هذه الزيادة تصطدم بعوائق فيزيائية مثل الزيادة في استهلاك القدرة، الناتجة عن زيادة كثافة المكونات. حيث

تتحول هذه القدرة المستهلكة إلى حرارة قد يصبح التخلص منها بالسرعة الكافية صعباً. و مثال على ذلك أن أعلى سرعة أمكن الوصول إليها حالياً في معالجات Intel هي حوالي 3.4 GHz، و لم يعد في الإمكان زيادة السرعة أكثر من هذا بسبب كمية الحرارة المتولدة و ما ينتج عنها من الحاجة لأساليب تبريد خاصة، قد تكون مكلفة.

و عليه فإن تحسين الأداء يتم أيضاً بإدخال تحسينات على تصميم المعالج نفسه و استخدام تقنيات مثل الإلتقاط المسبق للتعليمات (Instruction Prefetch) و ذاكرة الكاش (Cache Memory) و التنفيذ المتوازي للتعليمات (Pipelining) و المعالجات ذات الأنوية المتعددة (Multi-core Processors). الشكل التالي يوضح التطور في أداء معالجات Intel نتيجة لكل من الزيادة في السرعة و التحسينات في التصميم:



تطور معالجي ال Pentium و ال PowerPC

يعتبر معالجي ال Pentium و ال PowerPC من أكثر المعالجات المعاصرة استخداماً حالياً في الحواسيب الشخصية. و ربما يكون معظمنا قد سمع عن معالج ال Pentium، إلا أن القليل منا قد يكون قد سمع عن معالج ال PowerPC. فال PowerPC هو المعالج المستخدم في أجهزة Macintosh الشهيرة التي تقوم بإنتاجها شركة Apple. و هذه الأجهزة، رغم جودتها العالية، ليست شائعة الاستخدام في بلادنا بسبب ارتفاع أثمانها، حيث تستخدم بصورة قليلة في بعض المطابع و دور النشر و الصحف في عملية تصميم المطبوعات.

و معالج ال Pentium هو مثال ممتاز لأجهزة ال CISC أي Complex Instruction Set Computer. أما ال PowerPC فهو أفضل معالج تم إنتاجه من نوع RISC أي Reduced Instruction Set Computer.

• معالج Pentium

تحتل شركة Intel المركز الأول في العالم في إنتاج المعالجات الدقيقة منذ عقود. و معالج Pentium هو أبرز منتجاتها حالياً و يعتبر مثلاً جيداً لتطور تقنيات الحواسيب.

يوضح الجدول التالي تطور معالجات شركة Intel:

(a) 1970s Processors

	4004	8008	8080	8086	8088
Introduced	1971	1972	1974	1978	1979
Clock speeds	108 KHz	108 KHz	2 MHz	5 MHz, 8 MHz, 10 MHz	5 MHz, 8 MHz
Bus width	4 bits	8 bits	8 bits	16 bits	8 bits
Number of transistors	2,300	3,500	6,000	29,000	29,000
Addressable memory	640 Bytes	16 KBytes	64 KBytes	1 MB	1 MB
Virtual memory	—	—	—	—	—

(b) 1980s Processors

	80286	386TM DX	386TM SX	486TM DX
Introduced	1982	1985	1988	1989
Clock speeds	6–12.5 MHz	16–33 MHz	16–33 MHz	25–50 MHz
Bus width	16 bits	32 bits	16 bits	32 bits
Number of transistors	134,000	275,000	275,000	1.2 million
Addressable memory	16 MBytes	4 GBytes	16 MBytes	4 GBytes
Virtual memory	1 GBytes	64 TBytes	64 TBytes	64 TBytes

(c) 1990s Processors

	486TM SX	Pentium	Pentium Pro	Pentium II
Introduced	1991	1993	1995	1997
Clock speeds	16–33 MHz	60–166 MHz	150–200 MHz	200–300 MHz
Bus width	32 bits	32 bits	64 bits	64 bits
Number of transistors	1.185 million	3.1 million	5.5 million	7.5 million
Addressable memory	4 GBytes	4 GBytes	64 GBytes	64 GBytes
Virtual memory	64 TBytes	64 TBytes	64 TBytes	64 TBytes

(d) Recent Processors

	Pentium III	Pentium 4	Itanium	Itanium 2
Introduced	1999	2000	2001	2002
Clock speeds	450–660 MHz	1.3–1.8 GHz	733–800 MHz	900MHz – 1 GHz
Bus width	64 bits	64 bits	64 bits	64 bits
Number of transistors	9.5 million	42 million	25 million	220 million
Addressable memory	64 GBytes	64 GBytes	64 GBytes	64 GBytes
Virtual memory	64 TBytes	64 TBytes	64 TBytes	64 TBytes

Source: Intel Corp. <http://www.intel.com/intel/museum/>

و في ما يلي بعض النقاط المهمة في تطور معالجات Intel:

- **8080**: كان أول معالج دقيق مصمم للاستخدام العام (General-purpose Microprocessor) في العالم. و كان معالجا ذو ثمانية خانات (8-bit Processor)، و له ناقل ثمانية خانات (8-bit Bus) أيضاً. استخدم في أول حاسوب شخصي (Personal Computer (PC)) في العالم و هو الـ Altair.
- **8086**: معالج أقوى بكثير ذو 16 خانة (16-bit). فبالإضافة للمسجلات الأكبر و ناقل البيانات (Data Bus) الأوسع احتوى هذا المعالج على كاش خاص بالتعليمات (Instruction Cache) يحتوي على عدد من التعليمات التي تم التقاطها بصورة مسبقة قبل أن يحين دورها في التنفيذ.
- **8088**: نسخة أرخص ثنائياً من الـ 8086، بناقل بيانات ذو ثمانية خانات فقط (8-bit Data Bus). استخدم في الـ IBM PC، أول حاسوب شخصي من شركة IBM، الذي يعتبر أول حاسوب شخصي يتم استخدامه على نطاق واسع في مجال الأعمال، لذلك يعتبر بداية نجاح الحواسيب الشخصية (PCs) و حلولها محل الـ Minicomputers و الـ Mainframes.
- **80286**: تطوير للمعالج 8086 يمكن من التعامل مع ذاكرة سعتها 16 MB، بدلاً عن 1 MB فقط.
- **80386**: أول معالج ذو 32 خانة من شركة Intel. و كان يضاهي في إمكانياته و درجة تعقيد دوائره الـ Minicomputers و الـ Mainframes التي كان يتم إنتاجها قبله ببضعة سنوات فقط. و كان هذا المعالج هو أول معالج من شركة Intel يدعم الـ Multitasking، أي أن بإمكانه تنفيذ أكثر من برنامج في آن واحد.
- **80486**: احتوى هذا المعالج على تقنية كاش أكثر قوة و تعقيداً بالإضافة إلى Instruction Pipeline متطور. كما أنه أول معالج يحتوي على Built-in Math Coprocessor، الأمر الذي يزيح عناء إجراء عمليات الأعداد الحقيقية عن المعالج الرئيسي.
- **Pentium**: في هذا المعالج أدخلت شركة Intel تقنية Superscalar التي تسمح بتنفيذ عدة تعليمات على التوازي.

- **Pentium Pro**: في هذا المعالج تم تطوير تقنية الـ Superscalar باستخدام أساليب مثل: إعادة تسمية المسجلات (Register Renaming) و التنبؤ بالفرع (Branch Prediction) و تحليل تدفق البيانات (Data Flow Analysis) و التنفيذ غير المرتب (Out-of-Order Execution).
- **Pentium II**: احتوى على تقنية MMX التي تم تصميمها خصيصاً لمعالجة بيانات الـ Video و الـ Audio و الـ Graphics بكفاءة.
- **Pentium III**: احتوى على تعليمات Floating-Point إضافية لدعم الـ 3D Graphics Software.
- **Pentium 4**: يحتوي على تعليمات Floating-Point إضافية و دعم إضافي للوسائط المتعددة (Multimedia).
- **Itanium**: جيل جديد من معالجات Intel يستخدم معمار IA-64 ذو الـ 64 خانة.
- **Itanium 2**: تطوير لمعالج Itanium يتضمن عدد من التحسينات في التصميم لزيادة السرعة.

• معالج PowerPC

كان هذا المعالج نتيجة تحالف ما بين ثلاث شركات: شركة IBM و شركة Motorola، التي كانت تقوم بإنتاج سلسلة معالجات 68000، و شركة Apple، التي كانت تستخدم معالج الـ Motorola في حواسيب الـ Macintosh التي كانت تنتجها. و معالج الـ PowerPC هو معالج من نوع Superscalar RISC.

الجدول التالي يوضح مواصفات بعض أفراد عائلة الـ PowerPC:

	First ship date	Clock speeds	L1 Cache	L2 Cache	Number of transistors
601	1993	50–120 MHz	—	—	2.8 million
603/603e	1994	100–300 MHz	16 KB/16 KB	—	1.6–2.6 million
604/604e	1994	166–350 MHz	32 KB/32 KB	—	3.6–5.1 million
740/750 (G3)	1997	200–366 MHz	32 KB/32 KB	256 KB–1 MB	6.35 million
G4	1999	500 MHz	32 KB/32 KB	256 KB–1 MB	
G5	2003	2.5 GHz	64 KB/32 KB	512 KB	58 million

و في ما يلي بعض النقاط المهمة في تطور معالجات PowerPC:

1. **601**: هو معالج ذو 32 خانة، كان الغرض منه هو طرح الـ PowerPC في الأسواق بأسرع ما يمكن.

2. **603:** تم تصميمه للاستخدام في الحواسيب المكتبية ذات المواصفات المنخفضة (Low-end Desktops) و في الحواسيب المحمولة (Portable Computers). و هو معالج ذو 32 خانة مماثل في الأداء لل 601 و لكن بتكلفة أقل.
3. **604:** هو معالج ذو 32 خانة مصمم للأجهزة المكتبية (Desktops) و للمخدمات ذات المواصفات المنخفضة (Low-end Servers). و يتميز بأداء أعلى نظراً لاستخدام أساليب تصميم Superscalar متطورة فيه.
4. **620:** تم تصميمه للاستخدام في المخدمات ذات المواصفات العالية (High-end Servers)، و هو أول فرد في عائلة ال PowerPC يستخدم فيه تصميم ذو 64 خانة (64-bit Architecture) بالكامل، يتضمن مسجلات ذات 64 خانة و ناقل ذو 64 خانة.
5. **740/750:** يطلق عليه أيضاً معالج ال G3، و هو أول معالج يحتوي على مستويين من ذاكرة الكاش داخل شريحة المعالج (L1 and L2 on Chip Caches).
6. **G4:** يرفع هذا المعالج من درجة التوازي (Parallelism) في تصميمه كما يرفع من سرعة المعالجة.
7. **G5:** يقدم هذا المعالج رفعاً أكبر في درجة التوازي و في سرعة المعالجة، و يستخدم تصميمًا ذو 64 خانة.