

ابرایانه چیست؟

قابلیتی یا (capability computing) به‌کار می‌روند. در این‌گونه محاسبات نهایت قدرت پردازشی برای حل یک مسئله واحد به‌کار گرفته می‌شود. هدف حل یک مسئله بزرگ‌تر یا حل یک مسئله خاص در زمانی کوتاه‌تر است. محاسبه قابلیت امکان حل مسائلی را فراهم می‌آورد که نمی‌توان آنها را با استفاده از ماشین‌های دیگر در زمان معقولی حل کرد. این نوع محاسبه همچنین امکان حل مسائلی را که محدودیت زمانی دارند و باید بی‌درنگ حل شوند فراهم می‌آورد. وجه تمایز و نقطه قوت محاسبه قابلیت، زمان رسیدن به جواب است. از سیستم‌های کوچک‌تر و ارزان‌تر برای محاسبه ظرفیتی استفاده می‌شود. در محاسبه ظرفیتی به حل مسائل به نسبت کوچک‌تری پرداخته می‌شود. از این نوع محاسبه می‌توان برای مطالعات پارامتری استفاده کرد. این سیستم‌ها معمولاً چندین وظیفه را به صورت هم‌زمان انجام می‌دهند. وجه تمایز این سیستم‌ها نسبت کارایی یا بازده ثابت (تضمین شده) به قیمت است. در واقع مصالحه‌ای بین ویژگی‌های دو سیستم مذکور وجود دارد؛ هرچه هزینه بیشتری به ازای هر مسئله پرداخت گردد، زمان به‌دست آوردن جواب کمتر خواهد شد. به این ترتیب، سیستم‌های قابلیت‌طوری طراحی می‌شوند که بتوانند بهترین قابلیت‌های ممکن را عرضه کنند، حتی به قیمت هزینه بیشتر به ازای هر مسئله؛ درحالی‌که سیستم‌های ظرفیتی با اینکه زمان بیشتری برای حل مسائل صرف می‌کنند ولی هزینه کمتری به ازای هر مسئله به کاربر تحمیل می‌نمایند.

در گذشته ابررایانه‌ها با دارا بودن معماری‌ای منحصر به فرد (برداری) از دیگر ماشین‌ها متمایز بودند. ولی امروزه خوشه‌هایی از کامپیوترهای متداول (commodity) که در محاسبات علمی از بالاترین سطوح کارایی برخوردارند چندان تفاوتی با خوشه‌هایی با اندازه مشابه که در کاربردهای مختلف تجاری استفاده می‌شوند ندارند. بنابراین تفاوت بین ابررایانه‌ها و رایانه‌های عادی تا حدی کمرنگ شده است که هر تلاشی برای ترسیم خطی میان ابررایانه‌ها و رایانه‌های عادی (به عنوان مثال با توجه به قیمت یا سطح کارایی) جنبه سلیقه‌ای دارد. امروزه معمولاً خوشه‌های متداول (commodity clusters) به دلیل اینکه نسبت هزینه به کارایی در آنها پایین‌تر است، برای محاسبات ظرفیتی به‌کار می‌روند در حالی که پردازنده‌های سفارشی بیشتر برای محاسبات قابلیت‌ی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

واحد سنجش سرعت یک ابررایانه

سرعت یک ابررایانه را با تعداد عملیات اعشاری که آن ماشین در یک ثانیه می‌تواند انجام دهد ارزیابی می‌کنند. این واحد را به اختصار به صورت FLOPS یا Flops یا flops/s یا FLOP/s نمایش می‌دهند که مخفف

می‌توان گفت ابررایانه (Supercomputer) رایانه‌ای است معمولاً بسیار گران که از نظر ظرفیت پردازشی یا به بیان دقیق‌تر سرعت محاسباتی، جزو قدرتمندترین ماشین‌های زمان خود محسوب می‌شود.

از این نوع سیستم‌ها برای اجرای وظایفی که به شدت وابسته به انجام محاسبات سنگین هستند استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در کاربردهایی مثل تحلیل داده‌های سازمان‌های اطلاعاتی، پیش‌بینی وضعیت هوا و مدلسازی تغییرات جوی، حجم اطلاعات آنقدر زیاد است که بدون استفاده از ابررایانه، یا کار مورد نظر قابل انجام نیست یا زمان لازم برای انجام آن آنقدر طولانی است که نتایج به‌دست آمده دیگر مفید نخواهند بود. از سوی دیگر با استفاده از ابررایانه‌ها می‌توان به تحقیقات عملی در زمینه‌های بسیار مهمی مانند فیزیک، علوم مواد، زیست‌شناسی و داروسازی سرعت بیشتری بخشید. از شبیه‌سازی توسط ابررایانه‌ها می‌توان برای تقویت و تکمیل نتایج آزمایشگاهی یا در مواردی که آزمایش واقعی خطرناک، گران یا ناممکن است به عنوان جایگزین استفاده کرد. این ماشین‌ها با کاستن از اهمیت پارامتر زمان، امکان مشاهده تغییرات جوی در طی قرن‌های متمادی و یا تکامل کهکشان‌ها در طی میلیاردها سال را فراهم می‌آورند. همچنین با استفاده از این سیستم‌ها می‌توان پیش‌بینی‌های بهتری در مورد نقطه ورود گردباد به خشکی و یا تأثیرات زمین‌لرزه‌ها انجام داد. موارد دیگر کاربرد ابررایانه‌ها عبارت‌اند از مدلسازی ملکولی (مطالعه ساختار و خواص ترکیبات شیمیایی، پلیمرها و کریستالها)، شبیه‌سازی فیزیکی (شبیه‌سازی وضعیت هواپیما در تونل باد، شبیه‌سازی انفجارات هسته‌ای و تحقیقات در زمینه همجوشی هسته‌ای) و کشف رمز نوشته‌های سری. نظر به کاربردهای مذکور، بدیهی است که مشتری اصلی سیستم‌های سریع، معمولاً مراکز نظامی و تحقیقاتی هستند.

همان‌طور که گفته شد، یکی از کاربردهای اصلی ابررایانه‌ها حل مدل‌هایی ریاضی از دنیای واقعی است. برای این منظور معمولاً هم در هنگام ارائه مدل‌های پیوسته (که در آنها از معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی استفاده می‌شود) و هم در هنگام گسسته‌سازی مدل‌های پیوسته، از تقریب استفاده می‌کنند تا حجم محاسبات و داده‌ها تا حدی کاهش یابد. با وجود اینکه حتی جوابهای به‌دست آمده از این مدل‌های تقریبی در بسیاری از موارد راهگشای دانشمندان است، اما با افزایش قدرت پردازش می‌توان از تقریب‌های کمتری استفاده کرد تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود. از این رو اساساً نمی‌توان حدی برای قدرت پردازشی لازم جهت حل این‌گونه مسائل تعیین کرد.

دو معیاری که معمولاً برای سنجش کارایی کلی بسترهای پیشرفته پردازشی به‌کار می‌روند عبارت‌اند از قابلیت (capability) محاسباتی و ظرفیت (capacity) محاسباتی. عظیم‌ترین ابررایانه‌ها برای محاسبات

مورد اخیر به خصوص درباره سازمان‌هایی که از سیستم‌های خوشه‌ای استفاده می‌کنند بیشتر مصداق دارد. به طوری که کمپانی‌هایی که عملیات Web Search و Web Caching، انجام می‌دهند و قوی‌ترین سیستم‌های خوشه‌ای دنیا را در اختیار دارند به ندرت در فهرست TOP500 ظاهر می‌گردند.

قدرت پردازشی سریع چگونه محقق می‌شود؟

قدرت ابررایانه‌ها معمولاً با توجه به دو عامل عمده افزایش می‌یابد: به‌کارگیری تکنولوژی پردازشی سریع‌تر و موازی‌سازی بیشتر. با پیشرفت تکنولوژی، قدرت پردازنده‌ها هر ساله بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش پیدا می‌کند، و بنابر قانون مور (Moore)، پیچیدگی تراشه‌ها هر ۱۸ ماه دو برابر می‌شود. به عبارت دیگر، تعداد ترانزیستورهایی که می‌توان در فضای محدود یک تراشه جای داد، هر سه سال چهار برابر می‌شود.

موازی‌سازی از دیگر روش‌های مهم افزایش کارایی و سرعت ماشین‌هاست. برای این منظور طراحان سعی می‌کنند در همه سطوح امکان اجرای موازی اعمال را فراهم آورند:

- موازی‌سازی در سطح برنامه
- موازی‌سازی در سطح وظایف
- موازی‌سازی در سطح بندها
- موازی‌سازی بین دستورات
- موازی‌سازی داخل دستور

موازی‌سازی در سطح برنامه، امکان اجرای همزمان چند برنامه را فراهم می‌کند. برای این کار از تکنیک‌های مختلفی که مهم‌ترین آنها تسهیم زمانی (به خصوص در سیستم‌های تک پردازنده) است بهره می‌گیرند. برنامه‌ها با هم داده مشترک ندارند و معمولاً یا هیچ ارتباطی با هم برقرار نمی‌کنند یا ارتباط بسیار کمی دارند. این سطح از موازی‌سازی را سیستم عامل هدایت می‌کند.

موازی‌سازی در سطح وظایف، این قابلیت را فراهم می‌کند که در صورت امکان بخش‌های مختلف یک برنامه به صورت همزمان اجرا شوند تا زمان اجرای کل برنامه کاهش پیدا کند. هر وظیفه دارای تعداد زیادی از دستورهای پیاپی با یک فضای آدرس خصوصی است. چون چندین وظیفه معمولاً در داخل یک برنامه هستند، هماهنگ‌سازی بین آنها ضروری است. در بسیاری موارد لازم است که بین وظایف مختلف ارتباطاتی برقرار گردد، و تبادل داده انجام شود. امکان اجرای این سطح از موازی‌سازی را سیستم عامل با در اختیار گذاشتن روش‌هایی جهت مدیریت، هماهنگی و ارتباط وظایف، فراهم می‌سازد.

در موازی‌سازی در سطح بندها، واحدهایی که به صورت همزمان اجرا می‌شوند از نوع بند (thread) هستند. فرق بند با وظیفه این است که در

(عمل Floating-point Operations per Second) عمل ممیز شناور در ثانیه) می‌باشد. با توجه به قدرت ابررایانه‌های معاصر، این واحد بسیار کوچک محسوب می‌شود؛ امروزه از واحدهای بزرگ‌تری مثل Gflops که برابر 10^9 flops و یا حتی Tflops که برابر 10^{12} flops است استفاده می‌کنند. برای مثال، بیشینه سرعت ماشین Red Storm Cray XT3 چیزی در حدود 43520 Gflops یا چهل و سه تریلیارد و پانصد و بیست میلیارد عمل اعشاری در ثانیه است. این ماشین در فهرست نوامبر سال ۲۰۰۵، رتبه ششم را در میان سریع‌ترین سیستم‌های دنیا دارا بود.

هر شش ماه یک‌بار، فهرست سریع‌ترین ماشین‌های دنیا توسط سایت www.TOP500.org منتشر می‌شود. معیار سنجش کارایی سیستم‌ها در این فهرست، بهترین رکورد به دست آمده (R_{max}) از اجرای برنامه انگلیه Linpack (benchmark) می‌باشد که طی آن، ماشین باید به حل یک دستگاه معادلات خطی بسیار سنگین پردازد. در فهرست نوامبر ۲۰۰۵، ماشین Blue Gene/L با سرعت 367 Tflops (یا سیصد و شصت و هفت تریلیارد عمل اعشاری در ثانیه) در مقام اول قرار دارد. با وجود این، انگلیه Linpack نمی‌تواند به خوبی کارایی سیستم را حین دریافت بار کاری واقعی منعکس کند. در واقع هیچ یگانه عددی نمی‌تواند نشانگر کارایی سیستم تحت بارهای کاری متفاوت باشد.



ماشین IBM Blue Gene/L با سرعت 367 Tflops

با اینکه اطلاعات منتشر شده توسط TOP500 گرایش‌های بازار و روند به‌کارگیری معماری‌های مختلف را به خوبی منعکس می‌کند ولی نباید ارقام آن را قطعی تصور کرد، چون بسیاری از سیستم‌های قدرتمند وجود دارند که به دلایل مختلف در فهرست مذکور قرار نگرفته‌اند. در بعضی موارد، سازمان‌ها به دلایل امنیتی و یا برای حفظ قابلیت رقابت از اعلام توان محاسباتی خود پرهیز می‌کنند. بنابراین شرکت‌هایی که به این سازمان‌ها ابررایانه می‌فروشند، کمتر از سهم واقعی خود در فهرست TOP500 سهم می‌شوند. بعضی سازمان‌ها هم ممکن است ارزشی برای قرار گرفتن در فهرست TOP500 قائل نباشند و یا اجرای انگلیه Linpack را کاری سنگین و بی‌بهره برای سیستم تلقی کنند و به آن مبادرت نورزند.

ابریانش در جهان

در این بخش پس از مقدمه‌ای اجمالی به معرفی برخی مراکز ابرانش سریع در ایالات متحده به عنوان قدرت برتر ابررایانش در جهان می‌پردازیم، سپس به معرفی توان ابرانش سریع ژاپن به عنوان قدرت دوم ابررایانش و مقایسه آن با آمریکا خواهیم پرداخت. پس از آن قدرت ابرانش سریع دیگر کشورها را به اجمال بررسی خواهیم نمود.^۱

ابریانش (Supercomputing) یک فعالیت بین‌المللی است و جامعه تحقیقاتی در سطح بین‌المللی در این زمینه فعالیت می‌کند. بسیاری از کشورها تأسیسات ابرانش سریع را برای حمایت از مهندسی و علوم فراهم کرده‌اند و در سطح دنیا تبادل تکنولوژی و متخصص در این زمینه، در مقیاس وسیعی انجام می‌شود. با این همه، ایالات متحده آمریکا به‌وضوح در این رشته حکم‌فرمایی می‌کند. از بین سیستم‌های فهرست TOP500 در نوامبر سال ۲۰۰۵، حدود ۶۱ درصد در ایالات متحده نصب شده‌اند که این گروه ۶۸/۱ درصد از توان محاسباتی این فهرست را در برمی‌گیرند. کشور بعدی، یعنی ژاپن، ۴/۲ درصد سیستم‌ها و ۶/۱ درصد توان کل را در این فهرست در اختیار دارد.

شکل ۱ نشان می‌دهد که این وضعیت در طی دهه گذشته تغییر اساسی نکرده است: هیچ گرایش خاصی بجز افزایش نسبتاً پایدار سهم کشورهای «others» ظاهر نشده است، و این افزایش نشان از تأثیر ابررایانه‌های ارزان قیمت خوشه‌ای بر بازار ابررایانش دارد. شکل ۲ نیز که کشورهای مختلف را بر حسب مجموع پیشینه توان محاسباتی شان در طول زمان نشان می‌دهد، تقریباً همین ادعا را تأیید می‌کند. شکل‌های ۳ و ۴ سهم کشورها از فهرست TOP500 در نوامبر ۲۰۰۵ را به ترتیب بر حسب تعداد سیستم و مجموع توان محاسباتی نشان می‌دهند.

چیرگی آمریکا هنگامی بیشتر مشخص می‌شود که به تعداد سازندگان ابررایانه در کشورهای مختلف توجه کنیم. در ژوئن ۲۰۰۴ حدود ۹۱ درصد ماشین‌های موجود در فهرست TOP500 در ایالات متحده ساخته می‌شدند. در نوامبر ۲۰۰۵ این نسبت به ۹۵/۸ درصد رسید. تعداد زیادی از سیستم‌های بقیه کشورها نیز از قطعات ساخت آمریکا استفاده می‌کنند. بخش عمده نرم‌افزارهای سیستم‌های ابررایانشی سرتاسر جهان (شامل سیستم‌های عامل، کامپایلرها، ابزارها، کتابخانه‌ها، کدهای کاربردی و...) نیز در ایالات متحده تولید شده و می‌شوند و البته همکاری محققان کشورهای دیگر با ایالات متحده، در این زمینه بسیار قابل توجه است.

با این همه، ماشین Earth Simulator (ES) ژاپن از اواخر سال ۲۰۰۱ تا ژوئن ۲۰۰۴ در پنج فهرست متوالی TOP500 عنوان سریع‌ترین ماشین دنیا را در اختیار داشت. علاوه بر اینکه این ماشین از نظر پیشینه توان محاسباتی سریع‌ترین ابررایانه به حساب می‌آمد، به علت استفاده از پردازنده‌های سفارشی برداری توانست نسبت به دیگر ماشین‌ها توان

یک بند تعداد کمتری دستور وجود دارد و معمولاً چندین بند از یک فضای آدرس مشترک بهره می‌برند. به عنوان مثال می‌توان از بندهای مبتنی بر استاندارد POSIX در سیستم‌های عامل چندبندی یاد کرد. ارتباط بین بندها از طریق متغیرهای مشترک و مکانیزم‌های هماهنگ‌سازی انجام می‌شود.

موازی‌سازی بین دستورات امکان اجرای همزمان چندین دستور ماشین را فراهم می‌آورد. این روش مبتنی بر این ایده اصلی است که در هر بخش برنامه دستوراتی وجود دارند که تغییر ترتیب اجراشان بر نتیجه یکدیگر تأثیر نخواهد داشت. در این نوع موازی‌سازی سعی می‌شود کامپایلرها را به گونه‌ای بهینه‌سازی کنند که با تغییر ترتیب این نوع دستورات، از امکانات معماری ابرعددی (superscalar) و تکنیک‌های لوله‌ای (pipelining) به بهترین وجه برای اجرای دستورها استفاده شود.

با توجه به اینکه یک دستور معمولاً کوچک‌ترین واحد اجرایی نیست و هنگام اجرای هر دستور معمولاً چندین عمل مختلف باید انجام شود تا نتیجه به دست آید، در موازی‌سازی داخل دستور سعی می‌شود که عملیات مختلف یک دستور تا حد ممکن به صورت همزمان انجام شوند تا زمان اجرای هر دستور کاهش یابد. به عنوان مثال می‌توان از لوله‌ای کردن در پردازنده‌های ابرعددی و یا از دستورات برداری یاد کرد.

^۱ چون منظور از سرعت معمولاً تعداد عمل ریاضی در ثانیه یا در واقع توانایی محاسباتی یک ماشین است، استفاده از عباراتی چون توان، توان محاسباتی، قدرت و قدرت محاسباتی، به جای سرعت، در مقالات، کتاب‌ها و گزارش‌های مختلف امری عادی محسوب می‌شود.

طرح روی جلد:

مسئله جایدهی (placement) در سطوح مختلف از مسائل مهم در علوم کامپیوتر است. طرح روی جلد سه ساخته دست بشر در سه مقیاس متفاوت را که نمایانگر الگوهای ترکیبی مشابهی هستند نشان می‌دهد. شکل پایین، عکسی ماهواره‌ای (در مقیاس کیلومتر مربع) از محله‌ای در اطراف میدان آزادی است که از سایت google earth گرفته شده است؛ شکل سمت راست، نشان دهنده تخته مدار اصلی کامپیوتر شخصی (در مقیاس مترمربع) است؛ و شکل سمت چپ، مدارات داخل تراشه پنتیوم ۴ (در مقیاس سانتی‌متر مربع) را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد در مصنوعات بشری هم، مانند مخلوقات طبیعی، الگوهای مشابه زیادی وجود دارد.