

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 ذکر شده «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 بیشینه 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 بیشینه 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.

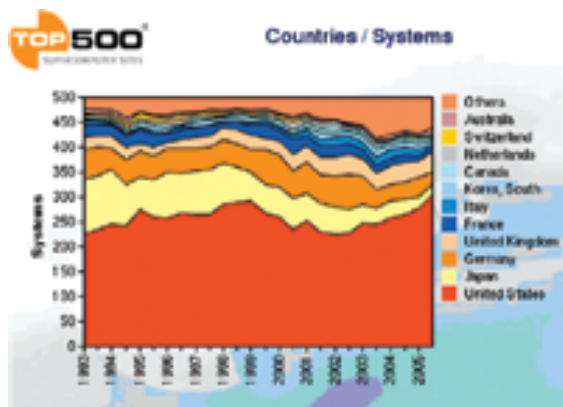
موازی‌سازی بین دستورات امکان اجرای همزمان چندین دستور ماشین را فراهم می‌آورد. این روش مبتنی بر این ایده اصلی است که در هر بخش برنامه دستوراتی وجود دارند که تغییر ترتیب اجرایشان بر نتیجه یکدیگر تأثیر نخواهد داشت. در این نوع موازی‌سازی سعی می‌شود کامپایلرها را به گونه‌ای بهینه‌سازی کنند که با تغییر ترتیب 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.

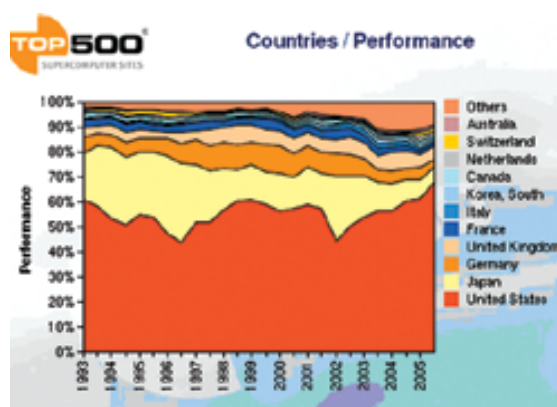
^۱ چون منظور از سرعت معمولاً تعداد عمل ریاضی در ثانیه یا در واقع توانایی محاسباتی یک ماشین است، استفاده از عباراتی چون توان، توان محاسباتی، قدرت و قدرت محاسباتی، به جای سرعت، در مقالات، کتاب‌ها و گزارش‌های مختلف امری عادی محسوب می‌شود.

طرح روی جلد:

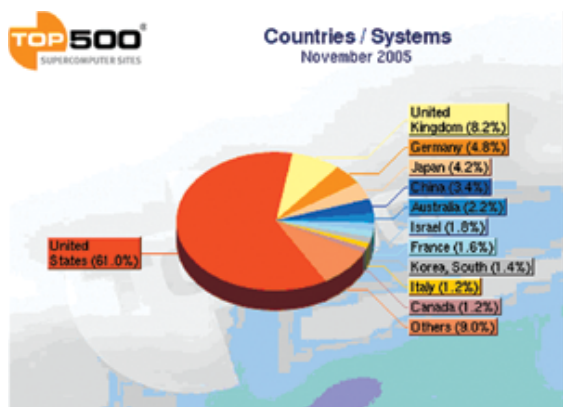
مسئله جایدهی (placement) در سطوح مختلف از مسائل مهم در علوم کامپیوتر است. طرح روی جلد سه ساخته دست بشر در سه مقیاس متفاوت را که نمایانگر الگوهای ترکیبی مشابهی هستند نشان می‌دهد. شکل پایین، عکسی ماهواره‌ای (در مقیاس کیلومتر مربع) از محله‌ای در اطراف میدان آزادی است که از سایت google earth گرفته شده است؛ 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.



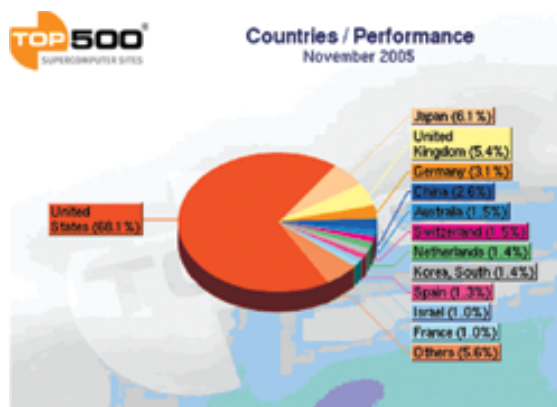
شکل ۲: سهم کشورها از فهرست TOP500 در طول زمان برحسب توان محاسباتی



شکل ۱: سهم کشورها از فهرست TOP500 در طول زمان برحسب تعداد ماشین



شکل ۴: سهم کشورها از فهرست TOP500 در نوامبر ۲۰۰۵ برحسب توان محاسباتی



شکل ۳: سهم کشورها از فهرست TOP500 در نوامبر ۲۰۰۵ برحسب تعداد ماشین

در ادامه به بررسی فعالیت‌های ابررایانه‌های در نقاط مختلف جهان می‌پردازیم.

ایالات متحده آمریکا

آمریکا ابرقدرت بلامنازع رایانش سریع است. این کشور بزرگ‌ترین تولید کننده و بزرگ‌ترین مصرف کننده سیستم‌های ابررایانه‌ای است. در فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵، این کشور با در اختیار داشتن ۳۰۵ ابررایانه (۶۱ درصد کل سیستم‌ها) و مجموع توان بیشینه ۱۵۶۶ Tflops (حدود ۶۸ درصد مجموع توان کل فهرست)، اختلافی باور نکردنی با دیگر قدرت‌های جهان پیدا کرده است. از ۱۰ سیستم اول دنیا، ۶ رده اول و همین‌طور رده دهم مختص رایانه‌های آمریکایی است؛ گفتنی است همه این رایانه‌ها در مراکز تحقیقاتی دولتی مشغول به کارند. رده هفتم تا نهم به ترتیب در اختیار ژاپن با Earth Simulator، اسپانیا با یک ابررایانه ساخت آمریکا (IBM MareNostrum)، و هلند با یک ابررایانه ساخت آمریکا (IBM Stella) می‌باشد. در واقع از ۳۶ رایانه اول دنیا همه بجز Earth Simulator ساخت ایالات متحده هستند.

قوی‌ترین رایانه جهان IBM BlueGene/L با ۱۳۱۰۷۲ پردازنده و توان محاسباتی بیشینه نظری ۳۶۷ Tflops و توان بیشینه به دست آمده ۲۸۰/۶ Tflops است که DOE، NNSA، و LLNL به طور

تضمینی بیشتری برای برنامه‌های کاربردی مورد نظر فراهم کند. هر چند برتری خود را در سال ۲۰۰۴ از دست داد ولی هنوز نسبت به دیگر ماشین‌ها کارایی بهتری در کدهای شبیه‌سازی آب و هوا و دیگر برنامه‌هایی که اجرا می‌کند از خود نشان می‌دهد. (بنابر آمار سال ۲۰۰۴ ماشین ES نسبت به عظیم‌ترین سیستم‌های آمریکایی که در NCAR به‌کار گرفته می‌شوند، بر روی مؤلفه‌های مختلف مدل‌های آب و هوا بین ۵ تا ۲۵ برابر سریع‌تر عمل می‌کرد.) شرکت International Data Corporation (IDC) تخمین می‌زند که در چند سال گذشته، مناطق آمریکای شمالی، اروپا، و آسیا-اقیانوسیه، بر حسب هزینه به دلار، هر کدام حدود یک سوم کل سیستم‌های قابلیت‌فروخته شده را خریداری کرده‌اند. روند دیگری که در چند سال اخیر قابل ملاحظه است، توانایی بسیاری از کشورها در ساخت ماشین‌های پر قدرت با استفاده از قطعات کامپیوترهای متداول است که به وفور در دسترس قرار دارند. این مسأله باعث می‌شود محدودیت‌های صادراتی کارایی خود را از دست دهند و بسیاری کشورها وابستگی خود را به تکنولوژی رایانش سریع ایالات متحده و متحدانش مرتفع سازند. به عنوان مثال، کشور چین به شدت یک سیاست خودکفایی را در ابررایانش دنبال می‌کند. نکته جالب توجه این است که طبق قوانین تجاری ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۰۶، رایانه‌های با قدرت پردازشی بیش از ۱۹۰ Mflops محسوب شده و فروش آنها به دیگر کشورها با محدودیت مواجه است.

برنامه شبیه‌سازی و محاسبات پیشرفته

Advanced Simulation and Computing (ASC)

برنامه ASC تحت نظر معاونت ملی امنیت هسته‌ای (NNSA) و وزارت انرژی (DOE) به صورت هماهنگ در سه آزمایشگاه بزرگ ملی آمریکا یعنی لاورنس لیورمور (Lawrence Livermore)، لس آلامس (Los Alamos)، و سندیا (Sandia) اجرا می‌شود تا ایمنی و قابلیت اطمینان ذخایر تسلیحات هسته‌ای آمریکا را تضمین کند.

با توقف آزمایش‌های هسته‌ای آمریکا در اوایل دهه نود و تعلیق تولید سلاح‌های اتمی جدید، مقامات این کشور تصمیم گرفتند تسلیحات هسته‌ای خود را برای مدتی بیشتر از آنچه طراحی شده حفظ کنند. طرح ASC در سال ۱۹۹۵ آغاز شد تا بتوان آزمون امنیت تسلیحات را به جای آزمایش‌های واقعی با استفاده از شبیه‌سازی انجام داد. مأموریت آن تحلیل و پیش‌بینی کارایی، ایمنی و قابلیت اطمینان سلاح‌های هسته‌ای و تضمین عملکرد صحیح آنهاست. گفتنی است بسیاری از ابررایانه‌های قوی جهان بنا بر این برنامه ساخته شدند. از جمله این ماشین‌ها می‌توان به IBM BlueGene/L، ASCI Red و ASCI White اشاره کرد.

سه آزمایشگاه مذکور علاوه بر همکاری با یکدیگر با سازندگان ابررایانه و نیز با مراکز ابررایانش پنج دانشگاه مهم آمریکا همکاری می‌کنند. این مراکز عبارت‌اند از:

- مرکز شبیه‌سازی پاسخ دینامیکی مواد
دانشگاه کلنک
- مرکز شبیه‌سازی‌های مجتمع تلاطم (CITS)
دانشگاه استنفرد
- مرکز فلاش‌های گرما هسته‌ای اختزینی
دانشگاه شیکاگو
- مرکز شبیه‌سازی موشک‌های پیشرفته (CSAR)
دانشگاه ایلینوی در اربانا-شمپین
- مرکز شبیه‌سازی آتش‌سوزی‌ها و انفجارات غیر مترقبه
دانشگاه یوتا

اخیراً با توجه به اینکه ایالات متحده مقام اول خود را از نظر در اختیار داشتن سریع‌ترین ابررایانه جهان برای مدتی به نفع ژاپن از دست داده بود، مطالعات گسترده و برنامه‌ریزی‌های دقیقی صورت گرفت تا این کشور همچنان برتری چشمگیر خود را نسبت به سایر کشورها از نظر توان محاسباتی حفظ کند. از این رو و با توجه به سرمایه‌گذاری عظیمی که هر ساله ایالات متحده در این بخش انجام می‌دهد، به نظر نمی‌رسد در آینده نزدیک، کشور دیگری بتواند از نظر مجموع توان محاسباتی با ایالات متحده برابری کند.

مشترک از آن استفاده می‌کنند. ابررایانه بعدی نیز از نوع IBM BGW با ۴۰۹۶۰ پردازنده و توان محاسباتی پیشینه نظری ۱۱۴٫۷ Tflops و توان پیشینه به دست آمده ۹۱٫۲ Tflops می‌باشد که در مرکز تحقیقاتی IBM Thomas J. Watson از آن استفاده می‌شود.

در ایالات متحده، مرکزی به نام دفتر هماهنگی ملی (NCO) وجود دارد که بخشی از وظیفه آن هماهنگی آژانس‌های مختلف فدرال است که استفاده کننده یا توسعه دهنده ابررایانش محسوب می‌شوند و همچنین مسؤول حمایت از فعالیت‌های مرتبط با طراحی، اختصاص بودجه، و ارزیابی برنامه‌های تحقیق و توسعه فناوری اطلاعات و شبکه (NITRD) است. مرکز NCO گزارش‌های خود را به دفتر سیاست‌گذاری علم و فناوری کاخ سفید (OSTP) و شورای ملی علم و فناوری (NSTC) تسلیم می‌کند. دفتر NCO همچنین به کمیته مشورتی فناوری اطلاعات ریاست جمهوری (PITAC) یاری می‌رساند.

در ایالات متحده چندین آزمایشگاه بزرگ ملی وجود دارند که صاحب امکانات پردازش سریع پیشرفته‌ای هستند. برخی از این آزمایشگاه‌ها عبارت‌اند از:

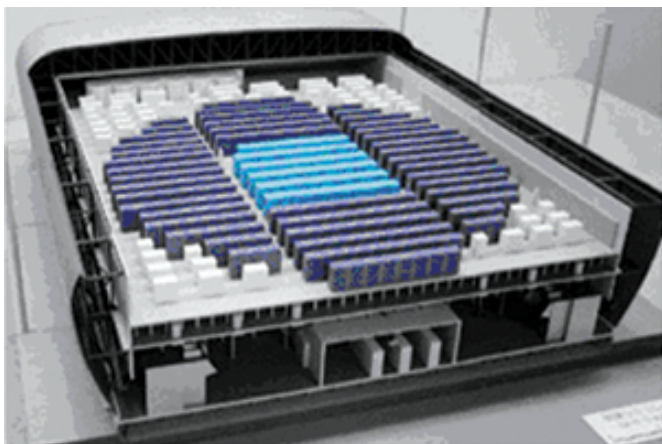
- لاورنس لیورمور (Lawrence Livermore)
- لس آلامس (Los Alamos)
- سندیا (Sandia)
- اوک ریج (Oak Ridge)
- آرگون (Argonne)

این کشور همچنین مراکز ابررایانش متعددی در اختیار دارد. چهار مورد از مهم‌ترین آنها که توسط بنیاد ملی علوم آمریکا (NSF) حمایت می‌شوند، عبارت‌اند از:

- مرکز ملی کاربردهای ابررایانش (NCSA)
- مرکز ابررایانش پیتسبورگ (PSC)
- مرکز ابررایانش سن دیه‌گو (SDSC)
- بخش رایانش در مرکز ملی تحقیقات جوی (SCD/NCAR)

علاوه بر مراکز مذکور، نهادهای مختلف همچون آژانس هوا-فضای ایالات متحده (NASA) و بسیاری از دانشگاه‌های این کشور نیز دارای مراکز و آزمایشگاه‌هایی هستند که به تجهیزات پردازش سریع مجهزند. یکی از برنامه‌های مهم دولت آمریکا که باعث رشد ابررایانش شد، برنامه ASC است که در ادامه به آن می‌پردازیم.

همین‌طور، به دلیل اینکه ژاپن نیازهای نظامی به رایانش سریع ندارد، ابررایانش بر پایهٔ سودنهایی اقتصادی و اجتماعی برای اجتماع مدنی توجیه می‌شود.



شکل ۵: سیستم Earth Simulator (ES)، نمای کلی.

سیستم ES

سیستم The Earth Simulator (به اختصار، ES) به عنوان یک پروژهٔ ملی توسط سه نهاد دولتی ایجاد شد: آژانس ملی توسعهٔ فضایی ژاپن (NASDA)، انستیتوی تحقیقات انرژی اتمی ژاپن (JAERI)، و مرکز علوم و تکنولوژی دریایی ژاپن (JAMSTEC).

ماشین ES (شکل ۵) در ساختمانی با طراحی خاص به نام مرکز Earth Simulator (با ابعاد تقریبی $۱۷\text{m} \times ۶۵\text{m} \times ۵\text{m}$) مستقر شده است. ساخت و نصب ES در مرکز مذکور که متعلق به JAMSTEC است، در پایان فوریهٔ ۲۰۰۲ خاتمه یافت. این سیستم هم اکنون توسط JAMSTEC تحت نظر وزارت آموزش، فرهنگ، ورزش، علوم و تکنولوژی (MEXT) اداره می‌شود.

ماشین ES یک ابررایانهٔ برداری موازی سنگین با سیستم حافظهٔ توزیع شده می‌باشد. این سیستم که بر پایهٔ معماری NEC SX بنا شده، از ۶۴۰ گره پردازنده تشکیل شده است. هر گره حاوی ۸ پردازندهٔ برداری (۸Gflops بیشینهٔ توان هر پردازنده) با چرخهٔ ساعت ۲ns، یک حافظهٔ مشترک ۱۶ گیگابایتی، یک واحد کنترل دسترسی از دور (RCU)، و یک پردازندهٔ I/O است. این گره‌ها توسط یک شبکهٔ crossbar تک مرحله‌ای (۱۸۰۰ مایل کابل یا ۸۳۰۰۰ کابل مسی) با پهنای باند بین بخشی ۱۶GB/s به هم متصل شده‌اند. در نتیجه سیستم دارای ۵۱۲۰ پردازنده، ۴۰Tflops بیشینهٔ توان محاسباتی نظری، و ۱۰TB حافظه است. به علاوه ۷۰۰TB فضای دیسک و $۱/۶\text{PB}$ فضای ذخیرهٔ انبوه نیز از دیگر خصوصیات سیستم است. مساحت کل تحت اشغال این ابررایانه بالغ بر ۴۰ زمین تنیس (تقریباً یک هکتار) و ۳ طبقه است.

ژاپن

بین توان رایانش سریع ژاپن و آمریکا هم تفاوت‌ها و هم شباهت‌هایی وجود دارد که به طور جداگانه به آنها می‌پردازیم.

شباهت‌ها

در بسیاری زمینه‌ها مسائل و نگرانی‌های موجود در مورد ابررایانش تا حد زیادی بین ژاپن و آمریکا مشابه است. ابررایانش همواره برای اکتشافات و ابداعات علمی و مهندسی بسیار پراهمیت است. خیلی از مواردی که در آنها از ابررایانش استفاده می‌شود بین آمریکا و ژاپن مشترک هستند، به عنوان مثال، مدل‌سازی آب و هوا، شبیه‌سازی زمین‌لرزه، و سیستم‌های زیستی. ولی ژاپن مأموریت‌های دفاعی نظیر نظارت بر ذخایر تسلیحات هسته‌ای که از دیرباز محرک صنعت ابررایانش در ایالات متحده بوده است، ندارد. در هر دو کشور، جامعهٔ رایانش سریع نسبت به کل جامعهٔ علمی و مهندسی کوچک بوده و بعید است جمعیت زیادی پیدا کند. در هر دو کشور ترغیب محققان جوان به کسب مهارت‌های لازم جهت شبیه‌سازی و رایانش سریع بسیار مشکل است. حیات تجاری معماری‌های قدیمی ابررایانه دارای پردازنده‌های برداری و حافظه‌های با پهنای باند بالا بسیار مشکل است. خوشه‌های متداول (commodity clusters) به طور فزاینده در حال جایگزینی و در اختیار گرفتن بازار این نوع سیستم‌های سنتی هستند. توجیه سرمایه‌گذاری‌های عظیم مورد نیاز برای ادامهٔ پیشرفت سیستم‌های رایانش سریع سفارشی، و همچنین توسعهٔ معماری برداری بسیار مشکل‌تر شده است. با این همه، حداقل یک شرکت بزرگ در ژاپن (NEC) هنوز به تولید ابررایانه‌های برداری ادامه می‌دهد.

تداوم طرح‌های رایانش سریع در هر دو کشور به یک مشکل تبدیل شده است. پروژهٔ ES در سال ۱۹۹۶ اراکه شد و در سال ۱۹۹۷ در زمانی که شرایط اقتصادی و سیاسی ژاپن با امروز متفاوت بود، به صورت رسمی آغاز شد. در شرایط کنونی اقتصادی و سیاسی ژاپن، اختصاص وجوه دولتی قابل ملاحظه به صورت مداوم به پروژه‌های عظیم و ابداعی رایانش سریع، بسیار سخت‌تر شده است. مشکل مشابهی هم در ایالات متحده وجود دارد. استفاده از رایانش سریع به علت فقدان نرم‌افزارهای مناسب و سختی استفاده از ماشین‌های ارزان‌تر با پهنای باند حافظهٔ کمتر، در هر دو کشور محدود شده است.

تفاوت‌ها

تفاوت‌های قابل توجهی بین ژاپن و آمریکا وجود دارد. معماری‌های سنتی ابررایانه (برداری، شبه برداری، ...) نقش بیشتری در ژاپن بازی می‌کنند. ماشین‌های برتر NEC، Fujitsu، و Hitachi هنوز نقطهٔ اتکای مراکز ابررایانش آکادمیک و آزمایشگاه‌های ملی حساب می‌شوند. در نتیجه بیشتر به نرم‌افزارهای تهیه شده توسط تولیدکنندگان اتکا می‌شود تا به نرم‌افزارهای شرکت‌های ثالث و یا نرم‌افزارهای متن-آزاد (open source) که کمتر در دسترس هستند. با این وجود گرایش‌هایی به استفادهٔ بیشتر از خوشه‌ها و نرم‌افزارهای متن-آزاد پدید آمده است.

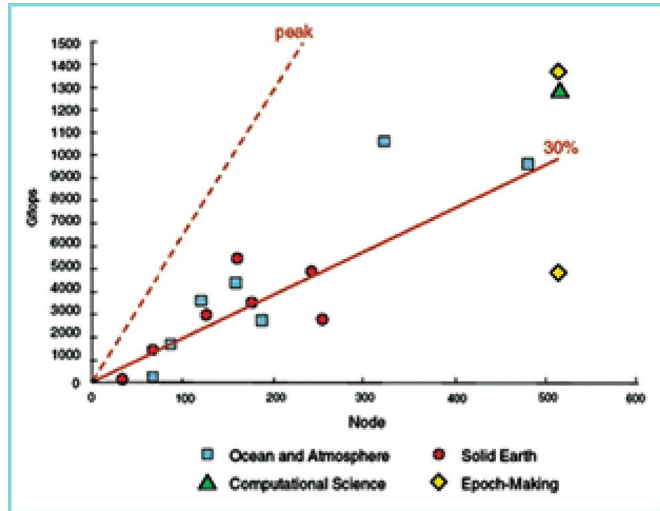
ASC رفع نیازهای نظامی است و برای امور داخلی ایالات متحده از آن استفاده می‌شود.

- بخش عظیمی از سرمایه‌گذاری ES به مصرف توسعه تکنولوژی SX-6 کمپانی NEC رسید. برنامه ASC تنها سرمایه‌گذاری نسبتاً کمی در زمینه تحقیق و توسعه صنعتی کرده است.
- سیستم ES از پرزنده‌های سفارشی برداری استفاده می‌کند، ولی سیستم‌های تحت ASC از پرزنده‌های متداول بهره می‌گیرند.
- بیشتر تکنولوژی نرم‌افزاری ES از خارج از کشور فراهم شده است، هر چند اغلب در ژاپن تغییر یافته و بهینه‌سازی شده است. برای مثال، تعداد قابل توجهی از کدهای ES با استفاده از یک نگارش HPF که توسط ژاپنی‌ها گسترش داده شده، نوشته شده‌اند. اما تقریباً تمام نرم‌افزارهای استفاده شده در برنامه ASC در داخل ایالات متحده تهیه شده‌اند.

عجیب این است که مقام اول Earth Simulator در فهرست TOP500 باعث غرور ملی ژاپنی‌ها نشده است. در واقع، برخی پژوهشگران ژاپنی احساس می‌کنند که ES بسیار گران است و منابع مهم زیادی از پروژه‌های علمی دیگر را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به بحران اقتصادی دنباله‌دار ژاپن و کسری‌های عظیم بودجه، توجیه دولت برای حمایت پروژه‌هایی از این دست بسیار مشکل شده است.

نحوه تخصیص زمان محاسباتی در ES با آنچه توسط NSF در مراکز ابررایانش آمریکا انجام می‌شود کاملاً تفاوت دارد. بیشتر پروژه‌ها توسط کنسرسیوم‌های بزرگی از دانشمندان که با هم تصمیم می‌گیرند چه پروژه‌هایی بیشتر مطلوب جامعه علمی هستند، حمایت می‌شود. رئیس اجازه دارد به صلاحدید خود تا ۲۰ درصد از زمان را اختصاص دهد، که می‌تواند برای وارد کردن استفاده‌کنندگان جدید مثل صنعت و حمایت از کاربران بین‌المللی به‌کار رود. شرکت‌های بخش خصوصی ژاپن اجازه دارند از منابع ابررایانه دولتی استفاده کنند. برای مثال، تولیدکنندگان خودرو یادداشت تفاهمی برای استفاده از ES امضا کرده‌اند.

دسترسی به ماشین ES از راه دور امکان‌پذیر نیست، هر چند این سیاست ممکن است در داخل ژاپن تغییر کند. کاربران باید در محل ES استفاده نمایند. آنها فقط موقعی می‌توانند از ماشین استفاده کنند که بتوانند بر روی یک زیرسیستم کوچک نشان دهند که کدهایشان قادرند از کسر قابل توجهی از بیشینه توان محاسباتی بهره‌برداری کنند. به خاطر پرزنده‌های سفارشی با پهنای باند بالایی که در ES به کار رفته است و سیاست گزینش کاربران، کدهایی که روی ES اجرا می‌شوند، به طور متوسط، به توان تضمین شده‌ای برابر ۳۰ درصد توان بیشینه دست می‌یابند. بنابراین از این سیستم به عنوان یک سیستم قابلیت‌ی استفاده می‌شود، ولی به قیمت دور ماندن دانشمندانی که نمی‌توانند به این قابلیت دست پیدا کنند. همکاری‌های بین‌المللی بیشمار در مرکز ES در حال انجام است، از جمله یک برنامه مشترک بین NCAR و انستیتوی



شکل ۶: کارایی Earth Simulator ارزیابی شده در سال ۲۰۰۲ بر حسب گروه‌های کاربردی مختلف.

بیشتر کدها از MPI برای ارتباطات سراسری و از OpenMP یا microtasking برای موازی‌سازی درون گرهی استفاده می‌کنند. برخی کدها از HPF برای موازی‌سازی سراسری استفاده می‌نمایند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود کارایی «حمایت شده» که توسط کدهای کاربردی به دست آمده، بسیار قابل تحسین است: ۲۶/۵۸ Tflops در شبیه‌سازی جوی سراسری؛ ۱۴/۹ Tflops در کد شبیه‌سازی سه بعدی سیالات که با استفاده از HPF برای گداخت نوشته شده بود، و ۱۶/۴ Tflops در شبیه‌سازی آشفستگی.

آقای تetsuya ساتو (Tetsuya Sato)، رئیس مرکز Earth Simulator، طرح‌هایی برای ساخت یک ماشین بسیار پر قدرت دیگر در نظر دارد و در حال فراهم آوردن حمایت لازم برای آن است. اخیراً برنامه‌هایی نیز برای تحقیق در فناوری به منظور تولید جانشین ES با ۲۵ برابر کارایی ES اعلام شد.

معرفی Earth Simulator نگرانی زیادی در ایالات متحده به وجود آورد که مبادا آمریکا برتری خود را در زمینه رایانش سریع از دست بدهد. هر چند از دست دادن مقام اول در میان سریع‌ترین ماشین‌های محاسباتی جهان، غرور ملی آمریکاییان را خدشه‌دار کرد، ولی باید به مسائل پیرامون این تعویض مقام آمریکا و ژاپن نیز توجه کرد. توسعه ES نیازمند سرمایه‌گذاری عظیمی در حدود ۵۰۰ میلیون دلار، شامل هزینه تأسیسات لازم برای استقرار سیستم و تلاش بسیار زیاد در یک دوره طولانی بود. با اینکه ایالات متحده تحت برنامه ASC سرمایه‌گذاری بیشتری در این زمینه کرده، ولی همه هزینه صرف یک ماشین واحد نشده است. تفاوت‌های مهم دیگر عبارت‌اند از:

- سیستم ES برای تحقیقات پایه ایجاد شده و در معرض استفاده کشورهای مختلف قرار گرفته است، در حالی که انگیزه اصلی برنامه

۲۰۰۳ به مقام چهاردهم، در ژوئن ۲۰۰۴ به مقام دهم، در نوامبر ۲۰۰۴ به مقام هفدهم، در ژوئن ۲۰۰۵ به مقام هجدهم و در نوامبر ۲۰۰۵ به مقام بیست و ششم دست یافت. از ژوئن ۲۰۰۳ مجموع قدرت محاسباتی فهرست TOP500 با ضریب ۳ در هر ۶ ماه در حال افزایش بوده است. در فهرست نوامبر ۲۰۰۵، چین با دارا بودن مجموع توان بیشینه Tflops ۵۹ بعد از آمریکا، ژاپن، بریتانیا و آلمان در مقام پنجمین بازیگر عمده قرار دارد. قدرتمندترین ماشین موجود در چین یک ابررایانه ساخت IBM با بیشینه توان ۲۱ Tflops می باشد که در بخش هواشناسی چین از آن استفاده می شود. اما قوی ترین ابررایانه ساخت چین که در فهرست نوامبر ۲۰۰۵ در مقام چهل و دوم قرار دارد خوشه ای متشکل از ۲۵۶۰ ریزپردازنده Opteron سازمان یافته در ۶۴۰ گره چهارتایی است که توسط شبکه میان ارتباطی Myrinet به هم متصل شده اند. این سیستم در مرکز ابررایانش شانگهای توسط شرکت Chinese Dawning ساخته و نصب شده است. این شرکت فناوری های سرور و ایستگاه کاری (workstation) را که توسط آکادمی علوم چین (CAS-ICT)، مرکز ملی تحقیقات برای سیستم های محاسباتی هوشمند (NCIC)، و مرکز ملی تحقیق برای رایانه های سریع، تولید می شود، به بازار عرضه می کند.

ماشین دیگر چینی که در رده نودوسوم قرار دارد، DeepComp 6800 است. این سیستم خوشه ای با استفاده از ۱۰۲۴ پردازنده Itanium و یک شبکه میان ارتباطی Quadrics QsNet ساخته شده است و در آکادمی علوم چین (CAS-ICT) از آن استفاده می شود. این سیستم توسط Chinese Lenovo Group Limited مونتاز شده است. CAS-ICT سهامدار اصلی Lenovo است که خود یکی از بزرگ ترین تولیدکنندگان رایانه های شخصی در چین است.

همین طور چین در حال توسعه فناوری ریزپردازنده خود نیز هست: ریزپردازنده Dragon Godson یک تراشه شبیه MIPS است با توان پایین. پردازنده Godson-II با سرعت ۵۰۰ MHz کار می کند و توانی برابر ۵W مصرف می نماید. شرکت Dawning برنامه هایی را نیز برای ساخت سیستم های خوشه ای با استفاده از این پردازنده اعلام کرده است.

کره جنوبی

بنابر اطلاعات موجود در فهرست TOP500 مورخ نوامبر ۲۰۰۵، کره جنوبی ۷ عدد از ۵۰۰ سیستم برتر دنیا را در اختیار دارد که بهترین آنها در رده شانزدهم فهرست قرار دارد. گفتنی است که تعداد ماشین های کره در فهرست ژوئن ۲۰۰۵ به ۱۴ عدد می رسید. این کشور از ژوئن ۱۹۹۳ با در اختیار داشتن ۳ ابررایانه در فهرست حضور پیدا کرد و در نوامبر ۲۰۰۱ به بیشترین تعداد ماشین خود در این فهرست یعنی ۱۶ عدد دست یافت. اکنون بیشتر ابررایانه ها در کره به عنوان سرورهای خدمات اطلاعاتی و تجاری به کار گرفته می شوند تا ابزارهای کمکی جهت تحقیقات پایه. این امر با آنچه در آمریکا مشاهده می شود کاملاً در تضاد است. در

مرکزی تحقیقات صنایع انرژی برق (CRIEPI)، در زمینه انتقال و اجرای NCAR CCSM بر روی ES، و یک برنامه تحقیقاتی مشترک با دانشمندان انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا در مورد شبیه سازی زمین لرزه.

مراکز دیگر ژاپنی

دیگر تأسیسات عظیم ابررایانه ای در ژاپن در مراکز ابررایانه دانشگاهی، در آزمایشگاه های ملی و در صنعت یافت می شوند. در فهرست TOP500 در نوامبر ۲۰۰۶، مقام هفتم از آن Earth Simulator در مرکز به همین نام بود؛ مقام دوازدهم از آن یک ماشین IBM به نام Blue Protein بود که در مرکز تحقیقات زیست شناسی محاسباتی در انستیتوی ملی دانش و تکنولوژی پیشرفته صنعتی (AIST) از آن استفاده می شود؛ مقام سی و هشتم هم از آن یک سیستم Hitachi بود که در همین کمپانی به کار گرفته می شود. البته در این فهرست موارد دیگری نیز از مراکز ژاپنی دیده می شود. حضور سازندگان ژاپنی کاملاً در این فهرست قابل توجه است. خوشه های متداول (commodity clusters) نیز امروزه بیشتر در حال رایج شدن هستند.

قبلاً مراکز ابررایانه دانشگاهی در ژاپن به صورت مستقیم از دولت بودجه دریافت می کردند. بودجه ها خیلی باثبات بودند و هر مرکز با یک تولید کننده رابطه دراز مدتی برقرار کرده بود. این مراکز بیشتر به صورت cycle-shops (یعنی مراکزی که باعث پیشرفت تکنولوژی نمی شوند، بلکه بیشتر وضعیت فعلی آن را حفظ می کنند) در حمایت از یک جامعه کاربری تحقیقاتی، اداره می شده اند. برای مثال، در مرکز ابررایانش دانشگاه توکیو، کاربردهای اصلی عبارتند از مدل سازی آب و هوا و شبیه سازی زمین لرزه. به نظر می رسد در مراکز ژاپنی، توسعه نرم افزار و حمایت از مشتری نسبت به مراکز NSF در ایالات متحده کمتر است.

از آوریل ۲۰۰۴ دانشگاه های ژاپنی خودمختاری مالی بیشتری پیدا کردند. سرمایه ها به دانشگاه تحویل می شود و دانشگاه تصمیم می گیرد که وجوه را در چه مواردی صرف کند. دانشگاه ها تشویق می شوند که مدل آمریکایی ها را در زمینه یافتن پشتیبان و توسعه همکاری با صنعت دنبال کنند. این تغییر می تواند تأثیر زیادی بر مراکز دانشگاهی ابررایانش موجود بگذارد زیرا دولت دیگر به مراکز رایانش سریع پول اختصاص نمی دهد.

چین

چین به شدت در تلاش است تا در زمینه پردازش سریع خودکفا شود. استراتژی چینی ها بر مبنای استفاده از سیستم های متداول پایه ریزی شده است که با فناوری بومی بهینه سازی می شوند؛ به این وسیله وابستگی آن کشور به فناوری هایی که ممکن است مورد تحریم قرار بگیرند، کاهش می یابد. چین تا سال های اخیر تقریباً هیچ حضوری در فهرست TOP500 نداشت. در ژوئن ۲۰۰۳ به مقام پنجاه و یکم، در نوامبر

در دست دارد که انتظار می‌رود سال آینده ساخت آن تمام شود. ماشین High-End Computing Terascale Resource

یا HECTOR قادر خواهد بود به سرعت ۱۰۰ Tflops دست یابد. بعضی کاربران انگلیسی اخیراً به جای استفاده از سیستم‌های برادری به استفاده از سیستم‌های بر پایه کامپیوترهای رایج متمایل شده‌اند. مرکز اروپایی پیش‌بینی هوا در محدوده متوسط، که یک مشتری عمده Fujitsu بود، اکنون یک سیستم IBM بر مبنای پردازنده Power 4 در اختیار دارد که در فهرست ژوئن ۲۰۰۴ مقام ششم را کسب کرد. از طرف دیگر، مراکز هواشناسی بسیاری، از جمله دفتر هواشناسی بریتانیا و DKRZ، مرکز آلمانی رایانش سریع برای تحقیق در سیستم‌های آب و هوایی و زمینی، بیشتر تمایل دارند از سیستم‌های سفارشی SX-6 با به ترتیب ۱۲۰ و ۱۹۲ پردازنده استفاده کنند. مرکز EPCC یک استفاده کننده عمده Cray T3E است و مقام هجدهم را در فهرست TOP500 (البته در سال ۲۰۰۴) در اختیار دارد. همین‌طور CSAR از ماشین‌های حافظه مشترک عظیمی با پردازنده‌های Origin و Altix استفاده می‌کند. یک جنبه جالب توجه رایانش سریع در بریتانیا، استفاده از قراردادهای بلند مدت جهت خدمات است. هم EPCC و هم CSAR قراردادهای خدمات ۶ ساله با سازندگان بسترهای محاسباتی دارند که شامل تحویل یک بستر اولیه و یک نوسازی ۳ ساله می‌شود. طرح‌هایی در دست است که مدت این قراردادها به ده سال قابل افزایش باشد (البته با نوسازی‌های سخت‌افزاری دوره‌ای).

آلمان

تعداد ابررایانه‌های آلمان تقریباً بیش از نیمی از ابررایانه‌های بریتانیا است، هر چند در سال ۲۰۰۴ این دو کشور تقریباً به یک تعداد ابررایانه داشتند. بسیاری از این سیستم‌ها در مراکز منطقه‌ای که از طرف حکومت‌های ایالتی به صورت محلی و همچنین برنامه‌های فدرال حمایت می‌شوند، قرار دارند. سه مرکز ملی در آلمان وجود دارد (آمار سال ۲۰۰۴): HLRS در اشتوتگارت، NIC در یولیش، و LRZ در مونیخ. مراکز اشتوتگارت و مونیخ، تعداد زیادی سیستم سفارشی را در خود جای داده‌اند: یک NEC SX-6 با ۴۸ پردازنده در اشتوتگارت، یک Hitachi SR8000-F1 با ۵۲ پردازنده در مونیخ.

البته آلمان در فهرست سال ۲۰۰۵ به سیستم‌های آمریکایی و سیستم‌های خوشه‌ای بیشتر روی آورد. مثلاً مرکز FZJ در یولیش یک سیستم IBM از نوع pSeries 690 مبتنی بر Power4+ با ۱۳۱۲ پردازنده و یک نمونه از سری Blue Gene با ۲۰۴۸ پردازنده در اختیار دارد. مرکز Adam Opel AG یک ابررایانه IBM با ۷۲۰ پردازنده در اختیار دارد. نهادهای دولتی آلمان هم به وفور از سیستم‌های خوشه‌ای استفاده می‌کنند.

ایالات متحده میزان استفاده تجاری و صنعتی از ابررایانه تقریباً با میزان استفاده دانشگاهی به علاوه استفاده در انستیتوهای عمومی برابری می‌کند. شرکت‌های IBM، Cray، و HP تقریباً همه بازار کره را در اختیار گرفته‌اند ولی کره به ساخت سیستم‌های خوشه‌ای نیز مبادرت کرده است.

بخش هواشناسی کره با داشتن یک Cray X1E با ۱۰۲۰ پردازنده و توان پیشینه ۱۸ Tflops در رده شانزدهم فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵ قرار دارد. دانشگاه ملی سئول نیز با در اختیار داشتن یک ابررایانه IBM با قدرت ۸ Tflops در رده شصت و چهارم فهرست، و انستیتوی علم و فناوری کره با داشتن یک ابررایانه IBM با قدرتی برابر ۵ Tflops در رده ۱۵۶ قرار دارد.

اروپا

کشورهای قاره اروپا در فهرست نوامبر ۲۰۰۵ مجموعاً حدود ۱۰۰ عدد از سیستم‌های فهرست TOP500 را در اختیار دارند؛ این مقدار برابر ۲۰ درصد کل سیستم‌های موجود در فهرست و بالغ بر ۱۶ درصد از کل توان محاسباتی آنهاست. با این حال هنوز معلوم نیست که آیا باید اتحادیه اروپا را یک نهاد واحد در نظر گرفت یا نه. در گذشته، اتحادیه اروپا سرمایه‌گذاری‌های هماهنگ قابل توجهی در تحقیقات رایانش سریع انجام داده است. در برنامه اساسی چهارم اروپا

Forth EU Framework Program (1995-1998)

برای تحقیق و توسعه تکنولوژیک، حدود ۲۴۸ میلیون یورو برای رایانش و شبکه‌بندی سریع (HPCN) تخصیص یافت. با وجود این، رایانش سریع به عنوان یک زمینه مجزا در برنامه‌های اساسی پنجم و ششم شناخته شده است. زمینه‌های موضوعی عبارت‌اند از دانش‌های زیستی، فناوری اطلاعات، نانو تکنولوژی، هوانوردی و فضا، کیفیت و امنیت غذایی، توسعه پایدار، و شهروندان و حکومت. با اینکه برخی از نهادهای مربوط به این عناوین از سیستم‌های رایانش سریع حمایت می‌کنند، ولی کاملاً مشخص است که رایانش سریع در اروپا بیشتر بنا به سیاست‌های ملی به پیش می‌رود تا برنامه‌های اتحادیه.

بریتانیا

بریتانیا با دارا بودن دو مرکز بزرگ علمی (مرکز رایانش موازی EPCC در ادینبورو و کنسرسیوم CSAR در منچستر) بزرگ‌ترین استفاده کننده ابررایانه در اروپاست. اخیراً این کشور یک برنامه عظیم e-science با بودجه کلی ۲۱۳ میلیون پوند اعلام کرده است. با این بودجه از یک مرکز ملی در ادینبورو، نه مرکز منطقه‌ای، و هفت مرکز برتر حمایت مالی می‌شود. این طرح سرمایه قابل توجهی نیز برای ابررایانه‌ها به عنوان بخشی از یک زیرساخت توری (grid) فراهم می‌نماید. همین‌طور دولت بریتانیا طرحی برای ساخت قوی‌ترین ابررایانه اروپا با بودجه‌ای ۵۲ میلیون پوندی

رژیم اشغالگر قدس با دارا بودن ۹ سیستم در فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵ (۱/۸ درصد کل ماشین‌ها)، بعد از استرالیا و بالاتر از کشورهای چینی، فرانسه، کره جنوبی، ایتالیا و کانادا قرار گرفته است. مجموع بیشینه توان محاسباتی این رژیم ۲۳/۵ Tflops است که حدود ۱۰۲ درصد کل فهرست TOP500 را تشکیل می‌دهد. بهترین سیستم این کشور ساخت IBM است و در اختیار یک کمیته صنایع نیمه‌هادی قرار دارد. این ماشین دارای بیشینه توان ۶/۸ Tflops است و مقام صد و چهاردهم را در فهرست TOP500 دارد.

هند

هند در فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵ تنها ۴ سیستم (۰/۸ درصد کل ماشین‌ها) در اختیار دارد. مجموع بیشینه توان محاسباتی این کشور ۱۱/۳ Tflops است که حدود ۰/۴۹ درصد کل فهرست TOP500 را تشکیل می‌دهد. بهترین سیستم هند ساخت IBM است و از آن برای مطالعات زمین‌شناسی استفاده می‌گردد. این ماشین دارای بیشینه توان ۹/۶ Tflops است و در مقام صد و یازدهم فهرست TOP500 قرار دارد.

عربستان

عربستان سعودی در فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵ تنها ۴ سیستم (۰/۸ درصد کل ماشین‌ها) در اختیار دارد. مجموع بیشینه توان محاسباتی این کشور ۱۱/۹ Tflops است که حدود ۰/۵۲ درصد کل فهرست TOP500 را تشکیل می‌دهد. بهترین سیستم عربستان ساخت IBM است و در یک شرکت نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماشین دارای بیشینه توان ۹/۸ Tflops است و در مقام صد و هفتم فهرست TOP500 قرار دارد.

^۱ اطلاعات موجود در این بخش راجع به توان ژاپن و دیگر کشورها (بجز ایالات متحده)، از کتاب

Getting Up to Speed: The Future of Supercomputing, The National Academies Press, Washington, D.C., 2004.

که به منظور بررسی آیندهٔ ابررایانش در ایالات متحده به رشتهٔ تحریر در آمده، اقتباس شده است. این تحقیق به سفارش دفتر علوم وزارت انرژی آمریکا DOE و توسط کمیته‌ای مرکب از اعضای بنیاد ملی علوم (National Research Council) انجام شد و دولت آمریکا از نتایج آن برای تصمیم‌گیری‌های آتی در مورد سرمایه‌گذاری و اختصاص بودجه در بخش ابررایانش استفاده می‌کند.

فرانسه در زمینهٔ ابررایانش از آلمان و بریتانیا عقب افتاده است. عظیم‌ترین ابررایانهٔ فرانسه توسط کمیسیون انرژی اتمی فرانسه (CEA-DAM) بهره‌برداری می‌شود و با توان بیشینه ۵/۸ Tflops در فهرست نوامبر ۲۰۰۵ در مقام شصت و دوم قرار دارد. این ماشین جهت حمایت از برنامه‌های به‌کار می‌رود که معادل برنامهٔ ASC در ایالات متحده است. این سیستم بسیار شبیه (اما کوچک‌تر از) سیستم ASC-Q در آزمایشگاه LANL در آمریکا است. برخلاف مراکز آمریکایی، مرکز فرانسوی تا حدی در اختیار شرکای صنعتی و آژانس‌های دیگر (نظیر انرژی، EDF؛ فضا، ONERA؛ موتورها، SNECMA؛ و توربین‌ها، TURBOMECA) نیز قرار دارد. سیستم قدرتمند بعدی فرانسه استفادهٔ صنعتی دارد و در اختیار Total SA است. فرانسه دو مرکز ابررایانش آکادمیک نیز دارد: CINES (۵۵ نفر کارمند، بودجهٔ سالانهٔ ۱۰ میلیون یورو) و IDRIS (۴۴ نفر کارمند، بودجهٔ سالانهٔ تقریباً ۱ میلیون یورو).

اسپانیا

اسپانیا دیگر کشور قدرتمند اروپایی، با دارا بودن سیستمی با توان بیشینهٔ ۴۲ Tflops قوی‌ترین ماشین اروپا (مقام هشتم جهان در فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵) را در مرکز ابررایانهٔ بارسلونا در اختیار دارد. دولت اسپانیا طرحی برای سرمایه‌گذاری ۷۰ میلیون یورویی در مرکز ملی ابررایانش برای ۴ سال در دست دارد که قدرت این کشور را به شدت افزایش خواهد داد.

استرالیا

استرالیا با دارا بودن ۱۱ ابررایانه در فهرست TOP500 نوامبر ۲۰۰۵ (۲/۲ درصد کل ماشین‌ها)، بعد از چین ششمین قدرت رایانشی جهان از نظر تعداد سیستم‌هاست. مجموع بیشینه توان محاسباتی این کشور ۳۴/۴ Tflops می‌باشد که حدود ۱/۵ درصد کل فهرست TOP500 را تشکیل می‌دهد. بهترین سیستم استرالیا ساخت SGI است و در اختیار Australian Partnership for Advanced Computing (APAC) قرار دارد. این ماشین دارای بیشینه توان ۹/۸ Tflops است و دارای مقام سی و هشتم فهرست TOP500 می‌باشد. استرالیا سرمایه‌گذاری زیادی در بخش محاسبات توری (Grid Computing) کرده است که به توان محاسباتی این کشور در آینده نزدیک کمک شایانی خواهد کرد.