

و تکنیکهای کاهش مصرف انرژی Green Cloud Computing

جناب آقای دکتر میر سعید حسینی شیروانی^۱، عباس قندالی^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری ، mirsaeid_hosseini@yahoo.com

^۲دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری ، a.ghandali.vuast.ir@gmail.com

چکیده

اینترنت ، دنیای محاسبات را تحت تأثیر قرار داده است و این روند به سمت رایانش ابری حرکت داشته است. رایانش ابری ، نسل جدیدی از مراکز داده ای را ایجاد می‌کند و با ارائه سرویس ها و خدمات در ماشین های مجازی شبکه شده بصورت پویا، این امکان را به کاربران می‌دهد که بتوانند از هر جایی از دنیا به برنامه های کاربردی مورد نیازشان دسترسی داشته باشند. با ظهور رایانش ابری و رشد درخواست از ساختار ابری باعث افزایش چشمگیر مصرف انرژی در مراکز داده شده است که این مصرف بالای انرژی نه تنها سبب افزایش هزینه ها شده است بلکه سبب کاهش میزان سود با ایجاد زیر ساخت ابر نیز شده است و همچنین تولید گازهای گلخانه ای مانند دی اکسید کربن که عامل محرکی برای محیط زیست به شمار می‌آید، شده است. در (رایانش/محاسبات ابری سبز) Green Cloud Computing می‌توان با استفاده از یک سری رویکردها و الگوریتم ها انرژی مصرف شده و توان مصرفی را کاهش داد.

واژگان کلیدی: رایانش ابری سبز، محاسبات ابری سبز، رایانش سبز، رایانش ابری، محاسبات ابری

مقدمه

مدل خدمات رایانش ابری شامل ارائه یک سرویس دهنده خدمات از استخر بزرگی از منابع محاسباتی با کارآیی بالا و دستگاه های ذخیره سازی با ظرفیت بالا هستند، که در میان کاربران نهایی نسبت به نیازشان تقسیم می‌گردند. مدل های خدمات ابر بسیاری وجود دارد، اما به طور کلی کاربران نهایی خدماتی را تصویب می‌کنند که به داده های میزبان خود به وسیله هی سرویس دسترسی داشته باشند و توان دستیابی به منابع محاسباتی تخصیص داده شده برای تقاضا از استخر را دارا باشند.

رایانش ابری به طور بالقوه یک مزیت مالی کلی را ارائه می‌دهد، که در آن کاربران نهایی یک استخر مدیریت شده می‌گزینند و بزرگ را برای ذخیره سازی و منابع محاسباتی به جای داشتن و مدیریت کردن سیستم های خود، به اشتراک می‌گذارند. اغلب با استفاده از مراکز داده های موجود به عنوان پایه و اساس، ارائه دهنده ای خدمات ابر در زیرساخت های لازم و سیستم های مدیریت سرمایه گذاری می‌کنند و در عوض حق الرحمه ای مبتنی بر زمان و یا مبتنی بر استفاده از کاربران نهایی دریافت می‌کنند. از طریق استفاده از سرورها و واحدهای ذخیره سازی بزرگ به اشتراک گذاشته شده، رایانش ابری می‌تواند در ارائه خدمات محاسبات و خدمات ذخیره سازی پیشنهادی مبتنی بر حفظ انرژی ارائه دهد.

رایانش ابری شامل افزایش اندازه و ظرفیت مراکز داده و شبکه ها می‌باشد، اما اگر به درستی مدیریت شده باشد و مراکز داده به سمت مدل های فناوری موثر ابتکاری کشیده شوند، رایانش ابری به طور بالقوه می‌تواند منجر به صرفه جویی انرژی زیادی گردد.

در فصل اول به شرح رایانش ابری، رایانش ابری سبز و نقش آن در دنیای فناوری اطلاعات پرداخته می‌شود. در فصل دوم، رویکردها، استراتژی ها و الگوریتم های مورد نیاز برای بهینه سازی مصرف انرژی در رایانش ابری شرح داده خواهد شد. در فصل سوم چالش های پیکربندی ماشین های مجازی در محیط ابر بررسی می‌شود. در فصل چهارم، مدل های سرویس ابر وصف خواهند شد. و در آخر در فصل پنجم، نتیجه گیری را مشاهده خواهیم کرد.

۱- رایانش ابری سبز

رایانش سبز و یا فناوری اطلاعات سبز^۱، به رایانش یا فناوری اطلاعات سازگار با محیط زیست گفته می‌شود. موروگسان رشته‌ی رایانش سبز را به عنوان ”مطالعه و عمل طراحی، ساخت، استفاده و مستعد کردن کامپیوترها، سرورها و زیرسیستم‌های مرتبط - مانند صفحه نمایش‌ها، چاپگرهای دستگاه‌های ذخیره سازی و شبکه بندی و سیستم‌های ارتباطی-که تاثیر و بهره برداری حداقل از محیط داشته باشد و یا اثر شدیدی و یا ضربه‌ای به محیط وارد نکند.“ تعریف می‌کند.

کاهش استفاده از مواد خطرناک، بهره وری از انرژی در طول زمان حیات محصول و افزایش توان بازیافت یا توانایی تنزیل بیولوژیکی محصولات مرده و پساب کارخانه‌ها، از اهداف اصلی رایانش سبز هستند، که می‌توانند با بالا بردن بهره وری از کامپیوترها تا آن جا که امکانش است و طراحی الگوریتم‌ها و سیستم‌هایی برای فناوری‌های کامپیوتر به همراه به بهره وری خوب، به آن دست یافت.

۱-۱- رایانش ابری سبز در ۲ ICS و ۳ ICT

جامعه‌ی ارتباطات و اطلاعات چالش جدید دیگری را دارد که آن چالش، پایداری همراه با سازگاری با محیط زیست^۴ می‌باشد. از زمانی که منابع بهره برداری می‌شوند، آب و هوا تغییر پیدا کرده است و آلودگی‌ها بسیاری ما را به شدت تحت تاثیر قرار داده اند. پایداری همراه با سازگاری با محیط زیست یکی از مهم ترین موارد بحث و تحت نظر جامعه‌ی ارتباطات و اطلاعات قرار گرفته است.

بخش‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات یک قابلیت منحصر به فردی در کاهش اثرات زیست شناسی دارد که عموماً این کاهش‌ها شامل کاهش در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ایی^۵ می‌باشد. از آن جایی که قسمت‌های بخش مربوط به صنعت از راه حل‌های ابتکاری تکنولوژیکی استفاده می‌کنند.

موارد کلیدی‌ای که در این الگوهای انرژی دخیل است شامل، (۱) سودمندی انرژی^۶، به معنای کم کردن انرژی مورد نیاز و مصرفی یک سرویس ارائه شده برای یک دستگاه، بدون کم شدن عملکرد مفید آن و (۲) هشدار انرژی^۷، که به معنای این است که انرژی کلی محاسبات را با بارگذاری جاری و معروفی و شناخت تناسب انرژی و استفاده کردن از منابع انرژی تجدید شدنی و بیرون آوردن انرژی و توان شبکه‌های هوشمند توزیع شده در شبکه‌ها تطبیق می‌دهد. (۳) انرژی محور^۸، اهداف سودمندی انرژی و هشدار انرژی می‌توانند با هم در یک هدف سیستمی که همه‌ی طول عمر^۹ هر یک از راه حل‌های جدید برای مطمئن شدن از موثر بودن است، گرد هم می‌آیند و از اثر دوباره به جایگاه اول برگشتن جلوگیری می‌کنند.^{۱۰}

۲-۱- رایانش ابری: چالش‌ها و نیازمندی‌هایش

جان مک‌کارتی، که جایزه Turning Award را در سال ۱۹۷۱ برای اهداف بزرگش در رشته‌ی هوش مصنوعی دریافت کرده است در سال ۱۹۶۱ در MIT Centennial می‌گوید: ”اگر این نوع کامپیوترهایی که من طرفدارشان هستم تبدیل

^۱ Green IT

^۲ جامعه‌ی ارتباطات و اطلاعات

^۳ فناوری اطلاعات و ارتباطات

^۴ eco-sustainability

^۵ GHC

^۶ energy-efficiency

^۷ energy-awareness

^۸ energy-oriented

^۹ LCA

^{۱۰} مشکل منطقی مرتبط با داشتن مؤلفه‌های موثر بیشتری وجود دارد: در حقیقت، تاثیر گذاری با قدرت بالاتر ممکن است منجر به کاهش هزینه و افزایش تقاضا گردد، شاید غلبه بر افزایش سود به دست آمده با بهره وری، پدیدهای که با نام اثر برگشت شناخته شده است.

به کامپیوترهای آینده‌شوند، ممکن است روزی محاسبات تبدیل به یک صنعت همگانی دقیقاً مانند سیستم تلفن که یک صنعت عمومی است، شود. صنعت همگانی کامپیوتر ممکن است تبدیل به پایه‌ای از یک صنعت با اهمیت جدید شود.” . این دید به صنعت‌های محاسباتی بر مدل تأمین سرویس‌های ریزی شده است که سرویس‌های محاسباتی به آسانی بنا به تقاضا، قابل دسترس اند، مانند سایر خدمات امروزی صنایع همگانی (به عنوان مثال، برق) اجتماعی در دسترس.

رایانش ابری زیرساخت، پایگاه و نرم افزار به عنوان یک سرویس را تحت مدل ”موقع رفتن پرداخت کن”^۱ ارائه می‌دهد، که هر دو نوع منابع ابر فیزیکی و ابر مجازی شده را تأمین می‌کند و با زیرساخت به عنوان یک سرویس، پایگاه به عنوان یک سرویس^۲ و نرم افزار به عنوان یک سرویس^۳ به آن‌ها ارجاع می‌دهد.

رایانش ابری سه نوع وضعیت دارد: ابرهای عمومی، ابرهای پیوندی و ابرهای خصوصی، که به وسیله‌ی شبکه‌ها با هم متصل می‌باشند. در ابرها، کسب و کار و کاربران از هرجایی در جهان بدون توجه به اینکه سرویس‌های در کجا میزبان هستند، به سرویس‌های مبتنی بر نیازمندی‌هایشان دسترسی دارند.

با افزایش هزینه‌ی انرژی‌ها و همچنین تقلیل انرژی، فقط نمی‌توان روی عملکرد مدیریت منابع مرکز داده تمرکز کنیم، بلکه باید روی بهینه سازی بهره وری مناسب از انرژی نیز تمرکز کنیم همان طور که همه می‌دانند، اثرات کربنی موجب تغییر در آب و هوا می‌گردد، که نگرانی دولتهای سراسر جهان را در رابطه با این امر، در راستای توجه به کاهش اثرات کربن قرار داده است رایانش ابری نه تنها باید به گونه‌ای تخصیص یابد که نیازمندی‌های کیفیت سرویس (QoS)^۴ که به وسیله‌ی کاربران تعیین شده است را به وسیله‌ی توافقات سطح سرویس حفظ کند، بلکه همچنین باید ظباطه‌ای از استفاده از انرژی را نیز داشته باشد.

۳-۱- مشکل انرژی

تخمین زده شده است که تقاضای بشر در زیست کره که با نام اثرات زیست‌شناسی بشر^۶ شناخته شده است معادل با ۱/۵ سیاره‌ی زمین است که این به این معنی می‌باشد که انسان‌ها از منابع بوم شناسی^۷ ۱/۵ برابر سریع تر از ظرفیت زمین که برای نگهداری و بقای ما می‌باشد در حال استفاده است. که این خود یکی از چالش‌های بسیار بزرگ فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌باشد. از آن جایی که انرژی الکتریکی به عنوان انرژی مصرفی در فناوری اطلاعات و ارتباطات به صورت مستقیم از طبیعت دریافت نمی‌شود، باید از منابع انرژی اولیه یا ابتدایی استفاده شود. به عنوان نمونه، آنهایی که به صورت مستقیم در طبیعت وجود دارند مانند؛ نفت، خوشید و اتمی که ممکن است تجدید پذیر یا غیر قابل تجدید باشند استفاده نمود. منابع غیر قابل تجدید، مانند سوخت‌های فسیلی، زمانی که می‌سوزند مقادیر زیادی از گازهای گلخانه‌ای در جو (که معمولاً دیاکسید کربن معادل با CO_2 ^۸ اندازه گیری شده‌اند) آزاد می‌کنند، در نتیجه به گرم شدن کره زمین کمک می‌کنند. منابع تجدیدپذیر نیز ممکن است برای تولید برق مورد بهره برداری قرار گیرند. اکثر منابع انرژی تجدید پذیر پاک

^۱ Pay-as-you-go

^۲ Infrastructure as a Service

^۳ Platform as a Service

^۴ Software as a Service

^۵ Quality Of Service

^۶ human ecological footprint - استخراج منابع، آلودگی، تغییر آب و هوا، گرمایش زمین، تضعیف زمین (Global Dimming) و ... همه‌ی این‌ها اثرات زیست محیطی بشر را تشکیل می‌دهند

^۷ ecological resources

^۸ معادل دی اکسید کربنی که برای گازهای گلخانه‌ای یک مقدار و ترکیب را وصف می‌کند، که ممکن است در بازه‌ی زمانی که در مقیاس زمانی خاص اندازه گیری می‌شود معادل با CO_2 ای که پتانسیل در گرمایش زمین دارد باشد.

(که معمولاً به عنوان سبز نامیده می‌شوند) هستند. به این معنا که در حین استفاده از آن‌ها گازهای گلخانه‌ای (به استثناء زیست توده) انتشار نمی‌یابند. با این حال ممکن است هنوز مشکلات دیگری مانند تاثیر سمعی و بصری ناشی از موتورهای توربین‌های بزرگ بادی و یا سطح بزرگ تحت پوشش در مورد قاب‌های خورشیدی وجود داشته باشد. با این وجود از نقطه نظر زیست محیطی، منابع انرژی تجدید پذیر بیش از کل چرخه عمر خود سودمند هستند. حتی ممکن است هزینه و بهره وری آن‌ها وقتی آن‌ها را با منابع انرژی فسیلی مقایسه می‌کنیم، کم باشند. که همین امر ذکر شده اصلی ترین دلیل برای این است که به کارگیری آن‌ها باید با یک ارزیابی در مزايا و مشکلاتشان در نظر گرفته شود. علاوه بر پاک بودن، یکی از دلایل برتری انرژی‌های تجدید پذیر، پایان ناپذیر بودن آن‌ها می‌باشد. بنابراین آن‌ها گزینه‌های مناسبی برای حمایت از رشد سازگاری با محیط زیست هستند ولی با این حال منابع انرژی تجدید پذیر ممکن است همیشه در دسترس نباشند مانند خورشید و باد و یا رفتار دورهای دارند مانند جزر و مد و یا کاملاً پدیده‌های غیرقابل پیش‌بینی هستند. برخی از اینرسی توسط بسته‌های باطری و ذخیره سازی تکنیک‌های بالقوه انرژی قابل ضمانت هستند.

۴-۱- شبکه‌های هوشمند

شبکه‌های هوشمند علاوه بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، وظیفه‌ی کاهش انرژی مصرفی رو به رشد زیرساخت‌های شبکه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات را هم دارند. شبکه‌های هوشمند ستابیوی جدیدی برای تولید و مصرف انرژی به وجود آورده اند که می‌تواند به راحتی از تولید اوج نیرو جلوگیری کند و به راحتی قابل تطبیق باشد، که در آن‌ها کمیت، کیفیت و هزینه‌ی انرژی به عنوان یکتابع از نیروگاه تولیدکننده‌ی آن متفاوت است. شبکه‌های هوشمند اجازه‌ی پیوستن ساختمان‌ها، مرکز داده‌ها، ذخیره سازی‌های انجام شده با یک منبع انرژی متفاوت را می‌دهند. راه حل دیگری که برای همچنین مکان نیروگاه‌ها به مکانی که از نظر شرایط آب و هوایی و محیطی مطلوب‌تر است (به عنوان مثال، آب و هوای سرد که مورد بهره برداری برای سرد کردن ماشین آلات قرار می‌گیرد) را منتقل می‌کنند، از این‌رو شبکه‌های هوشمند نقش بنیادی و اساسی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند.

۱-۵- معیارهای^۱ بهره وری انرژی ICT

قرار گرفتن شاخص کارایی استفاده از نیرو (PUE)^۲ با بازدهی زیرساخت مرکز داده (DCiE)^۳ به وسیله‌ی شبکه سبز^۴، یک معیار مشخص شده‌ی جهانی می‌باشد که برای تخمین بازدهی انرژی مرکز داده با در نظر گرفتن تاثیر مولفه‌های معین در پاسخ‌گویی به مولفه‌های پایه‌ای، استفاده می‌شود. PUE به عنوان نرخی بین مقدار کلی و مورد نیاز کل زیرساخت و نیرویی که مستقیماً به تسهیلات ICT (رایانش، ذخیره سازی و شبکه بندی) تحويل داده می‌شود، شناخته شده است:

$$PUE = \frac{\text{نیروی کل مرکز داده}}{\text{نیروی تجهیزات ICT}}$$

به عنوان درصدی از نیروی تجهیزات ICT به وسیله‌ی نیروی کل تجهیزات بیان می‌شود:

$$DCiE = \frac{\text{نیروی تجهیزات ICT}}{\text{نیروی کل مرکز داده}} \times 100\%$$

¹metrics

²Power usage effectiveness

³data centers infrastructure efficiency

⁴GreenGrid

ارزش یک PUE از ۲ یا معادل یک DCiE ۵۰٪ی می‌تواند به صورت نمونه به وسیله‌ی امتحان کردن بیشتر تأسیسات متداول، با توجه به این که HVAC^۱ و سیستم‌های UPS نیاز انرژی مرکز داده را تقریباً دو برابر می‌کنند در نظر گرفته می‌شود.

در این سناریو تسهیلات خنک سازی پراهمیت‌ترین زهکشی انرژی موازی^۲ را نشان می‌دهد. با این حال کارایی انرژی ممنون استراتژی‌های خنک‌سازی جدیدی است که دارای هزینه‌ای، بر پایه‌ی استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و مفاهیم استفاده‌ی مجدد از جریان هوا (خنک سازی رایگان، راهرو سرد کانال‌های خنک کننده و ...) می‌باشد.

۶- کارایی انرژی^۳

از پایین ترین دانه دانگی^۴، کارایی انرژی را می‌توان در سطح دستگاه‌ها اجرا کرد، طراحی و ساخت مولفه‌های کارایی انرژی بیشتر در حالی که در سطح خدمات ارائه شده اختلالی ایجاد نمی‌کنند باعث کاهش مصرف نیرو می‌شوند و یا حتی افزایش می‌یابد. به عنوان یک مثال، Apple iMac را در سال ۲۰۰۰ در نظر بگیرید: بعد از مانیتور CRT را داشت، وزنش ۸،۱۵ کیلوگرم بود و مشخصات فنی آن پردازنده^۵ ۵۰۰ مگاهرتز، ۱۲۸ مگابایت RAM و ۳۰ گیگابایت فضای ذخیره سازی، با توان مصرف در حدود ۱۵۰ وات بودند. در سال ۲۰۱۰، ۱۰ سال پس از آن، اپل آیفون^۶، که با وجود آن که در اندازه اش طوری بود که در دست جا می‌شد و ۱۳۷ گرم وزن، به حال ۱ گیگاهرتز پردازنده، ۵۱۲ مگابایت RAM و ۳۲ گیگابایت ظرفیت ذخیره سازی و جذب توان آن تنها ۲ وات بود. علاوه بر این، ویژگی‌های پیشرفته مانند GPS، Wi-Fi و قطب نما، تلفن همراه، و غیره اضافه شده است، و با الگوی "برای کمتر بیشتر انجام بده" هم‌راستا است.

طراحی سخت افزار جدید کمایش همواره در فرآیندهای صنعتی برای دستیابی به کارایی انرژی وجود داشته است، و کاهش درخواست انرژی به عنوان یکی از مهم ترین اهداف آن باقی مانده است. با این حال، به علت دو دلیل اصلی داشتن مولفه‌های بیشتری در کارایی انرژی کافی نسیت. از یک طرف، بهره وری انرژی به تنها یکی نمی‌تواند با نیازهای روز افزون انرژی و پی‌آمد اثرات کربن مقابله کند. از طرف دیگر، افزایش بهره وری می‌تواند منجر به اثر دوباره بچای اول برگشتن شود که هر گونه بهبود را می‌تواند محدود و یا حتی باعث بدتر شدن اثرات زیست محیطی شود.

۷- رایانش ابری سبز در زیرساخت سرورهای مجازی

به جای بیش از حد تدارک دیدن برای ملاقات با تقاضاهای حداکثری بار زیر ساخت یک برنامه‌ی کاربردی، یک برنامه‌ی کاربردی می‌تواند در کسب و انتشار VM به جای نوسان بار مقیاس گذاری خودکار را انجام دهد. مقیاس گذاری خودکار بهره‌وری از سرویس دهنده را افزایش می‌دهد و همچنین زمان بیکاری را کاهش می‌دهد که این باعث کم شدن اثرات کربنی خواهد شد.

علاوه بر این، با تخصیص ماشین‌های مجازی به برنامه‌های کاربردی مبتنی بر تقاضا، کاربران می‌توانند هزینه‌های زیرساخت‌های ابری را برای سرویس دهنده‌گان به صورت تدریجی و افزایشی بپردازند به جای آن که هزینه‌های بسیار زیاد پیش رو را به سرویس دهنده‌گان جدید دهند.

مکانیزم‌های ارث بری برای کاهش مصرف انرژی و اثر شدید زیست محیطی از طریق مقیاس گذاری خودکار رایانش مشکل است. در مقیاس گذاری خودکار باید مطمئن شد که ماشین‌های مجازی توان به سرعت بوت کردن برای دستیابی به

¹ Heating, Ventilating and Air Conditioning

² Collateral Energy Drain

³ Energy Efficiency

⁴ lowest granularity

⁵ CPU

نتیجه‌ی مطلوب در زمان نیاز بارگذاری تغییرات را دارند که اگر نوسان‌های بارگذاری بسیار کند باشد، برنامه‌های کاربردی ممکن است دوره‌ای ضعیفی برای پاسخ‌گویی تخصیص منابع محاسباتی اضافی را داشته باشد. یک روش برای کم کردن این ریسک این است که صفت مقیاس گذاری خودکار را که شامل preboot و پیش‌پیکربندی^۱ می‌باشد برای نمونه‌های ماشین‌های مجازی می‌توانند به سرعت تخصیص یابند.

۲- استراتژی‌ها، رویکردها و الگوریتم‌ها

مدیریت مصرف انرژی در مراکز داده به پیشرفت‌های قابل توجهی در بهره‌وری انرژی دست یافته است و خواهد یافت. زیرساخت‌های رایانش ابری در مراکز داده قرار دارد و طور قابل ملاحظه‌ای از این پیشرفت‌ها بهره مند می‌شود. در ادامه به استراتژی‌ها، رویکردها و الگوریتم‌های مطلوب برای دستیابی به رایانش ابری سبز خواهیم پرداخت.

۱-۱- استراتژی محدود کردن انرژی

در چنین شرایط پویا و ناهمگنی، زیرساخت رایانش ابری (مراکز داده متفاوتی که در سراسر کره‌ی زمین پخش شده‌اند) باید در برابر منابع انرژی مصرفی برای نیروی تجهیزات و درخواست‌های ممکن در شبکه‌های هوشمند (که تولید کننده‌ی انرژی اند)، تدارک بیننده‌ی نیروی خاص (کیفیت، انرژی) برای استخراج انرژی از منابع و کاهش اثرات زیست محیطی کاملاً هوشیار باشند. این‌ها نیازمند استراتژی‌هایی مبتنی بر CO₂ هستند که به تصویب دولتها رسیده باشند، مانند: Cap and Trade^۲، جبران کرbin^۳، مالیات بر کرbin^۴ و چارچوب‌هایی تشویق کننده‌ی سبز^۵. در این سناریو، دو رویکرد اساسی جهت کاهش اثرات کرbin کشف شده است: بی‌طرفی کرbin^۶ و صفر کرbin^۷.

در روش بی‌طرفی کرbin، استراتژی آن برای انتشار گازهای گلخانه‌ای صنعتی نسبی و یا کامل است، به این معنا که انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حدی یا به صورت کامل توسط سیستم‌های اعتباری (به عنوان مثال Cap and Trade و یا جبران کرbin) جبران می‌شوند. علاوه بر این، مدل مالیات و یا مدل انگیزش هم برای تشویق به استفاده از منابع سبز و همچنین محدود کردن اثرات کرbinی صنعت موثر و مفید واقع می‌شوند.

روش صفر کرbin تنها روش بلند مدتی است که به عنوان راه حل مداوم و قابل رشد شناخته شده است. از آن جایی که با اثر برگشت هم مواجه نمی‌شود حتی با افزایش تقاضا هیچ گاز گلخانه‌ای منتشر نخواهد شد. از این رو برای رسیدن به پایداری محیط زیستی، بهبود بهره‌وری انرژی و هوشیاری نسبت به انرژی، باید هر دو رویکرد در یک روش انرژی گرای سیستماتیک برای اعمال نفوذ در شبکه‌های هوشمند که منبع و تکنیک‌های سبز تجدید پذیر برای سیاست‌های سطح بالا به پیشرفت‌های تکنولوژی در سطح پایین با هم همکاری می‌کنند، به کار می‌گیرند. این استراتژی‌ها نه تنها باعث معکوس کردن روند گرم شدن کره‌ی زمین بلکه دستیابی به راه حل‌های پایدار برای دهه‌های آینده به حساب می‌آید.

۲-۲- رویکردهای حفظ انرژی

رویکردهای جاری برای حفظ انرژی در دسترس به سه صورت مختلف توصیف می‌شوند، استراتژی "کمتر کار کردن"^۸، استراتژی "کم کردن سرعت"^۹ و در نهایت استراتژی "خاموش کردن عناصر بیکار".^{۱۰}

¹carbon preconfigure offset

²carbon taxes

³green incentive frameworks

⁴carbon neutrality

⁵zero carbon

⁶do less work

در استراتژی کمتر کار کردن، برنامه‌های کاربردی یا کارها، نیاز به سرویس‌هایی برای بهینه‌سازی زمان و فضا در رایانش دارند که برای حفظ ترتیب بار اجرایی در سطح پایین، منجر به محاسبات با توان کاهش داده شده، می‌شود. استراتژی کم کردن سرعت به این معتقد است که، عناصر سریع‌تر با شدت بیشتری از منابع استفاده می‌کنند. سرعت فرآیندها می‌تواند با استفاده از دو روش کاهش پیدا کند: آن‌ها می‌توانند با سرعت قابل تطبیق اجرا شوند، با انتخاب کمترین سرعت مورد نیاز برای تکمیل فرآیند در زمان مقرر یا زمان متناوب، فوراً تکنیک‌های ذخیره سازی (بافر کردن) می‌تواند معرفی شود. بنابراین

به جای شروع اجرا به صورت فوری، فرآیند به محض رسیدن، یک وظیفه‌ی جدیدی را باید انجام دهد، که آن این است که به منظور پرشدن کامل بافر و بعد از آن، آن‌ها را در حجم بزرگ اجرا می‌کند. به عبارتی آن‌ها را در یک بافر، تا زمان پر شدن بافر، ذخیره نماید و زمانی که بافر پر شد برای پردازش و اجرا اقدام شود. که این امر باعث خاموشی موقت و در نتیجه منجر به توان محاسباتی کمتری می‌شود. در آخر، عناصر بیکار را خاموش می‌کند و فرصت استخراج قابلیت استفاده از وضعیت محاسباتی با توان پایین را به دست می‌آورد و حالت خواب^۳ را در دستگاه‌های درگیرشده بوجود می‌آورد. استراتژی خاموش کردن عناصر بیکار، این بدین معنی است که این رویکرد به تغییر وضعیت دستگاه‌ها به حالت خواب در طی دوره‌ی زمانی عدم فعالیت هستند و بازیابی آن‌ها به وضعیت کاملاً عملیاتی وقتی که نیاز به توان بیشتری داریم، می‌انجامد. اگر این روش‌ها به صورت مناسب و مطلوب استفاده گردد، همه‌ی استراتژی‌های مبتنی بر استفاده از حالت خواب، ممکن است برای دستیابی به حفظ انرژی و نیرو در مراکز داده‌ی بزرگ، بسیار مفید واقع شوند. این رویکرد معمولاً بر مبنای روش قیاسی طراحی می‌شود.

۳-۲- مدل انرژی آگاه مرکز داده

ممولاً، مراکز داده با درجه قابل توجهی از تأمین بیش از حد منابع طراحی شده است که همیشه برخی از ظرفیت باقی مانده که مورد نیاز برای اجرای عمیات تحت شرایط اوج حجم کار می‌باشد و اطمینان از حد مقیاس پذیری معین در طول زمان، رزرو می‌شود. با این حال، با وجود یک حجم کار محدود، سرورهایی که کاملاً بیکار هستند، از آن جایی که آنها هیچ فرآیندی برای اجرا ندارند، به طور معمول روش نگه داشته می‌شوند، بنابراین بر مصرف نیرو اثر منفی می‌گذارند.

در چنین شرایطی، با توجه به استراتژی‌ای که قبل از شرح داده ایم، استراتژی "خاموش کردن مولفه‌های بیکار"^۴ باید بیشتر تلاش در مختصر کردن سرورهای فعلی/در حال اجرا به حداقل یک زیر مجموعه و همچنین خاموش کردن سرورهای بیکار باشد. برای این خاطر، منطق سطح بالای کنترل انرژی آگاه مورد نیاز است تا به صورت پویا توزیع نیرو را در مرکز داده برای حفظ انرژی، بهره برداری از نوسانات بار و خاموش کردن سرورهای غیر فعال استفاده نماید. بنابراین، از آن جایی که بار جاری تا زیر آستانه دقت خاص کاهش می‌یابد، یک سیاست به درستی طراحی شده باید به وضوح شناسایی (۱) چگونه بسیاری از سرورها و (۲) که از آنها باید خاموش شوند و روش‌های صحیح برای انجام این کار باید اجرا شوند، اطمینان از این که وابستگی فیزیکی و منطقی در میان دستگاه‌ها در مرکز داده خواهد بود همواره مورد توجه است.

۴-۲- وابستگی فیزیکی و منطقی

در مزارع مرکز داده مدرن^۵ شرکت در شبکه یا زیرساخت‌های محاسبات توزیع شده مبتنی بر ابر، متشکل از تعداد زیادی از دستگاه‌هایی که با هم در قالب گروه همیاری می‌پیوندند، که متشکل از محاسبات، ذخیره سازی و یا گره‌های ارتباطی

¹slow down

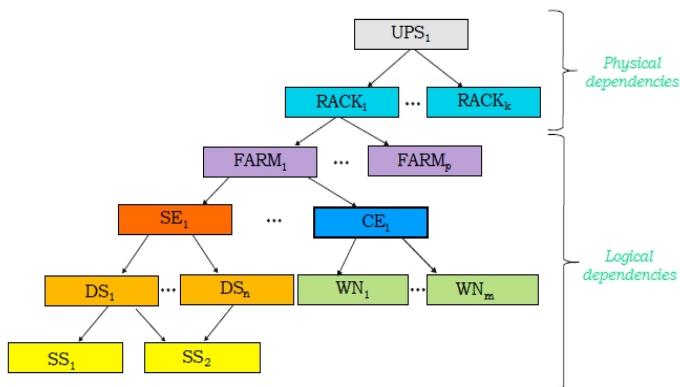
²turn off idle elements

³Sleep Mode

⁴load

⁵Modern data center farms

ناهمگن اند، که هر یک نقش خود را در مزرعه دارند، می‌باشد. هر یک از این گره‌ها، اغلب به عنوان کارگزار منابع محاسباتی یا مولفه‌ی کنترل (CE)^۱، مدیر ذخیره سازی/عنصر (SE)^۲، سرور دیسک (DS)^۳، دروازه^۴، روتر^۵ و یا هر چیز دیگری شناخته شده اند، که ویژگی‌های سخت افزاری و نرمافزاری خاص خود را دارند که زمانی که در مرکز داده مشغول عملیات هستند باید در نظر گرفته شوند. علاوه بر این، گره‌ها در تعامل با نقش منطقی خود در مزرعه و به صورت متوسط اما نه کم، با قرار گیری فیزیکی خود هستند. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است. چنین وابستگی‌های منطقی و فیزیکی باید به خصوص در عملیات مدیریت قدرت که در آن دستگاه‌ها روشن و خاموش می‌شوند ارزیابی گردد.



شکل ۱ : گراف وابستگی‌های برای یک مزرعه‌ی هوشمند

یک مثال از اجرای یک روش روشن کردن گرهی SE1 در شکل ۲ نشان داده شده است که در آن گره‌هایی که پررنگ شده اند، روشن هستند، که با شروع از گرهی UPS1 و با رفتن به گره‌های FARM1, RACK1 است، و در نهایت SE1 به پایان می‌رسند.

در مقایسه، یک روش خاموش اجرا شده در گرهی SE1 در شکل نشان داده شده است که گره‌های پر رنگ شده خاموش می‌باشند، که از گرهی SS1 و SS2 شروع شده و بالا می‌رود تا به گره‌های DS1,...,DSn و در نهایت به گرهی SE1 می‌رسند. در این روش، بخشی از گروه مربوط به زیر سیستم‌های ذخیره سازی که به صورت کامل خاموش گردیده اند در حالی که بخش باقی مانده هنوز مشغول به کار است.

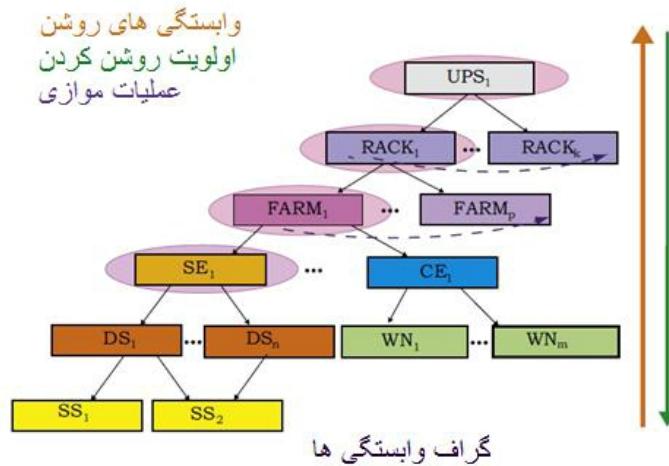
^۱ Control Element

^۲ Storage Manager/Element

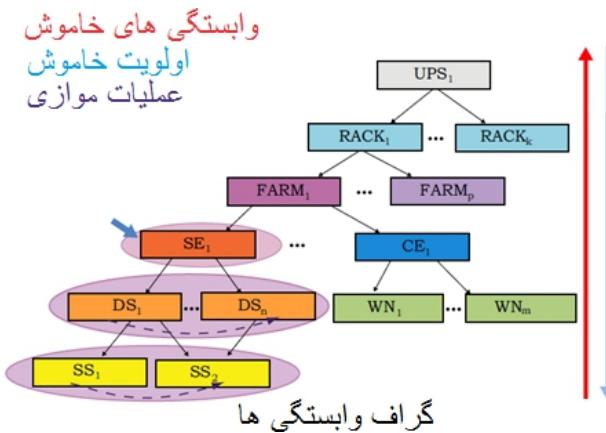
^۳ Disk Server

^۴ Gateway

^۵ Router



شکل ۲ : رویه‌ی روشن اجرای شده‌ی دستگاه SE₁



شکل ۳ : رویه خاموش اجرا شده‌ی دستگاه SE₁

۱-۴-۲- آخرین وضعیت

ادعا می‌کند که یک استراتژی واقعاً موثر برای رسیدن به حفظ انرژی با اهمیت می‌تواند بر پایه‌ی خاموش کردن بیشتر سرویس‌دهندگان در طول شب یا در حضور بار کم، و همچنین استفاده از تمام ظرفیت سرویس‌دهندگان تنها در طول ساعات اوج مصرف باشد. تاثیر روی پروتکل‌های شبکه برای حفظ انرژی به وسیله‌ی در حالت خواب قرار دادن رابط شبکه و سایر مولفه‌های آن می‌باشد. در آموزش استراتژی‌های مدیریت، نیروی مبتنی بر شبکه به صورت پویا کامپیوترها را به عقب و از حالت خواب/حالت نیروی بیکار خارج می‌کند. یک مدیر انرژی برای زیرساخت شبکه مرکز داده آماده است که به صورت پویا مجموعه مولفه‌های (سوئیچ‌های and/or روابط) شبکه‌های فعال را با ظرفیت جدید تطبیق می‌دهد تا بارهای ترافیکی مرکز داده بیشتر مورد حمایت قرار گیرند. ایده‌های متعددی ارائه شده است: تجهیزات میراث ممکن است دستخوش ارتقاء سخت افزار (مانند ماژول‌های تأمین نیروی اصلاح شده) گردد و پیشگاه شبکه شان ممکن است به یک وکیل یا نماینده‌های که به دستگاه انتهایی^۱ اجازه می‌دهد که طی دوره‌هایی که غیر فعال است و به اینترنت متصل می‌باشد در حالت کم-نیرو قرار دهد، تبدیل گردد.

^۱ End device

همچنین استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر، مانند انرژی خورشیدی، بادی و برق آبی به عنوان یک جایگزین مجاز برای تامین نیروی تجهیزات ICT افزایش پیدا کرده است. طبق مطالعات بررسی شده که هزینه انرژی بالقوه و حفظ کربن برای مراکز داده واقع در مناطق زمانی مختلف که اندکی به وسیله‌ی انرژی سبز نیرو داده می‌شود و مصمم کردن آن، زمانی که برای بهبود بهره برداری از کل انرژی سبز، مراکز داده سبز با ۳۵٪ افزایش قدرت نفوذ، منابع انرژی سبز تنها با افزایش ۳٪ هزینه انتشار CO₂ را کاهش می‌دهند.

۲-۵- استراتژی ادغام شغلی

با حرکت دادن وظایف موجود در سراسر مرکز داده جهت اجازه‌ی خاموشی دادن به تعداد بیشتری از سرورهای غیر فعال تا آنها را بر یک زیر مجموعه حداقلی از سرورها جمع کند. در حضور پردازنده چند هسته‌ای با n هسته در هر سرور، چندین استراتژی‌های ادغام امکان پذیر است. برای مثال، در یک مرکز داده با استفاده از یک استراتژی برنامه ریزی مناسب سنتی، یک کار جدید به سرور اول، در میان آنهایی که در دسترس هستند، با حداقل یک تک هسته‌ی در دسترس، اختصاص داده می‌شود. به عنوان یک جایگزین معتبر، هدف استراتژی بهترین تناسب^۱، فشرده سازی وظایف موجود تا آنجا که ممکن است، می‌باشد، بنابراین هر وظیفه به یک سرور فقط با یک هسته آزاد (و در نتیجه، ۱ - n هسته در حال حاضر مشغول هستند) اختصاص داده می‌شود.

t1: زمان		کار در حال اجرا			
	هسته ۱	هسته ۲	هسته ۳	هسته ۴	
سرور ۱					
سرور ۲					
سرور ۳					
سرور ۴	x				
سرور ۵	x				
سرور ۶	x				

t2: زمان		کار وارد شونده			
	هسته ۱	هسته ۲	هسته ۳	هسته ۴	
سرور ۱	x	x	x	x	
سرور ۲	x	x		x	
سرور ۳	x				
سرور ۴	x	x	x	x	
سرور ۵	x	x	x	x	
سرور ۶	x	x	x	x	

اول-مناسب <= +4
 اول-مناسب <= +4
 اول-مناسب <= +1
 بهترین تناسب <= +3
 بهترین تناسب <= +3
 بهترین تناسب <= +3

شکل ۴: تجسم استراتژی‌های تخصیص بهترین تناسب و اولین تناسب برای یک زیر مجموعه از شش سرور با چهار هسته در هر کدام. در زمان T1، سه شغل در حال اجرا مرتب شده اند (به عنوان یک نتیجه از تخصیص‌های قبلی) (۱) در زمان T2، نه شغل جدید می‌رسند. (۲) اولین تناسب ۲ برابر بیشتر از بهترین تناسب از سرورها استفاده می‌نماید.

اگر هر سروری مشابهی وجود داشته باشد. در غیر این صورت، با توجه به اصل توزیع بار برابر روی سرورهایی که در حال حاضر در یک تلاش برای به اشباع رساندن تمام ظرفیت در دسترس خود، پر بارترین هستند، به دنبال سروری تنها با دو هسته آزاد می‌گردد، پس از آن به دنبال سه هسته آزاد و به همین منوال تا n ادامه می‌یابد. به عبارت دیگر، در ابتدا، به صورت خاموش ماندن هسته‌ها پیش می‌رود تا به میزان نیاز، به تدریج هسته دریافت کند. توجه داشته باشید که در این جنبه، بهینه سازی مراکز داده متفاوت است از این نظر که یکی از شبکه‌های ارتباط از راه دور، که در آن ظوابط توازن بار سعی را بر این دارد که منابع در دسترس (به عنوان مثال، لینک‌های فیبر) را اشباع نکند تا "فضای" (مثل، پهنای باند)

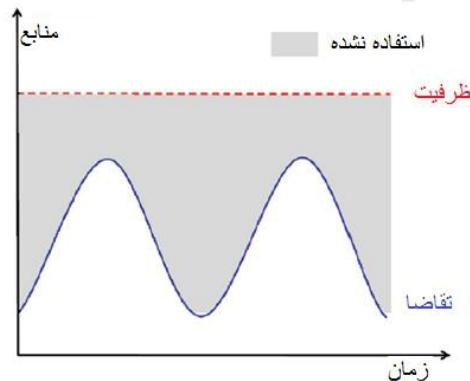
^۱ Best-fit

^۲ bandwidth

کافی برای درخواست‌های اتصالی که در آینده می‌آیند را داشته باشد. واضح است که طرح اول - مناسب^۱ سریعتر است، اما عیش این است که تعداد زیادی از سرورهایی که فقط تا حدودی بار شده اند، رها می‌شوند. از سوی دیگر، نتیجه رضایت‌بخش بیشتری را با توجه به استراتژی تثبیت مذکور می‌دهد، از آن جایی که کارها را تا آن جا که ممکن است در چند سرور فشرده می‌کند و تعداد ممکن حداکثری از سرورهایی که کاملاً تخلیه شده^۲ را رها کند به طوری که آنها می‌توانند بلا فاصله خاموش شوند، در نتیجه با کاهش قابل توجهی از انرژی تلف شده همراه خواهیم بود (شکل ۵). علاوه بر دستیابی به تراکم بهینه، از آن جایی که سرورهای چند هسته‌ای با تعدادی عملدهای از هسته‌های اشغال که احتمال این که از وظایف زمان اجرایش رها شود، کم است، استراتژی بهترین تناسب را سودبخش تر می‌نماید. پیچیدگی محاسباتی ذاتی استراتژی بهترین تناسب ممکن است برای کار کردن در یک زمان ثابت مستهلک بـ وسیله‌ی تکمیل کردن صفحه‌های اولویت سرور با هیپ فیبوناچی بهبود یافته است، به طوری که آن را بار سنگین اضافی وسیله‌ی محاسبات کلی معرفی نمی‌کند. متاسفانه، در حضور دستگاه‌های تک هسته‌ای، هیچ تجمع دیگری امکان پذیر نیست و از این رو صرفه جویی در انرژی را می‌توان تنها با خاموش کردن سرورهای غیر فعال به دست می‌آورد.

۶-۲- نوسان ترافیک

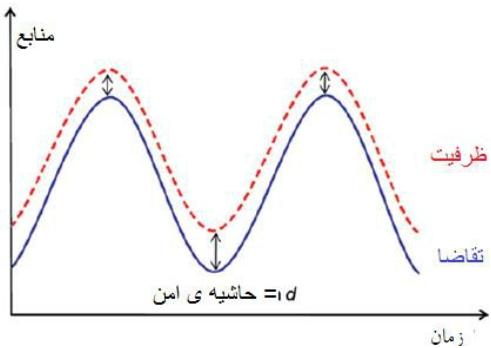
حجم کار مرکز داده معمولاً توسط پدیده نوسان تکرار شونده که در آن دوره بهره برداری بالاتر است (به عنوان مثال، در برخی از ساعت روز) توسط آنهایی که بهره برداری پایین تری دارند (به عنوان مثال، در طول شب) و غیره مشخص می‌شود.



شکل : ۵ عدم تطابق ظرفیت و تقاضا منجر به اتلاف منابع و انرژی می‌شود.

با توجه به نظم این پدیده بازپیدایی^۳، می‌بینی بر ریتم فعالیت‌های انسانی ۲۴ ساعته یا هفتگی، نوسانات فوق الذکر معمولاً در برخی از دوره‌های زمانی ثابت (به عنوان مثال، روز/شب یا روز/حدوده آخر هفته، ماههای سال و غیره) قابل پیش‌بینی هستند و می‌توان آنها را توسط یک روند شب سینوسی شرح داد. تنوع حجم کار روزانه نظری برای مرکز داده انرژی غیرآگاه معمولی در شکل ۵ نشان داده شده است. زمانی که بار تقاضا یک روند شب سینوسی را دنبال می‌کند، قدرت تخلیه شده در هر دو دوره استفاده بالا و پایین تقریباً ثابت باقی می‌ماند. این اساساً ناشی از تاثیر منابع محاسباتی که همواره در حال اجرا زمانی که آنها مورد استفاده قرار گرفته و یا اصلاً استفاده نمی‌شوند، نگه داشته می‌شوند، که منجر به هدر رفتن مقدار زیادی از انرژی در طول دوره کم بار می‌گردد. می‌تواند به صورت مدیریت پویا باشد تا در سطح برنامه ریزی منابع انجام گیرد برای سرورهای موجود تخصیص وظایف انجام شود و آن‌هایی که تا استفاده نشده اند در حالت خواب قرار گیرند و مصرف نیروی کمی داشته باشند، که در شکل ۶ بهینه شده‌ی وضعیت شکل ۵ را مشاهده می‌کنید.

^۱First-fit
^۲unloaded
^۳recurrence



شکل : ۶ مفهوم قابلیت ارجاعی تأمین نظری. منحنی ظرفیت باید منحنی تقاضا را تا آن جا که ممکن هست مشابه هم کند، گذاشتن یک حاشیه ایمنی برای به کارگیری بارهای اوج امکان پذیر است.

۷-۲- چند رویکرد الگوریتمی سبز

(۱) تکنیک مقیاس گذاری فرکانسی ولتاژ پویا (DVFS):

هر مدار الکترونیکی یک ساعت^۱ که با آن همگام شده است، دارد. فرکانس عملیات این ساعت، پس ولتاژ منبع تنظیم می‌شود. از این رو، این روش شدیداً وابسته به سخت افزار است و با توجه به تنوع نیازها قابل کنترل نیست. و در صرفه جویی انرژی نیز نرخ پایینی دارد.

(۲) تکنیک مکانیابی یا مهاجرت ماشین مجازی:

در محیط‌های رایانش ابری، هر ماشین فیزیکی میزبانی تعدادی ماشین مجازی را خواهد داشت بر حسب این این که چه برنامه‌های کاربردی‌ای در حال اجرا است. ماشین‌های مجازی در طی میزبان‌ها با توجه به تنوع نیازهایشان و منابع در درسترس منتقل می‌شوند. روش مهاجرت یا همان انتقال ماشین‌های مجازی روی انتقال ماشین‌های مجازی در روندی که افزایش توان را حداقل کند. کارآمد ترین گره‌ها انتخاب می‌شوند و ماشین‌های مجازی در طی آن‌ها منتقل می‌شوند.

(۳) روش‌های الگوریتمی:

تخمین زده شده که ۷۰٪ از توان مصرفی به وسیله‌ی سرور کاملاً مصرف کننده^۲ مصرف می‌شود. همان طور که در شکل آورده شده است.

در این مدل که ارائه می‌شود، بر پایه‌ی مصرف پردازنده یک رابطه‌ی خطی با مصرف انرژی دارد. از طرف دیگر، برای یک وظیفه‌ی خاص، اطلاعات در زمان پردازش و مصرف پردازنده اش کافی است تا مصرف انرژی را برای آن وظیفه حساب کند. برای یک منبع i در هر زمان داده شده، مصرف U_i این گونه تعریف می‌شود.

$$U_i = \sum_{j=1}^n u_{i,j}$$

^۱ Dynamic Voltage Frequency Scaling Technique

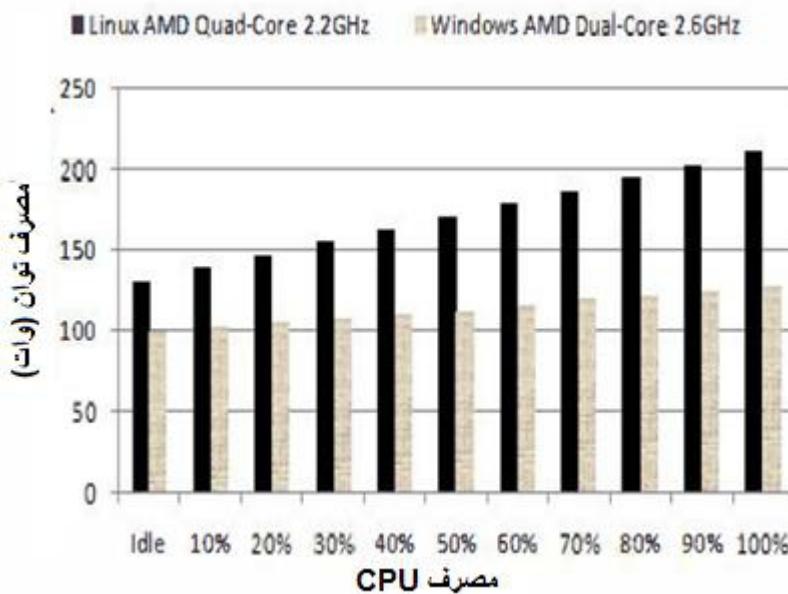
^۲ clock

^۳ fully utilized server

که در آن n تعداد وظایف در حال اجرا در آن زمان و u_i مصرف منبع از وظیفه‌ی i است. مصرف انرژی E_i در هر زمان این گونه تعریف می‌شود:

$$E_i = (p_{max} - p_{min}) \times U_i + p_{min}$$

که مصرف توان در اوج بار (بهره وری ۱۰۰٪) و p_{min} مصرف توان در حالت فعال است (یا به اندازه‌ی ۱٪ بهره وری دارد).



شکل ۷: مدل انرژی

امروزه تکنولوژی‌ها و روش‌های جدیدی برای کاهش هزینه‌ی انرژی در مراکز داده پیشنهاد می‌شود:

۸-۲- پردازش محاسبات، ریز پردازنده‌ها

با کوچک شدن ابعاد ترانزیستور در ریزپردازنده‌ها، مصرف جریان‌های نفوذی، توان بیشتری نسبت به پردازش‌های محاسباتی واقعی مصرف می‌کنند. با اهمیت ترین، جایگزین اکسید گیت SiO_2 که تنها چند لایه‌ی اتمی با ضخامت کم دارد، با یک لایه‌ی ضخیم تر از اکسید مبتنی بر هافنیم^۱ است، که کاهش چشم گیری از تونل زنی دروازه دارد، در حالی که از عملکردهای الکتریکی ترانزیستور محافظت می‌کند. این نوآوری‌های که ریزپردازنده‌ها مکراراً می‌توانند تنظیم شوند و بلوک‌های چرخشی می‌توانند به صورت موقت زمانی که در حال استفاده نمی‌باشند کاملاً از آن‌ها رد شوند، که این عمل باعث صرفه جویی در انرژی برای یک بار محاسباتی که به انفجارها می‌آیند یا به رکود حافظه یا عملیات I/O محدود می‌شوند.

Semeraro و همکارانش یک پردازنده با دامنه‌ی چند کلک (MCD)^۲، که در آن، تراشه به چهار دامنه‌ی کلک (درشت دانه^۳) تقسیم می‌شود، واحدهای صحیح، واحدهای ممیز شناور و واحدهای ذخیره‌ی بار در ولتاژ وابسته و مقیاس گذاری

^۱ hafnium-based oxide

^۲ multiple clock domain

^۳ Coarse-grained

فرکانسی می‌تواند اجر شود. برخلاف سیستم‌های همگام سراسر تک کلاکه^۱ سنتی، پردازنده‌های MCD با ولتاژ پویا و فرکانس DVFS به وضوح می‌توانند مصرف انرژی پایین تری داشته باشند.

۹-۲- پردازش محاسبات، زمانبندی وظایف

مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)^۲ ممکن است استادانه ترین الگوریتم‌های زمانبندی آگاه حرارتی برای وظایف مراکز داده باشند، آن‌ها یک ابزار مدل سازی حرارتی مبتنی بر CDF سه بعدی پرژئیات برای سیستم‌های سرور قفسه‌های شیار^۳ دار ارائه می‌دهند که با نام ThermoStat شناخته شده است.

از آن جایی که مدل مبتنی بر CDF خیلی پیچیده است و برای زمانبندی‌های آنلاین مناسب نمی‌باشد، برخی محققان الگوریتم‌های زمانبندی آنلاین با پیچیدگی کمتری را گسترش داده اند. برای مثال، Tang و همکارانش. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که ساختن فرمول به حداقل رساندن دمای اوج اینتل^۴ نیاز به کمترین توان سردکنندگی دارد. با استفاده از پیچیدگی کم، مدل دوران مجدد گرمای خطی^۵، آن‌ها مشکل حداقل سازی دمای اوج اینتل در مرکز داده با وظایف تخصصی را تعریف کردند، که در نتیجه منجر به حداقل نیازمندی سرمایش گشته است.

مثال‌های بیشتری از مدل‌های انقلابی هستند، مانند مدل گرمایشی سریع مبتنی بر سنسور^۶، الگوریتم عمومی و برنامه نویسی نمایی^۷ و ادرمن^۸.

۱۰-۲- پردازش محاسبات، مجازی سازی

. فناوری مجازی‌سازی، به "یک" اجراهی ساخت ماشین‌های مجازی متعددی روی یک سرور فیزیکی را می‌دهد و از این رو مقدار سخت افزار در استفاده را کاهش می‌دهد و کارایی منابع را افزایش می‌دهد. سازمان‌ها می‌توانند نیازهای محاسباتی خود را با استفاده از منابع خارجی^۹ تأمین کنند، از این رو ضرورت نگهداری از زیرساخت رایانشی برای خود سازمان حذف می‌گردد.

۱۱-۲- سرمایش سیستم‌ها

زیرساخت سنتی و قدیمی سرمایش مراکز داده به این شکل است که حجم عظیمی از هوای سرد را با فشار دورانی برای کاهش گرما به کار می‌برند. بنا بر گزارش‌ها، امروزه محققان در تلاشند تا برای خنک سازی از سرماش مایع خنک^{۱۰} در پردازنده‌های مرکزی پیشرفته^{۱۱} و سرورهایی که به صورت متراکم بسته بندی شده اند، استفاده کنند تا گداختگی حرارتی بالا را کنترل کنند.

سینک‌های حرارتی ریزکانال^{۱۲} می‌توانند به عنوان عایق حرارتی بین ترانزیستور و مایع کاهش یافته تا حدودی طراحی شود تا برای سرمایش آب حتی با دمای C ۷۰-۶۰^{۱۳} اطمینان حاصل شود که هیچگونه افزایش حرارتی در ریزپردازنده‌ها وجود نخواهد داشت. با استفاده از سرمایش این آب داغ، خنک کننده‌ها دیگر نیازی به چرخش سالانه ندارد به این معنی که مصرف انرژی مرکز داده می‌تواند تا ۵۰٪ کاهش داشته باشد.

^۱ singly-clocked globally synchronous systems

^۲ computational fluid dynamics

^۳ rack-mounted server

^۴ Intel

^۵ linear heat recirculation model

^۶ sensor -based fast thermal evaluation model

^۷ Generic Algorithm & Quadratic Programming

^۸ Watherman: [*] یک نگاشت حرارتی پیشگویانه آنلاین خودکار

^۹ Outsource

^{۱۰} Chilled-liquid Cooling

^{۱۱} High-end mainframes

^{۱۲} Microchannel heat sinks

ذخیره سازی دیسک برای شبکه‌های رایانش ابری سبز بسیار حیاتی است. ذخیره سازی یکی از بزرگترین مصرف کنندگان انرژی بین اجزای مختلف مرکز داده‌های می‌باشد اخیراً. گزارش یک صنعت نشان می‌دهد که دستگاه‌های ذخیره سازی تقریباً ۲۷٪ انرژی کل مراکز داده را مصرف می‌کنند. اخیراً در مطالعه‌ای، فیژون-یو، تولید کنندگان سریع ترین دستگاه‌های ذخیره سازی حالت جامد^۱، جهت کاهش اثرات کربن و هزینه‌های عملیاتی مراکز داده‌ی MySpace مدیریت‌هایی انجام داد که باعث کاهش آن‌ها تا ۸۰٪ شده است، با درایوهای حالت جامد داده‌ها را در حافظه‌ی فلاش یا DRAM ذخیره می‌کنند. بدون بخش‌های متحرک، مصرف توان ممکن است برای دستگاه‌های مبتنی بر فلاش ظرفیت پایین کاهش پیدا کند. از آن جایی که قیمت درایو دیسک سخت کاهش پیدا کرده است، مراکز داده به سمت گسترش ظرفیتشان را تحت پوشش قرار می‌دهد، که داده‌های در درسترس آنلاین بیشتری، گرایش پیدا کردن. این امر بیشترین نسخه‌ی پشتیبان را تحت پوشش قرار می‌دهد، که به صورت معمول روی نوار و سایر ذخیره سازهای آفلاین نگهداری می‌شوند. با کاهش توان مصرفی به وسیله‌ی آرایه‌های ذخیره سازی بزرگ، هنوز نشان دادن منافع ذخیره سازی آنلاین، یک موضوع تحقیقاتی در حال انجام می‌باشد.

۱۳-۲ مشکل ادغام وظیفه

مشکل ادغام وظیفه که به عنوان ادغام سرور یا حجم کار شناخته شده است، در این مطالعه، پردازش و اگذار کردن یک مجموعه N از n وظیفه (درخواست سرویس یا سرویس‌های ساده) به یک مجموعه R از منابع ابر^۲ بدون نقض محدودیت‌های زمانی با هدف به حداقل رساندن بهره برداری از منابع، و در نهایت به حداقل رساندن مصرف انرژی است.

روش زمانبندی و تخصیص منابع در درجه‌ی اول با استفاده از فعال کردن slack reclamation^۲ با پشتیبانی مقیاس گذاری ولتاژ یا فرکانس پویا به بسیاری از پردازنده‌های اخیر تشکیل شد. این تکنیک به طور موقت باعث کاهش سطح تأمین ولتاژ در هزینه‌ی کاهش سرعت پردازش می‌شود. Slack reclamation با استفاده از DVFS اخیر، پردازنده‌ها و وظایف موازی طبیعی توسعه یافته را فعال کرد.

در روش ادغام وظیفه، تکنیک مجازی سازی یک نقش کلیدی را بازی می‌کند. این تکنولوژی‌ها با شیوع پردازنده‌ی هسته‌ی بسیاری به صورت گستردگی راحت شدند و به صورت موازی پردازشی سریع را خواهند داشت. که این به این معنی است که یک پردازنده‌ی چند هسته‌ای تنها اغلب وظایف متعددی را اخیراً! اجرا می‌کند (پردازش‌ها و یا نخها). الگوریتم برای دستیابی به مصرف انرژی متعادل در ادغام وظایف و عملکرد بر پایه‌ی مرز Pareto (نقاط بهینه). دو گام ترکیب شده در این الگوریتم این‌ها هستند:

- ۱) تعیین نقاط بهینه از داده‌های نمودار و
- ۲) تخصیص منابع انرژی آگاه با استفاده از فاصله‌ی اقلیدسی بین تخصیص فعلی و نقطه‌ی بهینه در هر سرور.

اصلی‌ترین هدف عملکرد ماکزیمم کردن کارایی منابع برای کاهش انرژی مصرفی است در صورتی که با همان کیفیت باقی بمانند.

^۱ solidstate

^۲ احیای ضعیف

۳- چالش‌های پیکربندی ماشین‌های مجازی در محیط ابر

کاستن منابع سیستم بیکار غیرضروری به وسیله‌ی افزودن صفاتی مقیاس گذاری شده‌ی خودکار می‌تواند به صورت بالقوه باعث کاهش انرژی ابر و منجر به انتشار عده‌ی CO_2 گردد. تقاضاهای کیفیت سرویس (QoS)، الزامات پیکربندی متعدد و دیگر چالش‌ها دستیابی به محیط رایانشی سبزتر را سخت می‌کنند. [۵] چالش ۱) گرفتن اختیار و اجاره پیکربندی ماشین مجازی: رایانش ابری، با کاهش توان مصرفی محاسبات، تبدیل به رایانش سبزتری می‌شود. یک برنامه‌ی کاربردی ابر می‌تواند از ماشین مجازی درخواست انتخاب بازه‌ی بزرگی را بدهد، مانند نوع پردازنده، سیستم عامل و میانافزار^۱ نصب شده، که همه‌ی این‌ها توان متفاوتی را مصرف می‌کنند. برای مثال، زیرساخت ابر E2C Amazon، پنج نوع مختلف از پردازنده‌ه را پشتیبانی می‌کند، شش گزینه‌های زیرساخت حافظه‌ی مختلف و سیستم عامل‌های مختلف را به خوبی هر نوع سیستم عامل چند نسخه‌ای پشتیبانی می‌کند. محاسبات انجام گرفته برای اندازه گیری نیروی مصرفی این زیرساخت‌ها، در بازه‌های بین ۱۵۰ تا ۶۱۰ وات در ساعت می‌باشد. که این به نوبه‌ی خود مصرف بالایی محسوب می‌گردد. [۵] چالش ۲) انتخاب زیرساخت‌های مناسب برای ماشین مجازی جهت اطمینان از سرعت مورد نیاز مقیاس پذیر:

در یک درخواست برنامه‌های کاربردی، ساختار یک ماشین مجازی و تطابق دقیق در صفت مقیاس گذاری خودکار در دسترس است، درخواست باید در اسرع وقت جواب داده شود. اگر صفحه، تطابق دقیق نداشته باشد، ممکن است ساختار ماشین مجازی برای پاسخ به درخواست سریع تر از تهیه و بوت یک ماشین مجازی از چرک نویس^۲ تغییر کند. [۵] چالش ۳) بهینه سازی اندازه‌ی صفت و پیکربندی جهت کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ی عملیات مربوط به آن:

هر ساختار منفرد به تنها یک صفت، در هزینه و مصرف انرژی متفاوت می‌باشد. هر چقدر هم که صفت بزرگ‌تر باشد، میزان انرژی مصرفی و هزینه نیز بیشتر خواهد شد. به عنوان مثال، یک ماشین مجازی E2C آمازون "کوچک"^۳ که سیستم عامل آن لینوکس می‌باشد، در یک ساعت ۱۵۰ وات مصرف می‌کند، در حالی که ماشین مجازی چهار برابر بزرگ‌تر و با سیستم عامل ویندوز در یک ساعت ۶۳۰ وات انرژی مصرف می‌کند.

ماشین مجازی و کم شدن مشتری‌ها مشتریان با تلفن همراه بسیار سبک وزن که دارای قابلیت پردازش مناسب، انرژی مورد نیاز محدود و اتصال با سرعت بالا به شبکه‌هایی که همه جا حاضرند (به عنوان مثال تلفن‌های هوشمند، کنسول‌های دستی، نوت بوک و غیره) و به طور قابل توجهی افزایش نقش استراتژیک شبکه برای اتصال آنها را به زیرساخت‌های ابر هستند، می‌شوند. این دستگاه‌ها معمولاً به طور مستقیم برنامه‌های پیچیده و گران قیمت را اجرا نمی‌کنند، بلکه با تکیه بر ماشین‌های مجازی و منابع ذخیره سازی از راه دور ساکن در سازمان‌های ابر توزیع شده که قابل دسترس به اینترنت نیز می‌باشد، خود را برای به انجام رساندن وظایف محاسباتی چالش برانگیز بیشتری، که منجر به محدود کردن نقش‌های این ساختارها با این ابعاد پذیری زیاد و سطح بالای خدمات ابر شد. چنین تکاملی در عادات کاربران اگر به درستی مدیریت شود می‌تواند جهت کاهش مصرف انرژی هم در مراکز داده و هم در تجهیزات محاسبات در سطح کاربر گردد.

ماشین مجازی می‌تواند در دو سطح به کار برد شود. اول، ماشین مجازی متعددی را می‌توان با کاهش تعداد سرورها و در نتیجه کاهش مصرف نیرو در یک سرور فیزیکی واحد به اشتراک گذاشت. دوم، سیستم‌های مقیاس پذیری که از چندین سرور فیزیکی استفاده می‌کنند می‌توانند با اجزاء خاموشی دادن به بیشتر سرورها در دوره‌ی استفاده‌ی کم و تنها با استفاده کردن از ظرفیت کامل از مزرعه محاسبات در طول ساعات اوج، ساخته شوند.

رایانش ابری سبز

^۱ middleware

^۲ Scratch

۴- مدل‌های سرویس ابر

۱-۴- نرم افزار به عنوان سرویس^۱

در این سرویس، مشتریان هزینه ماهانه یا سالانه برای دسترسی به آخرین نسخه از نرم افزار را پرداخت می‌کنند. علاوه بر این، این نرم افزار در ابر و همه‌ی محاسبات انجام شده در ابر قرار گرفته است. به طور معمول، کاربران آزادند تا هر کامپیوتری که به اینترنت متصل است را استفاده کنند.

هنگامی که یک کاربر به طور انحصاری از خدمات نرم افزار مبتنی بر شبکه و یا مبتنی بر اینترنت استفاده می‌کند، تصور کلی شبیه به مدل ”متقاضی کم“^۲ می‌باشد، که در آن توابع کامپیوتر متقاضی هر کاربر در درجه اول به عنوان یک ترمینال شبکه، نمایش ورودی/ خروجی و وظایف صفحه نمایش، زمانی که داده‌ها ذخیره شدند و در یک سرور مرکزی پردازش گشتند، می‌باشد. متقاضیان کم در محیط‌های اداری پیش از استفاده گسترده از رایانه‌های شخصی محبوب گشتند.

پردازش به عنوان یک سرویس	ذخیره سازی به عنوان یک سرویس	نرم افزار به عنوان یک سرویس	
وظایف کوتاه سرویس گیرنده، وظایف بزرگ در ابر	سرویس گیرنده	ابر	مکان پردازش
سرویس گیرنده	ابر	ابر	مکان ذخیره سازی
فایل‌ها وظایف بزرگ	تمام فایل‌ها / مدارک	نتایج دریافت و فرامین انتقال	تابع انتقال

۲-۴- ذخیره سازی به عنوان یک سرویس

از طریق ذخیره سازی به عنوان یک سرویس، کاربران می‌توانند نیازهای ذخیره سازی داده‌های خود را به ابر بروون سپاری کنند. فایل‌های ذخیره شده در ابر با اتصال به اینترنت از هر کامپیوتر در هر زمان می‌توانند قابل دسترس باشند.

^۱ Software as a Service

^۲ Thin client

علاوه بر این، پس از این که یک کاربر یک فایل را در ابر بارگذاری کرد، کاربر می‌تواند دسترسی‌های خواندن و/یا امتیاز تغییرات را به کاربران دیگر اعطا نماید. یکی از نمونه‌های ذخیره سازی به عنوان یک سرویس، سرویس ذخیره سازی ساده آمازون^۱ می‌باشد.

صرف توان بر حسب هر کاربر از سرویس ذخیره سازی $P_{st,SR}$ ، محاسبه شده به عنوان یک تابع بارگیری هر فایل در یک ساعت، این گونه می‌باشد:

$$P_{st} = \frac{B_d D}{\tau_{st}} \left(E_T + \frac{1/\circ P_{st,SR}}{C_{st,SR}} \right) + \gamma B_d \frac{1/\circ P_{SD}}{B_{SD}}$$

که B_d (بیت‌ها) میانگین سایز فایل می‌باشد و D تعداد بارگیری‌ها در یک ساعت. $P_{st,SR}$ صرف توان هر یک از سرورهای مضمون و $C_{st,SR}$ (بیت بر ثانیه) ظرفیت هر سرور مضمون می‌باشد. صرف انرژی آرایه‌های دیسک سخت (ذخیره سازی ابر) P_{SD} است و ظرفیت آن بر حسب بیت B_{SD} .

۳-۴- پردازش به عنوان یک سرویس

پردازش به عنوان یک سرویس کاربران را با منابع یک سرور قدرتمند برای انجام وظایف خاص محاسباتی بزرگ تأمین می‌کند. اکثر وظایفی که تقاضای محاسباتی نیستند، بر روی کامپیوتر شخصی کاربر اجرا می‌گردند. بیشتر وظایف محاسباتی متقاضی برای بارگذارشته شدن روی ابر می‌باشند و نتایج به دست آمده به کاربر بازگردانده می‌شود. یک مثال از پردازش به عنوان سرویس، سرویس ابر تخمین‌ستیک آمازون^۲ می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

نتیجه گیری عده‌ای که می‌توان داشت این است که، صرف انرژی رایانش ابری مورد نیاز برای در نظر گرفتن به عنوان یک مشکل زنگیره تأمین منطقی مجتمع، باید پردازش، ذخیره سازی و انتقال را با هم در نظر بگیرد. با استفاده از این رویکرد، نشان داده می‌شود که رایانش ابری می‌تواند کارایی انرژی بیشتری را با استفاده از صرف انرژی، مخصوصاً زمانی که وظایف محاسباتی برجسته‌ی کاربران از شدت کمی بخوردار است و به ندرت انجام می‌شود، دارا باشد. با این حال، در برخی شرایط، رایانش ابری می‌توان انرژی بیشتری نسبت به رایانش مرسوم که هر کاربر همه‌ی محاسبات را روی کامپیوتر شخصی خودش انجام می‌دهد، داشته باشد. حتی با تکنیک‌های صرفه جویی در انرژی مانند مجازی سازی و سیستم‌های سردسازی پیش‌رفته، رایانش ابری همیشه سبزترین تکنولوژی رایانشی نیست، اما در اکثر شرایط می‌توان از آن به عنوان سبزترین تکنولوژی جهت رایانش نام برد.

^۱Amazon Simple Storage Service

^۲ Amazon Elastic Compute Cloud service

- [١] Sergio Ricciardia, Francesco Palmierib, Jordi Torres-Viñalsc, Beniamino Di Martinob, Germán Santos-Boada, Josep Solé-Pareta , Handbook of Green Information and Communication Systems , pp. 267-293, 2013
- [٢] Brian Dougherty , *, Jules White, Douglas C. Schmidt , Future Generation Computer Systems in 28: Model-driven auto-scaling of green cloud computing infrastructure, pp. 371-378 , 2011
- [٣] B. St. Arnaud, ICT and global warming: opportunities for innovation and economic growth (online). <http://docs.google.com/Doc?id=dgbgjrct_2767dxbdbvcf>.
- [٤] Jayant Baliga, Robert W. A. Ayre, Kerry Hinton, and ,Rodney S. Tucker, Fellow IEEE, Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport, 2011
- [٥] N. Xiong, W. Han and A. Vandenberg , Green cloud computing schemes based on networks: a survey, 2011
- [٦] Nik Looker, Dependability Assessment of Service-Oriented Architectures Using Fault Injection,2011
- [٧] Ahmad Zamri Mansor, Google docs as a collaborating tool for academicians, 2012
- [٨] R.Yamini ,Assistant Professor, Department of Computer Applications, SRM University, Kattankulathur, Chennai, India Power Management in Cloud Computing Using Green Algorithm