

دسته بندی و مروری بر انواع الگوریتم‌های زمانبندی جریان کار در محاسبات ابری

نسیم سلطانی^۱، بهزاد سلیمانی نیسیانی^۲ و بهرنگ برکتین^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی علامه نایینی، گروه کامپیوتر، n.soltani@naieni.ac.ir

^۲دانشجوی دکتری، دانشگاه کاشان، گروه برق و کامپیوتر، B.Soleimani@grad.kashanu.ac.ir

^۳عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد نجف آباد، گروه کامپیوتر، behrang-barekatain@iaun.ac.ir

چکیده - محاسبات ابری الگویی از محاسبات توزیع شده، مرکب از تعداد زیادی منابع و درخواست‌ها با هدف به اشتراک‌گذاری منابع به صورت سرویس، بر روی بستر اینترنت است که استفاده بهینه از آنها یک چالش بی‌انتهای محسوب می‌شود. مسئله زمانبندی وظایف و جریان کار در محاسبات ابری، به دلیل لزوم استفاده بهینه از منابع محاسباتی موجود از اهمیت زیادی برخوردار است. الگوریتم‌های زمانبندی سعی دارند تا زمانبندی بهینه را جهت افزایش بهره‌وری از منابع و در نتیجه افزایش توان محاسباتی، ارائه نمایند. در این مقاله انواع الگوریتم‌های زمانبندی را از لحاظ سراسری و محلی، پویا و ایستا، بهینه و نیمه بهینه، توزیع شده و متمرکز، همکار و غیر همکار، طبقه بندی نموده است. در نهایت الگوریتم‌هایی که تاکنون در این زمینه ارائه شده‌اند را ارزیابی کرده و ویژگی‌های مختلف آنها را همراه با ابزارها و فاکتورهای زمانبندی و غیره جدول بندی نموده است.

کلید واژه- الگوریتم‌های زمانبندی وظایف، دسته بندی، محاسبات ابری، مدیریت جریان کار

۱- مقدمه

۲- لایه‌ها و خدمات محاسبات ابری

ابراهیمی که در حال حاضر استفاده می‌شوند بر روی مراکز داده قرار دارند، این ابرها در واقع ترکیبی از زیرساخت به عنوان سرویس (IaaS)^۱، سکو به عنوان سرویس (PaaS)^۲ و همچنین نرم-افزار به عنوان سرویس (SaaS)^۳ می‌باشد که بدین گونه امکانات را در اختیار کاربران نهایی قرار می‌دهد و به ازای مقدار استفاده‌ای که از این سرویس‌ها دارند از آنها هزینه دریافت می‌شود. در واقع محاسبات ابری علاوه بر کاربران، برای توسعه‌دهندگان نرم‌افزار هم نیز خدمات زیادی دارد که در اینجا سه مورد از خدمات این تکنولوژی که برای توسعه‌دهندگان نرم‌افزار دارد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

- SaaS: در این نوع سرویس کاربران زیادی می‌توانند از نرم‌افزاری که فراهم‌کننده سرویس میزبان آن است استفاده نمایند. کم شدن هزینه‌های خرید، نگهداری، به روز نمودن نرم‌افزار و خرید سخت افزار مورد نیاز از مزایای این سرویس است. از معروفترین ارائه‌دهندگان این سرویس می-توان گوگل داک^۴ را معرفی نمود.

با پیشرفت شرکت‌های مدیریتی جهان، محاسبات ابری توجه بیشتر و بیشتری از نظر فراهم کردن زیرساخت و محاسبات انعطاف‌پذیر و بنا به تقاضا برای تعداد زیادی از برنامه‌های کاربردی فراهم می‌کند [۱]. محاسبات ابری مزایای منحصر به فرد زیادی دارد که برای تسهیل اجرای جریان کار، به کار می‌رود. جریان کار یعنی خودکارسازی فرایندهایی که اسناد، اطلاعات یا وظایفشان بین مشارکت‌کننده‌ها بر اساس مجموعه‌ای از قوانین تعریف شده ارسال می‌شود. یک جریان کار، امکان ایجاد ساختار برنامه‌های کاربردی در قالب گراف چرخه‌ای مستقیم، که هر گره نشان‌دهنده-ی وظیفه‌ی تشکیل دهنده و یال‌ها نشان‌دهنده‌ی وابستگی‌های برنامه است، را فراهم می‌کند. یک جریان کار واحد معمولاً شامل مجموعه‌ای از وظایف است که هر کدام ممکن است با وظیفه‌ی دیگری در جریان کاری مرتبط باشد جریان‌های کاری چندگانه متشکل از چندین جریان کاری را است که توسط سیستم‌های مدیریت جریان کار پشتیبانی می‌شوند [۲].

^۱ Infrastructure-as-a-Service(IaaS)

^۲ Platform-as-a-Service(PaaS)

^۳ Software-as-a-Service(SaaS)

^۴ google doc

خطا برای مدیریت خطاها در طی اجرا به کار می‌رود. زمانبندی جریان کار نقش حیاتی در مدیریت جریان کار ایفا می‌کند. زمانبندی صحیح می‌تواند اثر قابل توجهی روی کارایی سیستم داشته باشد. برای زمانبندی مناسب در جریان کار، الگوریتم‌های زمانبندی مختلفی باید مورد بحث قرار گیرد. به طور کلی برنامه‌ای جریان کاری به صورت یک دنباله اجرا می‌شوند زیرا به صورت یک مجموعه از وظایف مختلف برای رسیدن به یک نتیجه‌ی خاص در نظر گرفته شده‌اند. وظایف بر اساس وابستگی به داده‌ها اجرا می‌شوند. آن را به صورت یک گراف در نظر بگیرید که ابتدا والدها و در نهایت فرزندان باید اجرا شوند [۳].

۴- دسته‌بندی الگوریتم‌های زمانبندی

زمانبندی در ابر به معنی انتخاب بهترین منبع برای یک وظیفه است یا اختصاص ماشین‌های مجازی به وظایف به گونه‌ای که زمان اجرای کل به حداقل برسد. به طور کلی در الگوریتم‌های زمانبندی لیستی از وظایف وجود دارد که به ترتیب اولویت برای همه‌ی وظایف ساخته شده است. وظایف بر اساس اولویت انتخاب می‌شوند و به پردازنده‌ها تخصیص داده شده که تابع هدف آنها از پیش تعیین شده است. روش‌های مختلفی برای مشکل زمانبندی در سیستم‌های توزیع شده وجود دارد که در شکل ۲ یک طبقه‌بندی برای الگوریتم‌های زمانبندی توزیعی ارائه شده است. [۴، ۵].

۴-۱- الگوریتم‌های زمانبندی ایستا و پویا

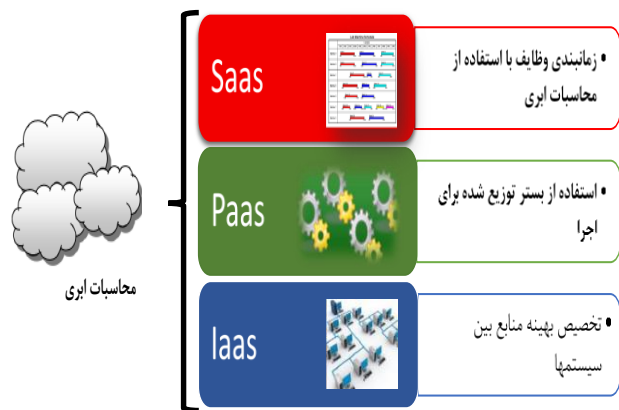
دو نوع الگوریتم زمانبندی با نام‌های ایستا و پویا وجود دارد. در زمانبندی‌های ایستا اطلاعات لازم در مورد همه منابع در لحظه‌ی زمانبندی موجود است به همین دلیل زمان اجرا را می‌توان تخمین زد، در مقابل آن در زمانبندی‌های پویا ایده‌ی اصلی تخصیص وظایف در زمان اجرای می‌باشد [۶].

۴-۲- الگوریتم‌های زمانبندی سراسری و محلی

در زمانبندی محلی در مورد تخصیص فرایندها به یک پردازنده ولی در زمانبندی سراسری تخصیص فرایندها به چندین پردازنده تصمیم‌گیری می‌شود.

– Paas: فراهم‌آورنده‌ی بستری برای پیاده‌سازی نرم‌افزار- های مورد نیاز و در واقع پشتیبانی از چرخه کامل حیات نرم‌افزار برای کاربر می‌باشد. Google appEngin نمونه‌ای از یک paas است.

– laas: در این لایه سرویس‌هایی مانند پردازش، فضای ذخیره‌سازی، شبکه و سایر منابع محاسباتی به عنوان سرویس ارائه می‌شود. سرویس ذخیره‌سازی آمازون S3^۵ نمونه معروفی از laas است.



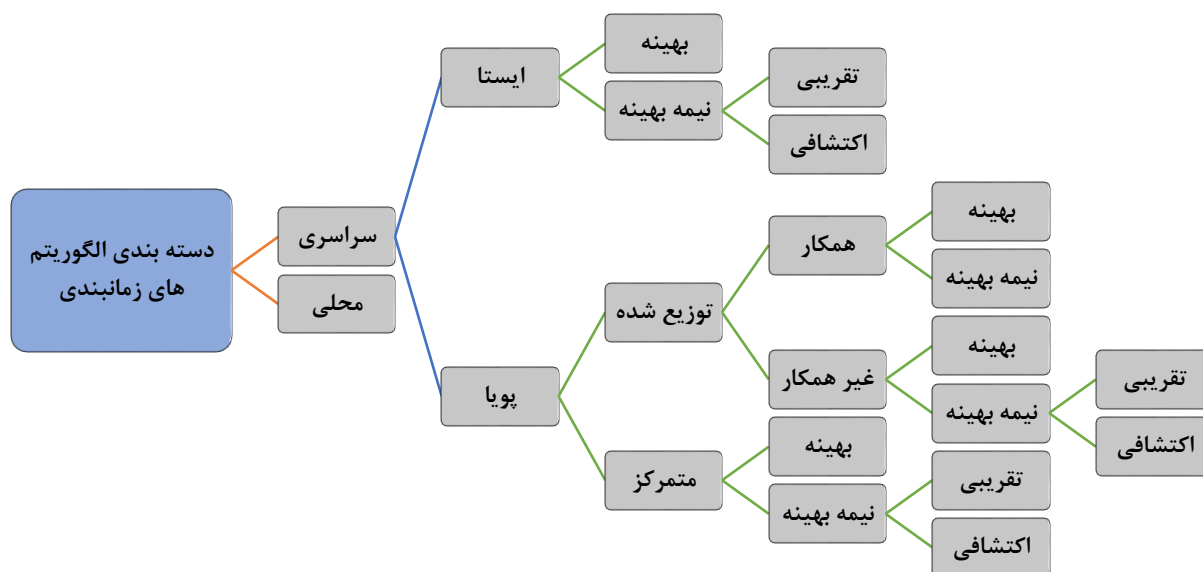
شکل ۱: معماری سه لایه ای محاسبات ابری

۳- جریان کار در محاسبات ابری

انتقال جریان کاری به محیط محاسبات ابری به کار بردن سرویس- های ابری مختلف را برای تسهیل اجرای جریان کار امکان پذیر می‌کند. مثال‌های عمومی جریان کار شامل بانکداری آنلاین، پردازش بیمه و بسیاری از کارهای دیگر می‌باشد. هدف اصلی سیستم مدیریت جریان کار پشتیبانی از تعریف، اجرا، ثبت و کنترل فرایندهای کسب و کار است. در زمان اجرا یک موتور اجرای جریان کار، اجرای جریان کار را با به کار بردن میان‌افزارها مدیریت می‌کند. سه جزء اصلی در یک موتور اجرای جریان کار، زمانبندی جریان کار، اجرای جریان کار انتقال داده‌ها و مدیریت خطاها می‌باشد [۲].

زمانبند جریان کار منابع را کشف کرده و وظایف را به منابع مناسب اختصاص می‌دهد. انتقال داده‌ها برای ارتباط منابع داده و مدیریت

^۵ Amazon's S3 Storage Service(s3)



شکل ۲: دسته بندی الگوریتم های زمانبندی [5]

۴-۶- الگوریتم های زمانبندی بهینه^{۱۰} و نیمه بهینه^{۱۱}

روش بهینه سعی دارد هدف را به بهترین شکل برآورده سازد در صورتی که روش های نیمه بهینه تنها به یک هدف نمی پردازد بلکه سعی بر بهبود نسبی چندین هدف را به صورت همزمان دارند.

۵- بررسی الگوریتم های زمانبندی

الگوریتم های زمانبندی جریان کار بسیاری در حال حاضر در ابرها شایع هستند که این الگوریتم ها در جدول ۱ خلاصه شده اند. الگوریتم های زمانبندی موجود ویژگی ها مختلفی مثل زمان، زمان اجرای کل^{۱۲}، سرعت، مقیاس پذیری، توان، بهره منابع، نرخ موفقیت زمانبندی و غیره را در نظر گرفته است [۳، ۷].

۴-۳- الگوریتم های توزیع شده و متمركز

در زمانبندی توزیع شده، یک مدیر مرکزی مسئول اجرای کامل و چند نهاد سطح پایین تر وجود دارد، ولی در زمانبندی متمركز یک کنترل مرکزی برای تخصیص تمامی وظایف وجود دارد.

۴-۴- الگوریتم های زمانبندی تقریبی^۶، اکتشافی^۷

الگوریتم های تقریبی راه حل هایی شبه بهینه همراه با ضریبی برای میزان تقویت جواب واقعی ارائه می دهند ولی الگوریتم های اکتشافی با فرض های واقعی در مورد سیستم و جست و جوی فضای مسئله، سعی در پیدا کردن جوابی نزدیک به جواب بهینه را دارد.

۴-۵- الگوریتم های زمانبندی همكار^۸ و غير همكار^۹

الگوریتم های زمانبندی همكار با اجزای توزیع شده سرو کار دارند و در ارتباط هستند و در زمانبندی های غير همكار هر پردازنده مستقل از سایر پردازنده ها است.

^{۱۰} Optimal
^{۱۱} sub-optimal
^{۱۲} Makespan

^۶ Approximate
^۷ Heuristic
^۸ Cooperative
^۹ non-cooperative

جدول ۱: بررسی الگوریتم های زمانبندی

الگوریتم	توصیف	ویژگی ها	اثر
بهینه سازی الگوریتم مورچگان مبتنی بر زمانبندی جریان سرویس [۸]	یک مدل برای زمانبندی جریان سرویس با استفاده از کیفیت های مختلف مورد نیاز در ابر بر اساس الگوریتم مورچگان برای بهینه کردن زمانبندی جریان کار می باشد.	قابلیت اطمینان، زمان پاسخ، هزینه، امنیت	محیط جاوا ^{۱۳}
بهینه سازی زمانبندی جریان کار برنامه های کاربردی در محیط ابری با استفاده از الگوریتم اکتشافی ^{۱۴} ازدحام ذرات [۹]	الگوریتم اکتشافی ازدحام ذرات برنامه های کاربردی در منابع ابری را زمانبندی می کند که شامل هم هزینه های انتقال و هم هزینه های محاسبات است	بهره منابع، زمان	ابر محاسباتی و پذیر آموزش ^{۱۵}
زمانبندی جریان کار برای ارائه دهندگان SaaS/PaaS [۱۰]	فرمول بندی برنامه خطی اعداد صحیح ^{۱۶} برای زمانبندی جریان کاری مشتریان saas به ارائه دهندگان چندگانه iaas جایی که توافقنامه سطح سرویس ^{۱۷} برای هر دو سطح وجود داشته باشد.	زمان، هزینه، زمان اجرای کل	محیط جاوا
بهینه سازی مجدد ^{۱۸} زمانبندی جریان کار با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات [۱۱]	در این الگوریتم راه حل توسط مجموعه جفت های وظیفه-سرویس نشان داده شده است، هر ذره نه تنها از نمونه های مختلف می آموزد بلکه می تواند از ابعاد مختلف یاد بگیرد.	هزینه، زمان اجرای کل	ابر محاسباتی و توسعه پذیر آموزش ^{۱۹}
بهبود هزینه الگوریتم برای زمانبندی وظایف در محاسبات ابری [۱۲]	این الگوریتم هر دو ویژگی هزینه منابع و کارایی محاسبات را اندازه گیری می کند و در نهایت نرخ محاسبات ارتباطات را بهبود می بخشد.	هزینه، کارایی	کلودسیم ^{۱۹}
الگوریتم زمانبندی مقیاس پذیر-ناهمگن، مبتنی بر نزدیکترین زمان پاسخ ^{۲۰} (SHEFT) [۱۳]	در این مقاله با استفاده از الگوریتم زمانبندی SHEFT جریان کاری الاستیکی ^{۲۱} را در محیط محاسبات ابری زمانبندی می کند.	زمان اجرا، مقیاس پذیری	کلودسیم
رویکردی برای بهینه سازی الگوریتم زمانبندی برای سیستم های کد منبع باز ^{۲۲} ابری [۱۴]	در اینجا زمانبندی خودکار برای رسیدن به بهترین زمانبندی را ارائه می دهد و بهبود استفاده از پردازنده و تعیین یک راه حل که محدودیت های کیفیت سرویس ^{۲۳} را برای تمام کاربران تکمیل می کند.	زمان اجرا، بهره، منابع، سرعت، بهره پردازنده	اکالیپتوس ^{۲۴}

elastically^{۲۱}
Open-source^{۲۲}
Quality of service (QoS)^{۲۳}
Eucalyptus^{۲۴}

Java environment^{۱۳}
Heuristic^{۱۴}
Amazon Elastic Compute Cloud - EC2^{۱۵}
integer linear program(ILP)^{۱۶}
Services level agreement(SLA)^{۱۷}
revised discrete^{۱۸}
Cloudsim^{۱۹}

Scalable-Heterogeneous-Earliest-Finish-Time Algorithm(SHEFT)^{۲۰}

SwinDeW-C	زمان اجرای کل، هزینه، زمان پردازنده	این الگوریتم شامل زمانبندی سطح سرویس و سطح کار است. در این الگوریتم زمانبندی سطح سرویس با انتساب کارها به سرویس‌ها انجام می‌شود و زمانبندی سطح کار با بهینه‌سازی تخصیص وظایف به ماشین‌های مجازی در مراکز داده‌ای ابر صورت می‌گیرد.	الگوریتم زمانبندی سلسله مراتبی مبتنی بر نیازهای بازار [۱۵]
محیط جاوا	مهلت زمانی، هزینه	یک الگوریتم زمانبندی جریان کار جدید بر پایه‌ی کیفیت سرویس بر اساس مفاهیم رمان ^{۲۵} که مسیر بحرانی جزئی ^{۲۶} نامیده می‌شود. این الگوریتم تلاش می‌کند تا هزینه‌های اجرای جریان کار زمانی که مهلت زمانی توسط کاربر تعریف شده است را به حداقل برساند.	زمانبندی جریان کار مبتنی بر آخرین مهلت اجرا در نرم‌افزارهای محاسبات ابری [۱۶]
SwinDeW-C	هزینه، زمان	عملکرد این الگوریتم با در نظر گرفتن ویژگی‌هایی از محاسبات ابری می‌باشد. به عنوان مثال هزینه‌ی جریان کار محدود شده با مصالحه زمان اجرا و هزینه ورودی کاربر در پرواز ^{۲۸}	الگوریتم زمانبندی هزینه-زمان-توازی ^{۲۷} [۱۷]
SwinDeW-C	هزینه، زمان	این الگوریتم برای زمانی که تعداد زیادی از نمونه‌های جریان کار توسط بودجه معینی برای اجرا محدود شده در محاسبات ابری استفاده می‌شود.	یک الگوریتم در SwinDeW-C برای زمانبندی جریان کاری مبتنی بر هزینه، با توجه به خواص تراکنش [۱۸]
کلوسیم	نرخ زمانبندی موفق، هزینه، زمان، زمان اجرای کل	این استراتژی می‌تواند چندین جریان کار را که در هر زمانی شروع شده و کیفیت سرویس را در نظر گرفته، زمانبندی کند. آنها چهار عامل را در زمان شروع و پایان وظایف و هزینه جریان کار تاثیر زیادی داشته را در نظر گرفته‌اند.	استراتژی زمانبندی چند فاکتوری کیفیت سرویس برای زمانبندی چند جریان کاری [۱۹]
محیط جاوا	هزینه، زمان	این الگوریتم هزینه‌ی اجرا زمانی که چارچوب زمانی دیده می‌شود برای ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل الگوریتم را کاهش می‌دهد و دو محدودیت بودجه و مهلت را نیز در نظر می‌گیرد.	بهینه‌سازی هزینه و زمان الگوریتم زمانبندی جریان کار بر اساس مهلت و بودجه توزیع ^{۲۹} [۲۰]
کلوسیم	بهره منابع، زمان اجرای کل	این الگوریتم برای زمانبندی کلادلت‌ها ^{۳۰} بر روی ماشین مجازی استفاده شده است که باعث شده است میزان بهره‌وری منابع افزایش و زمان اجرای کل آنها کاهش یابد.	زمانبندی وظایف در سیستم توزیع-شده‌ی ابر به کمک الگوریتم بهینه-سازی ذرات [21]
گریدسیم ^{۳۴}	زمان اجرای کل	در این الگوریتم با استفاده از الگوریتم‌های سنتی حداقل-حداقل ^{۳۲} و حداکثر-حداقل ^{۳۳} زمانبندی جدیدی ارائه داده که نکات منفی هر دو الگوریتم را از بین می‌برد.	الگوریتم زمانبندی منبع آگاه ^{۳۱} [۲۲]

^{۳۲} min-min

^{۳۳} max-min

^{۳۴} Gridsim

^{۲۵} Novel

^{۲۶} Partial Critical Paths (PCP)

^{۲۷} Compromised-Time-Cost

^{۲۸} Fly

^{۲۹} Deadline and Budget distribution-based Cost-Time Optimization

(DBD-CTO)

^{۳۰} Cloudlet

^{۳۱} Resource-Aware-Scheduling algorithm (RASA)

گریدسیتم	زمان اجرای کل	الگوریتم HEFT ابتدا به محاسبه زمان اجرای متوسط برای هر وظیفه و زمان ارتباط متوسط بین منابع برای دو کار متوالی می‌پردازد سپس وظایف موجود را وظیفه‌بندی می‌کند.	الگوریتم ناهمگن مبتنی بر نزدیکترین زمان پایان ^{۳۵} (HEFT) [۲۳]
کلودسیتم	سرعت، بهره منابع، توازن بار	این الگوریتم مکانیسم دوباره زمانبندی را به منظور حل و فصل مشکلات تاخیر در زمانبندی از طریق نظارت بر منابع عامل‌های محلی را ارائه داده است.	یک سیستم توزیع پویا ^{۳۶} بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی ذرات در محیط محاسبات ابری [۲۴]
Open nebula	زمان اجرا، بهره منابع، هزینه	این الگوریتم متشکل از دو فاز اصلی است که در فاز اول از الگوریتم کشف منبع تمامی منابع را شناسایی و برچسب زده و هر کدام از گره‌ها اطلاعات را به گره پدر می‌رسانند و در فاز دوم با توجه کیفیت سرویس اختصاص منابع صورت می‌پذیرد.	الگوریتم بهینه‌سازی زمانبندی جریان کار [۲۵]
کلودسیتم	هزینه، زمان اجرا، زمان انتقال کار، طول صف انتظار	ارزیابی و بررسی الگوریتم‌های چند هدفه ژنتیک و پرندگان برای بهینه سازی زمانبندی کارها بر اساس چهار پارامتر در حالت پویا محیط ابر [۲۶]	ارزیابی الگوریتم‌های چند هدفه برای بهینه سازی زمانبندی کارها در محیط ابر [۲۶]
کلود سیتم	زمان اجرا، زمان انتقال، هزینه	با در نظر گرفتن سه پارامتر زمان اجرا، زمان انتقال و هزینه با استفاده از الگوریتم چند هدفه پرندگان بهینه سازی زمانبندی کارها را در ارائه داده است و در نهایت آن را با الگوریتم پرندگان تک هدفه مقایسه نموده است	بهینه سازی زمانبندی کارها در محاسبات ابری با استفاده از الگوریتم چند هدفه پرندگان [۲۷]

۶- نتیجه گیری

- تکمیل و بهبود ابزارهای شبیه سازی
- معرفی پارامترهای جدیدتر به صورت چند بعدی با در نظر گرفتن منافع کاربران، سرویس دهندگان، کاهش انرژی، کاهش ترافیک شبکه و کلیه ی ذی نفعان
- ارائه الگوریتم های کارای بیشتری در زمینه برخورد با زمانبندی های چند هدفه
- ترکیب الگوریتم های اکتشافی و فرااکتشافی برای تسریع بخشیدن در زمانبندی
- تمرکز بیشتر بر روی زمانبندی های پویا به دلیل شباهت زیاد به محیط واقعی

مراجع

- [1] E. Deelman, J. Blythe, Y. Gil, C. Kesselman, G. Mehta, K. Vahi, et al., "Mapping abstract complex workflows onto grid environments," *Journal of Grid Computing*, vol. 1, pp. 25-39, 2003.
- [2] A. Bala and I. Chana, "A survey of various workflow scheduling algorithms in cloud environment," in *2nd National Conference on Information and Communication Technology (NCICT)*, 2011.
- [3] L. K. Arya and A. Verma, "Workflow scheduling algorithms in cloud environment-A survey," in *Engineering and*

در سالهای اخیر استفاده از محاسبات ابری در جهان گسترش یافت و در طول این سالها به بلوغ رسیده که یک فرصت مناسب برای شرکت ها در ذخیره ی هزینه و محاسبات بوده است. با توجه به استفاده و تقاضای بیشتر منابع، یکی از مهمترین وظایف ابر بهره‌وری بیشتر است که نیازمند مدیریت صحیح منابع می باشد. این وظایف توسط زمانبندها مدیریت می شوند. در این مقاله الگوریتم‌های زمانبندی جریان کار طبقه‌بندی و در نهایت بررسی شده است، توصیفی از هر یک از این الگوریتم‌ها، پارامترها و ابزارهایی که باری شبیه سازی و یا پیاده‌سازی استفاده کرده‌اند نیز بیان شده است. از این بررسی واضح است که ویژگی‌هایی مانند زمان اجرا، بهره برداری از منابع، بهینه‌سازی هزینه، زمان اجرای کل و غیره تا کنون پوشش داده شده است اما هنوز هم ویژگی‌هایی مانند قابلیت اطمینان، دسترسی پذیری، توازن بار، اختلاف رزرو، تهیه پشتیبان و تحمل خطا نیازمند بهبودهای بیشتری هستند و در آینده نیز می‌توان بر روی موارد زیر کار نمود:

- [23] R. Sakellariou and H. Zhao, "A hybrid heuristic for DAG scheduling on heterogeneous systems," in *Parallel and Distributed Processing Symposium, 2004. Proceedings. 18th International*, 2004, p. 111.
- [24] H. Zhao and W. Chenyu, "A Dynamic Dispatching Method of Resource Based on Particle Swarm Optimization for Cloud Computing Environment," in *Web Information System and Application Conference (WISA), 2013 10th*, 2013, pp. 351-354.
- [25] P. Varalakshmi, A. Ramaswamy, A. Balasubramanian, and P. Vijaykumar, "An optimal workflow based scheduling and resource allocation in cloud," in *Advances in Computing and Communications*, ed: Springer, 2011, pp. 411-420.
- [26] F. Ramezani, J. Lu, J. Taheri, and F. K. Hussain, "Evolutionary algorithm-based multi-objective task scheduling optimization model in cloud environments," *World Wide Web*, pp. 1-21, 2015.
- [27] F. Ramezani, J. Lu, and F. Hussain, "Task Scheduling Optimization in Cloud Computing Applying Multi-Objective Particle Swarm Optimization," in *Service-Oriented Computing*, ed: Springer, 2013, pp. 237-251.
- [4] A. Radulescu and A. J. Van Gemund, "Fast and effective task scheduling in heterogeneous systems," in *Heterogeneous Computing Workshop, 2000.(HCW 2000) Proceedings. 9th*, 2000, pp. 229-238.
- [5] X. Evers, W. H. CSG, R. B. CSG, I. Herschberg, D. Epema, and J. de Jongh, "A literature study on scheduling in distributed systems," Delft University of Technology, 1992.
- [6] Y.-K. Kwok and I. Ahmad, "Dynamic critical-path scheduling: An effective technique for allocating task graphs to multiprocessors," *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, vol. 7, pp. 506-521, 1996.
- [7] A. K. Bardsiri and S. M. Hashemi, "A Review of Workflow Scheduling in Cloud Computing Environment," *International Journal of Computer Science and Management Research*, vol. 1, pp. 348-351, 2012.
- [8] H. Liu, D. Xu, and H. Miao, "Ant colony optimization based service flow scheduling with various QoS requirements in cloud computing," in *Software and Network Engineering (SSNE), 2011 First ACIS International Symposium on*, 2011, pp. 53-58.
- [9] S. Pandey, L. Wu, S. M. Guru, and R. Buyya, "A particle swarm optimization-based heuristic for scheduling workflow applications in cloud computing environments," in *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on*, 2010, pp. 400-407.
- [10] T. A. Genes, L. F. Bittencourt, and E. R. Madeira, "Workflow scheduling for SaaS/PaaS cloud providers considering two SLA levels," in *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE*, 2012, pp. 906-912.
- [11] Z. Wu, Z. Ni, L. Gu, and X. Liu, "A revised discrete particle swarm optimization for cloud workflow scheduling," in *Computational Intelligence and Security (CIS), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 184-188.
- [12] S. Selvarani and G. S. Sadhasivam, "Improved cost-based algorithm for task scheduling in cloud computing," in *Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2010 IEEE International Conference on*, 2010, pp. 1-5.
- [13] C. Lin and S. Lu, "Scheduling scientific workflows elastically for cloud computing," in *Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference on*, 2011, pp. 746-747.
- [14] H. Zhong, K. Tao, and X. Zhang, "An approach to optimized resource scheduling algorithm for open-source cloud systems," in *ChinaGrid Conference (ChinaGrid), 2010 Fifth Annual*, 2010, pp. 124-129.
- [15] Z. Wu, X. Liu, Z. Ni, D. Yuan, and Y. Yang, "A market-oriented hierarchical scheduling strategy in cloud workflow systems," *The Journal of Supercomputing*, vol. 63, pp. 256-293, 2013.
- [16] S. Abrishami and M. Naghibzadeh, "Deadline-constrained workflow scheduling in software as a service cloud," *Scientia Iranica*, vol. 19, pp. 680-689, 2012.
- [17] K. Liu, H. Jin, J. Chen, X. Liu, D. Yuan, and Y. Yang, "A compromised-time-cost scheduling algorithm in SwinDeW-C for instance-intensive cost-constrained workflows on cloud computing platform," *International Journal of High Performance Computing Applications*, 2010.
- [18] Y. Yang, K. Liu, J. Chen, X. Liu, D. Yuan, and H. Jin, "An algorithm in SwinDeW-C for scheduling transaction-intensive cost-constrained cloud workflows," in *eScience, 2008. eScience'08. IEEE Fourth International Conference on*, 2008, pp. 374-375.
- [19] M. Xu, L. Cui, H. Wang, and Y. Bi, "A multiple QoS constrained scheduling strategy of multiple workflows for cloud computing," in *Parallel and Distributed Processing with Applications, 2009 IEEE International Symposium on*, 2009, pp. 629-634.
- [20] A. Verma and S. Kaushal, "Deadline and budget distribution based cost-time optimization workflow scheduling algorithm for cloud," in *of the IJCA on International Conference on Recent Advances and Future Trends in Information Technology (iRAFT'12)*, 2012, pp. 1-4.
- [21] H. S. Al-Olimat, R. C. Green II, and M. Alam, "Cloudlet Scheduling with Population Based Metaheuristics."
- [22] S. Parsa and R. Entezari-Maleki, "RSA: A new task scheduling algorithm in grid environment," *World Applied sciences journal*, vol. 7, pp. 152-160, 2009.