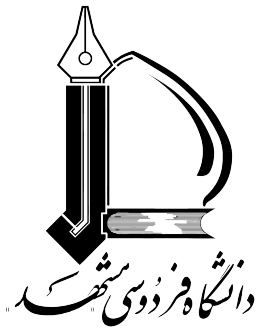
@ORchannel



پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

ریاضی کاربردی

عنوان

ارائه یک الگوریتم فراابتکاری موازی برای مسأله زمان بندی اصلی تولید

نگارنده

صدیقه صادقی

زمستان ۱۳۹۵

@ORchannel

فهرست مطالب

پیش‌گفتار ۶

۱ مقدمه ۸

۱.۱ برنامه‌ریزی تولید ۹

۲.۱ برنامه‌ریزی نیروی کار ۱۲

۳.۱ بیان مسأله و اهمیت آن ۱۴

۴.۱ اهداف پژوهش ۱۵

۵.۱ پیشینه پژوهش ۱۵

۶.۱ بررسی اشتباه مقاله "مدل‌سازی گردش شغلی در سیستم‌های تولیدی: مطالعه خستگی کارکنان و تفاوت مهارت‌ها" ۱۹

۷.۱ پردازش موازی ۲۰

۱.۷.۱ حافظه توزیع‌شده ۲۱

۲.۷.۱ زمان راه‌اندازی پردازش ۲۱

۳.۷.۱ کد ترتیبی بیش از اندازه ۲۱

۴.۷.۱ توازن بار ۲۲

۵.۷.۱ هم‌زمانی ۲۲

۸.۱ برنامه‌نویسی موازی ۲۳

@ORchannel

۹.۱ آشنایی با MPI ۲۳
۱.۹.۱ معرفی کتابخانه MPI ۲۴
۲.۹.۱ ارتباطات نقطه به نقطه ۲۵
۳.۹.۱ ارتباطات گروهی ۲۶

۲ ارائه مدلی جدید برای مسأله زمان‌بندی اصلی تولید با کارگران دائم و موقت چندمهارته ۲۸
۱.۲ مقدمه ۲۸
۲.۲ فرضیات مدل ۲۹
۳.۲ مدل پیشنهادی مسأله ۳۰
۱.۳.۲ پارامترهای مسأله ۳۰
۲.۳.۲ متغیرهای تصمیم ۳۱
۳.۳.۲ تابع هدف ۳۲
۴.۳.۲ محدودیت‌های مسأله ۳۲

۳ الگوریتم VNS موازی پیشنهادی ۳۷
۱.۳ مقدمه ۳۷
۲.۳ الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ۳۸
۳.۳ الگوریتم VNS پیشنهادی ۴۰
۱.۳.۳ ساختن یک جواب شدنی ۴۰
۲.۳.۳ تعریف همسایگی‌ها ۴۲
۳.۳.۳ الگوریتم جستجوی محلی ۴۲
۴.۳ روش‌های موازی‌سازی الگوریتم VNS ۴۴

۴ نتایج عددی ۴۷
۱.۴ مقایسه نتایج عددی ۴۷

@ORchannel

۲.۴ نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم موازی ۴۸
۳.۴ نتیجه‌گیری ۴۹

آ تنظیم پارامترهای مسأله ۵۰
آ.۱.۰ تعیین پارامتر تقاضا ۵۲
آ.۲.۰ تعیین سطح مهارت کارگران ۵۳

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۵۸

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۶۳

نمایه ۶۶

@ORchannel

فهرست جدول‌ها

۱.۱ مسائل مدیریت تولید ۱۰

۱.۴ مقایسه نتایج عددی الگوریتم VNS و OPL ۴۸

۲.۴ نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم موازی VNS ۴۹

آ.۱ پارامترهای مطالعه موردی ۵۱

آ.۲ زمان پردازش هر محصول روی هر ایستگاه کاری ۵۱

آ.۳ حقوق هر کارگر موقت در ایستگاه کاری j با سطح مهارت k ۵۱

آ.۴ هزینه هر ساعت اضافه‌کاری یک کارگر موقت در ایستگاه کاری j با سطح مهارت k ۵۲

آ.۵ هزینه هر ساعت اضافه‌کاری یک کارگر دائم در ایستگاه کاری j با سطح مهارت k . ۵۲

آ.۶ سطح مهارت لازم برای کار کردن در ایستگاه کاری j ۵۲

آ.۷ هزینه انبارداری و سفارش عقب افتاده برای هر محصول ۵۳

آ.۸ تقاضای پیش‌بینی شده ۵۳

@ORchannel

پیش‌گفتار

امروزه با توجه به رقابتی شدن شرایط بازار، سازمان‌ها برای حفظ و بقا، به دنبال افزایش کارایی و بهینه‌سازی عملیات تولیدی خود هستند. از این رو، باید عوامل متفاوتی را در بحث بهینه‌سازی برنامه تولید مد نظر قرار دهند. عواملی نظیر نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات لازم، مقادیر موجودی مواد اولیه، قطعات و...، بستگی به مقادیر تولید محصول در این کارخانه دارد. مسأله برنامه‌ریزی نیروی کار که زیرشاخه‌ایی از برنامه‌ریزی تولید[1] است، به دلیل تخصیص منابع در هر دوره زمانی با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای سیستم و با هدف کمینه کردن هزینه‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. برنامه‌ریزی نیروی کار[2] با تخمین تعداد و نوع کارکنان مورد نیاز برای جذب، گزینش و آموزش باعث می‌شود تا افراد در زمان مناسب به سازمان اضافه شوند.

گسترش یک مدل ریاضی که بتواند همه عوامل مرتبط با نیروی انسانی را پیاده‌سازی کند، مسأله‌ای چالش برانگیز است. برای رسیدن به این هدف، به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[3] برای مسأله زمان‌بندی اصلی تولید می‌پردازیم. این مدل کمک می‌کند تا هزینه‌های ایجاد شده کمینه شود. افزون بر این، با توجه به پیچیدگی زمانی حل مسأله، الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر[4] را به منظور کاهش زمان محاسبات نیز به کار می‌بریم. همچنین با موازی‌سازی الگوریتم فوق به کمک کتابخانه

[1] Production planning
[2] Workforce planning
[3] Mixed Integer Programming
[4] Variable Neighborhood Search Algorithm

@ORchannel

MPI[۱] سعی می‌کنیم تا جواب به دست آمده را بهبود دهیم و در پایان، کارایی الگوریتم پیشنهادی را با مقایسه با جواب‌های تولید شده توسط نرم‌افزار OPL[۲] مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

[1] Message Passing Interface

[2] Optimization Programming Language

@ORchannel

فصل ۱

مقدمه

فرآیند برنامه‌ریزی تولید از پیش‌بینی و دریافت سفارشات مشتری شروع شده، چگونگی برآورد تقاضا، برنامه‌ریزی مواد مورد نیاز و برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، مراحل بعدی تولید یک محصول محسوب می‌شوند. تعیین برنامه تولید در هر سازمان تولیدی نقش مهم و موثری دارد. زیرا زمان‌بندی تولید باعث جلوگیری از انباشت سرمایه، کاهش ضایعات، کاهش و یا حذف بیکاری ماشین آلات و تلاش برای استفاده بهتر از آنها، پاسخگوئی به موقع به سفارش‌های مشتریان و تامین مواد اولیه و قطعات مورد نیاز در موقع مناسب می‌شود.

در این فصل، ابتدا مقدمه‌ای از برنامه‌ریزی تولید بیان می‌شود. سپس به معرفی مسأله برنامه‌ریزی نیروی کار که زیرشاخه‌ای از برنامه‌ریزی تولید است، می‌پردازیم. در ادامه اهمیت نقش نیروی کار در مسائل برنامه‌ریزی مطرح می‌شود که به کارخانه‌های تولیدی کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی دقیق‌تر و واقعی‌تری در سیستم خود داشته باشند. در بخش بعدی، به بررسی اشتباه مقاله‌ای که پیرامون همین موضوع مورد مطالعه قرار گرفت، می‌پردازیم. در انتهای فصل مفاهیم مقدماتی پردازش موازی و MPI را بیان می‌کنیم.

@ORchannel

۱.۱ برنامه‌ریزی تولید

مطالب این بخش از [۲] گرفته شده است.

برنامه‌ریزی تولید برای موفقیت یک شرکت بسیار مهم است. این برنامه‌ها با تولید محصولات به تعداد کافی و در زمان مناسب، باعث کاهش زمان تولید و هزینه‌های آن می‌شوند.

در برنامه‌ریزی تولید میزان محصولاتی که برای پاسخگویی به تقاضا در دوره بعد نیاز است، مشخص می‌شود. همچنین میزان موجودی[۱] و تعداد نیروی کاری و سایر منابعی که مورد نیاز است، نیز تعیین می‌شود.

تصمیم‌گیری در سیستم برنامه‌ریزی تولید با توجه به نوع فعالیت تغییر می‌کند. اگر در برنامه ریزی تولید مسئله موجودی خالص مطرح باشد، مسائل عمده تصمیم گیری محدود می‌شود به این که چه اقلامی باید سفارش شود، چه زمانی سفارش داده شود، چه مقدار سفارش شود و از کجا این سفارش تامین گردد. در تولید مسائل مطرح شده عبارتند از این که چه اقلامی ساخته شود، چه تعداد و چه وقت این تولید انجام پذیرد، و روش تولید برای این اقلام چیست. لذا ملاحظه می‌شود که در حیطه فعالیت‌های مختلف، مسائل تصمیم‌گیری متفاوت لازم است.

جدول ۱.۱ به طور خلاصه مسائل عمده تصمیم‌گیری را جهت کنترل خرید، تولید و توزیع در حیطه فعالیت‌های مختلف نشان می‌دهد.

مدیران در یک سیستم تولیدی می‌توانند تصمیمات متفاوتی را برای پاسخگویی به تقاضا با توجه به افق برنامه‌ریزی تولید بگیرند.

تصمیمات لازم در مسائل تولیدی با توجه به دوره برنامه‌ریزی مشخص می‌شود. این تصمیمات به سه دسته کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم گردیده است که در زیر به طور مختصر در مورد هر یک از آن‌ها بحث خواهیم کرد.

در برنامه‌ریزی بلندمدت با توجه به شرایط بازار برای چند سال آینده، در مورد راه‌اندازی خطوط تولید و ظرفیت آن‌ها تصمیم گرفته می‌شود. بر همین اساس، وسایل، تجهیزات و ماشین آلات تولید، حجم

[1] Inventory

@ORchannel

جدول ۱.۱: مسائل مدیریت تولید

حیطه مساله	تصمیمات ضروری
خرید	چه چیز خریداری شود، چه وقت خریداری شود، چه تعداد و از کجا خریداری شود.
تولید	چه چیز تولید شود، به چه روش و چه وقت تولید انجام پذیرد، و چه مقدار تولید انجام گیرد.
موجودی	چه چیزی می‌بایست به صورت موجودی نگهداری شود، چه وقت و چه تعداد موجودی لازم است.
توزیع	چه چیز توزیع شود، چه موقع، از کجا به کجا و چه قدر توزیع شود.
نیروی انسانی	چه مهارتی، در کجا، برای چه مدت و چه وقت لازم است.
تجهیزات و ماشین آلات	چه نوع، در کجا، با چه ظرفیت و چه وقت لازم است.

سرمایه لازم و سایر منابع تولیدی تخمین زده می‌شود و برای تامین آن‌ها سرمایه‌گذاری لازم انجام می‌شود. در این مرحله در مورد توزیع محصول نیز تصمیم گرفته می‌شود. به این صورت که آیا توزیع مستقیماً انجام شود و یا نمایندگی فروش این وظیفه را به عهده گیرد. حجم محصولات تولیدی در انبار و یا مراکز فروش چقدر باید باشد. چه حجمی از بازار قرار است توسط محصولات این کارخانه تامین شود و بسیاری از مسائل مشابه که در این دوره مشخص می‌شود. تصمیماتی که در مرحله بلندمدت گرفته می‌شود، معمولا یک دوره یک‌ساله تا پنج‌ساله را شامل شده که دارای تجدید نظر فصلی یا سالیانه خواهد بود.

در برنامه‌ریزی میان‌مدت معمولا یک دوره سه‌ماهه تا یک‌ساله مورد نظر است که برنامه‌ها و تصمیمات، هفتگی یا ماهیانه مورد تجدید نظر قرار می‌گیرند. در این مرحله در چهارچوب و محدودیت‌های تعیین شده در برنامه بلندمدت، برنامه جزئی‌تر تولید و خرید تعیین می‌گردد. در این مرحله برنامه هفتگی یا ماهیانه تولید خطوط مختلف تعیین گردیده و با توجه به ظرفیت‌ها مشخص

@ORchannel

می‌شود که در کدام هفته یا ماه نیاز به اضافه‌کاری است، نیروی انسانی لازم در کارگاه‌های مختلف به چه میزان باید باشد، در چه ماه‌هایی باید بیش از تقاضا تولید نمود تا در ماه‌هایی که ظرفیت کمتر از تقاضا است، از محصول انبارشده استفاده نمود.

در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت بر مبنای برنامه میان‌مدت، برنامه جزئی عملیات تولیدی مشخص می‌شود. در این مرحله مشخص می‌شود که کدام کار باید توسط کدام ماشین انجام گیرد. کدام کارگر باید به کدام ماشین تخصیص یابد، اندازه دسته تولید قطعات چیست، ترتیب عملیات تولیدی یا سفارشات کدام است، در صورتی که وقفه‌ای در تولید به وجود آید (به علت خرابی ماشین، کمبود مواد اولیه و حوادث دیگر) اولویت‌ها چه باید باشد، آیا باید از اضافه‌کاری برای جبران وقفه استفاد نمود یا خیر و بسیاری دیگر از این قبیل مسائل در این مرحله برنامه‌ریزی مشخص می‌شود. این مرحله برنامه‌ریزی که دارای دوره هفتگی یا ماهیانه است، به صورت روزانه تصمیمات و برنامه‌ها مورد تجدید نظر قرار می‌گیرند.

برنامه‌ریزی تولید ادغامی[۱] یک برنامه ریزی ظرفیت میان‌مدت است که برنامه تولید و نیروی کار را با هدف حداقل نمودن هزینه کل تولید برای برآورده کردن نیاز مشتری تعیین می‌کند. هدف اصلی برنامه‌ریزی تولید ادغامی مواجهه با نوسانات تقاضا در آینده نزدیک است. برنامه‌ریزی تولید ادغامی به صورت همزمان میزان تولید، نیروی کار و سطح موجودی بهینه را در طول افق برنامه‌ریزی برای پاسخگویی به تقاضای کل مشتری برای همه محصولات و با در نظر گرفتن محدودیت منابع سازمان تعیین می‌کند.

پس از برنامه‌ریزی ادغامی، کمی دقیق‌تر شده و برنامه‌ای برای بازه‌ی کوتاه‌تر تولید تک تک محصولات را تهیه می‌کنیم. یعنی زمان برنامه‌ریزی را کوتاه‌تر و دقیق‌تر می‌کنیم و اینکه دیگر تنها با خانواده محصول کار نداریم، بلکه سراغ تک تک محصولات خواهیم رفت. خروجی این مرحله زمان‌بندی اصلی تولید[۲] (MPS) خواهد بود. یعنی این‌که مشخص کنیم از هر محصول چقدر و در کدام دوره باید تولید شود.

همانطور که در جدول ۱.۱ دیدیم، مسائل مختلفی در مدیریت تولید مطرح می‌شود. در این پژوهش به مساله برنامه‌ریزی نیروی کار پرداخته و سعی در کاهش هزینه‌های نیروی کار داریم.

[1] Aggregate production planning

[2] Master Production Schedule

@ORchannel

۲.۱ برنامه‌ریزی نیروی کار

برنامه‌ریزی نیروی کار در سازمان فرآیندی است که به وسیله آن، سازمان معین می‌کند که برای رسیدن به اهداف خود به چه تعداد کارمند با چه تخصص و مهارت‌هایی، برای چه مشاغلی و در چه زمانی نیاز دارد. طیف وسیعی از مسائل مربوط به برنامه‌ریزی کارمندان و کارگران کارخانجات و شرکت‌های خدماتی به برنامه‌ریزی نیروی انسانی اختصاص دارد. هدف از این کار، استفاده از حداقل نیروی کاری مورد نیاز به منظور کامل‌کردن اهداف تولیدی از پیش تعیین‌شده است. عواملی همچون «ایام تعطیل»، «نوع تخصص»، « استخدام[۱] و اخراج[۲] کارگران موقت[۳] »، « گردش شغلی[۴] »، «درجه مهارت»، «سطح تجربه کارکنان» یا تمایل آن‌ها برای خدمت در یک شیفت خاص نقش موثری در زمان‌بندی نیروی انسانی ایفا می‌کنند. بنابراین، ارائه مدلی جامع و کارآمد که بتواند همه مولفه‌های برنامه‌ریزی نیروی انسانی را به طور هماهنگ پوشش دهد، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

بروکر [۵] و همکاران در [۱۳] موارد زیر را برای انعطاف‌پذیری نیروی کار بیان می‌کنند.

- استخدام و اخراج کارگران موقت: یک راه معمول برای پاسخگویی به تقاضای فصلی است. به این صورت که با افزایش تقاضا به استخدام کارگران موقت روی آورده و با کاهش تقاضا نیروی اضافی موجود را اخراج می‌کنیم.
- آموزش[۶] : آموزش به منظور افزایش عملکرد کارگران (کیفیت، سرعت کار و کارایی) صورت می‌گیرد و به کارگر اجازه می‌دهد که بتواند کار دیگری را نیز انجام دهد. با آموزش می‌توانیم کمبود نیروی کاری ماهر را جبران کنیم. آموزش می‌تواند برای یک و یا چند مهارت برنامه‌ریزی شود. این موضوع سوالاتی را نیز به وجود می‌آورد. سوالاتی مانند:

[1] Hire
[2] Fire
[3] Temporary workers
[4] Job rotation
[5] Bruecker
[6] Training

@ORchannel

۱. به چه کارگرانی آموزش دهیم؟

۲. چه مهارت‌هایی را آموزش دهیم؟

۳. چه موقع این آموزش باید انجام شود.

- یادگیری[۱] و فراموشی[۲] : هر قدر تکرار و تمرین در انجام یک فعالیت بیشتر باشد، زمان لازم برای انجام آن فعالیت کاهش می‌یابد تا به یک زمان معینی می‌رسد و انجام فعالیت هم به صورت عادی در می‌آید. بنابراین، هنگامی که یک کالای جدیدی تولید می‌شود، بدیهی است که اولین، دومین و سومین و... دارای زمان ساخت متفاوت است و خود به خود محصولات اولیه زمان ساخت بیشتری را به خود تخصیص می‌دهند تا این‌که با تکرار تعداد دفعات، تولید آن محصول به صورت یک فعالیت روتین در می‌آید و به زمان نرمال خود می‌رسد، در این صورت بیان می‌شود که فرد مهارت بیشتری در تولید آن محصول به دست آورده است.
رایت [۳] در سال ۱۹۳۶ برای اولین بار، توجه افراد را به منحنی یادگیری جلب نمود. وی نشان داد که چگونه هزینه نیروی کاری با افزایش مهارت در انجام آن کار کاهش می‌یابد. فراموشی زمانی رخ می‌دهد که کارگر کاری را برای مدتی انجام نمی‌دهد [۳].

- استعفای داوطلبانه نیروی کاری: سانگ و هوانگ[۴] [۳۲] فرض کردند که درصد ثابتی از نیروی کاری به صورت داوطلبانه استعفا می‌دهند.

- استخدام داوطلبان متقاضی کار: استخدام این کارگران گزینه دیگری برای افزایش انعطاف‌پذیری نیروی کار است. استفاده مناسب از این کارگران بسیار مهم است. زیرا در صورت استفاده بیش از حد، ممکن است تعداد درخواست‌های کمتری را در آینده شاهد باشیم. همچنین کیفیت کاری که به آن‌ها واگذار می‌شود نیز در درخواست دوباره آن‌ها برای دوره‌های بعدی موثر است.

[1] Learning
[2] Forgetting
[3] Wright
[4] Song & Huang

@ORchannel

۳.۱ بیان مسأله و اهمیت آن

برنامه‌ریزی تولید یکی از مهمترین وظایف مدیریت تولید و عملیات است و درباره تعیین مقدار بهینه تولید، نیروی کار و سطح موجودی برای هر دوره زمانی، با در نظر گرفتن منابع و محدودیت‌ها تصمیم‌گیری می‌کند.

در حال حاضر، مدیران تولید سعی در استفاده از روش‌های مختلف در بهینه‌سازی سیستم‌های تولیدی دارند. یکی از ابعاد مهم در بهینه‌سازی، تعیین، تخصیص و استفاده بهینه از نیروی انسانی در بخش تولید است. امروزه مبحث نیروی انسانی اهمیت زیادی پیدا کرده است و نقش بسزایی در بهره‌وری سیستم تولیدی دارد. برنامه‌ریزی نیروی انسانی با تخمین تعداد و نوع کارکنان مورد نیاز برای جذب، گزینش و آموزش باعث می‌شود تا افراد در زمان مناسب به سازمان اضافه شوند. از جمله راهکارهای ارائه شده در این مبحث، آموزش نیروی انسانی است که در آن، مهارت‌های مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف در هر یک از خطوط تولید به کارگران آموزش داده می‌شود. آموزش نیروی انسانی سبب می‌شود تا کارگران بتوانند به راحتی بین ایستگاه‌های کاری مختلف جابه‌جا شوند و انعطاف‌پذیری سیستم تولید را افزایش دهند.

استفاده از نیروی کاری چندمهارته[1] ، عامل دیگری برای افزایش بهره‌وری یک سیستم تولیدی است. بدیهی است در کارخانه‌ای که از نیروی کاری چندمهارته استفاده می‌کند، تعداد کارگران کمتری در فعالیت هستند. زیرا کارگرانی که فقط قادر به انجام فعالیت در یک ایستگاه کاری هستند، ممکن است یک فاصله زمانی را منتظر بماند. در صورتی که یک نیروی کاری چندمهارته که دانش و مهارت‌هایی در بیشتر از یک ایستگاه کاری[2] دارد، به جای انتظار برای کار تخصصی مربوطه می‌تواند در ایستگاه‌های کاری دیگر مشغول به کار شود. این امر موجب کاهش ساعات بیکاری و به تبع آن باعث کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

این پژوهش مدلی جدید برای تخصیص کارگران به ایستگاه‌های کاری ارائه می‌دهد و سطح مهارت و

[1] Multi-skilled

[2] Workstation

@ORchannel

آموزش مورد نیاز کارگران برای پاسخگویی به تقاضا را مشخص می‌کند. تعداد کارگران دائم و موقت در هر ایستگاه کاری نیز مشخص می‌شود. وضعیت استخدام و اخراج کارگران در هر دوره بررسی می‌شود. ساعات موظفی و اضافه‌کاری از دیگر مواردی است که این مدل، مقادیر عددی آن را تعیین می‌کند. تابع هدف مدل به مینیمم‌سازی هزینه‌هایی شامل میانگین درآمد کارگران دائم و موقت، اضافه‌کاری، استخدام و اخراج کارگران موقت، نگهداری موجودی، سفارشات عقب افتاده و هزینه آموزش می‌پردازد.

۴.۱ اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش ارائه مدلی جدید است تا بتواند فرضیات کاربردی مدل‌های پیشین را همزمان به کار برده و به کمک آن، نتایجی حاصل گردد که تطابق بیشتری با واقعیت دارند. اهداف این پژوهش به شرح زیر است:

- ارائه مدل جدید برنامه‌ریزی نیروی انسانی و بهبود فرآیند برنامه‌ریزی تولید.
- ارائه الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای حل مسأله.
- موازی‌سازی الگوریتم فوق به کمک کتابخانه MPI، به منظور کاهش زمان محاسبات و افزایش کیفیت جواب.

۵.۱ پیشینه پژوهش

در سال‌های گذشته پژوهش‌های بسیاری به منظور مدل‌سازی برنامه‌ریزی تولید در سیستم‌های تولیدی انجام شده است و مقالات مختلفی پیرامون برنامه‌ریزی نیروی انسانی در این حوزه، ارائه شده است. در این بخش مدل‌های ارائه شده برای مسأله برنامه‌ریزی نیروی کار را بررسی می‌کنیم.

در بسیاری از شرکت‌های صنعتی استفاده از کارگران موقت در حال افزایش است. این استراتژی در زمانی که تقاضا متغیر است، می‌تواند مفید باشد. زیرا با افزایش و یا کاهش تعداد کارگران موقت،

@ORchannel

می‌توان تقاضای موجود را برطرف کرد. افزون بر این، نگهداشتن تعداد زیادی نیروی کاری دائم در چنین شرایطی از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست. کارهای اصلی در این زمینه مربوط به جانسون و مونتگمری[۱] [۲۲] و هکس و کندیا[۲] [۲۰] است.

مفهوم کارگران موقت در بسیاری از مدل‌ها استفاده‌شده است و استفاده عملی از آن در حال افزایش است و به عنوان یک راه‌حل برای پاسخگویی به تغییرات تقاضا و کوتاه‌کردن دوره تاخیر تا دریافت تقاضا است. گروسمن[۳] [۱۹] متذکر می‌شود که تعداد کارگران موقت در شرکت‌های صنعتی در دو دهه آخر قرن گذشته افزایش یافته است. استفاده از کارگران موقت در گذشته به عنوان یک راه‌حل مقطعی استفاده شده است. در حالی که امروزه به عنوان یک استراتژی رایج برای مدیران است. کنلی و گالاجهر[۴] [۱۰] مرور جامعی بر تحقیقات مربوط به کارگران موقت و کارگران مشروط[۵] [۶] داشته‌اند. مینلر و پینکر[۷] [۲۵] مفهوم کارگران مشروط را معرفی کرده و به عنوان یک راه حل برای پاسخ به تغییرات تقاضا در نظر گرفته‌اند. پینکر و لارسن[۸] [۲۹] مدلی ارائه کرده‌اند که در آن تعداد کارگران دائم و مشروط را با هدف کمینه کردن هزینه نیروی کار و هزینه انبارداری تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضا مشخص می‌کنند. ونکاتارامن و اسمیت[۹] [۳۴] مدلی سلسله مراتبی به منظور استخدام و اخراج نیروی کار ارایه کرده‌اند. جارمن و همکاران[۱۰] (۱۹۹۸) [۲۱] عملکرد کارگران موقت با سطح مهارت‌های مختلف را بررسی کرده است. بر اساس نتایجی که از ۹۶ شرکت داشتند، آن‌ها دریافتند که کارگران موقت می‌توانند همانند کارگران عادی با همان کیفیت کار کنند. در حالی که بر پایه پژوهش‌های بعدی

[1] Johnson & Montgomery
[2] Hax & Candea
[3] Grossman
[4] Connelly & Gallagher
[5] Contingent Workers
[6] کارگرانی که به صورت پاره وقت و در مواقع ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این افراد معمولاً برای انجام پروژه‌های کوتاه مدت انتخاب می‌شوند.
[7] Milner & Pinker
[8] Pinker & Larson
[9] Venkataraman & Smith
[10] Jarmon

@ORchannel

پژوهشگران مشاهده نمودند که قابلیت کارگران موقتی که استخدام می‌شوند ممکن است همانند کارگران دائم نباشد. گبشوش و تورینی[1] (۲۰۰۰) [۱۵] رابطه بین مهارت کارگران و کیفیت محصول را بررسی کرده‌اند. آن‌ها دریافتند که کارگر با مهارت پایین‌تر، محصولی با سطح کیفیت پایین‌تری را تولید می‌کند. عزیزی و همکاران [۸] مدلی برای گردش شغلی کارگران ارائه کرده‌اند که در آن، هدف به دست آوردن بازه گردش شغلی بهینه است به طوری که تاخیر به وجود آمده به دلیل نداشتن مهارت لازم برای انجام آن کار، مینیمم شود. این مقاله به تخصیص کارگران چندمهارته به ایستگاه‌های کاری می‌پردازد. پس از بررسی مدل ارائه شده در این مقاله، اشکالاتی در مدل‌سازی ریاضی این مسأله مطرح شد که قنبری و صادقی در [۱۸] به تصحیح قسمتی از مدل فوق پرداختند. (به بخش ۶.۱ نگاه کنید). عزیزی و لیانگ[2] [۷] در ادامه کار فوق فرض آموزش به کارگران را به مساله اضافه کردند. آن‌ها هزینه آموزش را تحت تاثیر گردش شغلی، یادگیری و فراموشی کارگران قرار دادند. به این صورت که با تغییر مناسب بازه‌های گردش شغلی، مهارت‌های کارگران دچار فراموشی نمی‌شوند و بنابراین نیاز به آموزش دوباره را از بین می‌برد. تابع هدف مدل مذکور به مینیمم‌سازی هزینه آموزش، عدم بهره‌وری می‌پردازد. مون[3] و همکاران [۲۷] یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط برای تخصیص کارگران ماهر و غیر ماهر به ایستگاه‌های کاری در مساله بالانس خطوط مونتاژ ارائه کرده‌اند. همچنین با توجه به NP-hard بودن مساله فوق، مون و همکاران یک الگوریتم ژنتیک به منظور به دست آوردن جواب‌های کارا برای مسائل بزرگ، ارائه کرده‌اند. تابع هدف مدل آن‌ها هزینه‌های سالانه ایستگاه کاری و حقوق کارگران ماهر و غیر ماهر را مینیمم می‌کند. فولر[4] و همکاران [۱۴] با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به استخدام، اخراج و آموزش کارگران پرداخته و تابع هدف آن‌ها هزینه‌های فوق را مینیمم می‌کند. در این مدل کارگران چندمهارته هستند و تعداد افرادی که باید یک مهارت را آموزش ببینند، مشخص می‌شود. آن‌ها با ارائه روش‌های ابتکاری و فراابتکاری (الگوریتم ژنتیک) به حل مساله فوق پرداخته‌اند. مک

[1] Gabszewicz & Turrini
[2] Liang
[3] Moon
[4] Fowler

@ORchannel

دونالد[1] و همکاران [۲۴] مدل تخصیص کار به کارگران را ارائه کرده‌اند که در آن، مهارت‌ها سطح‌بندی شده و آموزش کارگران برای رفع کمبود مهارت‌های مورد نیاز در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده که کارگران موقت جای خالی کارگران در حال آموزش را پر می‌کنند. گردش شغلی در مدل آن‌ها به این صورت است که کارگرانی که دارای چند مهارت هستند، به گونه‌ای به ایستگاه‌های کاری تخصیص می‌یابند که در کل دوره‌های زمانی، از تمام مهارت‌هایشان استفاده می‌شود. در تابع هدف مدل پیشنهادی مک دونالد و همکاران، هزینه انبارداری، آموزش و هزینه کیفیت پایین محصول مینیمم می‌شود. عثمان و همکاران [۲۸] با ارائه یک مدل جدید برای مساله برنامه‌ریزی نیروی کار، تعداد کارگرانی که باید استخدام و یا اخراج شوند و یا آموزش ببینند، مشخص می‌کنند و ساعات اضافه‌کاری کارگران نیز تعیین می‌شود. در این مدل کارگران در حین انجام کار آموزش می‌بینند. مدل چند هدفه غیر خطی آن‌ها هزینه‌های استخدام، اخراج، آموزش و اضافه‌کاری و تعداد کارگران اخراج شده با بیشترین بهره‌وری را مینیمم می‌کند.

کرومیناس[2] و همکاران [۱۱] با توجه به تقاضای فصلی، به استخدام کارگران موقت ماهر و غیر ماهر پرداختند. آن‌ها فرض کردند که کارگران موقت زمان بیشتری نسبت به کارگران دائمی برای انجام کار لازم دارند. همچنین هر کارگر غیر ماهر باید کنار یک کارگر ماهر قرار بگیرد. مدل عدد صحیح آن‌ها تعداد کارگران موقت را مینیمم می‌کند. تکاوبین وانگ[3] و همکاران [۳۳] نیز با وجود نوسانات زیاد تقاضا به استخدام و اخراج کارگران موقت ماهر و غیر ماهر پرداختند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آن‌ها ساعات موظفی، اضافه‌کاری، سفارشات عقب افتاده و میزان تولید هر محصول را تعیین می‌کند. تابع هدف مدل مذکور به مینیمم‌سازی هزینه‌های استخدام، اخراج، سفارشات عقب افتاده می‌پردازد. مدل فوق فاقد برنامه آموزشی، گردش شغلی و تخصیص است.

در این پژوهش مدلی جدید ارائه می‌شود که حاصل تلفیق دو مدل [۳۳] و [۲۴] است. این مدل علاوه بر استخدام و اخراج کارگران موقت، برای کارگران برنامه آموزشی در نظر می‌گیرد. تخصیص

[1] McDonald
[2] Corominas
[3] Techawiboonwong

@ORchannel

کارگران به ایستگاه‌های کاری، این مدل را از سایر مدل‌های فوق متمایز می‌کند.

۶.۱ بررسی اشتباه مقاله "مدل‌سازی گردش شغلی در سیستم‌های تولیدی: مطالعه خستگی کارکنان و تفاوت مهارت‌ها"

پیرامون مقالاتی که در حوزه برنامه‌ریزی نیروی کار بررسی شدند، مقاله عزیزی و همکاران [۸] به ارائه مدلی درباره گردش شغلی کارگران در بازه‌های زمانی مختلف پرداخته بودند که در مدل مذکور اشکالاتی وجود داشت. عزیزی و لیانگ در [۷] نیز با اضافه کردن مفروضاتی به این مدل به ارائه مدلی جدید پرداختند.

در ادامه با طرح یک مثال، اشتباه به وجود آمده در یکی از محدودیت‌های این مسأله را بیان کرده و محدودیت‌های جدید زیر را پیشنهاد می‌کنیم.

متغیرها و پارامترهایی که در این مدل استفاده شده است، به شرح زیر است:

i اندیس مربوط به کارگران است. $i = ۱, ۲, \cdots, m$

j اندیس مربوط به ایستگاه‌های کاری است. $j = ۱, ۲, \cdots, m$

t اندیس مربوط به دوره‌های زمانی است. $t = ۱, ۲, \cdots, T^H$

k تعداد دفعاتی که کارگر i به ایستگاه کاری j تخصیص می‌یابد.

$x_{i,j,t}$ اگر کارگر i به ایستگاه کاری j در زمان t تخصیص یابد، برابر یک است. در غیر اینصورت برابر صفر است.

$a^k_{i,j}$ زمانی که کارگر i برای kامین بار در ایستگاه کاری j شروع به کار می‌کند.

$d^l_{i,j}$ زمانی که کارگر i ایستگاه کاری j را برای آخرین بار دیده است.

M یک عدد مثبت بزرگ.

با بررسی مقاله فوق مشخص شد که در محدودیت زیر، اشتباهی رخ داده است. اشتباه مدل مذکور

@ORchannel

را با یک مثال بیان می‌کنیم. این محدودیت به صورت زیر بیان شده است.

$$a_{i,j}^{k} = \left(d_{i,j}^{l} + \sum_{l=d_{i,j}^{l}}^{t} \sum_{\substack{r=۱ \\ r \neq j}}^{m} x_{i,r,l} \right) x_{ijt}$$

فرض کنید $x_{i,j,۳} = ۱$ و $k = ۲$. بنا به محدودیت (۲۸)، $a_{i,j}^{k}$ مثبت است. اگر کارگر i در دوره $t = ۴$، به ایستگاه کاری بعد اختصاص یابد، آن‌گاه $x_{i,j,۴} = ۰$ و $a_{i,j}^{k} = ۰$ که درست نیست. زیرا $a_{i,j}^{k}$ مثبت است. به عبارت دیگر، $a_{i,j}^{k}$ همزمان دو مقدار عددی متفاوت اختیار می کند. بنابراین محدودیت (۲۸) در مدل فوق اشتباه است.

برای رفع این مشکل، دو محدودیت زیر را پیشنهاد می‌کنیم.

$$a_{i,j}^{k} \leq d_{i,j}^{l} + \sum_{l=d_{i,j}^{l}}^{t} \sum_{\substack{r=۱ \\ r \neq j}}^{m} x_{i,r,l} + M(۱ - x_{i,j,t})$$

$$a_{i,j}^{k} \geq d_{i,j}^{l} + \sum_{l=d_{i,j}^{l}}^{t} \sum_{\substack{r=۱ \\ r \neq j}}^{m} x_{i,r,l} - M(۱ - x_{i,j,t})$$

۷.۱ پردازش موازی

مطالب این بخش از [۵] گرفته شده است.

در گذشته نه چندان دور، بیشتر کامپیوترهای معمولی، تک پردازنده‌ای (تک هسته‌ای) بودند و الگوریتم‌ها را به صورت سری (ترتیبی) پردازش و اجراء می‌کردند، ولی امروزه با رشد و پیشرفت کامپیوترهای چند پردازنده‌ای (چند هسته‌ای) و شبکه‌های کامپیوتری، موازی سازی الگوریتم‌ها به صورت روزافزونی اهمیت یافته است. از این رو، در چند دهه اخیر، پژوهش‌های زیادی توسط پژوهشگران مهندسی کامپیوتر و دانشمندان علوم کامپیوتر، جهت توسعه و گسترش هر چه بیشتر مفاهیم پردازش موازی برای اجرای مناسب الگوریتم‌های موازی، انجام گرفته است.

@ORchannel

۱.۷.۱ حافظه توزیع‌شده

در این سیستم حافظه، هر پردازنده حافظه محلی خود را دارد که تنها از طریق همین پردازنده می‌توان به آن دسترسی پیدا کرد و انتقال داده‌ها از یک پردازنده به سایر پردازنده‌ها از طریق یک شبکه ممکن است. بر خلاف سیستم‌های حافظه اشتراکی که به پردازنده‌های متفاوت اجازه دسترسی مستقیم به حافظه را از طریق یک باس مشترک می‌دهند.

۲.۷.۱ زمان راه‌اندازی پردازش

در هر سیستم موازی، زمان مشخصی صرف راه‌اندازی[۱] پردازش‌های موازی می‌شود. اگر هر پردازش مدت زیادی در حال اجرا باشد، می‌توان در برابر این زمان اجرا از زمان راه‌اندازی پردازش چشم‌پوشی کرد. اما اگر پردازش‌های ایجاد شده زمان اجرای کوتاهی داشته باشند و برنامه به طور دائم تعداد زیادی پردازش تولید کرده و آن‌ها نیز سریع به پایان برسند، آن‌گاه ممکن است سربار زمانی در راه‌اندازی پردازش‌ها در برخی الگوریتم‌های موازی، بیشتر از زمانی باشد که به دلیل موازی‌سازی الگوریتم صرفه‌جویی کرده‌ایم.

۳.۷.۱ کد ترتیبی[۲] بیش از اندازه

هرچقدر هم که بتوان یک الگوریتم را به بخش‌های مستقل بیشتری برای اجرای موازی تقسیم کرد، بخش‌هایی از آن به صورت ترتیبی باقی خواهند ماند. به بیان دیگر، درهر الگوریتم موازی همواره قسمتی از کد مثل مقداردهی‌های اولیه وجود دارد که ذاتا ترتیبی هستند که در برخی الگوریتم‌ها ممکن است سرعت اجرای برنامه را محدود کنند. در برخی برنامه‌ها کدهای ترتیبی، بخشی از بدنه اصلی و زمان‌گیر الگوریتم را تشکیل می‌دهند که هرچه مقدار آن بیشتر شود، تاثیر منفی آن بر سرعت الگوریتم موازی بیشتر خواهد شد و اگر مقدار آن از حد خاصی فراتر رود، در عمل موازی‌سازی نتیجه قابل

[1] Startup
[2] Sequential Code

@ORchannel

ملاحظه‌ای نخواهد داشت. در حال حاضر، الگوریتم‌های متعددی وجود دارند که به طور کامل ماهیت ترتیبی دارند و موازی‌سازی آن‌ها یا اصولا امکان‌پذیر نیست یا در صورت انجام، به دلیل تحمیل سربارهای مربوط به انتقال داده، ایجاد پردازش، تحویل گرفتن نتیجه و... موازی کردن آن‌ها بیهوده و حتی نامعقول است.

۴.۷.۱ توازن بار[1]

بسیاری از برنامه‌های موازی این ویژگی را دارند که وظایف محاسباتی را در طول اجرای برنامه به صورت پویا و غیرقابل پیش‌بینی تولید کرده و به سایر پردازنده‌ها واگذار کنند. برای سیستمی که هیچ آینده‌نگری خاصی برای این کار در نظر نگرفته است، یک سناریوی امکان‌پذیر آن است که به تعدادی از پردازنده‌ها که درحال انجام وظایف محوله هستند، وظایف جدیدی واگذار شود. در همان حال پردازنده‌های دیگری که کارهای مربوط به خود را انجام داده‌اند، منتظر وظایف جدید هستند. در چنین حالتی، تعدادی از پردازنده‌ها بیش از ظرفیت خود کار دارند و تعداد دیگر بیکارند. درحالی که اگر از بار پردازنده‌های پرکار کاسته شود و به پردازنده‌های بیکار اضافه شود، توازن بار برقرار شده و برنامه سریع‌تر به پاسخ نهایی می‌رسد.

۵.۷.۱ هم‌زمانی

هم‌زمانی[2] یک نقطه مشخص در برنامه است که باید توسط همه پردازنده‌ها دیده شود. به این معنی که هر یک از پردازنده‌ها که آن بخش معین از برنامه را انجام داده‌اند، باید منتظر بمانند تا دیگر پردازنده‌ها نیز به آن نقطه از برنامه برسند. واضح است که این انتظار، موجب تاخیر در روند اجرای برنامه و در نتیجه طولانی‌تر شدن مدت اجرای کل برنامه خواهد شد. البته، در حل بسیاری از مسایل هم‌زمانی امری اجتناب ناپذیر است و در صورت حذف آن ممکن است مسأله هرگز به جواب نهایی نرسد. اما با درنظر

[1] Load balance
[2] Synchronization

@ORchannel

گرفتن پاره‌ای از شرایط می‌توان کاری کرد که تأخیر حاصل از نقطه همزمانی به حداقل ممکن برسد. زیرا در غیر این صورت، شاهد کندی برنامه خواهیم بود. از جمله مسایلی که ممکن است موجب کندی حاصل از همزمانی شود، وجود یک پردازنده کند و یا توزیع بار نامتعادل بین پردازنده‌ها است.

۸.۱ برنامه‌نویسی موازی

بسیاری از الگوریتم‌ها برای اجرا نیاز به بار پردازشی بالایی دارند. میزان پردازش مورد نیاز برای اجرای هر الگوریتم به پیچیدگی آن الگوریتم بستگی دارد. هر چه پیچیدگی بیشتر باشد، برای اجرا نیاز به بار پردازشی بالاتری دارد. اجرای این الگوریتم‌ها مستلزم صرف زمان زیادی است که برای کاهش این زمان می‌توان از چند پردازنده به صورت همزمان بهره برد.

برنامه‌نویسی موازی[۱] برای استفاده هر چه بهتر از منابع سیستم و افزایش سرعت و کارایی برنامه روی پردازنده‌ها به وجود آمد. در این نوع برنامه‌نویسی قسمت‌هایی از برنامه اصلی که قابلیت اجرای همزمان[۲] را دارند، به چند زیربرنامه تقسیم شده و به صورت همزمان روی چند پردازنده و یا چند نخ[۳] اجرا می‌شوند. قسمتی از برنامه هم که قابلیت اجرای موازی را ندارد، به صورت سری روی یک پردازنده اجرا می‌شود.

۹.۱ آشنایی با MPI

مطالب این بخش از [۱] گرفته شده است.

مدل برنامه نویسی MPI همان طور که از نامش پیداست بر اساس انتقال پیام کار می‌کند. در سیستم انتقال پیام پردازنده‌های در حال اجرا به طور موازی و مستقل از هم با یکدیگر در تعامل هستند

[1] Parallel programming
[2] Concurrent
[3] Thread

@ORchannel

و در آن پیامی از یک پردازنده به یک پردازنده دیگر و یا تمامی پردازنده‌ها ارسال می‌شود. بسیاری از برنامه‌های مبتنی بر MPI بر اساس مدل موازی SPMD[1] نوشته می‌شوند که در آن هر پردازنده یک برنامه یکسان اما با داده‌های متفاوت را اجرا می‌کند. پردازش‌های SPMD به طور مشابهی میزان بالایی از محاسبات را روی داده‌هایی که به طور محلی در اختیار آن‌ها هستند، انجام می‌دهند و در عین حال داده‌هایی را که برای محاسبات نیاز است را با کمک انتقال پیام از سایر پردازنده‌ها دریافت می‌کنند. برای مثال، می‌توان به برنامه محاسبه مجموع عناصر دورن یک آرایه اشاره کرد. در نمونه سریال این برنامه باید به کمک یک حلقه تمامی عناصر آرایه را پیمایش کرد و در نهایت به مجموع آن‌ها رسید. اما در نمونه موازی این برنامه، عناصر آرایه بین پردازنده‌ها توزیع می‌شوند و هر پردازنده به طور مستقل، مجموع محلی برای اعضایی که در اختیار دارد را محاسبه می‌کند و در نهایت هر کدام از پردازنده‌ها مجموع محلی خود را طی یک عملیات ترکیبی به پردازنده اصلی ارسال می‌کند و جواب نهایی به دست می‌آید.

واسط انتقال پیام یا MPI به طور گسترده‌ای در استانداردهای جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. واسط انتقال پیام، یک برنامه واسط و کتابخانه ای است از زیربرنامه‌هایی که می‌توانند توسط برخی از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند FORTRAN 77، C و ... فراخوانده شوند و وظیفه آن برقراری ارتباط بین کامپیوترها است. واسط انتقال پیام برای استفاده وسیع و بالاترین سطح کارایی در سیستم‌های گوناگون تعریف شده است. MPI بر پایه انتقال پیام طراحی شده که یکی از وسیع‌ترین و قدرتمندترین الگوهای مورد استفاده برای سیستم‌های برنامه‌نویسی موازی است.

۱.۹.۱ معرفی کتابخانه MPI

کتابخانه MPI دارای توابع متعددی بوده که تعداد آنها در حدود ۲۰۰ تابع است. در اینجا ما به بررسی چند تابع کلیدی این کتابخانه می‌پردازیم.

با اضافه نمودن هدر فایل <mpi.h> در ابتدای برنامه، امکان دسترسی به توابع موجود در کلاس MPI

[1] Single programming multiple data

@ORchannel

فراهم خواهد شد.

MPI_Init(&argc, &argv);

از این تابع باید در ابتدای برنامه به منظور راه‌اندازی ارتباط بین پردازنده‌ها استفاده شود.

MPI_Finalize()

محیط اجرای MPI را نابود می‌کند. این تابع باید در انتهای برنامه فراخوانی شود.

MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &num_procs);

برای اجرای برنامه به طور همزمان بر روی چند پردازنده و تقسیم بار الگوریتم به روی پردازنده‌ها، باید تعداد پردازنده‌های موجود را بدانیم. برای این منظور از دستور فوق استفاده می‌کنیم.

MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, rank);

هر پردازنده دارای یک مشخصه یکتا به نام rank است. با کمک این مشخصه می‌توان کد اجرایی برای هر یک از پردازنده‌ها را تغییر داد و وظایف را بین پردازنده‌ها تقسیم کرد.

نحوه تبادل پیام بین پردازنده‌ها به شرح ذیل صورت می‌گیرد.

۲.۹.۱ ارتباطات نقطه به نقطه

MPI_Send (&buf,count,datatype,dest,tag,MPI_COMM_WORLD)

MPI_Recv (&buf,count,datatype,source,tag,MPI_COMM_WORLD,&status)

کتابخانه MPI توابع متفاوتی برای انجام ارتباطات بین پردازنده‌ها دارد. این دو تابع مقدماتی‌ترین توابع ارتباطی هستند که ارتباط نقطه به نقطه است. به‌طوری که یک پردازنده با نام source که تابع MPI_Send را فراخوانی کرده است، به‌عنوان ارسال کننده پیغامی (داده‌ای با نام senddata با اندازه مشخص count از نوع مشخص datatype) را به یک پردازنده دیگر با نام dest که تابع MPI_Recv

@ORchannel

را فراخوانی کرده است، ارسال می‌کند و این ارتباط بر اساس شماره پیغام که با tag مشخص می‌شود، بین دو پردازنده‌ای که توابع MPI_Send و MPI_Recv را فراخوانی کرده اند، صورت می‌گیرد.

۳.۹.۱ ارتباطات گروهی

در ارتباطات گروهی، کلیه پردازنده‌های درون مجموعه جهت انجام یک عمل با همدیگر همکاری می‌کنند. در برنامه‌های MPI معمولا هر کدام از پردازنده‌ها بدون توجه به کاری که بقیه انجام می‌دهند، مشغول انجام عملیات خودشان می‌باشند به جز در مواقعی که منتظر یک ارتباط بین پردازنده‌ای هستند. در اغلب برنامه‌های موازی پردازنده‌ها به صورت تقریباً مستقل مشغول به کار هستند. با این وجود بعضی از مواقع لازم است که اطمینان حاصل نماییم که پردازنده‌ها در یک لحظه مشغول انجام کار یکسانی هستند. تابع Barrier برای این منظور به کار گرفته می‌شود. هنگامی که یک پردازنده وارد barrier می‌شود از آن خارج نمی‌گردد تا کلیه پردازنده‌ها به Barrier وارد شوند. به عنوان نمونه در مثال زیر هر کدام از مراحل حلقه کاملا همگام هستند. به گونه‌ای که همه پردازنده‌ها در یک زمان خاصی در تکرار یکسانی از حلقه می‌باشند. (تکرار یکسانی از حلقه را اجرا می‌نمایند.)

تابع مهم دیگری که در MPI وجود دارد، تابع Gather است که اطلاعات کلیه پردازنده‌ها را که در مجموعه در حال اجرا هستند، بر روی یک پردازنده جمع‌آوری می‌نماید. حالت دیگری که توسط دو تابع Broadcast و Scatter پیاده‌سازی می‌گردد، عکس تابع Gather است. در این توابع می‌توان اطلاعات بین پردازنده‌ها را پخش نمود. تابع Broadcast یک مقدار را از یک پردازنده به همه پردازنده‌های دیگر ارسال می‌کند. تابع Scatter مشابه تابع Broadcast عمل می‌کند، با این تفاوت که می‌توان مقادیر متفاوتی را به پردازنده‌های مختلف ارسال کرد.

```
MPI_Barrier (MPI_COMM_WORLD)

MPI_Bcast (&buffer,count,datatype,root,MPI_COMM_WORLD)

MPI_Scatter (&sendbuf,sendcnt,sendtype,&recvbuf, recvcnt,recvtype,root,MPI_COMM_WORLD)
```

@ORchannel

MPI_Gather (&sendbuf,sendcnt,sendtype,&recvbuf, recvcount,recvtype,root,MPI_COMM_WORLD)

MPI_Reduce (&sendbuf,&recvbuf,count,datatype,op,root,MPI_COMM_WORLD)

در برنامه‌هایی که در فصل سوم آمده است، از توابع فوق استفاده کرده‌ایم.

@ORchannel

مراجع

[۱] مقدمه‌ای بر چارچوب برنامه‌نویسی MPI. http://hpclab.ir/index.php/84-parallel/119-mpi، ۱۳۹۲.

[۲] فاطمی قمی، محمدتقی. *برنامه‌ریزی و کنترل تولید و موجودیها*، ویرایش هشتم. انتشارات امیر کبیر، تهران، ۱۳۸۹.

[۳] متقی، هایده. *مدیریت تولید و عملیات*، ویرایش هفدهم. انتشارات آوای شروین، تهران، ۱۳۹۴.

[۴] مریخ بیات، فرشاد. *الگوریتم های بهینه سازی فراابتکاری (همراه با کاربردهایی در مهندسی برق)*. انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۹۳.

[۵] میرزائی، کمال. پردازش موازی. http://kmirzaie.ir/cat-۱۵.aspx، ۱۳۹۵.

[۶] یقینی، مسعود و اخوان کاظم‌زاده، محمدرحیم. *الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری*. جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر.

[7] Azizi, N., and Liang, M. An integrated approach to worker assignment, workforce flexibility acquisition, and task rotation. *Journal of the Operational Research Society 64*, 2 (2013), 260–275.

[8] Azizi, N., Zolfaghari, S., and Liang, M. Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations. *International Journal of Production Economics 123*, 1 (2010), 69–85.

@ORchannel

[9] Burke, E. K., and Kendall, G. *Search methodologies*. Springer, 2005.

[10] Connelly, C. E., and Gallagher, D. G. Emerging trends in contingent work research. *Journal of management 30*, 6 (2004), 959–983.

[11] Corominas, A., Pastor, R., and Plans, J. Balancing assembly line with skilled and unskilled workers. *Omega 36*, 6 (2008), 1126–1132.

[12] Crainic, T. G., Gendreau, M., Hansen, P., and Mladenović, N. Cooperative parallel variable neighborhood search for the p-median. *Journal of Heuristics 10*, 3 (2004), 293–314.

[13] De Bruecker, P., Van den Bergh, J., Beliën, J., and Demeulemeester, E. Workforce planning incorporating skills: State of the art. *European Journal of Operational Research 243*, 1 (2015), 1–16.

[14] Fowler, J. W., Wirojanagud, P., and Gel, E. S. Heuristics for workforce planning with worker differences. *European Journal of Operational Research 190*, 3 (2008), 724–740.

[15] Gabszewicz, J., and Turrini, A. Workers' skills, product quality and industry equilibrium. *International journal of industrial organization 18*, 4 (2000), 575–593.

[16] García-López, F., Melián-Batista, B., Moreno-Pérez, J. A., and Moreno-Vega, J. M. The parallel variable neighborhood search for the p-median problem. *Journal of Heuristics 8*, 3 (2002), 375–388.

[17] Gendreau, M., and Potvin, J.-Y. *Handbook of metaheuristics*, volume 2. Springer, 2010.

@ORchannel

[18] Ghanbari, R., and Sadeghi, S. Erratum to "modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee s boredom and skill variations"[int. j. prod. econ. 123 (2010) 69–85]. *International Journal of Production Economics 169* (2015), 55.

[19] Grossman, R. J. Short-term workers raise long-term issue: Greater flexibility and cost savings make contingent workers a viable strategy-but watch out for the traps. *HR magazine 43* (1998), 80–89.

[20] Hax, A., and Candea, D. *Production and inventory management, 1984*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

[21] Jarmon, R., Paulson, A. S., and Rebne, D. Contractor performance: How good are contingent workers at the professional level? *IEEE Transactions on Engineering Management 45*, 1 (1998), 11–19.

[22] Johnson, L. A., and Montgomery, D. C. *Operations research in production planning, scheduling, and inventory control*, volume 6. Wiley New York, 1974.

[23] Knausz, M. *Parallel variable neighbourhood search for the car sequencing problem*. na, 2008.

[24] McDonald, T., Ellis, K. P., Van Aken, E. M., and Patrick Koelling, C. Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell. *International Journal of Production Research 47*, 9 (2009), 2427–2447.

[25] Milner, J. M., and Pinker, E. J. Contingent labor contracting under demand and supply uncertainty. *Management Science 47*, 8 (2001), 1046–1062.

@ORchannel

[26] Mladenović, N., and Hansen, P. Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research 24*, 11 (1997), 1097–1100.

[27] Moon, I., Shin, S., and Kim, D. Integrated assembly line balancing with skilled and unskilled workers. in *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (2014), Springer, pp. 459–466.

[28] Othman, M., Bhuiyan, N., and Gouw, G. J. Integrating workers' differences into workforce planning. *Computers & Industrial Engineering 63*, 4 (2012), 1096–1106.

[29] Pinker, E. J., and Larson, R. C. Optimizing the use of contingent labor when demand is uncertain. *European Journal of Operational Research 144*, 1 (2003), 39–55.

[30] Polacek, M., Benkner, S., Doerner, K. F., and Hartl, R. F. A cooperative and adaptive variable neighborhood search for the multi depot vehicle routing problem with time windows. *BuR-Business Research 1*, 2 (2008), 207–218.

[31] Sevkli, M., and Aydin, M. E. Parallel variable neighbourhood search algorithms for job shop scheduling problems. *IMA Journal of Management Mathematics 18*, 2 (2007), 117–133.

[32] Song, H., and Huang, H.-C. A successive convex approximation method for multistage workforce capacity planning problem with turnover. *European Journal of Operational Research 188*, 1 (2008), 29–48.

[33] Techawiboonwong, A., Yenradee, P., and Das, S. K. A master scheduling model with skilled and unskilled temporary workers. *International Journal of Production Economics 103*, 2 (2006), 798–809.

@ORchannel

[34] Venkataraman, R., and Smith, S. Disaggregation to a rolling horizon master production schedule with minimum batch-size production restrictions. *International Journal of Production Research 34*, 6 (1996), 1517–1537.

@ORchannel

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

ا

ابتکاری ..... Heuristic

اخراج ..... Fire

استخدام ..... Hire

الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ..... Variable Neighborhood Search Algorithm

الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر اصلی ..... Basic VNS

الگوریتم‌های تقریبی ..... Approximate algorithms

آموزش ..... Training

ب

برنامه‌ریزی تولید ..... Production planning

برنامه‌ریزی تولید ادغامی ..... Aggregate production planning

برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ..... Mixed Integer Programming

برنامه‌ریزی نیروی کار ..... Workforce planning

@ORchannel

ج

جستجوی محلی ..... Local search

جستجوی همسایگی متغیر مشارکتی ..... Cooperative VNS

د

دقیق ..... Exact

ر

راه‌اندازی ..... Startup

ز

زمان‌بندی اصلی تولید ..... Master Production Schedule

@ORchannel

ف

فراابتکاری ..... Metaheuristic

فراموشی ..... Forgetting

ک

کارگران مشروط ..... Contingent Workers

کارگران موقت ..... Temporary workers

گ

گردش شغلی ..... Job rotation

ل

لرزاندن ..... Shake

@ORchannel

ن

نخ ..... Thread

ه

هم‌زمانی ..... Synchronization

ی

یادگیری ..... Learning

@ORchannel

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A

برنامه‌ریزی تولید ادغامی ..... Aggregate production planning

الگوریتم‌های تقریبی ..... Approximate algorithms

B

الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر اصلی ..... Basic VNS

C

همزمان ..... Concurrent

کارگران مشروط ..... Contingent Workers

جستجوی همسایگی متغیر مشارکتی ..... Cooperative VNS

@ORchannel

E

Exact ..... دقیق

F

Fire ..... اخراج

Forgetting ..... فراموشی

H

Heuristic ..... ابتکاری

Hire ..... استخدام

I

Inventory ..... موجودی

@ORchannel

J

Job rotation ..... گردش شغلی

L

Learning ..... یادگیری

Local search ..... جستجوی محلی

M

Master Production Schedule ..... زمان‌بندی اصلی تولید

Metaheuristic ..... فراابتکاری

Mixed Integer Programming ..... برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط

Multi-skilled ..... چندمهارته

P

Parallel programming ..... برنامه‌نویسی موازی

Production planning ..... برنامه‌ریزی تولید

@ORchannel

S

Shake ..... لرزاندن

Startup ..... راه‌اندازی

Synchronization ..... هم‌زمانی

T

Temporary workers ..... کارگران موقت

Thread ..... نخ

Training ..... آموزش

V

Variable Neighborhood Search Algorithm ..... الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر

W

Workforce planning ..... برنامه‌ریزی نیروی کار

Workstation ..... ایستگاه کاری

@ORchannel

نمایه

Aggregate production planning برنامه‌ریزی تولید ادغامی. ۱۱

Approximate algorithms الگوریتم‌های تقریبی. ۳۷

Basic VNS الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر اصلی. ۳۹

Concurrent همزمان. ۲۳

Contingent Workers کارگران مشروط. ۱۶

Cooperative VNS جستجوی همسایگی متغیر مشارکتی. ۴۵

Exact دقیق. ۳۷

Fire اخراج. ۱۲

Forgetting فراموشی. ۱۳

Heuristic ابتکاری. ۳۷

Hire استخدام. ۱۲

Inventory موجودی. ۹

@ORchannel

Job rotation گردش شغلی. ۱۲

Learning یادگیری. ۱۳

Local search جستجوی محلی. ۳۸

Master Production Schedule زمان‌بندی اصلی تولید. ۱۱

Metaheuristic فراابتکاری. ۳۷

Mixed Integer Programming برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط. ۶

Multi-skilled چندمهارته. ۱۴

Parallel programming برنامه‌نویسی موازی. ۲۳

Production planning برنامه‌ریزی تولید. ۶

Shake لرزاندن. ۳۹

Startup راه‌اندازی. ۲۱

Synchronization هم‌زمانی. ۲۲

Temporary workers کارگران موقت. ۱۲

Thread نخ. ۲۳

Training آموزش. ۱۲

Variable Neighborhood Search Algorithm الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر. ۶

@ORchannel

Workforce planning برنامه‌ریزی نیروی کار. ۶

Workstation ایستگاه کاری. ۱۴