Archive of SID

اتوماسیون برنامه‌ریزی عملیات و الگوریتم‌های ترتیب بهینه عملیات و انتخاب ابزار

محسن شاکری دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده

تنوع بالای قطعات با تعداد تولید کم از مشخصات عمده کارگاه قطعه‌سازی است. لذا سیستم‌های CAM که برای ایجاد برنامه NC در این گونه کارگاه‌ها بکار گرفته می‌شوند باید نیاز کمتری به تصمیم کاربر برای برنامه‌ریزی عملیات داشته باشند. در این مقاله روشی برای استخراج عملیات ماشینکاری جهت اتوماسیون برنامه‌ریزی عملیات پیشنهاد شده است. بعلاوه الگوریتمی برای تعیین ترتیب بهینه عملیات و انتخاب ابزار بکار گرفته شده است. یک مثال عملی جهت مقایسه با یکی از الگوریتم‌های موجود ارائه شده است. نتایج بیانگر آن است که روش پیشنهادی با کم کردن دخالت کاربر، اتوماسیون در برنامه‌ریزی عملیات را فراهم می‌سازد. روش پیشنهادی همچنین با انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری قابل ملاحظه به کاربر قابلیت تدوین تکنولوژی ماشینکاری ویژه منطبق بر وسایل و تجهیزات موجود در کارگاه خود را می‌دهد.

کلمات کلیدی: کارگاه قطعه‌سازی، ماشین کنترل عددی کامپیوتری، برنامه NC، سیستم CAD بر پایه اشکال ویژه، برنامه‌ریزی عملیات.

Automated Operation Planning and Optimum Operation Sequencing and Tool Selection Algorithms

M. Shakeri Faculty of Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology

Abstract

Low volume and high product mix characterize a job shop manufacturing. The CAM software in generating NC programs needs to reduce dependence on human judgment in operation planning in order to be used in low repetitive and high product mix production environments. In this paper a procedure for extracting machining methods for automated operation planning is proposed. Furthermore an optimum operation sequencing and tool selection algorithm is developed in CAM system. Numerical example has been provided and comparisons made with a known algorithm. Results indicate that the algorithms proposed in this research establish automated operation planning with reduced dependence on human judgment. It is also achieved considerable flexibility and adaptability, allowing the users to implement particular manufacturing knowledge of their own and resources available at individual shop sites.

Key words: Job shop, Computer numerical control (CNC), NC program, Machining feature based CAD, Operation planning.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تنوع بالای قطعات با تعداد تولید کم از مشخصات عمده کارگاه قطعه‌سازی است که باعث پیچیدگی روند تولید در این گونه کارگاه‌ها می‌شود [۱ و ۲]. با ورود ماشین‌های کنترل عددی به بازار، استفاده از این ماشین‌های ابزار شاید بعنوان یک راه حل منطقی مطرح شده‌اند [۲]. اما استفاده از ماشین‌های کنترل عددی مستلزم آماده‌سازی یک سری از مقدمات از قبل می‌باشد از جمله آماده کردن برنامه NC که خود گاهاً چندین برابر زمان ماشینکاری خواهد بود بر اساس برآوردهای بعمل آمده برای هر ساعت ماشین‌کاری نیاز به حداقل ۲۰ ساعت وقت برای برنامه‌نویسی آن به کمک نرم‌افزارهای متداول امروزی است. مولف این مقاله یک سیستم CAD/CAM بر پایه اشکال ویژه را طرح‌ریزی نموده که قادر به ایجاد برنامه NC صحیح و دقیق در یک زمان بسیار کوتاه می‌باشد که این سیستم در حال تکمیل به وسیله پسخوردهای کاربر در صنایع است [۵ - ۳]. در این مقاله بیشتر به اتوماسیون عملیات ماشین‌کاری و ترتیب بهینه عملیات و انتخاب ابزار می‌پردازیم.

تلاش‌ها و تحقیقات زیادی برای اتوماسیون عملیات ماشین‌کاری صورت گرفته است. استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در استخراج عملیات ماشین‌کاری راه مشترک اغلب این تحقیقات بوده است [۶]. روش‌های پیشنهادی را می‌توان به دو روش پایه، برنامه‌ریزی عملیات تعریف شده توسط کاربر و الگوریتم‌های تکنولوژی- محور برای برنامه‌ریزی عملیات دسته‌بندی نمود.

AUTAP، MOPS و OPTMILL نمونه‌های از سیستم‌های نرم‌افزاری بر پایه برنامه‌ریزی عملیات تعریف شده توسط کاربر هستند. سیستم برنامه‌ریزی عملیات AUTAP در دانشگاه آخن و بر پایه سیستم خبره بنا شده است [۷]. کارلیر [۸] سیستم برنامه‌ریزی عملیات MOPS را با کاتالوگی از روش‌های ماشین‌کاری در بانک داده ایجاد نمود و با انتقال هر جزء ماشین‌کاری از قطعه در دست بررسی به روش مناسب ماشین‌کاری مستخرج از بانک داده به برنامه‌ریزی عملیات دست یافت. سیستم OPTMILL در دانشگاه آریستوتلس ایجاد شده و با شناسایی اشکال ویژه بعنوان داده‌های ماشین‌کاری و استفاده از سیستم خبره، داده‌ها را به شکل نمودار درختی به نمایش در می‌آورد [۹]. این قبیل نمودارها نه تنها قادر به توصیح جزئی مراحل تولید نمی‌باشند بلکه هیچ گونه اطلاعاتی در خصوص ابزارهای مورد نیاز نمی‌توانند بدهند. اصولاً، سیستم‌ها بر پایه برنامه‌ریزی عملیات تعریف شده توسط کاربر بر اساس بعضی از داده‌های سیستم خبره بنا شده‌اند. به هر حال این روش دارای محدودیت‌های در کارگاه‌های قطعه‌سازی بواسطه توانائی کاربر در کار با این داده‌ها است. اولا، استخراج قوانین تولید از یک سیستم خبره نسبتاً مشکل بوده و ثانیا، تداخل قوانین تولید نیاز به هوشمندی بیشتر سیستم در انتخاب قانون مناسب می‌باشد.

STOPP، QTC و MDGS نمونه‌های از سیستم‌های نرم‌افزاری جهت اتوماسیون برنامه‌ریزی عملیات هستند که بر اساس الگوریتم‌های تکنولوژی- محور بنا شده‌اند. STOPP بر اساس الگورتیم جستجو بنا شده و با انتخاب سطوح اولیه ماشین‌کاری شده بدنبال یک سیکل ماشین‌کاری برای هر ابزار است [۱۰]. سیستم QTC در دانشگاه پروژو بر اساس تکنیک بازسازی اشکال ویژه جهت استخراج اشکال ویژه ماشین‌کاری از روی یک سیستم طراحی بر پایه اشکال ویژه بنا شده است [۱۱]. متسودا [۱۲] در دانشگاه توکیو سیستم MDGS را توسعه داد که شامل دو ماژول عمده، استخراج کننده اشکال ویژه ماشینکاری و مولد داده‌های ماشین‌کاری می‌باشد. اصولاً، سیستم‌ها بر پایه الگوریتم‌های تکنولوژی محور بدون دخالت کاربر داده‌های ماشین‌کاری را ایجاد می‌کنند. این گونه سیستم‌ها از دانش آکادمی ماشین‌کاری، یک سری قوانین و الگوریتم‌های استقرائی استفاده می‌کنند. در این مورد، استخراج برنامه‌ریزی عملیات به مقدار زیادی وابسته به الگوریتم‌های استقرائی بکار رفته در سیستم است و بنابر این روشی نسبتاً صلب بوده و در بعضی از موارد استفاده از تجربیات کارگاهی در برنامه‌ریزی عملیات خاص غیرممکن می‌باشد.

همچنین تعداد زیادی محققین سعی در یافتن جواب بهینه برای مسئله ترکیبی ترتیب عملیات و انتخاب ابزار داشته‌اند [۱۵-۱۳]، اما تا به امروز هیچ یک از آنها در سیستم‌های نرم‌افزاری تجاری بواسطه محاسبات پیچیده بکار گرفته نشده‌اند [۱۶]. به عبارت دیگر، روش مورثی که بوسیله یوت [۱۷] پیشنهاد گردیده و در سیستم QTC گسترش یافته شاید از عملی‌ترین روش‌های بکار گرفته شده تلقی گردد. ولی در روش یوت، ترتیب عملیات و انتخاب ابزار بصورت جداگانه بررسی گردیده است. و لیکن رائو [۱۸] روشی برای مسئله ترکیبی

www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب عملیات و انتخاب ابزار ارائه نموده که در سیستم PART بکار گرفته شده است.

تعریف عملیات و انتخاب ابزار و ترتیب عملیات از عمده فعالیت‌های زمان‌بر در نرم‌افزارهای CAM تجاری متداول در بازار است. هدف عمده این مقاله اتوماسیون در برنامه‌ریزی عملیات و ترتیب بهینه عملیات و انتخاب ابزار برش می‌باشد. برای رسیدن به این هدف دو متدلوژی زیر پیشنهاد شده است.

الف) متدی برای استخراج روش ماشین‌کاری،

ب) روشی برای انتخاب ابزار و ترتیب عملیات.

۲- اتوماسیون برنامه ریزی عملیات

در توسعه سیستم CAD/CAM برای ایجاد برنامه NC یک بانک اطلاعاتی شی‌گرا- ربطی فراهم شده است [۱۹]. این بانک اطلاعاتی دارای تعدادی جدول بوده که براحتی جهت تصحیح و تغییر در اختیار کاربر می‌باشد و به صورتی طراحی شده است که از قابلیت انعطاف‌پذیری بالای برخوردار بوده که کاربر قادر خواهد بود که روش ماشین‌کاری خاص کارگاه تولیدی خود را برای هر شکل ویژه در بانک اطلاعاتی بعنوان متد ماشین‌کاری اختصاصی اعمال نماید.

شکل (۱) روش‌های مختلف ماشین‌کاری یک سوراخ پین را در کارگاه‌ها مختلف به نمایش گذاشته شده است. این روش‌های مختلف ناشی از منابع متفاوت از قبیل ابزار، نوع ماشین‌های ابزار در دسترس، قید و بند و همچنین تفاوت دانش ماشین‌کاری مهندسان تولید می‌باشد. عملیات مربوط به هر شکل ویژه ماشین‌کاری به صورت سطرهای یک بانک اطلاعاتی که به آسانی قابل تنظیم برای هر دانش خاص ماشین‌کاری است. هر روش ماشین‌کاری به طوری که در شکل (۲) آمده است شامل عملیات و ابزارهای کاندید و مسیر حرکت ابزار و مقادیر ابعادی برای هر مرحله ماشین‌کاری است. ابزارهای کاندید می‌توانند از انواع متفاوت با جملات شرطی معین که جهت انتخاب یک ابزار از میان کاندیدهای مختلف بکار گرفته می‌شوند باشند. بعنوان مثال، شکل (۲) حالتی را نشان می‌دهد که برای یک شکل ویژه شیار، در صورتی که عرض شیار از ۳۰ mm بیشتر باشد از ابزار ماتریس و در غیر این صورت از فرز انگشتی استفاده شود.

قطر ابزار انتخابی $۰/۸d_۱$ بوده که نسبت تعداد ابزار کاندید به تعداد ابزار انتخابی می‌تواند ۱:۱ یا ۱:n باشد. انتخاب ابزار بر اساس یک سری قوانین تولید (Production Rule, PR) که بصورت قوانین منطقی IF-THEN در آمده قابل دستیابی است.

جزئیات هر مرحله ماشین‌کاری شامل منطق حرکت ابزار، منطق برش و توزیع حجم ماشین‌کاری است. منطق حرکت ابزار بیانگر نوع عملیات ازقبیل خش‌کاری، پرداخت متوسط، پرداخت خوب و یا فرم مسیر حرکت ابزار است. منطق برش نشانگر روش ماشین‌کاری معمولی، برش در خلاف جهت حرکت و یا بعضی از حرکت‌های سیکلی مانند G81 و G84 برای سوراخ‌کاری و قلاویزکاری می‌باشد. توزیع حجم ماشین‌کاری، پارامترهای اشکال ویژه ماشین‌کاری ($d_۱$ الی d_4) را برای هر مرحله از پروسه ماشین‌کاری مشخص می‌کنند.

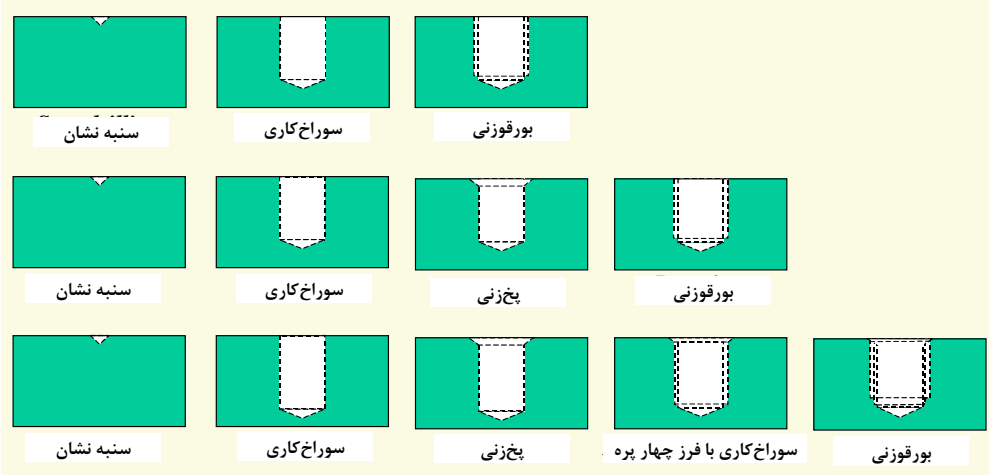
برای هر شکل ویژه جدید کاربر به آسانی قادر خواهد بود عملیات ماشین‌کاری لازم برای ایجاد آن را برحسب تکنولوژی اکتسابی خود به بانک داده‌ها سیستم CAM از طریق یک سری از پنجره‌های محاوره‌ای داده‌ها به جدول بانک داده‌ها CAM برای استفاده دائمی اضافه نماید.

۳- ترتیب عملیات و انتخاب ابزار

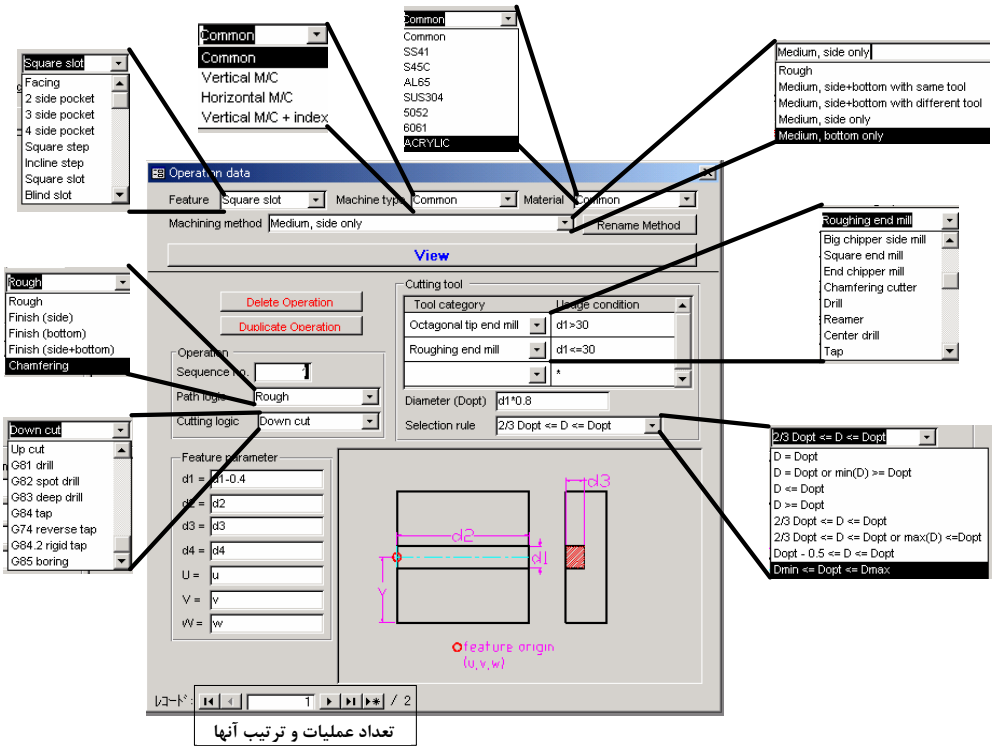
هدف از الگوریتم پیشنهادی، ترتیب عملیات بر حسب کمترین تغییر ابزار و کمترین تعداد ابزار مورد استفاده در عملیات ماشین‌کاری یک قطعه است. کمترین تغییر ابزار با توجه به حذف خطا ناشی از نصب ابزار روی اسپندال ماشین ابزار باعث افزایش دقت در تولید و همچنین کاهش زمان ماشین‌کاری خواهد شد. همان گونه در شکل (۳) آمده است الگوریتم پیشنهادی به صورت دو بسته مجزا، بسته تعیین کننده قید تقدم و تاخر (PCG module) و بسته تعیین کننده ترتیب عملیات و انتخاب ابزار (OSTS module) تقسیم‌بندی شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



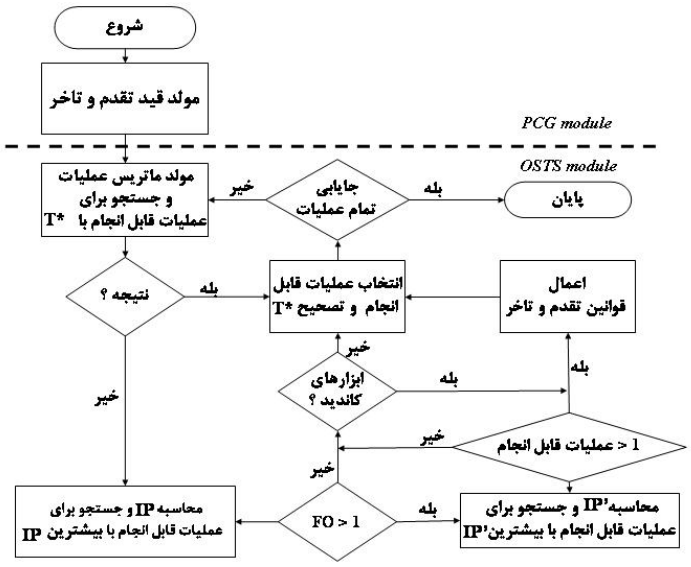
شکل ۱- روش‌های متفاوت ماشین‌کاری یک سوراخ دقیق در کارگاه‌های مختلف



شکل ۲- پنجره محاوره‌ای عملیات به عنوان ورودی برای روش ماشین‌کاری دلخواه کاربر

www.SID.ir

Archive of SID



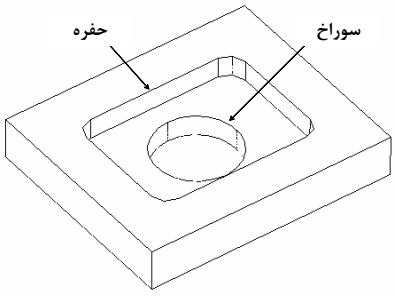
شکل ۳- فلوچارت مربوط به الگوریتم ترتیب بهینه عملیات و انتخاب ابزار

الف- بسته ایجاد کننده قید تقدم و تاخر

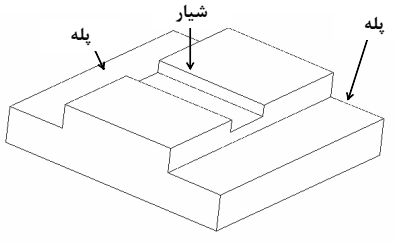
کار عمده این ماژل جستجو برای تقابل هندسی اشکال ویژه می‌باشد. این تقابل هندسی منجر به روابط تقدم و تاخر بین عملیات می‌شود. سه دسته عمده قید روی اشکال ویژه از طریق موارد ذیل اعمال می‌گردد.

- قید عمق ماشین‌کاری: بعنوان مثال در شکل (۴- الف) باید ابتدا پاکت و بعد از آن سوراخ ماشین‌کاری شود چون در غیر این صورت، ابزار با قطعه کار در حین نزدیک شدن برای عملیات سوراخ‌کاری برخورد می‌کند.
- قید مربوط به محورهای X و Y: بعنوان مثال در شکل (۴- ب) ترجیحاً باید ابتدا پله‌های طرفین ماشین‌کاری شده و بعد شیار وسط ماشین‌کاری شود. برای اینکه نزدیکی ابزار به شیار باعث تداخل با یکی ازپله‌های طرفین می‌شود.
- قید تکنولوژی: برای حالتی است که یک عمل باید از نقطه نظر تکنیکی بعد از عمل دیگر آورده شود بعنوان مثال عملیات پرداخت همواره باید بعد از خشن‌کاری آورده شود.

بعد از تعیین تقدم و تاخر عملیات، نتایج با ابزارهای کاندید برای هر عملیات جهت تعیین عملیات و انتخاب ابزار مناسب به ماژول OSTS فرستاده می‌شود. در ماژول PCG جهت کاهش کارهای آماده‌سازی چنانچه از میان ابزارهای کاندید، ابزاری در جعبه ابزار ماشین وجود دارد از اولین شانس جهت انتخاب برخوردار است. اگر یک ابزار موجود در ماشِین توانایی انجام عملیات را دارا باشد از بقیه آلترناتیوها صرف نظر می‌شود.



شکل ۴- الف - قید عمق ماشین‌کاری



شکل ۴- ب- قید مربوط به محورهای X و Y

شکل ۴- انواع قیود تقدم و تاخر(مثال)

www.SID.ir

Archive of SID

ب- بسته تعیین کننده ترتیب عملیات و انتخاب ابزار

ماژول OSTS بیشتر روی ماتریس عملیات (Operation Matrix, OM) کار می‌کند. همان طوری که در جدول (۱) نشان داده شده است هر سطر و ستون بیانگر یک عملیات است. که اعضای این ماتریس اعداد ۱ و ۰ و ۱- هستند. بعنوان مثال: سطر سوم ستون دوم دارای مقداری برابر ۱ است که بیانگر این نکته است که عملیات شماره ۳ باید قبل از عملیات شماره ۲ انجام شود. به طور مشابه سطر nام ستون اول دارای مقداری برابر ۱- است که نشان دهنده اینکه عملیات n باید بعد از عملیات اول انجام شود. و مقدار عضو 0 برای ماتریس OM بیانگر اینکه عملیات مربوط به آن سطر و ستون هیچ گونه تقدمی نسبت به هم ندارند و هر یک از آنها می‌تواند قبل از دیگری انجام شود.

جدول ۱- ماتریس عملیات(OM)

T*	1	2	3	…	…	*n*	IP
1	0	-1	0	0	0	1	0
2	1	0	-1	0	0	0	0
3	0	1	0	0	1	0	2
…	0	0	0	0	0	-1	-1
…	0	0	-1	0	0	0	-1
n	-1	0	0	1	0	0	0

بعد از تشکیل ماتریس OM، عملیات قابل انجام شناسایی می‌شود. عملیات قابل انجام در هر مرحله شامل عملیاتی است که دارای مولد نبوده یعنی سطر مربوط به آنها دارای عدد ۱- نمی‌باشد. گوشه سمت راست بالای ماتریس OM با علامت T^* مشخص شده که بیانگر نام ابزاری که در عملیات قبلی استفاده شده است. اگر چنانچه از میان عملیات قابل انجام، عملیاتی که ابزار T^* جزوه ابزار کاندید برای انجام آنها است انتخاب می‌گردد تا کمترین تغییر ابزار حاصل شود. اگر از میان عملیات قابل انجام، هیچ عملیاتی به وسیله ابزار T^* قابل انجام نباشد عملیات بعدی بوسیله اندیس تقدم (Index Priority, IP) انتخاب می‌گردد. مقدار IP مربوط به هر سطر از جمع جبری اعضای آن سطر در ماتریس OM به دست می‌آید. مقدار بیشتر اندیس تقدم مبنی بر انجام سریعتر آن بوده برای اینکه بعنوان والدین تعداد بیشتری از عملیات خواهد بود. اگر دو یا چند عملیات اندیس تقدم IP یکسان داشته باشند سپس ضریب IP' محاسبه و مقایسه می‌شود. IP' جمع جبری IPهای مربوط به عملیات موخر هر سطر می‌باشد.

وقتی که تعدادی از عملیات قابل انجام دارای اندیس تقدم IP و ضریب IP' یکسان باشند و یا زمانی که آلترناتیوهای انتخاب ابزار برای یک عملیات مطرح باشد قوانین تقدم زیر الگوریتم را به سمت هدف هدایت خواهد نمود. قوانین تقدم به ترتیب استفاده در زیر آمده است.

قانون تقدم (PR_1): ابزاری که دارای بیشترین فرکانس در میان ابزارهای کاندید برای عملیات قابل انجام است انتخاب کنید در صورتی که دو یا چند ابزار دارای نمره یکسان باشند به (PR_2) مراجعه شود.

قانون تقدم (PR_2): از میان مجموعه ابزارها در (PR_1)، ابزاری را که بیشترین استفاده در میان عملیات قبلی داشته انتخاب کنید. در صورتی که دو یا چند ابزار دارای شرایط یکسان باشند به (PR_3) مراجعه شود.

قانون تقدم (PR_3): ابزاری که بیشترین اشتراک را در میان ابزارهای کاندید برای کل عملیات را دارد انتخاب کنید. در صورتی که دو یا چند ابزار دارای شرایط یکسان باشند به (PR_4) مراجعه کنید.

قانون تقدم (PR_4): ابزاری را به صورت تصادفی انتخاب کنید.

الگوریتم براین اساس تدوین شده است که عملیات بعدی نیاز به تعویض ابزار نداشته باشد (T^* و قانون اول) و زمانی که تغییر ابزار اجتناب‌ناپذیر باشد عملیاتی انتخاب می‌شود که دنبال خود بیشترین عملیات را جهت انجام بدنبال داشته باشد (اندیس تقدم IP و IP') و در نهایت کمترین تغییر ابزار هم بوسیله قوانین دوم و سوم تظمین می‌شود.

۴- مثال عددی

یک مثال عددی برای روشنتر شدن جزئیات الگوریتم در این مقاله ارائه می‌شود. مثال مورد مطالعه از روی مورد ارائه شده توسط رائو [۱۸] جهت مقایسه بیشتر آورده شده است همان گونه که در جدول شماره (۲) آمده است این مثال شامل ۱۰ عملیات مختلف با ۱۴ مورد قید تقدم و تا حداکثر چهار ابزار کاندید برای هر عملیات می‌باشد.

مرحله ۱: بر اساس قیود تقدم جدول شماره (۲) ماتریس عملیات OM به طوری که در جدول (۳) آمده است تشکیل می‌شود. عملیات ۱ و ۹ شامل عدد۱- در سطرهای مربوطه نمی‌باشند لذا

www.SID.ir

Archive of SID

هر دو آنها جزء عملیات قابل انجام هستند از آنجائی که T^* دارای مقدار اولیه نمی‌باشد اندیس تقدم IP هر یک از عملیات ۹ و ۱ را باید با هم مقایسه کنیم با توجه به یکسان بودن IP بایستی مقادیر 'IP را با هم مقایسه کنیم مقدار 'IP مربوط به عملیات ۱ از جمع IPهای مربوط به عملیات ۲ و ۶ بدست می‌آید و 'IP مربوط به عملیات ۹ از جمع جبری IPهای مربوط به عملیات ۲ و ۱۰ بدست می‌آید. عملیات ۱ دارای 'IP بزرگتری نسبت به عملیات ۹ است لذا عملیات ۱ انتخاب و ابزار T_1 بعنوان T^* برگزیده می‌شود.

جدول ۲- قیود تقدم و تاخر برای مثال ارائه شده

عملیات	تقدم و تاخر	ابزارهای کاندید
1	-	T1
2	1, 9	T5
3	2	T1, T2
4	6, 8	T2, T6
5	3, 8	T2, T6
6	1	T2, T3, T6
7	2, 10	T4, T5
8	3, 10	T4, T7
9	-	T3, T5, T6, T7
10	6, 9	T4, T5

مرحله ۲: ماتریس عملیات بعدی (جدول ۴) بعد از حذف سطر و ستون مربوط به عملیات ۱ بدست می‌آید. عملیات ۶ و ۹ بعنوان عملیات قابل انجام مطرح هستند. عملیات ۹ بواسطه IP بزرگتر انتخاب می‌شود و از طرفی چون T_1 جزء ابزار کاندیدا برای این عملیات نیست از قوانین تقدم زیر استفاده می‌کنیم.

PR1: T3, T6 دارای فرکانس تکرار مساوی در میان عملیات قابل انجام هستند لذا باید به PR2 مراجعه شود.

PR2: هیچکدام از ابزارهای T3 و T6 قبلا استفاده نشده‌اند. لذا باید به PR3 مراجعه شود.

PR3: ابزار T6 در چهار عملیات دیگر استفاده می‌شود لذا T6 انتخاب می‌گردد.

مرحله ۳: در جدول (۵)، با حذف سطر و ستون مربوط به عملیات ۹، ماتریس عملیات (OM) بعدی بدست می‌آید. عملیات ۲ و ۶ جزء عملیات قابل انجام هستند از آنجائی که عملیات ۶ می‌تواند بوسیله ابزار T6 انجام شود عملیات ششم انتخاب می‌گردد.

مرحله ۴: عملیات ۲ و ۱۰ برای ماتریس عملیات بعدی (جدول ۶) بعنوان عملیات قابل انجام هستند هیچکدام از ابزار T6 استفاده نمی‌کنند بنابر مقادیر IP (و بدنبال آن 'IP) محاسبه شده‌اند. عملیات ۲ انتخاب شده و T5 بعنوان T^* برگزیده شده است.

مرحله ۵: عملیات قابل انجام برای ماتریس عملیات بعدی (جدول ۷)، عملیات ۳ و ۱۰ هستند از آنجائی که عملیات ۱۰ به وسیله ابزار T5 قابل انجام است لذا عملیات دهم انتخاب می‌شود. بعد از ایجاد ماتریس عملیات بعدی، عملیات ۳ و ۷ بعنوان عملیات قابل انجام هستند که عملیات ۷ به دلیل مشابه عملیات ۱۰ انتخاب می‌شود. در ماتریس عملیات بعدی، عملیات ۳ بواسطه تنها عملیات قابل انجام انتخاب می‌گردد ولی عملیات ۳ بوسیله T5 قابل اجرا نمی‌باشد بنابراین قوانین تقدم زیر بکار گرفته می‌شوند.

PR1: T1 و T2 دارای فرکانس تکرار یکسان در عملیات قابل انجام هستند لذا به PR2 مراجعه می‌شود.

PR2: T1 که در عملیات قبلی استفاده شده است انتخاب می‌گردد.

مرحله ۶: عملیات ۸ (جدول ۸) تنها عملیات قابل انجام در ماتریس عملیات OM است لذا قوانین تقدم زیر را اعمال می‌کنیم

PR1: T4 و T7 دارای فرکانس تکرار یکسال در عملیات قابل انجام هستند لذا باید به PR2 مراجعه شود.

PR2: هیچکدام از ابزارهای T4 و T7 درعملیات قبلی استفاده نشده‌اند لذا باید به PR3 مراجعه شود.

PR3: ابزار T4 چون دارای ماکزمیم فرکانس در کل عملیات است انتخاب می‌گردد.

بعد از حذف سطر و ستونهای مربوط به عملیات ۸ در ماتریس عملیات بعدی هیچکدام از عملیات قابل انجام ۴ و ۵ از ابزار T4 استفاده نمی‌کنند و دارای اندیس تقدم یکسان و با ابزارهای متفاوت هستند بنابراین قوانین تقدمی زیر را اعمال می‌کنیم.

PR1: T2 و T6 دارای فرکانس تکرار یکسان در میان عملیات قابل انجام هستند لذا بایستی PR2 مراجعه شود.

PR2: ابزار T6 در عملیات‌های قبلی استفاده شده است.

از آنجائی که هر یک از عملیات 4 , 5 از ابزار T6 استفاده می‌کنند انتخاب هر یک از آنها امکان‌پذیر است. فرض می‌کنیم

www.SID.ir

Archive of SID

که عملیات ۴ قبل از عملیات ۵ انتخاب شده است. جدول (۹) ترتیب کل عملیات و ابزارهای انتخابی را نشان می‌دهد. در این مثال، از هفت بار تغییر ابزار (شامل تغییر ابزار در اول و آخر پروسه) و چهار ابزار (T1 و T4 و T5 و T6) استفاده شده است.

استفاده از مثال مشابه به روش حل بهینه رائو [۱۸] منجر به هشت بار تغییر ابزار و از چهار ابزار استفاده شده، همان گونه که در جدول (۱۰) آمده است رائو روش دیگری را برای جستجو پیشنهاد داده که برخی مواقع، زمان جستجوی آن بسیار طولانی خواهد بود. همان گونه که در مثال عددی قبلاً متذکر شده‌ایم الگوریتم پیشنهادی در این مقاله بدنبال مینیمم تغییر ابزار و کمترین تعداد ابزار مورد استفاده جهت انجام پروسه است و الگوریتم پیشنهادی دارای مزایا محاسباتی ذیل است:

- الگوریتم برای ترتیب n عملیات روی ماتریسی با مرتبه $n_x n$ کار را شروع کرده و به صورت متوالی مرتبه آن کاهش پیدا می‌کند،
- الگوریتم از روش جستجوی تکراری و عقب گرد استفاده نمی‌کند چیزی که در بیشتر الگوریتم مورثی متداول است،
- حتی برای مسایل با تعداد زیادی از عملیات زمان محاسباتی به صورت خطی متناسب با تعداد عملیات است.

جدول ۳- ماتریس عملیات (OM) مرحله اول

ابزارهای کاندیدا	T*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IP	IP`
T1	**1**	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1
T5	**2**	-1	0	1	0	0	0	1	0	-1	0	0	
T1, T2	**3**	0	-1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
T2, T6	**4**	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2	
T2, T6	**5**	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-2	
T2, T3, T6	**6**	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	
T4, T5	**7**	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	
T4, T7	**8**	0	0	-1	1	1	0	0	0	0	-1	0	
T3, T5, T6, T7	**9**	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
T4, T5	**10**	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	0	0	

جدول ۴- ماتریس عملیات (OM) مرحله دوم

عملیات	1									
ابزار	T1									

ابزارهای کاندیدا	T1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	IP	IP’
T5	**2**	0	1	0	0	0	1	0	-1	0	1	
T1, T2	**3**	-1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
T2, T6	**4**	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2	
T2, T6	**5**	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-2	
T2, T3, T6	**6**	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	-2
T4, T5	**7**	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	
T4, T7	**8**	0	-1	1	1	0	0	0	0	-1	0	
T3, T5, T6, T7	**9**	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
T4, T5	**10**	0	0	0	0	-1	1	1	-1	0	0	

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- ماتریس عملیات (OM) مرحله سوم

عملیات	1	9							
ابزار	T1	T6							

ابزارهای کاندیدا	T6	2	3	4	5	6	7	8	10	IP
T5	2	0	1	0	0	0	1	0	0	2
T1, T2	3	-1	0	0	1	0	0	1	0	1
T2, T6	4	0	0	0	0	-1	0	-1	0	-2
T2, T6	5	0	-1	0	0	0	0	-1	0	-2
T2, T3, T6	6	0	0	1	0	0	0	0	1	2
T4, T5	7	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-2
T4, T7	8	0	-1	1	1	0	0	0	-1	0
T4, T5	10	0	0	0	0	-1	1	1	0	1

جدول ۶- ماتریس عملیات (OM) مرحله چهارم

عملیات	1	9	6						
ابزار	T1	T6	T6						

ابزارهای کاندیدا	T6	2	3	4	5	7	8	10	IP	IP`
T5	2	0	1	0	0	1	0	0	2	-1
T1, T2	3	-1	0	0	1	0	1	0	1	
T2, T6	4	0	0	0	0	0	-1	0	-2	
T2, T6	5	0	-1	0	0	0	-1	0	-2	
T4, T5	7	-1	0	0	0	0	0	-1	-2	
T4, T7	8	0	-1	1	1	0	0	-1	0	
T4, T5	10	0	0	0	0	1	1	0	1	-2

جدول ۷- ماتریس عملیات (OM) مرحله پنجم

عملیات	1	9	6	2					
ابزار	T1	T6	T6	T5					

ابزارهای کاندیدا
T5
T1, T2
T2, T6
T2, T6
T4, T5
T4, T7
T4, T5

T5	3	4	5	7	8	10
3	0	0	1	0	1	0
4	0	0	0	0	-1	0
5	-1	0	0	0	-1	0
7	0	0	0	0	0	-1
8	-1	1	1	0	0	-1
10	0	0	0	1	1	0

T5	3	4	5	7	8
3	0	0	1	0	1
4	0	0	0	0	-1
5	-1	0	0	0	-1
7	0	0	0	0	0
8	-1	1	1	0	0

T5	3	4	5	8
3	0	0	1	1
4	0	0	0	-1
5	-1	0	0	-1
8	-1	1	1	0

جدول ۸- ماتریس عملیات (OM) مرحله ششم

عملیات	1	9	6	2	10	7	3			
ابزار	T1	T6	T6	T5	T5	T5	T1			

ابزارهای کاندیدا
T2, T6
T2, T6
T4, T7

T1	4	5	8
4	0	0	-1
5	0	0	-1
8	1	1	0

T4	4	5	IP
4	0	0	0
5	0	0	0

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- ترتیب کل عملیات و ابزارهای انتخابی بر اساس الگاریتم پیشنهادی

عملیات	1	6	9	10	2	3	8	4	5	7
ابزار	T1	T2	T5	T5	T5	T2	T4	T2	T2	T5

جدول ۱۰- ترتیب کل عملیات و ابزارهای انتخابی بر اساس الگاریتم رائو

عملیات	1	9	6	2	10	7	3	8	4	5
ابزار	T1	T6	T6	T5	T5	T5	T1	T4	T6	T6

۵- نتیجه‌گیری

تولید در کارگاه قطعه‌سازی بر اساس سفارش مشتری شکل می‌گیرد. تنوع بالا قطعات با تعداد تولید کم از مشخصات عمده این گونه کارگاه‌ها است. برای کاهش هزینه‌های تولید در این‌گونه کارگاه‌ها ماشین‌های کنترل عددی بعنوان یک راه حل مناسب مطرح است. اما استفاده از ماشین‌های کنترل عددی مستلزم آماده‌سازی یک سری از مقدمات از قبل می‌باشد از جمله آماده کردن برنامه NC که خود گاهاً چندین برابر زمان ماشین‌کاری خواهد بود. از طرفی دیگر، تعریف عملیات و انتخاب ابزار برش و ترتیب عملیات از عمده فعالیت‌های زمان‌بر در نرم‌افزارهای CAM تجاری متداول در بازار است. در این تحقیقات یک روش برای استخراج عملیات ماشین‌کاری جهت اتوماسیون برنامه‌ریزی عملیات پیشنهاد شده است. بعلاوه یک الگوریتم برای تعیین ترتیب بهینه عملیات و انتخاب ابزار توسعه یافته است. مثال عملی که جهت مقایسه با الگوریتم‌های موجود ارائه شده نشان دهنده کاهش تعداد تغییر ابزار و تعداد کمتر ابزار مورد استفاده جهت انجام پروسه است. نتایج همچنین بیانگر آن است که روش پیشنهادی با کم کردن دخالت کاربر، اتوماسیون در برنامه‌ریزی عملیات را فراهم می‌سازد. روش پیشنهادی همچنین با انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری قابل ملاحظه به کاربر قابلیت تدوین تکنولوژی ماشین‌کاری ویژه منطبق بر وسایل و تجهیزات موجود در کارگاه خود را می‌دهد.

مراجع

[1] Groover M. P., Zimmers E.W., CAD/CAM: Computer aided design and manufacturing, Englewood Cliff, Prentice Hall, 1984.

[2] Tiemersma J.J., Kals H.J.J., The design of a monitoring and control system for small batch manufacturing, CIRP – Journal of Manufacturing System, 18 (4), pp. 317 (1989).

[3] Shakeri, M., Implementation of an Automated Operation Planning and Optimum Operation sequencing and tool selection algorithms. Computers in Industry, Vol. 54. pp. 223-236(2004).

[4] Shakeri, M. and T. Hoshi, Integration of CAD/CAM system for low-repetitive machining center work. Proceeding of 4th International conference on Iranian Society of Mechanical Engineers (ISME 2000), Iran, pp. 175 (2000).

[5] Shakeri, M., Implementation of an integrated CAD/CAM systems for low-repetitive machining center work. Proceeding of 5th International Mechanical Engineering Conference (ISME 2001), Rasht-Iran, pp. 651 (2001).

[6] Matsushima K., Okada N., and Sata T., The integration of CAD and CAM by application of intelligence techniques, Annals of CIRP, 31 (1), pp. 329 (1982).

[7] Carlier J., and Peters J., MOPS – A machining center operation planning, Annals of the CIRP, 34 (1), pp. 409 (1985).

[8] Eversheim W., and Holz B., Computer aided programming of NC machine tools by using the system AUTAP-NC, Annals of the CIRP, 31 (1), pp. 323 (1982).

[9] Bouzakis K.D., Efstathiou K., Andreadis G., and Paraskevopoulou R., Implementation of a CAD/CAPP/CAM system into a small size enterprise, proceedings of the 27th International Seminar on Manufacturing system, Ann Arbor, USA, pp. 256 (1993).

[10] Choi B.K., and Barash M.M., STOPP: an approach to CAD/CAM integration, Computer Aided Design, 17 (4), pp. 162 (1985).

[11] Chang T.C., Expert process planning for manufacturing, Addison-Wesley, Massachusetts, (1990).

[12] Matsuda M., and Kimura F., Machining feature extraction and tool selection for milling data

www.SID.ir

Archive of SID

generation, Proceedings 32nd CIRP International Seminar on Manufacturing System, Leuven, Belgium, May, (1999).

[13] Irani S.A., Koo H.Y., and Raman S., Feature-based operation sequence generation in computer aided process planning (CAPP). Inter. Journal of Production Research, 33 (1), pp. 17 (1995).

[14] Prabhu P., Elhence S., Wang H., and R. Wysk. An operations network generator for computer aided process planning, Journal of Manufacturing Systems, 9 (4), pp. 283 (1990).

[15] Lin L., and Bedworth D.D., A Semi-Generative Approach to Computer-Aided Process Planning Using Group Technology, Computers and Industrial Engineering, 14 (2), pp. 127 (1988).

[16] Peters J. PINTE J., Manufacturing-oriented design in small and medium factories, CIRP, Journal of Manufacturing System, 12 (2), pp. 329 (1989).

[17] Yut G.A., and Chang T.C., A five step object-oriented architecture for process planning, International Journal of Production Research, 32 (3), pp. 545 (1994).

[18] H. M. Rho, R. Geelink, A. H. Van't Erve and H. J. J. Kals, An Integrated Cutting Tool Selection and Operation Sequencing Method, Annals of the CIRP, 41 (1), pp. 517 (1992).

[19] Maruf. A., Object oriented/relational database. CIRP- Journal of Manufacturing systems, Vol. 29 (3), pp. 219 (1999).

www.SID.ir