مجله مهندسی مکانیک مدرس، اردیبهشت ۱۳۹۳، دوره ۱٤، شماره ۲، ص‌ص ۹-۱۸

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

سیستم اتوماتیک جانمایی و طراحی سیستم راهنما در قالب‌های مرحله‌ای با استفاده از قوانین فازی

محمد جولایی مقدم[۱]، محمدعلی فارسی[۲*]، محمدرضا سلیمانی یزدی[۳]، محمد انوشه[۴]

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنایع و معادن، تهران
۲- استادیار، مهندسی مکانیک، پژوهشکده سامانه‌های فضانوردی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران
۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه امام حسین(ع)، تهران
۴-کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۴۶۵۷۷۴۱۱۱، farsi@ari.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: ۲۳ شهریور ۱۳۹۲
پذیرش: ۱۶ آبان ۱۳۹۲
ارائه در سایت: ۲۰ فروردین ۱۳۹۳

کلید واژگان:
قالب‌های مرحله‌ای
جانمایی
سیستم موقعیت‌دهی
طراحی به کمک کامپیوتر
تئوری فازی

چکیده

امروزه استفاده از قطعات ورقی در صنعت بسیار گسترده است. روش‌های مختلفی برای تولید این قطعات وجود دارد. در تولید انبوه استفاده از قالب‌های مرحله‌ای رایج است. طراحی این قالب‌ها بسیار پیچیده و زمانبر است. سیستم‌های طراحی به کمک کامپیوتر در این زمینه سبب کاهش هزینه و زمان تولید شده است. در این تحقیق دو بخش مهم جانمایی قطعه و سیستم راهنما مورد بررسی قرار گرفته است. با به‌کارگیری تئوری فازی و تعریف سه قانون برای ایجاد ارتباط بین این دو مرحله، نهایتا بهترین حالت جانمایی و سیستم راهنمای قطعه به‌دست می‌آید. سه قانون درصد دورریز، نوع پایلوت و فاصله پایلوت‌ها، براساس مشاوره با خبرگان و صنعتگران، حاصل شده است. علاوه بر میزان دورریز، دقت موقعیت‌دهی نیز در تعیین طرح نهایی جانمایی موثر است. در این سیستم، جهت تعریف یک رابطه کمی برای تعیین دقت موقعیت‌دهی، ضرایبی برای فاصله مراکز پایلوت‌ها در دو جهت تغذیه و عمود بر آن معرفی می‌شود. با ارائه الگوریتم جبری، محل مناسب و دقیق پایلوت‌های نیمه‌مستقیم و غیرمستقیم به‌دست می‌آید. این امر کاهش زمان پاسخگویی سیستم را درپی دارد. در انتها برای نمایش قابلیت‌های سیستم، نتایج این سیستم برای دو نمونه صنعتی و یک نمونه به‌کاررفته در تحقیقات قبلی مورد بررسی قرار گرفته است.

An automated nesting and piloting system in progressive dies using fuzzy rules

Mohammad Julaei Moghaddam[1], Mohammad Ali Farsi[2*], Mohammad Reza Soleymani[3], Mohammad Anoushe[4]

1- Department of Mechanical Engineering, IUIM University, Tehran, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Aerospace Research Institute, Tehran, Iran.
3- Department of Mechanical Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran.
4- Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University., Tehran, Iran.
* P. O. B.1465774111, email: farsi@ari.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 14 September 2013
Accepted 07 October 2013
Available Online 09 April 2014

Keywords:
Progressive Die
Nesting, Piloting
Computer Aided Design
Fuzzy Set Theory

ABSTRACT

Sheet metal components frequently are used in industry. There are several methods to produce them. Progressive die one of the most widely applied devices to sheet metal components manufacturing. The progressive dies reduce the time and cost of producing complex sheet metal components. However, the design and manufacture of these dies are difficult. CAD/CAM systems have been proved to be very useful tools for this task. In this paper, two the important stages of die design process, Nesting and Piloting system are studied. By using fuzzy set theory and three fuzzy rules: scrap percentage, type of pilots, distance between pilots, the optimum state of nesting and piloting is determined. These rules are applied according to expert comments and industrial observations. According to our investigation, piloting accuracy impresses the final nesting design, thus a new fuzzy rule based on distance between pilots is proposed in this paper. The presented method is based on algebra algorithm that it determines suitable and exact place of semi-direct and indirect pilots and decrease calculation time. Three components taken from industry and previous papers are used to show the capability of the proposed method.

۱- مقدمه

امروزه در صنعت، قطعات تولید شده از ورق‌های فلزی کاربرد بسیاری دارد. ابزار تولید این قطعات قالب‌های پرس هستند که دارای انواع مختلفی می‌باشند. از جمله مهم‌ترین و پرکاربردترین قالب‌ها در صنعت، قالب‌های مرحله‌ای می‌باشند که در چند ایستگاه متوالی و در هر ایستگاه عملیات متفاوتی را روی ورق اعمال می‌کنند و در نهایت در هر ضرب پرس یک قطعه

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

M. Julaei Moghaddam, M.A. Farsi, M.R. Soleymani, M. Anoushe, An automated nesting and piloting system in progressive dies using fuzzy rules, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 9-18, 2014(In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]

تولید می‌شود. این قالب‌ها در تولید با تیراژ بالا و دقت زیاد بسیار توصیه می‌شوند و نسبت به انواع دیگر قالب‌های پرس برتری دارند. در طراحی قالب‌های مرحله‌ای، می‌بایست متغیرهای متعددی را درنظر داشت. در واقع طراحی قالب‌های مرحله‌ای که خود به چند بخش تقسیم می‌شود یک هنر می‌باشد. به علت وجود متغیرهای متفاوت، طراحی این قالب‌ها بسیار پیچیده و زمانبر است و لذا از رایانه جهت کاهش زمان طراحی و هزینه نهایی در طراحی این نوع قالب‌ها استفاده شده است.

محققین پس از به‌وجود آمدن کامپیوترهای شخصی و از اوایل دهه ۷۰ میلادی سعی در اتوماتیک کردن طراحی این قالب‌ها داشته‌اند. سه مرحله رشد طراحی در این مطالعات دیده می‌شود که با شروع برنامه‌نویسی با کامپیوتر مرحله اول آغاز می‌شود و در اواسط دهه ۸۰ با تولید نرم‌افزارهای گرافیکی به مرحله دوم ارتقا می‌یابد. در نهایت با کاربرد هوش مصنوعی در صنعت، رشد زیادی در این زمینه آغاز شده است که تاکنون نیز ادامه دارد. تحقیقات بسیاری برای طراحی و ساخت قالب‌های مرحله‌ای به‌کمک کامپیوتر انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

شافر اولین فردی بود که در سال ۱۹۷۱ به‌کارگیری کامپیوتر را برای طرحی قالب‌های مرحله‌ای مورد بررسی قرار داد[۱]. در سال ۱۹۷۵ فاگ و جیمسون تصحیحاتی بر روی سیستم شافر انجام دادند. از عمده مشکلات این سیستم‌ها، طبیعت ورود متنی[1] اطلاعات و زمانبر بودن پاسخ‌دهی آن بود[۲]. در سال ۱۹۷۸ ناکاهارا و همکارانش یک سیستم نیمه‌اتوماتیک طراحی کردند، اما این سیستم همچنان توانایی آنالیز پارامترهای طراحی را نداشت و نیاز به استفاده از اطلاعات افراد ماهر در آن دیده می‌شد[۳]. در سال ۱۹۸۱ شیباتا و کانیموتو یک سیستم کد/کم[2] برای کمک به طراحی جانمایی و چیدمان ایستگاه‌ها طراحی کردند[۴]. در سال ۱۹۹۶ چوی یک سیستم مربوط به قطعات دوربری برای قطعات با شکل آزاد طراحی نمود، اگر چه این سیستم مشکلات سیستم‌های گذشته را نداشت، اما همچنان در طراحی جانمایی و پایلوت‌گذاری و طراحی اجزای قالب برای شکل‌های پیچیده دچار مشکل بود[۵،۶]. در سال ۲۰۰۱ نای یک سیستم جهت بهینه کردن درصد دورریز[3] برای عملیات جانمایی ارائه کرد[۷]، اما همچنان مشکل زمان در این سیستم دیده می‌شد. در سال ۱۹۹۸ آرزو و برزگری سیستمی برای طراحی قالب‌های مرحله‌ای ارائه کردند که نتایج بخش جانمایی در آن، قابل قبول بود، اما این سیستم همچنان زمانبر بود و تشخیص پایلوت‌ها تماما اتوماتیک نبود[۸]. در سال ۲۰۰۹ آرزو و قطره‌نبی یک سیستم تماما اتوماتیک برای طراحی جانمایی و پایلوت‌ها ارائه کردند. در این سیستم ابتدا با روش جبری زاویه جانمایی با کمترین درصد دوریز به‌دست می‌آمد و در الگوریتمی افزایشی محل قرارگیری پایلوت‌ها در آن زاویه تعیین می‌شد[۹]. آنها در سال ۲۰۱۰ این سیستم را با به‌کارگیری روش امای‌تی[4] بهبود بخشیده و برای جانمایی و انتخاب هر سه نوع سیستم راهنما برای قطعات دارای خط و کمان دایروی ارائه کردند[۱۰]. هرمن و دلالیو یک سیستم دینامیک برنامه‌نویسی برای بهترین جانمایی قطعات ورقی رائه کردند. نرم‌افزار آنها برای پانچ کامپیوتری کارآمد بود و برای قالب‌های مرحله‌ای پاسخ مناسبی ارائه نمی‌کرد[۱۱]. زران و میودراگ یک سیستم هوشمند برای بررسی جانمایی ارائه کردند. در سیستم ایشان از شبکه عصبی استفاده می‌شد. این سیستم برای برش لیزر طراحی شده بود و همچنان در بحث شناسایی فیچرها کامل نبود[۱۲].

اکثر سیستم‌های مذکور توانایی پاسخگویی به تمام نیازهای صنعت را ندارند، لذا برای تطبیق بیشتر در این تحقیق سیستم جدیدی توسط مولفین ارائه می‌شود. این سیستم مبتنی بر تحقیقات و مطالعات انجام شده در صنعت قالبسازی داخل کشور می‌باشد. بدین منظور سوالاتی در این زمینه در قالب یک پرسشنامه توسط طراحان و مهندسین کارخانه قالب‌های پیشرفته ایران‌خودرو انجام شده است و نتایج در طراحی این سیستم اعمال شده است.

در این سیستم، روش جانمایی قطعه در ورق و انتخاب سیستم راهنمای آن، براساس قوانین فازی بررسی شده است و برای ارزیابی نتایج حاصل با قطعات صنعتی و مقالات پیشین مقایسه می‌شود.

علاوه‌بر کاهش زمان پاسخگویی سیستم جهت انتخاب محل دقیق پایلوت‌های نیمه‌مستقیم و غیرمستقیم، با تعریف یک رابطه کمی برای تعیین دقت موقعیت‌دهی و در نهایت با به‌کارگیری سه قانون فازی، نتایج سیستم نسبت به سیستم‌های مشابه انطباق بیشتری با نمونه‌های صنعتی دارد.

۲- طرح مسئله

طراحی قالب‌های مرحله‌ای به کمک کامپیوتر شامل گام‌های زیر است: ۱- شناسایی مدل قطعه، ۲- ایجاد نقشه گسترده و جانمایی، ۳- تعیین ترتیب عملیات، ۴- طراحی چیدمان قالب و ۵- طراحی اجزای قالب.

در این مقاله تمرکز بر روی دو قسمت شناسایی مدل، جانمایی و سیستم موقعیت‌دهی است.

جانمایی عبارت از چگونگی چیدن قطعات ورق فلزی کنار یکدیگر به‌صورتی که کمترین میزان دورریز و کمترین هزینه در فرآیند به‌دست آید. درصد دوریز از رابطه (۱) به‌دست می‌آید[۱۳].

$$SP=\frac{(w\cdot p)-(s_{\mathrm{p}})}{s_{\mathrm{p}}}\cdot 100 \qquad (1)$$

طرح‌های مختلفی برای جانمایی موجود است. در این تحقیق مهم‌ترین نوع جانمایی، که جانمایی تک‌عبوره می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

برای ایجاد قطعه نهایی دقیق لازم است ورق در طول تغذیه موقعیت خود را حفظ کند، برای رسیدن به این هدف، از پین‌های راهنما به‌عنوان سیستم موقعیت‌دهی استفاده می‌شود. سه نوع سیستم موقعیت‌دهی در صنعت موجود است که عبارت‌اند از:

پایلوت مستقیم[5]: در این روش از برش‌های دایروی قطعه، که در ایستگاه اول ایجاد شده‌اند، جهت راهنمایی ورق در ایستگاه‌های بعد استفاده می‌شود.

پایلوت نیمه‌مستقیم[6]: در این روش از برش‌های دایروی دقیق با به‌کارگیری پین‌های راهنمای کوچک‌تر و یا از برش‌های غیردایروی و ایجاد برش دایروی کوچک‌تر در آن‌ها، برای موقعیت‌دهی، استفاده می‌شود. برش اصلی در نهایت ایجاد می‌شود. به همین دلیل استفاده از این نوع پایلوت، باعث اضافه شدن عملیات است.

پایلوت غیرمستقیم[7]: در این روش از ایجاد برش دایروی در دورریز ورق استفاده می‌شود[۱۳].

با توجه به مشاهدات و مشاوره‌های انجام شده با متخصصین صنعت قالب‌سازی کشور، نواقصی که در ادامه می‌آید، در طرح‌های مشابه، دیده می‌شود.

۱- علاوه‌بر انتخاب نوع سیستم راهنما، در صورت استفاده از دو پین راهنما،

1- Interactive
2- Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing
3- Scrap
4- Medial Axis Transform
5- Direct pilot
6- Semi-direct pilot
7- Indirect pilot

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]

با توجه به دقت موقعیت‌دهی مورد نیاز برای محصول خواسته شده، میزان فاصله دو پایلوت از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین اهمیت فاصله پایلوت‌ها در راستای عمود بر جهت تغذیه، نسبت به فاصله آنها در جهت تغذیه، در تعیین دقت ابعادی قطعه نهایی بیشتر است. اما در بسیاری از سیستم‌های مطالعه شده ارزشی برای این فواصل و درجه اهمیت آنها درنظر گرفته نشده است.

۲- در مواردی از قطعات و طرح‌های تولیدی صنعتی دیده شد که برای قطعاتی، امکان استفاده از سه سیستم راهنما موجود است و برای مثال تعیین انتخاب نوع پایلوت از میان دو پایلوت نیمه‌مستقیم و یک پایلوت مستقیم همواره به‌راحتی مشخص نیست. بنا به امکانات صنعت و دقت قطعه نهایی در مواردی، استفاده از دو پایلوت نیمه‌مستقیم و در مواردی به‌عکس استفاده از یک پایلوت مستقیم انتخاب می‌شود. همچنین، اگر دقت بالایی مورد نیاز باشد، امکان انتخاب دو پایلوت غیرمستقیم با فاصله بیشتر، در مقایسه با دو پایلوت مستقیم، وجود دارد.

۳- در طراحی جانمایی نمونه‌هایی دیده می‌شود که در زوایای مختلف جانمایی، درصد دورریز یکسان است یا تفاوت چندانی در آنها نیست. نمونه‌ای از این قطعه در شکل ۱ دیده می‌شود. در این موارد عامل تعیین‌کننده در انتخاب زاویه دوران جهت جانمایی، نوع پایلوت‌ها و فاصله میان آنها در زوایای مختلف است.

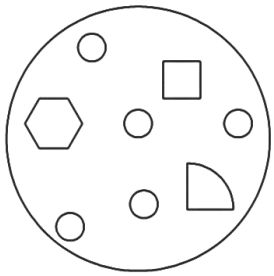
در سیستم‌های طراحی جانمایی و سیستم راهنما به این موارد کمتر اهمیت داده شده است. در این پژوهش سعی بر آن است، با ارائه یک سیستم، طرح پیشنهادی مناسبی در اختیار صنعتگران قرار گیرد.

۳- ساختار سیستم کامپیوتری

در سیستم ارائه شده که مراحل کار آن در شکل ۲ مشخص شده است، ابتدا بر طبق یک الگوریتم جبری اطلاعات قطعه شناسایی می‌شود. با داشتن اطلاعات برش‌ها، سیستم وارد الگوریتم جانمایی شده و درصد دورریز در تمامی زوایا ذخیره می‌شود. سپس اطلاعات پایلوت‌ها از کاربر خواسته می‌شود که شامل قطر پین‌های موجود، میزان مجاز تفاوت قطر پایلوت‌ها، حداقل قطر پایلوت(ها) و حداقل فاصله مراکز دو پایلوت، براساس ضریبی در ضخامت ورق، می‌باشد. سپس بیشترین فاصله قطری با تعریف ارائه شده در رابطه (۵) برای هر سه نوع سیستم راهنما به‌دست می‌آید.

اطلاعات ذخیره شده وارد مرحله محاسبات فازی می‌شود. با به‌کارگیری منطق فازی و تعریف سه قانون فازی، جهت تعیین حالت بهینه چیدمان قطعه و سیستم راهنما، در نهایت طرح نهایی، براساس بیشترین ارزش فازی برای هر سه نوع پایلوت، با توجه به امکانات صنعت ارائه می‌شود.

در ادامه به معرفی الگوریتم‌های به‌کار رفته در سیستم پرداخته می‌شود. پس از معرفی الگوریتم‌ها، تئوری فازی و دلیل انتخاب آن جهت انتخاب بهینه، به همراه سه قانون فازی شرح داده می‌شود.



شکل ۱ یک نمونه با درصد دورریز ثابت

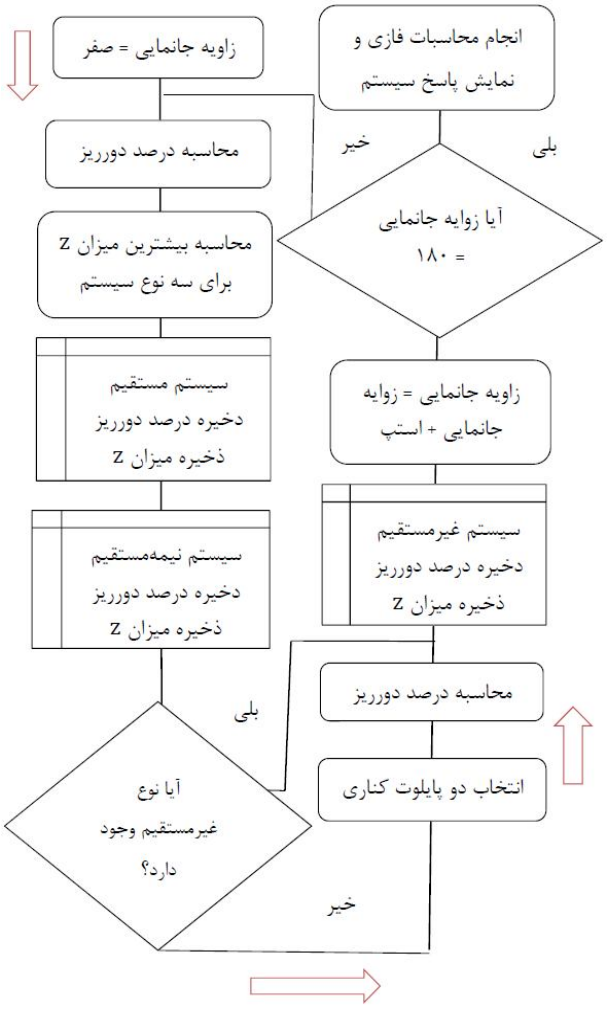
۴- الگوریتم شناسایی عملیات

مختصات تمامی نقاط تشکیل‌دهنده کانتور خارجی و کانتورهای داخلی متشکل از خط و کمان دایروی، با تعریف یک عدد برای استپ و با استفاده از روش‌های جبری و مختصات قطبی، بدون استفاده از دستورات موجود در یک نرم‌افزار مدلسازی خاص، جهت محدود نبودن عملکرد و کاهش زمان پاسخگویی سیستم به‌دست می‌آید و برای هر کانتور ذخیره می‌شود. در مورد الگوریتم شناسایی عملیات[1] در تحقیقات گذشته روش کار به‌طور کامل شرح داده شده است و به‌علت سادگی مطلب در اینجا از ذکر آن صرف‌نظر شده است[۱۴].

۵- جانمایی

با توجه به توضیحات بخش گذشته، مختصات تمامی نقاط تشکیل‌دهنده کانتور خارجی در آرایه‌ای ذخیره شده است. ابتدا این نقاط براساس افزایش مقدار مولفه عمودی ذخیره و دسته‌بندی می‌شوند. سپس یک بازه برای عرض مستطیل فرضی که در شکل ۳، به‌صورت یک مثال، آمده انتخاب می‌شود.

بزرگ‌ترین مقدار مولفه افقی و کوچک‌ترین مقدار آن در فاصله مرز هر بازه، که محدوده بین دو خط افقی است، به‌دست می‌آید. مستطیل محیط برای آن رسم می‌شود. سپس مقادیر طول A، B، C و D به‌صورت رابطه (۲)، (۳) و (۴) تعریف می‌شوند. این طول‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲ ترتیب انجام مراحل کار در سیستم

1- Feature recognition algorithm

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]

$$A = X_2 - X_{\mathrm{Max}} \quad (۲)$$

$$B = X_{\mathrm{Min}} - X_1 \quad (۳)$$

$$C = D - (A + B) \quad (۴)$$

که در آن X_2 مختصات خطی از مستطیل محیط بر قطعه است، که مقدار عددی آن در محور Xها از خط دیگر، یعنی X_1، بزرگ‌تر می‌باشد و D برابر طول ضلع مستطیل محیط به موازات افق، در این درجه است.

مقادیر محاسبه شده برای C در تمامی بازه‌ها به‌دست می‌آید و در نهایت بزرگ‌ترین آنها، مقداری است که در این زاویه قطعه باید نسبت به خودش در جهت افق انتقال داده شود تا بتوان کمترین دورریز را به‌دست آورد. در نهایت، برای تمامی زوایا از صفر تا ۱۸۰ درجه با استپ تعریف شده، این کار انجام می‌گردد و درصد دوریز از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که برای به‌دست آوردن مستطیل محیط در هر درجه و به‌کارگیری آن برای به‌دست آوردن میزان انتقال جهت جانمایی مناسب، تنها از مختصات نقاط استفاده شده و این نقاط هستند که دوران داده می‌شوند.

۶- سیستم راهنما

برای حرکت دقیق نوار ورق در طول کانال تغذیه، که منجر به ایجاد قطعه نهایی دقیق، بدون عیب و عمر بیشتر قالب است، از پین‌های راهنما استفاده می‌شود. بهترین حالت دو پایلوت از میان برش‌های موجود برای راهنمایی ورق در یک زاویه مشخص در یک قطعه، با توجه به مشاهدات صنعتی هنگامی است که فاصله مراکز این دوایر نسبت به برش‌های دیگر بیشتر باشد. البته فاصله در جهت عمود بر محور تغذیه از اهمیت بیشتری برخوردار است. لذا برای تعریف یک رابطه کمی برای این فاصله ، فاصله Z در ادامه معرفی شده است. این فاصله مجموعی از ضرایب فواصل افقی و عمودی مراکز دو پایلوت است که به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود. که در این رابطه X_{dis} فاصله در جهت تغذیه و Y_{dis} فاصله در جهت عمود بر راستای تغذیه است.

علت تاثیر بیشتر فاصله عمود بر جهت تغذیه، تاثیر بیشتر افزایش این فاصله در دقت موقعیت‌دهی نسبت به افزایش فاصله مراکز در جهت تغذیه است.در رابطه (۵) ضرایب مطابق با اطلاعات صنعتگران و درجه اهمیت این دو فاصله نسبت به هم، از دید صنعت، پیشنهاد شده است، که در واقع هدف اصلی معرفی این رابطه است و برای رسیدن به ضرایب دقیق‌تر احتیاج به مطالعات بیشتری می‌باشد. امکان تغییر این ضرایب توسط کاربر بنا به شرایط متفاوت درنظر گرفته شده است[۱۵].

$$Z = (0.33 \cdot X_{\mathrm{dis}} + 0.67 \cdot Y_{\mathrm{dis}}) \quad (۵)$$

بر طبق بیشترین میزان فاصله Z، دو برش از کل برش‌های موجود جهت استفاده برای سیستم راهنمای ورق، در هر درجه و برای هر سه نوع از سیستم راهنما، انتخاب می‌شود. شرح روش یافتن برش‌های ممکن برای هر سه نوع از پایلوت‌ها در ادامه آمده است.

۶-۱- پایلوت مستقیم

برای انتخاب پایلوت‌های مستقیم با توجه به قسمت شناسایی برش‌ها، مرکز و قطر تمامی فیچرهای دایروی ثبت شده است. برای انتخاب دو فیچر مناسب‌تر، فاصله تمامی آنها یک به یک، برحسب رابطه (۵) محاسبه و بیشترین فاصله در هر درجه ذخیره می‌شود.

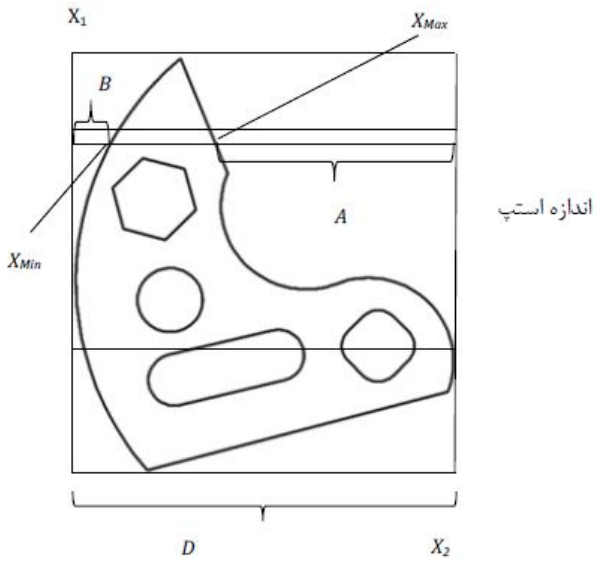
۶-۲- پایلوت نیمه‌مستقیم و غیرمستقیم

در این دو نوع از سیستم راهنما باید نقاط داخل و خارج یک کانتور تشخیص داده شود. هدف بعدی یافتن نقطه‌ای برای مرکز پایلوت‌هاست، که این نقطه بیشترین فضای خالی را بدون برخورد با کانتور در اطراف خود داشته باشد. برای توضیح بهتر در شکل ۴ نقاط داخل و خارج محدوده‌ای که جهت بررسی محل دو نوع سیستم راهنما برای یک نمونه درنظر گرفته می‌شود، نمایش داده شده است. برای یافتن این محدوده‌ها با یک مثال در شکل ۵ به شرح روش کار پرداخته می‌شود.

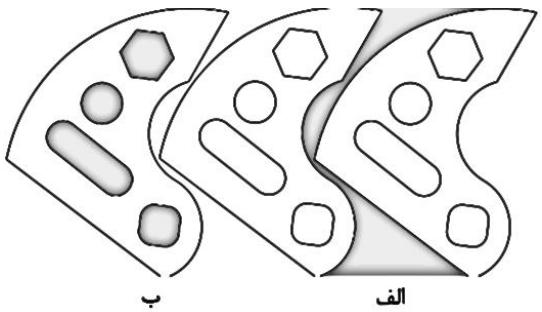
ابتدا محدوده مورد نظر شبکه‌بندی شده و ماتریس شکل ۵-الف به‌دست می‌آید. با به‌کارگیری روابط جبری و داشتن نقاط مرزی کانتور ماتریس تداخل به‌دست می‌آید (شکل ۵-ب) و طبق دو الگوریتمی که در ادامه آمده است، محل مناسب پایوت‌ها به‌دست می‌آید. در مورد دو پایلوت در حالت غیرمستقیم، اگر فاصله پایلوت‌های به‌دست آمده بیشتر از گام باشد، یکی از آنها به‌اندازه گام به عقب جابه‌جا می‌شود.

۶-۳- الگوریتم تشکیل ماتریس سطح

برای مشخص کردن پایلوت‌ها نیاز به آن است که نقاط درون کانتور داخلی و نقاط بیرونی از هم جدا شوند. برای نیل به این هدف از الگوریتمی جبری استفاده می‌شود که طی آن ماتریس تداخل تبدیل به ماتریس سطح می‌شود که در واقع منظور ماتریسی است که نقاط با آرایه ۱ در آن، نقاط ایجادکننده سطح کانتور داخلی است. الگوریتم گفته شده در شکل ۶-الف مشخص شده است.



شکل ۳ نمایش مقدار A، B و D در یک مثال



شکل ۴ محل مناسب الف)پایلوت غیرمستقیم ب) پایلوت نیمه‌مستقیم

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]

علایم موجود در الگوریتم، در جدول ۱ تعریف شده است. طریقه عملکرد این الگوریتم آن است که در طول شبکه برای هر تقسیم‌بندی افقی آرایه‌های ماتریس تداخل، بررسی و محل آرایه‌های ۱ آنها ذخیره می‌شود. از چپ به راست، هر آرایه از ماتریس سطح تا رسیدن به محل اولین شبکه دارای مقدار ۱ در ماتریس تداخل، با عدد صفر پر می‌شود. سپس تا رسیدن به محل عدد ۱ بعدی از آرایه‌های ماتریس تداخل، ماتریس سطح با عدد یک پر می‌شود و این کار برای هر تغییر از صفر به یک در آرایه‌های ماتریس تداخل ادامه می‌یابد. زمان توقف، رسیدن به آخرین ستون در این سطر است و پس از آن سطر تغییر کرده، کار تا آخرین آرایه ادامه می‌یابد. ماتریس سطح در شکل ۵-ج دیده می‌شود.

۶-۴- الگوریتم تشکیل ماتریس وزن

اکنون نقاط درون کانتور در ماتریس سطح به‌دست آمده است. عملیات بعدی یافتن نقاطی از این سطح می‌باشد که بزرگ‌ترین قطر یک پایلوت را در خود جای می‌دهند.

شاخصه این نقاط خالی‌تر بودن اطراف آنهاست. برای دست یافتن به این نقاط از الگوریتمی جبری استفاده می‌شود که در طی آن ماتریس سطح به ماتریسی به نام ماتریس وزن تبدیل می‌شود. این الگوریتم در شکل ۶-ب مشخص شده است. طریقه عملکرد این الگوریتم بدین صورت است که، برای هر یک از شبکه‌های ماتریس سطح که دارای مقدار ۱ هستند، تمامی آرایه‌های اولین حلقه دربرگیرنده آرایه، بررسی و اگر تمامی آنها مقدار یک را داشتند، به حلقه دوم اطراف آرایه، توجه می‌شود و این کار ادامه می‌یابد تا زمانی که در حلقه مورد بحث تنها یکی از این شبکه‌ها دارای مقدار صفر باشد. در این صورت عملیات متوقف شده و مقدار شبکه مزبور در ماتریس وزن برابر تعداد حلقه‌های شمرده شده است، که با عدد یک جمع می‌شود. این کار تا پر شدن تمامی شبکه‌های ماتریس وزن ادامه می‌یابد. ماتریس وزن حاصل از ماتریس سطح شکل ۵-ج در شکل ۵-د دیده می‌شود. با داشتن وزن هر شبکه و مقدار ضلع مربع تشکیل‌دهنده آن، تنها نقاطی که شرایط لازم برای محل مناسب پایلوت را دارا هستند بدون به‌کارگیری روش‌های افزایشی ذخیره می‌شوند. محل مناسب برای مرکز یک پایلوت با توجه با قطر آن و میزان مجاز فاصله از مرزهای کانتور مشخص می‌شود.

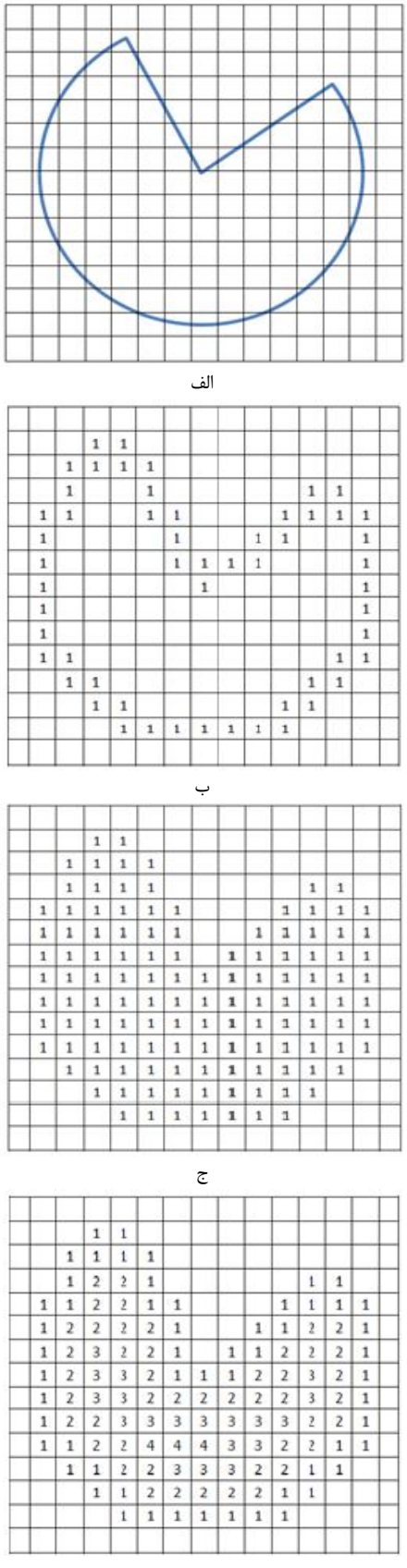
۷- قوانین فازی جهت انتخاب حالت بهینه جانمایی

با استفاده از هوش مصنوعی، تصمیم‌گیری یک سیستم به تصمیم‌گیری انسان ماهر در آن زمینه نزدیک‌تر می‌شود. ازجمله روش‌های هوش مصنوعی به‌کارگیری منطق فازی است. این روش از تعمیم نظریه مجموعه‌ها در ریاضیات کلاسیک به‌دست آمده است. بیشترین کاربرد این روش در بهینه‌سازی نتایج یک سیستم است، که در آن متغیرهای متفاوتی با درصد تاثیر متفاوت، بر روی نتیجه اثرگذارند.

در سیستم طراحی شده برای رسیدن به حالت بهینه جانمایی، از این روش با تعریف سه قانون فازی (استخراج شده از تحقیقات در صنعت) استفاده شده است. در ادامه به شرحی از این قوانین پرداخته می‌شود.

۷-۱- قانون درصد دوریز

در قانون فازی درصد دورریز[1]، بیشترین مقدار دورریز صفر و کمترین مقدار یک قرار داده می‌شود. نمودار تابع عضویت قانون درصد دوریز در شکل ۷ نشان داده شده است.



الف

ب

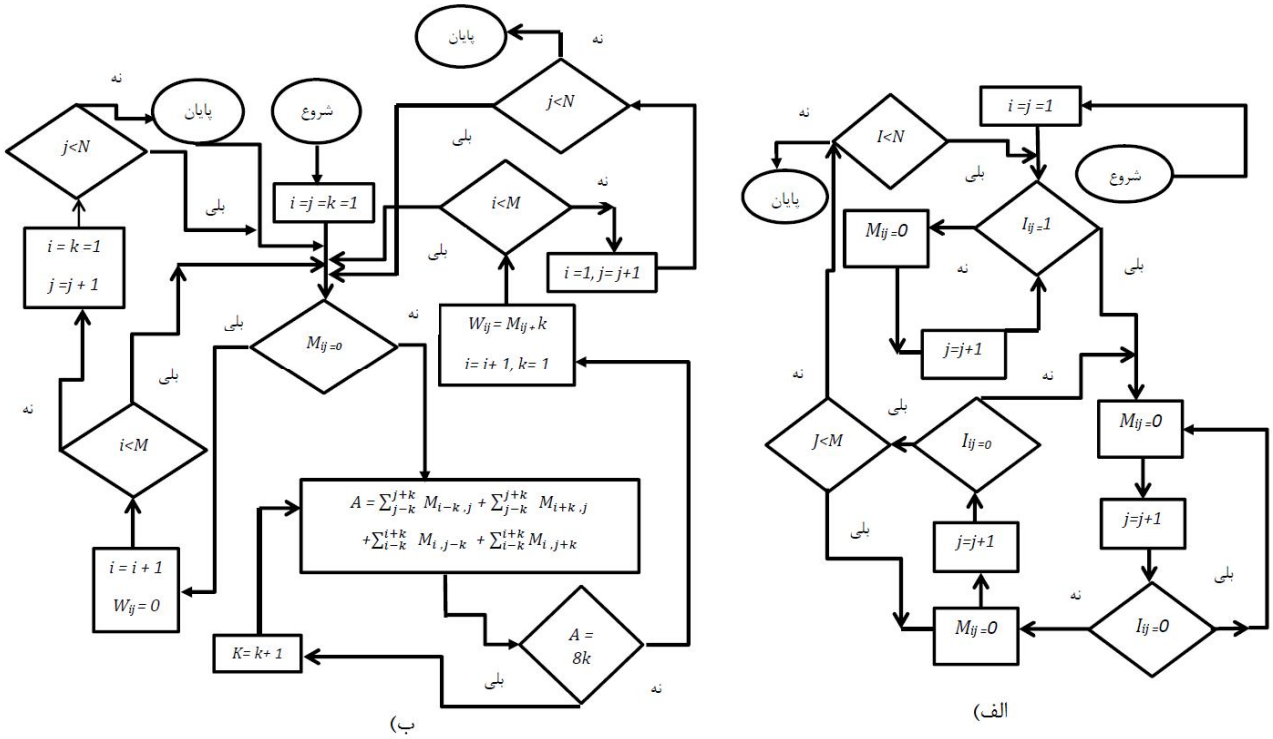
ج

د

شکل ۵ شبکه‌بندی: الف) ماتریس شبکه‌بندی، ب) ماتریس تداخل، ج) ماتریس سطح، د) ماتریس وزن

1- Scrap percent rule

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]



شکل ۶ الف) الگوریتم تبدیل ماتریس تداخل به ماتریس سطح ب) الگوریتم تبدیل ماتریس سطح به ماتریس وزن

جدول ۱ تعریف علایم موجود در الگوریتم‌های موجود در شکل ۵

	تعریف
M	تعداد ستون‌های ماتریس شبکه
N	تعداد سطرهای ماتریس شبکه
K	تعداد حلقه‌های خالی، محصورکننده هر آرایه
I_{ij}	آرایه سطر i و ستون j در ماتریس تداخل
M_{ij}	آرایه سطر i و ستون j در ماتریس سطح
W_{ij}	آرایه سطر i و ستون j در ماتریس وزن

۷-۲- قانون نوع سیستم راهنما

اکثرا موقعیت‌دهی با دو پین باعث ایجاد قطعه نهایی دقیق‌تری می‌شود. باید درنظر داشت که پایلوت مستقیم بهترین نوع پایلوت است، زیرا کمترین تاثیر را در مراحل تولید دارد و در واقع از امکانات قطعه استفاده می‌شود، ولی در برخی موارد دو پایلوت غیرمستقیم برای کار دقیق‌تر بهتر از موقعیت‌دهی مرکزی با یک پایلوت مستقیم است.

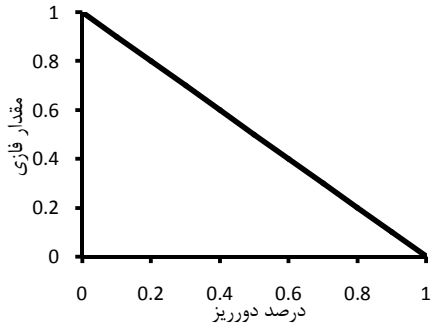
در نهایت پایلوت نیمه‌مستقیم استفاده می‌شود که کاربرد آن سبب افزایش اجزای قالب می‌شود. برطبق مقالات و اطلاعات افراد خبره، نمودار تابع عضویت قانون سیستم راهنما[1]، طبق شکل ۸ تنظیم می‌شود.

البته به کاربر امکان اعمال تغییر، با بررسی دقت سیستم راهنما، در این نمودار داده شده است. برای مثال، در قطعاتی که دارای برش‌های مدور دقیق هستند، ضریب پایلوت مستقیم می‌تواند برابر صفر درنظر گرفته شود؛ در نتایج این حالت بررسی نشود.

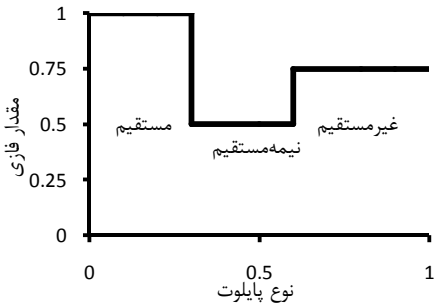
۷-۳- قانون فاصله (Z)

طبق تعریف میزان عددی Z (مقداری از جنس فاصله) برابر معادله (۵) است.

بیشترین Z برای هر درجه و هر نوع پایلوت ذخیره می‌شود، میزان Z کمینه و بیشترین Z از محاسبات به‌دست می‌آید. هر چه این عدد بزرگ‌تر باشد، موقعیت‌دهی دقیق‌تر است و بدیهی است اگر در نوعی از سیستم راهنما، تنها یک پین یافت شود، مقدار Z صفر است و تفاوت این حالت با حالتی که در آن یک نوع سیستم راهنما اصلا موجود نیست، در این است که در آن هنگام عدد فازی قانون دوم هم صفر می‌شود. نمودار تابع عضویت قانون فاصله Z[2] در شکل ۹ نمایان است.



شکل ۷ تابع عضویت (قانون درصد دورریز)

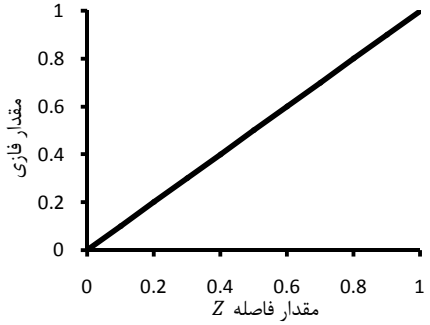


شکل ۸ تابع عضویت (قانون نوع پایلوت)

1- Type of piloting system rule

2- Z distance rule

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]



شکل ۹ تابع عضویت (قانون فاصله (Z))

۷-۴- بررسی ماتریس فازی

در نهایت مقدار FVM[1] که ماتریس ارزش فازی نهایی است، از رابطه (۶) ب‌i دست می‌آید که در آن Fv_{rule1}ارزش فازی به‌دست آمده از قانون اول و Fv_{rule2} و Fv_{rule3} به‌ترتیب ارزش فازی استخراج شده از قانون دوم و سوم می‌باشد.

$$FVM = \alpha \cdot Fv_{\text{rule1}} + \beta \cdot Fv_{\text{rule2}} + \sigma \cdot Fv_{\text{rule3}} \qquad (۶)$$

که در آن α، β و σ به‌ترتیب ضرایب اثر سه قانون است. و ماتریس نهایی FVM با ضرب این ماتریس (ماتریس ضرایب) در ماتریس فازی پدید می‌آید که در حالت اولیه سیستم، برای ضریب قانون درصد دوریز عدد ۰/۵ و برای ضریب قانون دوم عدد ۰/۳ و برای ضریب قانون سوم نیز عدد ۰/۲ لحاظ شده است. این اعداد برای حالت عمومی به‌وسیله تطبیق نتایج با نمونه‌های صنعتی به‌دست آمده است. در حالت‌های خاص امکان تغییر ضرایب، بنابر میزان دقت موقعیت‌دهی و چگونگی بازیابی دورریز ورق، به کاربر داده شده است.

۸- صحه‌گذاری

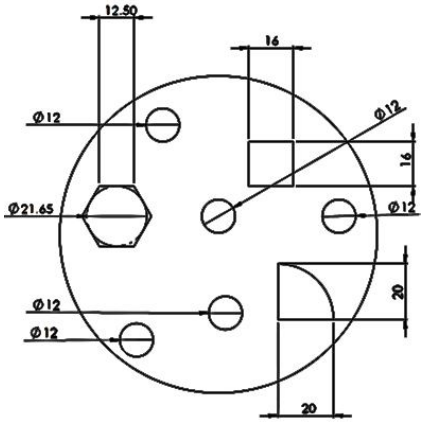
در این قسمت با بررسی سه نمونه نتایج سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نمونه اول قطعه‌ای بررسی شده است که در تمامی زوایای جانمایی، با توجه به قطر پایلوت انتخابی، میزان دورریز برابر است. در این نمونه حالت‌های مختلف سیستم راهنما موجود است و تعداد برش‌های موجود برای هر یک از دو سیستم مستقیم و غیر مستقیم بیش از دو برش است. در نمونه دوم، یک قطعه با برش‌های آبلانگ دقیق استفاده شده است. پاسخ سیستم در حالت‌های مختلف از جهت دقت موقعیت‌دهی مورد مطالعه قرار گرفته است و در نهایت در نمونه سوم قطعه‌ای صنعتی، که در مطالعات گذشته برای انتخاب سیستم راهنما مورد تحلیل قرار گرفته است، به سیستم وارد شده و خروجی سیستم با خروجی تحقیق مورد نظر بررسی می‌شود.

۸-۱- نمونه اول

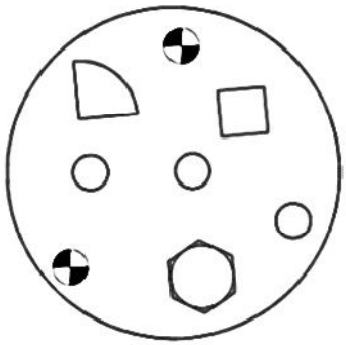
نقشه ابعادی یک قطعه صنعتی در شکل ۱۰ مشخص شده است. ضخامت قطعه ۲/۲۵ میلی‌متر است. این قطعه جهت تعیین بهترین حالت جانمایی و سیستم راهنما وارد سیستم شده است. قطر پایلوت انتخابی توسط سیستم ۱۲ میلی‌متر است.

مشاهده می‌شود که جهت انجام عملیات راهنمایی ورق حالت‌های متفاوتی امکان‌پذیر است. با توجه به انتخاب دو پایلوت با بیشترین میزان فاصله Z در هر درجه در سیستم مذکور، تنها برای حالت مستقیم، امکان انتخاب دو برش جهت پین‌های راهنما در یک درجه خاص با درجه دیگر جانمایی متفاوت می‌باشد. با درنظر گرفتن این مورد در حالت‌های دیگر سیستم راهنما، پیچیدگی مسئله مشخص می‌شود. پاسخ سیستم ارائه شده در این تحقیق در جدول ۲ برای هر سه نوع سیستم راهنما مشخص شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در هر قطعه جانمایی با بیشترین مقدار فازی برای سه نوع سیستم راهنما توسط سیستم ارائه می‌شود. درصد دورریز در تمامی زوایا برابر با ۳۷ درصد می‌باشد. اگر مقدار ارزش پایلوت مستقیم در نمودار شکل ۸ به‌دلیل دقیق بودن برش‌های دایروی صفر درنظر گرفته شود، پاسخ سیستم حالت غیرمستقیم است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، مقدار فازی نهایی ماکزیمم برای سیستم در نوع پایلوت مستقیم و در زاویه جانمایی ۹۵ درجه به‌دست آمده است. با اختلاف کمی در مقدار نهایی فازی، برای نوع سیستم راهنمای غیرمستقیم، در زاویه جانمایی صفر درجه، دو پایلوت کناری انتخاب شده است و در نهایت نوع نیمه‌مستقیم در زاویه جانمایی ۱۳۸ درجه پیشنهاد می‌شود. هر سه نوع سیستم راهنمای ذکر شده به‌ترتیب در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نمایش داده شده است. ذکر این نکته قابل توجه است که در سیستم‌های مشابه، به‌علت تقارن موجود و عدم تفاوت درصد دورریز در زوایای جانمایی، تنها در جانمایی صفر درجه، امکان سیستم راهنما بررسی شده و تنها در همین درجه پایلوت مستقیم مرکزی یا دو پایلوت مستقیم در قسمت بالایی و پایینی قطعه پیشنهاد می‌شود، که در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. اما ممکن است در زاویه جانمایی دیگر حالت بهتری موجود باشد که درنظر گرفته نمی‌شود.



شکل ۱۰ نمونه یک قطعه صنعتی



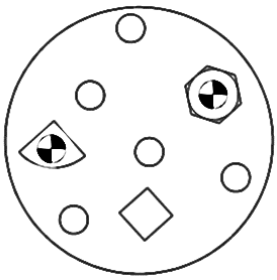
شکل ۱۱ پایلوت مستقیم در زاویه ۹۵ درجه

جدول ۲ مقادیر فازی و درجه جانمایی برای سه نوع سیستم راهنما

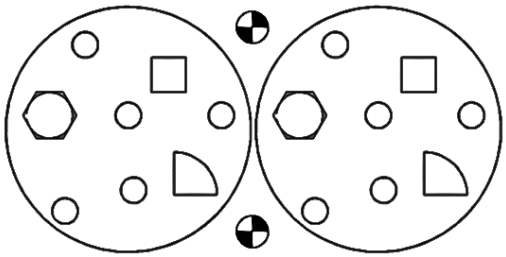
نوع سیستم راهنما	مستقیم	نیمه‌مستقیم	غیرمستقیم
زاویه جانمایی	۹۵	۱۳۸	صفر
مقدار فازی نهایی	۰/۹۳	۰/۷۶۳	۰/۹۲۲
نمایش گرافیکی	شکل ۱۱	شکل ۱۲	شکل ۱۳

1- Fuzzy Value Matrix

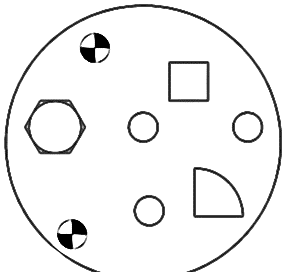
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]



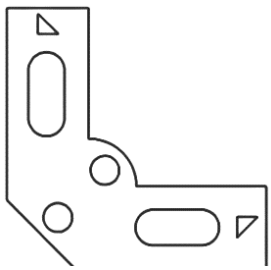
شکل ۱۲ پایلوت نیمه‌مستقیم در زاویه ۱۳۸ درجه



شکل ۱۳ پایلوت غیرمستقیم در زاویه صفر درجه



شکل ۱۴ نمایش پایلوت حاصل از نتایج مرجع [۹]



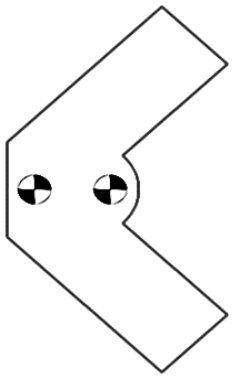
شکل ۱۵ نمونه یک قطعه صنعتی

۸-۲- نمونه دوم

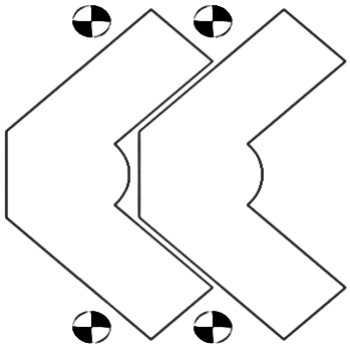
شکل ۱۵ یک قطعه با ضخامت دو میلی‌متر از جنس آلومینیوم را نمایش می‌دهد. با توجه به ضخامت ورق، قطر پایلوت پیشنهاد شده توسط سیستم برابر با ۱۰ میلی‌متر است و امکان ایجاد پایلوت نیمه‌مستقیم نیز وجود ندارد.

در حالت اولیه نتایج حاصل برای دو نوع سیستم مستقیم و غیرمستقیم، در زاویه جانمایی ۴۵، درجه که دارای کمترین دورریز است، به‌دست می‌آید. برای پایلوت مستقیم مقدار فازی نهایی ۰/۸۵۷ و برای پایلوت غیرمستقیم مقدار فازی نهایی ۰/۸۱۶ به‌دست آمده است. دیده می‌شود که در حالت اولیه با ضرایب قوانین گفته شده پایلوت مستقیم انتخاب می‌شود.

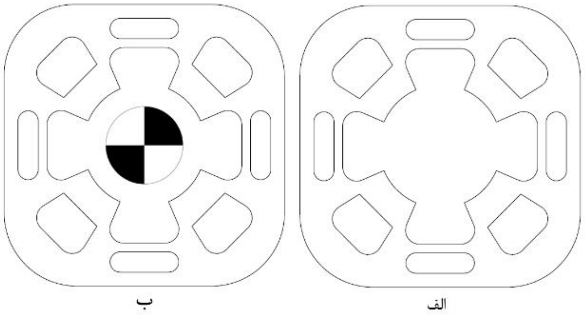
شکل هر دو سیستم به‌ترتیب در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. نکته قابل توجه آن است که اگر دقت ابعادی نهایی قطعه بالا باشد، در ضرایب قوانین فازی باید تغییراتی حاصل شود تا این امر لحاظ گردد. برای مثال با تغییر ضریب تاثیر قانون Z به ۰/۳ یا ۰/۴ نتیجه انتخاب سیستم غیرمستقیم خواهد بود و ارزش فازی نهایی این حالت از حالت مستقیم بیشتر می‌شود.



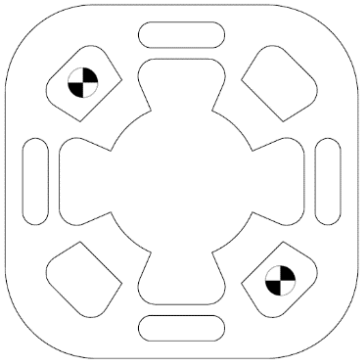
شکل ۱۶حالت پایلوت مستقیم برای نمونه دوم



شکل ۱۷حالت پایلوت غیرمستقیم برای نمونه دوم



شکل ۱۸ نمونه صنعتی مورد بحث در مرجع [۱۰]



شکل ۱۹ پایلوت نیمه‌مستقیم، ضخامت ورق: ۱ میلیمتر

در پاسخ سیستم‌های مشابه این موضوع مورد بررسی قرار نگرفته است. بررسی این نمونه نشان می‌دهد که انتخاب دو پایلوت مستقیم در بهترین زاویه جانمایی لزوما بهترین پاسخ برای جانمایی و انتخاب سیستم راهنما نیست، بلکه دقت موقعیت‌دهی ایجاد شده توسط پایلوت‌ها نیز در این مورد نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]

۸-۳- نمونه سوم

نمونه سوم قطعه‌ای است که در مرجع [۱۰] بررسی شده (۱۸-الف) و در آن مرجع از روش امای‌تی استفاده شده است. پاسخ ارائه شده برای انتخاب سیستم پایلوت‌گذاری در شکل ۱۸-ب دیده می‌شود[۱۰]. ولیکن ضخامت ورق در این مرجع مورد توجه نبوده است و برای هر ضخامت بزرگ‌ترین پین راهنما جایگذاری شده است.

در تحقیق حاضر، قطر پایلوت، در محدوده‌ای نزدیک به کمینه قطر (که بر اساس ضخامت ورق به‌دست می‌آید) انتخاب می‌شود. زیرا مشاهدات صنعتی نشان می‌دهد، اگر قطر پایلوت‌ها از حد معمول بزرگ‌تر باشد، سبب کاهش دقت نهایی قطعه می‌شود.

با توجه به نقشه قطعه، احتمالا ضخامت ورق سه میلیمتر است. برای قطر پایلوت موردنظر با توجه به الگوریتم ارائه شده در بخش سیستم راهنما، در کانتور میانی، به‌ترتیب ماتریس‌های شبکه‌بندی، برخورد و سطح ایجاد می‌شود. اکنون شرایط ایجاد ماتریس وزن مهیا شده است و پاسخ سیستم، مشابه با پاسخ سیستم ارائه شده در تحقیق مذکور است[۱۰].

نکته قابل توجه این است که اگر ضخامت قطعه یک میلیمتر باشد، حالت‌های پایلوت‌گذاری با پین‌های با قطر کمتر بررسی می‌شود و در نهایت دو پایلوت نیمه‌مستقیم انتخاب می‌شود، که وجود این دو پین نسبت به یک پین راهنما، سبب ایجاد دقت موقعیت‌دهی بالاتری می‌شود.

پاسخ سیستم، در شکل ۱۹ نشان داده شده است. تفاوت مهم دیگر کاهش زمان پاسخ‌دهی سیستم به‌علت استفاده از الگوریتم‌های جبری در انتخاب محل دقیق پایلوت‌هاست.

۹- نتایج

با توجه به عدم انطباق کامل نتایج تحقیقات گذشته با روند طراحی قالب‌های مرحله‌ای در صنعت، به‌خصوص در بخش جانمایی و انتخاب سیستم راهنما، در این تحقیق یک سیستم جدید برای این امر ارائه شده است. در این سیستم، علاوه بر ایجاد یک روش جبری برای انتخاب محل دقیق پایلوت‌های نیمه‌مستقیم و غیرمستقیم، با استفاده از منطق فازی و ادغام دو مرحله جانمایی و پایلوت‌گذاری سعی بر بهبود انطباق نتایج سیستم و طرح موجود در صنعت شده است. نتایج سیستم در مقایسه با سیستم‌های اخیر مشابه در بخش‌های مختلف، عبارت است از:

۹-۱- جانمایی

در سیستم ارائه شده توسط قطره‌نبی[۹]، در قسمت جانمایی، یک کپی از شکل با انتقال اجزای شکل با به‌کارگیری فرامین نرم‌افزار سالید ورک[1] تا حد رسیدن به اولین تداخل به نمونه نزدیک می‌شود. سپس دورریز محاسبه می‌گردد. در نرم‌افزار ارائه شده در این مقاله برای هر زاویه تنها یک انتقال به‌صورت جبری انجام می‌شود که این موضوع یعنی عدم به‌کارگیری فرامین نرم‌افزار مدلسازی و کاهش تعداد انتقال‌ها در محاسبه دورریز سبب بهبود زمان پاسخگویی سیستم می‌شود.

۹-۲- پایلوت

در سیستم ارائه شده مرجع [۹] با استفاده از یک الگوریتم افزایشی محل پایلوت‌ها به‌دست آمده است که از نظر زمان نسبتاً زمانبر است. در سیستم ارائه شده در مرجع [۱۰] محققین سیستم خود را بهبود داده و با به‌کارگیری روش امای‌تی حالت افزایشی الگوریتم را حذف و زمان پاسخگویی سیستم را بهینه کرده‌اند. در نرم‌افزار ارائه شده در این مقاله با یک روش جبری محل پایلوت و قطر آن به‌دست می‌آید که از نظر زمان پاسخگویی و نتیجه این بخش درست به مانند نرم‌افزار ارائه شده توسط ایشان است، اما تفاوت حائز اهمیت عدم وابستگی الگوریتم انتخاب سیستم راهنما به نوع فیچر است. در واقع نوع فیچر هر نوعی که باشد در الگوریتم تعیین پایلوت تاثیری ندارد و با شناسایی دقیق قطعات دارای فرم‌های آزاد، که در دست بررسی توسط نویسندگان است، سیستم راهنما برای قطعه بدون تغییر در الگوریتم حاضر به‌دست می‌آید. اما نرم‌افزار ارائه شده در مرجع [۱۰] در حالات پیچیده شکل (کمان بیضوی و سهموی) در قسمت تعیین نیم‌ساز و قطر پایلوت دچار پیچیدگی ریاضیاتی می‌شود.

۹-۳- جانمایی و سیستم راهنمای فازی

با ادغام دو الگوریتم جانمایی و سیستم راهنما و به‌کارگیری قوانین فازی، حالت بهینه پاسخ، که در برخی نمونه‌ها از پاسخ سیتم‌های مشابه به‌دست نمی‌آید، حاصل می‌شود (نمونه اول و دوم).

دقت طرح نهایی تا اندازه زیادی، علاوه بر اطلاعات به‌دست آمده از الگوریتم‌های جانمایی و سیستم راهنما، متاثر از ضرایب قوانین فازی است. در این رابطه ۵۰ قطعه صنعتی و پاسخ صنعت به این قطعات مورد بررسی قرار گرفته است که تعداد ۴۳ قطعه با ضرایب ارائه شده، نیازهای صنعت را برآورده می‌سازد. امید است در آینده و کارهای دیگر محققین این تطابق افزایش یافته و قوانین بیشتری جهت بالا بردن پاسخ نهایی معرفی شود. برای ادامه تحقیقات و افزایش انطباق سیستم با نیازهای صنعت، پیشنهاداتی ذکر می‌شود:

۱- ایجاد بانک اطلاعاتی جامع در زمینه نیاز صنایع مختلف و پیشنهاد آن به کاربر؛

۲- دستیابی به ضرایب فازی مناسب‌تر و دقیق‌تر با بررسی قطعات صنعتی بیشتر؛

۳- افزایش قوانین فازی مناسب برای بهبود نتایج سیستم.

۱۰- مراجع

[1] G. Schaffer, Computer design of progressive dies, *American Machinist,* Vol. 22, pp. 73-75, 1971.

[2] B. Fogg and B. Jaimeson, The influencing factors in optimizing press tool die layouts and a solution using computer aids, *CIRP Annals,* Vol. 24, pp. 429-434, 1975.

[3] S. Nakahara, T. Kojima, S. Tamura, A. Funimo, S. Choichiro, T. Mukumuru, Computer progressive die design, in *Proceedings of 19th MTDR Conference*, pp. 171-176, 1978.

[4] Y. Shibata, Y. Kunitomo, Sheet metal CAD/CAM[Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Manufacture] system, *Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering,* Vol. 15, pp. 219-224, 1981.

[5] J. Choi, B. Kim, C. Kim, and S. Lee, An automated process planning die design system for blanking of stator and rotor parts, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering,* Vol. 13, pp. 40-51, 1996.

[6] J. Choi and C. Kim, A compact and practical CAD/CAM system for the blanking or piercing of irregular shaped-sheet metal products for progressive working, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 110, pp. 36-46, 2001.

[7] T. Nye, Optimal nesting of irregular convex blanks in strips via an exact algorithm, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 41, pp. 991-1002, 2001.

[8] M. Barzegari, B. Arezoo, Computer aided progressive dies design, *4nd Iran design and manufacturing conf.*, Tehran, 1997. (in Persian)

[9] M. Ghatrehnaby, B. Arezoo, A fully automated nesting and piloting system for progressive dies, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 209, pp. 525-535, 2009.

1- SolidWorks

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]

[10] M. Ghatrehnaby, B. Arezoo, Automatic piloting in progressive dies using medial axis transform, *Applied Mathematical Modelling,* Vol. 34, pp. 2981-2997, 2010.

[11] J. W. Herrmann, D. R. Delalio, Algorithms for Sheet Metal Nesting, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 17, pp. 183-190, 2001.

[12] D. Jurisic. Zoran, M. Miodrag, Intelligent Nesting system, *Yugoslav Journal of Operations Research*, Vol. 13, pp. 229-243, 2003.

[13] J. Paquin, R. Crowley, *Die Design Fundamentals,* Vol.1, Pennsylvania State University, Industrial Press, 1962.

[14] M. Julaei Moghaddam, *Computer Aided Progressive Dies Design*, Master Thesis, IUIM, 2012. (in Persian)

[15] *The authors experience and observations in, progressive dies for Irankhodro automotive Company and other Iranian companies, Tehran, Iran 2012*

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.2.3.4]