

## مسیر یابی حرکت ماشین CNC با روش چهار نقطه (FPA)

وحید رشتچی<sup>(۱)</sup> - سعید شیری<sup>(۲)</sup> - ابوالقاسم راعی<sup>(۳)</sup>

### خلاصه

متداولترین روش مسیریابی، برای ماشینهای CNC که مبتنی بر پالس مرجع<sup>(۴)</sup> هستند، روش DDA<sup>(۵)</sup> میباشد. این روش از نظر پیاده سازی ساده بوده و از سرعت بالایی برخوردار است. در عین حال دارای ماکزیمم خطای 1 BLU<sup>(۶)</sup> در مسیر حاصله و نقطه پایانی میباشد. FPA<sup>(۷)</sup> روش دیگری برای مسیر یابی است، که خطای آن در طول مسیر کمتر از 0.7BLU بوده، مسیر تقارن کامل داشته و فاقد خطای نقطه پایانی میباشد. اگرچه این روش قبلاً در نمایش گرافیک منحنی بر روی صفحه CRT بکار گرفته شده است [1]، ولی نبودن الگوریتمی مناسب برای کنترل سرعت آن احتمالاً حجم پردازش مورد نیاز آن مانع از بکار گیری این روش در کنترل عددی و ماشینهای CNC گردیده است. در این مقاله ضمن بررسی روش FPA، ویژگیهای آن نسبت به روشهای هشت نقطه (EPA)<sup>(۸)</sup> و DDA مورد بحث قرار گرفته و الگوریتمی برای کنترل سرعت این روش ارائه میشود، همچنین نتایج حاصله از شبیه سازی روشهای فوق، در ایجاد مسیرهای خطی و دایره ای، از نقطه نظر دقت مسیر و کنترل سرعت ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته و ملاحظه میشود که میتوان از این روش در کنترل عددی و خصوصاً تعیین مسیر در ماشینهای CNC بهره جسته و از مزایای آن بهرمنند شد.

۱- مقدمه:

رسم اتوماتیک منحنی بصورت پله پله در زمینه های متنوع، از جمله در نمایش گرافیک منحنی بر روی صفحه CRT و در ماشینهای کنترل عددی کار برد دارد. در یک سیستم کنترل عددی وظیفه اصلی سیستم کنترل، ایجاد سیگنالهایی متناسب با شکل قطعه و انتقال آن به موتورهای محورها میباشد. در سیستمهای دور تراشی<sup>(۹)</sup>، مسیر حرکت ابزار، ترکیبی از قطعات خطی و دایره ای است و فقط لازم است که مختصات نقاط ابتداء و انتهای هر قسمت و سرعت پیش روی تعیین شوند. عمل تولید نقاط مسیر براساس این اطلاعات، درونیایی، و واحدی که این عمل را انجام میدهد درونیاب نامیده میشود.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سخت افزار دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۳- استادیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی امیر کبیر

- (4)Reference Pulses
- (5)Digital Differential Analyzer
- (6)Basic Lenght Unit
- (7)Four Point Algorithm(FPA)
- (8)Eight Point Algorithm
- (9)Contouring

راحد درونیاب حرکت محورهاى متحرك مستقل ماشين را برای تولید مسیر مورد نظر هماهنگ میسازد. در سیستمهای با پالس مرجع، حرکت محورها بصورت پیوسته نبوده و بصورت پله ای انجام میگردد. در این سیستمها برای ایجاد پالس، فیدبکی از سیستم دریافت نمیکردد و فیدبک تنها به طبقات بعداز واحد مولد پالس اعمال میگردد. درونیابی با روش DDA ویا FPA نیز مختص این سیستمها میباشد.

## ۲- مسیریابی به روش DDA [۲]، [۳]، [۴]

در این روش که عمومی ترین روش مسیریابی در ماشینهای CNC، NC میباشد، از معادلات پارامتریک مسیر که بر حسب زمان بوده و معادلات حرکت مستقل در امتداد  $y, x$  هستند استفاده میشود. تولید فرمانهای محورها  $y, x$  با عملیات ساده انتگرالگیری (جمع) توسط DDA انجام شده و نیز بدلیل استفاده از معادلات پارامتریک بر حسب زمان، کنترل سرعت در امتداد مسیر تسهیل میگردد. انگیزه اصلی توجه به این روش، سهولت پیاده سازی سخت افزاری در ماشینهای NC و نیز پیاده سازی نرم افزاری در ماشینهای CNC بوده است. امروزه بدلیل پیشرفتهای حاصله در تکنولوژی پردازنده ها و گسترش کاربرد پردازنده های قوی در ماشینهای CNC، درونیابی به روش DDA، علیرغم سادگی آن، بدلیل داشتن معایب متعدد، پاسخگری دقت و دیگر نیازها نبوده و جادارد که روشهای دیگری که دارای مزایایی نسبت به روش DDA میباشد جایگزین آن گردند. از جمله این روشها FPA میباشد که به عنوان جایگزینی برای DDA در این مقاله مطرح میگردد. قبل از بحث در رابطه با الگوریتم FPA لازم است که به مشکلات و محدودیتهای روش DDA اشاره شود. معایب روش DDA را میتوان بشرح زیر خلاصه نمود:

الف - مسیرهای خطی و دایره ای ایجاد شده با این روش دارای هیچگونه نظم خاصی نمیشوند و این مسئله در اکثر کاربردها از جمله کنترل عددی مطلوب نمیشود. به عنوان مثال این مسئله موجب عدم ثبات فرکانس اعمالی به موتورهای محورها میشود که مطلوب نمیشود.

ب- از آنجائیکه این روش مبتنی بر انتگرالگیری است و از خطا نیز انتگرال گرفته میشود خطای این روش بیشتر از سایر روشها میباشد.

ج- از نظر نقطه پایانی مسیر، بدلیل عدم وجود نظم خاص، اعمال شرط پایانی مشکل و پیچیده بوده و خطای بیشتری در نقطه پایانی ایجاد میشود.

د- در ایجاد کمانهای دایره ای، امکان ایجاد کمانهای بزرگتر از ربع دایره وجود ندارد و کمانهای بزرگتر از ربع دایره میباشد بصورت ترکیبی از کمانهای کوچکتر ایجاد شوند. این مسئله علاوه بر پیچیدگی در پیاده سازی، بدلیل وجود خطا در هر قطعه و انتگرالگیری از خطا و نیز عدم امکان تصحیح خطا، سبب افزایش خطا میگردد.

ه- حسن DDA، سهولت پیاده سازی، کنترل سرعت و سرعت اجرایی بالا میباشد. روش FPA به عنوان جایگزینی که عاری از معایب فوق بوده و نیز پیاده سازی و کنترل سرعت آن با پردازشگرهای معمول امروزی، میسر است، مطرح میشود.

## ۳- مسیریابی به روش چهار نقطه (FPA)

در این روش برخلاف روش DDA، از معادله صریح منحنی بصورت  $f(x,y)=0$  استفاده میشود. یکی از مزایای این روش نسبت به روش DDA کمتر بودن خطای تقریب، بدلیل استفاده از یکسری معیارهای کاهش خطا میباشد. در حالت کلی معادله یک مسیر دو بعدی را میتوان بصورت:

$$f(x,y) = 0 \quad (1)$$

در نظر گرفت.

فرض میکنیم که تابع دارای مشتقات جزئی پیوسته باشد و با این فرض علامت اختصاری زیر را برای بیان این مشتقات

بکار میگیریم.

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, \quad f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, \quad f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \quad f_{xy} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}, \quad f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2)$$

اگر نقطه شروع  $(x_0, y_0)$ ، نقطه ای روی منحنی باشد، نقاط بعدی که تقریب زده خواهند شد، الزاماً نقاط واقع بر منحنی نخواهند بود. هدف این الگوریتم ایجاد مجموعه ای از نقاط است که منحنی را تا حد ممکن از نزدیک دنبال کند. ابتداء مسئله دنبال کردن منحنی را مد نظر قرار می‌دهیم. فرض کنید در ابتداء در نقطه  $(x, y)$  از شکل (۱) قرار داشته باشیم با فرضیات انجام شد، ۸ نقطه زیر

$$(x+\Delta x, y), (x, y+\Delta y), (x+\Delta x, y+\Delta y) \quad \Delta x, \Delta y = \pm 1 \quad (3)$$

به عنوان نقطه بعدی مسیر وجود دارند. که اگر از هر هشت نقطه به عنوان نقاط ممکن بعدی برای حرکت استفاده نمائیم الگوریتم هشت نقطه (EPA) حاصل میشود ولی اگر امکان حرکت همزمان در امتداد محورهای  $x, y$  را از الگوریتم حذف نمائیم فقط چهار نقطه به عنوان نقاط بعدی حرکت باقی خواهند ماند و الگوریتم حاصل، چهار نقطه (FPA) نامیده میشود که نسبتاً ساده تر از الگوریتم EPA میباشد.

برای محدود نمودن تعداد نقاطی که در هر زمان میبایست در نظر گرفته شوند جهتی را برای حرکت مشخص مینمائیم. در روی منحنی دو جهت  $+v = (-f_y, f_x)$ ،  $-v = (f_y, -f_x)$  برای حرکت وجود دارند. برای حرکت در جهت  $+v$  باید  $f_y, \Delta x$  مختلف علامه بوده و  $\Delta y$  هم علامت با  $f_x$  باشد و بطور عکس برای حرکت در جهت  $-v$  باید  $f_y, \Delta y$  مختلف علامه بوده و  $\Delta x$  هم علامت با  $f_y$  باشد. بدین طریق تعداد نقاط بعدی حرکت محدود میگردد، که گفته های فوق را میتوان در عبارات منطقی زیر خلاصه نمود.

$$D = \begin{cases} 1 & \text{for direction} = (+v) & (4-a) \\ 0 & \text{for direction} = (-v) & (4-b) \end{cases}$$

$$\Delta x = \begin{cases} +1 & \text{when } [(f_y \geq 0) \wedge (D=0) \vee (f_y < 0) \wedge (D=1)] & (5-a) \\ -1 & \text{when } [(f_y < 0) \wedge (D=0) \vee (f_y \geq 0) \wedge (D=1)] & (5-b) \end{cases}$$

$$\Delta y = \begin{cases} +1 & \text{when } [(f_x < 0) \wedge (D=0) \vee (f_x \geq 0) \wedge (D=1)] & (6-a) \\ -1 & \text{when } [(f_x \geq 0) \wedge (D=0) \vee (f_x < 0) \wedge (D=1)] & (6-b) \end{cases}$$

در هر نقطه کافی است یکی از نقاط  $(x+\Delta x, y), (x, y+\Delta y), (x+\Delta x, y+\Delta y)$  را طوری انتخاب کنیم که  $|f|$  کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. برای این منظور مقدار تابع را در نقاط بعدی ممکن بصورت زیر تعریف میکنیم.

$$f^x = f(x+\Delta x, y) \quad (7-a)$$

$$f^y = f(x, y+\Delta y) \quad (7-b)$$

$$f^{xy} = f(x+\Delta x, y+\Delta y) \quad (7-c)$$

با این تعاریف برای مشخص ساختن نقطه بعدی کافی است مقادیر  $|f^x|, |f^y|, |f^{xy}|$  را مطابق روابط (۸-ب)، (۸-ا) باهم مقایسه کنیم.

$$\text{if } (|f^x| < |f^y|) \text{ and } (|f^x| < |f^{xy}|) \text{ Then } x \leftarrow x + \Delta x, \text{ step in } x \quad (8-a)$$

$$\text{if } (|f^y| \leq |f^x|) \text{ and } (|f^y| < |f^{xy}|) \text{ Then } y \leftarrow y + \Delta y, \text{ step in } y \quad (8-b)$$

$$\text{if } (|f^{xy}| \leq |f^x|) \text{ and } (|f^{xy}| \leq |f^y|) \text{ Then } x \leftarrow x + \Delta x, y \leftarrow y + \Delta y, \text{ step in } x, y \quad (8-c)$$

برای به هنگام سازی متغیرهای  $f^x, f^y, f^{xy}, f_x, f_y$  با استفاده از رابطه بسط تیلور خواهیم داشت،

$$f^x = f^a + f_x \Delta x + \frac{1}{2} f_{xx} (\Delta x)^2 + \dots \quad (9-a)$$

$$f^y = f^a + f_y \Delta y + \frac{1}{2} f_{yy} (\Delta y)^2 + \dots \quad (9-b)$$

$$f^{xy} = f^{\alpha} + f_x \Delta x + f_y \Delta y + \frac{1}{2}(f_{xx}(\Delta x)^2 + 2 f_{xy}(\Delta x)(\Delta y) + f_{yy}(\Delta y)^2) + \dots \quad (9-c)$$

$$f_x \leftarrow -f_x + f_{xx} \Delta x + f_{xy} \Delta y + \dots \quad (9-d)$$

$$f_y \leftarrow -f_y + f_{yx} \Delta x + f_{yy} \Delta y + \dots \quad (9-e)$$

فلو چارت EPA برای ایجاد منحنی ها در شکل (۳) نمایش داده شده است. با حذف شاخه وسط تصمیم گیری (شاخه step in x and y) و متغیر تصمیم گیری  $f^{xy}$  از فلو چارت شکل (۳)، میتوان فلو چارت الگوریتم FPA را بدست آورد.

۳-۱- روش FPA برای خط راست

معادله خط راستی که از مبدا مختصات گذشته و به نقطه  $(x_e, y_e)$  ختم میشود معادله (۱۰) خواهد بود.

$$f(x, y) = y_e x - x_e y = 0 \quad (10)$$

با استفاده از معادله (۱۰) مشتقات جزئی بصورت زیر حاصل میگردد:

$$f_x = y_e, \quad f_y = -x_e, \quad f_{xx} = f_{yy} = f_{xy} = 0 \quad (11)$$

اگر در ایجاد خطوط راست همواره از مبدا مختصات حرکت کرده و بسوی نقطه انتهائی  $(x_e, y_e)$  پیش رویم، جهت حرکت در امتداد  $v + (D=1)$  بوده و با توجه به روابط (۶) و (۵) علامت  $\Delta x$ ،  $\Delta y$  همان علامت مقادیر ثابت  $x_e, y_e$  خواهند بود. با استفاده از روابط فوق و روابط (۹) برای محاسبه  $f^x, f^y, f^{xy}$  برای خط بدست میآیند که با استفاده از آنها میتوان فلو چارت لازم برای ایجاد خطوط راست را از فلو چارت کلی به سادگی استخراج نمود. نکته قابل ذکر اینکه برای خط راست پایان کار زمانی است که به نقطه  $(x_e, y_e)$  رسیده باشیم به عبارت دیگر پایان الگوریتم زمانی است که رابطه (۱۲) برقرار شود.

$$x = x_e, \quad y = y_e \quad (12)$$

۳-۲- روش FPA برای دایره

معادله دایره ای به مرکز مبدا مختصات و شعاع R و نیز مشتقات جزئی آن مطابق معادلات (۱۳) و (۱۴) میباشد.

$$f(x, y) = x^2 + y^2 - R^2 = 0 \quad (13)$$

$$f_x = 2x \quad (14-a)$$

$$f_y = 2y \quad (14-b)$$

$$f_{xy} = 0 \quad (14-c)$$

$$f_{xx} = f_{yy} = 2 \quad (14-d)$$

از روابط فوق روشن است که  $f_x, f_y$  متناسب با  $x, y$  میباشد لذا برای تعیین علامت  $\Delta x$ ،  $\Delta y$  نیازی به محاسبه یا به هنگام سازی مقادیر  $f_x, f_y$  وجود ندارد و علامت  $\Delta x$ ،  $\Delta y$  را با استفاده از روابط منطقی (۵) و (۶) و جایگزینی  $x, y$  جای  $f_x, f_y$  میتوان مشخص نمود. برای کمان دایره ای، جهت  $v +$  جهت خلاف عقربه های ساعت و جهت  $v -$  جهت حرکت عقربه های ساعت خواهد بود. فلو چارت لازم برای ایجاد کمانهای دایره ای را میتوان از فلو چارت کلی و با در نظر گرفتن موارد فوق بدست آورد. برای کمان دایره ای شرط پایانی، يك تابع ساده منطقی نخواهد بود و اندکی پیچیده تر است [1] و اگر همانند خط راست شرط  $x = x_e$  and  $y = y_e$  را بکار بریم کافی نخواهد بود. در اینجا میبایست از نامساوی های (۱۵) استفاده نمائیم. خوشبختانه وجود نظم در این الگوریتمها از پیچیده گی شرایط نقطه پایانی میکاهد و با توجه به وجود این نظم و اینکه در octant های دوم و سوم و هشتم و هفتم تغییرات در امتداد x بیشتر از y میباشد میتوان شرایط پایانی زیر را برای کمان دایره ای بکار برد. [۱]

$$(x = x_e) \wedge (|y - y_e| \leq 1) \quad \text{for } 225^\circ \leq \theta \leq 315^\circ \text{ or } 45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ, \quad \theta = \tan^{-1}(y_e/x_e) \quad (15-a)$$

$$(y = y_e) \wedge (|x - x_e| \leq 1) \quad \text{for } -45^\circ < \theta < 45^\circ \text{ or } 135^\circ < \theta < 225^\circ, \quad \theta = \tan^{-1}(y_e/x_e) \quad (15-b)$$

#### ۴- کنترل سرعت در FPA

الگوریتمهای درونیایی، علاوه بر آنکه میبایست نقاط نزدیک به یک قطعه از مسیر مطلوب را از نقطه شروع بطرف نقطه انتهایی با دقت بالاتر تولید کنند، میبایست سرعت پیشروی بر روی مسیر را نیز ثابت نگاه دارند در روش DDA، ثابت نگاه داشتن سرعت مستتر در روش است. باین معنی که برای ایجاد مسیر  $f(x,y)=0$  معادلات  $x(t), y(t)$  بنحوی انتخاب میشوند که سرعت پیشروی لحظه ای  $v(t)=\sqrt{x'(t)^2+y'(t)^2}$  ثابت بوده و  $f(x,y)=0$  در هر لحظه صادق باشد. سپس تولید نقاط با انتگرالگیری از  $y'(t), x'(t)$  با پیروی ثابت صورت گرفته، و ظاهراً "سرعت مطلوب و ثابت نیز حاصل میشود. در روشهای EPA, FPA، برای بدست آوردن هر نقطه از مسیر میبایست یکبار روتین مربوطه را اجرا نمود و مسئله کنترل سرعت تعیین زمانهای اجرای روتین و صدور فرمان، با پالسها میباشد. با توجه به نحوه پیاده سازی، میبایست روش تعیین زمان، عاری از پردازشهای سنگین و حتی الامکان ساده باشد. در این بخش، با مشاهده رفتار واقعی DDA که روش معمول در مسیر یابی است، روشهای نسبتاً ساده، برای کنترل سرعت EPA, FPA ارائه میشود.

جدول (۱) را که مربوط به تولید نقاط یک خط مستقیم به روش DDA میباشد در نظر بگیرید. همانطور که ملاحظه میشود، علیرغم اینکه، انتظار ثابت بودن سرعت لحظه را داریم، به جهت نحوه پیاده سازی، در قطعات کوچکی از مسیر، سرعت لحظه ای ثابت نمیشود.

براساس این مشاهده، دوروش برای کنترل سرعت در الگوریتمهای EPA, FPA پیشنهاد میشود:

روش اول: در این روش فرکانس اجرای روتین را ثابت نگه میداریم.

در اینصورت، فرکانس اجرای روتین، برای مسیرهای خطی و دایره ای به سادگی از روابط (۱۶) الی (۱۸) قابل تعیین میباشد. در این روابط  $x_s, y_s$  مختصات شروع،  $x_e, y_e$  مختصات نقطه خاتمه،  $F$  سرعت پیشروی و  $\alpha$  تعداد شکستهای مسیر تولید شده توسط الگوریتم FPA است. منظور از شکستگی، تولید دو نقطه متوالی، یکی در جهت  $x$  و دیگری در جهت  $y$  (اگر تغییرات در جهت  $x$  بیشتر باشد) و یا یکی در جهت  $y$  و دیگری در جهت  $x$  (اگر تغییرات در جهت  $y$  بیشتر باشد) میباشد. لازم به توجه است که تفاوت الگوریتم EPA, FPA در همین شکستگیها میباشد. به عبارت دیگر، چون در الگوریتم EPA، میتوان برای هر دو محور بطور همزمان فرمان صادر کرد، این نوع شکستگیها باید حرکت توأم  $x, y$  طی میشوند. شکل (۲) این مطلب را نمایش میدهد.

$$L = \sqrt{x_e^2 + y_e^2} \quad \text{طول مسیر خطی} \quad (16-a)$$

$$L = R \left[ \tan^{-1} \frac{y_e}{x_e} - \tan^{-1} \frac{y_s}{x_s} \right] \quad \text{طول کمان. (در این رابطه توجه به رمی که نقاط} \quad (16-b)$$

شروع و خاتمه در آن واقعند لازم است)

$$TcP.FP = x_e + y_e \quad \text{تعداد نقاط تولید شده برای مسیر خطی و FPA} \quad (17-a)$$

$$TcP.FP = (x_e - x_s) + (y_e - y_s) \quad \text{تعداد نقاط تولید شده برای مسیر دایره ای و FPA} \quad (17-b)$$

$$f.FP = \frac{TcP.FP * F}{L} \quad \text{فرکانس اجرای روتین FP} \quad (18)$$

$$\alpha = y_e \quad -45^\circ < \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) < 45^\circ \quad \text{or} \quad 135^\circ < \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) < 225^\circ \quad (19-a)$$

$$\alpha = x_e \quad 225^\circ \leq \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) \leq 315^\circ \quad \text{or} \quad 45^\circ \leq \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) \leq 135^\circ \quad (19-b)$$

$$\alpha = (x_e - x_s) \quad -45^\circ < \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) < 45^\circ \quad \text{or} \quad 135^\circ < \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) < 225^\circ \quad (20-a)$$

$$\alpha = (y_e - y_s) \quad 225^\circ \leq \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) \leq 315^\circ \quad \text{or} \quad 45^\circ \leq \tan^{-1} \left( \frac{y_e}{x_e} \right) \leq 135^\circ \quad (20-b)$$

درابطه (۱۹) و (۲۰) تعداد شکستگیهای مسیرهای خطی و دایره ای را بیان میکنند.

$$TcP.EP = TcP.Fp - \alpha$$

(۲۱) تعداد نقاط تولید شده برای مسیرهای دایره و خطی با EPA

$$f.EP = \frac{TcP.EP * F}{L}$$

(۲۲) فرکانس اجرای روتین EPA

در روابط (b-۱۶) و (b-۱۷) میباشد، نقاط شروع و خاتمه در يك ربع و برای رابطه (۲۰) نقاط شروع و خاتمه در يك octant واقع باشند. در عین حال به کلیت روش، خدشه ای وارد نمیشود، و میتوان هر کمان دلتوای را به قطعات لازم تقسیم نموده و از روابط فوق بهره جست.

در الگوریتم EP، قطعات طی شده در مدت زمان  $\Delta t = \frac{1}{f}$ ، در جهت x یا y با xy میباشدند. سرعت لحظه ای برای قطعات در جهت x یا y برابر  $1 \text{ BLU}/\Delta t$  و در جهت xy برابر  $\sqrt{2} \frac{\text{BLU}}{\Delta t}$  میباشد. در الگوریتم FP، قطعات در جهت x یا y بوده با سرعت  $1 \text{ BLU}/\Delta t$  طی میشوند. حرکت در جهت xy و بطول  $\sqrt{2} \text{ BLU}$  میباشد با دو حرکت مجزا، یکی در جهت x و دیگری در جهت y و در مدت  $2 \Delta t$  انجام شود و در نتیجه سرعت متوسطی برابر  $\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\text{BLU}}{\Delta t}$  خواهیم داشت.

روش دوم: با توجه به مباحث قبلی، در این روش، سرعت را برای طی قطعات در جهت x، y و xy ثابت نگه میداریم. برای این منظور، در الگوریتم EPA، فرمانها در جهت x یا y در مدت  $\Delta t$  و در جهت xy در مدت  $\sqrt{2} \Delta t$  اجرا میگرددند. در الگوریتم FPA، شکستگیها میباشد در مدت  $\sqrt{2} \Delta t$  طی شوند. هر شکستگی با دو فرمان، در دو جهت متفاوت طی میشود. تشخیص شکستگی در زمان صدور فرمان دوم است. لذا تمام فرامین در مدت  $\Delta t$  صادر شده و با تشخیص هر شکستگی، فرمان دوم آن را در مدت  $(\sqrt{2} - 1) \Delta t$  اجرا میکنیم. مقدار  $\Delta t$  برای روشهای EPA، FPA از رابطه (۲۳) بدست میآید.

$$\Delta t.FP = \frac{L}{F[TcP.FP + \alpha(\sqrt{2} - 2)]} \quad (23-a)$$

$$\Delta t.EP = \frac{L}{F[TcP.EP + \alpha(\sqrt{2} - 1)]} \quad (23-b)$$

## ۵- مقایسه روشها:

در این بخش، شکل خطوط و کمانها، ماکزیم انحراف از مسیر مطلوب و نیز تغییرات سرعت پیشروی، برای روشهای EPA، FPA، DDA و براساس نتایج بدست آمد. از شبیه سازی، بررسی میشوند.

در شکلهای (۴) و (۵)، کمانها و خطوط تولید شده، ملاحظه میشوند. روشهای EP، FP خاصه به شکلهای بخشیده اند، که این امر در مسیرهای خطی، به معنی داشتن فرکانس ثابت تر پالسها در دو محور بوده و از جهت کنترل موتورهای پله ای مطلوب میباشد ولی روش DDA فاقد این نظم است. در شکلهای (۶) و (۷) ماکزیم خطای مسیر طی شده را مشاهده میکنیم. روش EPA با  $0.5 \text{ BLU}$ ، FPA با  $0.7 \text{ BLU}$ ، DDA با  $1 \text{ BLU}$  پترتیب، ماکزیم خطای بیشتر و قابلیت کمتری را نشان میدهند. در شکل (۸) تغییرات سرعت، پیشروی مورد بررسی قرار گرفته است. واقعیت مطلب این است که تعریف سرعت لحظه ای، بسته به اینکه مسیر را مسیر واقعی یا مسیر مطلوب و رفتار موتور محرک را در طی نقاط چگونه فرض کنیم، متفاوت خواهد بود.

لذا ماکزیم تغییرات سرعت متوسط بازه های مختلف مسیر، نسبت به سرعت متوسط کل مسیر، مورد بررسی قرار گرفته اند. آنچه میتوان انتظار داشت این است که، سرعت متوسط در بازه هایی که دارای شبیههای مختلف اند، متفاوت باشد. لذا شبیه سازی برای يك ربع انجام شده است، تا بازه هایی با شبیههای مختلف داشته باشیم. در شبیه سازی، شعاع دایره

BLU ۱۰۰۰، اندازه بازه ها  $\Delta L/L = 2\%$  (طول کمان است) انتخاب شده و سرعت متوسط در هر بازه بدست آمده است. سپس، انحراف سرعت متوسط بازه ها نسبت به سرعت متوسط کل محاسبه و ماکزیمم این انحراف تعیین و برحسب تعداد تقسیمات  $2^i$  رسم شده است. همانطور که ملاحظه میشود، اگر روش اول کنترل سرعت، برای FPA چندان مطلوب نباشد، روش دوم آن، با DDA ناهل مقایسه است و حتی برای بازه های کوچکتر که به سرعت لحظه ای نزدیکتر میشود بهتر میشود. همین مطلب در مورد روش دوم برای EP نیز صادق است.

۶- نتیجه گیری:

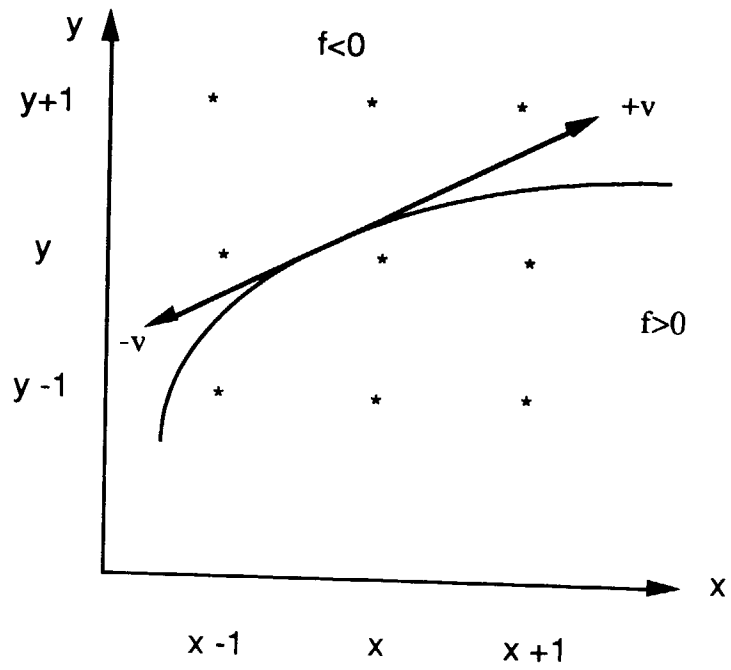
با توجه به نتایج بدست آمده از بخشهای قبل، میتوان گفت، روش EPA از لحاظ شکل مسیرهای حاصله، خطای مسیر و کنترل سرعت نسبت به دو روش دیگر بهتر است اما سرعت اجرای روتین های مربوط به EPA به علت نیاز به پردازشهای بیشتر، حدود 40٪ کندتر از سرعت اجرای روتینهای FPA میباشد. شاید بتوان گفت که با در نظر گرفتن کلیه جوانب، روش FPA یک انتخاب ایتیم است. این روش برای یک ماشین تراش CNC با مشخصه های  $F=3000\text{mm}/\text{min}$  موتورهای پله ای با دقت  $0.72^\circ$  پردازنده Mc68000 با فرکانس 8MHz، پیاده سازی شده و نتایج آن مطلوب بوده است. در صورت افزایش توان پردازشگر، مسلماً روش EPA به جهت مزایای دیگر آن انتخاب بهتری خواهد بود.

زمان انتگرال گیری t	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
صدور پالس برای محور x	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
صدور پالس برای محور y	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
سرعت لحظه ای بر حسب $BLU/\Delta t$	۰	۱	۱	$\sqrt{2}$	۱	۱	۱	$\sqrt{2}$

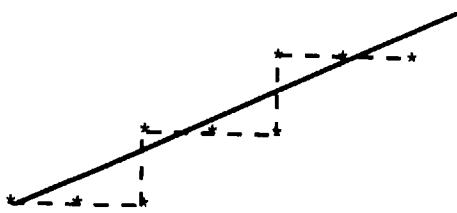
$$f(x,y)=3y-x=0$$

جدول (۱): مسیر یابی به روش DDA برای

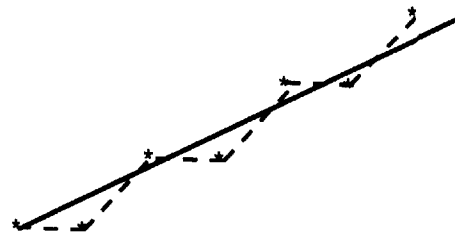
$$y'(t)=1, x'(t)=3, y(t)=t, x(t)=3t$$



شکل ( ۱ ) هشت نقطه بعدی ممکن برای حرکت از نقطه  $(x, y)$ .



الف



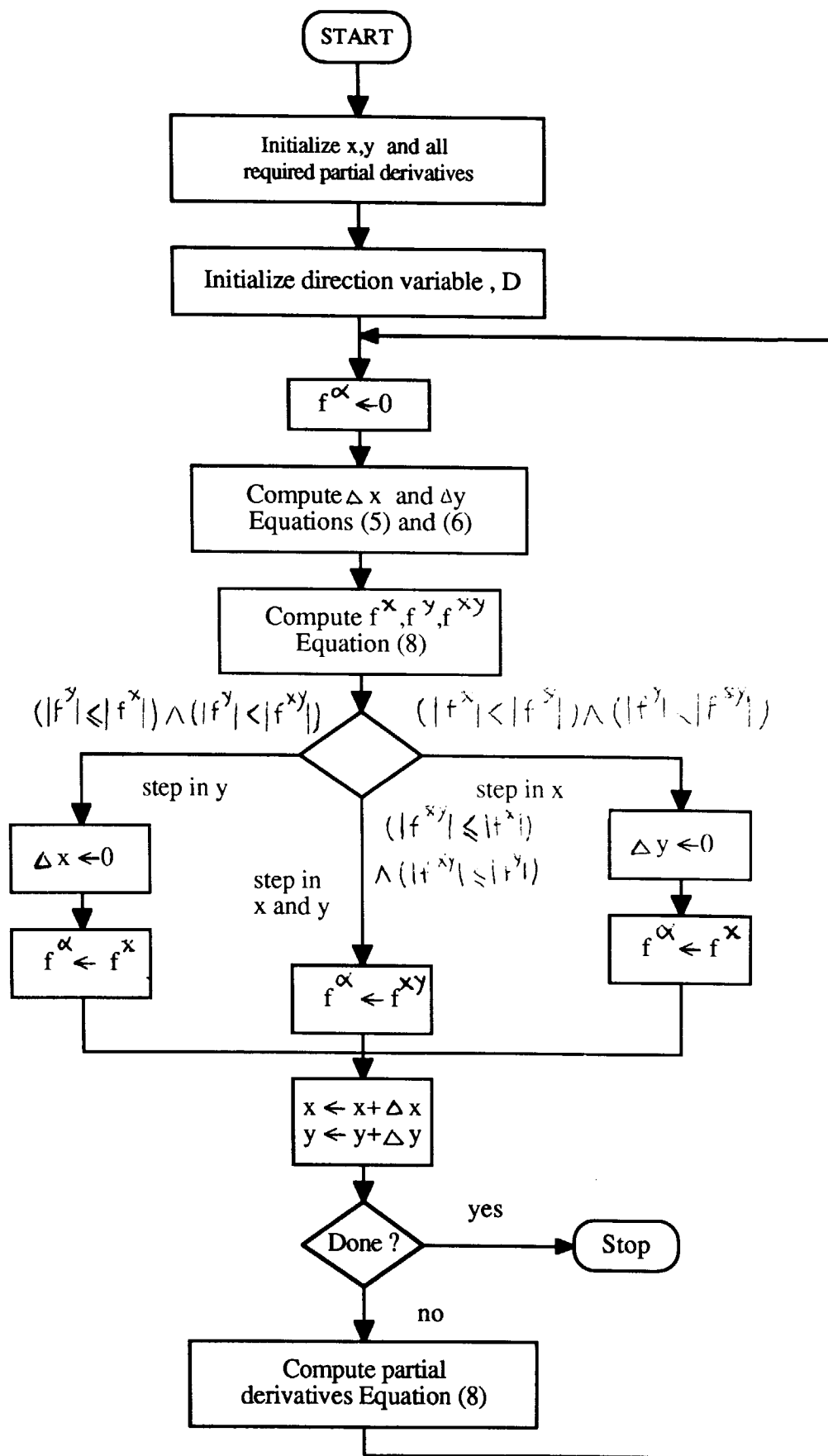
ب

ب- نقاط تولید شده توسط EPA

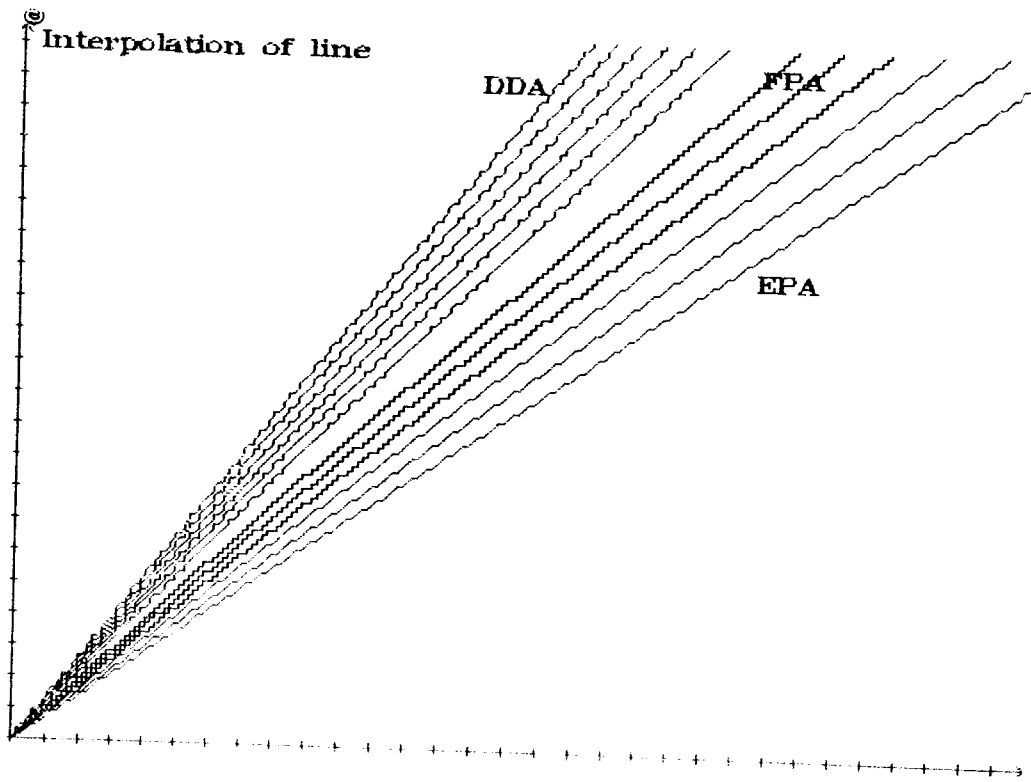
الف - نقاط تولید شد توسط FPA

شکل ( ۲ )

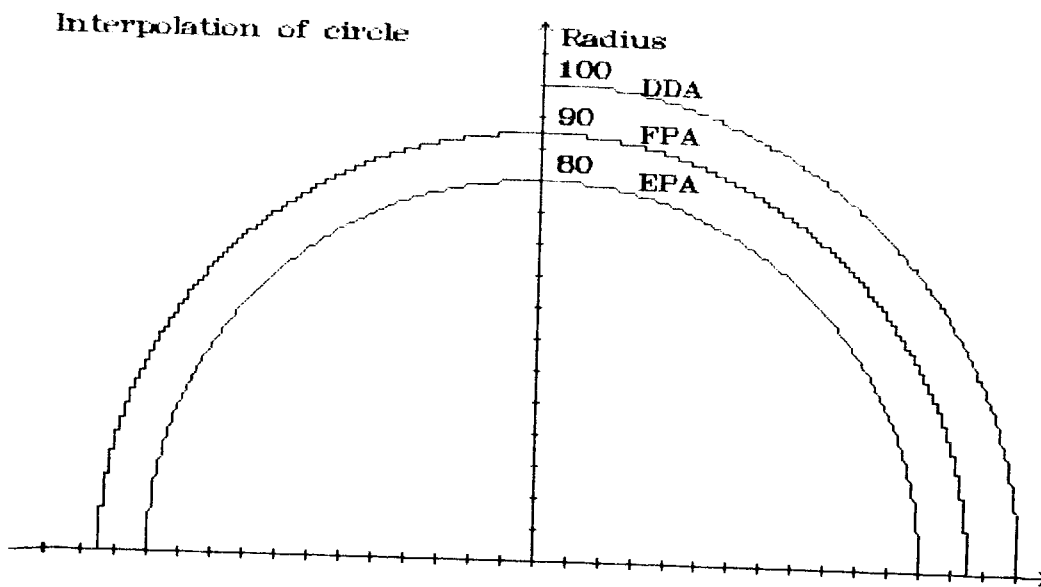




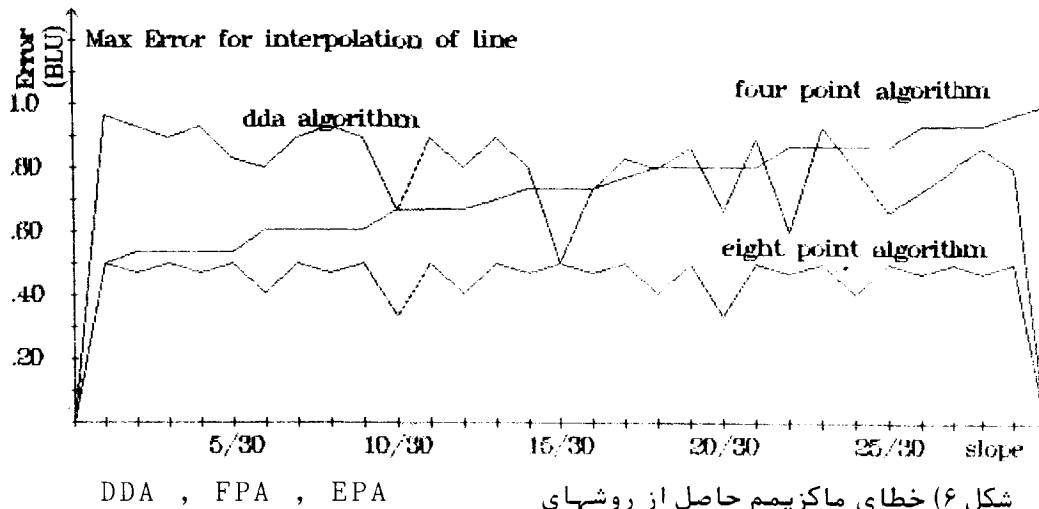
Eight Point شکل ۳ - فلوجارت روش



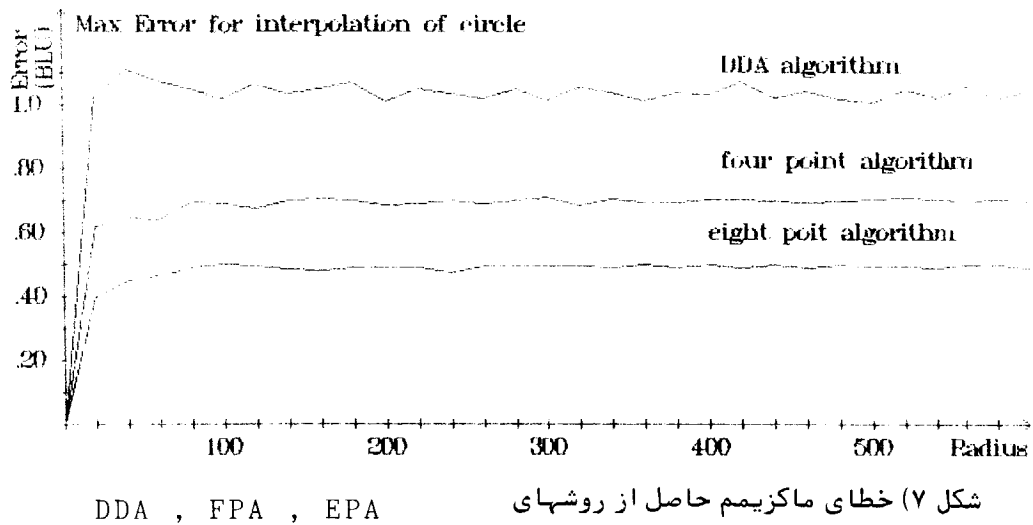
شکل ۴) خطوط ایجاد شده با روشهای DDA ، FPA ، EPA



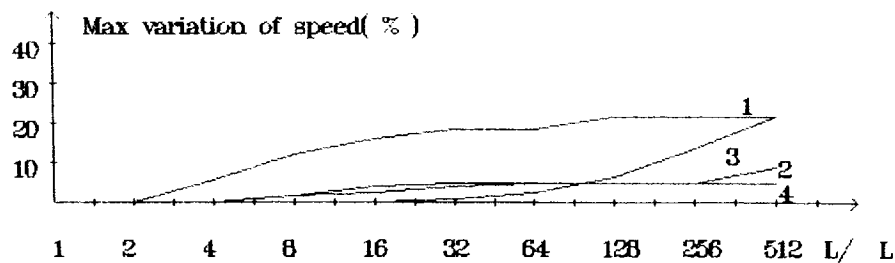
شکل ۵) دوابر ایجاد شده با روشهای DDA ، FPA ، EPA



شکل ۶ خطای ماکزیمم حاصل از روشهای برای درونیایی خطی



شکل ۷ خطای ماکزیمم حاصل از روشهای برای درونیایی دایره ای



شکل ۸ ماکزیمم تغییرات سرعت برای

۱- روش	FPA	نوع اول
۲- روش	DDA	نوع اول
۳- روش	FPA	نوع دوم
۴- روش	EPA	نوع دوم

مراجع :

1\_ Jordan.w, w.J.Lenon , and B.D.Holm "An Improved Algorithm for Generation of Non Parametric Curves , IEEE Trans. comp , Vol c-22 no 12, pp. 1052-1060 , December 1973.

2- Yoarm Koren , Computer Control of Manufacturing Systems , McGraw -Hill ,1983.

3- Sizer, T.R ,The Digital Differential Analyzer . Chapman & Hall, London , England , 1968.

۴- بهنام شهروا - سید مجید نورحسینی ، طراحی و ساخت واحد کنترل ماشینهای CNC . پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، ۱۳۶۸ .