

کاربرد تبدیل رادن در تشخیص زاویه دوران اجسام و اسناد چند زبانه

فرح ترکمنی آذر* و مجید زنجانی**

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله ۸۰/۲/۷ - دریافت نسخه نهایی ۸۱/۱۰/۴)

چکیده - آشکار سازی عیوب محصولات یک واحد صنعتی در مقایسه با نمونه مطلوب و همچنین خواندن متن اسناد مکتوب از زمینه‌های پردازش تصویر در بینائی ماشین^۱ است. برای تشخیص عیوب در نمونه‌های مورد آزمایش و مقایسه آن با نمونه مطلوب ضروری است که تصاویر گرفته شده در شرایط کاملا یکسان و بدون هر گونه خطا تهیه شوند. این نکته در یک جسم دو بعدی مانند اسناد مکتوب نیز صدق می‌کند. در این صورت می‌توان مقایسه بین تصاویر نمونه‌ها و تصویر هدف را به منظور کنترل محصول انجام داد. از آنجا که به طور عملی تهیه تصویر با شرایط ذکر شده میسر نیست، لذا استفاده از روشهایی برای جبران خطاهای ناشی از انتقال و دوران در هنگام تهیه تصویر الزامی است که به این پردازش عمل تطبیق^۲ گفته می‌شود. برای انجام این فرایند، در مقاله حاضر از تبدیل رادن^۳ استفاده شده است. در تبدیل رادن می‌توان در صورت انتقال و چرخش تصویر اصلی همچنان از مقادیر قبلی تبدیل استفاده کرد. بدین منظور روشهای ساده ای مبتنی بر تبدیل رادن در زوایای مختلف پیشنهاد شده است. نتایج شبیه سازیهای انجام شده مبین راندمان مطلوب روش پیشنهادی است. به نحوی که دقت تا یک دهم درجه را با حجم محاسباتی اندک بدون نیاز به حافظه و انجام عملیات پیش پردازش اولیه فراهم می‌سازد. روش پیشنهادی برای تصاویر تهیه شده با استفاده از تجهیزات مختلف مانند دوربین دیجیتال، پویسگر، نمابر، و چاپگر بدون محدودیت در رسم الخط مورد استفاده در زبانهای مختلف قابل استفاده است.

واژگان کلیدی: پردازش تصویر، تطبیق تصاویر، تبدیل رادن، تشخیص کجی اسناد چند زبانه، کاربرد رایانه در صنعت.

Application of Radon Transform in Detecting Turning Angle of Bodies and in Reading Multi-Lingual Documents

F. Torkamani Azar and M. Zanjani

Department of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract: Recently, image processing technique and robotic vision are widely applied in fault detection of industrial products as well as document reading. In order to compare the captured images from the target, it is necessary to prepare a perfect image, then matching should be applied. A preprocessing must therefore, be done to correct the samples' and or camera's movement which can occur during the capturing of images. The Radon Transform technique is applied in this study which is inherently invariant to any movement, such as dislocation and rotation which leads to scale changing. According to this technique, simple methods are proposed to determine the degree of movement. Results of computer simulation show the priority of the proposed

** کارشناسی ارشد

* استادیار

method to other techniques. The accuracy of the proposed algorithm is less than 0.1 degree and is applicable to different segments such as texts, tables, drawings, ..., which are prepared in different writing languages by different devices such as digital camera, scanner, fax, and printer.

Keywords: Image processing, Image matching, Radon Transform, Skew detection documents, Computer application in industry.

فهرست علائم

$\mathcal{R}_\alpha\{\circ\}$	اپراتور تبدیل رادن	$U_0(x,y)$	تصویر استاندارد
$g(s,\theta)$	مقدار بردار تبدیل رادن در شیب θ° و مکان s	$\text{Corr}(U_0,U_1)$	تابع همبستگی متقابل U_0 و U_1
$F\{\circ\}$	اپراتور تبدیل فوری	$\text{Auto Corr}(U_0)$	تابع خود همبستگی U_0
$D_{\theta d}(s)$	تقریب گرادیان با اختلاف d در تبدیل رادن در شیب θ°	$f(x,y)$	تصویر پیوسته
$U_d(n_1,n_2)$	تقریب گرادیان با اختلاف d در ستون n_2	$\delta(\circ)$	تابع ضربه

۱- مقدمه

شود تا در صورت یکسان فرض کردن شرایط دو تصویر نسبت به تشخیص خطاها اقدام شود.

تعمیم ایده فوق از یک جسم سه بعدی به یک سطح دو بعدی مانند اسناد و مدارک مکتوب و تشخیص میزان کجی آنان، در حالتی که دسترسی به نمونه اصلی مقدور نباشد نیز از دیگر موارد کاربردی در زمینه تصویر است. در هنگام اخذ کپی از یک سند و یا ارسال آن توسط نامبر ممکن است که در هنگام قرار دادن سند در دستگاه، مراقبت کافی به عمل نیامده و انحراف از حالت اصلی اتفاق بیفتد. چرخش ایجاد شده در تصاویر گرفته شده از چنین سندی به خصوص در صورت خوانده شدن آن توسط ماشین موجب بروز اشکالات اساسی خواهد شد. در چنین مواردی، فرایند تشخیص کجی سند، به عنوان یک عمل پیش پردازش مهم مطرح خواهد بود. در این خصوص روشهای متعددی ارائه شده است که عموماً پیچیده بوده و حجم محاسباتی آنان بسیار زیاد است [۶-۱۳]. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از روش تبدیل رادن و با به کار گیری یک الگوریتم ساده که نیاز به حجم محاسباتی بالایی ندارد. میزان چرخش در تصاویر حاصله از اجسام سه بعدی و دو بعدی (اسناد) تشخیص و اصلاح لازم بر روی آنان برای استفاده در ماشین اعمال شود.

عرضه دوربینهای ویدیویی دیجیتالی و آنالوگ، رواج رایانه‌های قوی و با سرعت بالا و همچنین ارائه روشهای مختلف در پردازش تصاویر با قابلیت‌های کاربردی فراوان باعث شده است که زمینه‌های بسیار جدیدی در به کار گیری تصاویر ایجاد شود. متأسفانه علی‌رغم پیشرفتهای غیر قابل انکاری که در این زمینه حاصل شده است، در زمینه تشخیص و دسته بندی اجسام و عیب یابی نمونه‌های مختلف با توجه به یک مدل هدف^۴ که کاربرد فراوانی به خصوص در زمینه بینایی ماشین و کنترل کیفیت محصول دارد. تحقیق چندان زیادی صورت نپذیرفته است [۱-۳]. در معدود تحقیقات صورت پذیرفته، مقایسه نمونه مورد آزمایش با نمونه هدف با استفاده از مقایسه تصاویر آنان صورت گرفته است و این امر در صورتی میسر است که دو تصویر دقیقاً از یک زاویه با وضعیت و فاصله ابعادی یکسان تهیه شده باشند. به هر حال در صورتی که اپراتور در تهیه تصویر نمونه دچار خطا شود و نمونه مورد بررسی در هنگام تهیه تصویر دچار جا به جایی افقی، عمودی و یا دورانی شود، تصویر حاصله قابل عیب یابی و مقایسه با مدل استاندارد نخواهد بود. در چنین حالتی ضروری است تا ابتدا خطاهای ناشی از جا به جایی به نحو مطلوب حذف و جبران

عنوان زاویه دوران ناشناخته نمونه مورد آزمایش در نظر گرفته می‌شود.

در صورت استفاده از روش فوق‌الذکر توجه به نکات زیر ضروری است:

الف- از آنجا که تصاویر با وضوح کافی، حداقل 256×256 پیکسل در نظر گرفته می‌شوند، محاسبه تابع همبستگی بسیار پیچیده بوده و احتیاج به زمان طولانی و حافظه زیادی دارد.

ب- برای داشتن دقت کافی بهتر است تغییرات θ به اندازه کافی کوچک باشد، که در این صورت تعداد $C_{i\theta}$ و $U_{i\theta}$ ها افزایش می‌یابد که $U_{i\theta}$ ها لازم است در بانک اطلاعاتی ذخیره شوند که احتیاج به حافظه زیادی است.

ج- هر تابع همبستگی $C_{i\theta}$ ، دارای ابعاد 512×512 است. لذا با توجه به موارد ذکر شده استفاده از این روش منجر به حجم محاسباتی بزرگ و زمان عملیاتی طولانی شده و حجم حافظه زیادی را اشتغال می‌کند. از آنجا که محاسبه تابع همبستگی متقابل بسیار پیچیده است. لذا، سه روش مختلف محاسبه غیر مستقیم ارائه شده است، که در هر حال پیچیدگی آنان، در ازای هر زاویه چرخش از درجه $O(2N^2(\log(N)+1))$ است (تصویر $N \times N$ در نظر گرفته می‌شود) [۳].

۲-۱- روش پیشنهادی

در مطالعه حاضر روش ساده تری برای تعیین میزان چرخش به کار گرفته شده است. اساس الگوریتم پیشنهادی بر مبنای تبدیل رادان^۱ است. تبدیل فوق براساس شکل (۱) و معادله (۴) تعریف می‌شود [۴].

$$\mathfrak{R}_\theta\{f(x, y)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - s) dx dy \quad (4)$$

$$-\infty < s < \infty, 0 \leq \theta < \pi$$

که $\mathfrak{R}_\theta\{o\}$ نماد تابع تبدیل رادان و $f(x, y)$ ، نماد تصویر به صورت پیوسته نسبت به محورهای افقی x و عمودی y است.

بدیهی است که در تمامی موارد ذکر شده فرض بر بروز خطاهای جزئی است. زیرا که خطاهای بزرگ بدون نیاز به پردازش رایانه ای توسط اپراتور قابل تشخیص بوده و این چنین جسمی به طور اتوماتیک از ردیف کار خارج خواهد شد. در مقاله حاضر پس از بررسی روشهای موجود در تعیین مقدار دوران، روش پیشنهادی توضیح داده خواهد شد و سپس، نتایج شبیه سازی رایانه ای ارائه می‌شود.

۲- تشخیص دوران اجسام سه بعدی در تصاویر

در تشخیص میزان دوران یک جسم سه بعدی در هنگام تصویر برداری، بی تردید متداولترین روش در این خصوص توسط، شاپیرو و همکاران ارائه شده است [۳]. مولفین مرجع [۳] در صدد تشخیص میزان دوران دو تصویری برآمدند که در یکی از آنان حرف M به صورت عادی در یک کادر قرار گرفته و در تصویر دیگر، حرف M دوران یافته است. روش کار استفاده از تابع همبستگی متقابل بین تصویر استاندارد و دوران یافته‌های آن با گام‌های θ° است. جزییات روش پیشنهادی به صورت زیر است:

U_0 تصویر استاندارد و $U_{i\theta}$ تصویر استاندارد دوران یافته به اندازه $i\theta^\circ$ در نظر گرفته می‌شوند، در این صورت:

i- توابع همبستگی متقابل تصاویر استاندارد دوران یافته با تصویر نمونه مورد آزمایش طبق معادله (۱) به دست می‌آیند:

$$C_{i\theta} = \text{Corr}(U_{i\theta}, f) \quad (1)$$

Corr و f به ترتیب تابع همبستگی متقابل^۰ و تصویر تهیه شده از نمونه مورد آزمایش با دوران ناشناخته است.

ii- تابع خود همبستگی^۱ U_0 محاسبه می‌شود.

$$r = \text{AutoCorr}(U_0) \quad (2)$$

که AutoCorr تابع خود همبستگی است.

iii- مقدار ماکزیمم r محاسبه شده و با مقادیر ماکزیمم ماتریس‌های $C_{i\theta}$ مقایسه می‌شود.

$$m_i = \max(C_{i\theta}) \quad (3)$$

iv- مقدار $\min(|m_i - \max(r)|)$ محاسبه شده و $i\theta$ به

لذا حجم حافظه لازم که می توان آن را از قبل^۸ محاسبه کرد. $(1 \times 367)(2m+1)$ است. برای انجام مقایسه خاطر نشان می سازد که در روش قبل $(2m+1)$ تصویر دوران یافته در بانک اطلاعاتی ذخیره می شود، یعنی حجم حافظه لازم $(256 \times 256)(2m+1)$ است.

ب- تبدیل رادن از تصویر جسم نمونه در زاویه صفر درجه محاسبه می شود که $g(s,0)$ نامیده می شود

ج- از آنجا که ممکن است جسم دوران یافته از نظر موقعیت مکانی در تصویر نمونه، دقیقاً منطبق با تصویر استاندارد نباشد، برای مقایسه، مناسبتر است تا از الگوریتمی که به تغییرات مکانی حساس نباشد، استفاده کرد. بدین منظور از تبدیل فوریه یک بعدی استفاده شد که دامنه آن نسبت به تغییر مکان حساس نیست.

$$F_{Ri\Delta\theta} = |F\{R(s, i\Delta\theta)\}| \quad -m \leq i \leq m \quad (7)$$

$$F_g = |F\{g(s,0)\}|$$

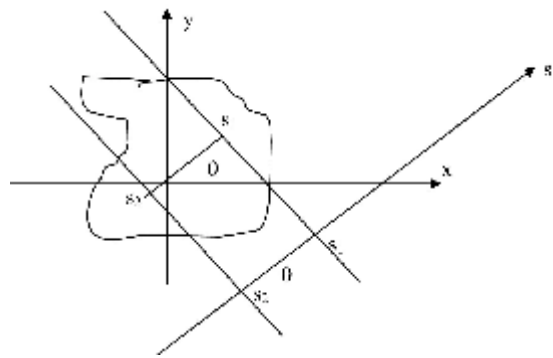
که $F\{o\}$ نماد تبدیل فوریه است و F_g و $F_{Ri\Delta\theta}$ به ترتیب دامنه فوریه $R(s, i\theta)$ و $g(s,0)$ هستند.

د- در مرحله آخر، تبدیل فوریه $i\theta$ ام که کمترین مقدار اختلاف با تبدیل فوریه RT نمونه مورد آزمایش را داراست، انتخاب می شود. در این صورت $i\Delta\theta$ به عنوان زاویه دوران مشخص می شود.

$$e(i) = \sum_{j=1}^{256} |F_{Ri\Delta\theta}(j) - F_g(j)| \quad (8)$$

محل وقوع حداقل منحنی $e(i)$ نشانگر زاویه دوران است.

در الگوریتم پیشنهادی برای محاسبه پیچیدگی به ازای هر زاویه چرخش، ضروری است تا حجم محاسبات لازم برای محاسبه تبدیل رادن و تبدیل فوریه مربوط به آن و همچنین اختلاف مربوط به معادله (۸) محاسبه شود. محاسبه تبدیل رادن از مرتبه $(N+N^2)$ و محاسبه تبدیل فوریه آن از مرتبه $(N \log(N))$ است. برای محاسبه خطا به N تفریق نیاز است. در مجموع میزان محاسبات از مرتبه $(N(\log N + 2 + N))$ خواهد بود. در نتیجه پیچیدگی روش پیشنهادی با توجه به بزرگ بودن مقدار N تقریباً N برابر کمتر از روشهای قبل است. لازم به ذکر



شکل ۱- چگونگی محاسبه تبدیل رادن از یک تصویر دوبعدی آنالوگ

در واقع تبدیل رادن، جمع مقادیر نقاط یک تصویر در امتداد خطوطی موازی، عمود بر محوری است که با محور افقی زاویه θ می سازد.

تابع تبدیل رادن را می توان برای تصاویر دیجیتال نیز تعریف کرد [۵]. در کار پژوهش فعلی برای محاسبه تبدیل رادن به ازای زاویه θ ، از نرم افزار متلب^۹ استفاده شده است که تبدیل رادن یک تصویر 256×256 گسسته به صورت یک بردار 367×1 در نظر گرفته می شود. برای هم اندازه کردن تمامی تبدیلهای رادن، اندازه ماکزیمم بردار آن که متعلق به زاویه 45 درجه است، در نظر گرفته شده است. در حالت تصویر گسسته از معادله (۵) می توان استفاده کرد:

$$\mathfrak{R}_\theta\{f(n_1, n_2)\} = g(s, \theta) = \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} f(n_1 + s, n_2) \delta(n_1 - n_2 \tan \theta)$$

$$\delta(n_1 - n_2) = \begin{cases} 1 & n_1 = n_2 \\ 0 & n_1 \neq n_2 \end{cases} \quad (5)$$

الگوریتم مورد استفاده به شرح زیر است:

الف- تبدیل رادن تصویر جسم استاندارد از زاویه $m\Delta\theta$ تا زاویه $-m\Delta\theta$ محاسبه شده و به صورت یک بانک اطلاعاتی ذخیره می شود که در آن $\Delta\theta$ ، میزان تغییرات دو زاویه متوالی برای محاسبه تبدیل رادن است.

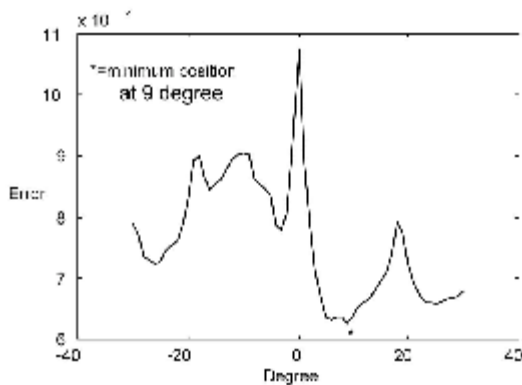
$$R(s, i\Delta\theta) = \mathfrak{R}_{i\Delta\theta}\{U_0\}, \quad -m \leq i \leq m \quad (6)$$



الف - تصویر استاندارد مصنوعی



ب- تصویر استاندارد با دوران ۱۰ درجه



ج- منحنی خطا برای شکل‌های الف و ب

شکل ۲

پردازش، زمان بیشتری می‌گیرند).

ه- در صورت رعایت نکات ذکر شده در انتها از روش آشکار سازی لبه Canny با در نظر گرفتن یک سطح آستانه برای تهیه

است که در صورت استفاده از تصاویر باینری، محاسبه RT تنها به شمارش پیکسل‌های دارای مقدار یک محدود می‌شود

۲-۲- شبیه‌سازی رایانه‌ای

برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی در قسمت اول از دو نوع تصویر استفاده شد در تصویر اول از حرف M استفاده شد که مشابه روش به کار گرفته در مرجع [۳] به عنوان یک تصویر مصنوعی انتخاب شد. شکل (۲) تصویر اصلی و تصویر نمونه مورد آزمایش با دوران ۱۰ درجه را نشان می‌دهد. منحنی خطای تبدیلیهای فوریه (e) بر حسب زاویه در شکل (۲-۲) رسم شده است که مقدار حداقل را برای ۹ درجه نشان می‌دهد. شکل (۳-الف) نشانگر تصویر دوران یافته همراه با تغییر مکان و خطا است که منحنی خطا در شکل (۳-ب) نشان داده شده است و نشانگر زاویه دوران یافته به اندازه ۲۱ درجه است.

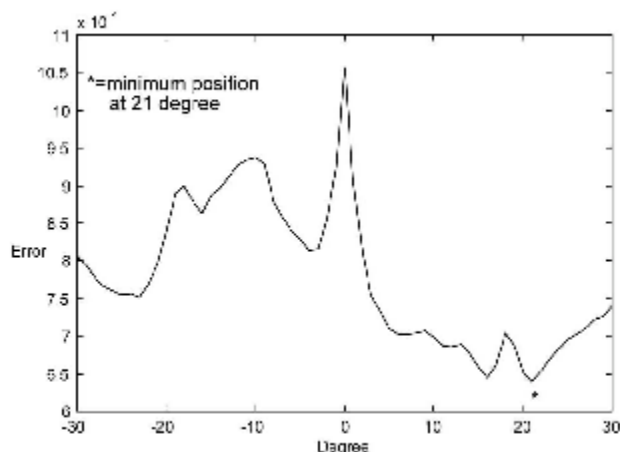
تصویر دومی که مورد آزمایش قرار گرفت، تصویر یک جسم سه بعدی نامتقارن بود. جسم مزبور یک قطعه صنعتی به کار رفته در ساخت کنتور است که به دلیل عدم تقارن و نداشتن یک نقطه ایستگاهی برای سکون از پیچیدگی خاصی برخوردار بود. به علاوه در این گونه اجسام از آنجا که به دلیل ایجاد سایه مقدار روشنایی سطوح جسم در تصویر یکسان نیست لذا لازم است تا از نقشه‌ها لبه‌ها استفاده شود. بدیهی است در این صورت می‌توان از یک تصویر باینری استفاده کرد. برای تهیه نقشه لبه، ضروری است تا تصویری مناسب با حداقل نویز و حداکثر وضوح فراهم شود. برای تامین این خواسته توجه به نکات زیر ضروری است.

الف- زاویه دید دوربین نسبت به جسم مورد نظر.

ب- نحوه تابش نور به جسم که می‌تواند سبب تشکیل و یا عدم تشکیل سایه شود.

ج- رنگ صفحه زمینه^{۱۰} که جسم بر روی آن قرار گرفته است و ضروری است تا متناسب با رنگ جسم انتخاب شود.

د- ابعاد تصویر گرفته شده (تصاویر با ابعاد بزرگتر از نظر پیکسل و ظاهر فیزیکی دارای دقت بیشتری‌اند. ولی از نظر



ب- منحنی خطا برای شکل الف



الف - تصویر نمونه همراه با خطا و تغییر مکان

شکل ۳-

۳- تشخیص دوران در تصویر برداری از اجسام دو

بعدی (اسناد چند زبانه)

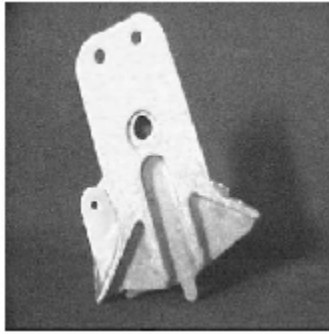
در هنگام ارسال اسناد توسط نمابر یا هنگام عکس برداری از یک سند و یا در هنگام استفاده از پویشگر^{۱۱}، امکان چرخش تصویر وجود دارد. در صورت خواندن سند توسط رایانه یا ماشین هوشمند، چرخش سند، می تواند سبب بروز مشکل شود. در این صورت لازم است تا میزان چرخش تعیین و تصویر اصلاح شود. برای تحقق این خواسته، روشهای مختلفی با پیچیدگیهای محاسباتی متفاوت و غالباً زیاد به کارگرفته شده‌اند [۶-۱۳].

به علاوه در تمامی روشهای پیشنهادی نوع وسیله ای که با آن تصویر تهیه شده است حائز اهمیت است [۱۴ و ۱۵]. همچنین الگوریتمهای ارائه شده صرفاً برای یک رسم الخط خاص، مانند رسم الخط لاتین [۱۶] و با توجه به شکل کلمات، محاسبه آمار کلمات، طول خطوط افقی، تقاطع خطوط با یکدیگر و ... طراحی شده‌اند که زمان و حجم محاسباتی را بسیار زیاد می‌کنند. برای استفاده از تبدیل Hough نیز باید محدوده متن و بعضی نقاط به عنوان نقاط خاص از متن یا تصویر مشخص شود و سپس پردازش صورت گیرد [۱۷]. در

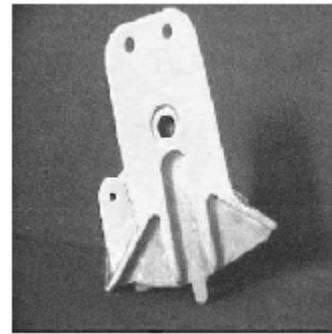
تصویر باینری لبه‌ها استفاده می‌شود.

شکل (۴ الف و ب) تصویر اصلی جسم استاندارد و تصویر این جسم با دوران ۴° را نشان می‌دهد. در شکل (۴-ج و د) به ترتیب نقشه‌های لبه‌های جسم استاندارد و جسم با دوران ۴ درجه قرار دارند و منحنی خطا که نشانگر وجود حداقل خطا در ۴ درجه‌اند، در شکل (۴-ه) نشان داده شده است. شکل (۵-الف) تصویر نمونه ای که ساخت آن کامل نشده است (روزنه میانی آن ساخته نشده است) و در ضمن دارای چرخش (۵-ب) درجه است را نشان می‌دهد. منحنی خطای آن در شکل (۵-ب) نشانگر تشخیص زاویه دوران صحیح است.

لازم به ذکر است که در صورت داشتن نقشه لبه‌ها، می‌توان از Hough Transform نیز استفاده کرد. در این صورت ضروری است تا در ابتدا، چند مسیر شاخص در تصویر اصلی مشخص شود و عمل پردازش بر روی این قسمتهای خاص صورت گیرد که در اجسام نامتقارن که تمام قسمتهای آنان مهم‌اند (مانند نمونه موجود) این عمل امکانپذیر نیست.



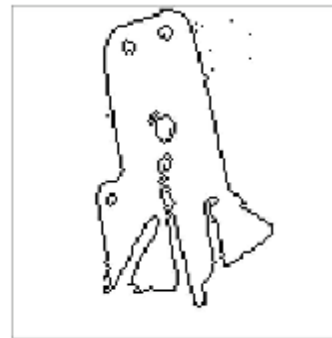
ب- تصویر جسم استاندارد پس از دوران ۴ درجه



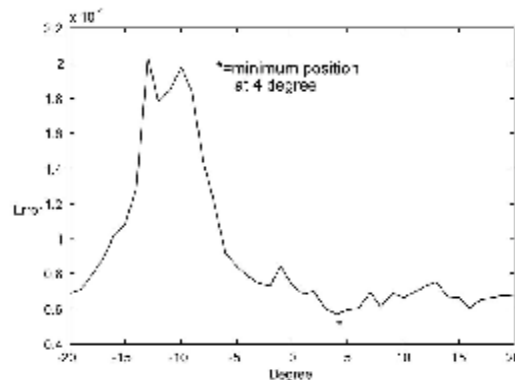
الف - تصویر جسم استاندارد



د- نقشه لبه از شکل ب



ج - نقشه لبه از شکل الف



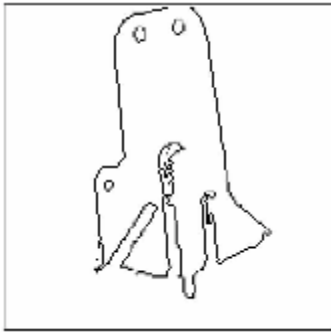
ه- منحنی خطا برای شکلهای ج و د

شکل ۴-

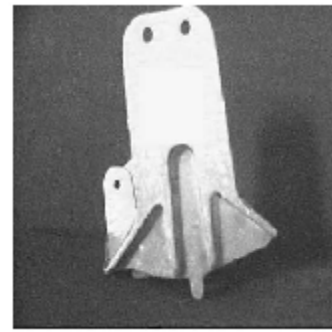
شد. در شرایط ایدئال که از نور یکنواخت در تصویر برداری استفاده شود، ماکزیممها با فواصل یکسان (برابر فاصله خطوط در صفحه) ظاهر می‌شوند. همچنین در راستای خطوط نوشته شده متن نیز مقادیر مینیمم ایجاد می‌شوند. نکته فوق با در نظر گرفتن شکل (۸) که یک متن مصنوعی، متنی که فقط شامل خطوط مستقیم است، مشخص می‌شوند.

موارد مذکور در صورتی قابل شناسایی‌اند که تمام متن نوشته شده کاملاً یکسان باشد ولی در متون واقعی، کلمات مختلف با

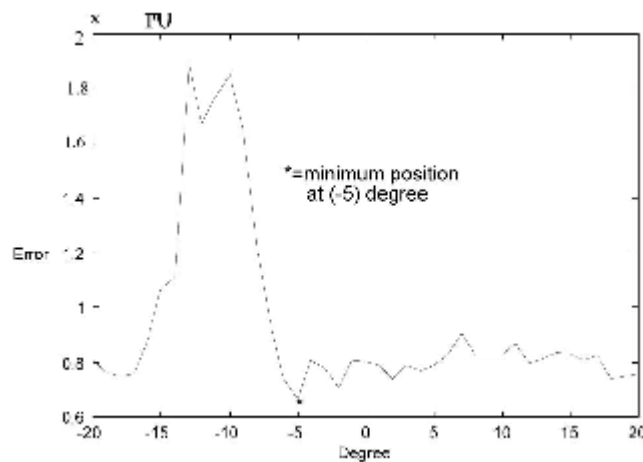
این کار تحقیقاتی، از تبدیل رادن استفاده شده است. با توجه به طبیعت هر رسم الخطی، در صورتی که تبدیل رادن در امتداد خطوط محاسبه شود، از آنجا که قسمت سفید صفحه که در فاصله بین خطوط متن قرار دارند، در روی راستایی که تبدیل رادن محاسبه می‌شود، قرار می‌گیرد، مقادیر ماکزیمم دیده خواهند شد. در صورتی که سند در جهت صحیح قرار داشته باشد. مقادیر ماکزیمم در تبدیل رادن در جهت ۹۰ درجه و در غیر این صورت در تحت زاویه چرخش یافته، مشاهده خواهند



ب- نقشه لبه از تصویر الف



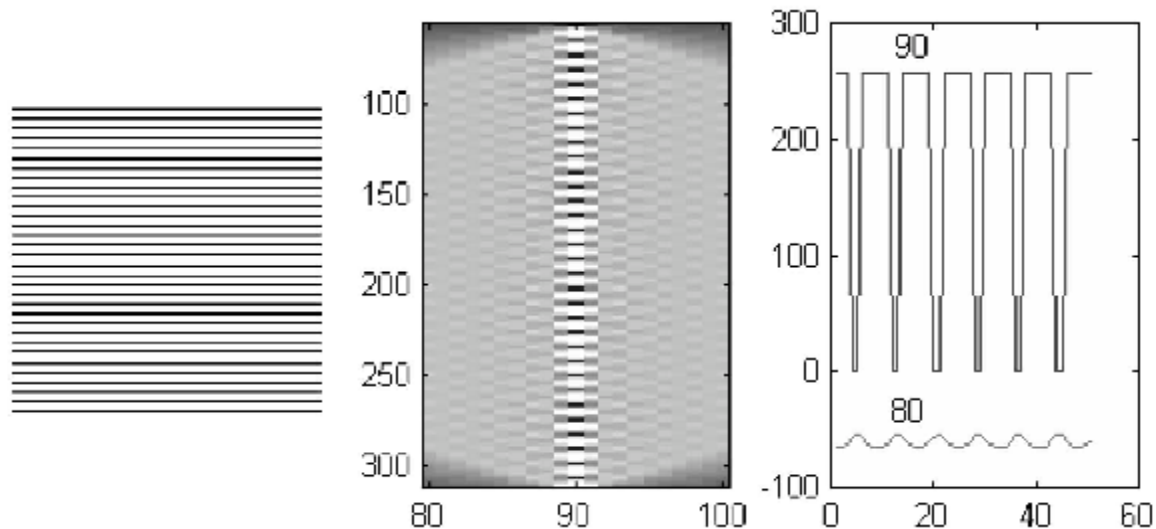
الف - تصویر جسم نمونه با دوران (-5) درجه و با خطا



ج- منحنی خطا بین شکل ۲-ج و ۵-ب
شکل ۵-

است که سبب اختلال در نظم شکل تبدیل رادن‌ها خواهد شد. در نتیجه مقادیر مختلف تبدیل رادن، تغییرات فراوانی خواهند داشت و به صورت یک تابع پریدیک کامل (مشابه شکل ۶-ج) نخواهد بود. در هر حال توجه بیشتر به نحوه تغییرات نشان می‌دهد که نوسانات نسبتاً مرتبی در تبدیل رادنی که در امتداد خطوط گرفته شده است نسبت به تبدیل رادن در زوایای دیگر موجود است. در شکل‌های (۷) تا (۹)، تصاویر گرفته شده توسط دوربین از یک متن فارسی، یک متن لاتین و یک قسمت از روزنامه نشان داده شده‌اند. این تصاویر شامل یک متن به تنهایی، متن و منحنی و متن و یک طرح کاریکاتور است، تا حالت‌های عام از متن‌های ممکن را شامل شوند. همانطور که مشخص است عدم نایکنواختی نور به همراه صاف نبودن

شکل‌های مختلفی به کار می‌روند که نایکنواختی در تبدیل رادن را سبب خواهند شد. با وجود نایکنواختی، در صورتی که در امتداد خطوط، تبدیل رادن گرفته شود، در محل فاصله خطوط متن، که به صورت روشن در صفحه متن قرار دارند، مقدار روشنایی پیکسل‌ها نزدیک ماکزیمم بوده و در نتیجه در تبدیل رادن از جمع این مقادیر، ماکزیمم نتیجه می‌شوند. به همین ترتیب، در راستای خطوط نوشته شده متن، مقادیر پیکسل‌ها با روشنایی کم قرار داشته و بنا به کلمات به کار رفته مقادیر مختلف ولی در اندازه‌های کوچکتر، در شکل تبدیل رادن به وجود می‌آیند. همچنین وجود نواحی فاقد نوشته در میان هر دو پاراگراف متن، سبب ایجاد نایکنواختیهای بسیار خواهد شد. مشکل دیگر، وجود منحنی، یا شکل‌های مختلف دیگر در متن



شکل ۶- الف- تصویری از یک حالت ایدئال از یک صفحه با خطوط تنها، ب- مقادیر تبدیل رادان در زوایای 80° تا 90° درجه به صورت تصویر ج- تبدیل رادان در 80° و 90° درجه که برای مشخص شدن اختلاف آنان $g_{80}(s)$ -250 رسم شده است

است که با توجه، به معادله (۶) می توان معادله جدیدی به دست آورد که در معادله (۱۰) نشان داده شده است.

$$DR_\theta(s) = |g_\theta(s) - g_\theta(s-d)|$$

$$\sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} [f(n_1+s, n_2) - f(n_1+s-d, n_2)] \delta(n_1 - n_2 \tan \theta)$$

$$\delta(n_1 - n_2) = \begin{cases} 1 & n_1 = n_2 \\ 0 & n_1 \neq n_2 \end{cases}$$

(۱۰)

لذا با توجه به موارد ذکر شده مراحل الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر خواهند بود:

الف-تصویر

$$U_d(n_1, n_2) = |f(n_1, n_2) - f(n_1 - d, n_2)|$$

(۱۱)

ساخته می شود. با توجه به پهنای خطوط در متن، مقدار $d=3$ جواب بهتری نسبت به مقادیر $d=1$ و $d=2$ خواهد داشت. افزایش زیاد d سبب یکسان شدن تمام مشخصات تصویر $U_d(n_1, n_2)$ می شود. حجم محاسبات در این مرحله برابر $(N \times (N-d))$ عمل جمع خواهد بود که با توجه به کوچکی d در مقایسه با N می توان از آن صرف نظر کرد و حجم محاسبات را برابر N^2 جمع در نظر گرفت.

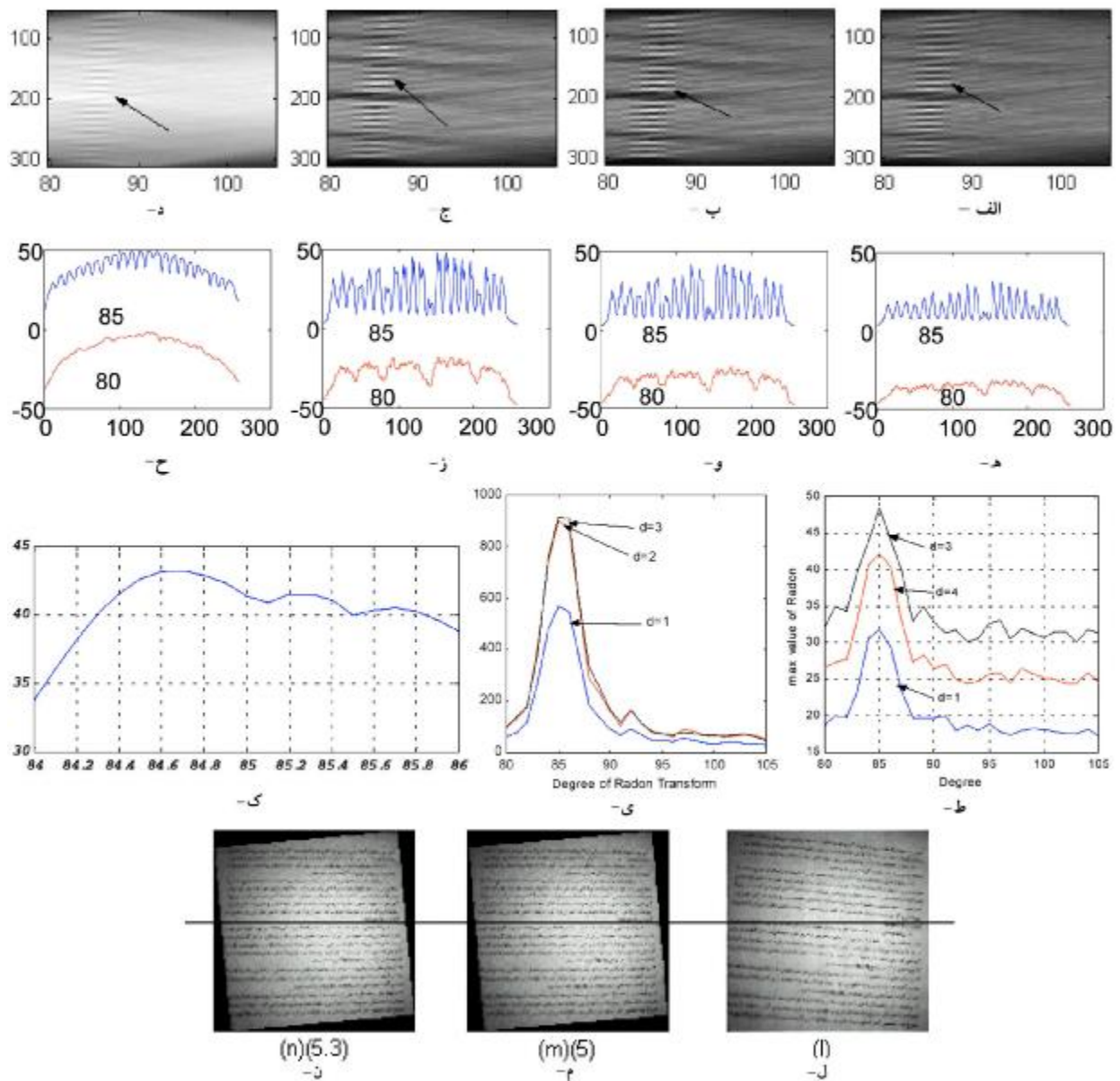
صفحات، حالتی غیر ایدئال را به وجود آورده اند و در واقع چروک بودن صفحات به خصوص در تصویر گرفته شده از روزنامه گویای حالتی غیر ایدئالند. متقابلاً تصاویر گرفته شده از پوشگر، می تواند نشانگر حالت ایدئال از نظر یکنواختی نور و صاف بودن صفحه باشد. تصاویر گرفته شده توسط پوشگر در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در این نمونه ها، تبدیل رادان در امتداد خطوط متن، دارای مینیممهای محلی و در فاصله بین خطوط متن پالسهایی با اندازه ماکزیمم و به پهنای فاصله بین خطوط ایجاد می کند.

به علت تغییرات سریع تبدیل رادان در راستای خطوط متن نسبت به سایر جهات (همان طور که در شکلها نیز مشخص است). مقادیر مشتق تبدیل رادان در راستای خطوط متن دارای مقادیر بزرگتری خواهند بود. از آنجا که تبدیل رادان به صورت یک تابع گسسته است، لازم است از تقریب گسسته برای تخمین مشتق استفاده شود، که بطور نمونه یکی از تقریبهای آن در معادله (۹) نشان داده شده است.

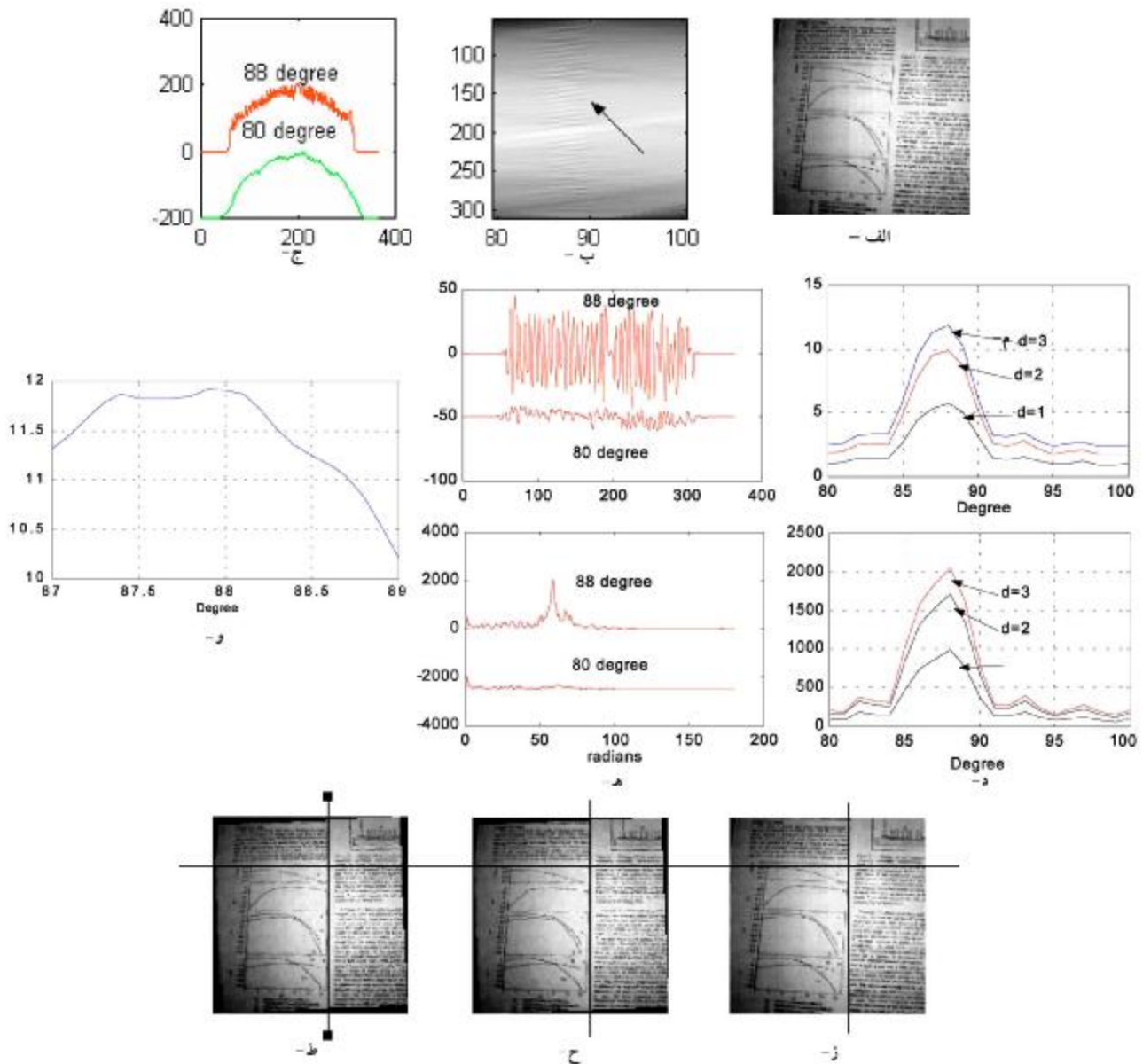
$$D_{\theta d}(s) = |g_\theta(s) - g_\theta(s-d)| \quad d=1,2,3$$

(۹)

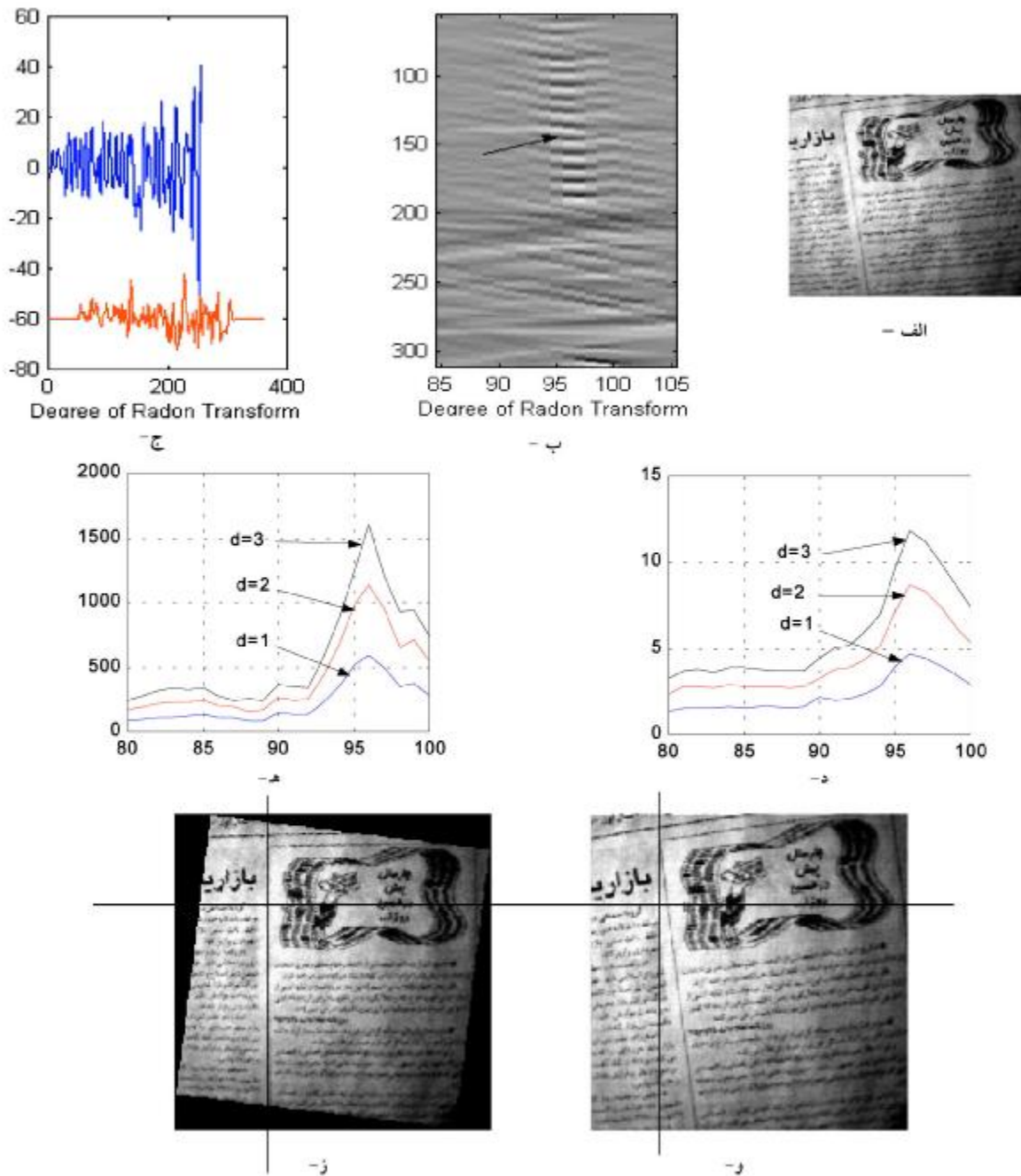
این تقریب به ازای $d=1,2,3$ می تواند انجام گیرد. به طور مشخص در تبدیل رادان در جهت امتداد خطوط متن، نسبت به دیگر زوایا، مقادیر مشتق از اندازه بزرگتری برخوردار



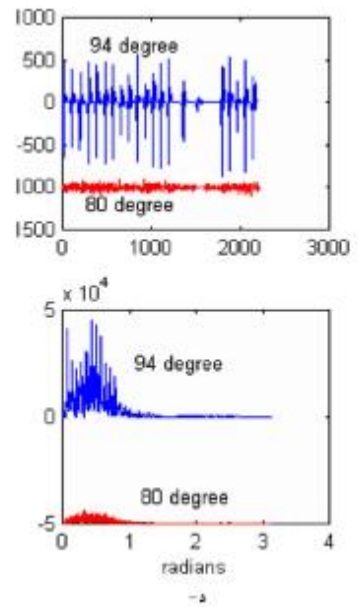
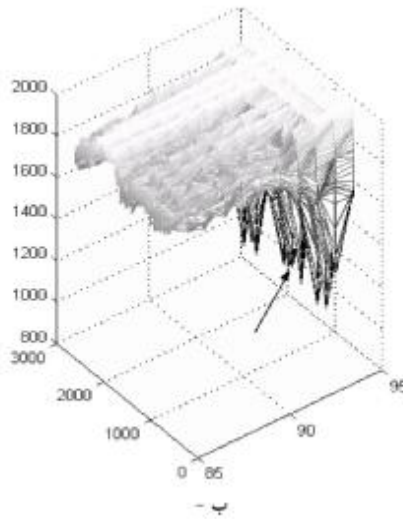
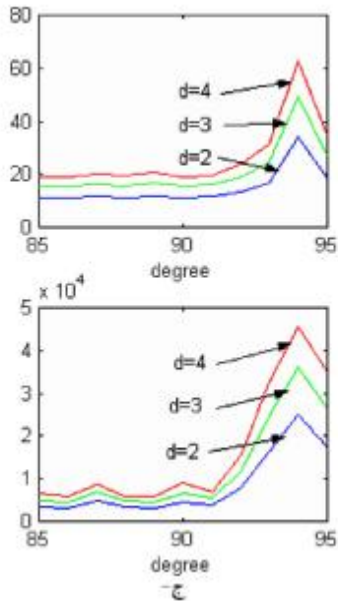
شکل ۷- الف- تصویر رادن مربوط به اختلاف ۱، R_1 ، ب- تصویر رادن مربوط به اختلاف ۲، R_2 ، ج- تصویر رادن مربوط به اختلاف ۳، R_3 ، د- تصویر رادن مربوط به تصویر اصلی، ه- تبدیل رادن مربوط به 85° و 80° از شکل الف، و- تبدیل رادن مربوط به 85° و 80° از شکل ب، ز- تبدیل رادن مربوط به 85° و 80° از شکل ج، ح- تبدیل رادن مربوط به 85° و 80° از تصویر اصلی، ط- مقادیر ماکزیمم تبدیل رادن در زوایای 80° تا 85° از تصویرهای u با $d = 1$ و 2 و 3 ، ی- مقادیر ماکزیمم اندازه تبدیل فوریه نگاشتهای از تصویرهای u با $d = 1$ و 2 و 3 ، ک- تبدیل رادن در زوایای 84° تا 86° با گامهای 0.1 درجه، ل- تصویر اصلی گرفته شده توسط دوربین، م- تصویر دوران یافته به اندازه 5° ، ن- تصویر دوران یافته به اندازه $5/3^\circ$ (خطوط عمودی جهت مقایسه رسم شده‌اند).



شکل ۸- الف- عکس گرفته شده توسط دوربین، ب- تبدیلات رادن در زوایای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه، ج- (بالا) تبدیل رادن در تحت ۸۸ درجه (پایین) تبدیل رادن در تحت ۸۰ درجه (رنج مقادیر به اندازه ۲۰۰ کمتر گشته شده است تا وجود تغییرات مشخص شود)، د- (بالا) متوسط مقادیر قدر مطلق تبدیل رادن در زوایای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه از u_1 ، u_2 و u_3 (پایین) متوسط ماکزیمم اندازه تبدیل فوریه تبدیل رادن در زوایای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه از u_1 ، u_2 و u_3 . ه- (بالا) تبدیل رادن ۸۸ و ۸۰ درجه از u_3 (پایین) اندازه تبدیل فوریه دو تبدیل رادن فوق (مقادیر در گستره‌های متفاوت برای مقایسه بهتر رسم شده‌اند)، و- متوسط مقادیر قدر مطلق تبدیل رادن در زوایای ۸۷ تا ۸۹ درجه با گامهای ۰/۱ درجه از u_3 ، ماکزیمم در ۸۷/۹ درجه اتفاق می‌افتد، ز- تصویر گرفته شده توسط دوربین، ح- تصویر دوران یافته به اندازه ۲ (+) درجه، ط- تصویر دوران یافته به اندازه ۲/۱ درجه (خطوط عمودی برای مقایسه رسم شده‌اند).



شکل ۹- الف- عکس گرفته شده از روزنامه توسط دوربین، ب- تبدیلات رادن در زوایای ۸۵ تا ۱۰۵ درجه از تصویر u_3 ، ج- (بالا) ستون مربوط به تبدیل رادن در تحت ۹۹ درجه از شکل ب و (پایین) ستون مربوط به تبدیل رادن در تحت ۸۵ درجه از شکل ب (گستره مقادیر به اندازه ۶۰ کمتر شده است تا وجود تغییرات مشخص شود)، د- متوسط مقادیر قدر مطلق تبدیل رادن در زوایای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه از u_1 ، u_2 و u_3 ، ه- مقادیر ماکزیمم تبدیل فوریه از تبدیل رادنهاي u_1 ، u_2 و u_3 ، مقادیر ماکزیمم در هر دو شکل در ۹۷ درجه دیده می شود، و- تصویر گرفته شده توسط دوربین، ز- تصویر دوران یافته به اندازه (۷-) درجه (خطوط عمودی برای مقایسه رسم شده اند).



شکل ۱۰- الف - تصویر ایجاد شده توسط پوشگر، ب- تبدیل رادن در زوایای ۸۵ تا ۹۵ درجه که به صورت سه بعدی رسم شده است. (تغییرات شدید در تبدیل رادن زاویه انحراف با فلش نشان داده شده است)، ج - (بالا) مقادیر متوسط تبدیل رادن از u_2 ، u_3 و u_4 ، (پایین) مقادیر ماکزیمم اندازه تبدیل رادن u_2 ، u_3 و u_4 ، د - (بالا) تبدیل رادن در زاویه ۹۴ و ۸۵ درجه ، (پایین) اندازه تبدیل فوریه مقادیر تبدیل رادناهای فوق (برای مقایسه در دو مقدار متفاوت رسم شده‌اند). ه - تصویر پوشش شده با انحراف، و- تصویر دروان یافته به اندازه ۶- درجه

محاسبات با توجه به تهیه حداکثر ۳۶۷ نمونه تبدیل رادن در هر زاویه، $20 \times (367 \times N)$ خواهد بود.
ج-مقادیر ماکزیمم هر ستون ماتریسی R_h که مربوط به تبدیل رادن در یک زاویه است. تعیین شده و در بردار MAX ذخیره

ب-با توجه به آنکه انحرافهای بزرگ در چرخش توسط چشم قابل تشخیص و جبران‌اند. لذا تبدیل رادن از تصویر R_h در زوایای 80° تا 100° گرفته می‌شود و به صورت ستونی در ماتریسی به نام R_h به اندازه 20×367 قرار می‌گیرد. حجم

مطابقت می‌کند. تصاویر اصلی به همراه تصاویر دوران یافته آنان به اندازه زاویه انحراف محاسبه شده با خطوط عمودی و افقی برای مقایسه کردن تصاویر در هر حالت رسم شده (برای دوران تصاویر از نرم افزار متلب استفاده شده است).
دقت الگوریتم تا $0/1$ درجه می‌باشد که بعد از محاسبه زاویه انحراف با استفاده از مرحله ۴ الگوریتم انجام می‌گیرد. انحرافهای کمتر از یک درجه با چشم قابل تشخیص نیستند.

۴- نتیجه گیری

روشی برای تطبیق تصاویر اجسام سه بعدی و دو بعدی بر مبنای استفاده از تبدیل رادن معرفی شده است. روش حاضر برای تطبیق تصاویر اجسام سه بعدی، در مقایسه با روشهای ارائه شده قبلی دارای حجم محاسباتی و حافظه بسیار کمتری است. به طوری که درجه پیچیدگی آن برای تصویر با ابعاد $N \times N$ به اندازه $2N$ برابر کمتر از است. یکی از مزایای مهم روش پیشنهادی عملکرد مطلوب آن به هنگام تغییر مکان جسم در کادر تصویر و بروز خطا در ساخت نمونه‌های مشابه است. در تشخیص کجی اسناد که می‌توانند بدون محدودیت در رسم الخط به کار رفته بررسی شوند. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی می‌توان به سادگی میزان کجی را تا $0/1$ درجه نشان داد. الگوریتم ارائه شده می‌تواند برای تمام تصاویر تهیه شده به روشهای مختلف اعم از دوربین نامبر یا پوششگر به کار رود. به علاوه روش پیشنهادی قابل تعمیم به متنهای مکتوب همراه با عکس و منحنی به صورت تایپ شده و دستنویس است. لازم به ذکر است که امکان پیاده سازی سخت افزاری الگوریتم به صورت پردازش موازی برای محاسبه تبدیل رادن از زوایای مختلف نیز می‌تواند به عنوان یک مزیت مهم از روش جدید در نظر گرفته شود.

می‌شود ماکزیمم عناصر بردار MAX مربوط به زاویه انحراف خواهد بود. باید توجه داشت که مقدار مذکور مربوط به تبدیل رادن تصویر U_h است که بنابر معادلات (۱۰) و (۱۱) معادل مشتق تبدیل رادن تصویر اصلی f است. در این قسمت می‌توان از متوسط هر ستون از ماتریس R_h نیز کمک گرفت و در بردار MEAN قرار داد که با توجه به بزرگ بودن دامنه تغییرات مقدار ماکزیمم بردار MEAN در زاویه انحراف مشاهده خواهد شد که مطابق با ماکزیمم یافته شده بردار MAX خواهد بود. زاویه انحراف را k می‌نامیم.

د- برای افزایش دقت می‌توان بار دیگر مراحل ۲ و ۳ را برای زوایای $(K-1) : 0.1 : (K+1)$ تکرار کرد.

با استفاده از تبدیل فوریه برای هر ستون از ماتریس R_h نیز می‌توان به زاویه انحراف دسترسی یافت ولی منجر به افزایش حجم محاسبات می‌شود و صرفاً تاییدی بر مناسب بودن روش پیشنهادی خواهد بود. تبدیل فوریه هر ستون از ماتریس R_h محاسبه شده که به دلیل میزان تغییرات شدیدتر در ستون مربوط به زاویه انحراف مقادیر ماکزیمم اندازه تبدیل فوریه در آن اتفاق می‌افتد.

۳-۱- شبیه سازی رایانه‌ای

برای شبیه سازی چند تصویر از اسناد مختلف فارسی و انگلیسی توسط دوربین و در حالت‌های غیر ایدئال از حیث نحوه روشنایی جسم تهیه شدند. در شکل‌های (۷) تا (۹) تصاویر گرفته شده توسط دوربین نشان داده شده‌اند. در هر شکل مقادیر انگاشت در زوایای مختلف در حوالی 90 درجه به صورت تصویر دیده می‌شود که در زوایای دور از زاویه انحراف هموار بوده و در زاویه انحراف تغییرات روشنایی به طور سریع اتفاق می‌افتد (در تصاویر با فلش مشخص شده‌اند). مقادیر متوسط از هر نگاشت از مشتق تصویر با مقادیر اختلاف متفاوت رسم شده‌اند که با مقادیر ماکزیمم از تبدیل فوریه آنان

- | | | |
|--------------------|----------------------|----------------|
| 1. robot vision | 5. cross correlation | 9. edge map |
| 2. matching | 6. auto correlation | 10. background |
| 3. Radon Transform | 7. Matlab software | 11. scanner |
| 4. target standard | 8. of-line | |

مراجع

- Young, S. S., Scott, P. D. and Nasrabadi, N. M, "Object Recognition Using Multilayer Hopfield Neural Network," IEEE Trans. On Image Processing, Vol .6, No.3, pp. 357-371, March 1997.
 - DiMauro, E. C., Cootes, T.F., Page, G. J., and Jackson. C. B., "Check! A Generic and Specific Industrial Inspection Tool," IEE Proc. Visual Image, and Signal Processing, Vol. 143, No.4, pp. 241-249, August 1996.
 - Shapiro, V. A., "On the Reconstruction Matching of Multidimensional Objects," IEEE Trans, on Image Processing, Vol,5, No.4, pp. 663-661, April 1996.
 - Jain, A.K., *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.
 - Beylkin, G., "Discrete Radon Transform," IEEE Trans. On Acoustics and Speech and Signal Processing, Vol . Assp.3, pp. 162-172, Feb.1987.
 - Baird, H.S., "The Skew Angle of printed Documents," Proc. Conf. Photographic Scientists and Engineers, SPIE, Bellingham, wa., pp. 14-21, 1987.
 - Hinds, S. C., Fisher, J. L, and Amato, D. P, "A Document Skew Detection Method Using Run-Length Encoding and the Hough Transform," 10. ICPR, Atlantic City, pp.464-468. 1990.
 - Yu, B., and Jain, A. K., "A Robust and Fast Skew Detection Algorithm for Generic Documents," Pattern Recognition, Vol.29, No.10, pp.1599-1629, 1996.
 - Yan, H., "Skew Correction of Document Images Using Interline Cross-Corrrelation," CVGIP Graphical Models and Image Processing, Vol.55, No.6, pp. 538-543, Nov.1993.
 - vanindra, A., and Chaudhuri, S., "Robust Detection of Skew in Document Images," IEEE Trans. On Image Processing, Vol.6, No.2, pp.344-349, Feb.1997.
 - Oleg, O., Pietikainen, M., and Sauvola, J., "Robust Skew Estimation on Low-Resolution Document Images," Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition, 1998.
 - Jain, A. K., and Yu, B., "Document Representation and Its Application to Page Decomposition," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, No. 3, March 1998.
 - Slavik, P., Govindaraju, V., Slavik, P., and Govindaraju, V., "Equivalence of Different Methods for slant and Skew Corrections in Word Recognition Applications," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.23, No.3, March 2001.
 - Chaudhuri, B., and Pal, U., "Skew Angle Detection of Digitized Indian Script Documents," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No.2, February 1997
 - Si, D., and Sun, C., "Skew and Slant Correction for Document Images Using Gradient Direction," Proceedings of the 4th International Conference Document Analysis and Recognition (ICDAR 97).
 - Chaudhuri, B. B., and Pal, U., "Skew Angle Detection of Digitized Indian Script Documents," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No. 2, February 1997.
۱۷. صفا بخش ر، خدیوی، تشخیص کجی اسناد چند زبانه با تبدیل هاف سلسله مراتبی، هشتمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات مخابرات، ص ۴۲۲-۴۵۰، اردیبهشت ۱۳۷۹