

روشی جدید مبتنی بر بافت برای تخمین زاویه صفحات مسطح

محمد رضا برزسفیده‌خون، کارشناس، قادر کریمیان، استادیار

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

چکیده: در این مقاله با استفاده از یک سری الگوهای تصویری یا بافت به تخمین زوایای صفحات موجود در محیط پرداخته شده است. تلاش در این مقاله معطوف به کاستن از وابستگی به الگو، ساده‌تر کردن فرآیند پردازش و در عین حال بهبود دقت در تخمین زوایای صفحه است. روش پیشنهادی از دو قسمت تشکیل شده است. در قسمت اول فرض بر این است که واحدهای سازنده بافت یا تکسل‌ها بر روی صفحات محیط به صورت سطری و ستونی وجود دارند. در این قسمت با نگرشی متفاوت با آنچه پیش از این در مورد مسئله تعیین شکل از روی بافت وجود داشت، با تعریف دو زاویه α و β و با معادلاتی ساده‌تر بردار نرمال صفحه تخمین زده شده است. از مزایای روش پیشنهادی آن است که اطلاعات دقیقی از هندسه تکسل‌ها مورد نیاز نمی‌باشد، بلکه تکراری بودن تکسل‌ها مورد نظر قرار گرفته‌اند. همچنین برای بهبود دقت، تکسل‌ها به صورت آرایه در نظر گرفته شده‌اند. در قسمت دوم با استفاده از فرضیات و نتایج قسمت اول، ایجاد بافت با پرتوهای لیزری پیشنهاد شده است. لازم به تاکید است که فرض سطری ستونی بودن تکسل‌ها در قسمت دوم به راحتی برآورده می‌شود چون تکسل‌ها توسط منابع نوری ایجاد می‌شوند که راستا و موقعیت آن‌ها قابل تنظیم است.

واژه‌های کلیدی: بافت، تخمین زاویه، صفحات مسطح، پرتو افکنی لیزر.

A New Method for Estimating Planar Surface Orientation from Texture

M. R. Borz Sefidehkhani and G. Karimian

Faculty of Electrical and Computer Eng., University of Tabriz

Abstract: This paper addresses the estimating of surface orientation using a set of texels. Reducing dependency to pattern, simplification of process procedure and improving accuracy are key points of the proposed method. Proposed method consists of two parts. In the first part, it is assumed that scene texels are located in rows and columns. In this part, a different approach from that used in previous shape from texture algorithms is used. Two new angles α and β are defined and thus more simple equations are obtained to estimate the normal vector of surface. The advantage of the proposed method is that the geometry of texels is not important and only repetitive property of texels is used. In addition, to improve the accuracy, texels considered as an array. In the second part, by using theory and results of the first part, laser pattern projection is proposed. It is necessary to emphasize that the assumptions of the first part, i.e. columnar and in row texels, are easily achievable because texels are projected by laser sources that are tunable in position and direction.

Keywords: Texture, Angle estimate, Planar surface, Laser projection.

۱- مقدمه

به‌طور معمول برای تخمین موقعیت و مسافت از دوربین‌های استریو استفاده می‌شود. دوربین‌های استریو عموماً گران قیمت هستند و نسبت به دوربین‌های معمولی کمتر در دسترس قرار دارند. همچنین محدودیت‌ها و خطاهای ناشی از تطابق ویژگی‌های متناظر و کوانتیزاسیون باعث می‌شود در این نوع دوربین‌ها تخمین موقعیت دقت پایینی داشته باشد. یک روش برای حل مشکلات فوق استفاده از یک سری الگوهای تصویری مشخص یا بافت بر روی اشیائی می‌باشد که علاقه‌مند به موقعیت‌یابی آن‌ها هستیم.

اهمیت بافت در تعیین جهت سطوح برای اولین بار توسط گیبسون در سال ۱۹۵۰ میلادی توصیف شد [۱۳]. اگر تصویر بافت به واحدهای سازنده آن یا تکسل‌ها قطع‌بندی شود، بیشینه آهنگ تغییر در اندازه‌ی تکسل‌ها جهت صفحه را تعیین می‌کند. جهت بیشینه آهنگ تغییر در اندازه تکسل‌ها همان جهت گرادیان بافت می‌باشد این جهت با در نظر گرفتن چهارچوب مختصاتی صفحه تصویر معین می‌کند که صفحه چقدر حول خط دید دوربین چرخیده است. اندازه‌ی گرادیان می‌تواند به تعیین میزان زاویه tilt صفحه نسب به دوربین کمک کند ولی اطلاعاتی در مورد هندسه‌ی دوربین مورد نیاز است. تحقیقات بعدی در این مورد دو راه اصلی را پی گرفته است:

- اندازه‌گیری و استفاده از گرادیان

- استنباط آماری مبتنی بر مدل احتمالی بافت

محققان گرادیان بافت را مثل یافتن گرادیان توابع عددی از جمله برای فشردگی، سطح و چگالی فرمول‌بندی کرده‌اند. ارتباط ریاضی بین این گرادیان‌ها و هندسه صحنه هم برای صفحات صاف [۱] و هم برای صفحات خمیده [۲] توسعه یافته‌اند.

نگرش گروه عمده‌ی دیگر به مساله شکل بافت در بینایی ماشین مبتنی بر مدل احتمالی بافت است. مساله تعیین شکل صفحه و جهت آن به صورت یک استنباط احتمالی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و می‌تواند در چهار چوب Bayesian و maximum likelihood [۸]، [۱۱] مورد بررسی قرار گیرد. مدلی که اغلب به‌کار رفته است از ایزوتروپی قوی یا ایزوتروپی ضعیف بافت استفاده کرده است. از آنجایی که تصویر بافت در صفحه تصویر به‌طور کلی ایزوتروپ ظاهر نخواهد شد، لذا انحراف از ایزوتروپی در صفحه تصویر، برای پی بردن به شکل سه بعدی و جهت آن به‌کار می‌رود. روش‌های طیفی، از آنالیز فوریه خصوصاً STFT^۱ برای تخمین توزیع موضعی طیف فرکانسی و مرتبط کردن تغییرات آن با جهت صفحه توسط تبدیل affine استفاده می‌کنند.

Super و Bovik [۳] در کارشان تلاش کرده‌اند تا جهت صفحه را با استفاده از STFT استخراج کنند. آن‌ها از یک سری فیلترهای تنظیم

شده Gabor و مشتقات جزئی آن استفاده کرده‌اند. سپس از خروجی فیلتر استفاده شده است تا زوایای tilt و slant را برای صفحه تخت تخمین بزنند. در یک کار دیگر Super و Bovik [۴] از ممان طیف موضعی برای استخراج شکل صفحات خمیده استفاده کرده‌اند. روش هر دو یکسان است در این مورد آن‌ها از خروجی صاف و نرمالیزه شده ممان‌های فیلتر Gabor برای تخمین مشخصه‌های دو بعدی توزیع طیفی استفاده می‌کنند.

یک روش ارائه شده برای حل مساله شکل از بافت بر اساس تحلیل موجک‌های گسسته پایه‌ریزی شده است تا جهت صفحه تخت را تخمین بزند. هر چند این روش اساساً برای موجک‌های M-channel طراحی شده است برای تحلیل موجک‌های دوتایی هم قابل استفاده است [۵].

با فرض این که بافت موجود در صفحه تخت، فاز تصادفی دارد در [۶] نشان داده شده است که حالت غیر خطی ایجاد شده توسط پرسپکتیو به همبستگی مرتبه بالاتر در حوزه فرکانس منجر می‌شود. همچنین به صورت تجربی نشان داده شده است که این همبستگی‌ها متناسب با جهت صفحه‌ی تخت است. کمینه کردن این همبستگی‌ها توسط ابزارهای تحلیلی چند طیفی به یافتن جهت صفحه منجر می‌شود.

در [۷] از روش گرادیان بافت برای تعیین زاویه صفحات استفاده شده است. در این مقاله فرض شده است که تکسل‌ها یکنواخت^۲ هستند. برای تعیین مکان و ویژگی تکسل‌ها نظیر اندازه‌ی آن‌ها در این مقاله از تبدیل فوریه استفاده شده است. سپس با یک مدل هندسی ساده که برای تصویر کردن به‌کار رفته است تغییر اندازه‌ی تکسل‌ها به تغییر معادل در مختصات سه بعدی نسبت داده شده است.

در [۸] به جای تعیین مکان تکسل‌ها، از یک کمیت که بیانگر یکنواخت بودن توزیع تکسل‌ها است استفاده شده است. برای تعیین این کمیت از جهت لبه‌های تصویر استفاده شده است. سپس با استفاده از روش‌های آماری، محتمل‌ترین جهت صفحه مسطح در فضای سه بعدی محاسبه گردیده است.

در [۹] فرض بر این است که مکان تکسل‌ها توسط الگوریتم‌های دیگر قبلاً تعیین شده است و یا این که تحت شرایطی نیازی به دانستن مکان تکسل‌ها نیست. بلکه مرز تکسل‌ها برای تعیین زاویه صفحه در فضای سه بعدی کافی است. در این مقاله از فرض یکنواخت بودن توزیع تکسل‌ها در صفحه استفاده شده است. با این فرض و استفاده از تبدیل پرسپکتیو یک رابطه‌ی غیر خطی برای زاویه‌ی صفحه‌ی سه بعدی مشخص می‌گردد.

استفاده از فرضیات و نتایج قسمت اول، ایجاد الگو با پرتوهای لیزری پیشنهاد شده است. لازم به تاکید است که فرض سطری ستونی بودن الگو در قسمت دوم به راحتی برآورده می‌شود چون الگو توسط منابع نوری ایجاد می‌شود که راستا و موقعیت آن‌ها قابل تنظیم است. در ادامه و در بخش ۲، به بررسی روش پیشنهادی پرداخته شده است. در بخش ۳، نتایج عملی حاصل از آزمایش ارائه شده است. در بخش ۴ روش پیشنهادی با روش مرجع [۵] مقایسه شده است و در خاتمه به نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

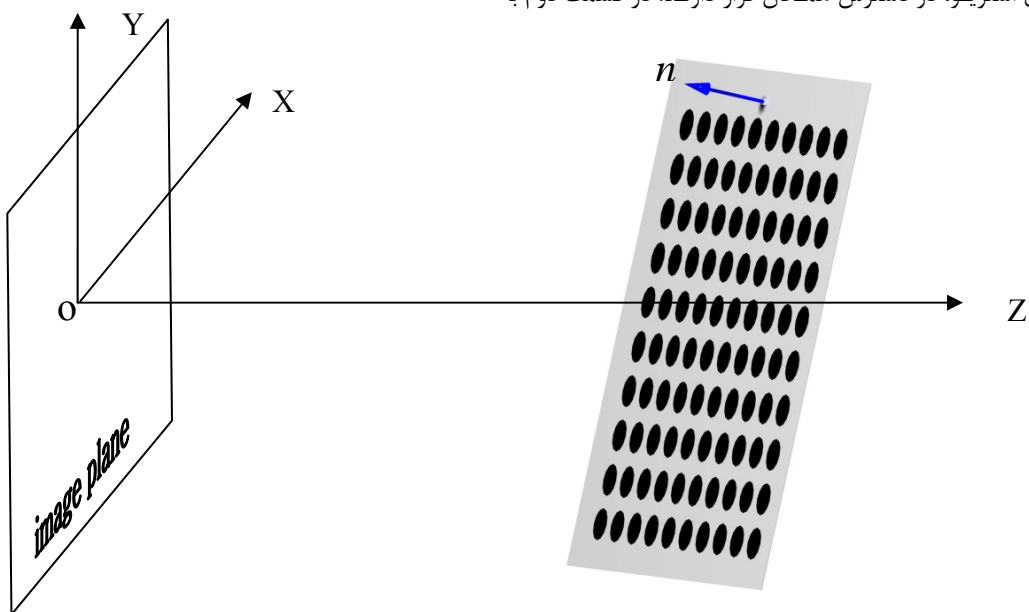
۲- روش پیشنهادی

در ادامه روش پیشنهادی در دو بخش توضیح داده می‌شود. در زیر بخش ۲-۱ معادلات لازم برای تخمین زاویه محاسبه شده‌اند. در زیر بخش ۲-۲ تخمین زاویه برای سطوح بدون بافت توضیح داده شده است و در زیر بخش ۲-۳ مراحل الگوریتم آورده شده است.

۲-۱- تخمین زاویه بردار نرمال صفحه با استفاده از یک

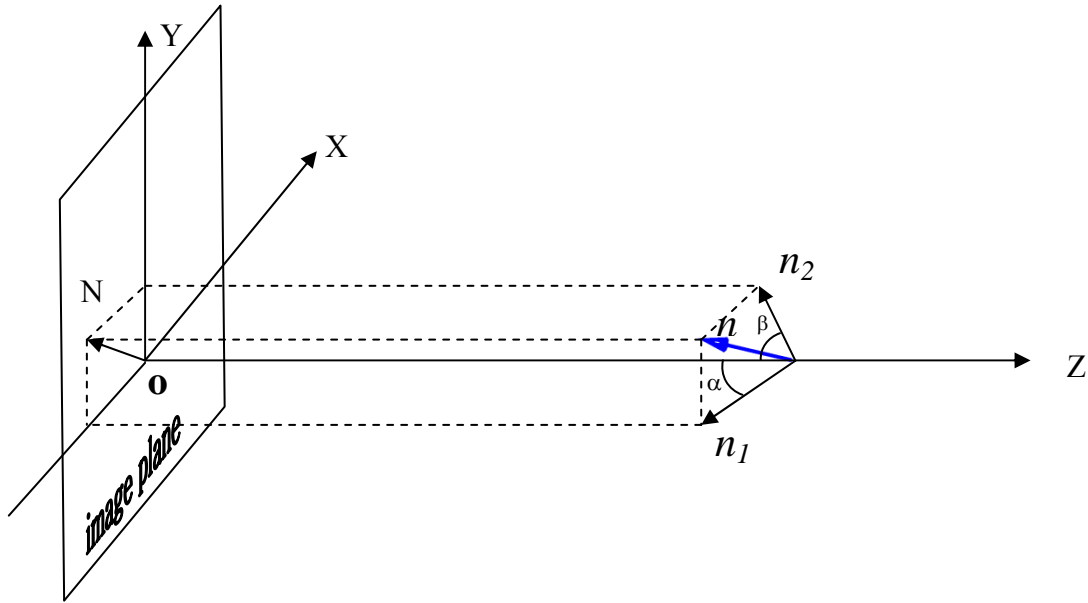
تصویر

در ادبیات نوشتاری بینایی ماشین معمول است که بردارهای نرمال با زوایای $slant$ و $tilt$ نشان داده شود. در شکل (۱) یک صفحه دارای بافت به همراه دستگاه مختصات منطبق بر مرکز صفحه تصویر نشان داده شده است. اگر فرض شود n بردار نرمال صفحه در نقطه P باشد، زاویه $tilt$ ، زاویه‌ای است که محور X صفحه تصویر دوربین با تصویر بردار n بر روی صفحه $(X-Y)$ یعنی بردار N می‌سازد. زاویه $slant$ زاویه‌ای است که بردار n با محور Z می‌سازد. در ادامه این مقاله از دو زاویه به اسم α و β مطابق شکل (۲)، برای تعیین جهت صفحه استفاده شده است.



شکل (۱): صفحه دارای بافت در دستگاه مختصات منطبق بر مرکز صفحه تصویر

در [۱۰] از یک الگوریتم دو مرحله‌ای برای تخمین زاویه استفاده شده است. در مرحله اول با استفاده از یک اپراتور تعیین ناحیه، مکان تکسل‌ها تشخیص داده می‌شود. در مرحله دوم با استفاده از مکان تکسل‌ها و با در نظر گرفتن مدل پرسپکتیو برای تشکیل تصویر، زاویه صفحات تصویر تخمین زده می‌شود. برای این منظور از یک تابع شایستگی^۳ برای تعیین محتمل‌ترین زاویه صفحه استفاده شده است. با مروری بر کارهای پیشین این نتیجه به دست می‌آید که اغلب الگوریتم‌های به کار رفته در آن‌ها مبتنی بر یکسری قیود محدود کننده نظیر ایزوتروپی و فاز تصادفی هستند و نیز روش‌های اعمالی نظیر تبدیل موجک و فیلترهای gabor و دارای هزینه محاسباتی سنگین هستند. از طرفی در بسیاری از کاربردهای رباتیک برای تخمین زاویه صفحات با استفاده از یک دوربین، نیاز به یک الگوریتم بلادرنگ و با هزینه محاسباتی کم می‌باشد که در این مقاله بدان پرداخته شده است. تلاش در این مقاله معطوف به کاستن از وابستگی به تکسل، ساده‌تر کردن فرآیند پردازش و در عین حال بهبود دقت در تخمین زوایای صفحه است. در این رابطه ابتدا با نگرشی متفاوت با آنچه پیش از این در مورد مسئله شکل از بافت وجود داشت، در قسمت اول با تعریف دو زاویه α و β و فرض سطری و ستونی بودن تکسل‌ها در الگو، با معادلاتی ساده‌تر بردار نرمال صفحه تخمین زده شده است. از مزایای روش پیشنهادی آن است که اطلاعات دقیق از هندسه تکسل‌ها مورد نیاز نمی‌باشد، بلکه تکراری بودن تکسل‌ها مورد نظر قرار گرفته‌اند. همچنین برای بهبود دقت، تکسل‌ها به صورت آرایه در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش در شرایط واقعی در پایان ارائه خواهد شد. دوربین استفاده شده در آزمایش یک دوربین ۶ مگا پیکسلی است که قابلیت 3x زوم اپتیکال را داراست. امروزه این دوربین‌ها برخلاف دوربین‌های استریو، در دسترس همگان قرار دارند. در قسمت دوم با



شکل (۲): n بردار قائم بر صفحه الگو و تصاویر آن بردارهای n_1 و n_2

$$n_z = 1, n_x = -\tan(\alpha), n_y = -\tan(\beta) \quad (۲)$$

$$\vec{n} = \frac{(-\tan(\alpha), -\tan(\beta), 1)}{\sqrt{\tan^2(\alpha) + \tan^2(\beta) + 1}} \quad (۳)$$

اساس روش استفاده شده در این مقاله بر تغییر سطح دیده شده با تغییر فاصله، نهاده شده است. به این معنا که یک تکسل که در این جا قرص‌های سیاه رنگ در نظر گرفته شده‌اند، با دور شدن از دوربین سطح دیده شده کمتری را در تصویر به خود اختصاص می‌دهند. برای تسهیل در حل مساله برای تخمین زاویه α از تغییر سطح در یک سطر الگو و برای تخمین زاویه β از تغییر سطح در ستون استفاده می‌شود. اگر مساله با استفاده از سطرها برای زاویه α حل شود، با تکرار روش برای ستون‌ها می‌توان زاویه β را به دست آورد.

با در نظر گرفتن تعریف زاویه فضایی رابطه (۴) نوشته می‌شود [۱۲]:

$$S = \frac{kA}{d^2} \quad (۴)$$

که در آن S تعداد پیکسل‌های تکسل در تصویر، A مساحت تکسل، d فاصله مبدا مختصات صفحه تصویر از مرکز جرم تکسل در صفحه آزمون و k ثابتی است که برای در نظر گرفتن تاثیر مشخصات دوربین و سایر ثابت‌ها لحاظ شده است.

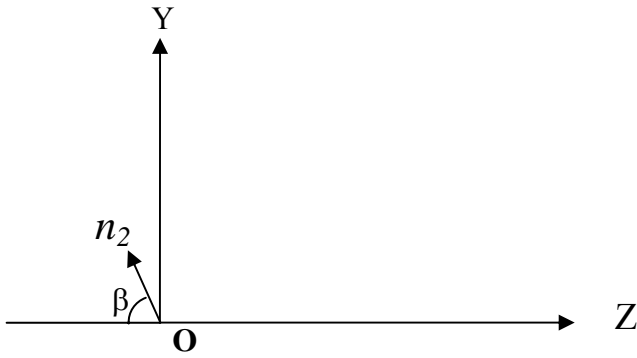
همان طور که در شکل (۳-الف) ملاحظه می‌شود اگر n_1 تصویر بردار نرمال صفحه بر روی $(X-Z)$ باشد، زاویه α زاویه n_1 با محور Z است. به طور مشابه همان طور که در شکل (۳-ب) ملاحظه می‌شود اگر n_2 تصویر بردار نرمال صفحه بر روی $(Y-Z)$ باشد، زاویه β زاویه n_2 با محور Z است.

با در نظر گرفتن شکل (۳)، زوایای α و β از روابط (۱) قابل محاسبه است. از روی این دو زاویه می‌توان بردار n را به صورت یکتا تعیین کرد. به عبارت دیگر جهت صفحه تعیین می‌شود.

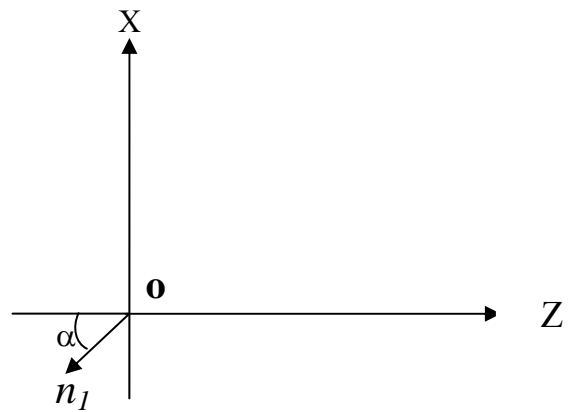
$$\tan(\alpha) = \frac{\vec{n} \cdot \vec{i}}{\vec{n} \cdot (-\vec{k})} = \frac{n_x}{-n_z} \quad (۱-الف)$$

$$\tan(\beta) = \frac{\vec{n} \cdot \vec{j}}{\vec{n} \cdot (-\vec{k})} = \frac{n_y}{-n_z} \quad (۱-ب)$$

از آن جا که برای مشخص کردن یک صفحه در فضا بردارهای هم‌راستا نتایج دقیقاً یکسانی به لحاظ هندسی ایجاد می‌کنند لذا نرمال بودن $(|\vec{n}| = 1)$ اهمیت چندانی ندارد و می‌توان برای توصیف یک صفحه در فضا از هر برداری که با n رابطه‌ی خطی دارد (هم‌راستا) استفاده کرد. لذا فرض می‌شود که $n_z = 1$ و در این صورت بردار n به صورت زیر خواهد بود:



شکل (۳-ب): n_2 تصویر بردار نرمال صفحه یعنی n در صفحه $(Y-Z)$



شکل (۳-الف): n_1 تصویر بردار نرمال صفحه یعنی n در صفحه $(X-Z)$

$$d_i = \frac{d_0}{\cos(\theta_i) - \tan(\alpha) \cdot \sin(\theta_i)} \quad (۸)$$

با ترکیب روابط (۴) و (۸) رابطه (۹) نتیجه می شود:

$$\sqrt{\frac{kA}{S_i}} = \frac{d_0}{\cos(\theta_i) - \tan(\alpha) \cdot \sin(\theta_i)} \quad (۹)$$

همان طور که قبلا گفته شد θ_i زاویه ای است که تحت آن الگوی نام در تصویر دیده می شود و برای محاسبه آن از روابط (۱۰) استفاده شده است. که در این روابط، γ زاویه دید دوربین، x_i مولفه افقی مرکز جرم تکسل نام و X تعداد پیکسل های افقی در تصویر است.

$$\frac{\gamma}{X} = \frac{\theta_i}{x_i} \quad (۱۰-الف)$$

$$\theta_i = \frac{x_i}{X} \cdot \gamma \quad (۱۰-ب)$$

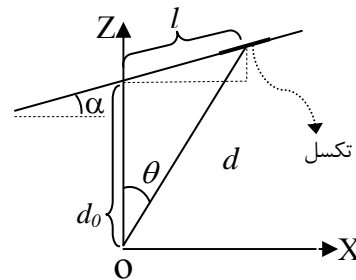
با استفاده از رابطه (۹) رابطه (۱۱) حاصل می شود:

$$\sqrt{S_i} = -\frac{\sqrt{Ak}}{d_0} \cdot \sin(\theta_i) \cdot \tan(\alpha) + \frac{\sqrt{Ak}}{d_0} \cos(\theta_i) \quad (۱۱)$$

با تقسیم طرفین رابطه (۱۱) بر $\cos(\theta_i)$ رابطه (۱۲) حاصل می شود.

$$\frac{\sqrt{S_i}}{\cos(\theta_i)} = -\frac{\sqrt{Ak}}{d_0} \cdot \tan(\alpha) \tan(\theta_i) + \frac{\sqrt{Ak}}{d_0} \quad (۱۲)$$

در ادامه مطابق شکل (۴) فرض می شود زاویه β صفر است و یک تکسل بر روی صفحه با افزایش θ حرکت می کند به صورتی که مرکز جرم آن در راستای Y جابه جایی ندارد. اگر l فاصله مرکز جرم تکسل از صفحه $(Y-Z)$ بر روی صفحه باشد، برای محاسبه زاویه α روابط (۵) الی (۱۴) نوشته می شوند.



شکل (۴): نمای Y ثابت از صحنه آزمایش، تکسل با خط پر رنگ نشان داده شده است.

$$l \cdot \cos(\alpha) = d \cdot \sin(\theta) \quad (۵)$$

$$l \cdot \sin(\alpha) + d_0 = d \cdot \cos(\theta) \quad (۶)$$

از روابط (۵) و (۶) و با حذف l رابطه (۷) نتیجه می شود:

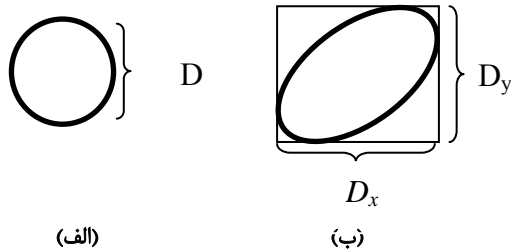
$$d = \frac{d_0}{\cos(\theta) - \tan(\alpha) \cdot \sin(\theta)} \quad (۷)$$

چون در صفحه تعداد تکسل ها محدود و غیر پیوسته است، رابطه (۶) برای تکسل نام به شکل زیر به صورت گسسته نوشته می شود:

دایره بیضی دیده می‌شود. در این حالت برای محاسبه زوایای α و β از دو روش می‌توان استفاده کرد.

الف) استفاده از تغییر شکل تکسل‌ها:

با توجه به شکل (۵) روابط (۱۵) و (۱۶) را می‌توان نوشت.



شکل (۵): الگوی تابیده شده توسط پرتو لیزری. الف): بر روی صفحه‌ای که بردار نرمالش منطبق بر محور Z است. ب): بر روی صفحه‌ای که دارای زاویه‌ی دلخواه است.

$$D = D_x \cos(\alpha) \Rightarrow \alpha = \cos^{-1}\left(\frac{D}{D_x}\right) \quad (15)$$

$$D = D_y \cos(\beta) \Rightarrow \beta = \cos^{-1}\left(\frac{D}{D_y}\right) \quad (16)$$

که D طول قطر دایره به پیکسل در $0 = \alpha = \beta$ است. همان طور که مشخص است در این حالت به D_x و D_y نیازمندیم.

ب) استفاده از الگوریتم بخش ۲-۱ اگر آرایه‌ای از تکسل‌ها موجود باشد:

اگر الگوی ایجاد شده توسط لیزر آرایه‌ای از سطر و ستون‌ها بوده و پرتو لیزر واگرا و همگرا نباشد، می‌توان از الگوریتم بخش ۲-۱ استفاده کرد که در این صورت نیازی به دانستن D نمی‌باشد. با این روش می‌توان زوایای هر صفحه دلخواه بدون الگو در فضا را با دقت بالا تنها با یک تصویر تخمین زد.

۲-۳- نگاهی به فرایند تحلیل کامپیوتری

فرایند پردازش تصویر برای ارزیابی عملی این مقاله در نرم‌افزار MATLAB پیاده شده است. اگر از جزئیات صرف‌نظر شود، خلاصه مراحل پردازش را می‌توان بدین صورت بیان کرد:

الف) تصویر اولیه به تصویر باینری تبدیل می‌شود.

ب) بیت‌های تصویر معکوس می‌شود. تا تکسل‌های سیاه رنگ صفحه در صحنه آزمایش، به صورت سفید رنگ در تصویر دیده شود زیرا توابع

رابطه (۱۲) را به می‌توان به صورت یک خط با معادله $y = mx + b$ در نظر گرفت که برای خط مذکور داریم:

$$y = \frac{\sqrt{S_i}}{\cos(\theta_i)}, m = -\frac{\sqrt{Ak}}{d_0} \tan(\alpha), b = \frac{\sqrt{Ak}}{d_0} \quad (13)$$

$$x = \tan(\theta_i)$$

رابطه (۱۲) برای تمامی تکسل‌های واقع بر یک سطر صادق است. در عمل برای محاسبه دقیق m و b یک خط بر روی داده‌ها برازش می‌شود. با معلوم بودن m و b زاویه α از رابطه (۱۴) قابل محاسبه است.

$$\tan(\alpha) = \frac{-m}{b} \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{-m}{b}\right) \quad (14)$$

α به دست آمده مربوط به اطلاعات یک سطر از تکسل‌ها است. با تکرار فرآیند برای سطوح دیگر α های دیگر نیز به دست می‌آید که با روش‌های آماری نظیر انتخاب میان یا میانگین‌گیری بهترین نتیجه انتخاب می‌گردد.

همان طور که گفته شد با تکرار برای ستون‌ها زاویه دیگر صفحه هم به دست می‌آید. مزیت این روش نسبت به روش‌های مشابه این است که در این روش اطلاع دقیق از شکل و اندازه تکسل‌ها لازم نیست و فقط تکرار شونده‌ی یک تکسل برای تخمین دو زاویه کافی است و چون از تعداد زیادی تکسل استفاده می‌شود دقت بالایی به دست می‌آید. همچنین روش‌های مشابه پردازش وقت‌گیرتری نسبت به این روش (که فقط تعداد پیکسل‌ها اهمیت دارد) نیاز دارند. استفاده از تعداد پیکسل‌ها این مزیت را هم داراست که نسبت به خطای کوآنتیزاسیون حساسیت کمتری دارد. چرا که به ندرت در تمام لبه‌ی تکسل‌ها خطای کوآنتیزاسیون یک طرفه اتفاق می‌افتد.

۲-۲- تخمین زاویه برای سطوح بدون بافت

کم کردن وابستگی به بافت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که هر چه روش مستقل‌تر از بافت باشد در کاربرد عمومیت بیشتری می‌یابد. روش ارائه شده در بخش ۲-۱ فقط به تکرار شونده‌ی یک تکسل وابسته است. یک روش دیگر برای تخمین زوایای صفحات یعنی α و β (صفحاتی که بافت ندارند یا در دسترس نیستند) ایجاد بافت توسط پرتوهای لیزری است.

به‌طور مثال اگر توسط پرتوهای لیزری شکلی دایره‌ای بر روی صفحه الگو ایجاد شود، به تناسب زوایای صفحه یعنی α و β در صفحه تصویر،

شامل برازش یک خط بر روی داده‌ها و محاسبه زاویه α از رابطه (۱۴) می‌باشد.

از طرفی روش ارائه شده در مرجع [۵] برای محاسبه زاویه صفحه، بر تحلیل موجک استوار است. برای این منظور از یک بانک فیلتر M کاناله استفاده می‌شود و با اعمال آن‌ها به تصویر بافت‌دار، منحنی‌های موسوم به scalogram تشکیل می‌شود که لازمه آن محاسبه ضرایب موجک در سطوح مختلف می‌باشد. از روی منحنی‌های scalogram پارامتری به اسم مقیاس غالب تعیین می‌شود و با استفاده از آن منحنی‌های scalemap حاصل می‌شود. با تخصیص فرکانس به منحنی‌های scalemap آن‌ها نرمالیزه شده و نمودارهای NFM به دست می‌آید. با برازش منحنی به نمودارهای NFM منحنی توزیع فرکانس مکانی SFD حاصل می‌شود و با استفاده از یک سری نقاط روی منحنی SFD زاویه α تخمین زده می‌شود.

همان طور که ملاحظه می‌شود تنها قسمت اول الگوریتم [۵] یعنی محاسبه ضرایب موجک، هزینه محاسباتی به مراتب بیشتری نسبت به روش پیشنهادی در این مقاله دارد و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نیست. در عوض دقت روش [۵] نسبت به روش پیشنهادی بیشتر است. بنابراین در کاربردهایی نظیر کاربردهای رباتیک که به دقت بالایی نیاز ندارند و در عوض بلادرنگ بودن برای آن‌ها مساله اساسی است، روش پیشنهادی در این مقاله ارجحیت دارد. به‌طور خلاصه مزیت روش پیشنهادی در این مقاله نسبت به روش‌های موجود در آن است که فرمول بسته‌ای برای محاسبه زاویه صفحه ارائه نموده است که با هزینه محاسباتی کم زاویه را تخمین می‌زند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش جدیدی برای تخمین زاویه صفحات با استفاده از یک تصویر و از روی بافت تصویر ارائه شد. در این مقاله فرمول بسته‌ای ارائه گردید که بدون نیاز به اطلاعات دقیق در مورد هندسه تکسل‌ها با استفاده از آن می‌توان زاویه را محاسبه کرد. در این مقاله ایجاد بافت توسط پرتوهای لیزری برای صفحات بدون بافت نیز به‌عنوان راهکار جدیدی برای تخمین زاویه با یک تصویر ارائه شد. در عمل بیشترین خطا برابر با $3/21$ و کمترین آن برابر با $0/15$ به دست آمد. از آنجا که تخمین زاویه صفحات در زمینه‌های مختلفی از جمله رباتیک، صنعت و صنایع نظامی کاربرد دارد، لذا این روش می‌تواند در تمام کاربردهای فوق مورد استفاده قرار بگیرد.



شکل (۶): تکسل استفاده شده در تصاویر جدول (۳)

آماده MATLAB برای شمارش پیکسل‌ها عموماً برای پیکسل‌های روشن نوشته شده‌اند.

(ج) حواشی تصویر و نواحی روشن کوچکی که عموماً در اثر نویز در تصویر هستند، با استفاده از عملگرهای مروفولوژی نظیر باز کردن^۴ حذف می‌شوند. در این مرحله تصویر فقط شامل آرایه‌ای از تکسل‌هاست.

(د) با استفاده از الگوریتم‌های ناحیه‌بندی، تکسل‌ها به نواحی مجزایی تقسیم می‌شوند. برای تعیین تکسل‌های هم‌سطر و هم‌ستون از ویژگی مرکز جرم تکسل‌ها استفاده شده است.

(ه) برای هر تکسل i واقع در یک سطر یک رابطه به صورت $y_i = mx_i + b$ نوشته می‌شود که با در نظر گرفتن رابطه (۱۲)، $x_i = \tan(\theta_i)$ و $y_i = \sqrt{S_i} / \cos(\theta_i)$ که برای محاسبه S_i تعداد پیکسل‌های تکسل i در صفحه تصویر شمرده می‌شود و برای محاسبه θ_i از رابطه (۱۰) استفاده می‌شود. اگر تعداد تکسل‌های واقع در یک سطر N باشد، N نقطه از خط $y = mx + b$ حاصل می‌شود که با برازش یک خط بر روی این نقاط به روش میانگین مربعات خطا، پارامترهای خط و یا به عبارت دیگر m و b به دست می‌آیند. با معلوم بودن m و b زاویه α از رابطه (۱۴) قابل محاسبه است. α به دست آمده مربوط به اطلاعات یک سطر از تکسل‌ها است. با تکرار فرآیند برای سطرهای دیگر α های دیگر نیز به دست می‌آید که با روش‌های آماری نظیر انتخاب میانه یا میانگین‌گیری بهترین نتیجه انتخاب می‌گردد. با تکرار فرآیند فوق برای ستون‌ها زاویه دیگر صفحه یعنی β هم به دست می‌آید.

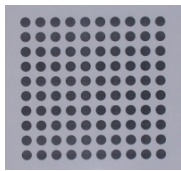
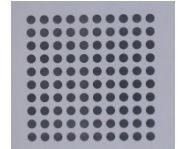
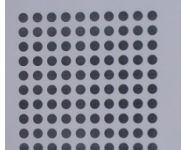
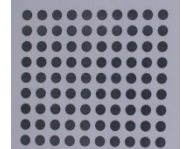
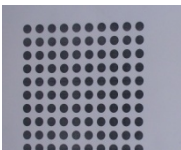
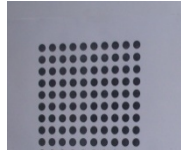
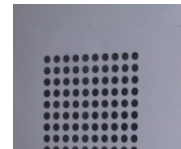
۳- نتایج عملی حاصل از آزمایش

نتایج عملی حاصل از آزمایش در جداول (۱) تا (۳) آمده است. نتایج جداول (۱) و (۲) برای تکسل‌های دایروی شکل و نتایج جدول (۳) برای تکسل نشان داده شده در شکل (۶) می‌باشند. برای گزارش مقدار واقعی زاویه از دستگاه اندازه‌گیری با دقت ۱ درجه استفاده شده است. بیشترین خطا برابر با $3/21$ و کمترین آن برابر با $0/15$ است. همان طور که از نتایج مشخص است، الگوریتم به شکل هندسی تکسل وابسته نیست.

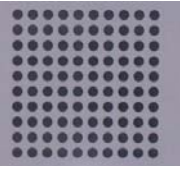
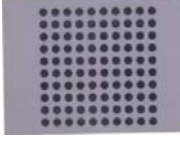
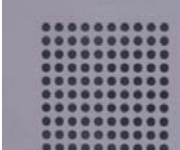

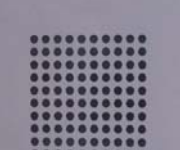
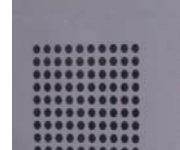
۴- مقایسه روش پیشنهادی با روش مرجع [۵]:

مروری بر مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی که در زیر بخش ۲-۳ شرح داده شد، نشان می‌دهد که مراحل (الف) تا (د) که مربوط به پیش پردازش اولیه تصویر هستند در الگوریتم‌های مشابه کم و بیش وجود دارند. قسمت اصلی الگوریتم پیشنهادی، مرحله (ه) می‌باشد که

جدول (۱): نتایج اجرای الگوریتم برای صفحه‌ای که دارای الگوهای دایره‌ای شکل است. در این آزمایش β ثابت و فاصله دوربین از مرکز صفحه ۱۵۰ سانتیمتر است.

خطا	مقدار گزارش شده	مقدار واقعی	تصویر
۰/۷۷۷	۰/۷۷۷	۰	
۰/۰۱۵۲	۵/۰۱۵۲	۵	
۱/۱۴	۸/۸۶	۱۰	
۳/۲۱	۱۱/۷۹	۱۵	
۰/۵۶	۱۹/۵۶	۲۰	
۱/۴۱	۲۶/۴۱	۲۵	
۰/۴۴	۲۹/۵۶	۳۰	

جدول (۲): نتایج اجرای الگوریتم برای صفحه‌ای که دارای الگوهای دایره‌ای شکل است. در این آزمایش β ثابت و فاصله دوربین از مرکز صفحه ۳۰۰ سانتیمتر است.

خطا	مقدار گزارش شده	مقدار واقعی	تصویر
۰/۹۶	۰/۹۶	۰	
۲/۰۱	۷/۰۱	۵	
۰/۸	۹/۲	۱۰	
۱/۰۴	۱۳/۹۶	۱۵	
۰/۴۵	۱۹/۵۵	۲۰	
۱/۱	۲۳/۹	۲۵	

$$\Omega = \frac{S_p}{f^2} \quad (17)$$

$$\Omega = \frac{A}{d^2} \quad (18)$$

با ترکیب روابط (۱۷) و (۱۸) رابطه (۱۹) حاصل می شود.

$$S_p = \frac{f^2 \times A}{d^2} \quad (19)$$

اگر تعداد پیکسل‌ها در واحد سطح دوربین برابر p باشد و S تعداد پیکسل‌های تکسل در صفحه تصویر باشد، $S = S_p \times p$ خواهد بود و با جاگذاری در رابطه (۱۹) رابطه (۲۰) به دست می آید.

$$S = \frac{p \times f^2 \times A}{d^2} \quad (20)$$

با فرض این که $k = p \times f^2$ باشد، رابطه (۲۱) نتیجه می شود.

$$S = \frac{k \times A}{d^2} \quad (21)$$

پیوست ب) اثبات رابطه (۱۰):

برای این منظور فرض کنید که شکل (۱) از بالا دیده شود. در این صورت شکل (۸) را خواهیم داشت. در این شکل C کانون دوربین با فاصله کانونی f ; زاویه‌ای است که تحت آن تکسل λ_m در تصویر دیده می شود، γ زاویه دید دوربین، x_i مولفه افقی مرکز جرم تکسل λ_m و X تعداد پیکسل‌های افقی در تصویر است. با در نظر گرفتن شکل (۸) روابط (۲۲) و (۲۳) نوشته می شوند:

$$\tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \frac{X/2}{f} \quad (22)$$

$$\tan(\theta_i) = \frac{x_i}{f} \quad (23)$$

با فرض این که $\tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \approx \frac{\gamma}{2}$ و $\tan(\theta_i) \approx \theta_i$ باشد از روابط (۲۲) و (۲۳) روابط (۲۴) و (۲۵) به دست می آیند.

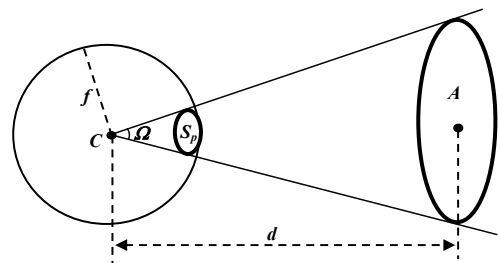
$$\gamma \approx \frac{X}{f} \quad (24)$$

جدول (۳): نتایج اجرای الگوریتم برای صفحه‌ای که دارای تکسل نشان داده شده در شکل (۶) است. در این آزمایش β ثابت و فاصله دوربین از مرکز صفحه ۱۲۰ سانتیمتر است.

خطا	مقدار گزارش شده	مقدار واقعی	تصویر
۰/۲۶۶	۰/۲۶۶	۰	
۱/۶۶	۱۱/۶۶	۱۰	
۱/۵۸	۲۱/۵۸	۲۰	
۰/۸۵	۲۹/۱۵	۳۰	

پیوست الف) اثبات رابطه (۴):

برای اثبات رابطه (۴) از تعریف زاویه فضایی استفاده می شود. برای این منظور کره‌ای به مرکز کانون دوربین و به شعاع f (فاصله کانونی دوربین) در نظر گرفته می شود. یک تکسل که به فاصله d از کانون دوربین واقع است و مساحت واقعی آن A می باشد در نظر گرفته می شود. اگر مساحت این تکسل در صفحه تصویر S_p باشد، طبق تعریف زاویه فضایی و با در نظر گرفتن شکل (۷) روابط (۱۷) و (۱۸) نوشته می شوند.



شکل (۷): کره‌ای به مرکز کانون دوربین برای محاسبه زاویه فضایی

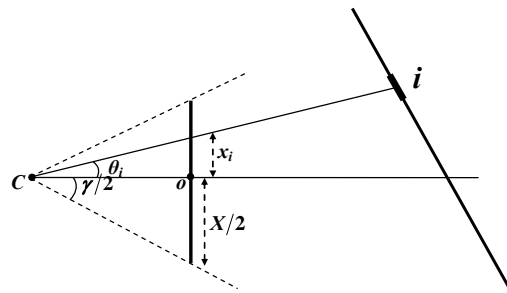
- [3] B. J. Super and A. C. Bovik, "Planar Surface Orientation from Texture Spatial Frequencies", Pattern Recognition, vol. 28, no. 5, pp. 729-743, 1995.
- [4] B. J. Super and A. C. Bovik, "Shape from texture using local spectral Moments," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 17, no. 4, pp. 333-343, 1995.
- [5] T. Greiner, Sh. G. Rao and S. Das, "Estimation of orientation of textured planar surface using projective equations and separable analysis with M-channel Wavelet Decomposition", Pattern Recognition, vol. 43, pp. 230-243, 2009.
- [6] H. Farid and J. Kosecka, "Estimating Planar Surface Using Bispectral Analysis", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 16, no.8, 2007.
- [7] R. Bajcsy and L. Lieberman, "texture gradient as a depth cue", Computer Graphics and Image processing, vol. 5, pp. 52-67, 1976.
- [8] A. P. Witkin, "recovering surface shape and orientation from texture", Artificial Intelligence, vol. 17, pp.17-45, 1981.
- [9] J. Aloimonos, "Shape from texture", Biological Cybernetics, vol. 58, pp. 345-360, 1988.
- [10] D. Blostein and N. Ahuja, "Shape from texture: integrating texture-element extraction and surface estimation", IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, vol. 11, no. 12, pp. 1233-1251, 1989.
- [11] J. Malik and R. Rozenholtz, "computing Local Surface Orientation and Shape from Texture for Curved Surfaces", International Journal of Computer Vision, vol. 23, no. 2, pp. 149-168, 1997.
- [12] E. Trucco and A. Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, pages: 40-49, 1998.
- [13] J. Gibson, "The perception of the visual world", Boston:Houghton Mifflin, 1950.

$$\theta_i \approx \frac{x_i}{f} \quad (25)$$

با تقسیم این دو رابطه برهم رابطه (۲۶) حاصل می‌شود:

$$\frac{\gamma}{X} = \frac{\theta_i}{x_i} \quad (26)$$

از طرفی می‌توان نشان داد که تا زاویه دید افقی ۶۲ درجه، $\tan(x)$ و x حداکثر ۱۰ درصد با هم اختلاف دارند. زیرا با حل معادله $\tan(x) - x = 0.1 * \tan(x)$ جواب به دست آمده برای x حدود ۳۱ درجه می‌باشد. بنابراین با فرض این که $\gamma/2 \leq 31^\circ$ یا $\gamma \leq 62^\circ$ باشد می‌توان از رابطه (۲۶) استفاده نمود. در مورد θ_i که همواره از $\gamma/2$ کوچکتر است شرط جدیدی لازم نمی‌باشد.



شکل (۸): نمای صحنه آزمایش در صفحه X-Z. تکسل با خط پر رنگ نشان داده شده است.

مراجع

- [1] K. A. Steven, "The information content of texture gradients", Biological Cybernetics, vol. 42, pp. 95-105, 1981.
- [2] J. Garding, "Shape from texture for smooth curved surfaces in perspective projection", Journal of Mathematical Imaging and Vision, vol. 2, no. 4, pp. 327-350, 1992.

زیرنویس‌ها

- 1- short-time fourier transform
- 2- uniform
- 3- fitness
- 4- opening