

آشکار سازی مانع با استفاده از شار نوری

Obstacle Detection by Optical Flow

پور جواد	محمد علی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار
موسوی نژاد	وحیده	دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار
جهان پناه	ویدا	دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

چکیده:

در تصاویر متوالی با ردیابی و جستجوی نقاط متناظر از تصویر اصلی می توان جابجایی نقاط متحرک را تحلیل کرد. یکی از روشهای مرسوم در تخمین حرکتهای محاسبه شار نوری با استفاده از حداقل سه تصویر متوالی می باشد. شار نوری یک نقطه از تصویر بردار جابجایی مکانی و سرعت آن نقطه را نتیجه می دهد. سپس با نگاشت نقطه مزبور به محیط واقعی، حرکت نقطه متناظر در محیطی که دوربین قرار دارد را می توان آنالیز کرد. [1,2,3].

در این مقاله ضمن معرفی مفاهیم اساسی و محاسبه شار نوری به کاربرد این روش در استخراج خصوصیات مانع و آنالیز حرکت موانع ثابت و متغیر با توجه به حرکت دوربین می پردازیم.

واژگان کلیدی

(۱) پردازش تصویر^۱ (۲) تشخیص مانع^۲ (۳) شار نوری^۳ (۴) تخمین حرکت^۴ (۵) ردیابی^۵

۱. مقدمه

روشهای مختلفی برای آشکار سازی مانع در بینایی ماشین وجود دارد. این روشها مبتنی بر سیستمهای دو دوربینه (دوبینایی) سیستمهای تک بینایی و سیستمهای چند بینایی می باشد. که برای هر یک روشهای گوناگونی جهت آشکار سازی

1-Image Processing
3-Optical Flow

2-Obstacle detection
4-Motion estimation 5-Tracking

مانع بررسی می شود. حتی مانع را می توان در حالت حرکت نیز آشکارسازی کرد که به مبحث تخمین حرکت برمی خوریم. در اینجا روش شار نوری بررسی می شود که در سیستمهای تک بینایی و حتی در حال حرکت قابل پیاده سازی است.

۲. معادلات شار نوری [5]

جهت محاسبه شار نوری در یک رشته تصویر، اساس محاسبات بر دو فرض اولیه استوار است :

(۱): شی متحرک در دو تصویر متوالی تغییر شدت روشنایی نخواهد داشت.

$$f(x + dx, y + dy, t + dt) = f(x, y, t) \quad (1)$$

(۲): حرکت نقاط مجاور یک نقطه از شی متحرک همانند حرکت آن نقطه خواهد بود. به عبارت دیگر اندازه شار سرعت، تغییرات ناگهانی ندارد.

$$\vec{v}(x + dx, y, t) = \vec{v}(x, y, t) \quad (2)$$

معادلات اساسی و محاسبات شار نوری در تخمین حرکت در مراجع مختلف ذکر شده در اینجا فهرست وار و موجز به آنها اشاره خواهد شد. با استفاده از معادله (۱) و سری تیلور تابع f ، رابطه (۳) بدست می آید.

$$-f_t = f_x \cdot (dx/dt) + f_y \cdot (dy/dt) \quad (3)$$

$$\vec{c} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right) = (u, v) \quad (4)$$

$$-f_t = \text{grad}(f) \cdot \vec{c} \quad (5)$$

f_x, f_y, f_t مشتقات جزئی تابع f هستند. v, u مولفه های بردار سرعت c هستند. مولفه های بردار سرعت با استفاده از

دو معادله بازگشتی زیر بدست می آیند [5].

$$u^{(k+1)} = u^{(k)} - \{f_x[f_x u^{(k)} + f_y v^{(k)} + f_t] / (a^2 + f_x^2 + f_y^2)\} \quad (6)$$

$$v^{(k+1)} = v^{(k)} - \{f_y[f_x u^{(k)} + f_y v^{(k)} + f_t] / (a^2 + f_x^2 + f_y^2)\}$$

پارامتر a نرمی میدان سرعت را مشخص می کند. در روش هورن - شانک (Horn - Shunck) پس از حداقل سازی a تعیین شود [5].

۲-۱. محاسبه میدان سرعت با استفاده از مشتق گیری :

اگر از دو شرط اصلی مشتقات جدید محاسبه شود. معادلات زیر بدست می آید.

$$\begin{bmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{xy} & f_{yy} \\ f_x & f_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_{xt} \\ -f_{yt} \\ -f_t \end{bmatrix} \Rightarrow AX = Y \quad (7)$$

در تخمین حرکت بروش جبری از روشهای عددی برای شبه معکوس کردن ضرایب ماتریسی استفاده می گردد. عملیات تخمین حرکت از مراحل زیر تشکیل شده است:

۱- ابتدا تصویر با یک فیلتر گوسی کانوالو می گردد

۲- مشتقات شدت روشنایی و مقادیر لازم از اطلاعات اولیه بدست آورده می شوند.

۳- با روش شبه معکوس معادله $AX = Y$ را حل می کنیم.

روش حل بدین ترتیب است که مشتقات جزئی را با استفاده از میانگین چهار تفاضل در نقاط مجاور (x, y) تقریب می

زنیم . سپس از رابطه (۸) استفاده کرده و بردار (u, v) بدست می آید [5].

$$X = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (8)$$

۳. تشخیص و ردیابی مانع با تخمین و گروه بندی شار نوری [4] :

این روش توسط Kruger, Rossle, Enkelmann در [4] پیشنهاد شده است که به نحوه عملکرد آن می پردازیم. در این

قسمت بردار شار نوری (u_{Im}, v_{Im}) با محاسبه مشتقات جزئی - زمانی از تابع سطح روشنایی تصاویر بر اساس رابطه (۷) بدست

می آید. نکته مهمی که در این روش پیشنهاد شده است تخمین دسته های شار نوری است که سرعت پردازش را بالا می برد. در این الگوریتم دسته هایی از شار نوری که شباهت کمتری به یکدیگر دارند حذف می شوند. بردارها در بلوک های هشت خانه ای محاسبه و تشابه آنها تعیین می شود، اگر V_1, \dots, V_N بردارهای نوری باشند، معیار تشابه $(v_t - v_0)^T R^{-1} (v_t - v_0) < x$ است که x حد آستانه مناسب و R ماتریس وزنی خاص است که هنگام کالیبره کردن و مرحله آماده سازی^۱ تعیین می شود.

۳-۱. مدل اندازه گیری :

تعیین مدل اندازه گیری به نحوه کالیبره کردن دوربین ها روی اتومبیل بستگی دارد. دستگاه مختصاتی که در این مدل معرفی می شود عبارت است از صفحه Z_X که عمود بر محور طولی خودرو می باشد. محور طولی در راستای محور عرضها بوده و جهت پیشروی خودرو را نشان می دهد. مبدأ دستگاه ZXY در مرکز ثقل اتومبیل، که در ارتفاع خاصی از سطح جاده واقع است قرار می گیرد.

نتیجه کالیبره کردن دوربین ها ماتریس $[t_u]_{3,4}$ را خواهد داد. در این قسمت (u_{Im}, v_{Im}) مختصات یک نقطه یا پیکسل از تصویر در فضای S' را مشخص می کند. با محاسبه ماتریس $[t_u]_{3,4}$ در رابطه (۹) ارتباط نقطه (x, y, z) از محیط واقعی در دستگاه xyz با پیکسل (u, v) ، از طریق متغیر واسطه (x_d, y_d) بدست می آید.

$$\begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ I \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} u_{Im} \\ v_{Im} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix} \cdot \frac{I}{d} \quad (9)$$

d ، عمق نقطه (x, y, z) در محیط را نشان می دهد. این عمق فاصله نقطه تا مرکز کانون دوربین نسبت به محور نوری می باشد. اگر (u_{Im}, v_{Im}) بردار حرکتی شار نوری در s مربوط به نقطه ای از محیط با سرعت (x, y, z) در دستگاه مختصات خودرو باشد رابطه (۱۰) محاسبه شار نوری را نشان می دهد.

$$\begin{bmatrix} u_{Im} \\ v_{Im} \end{bmatrix} = \frac{I}{d} \begin{bmatrix} h_u \\ h_v \end{bmatrix}; \quad \begin{aligned} h_u &= (t_{11} - u.t_{31})x + (t_{12} - u.t_{32})y + (t_{13} - u.t_{33})z \\ h_v &= (t_{21} - v.t_{31})x + (t_{22} - v.t_{32})y + (t_{23} - v.t_{33})z \end{aligned} \quad (10)$$

با تعیین مدل نویز، $(w \approx N(O, R))$ که مدل گوسی با میانگین صفر و ماتریس همبستگی R می باشد رابطه (۱۰) به

(۱۱) تغییر می یابد.

$$\begin{bmatrix} u_S \\ v_S \end{bmatrix} = H.l + w \quad ; H = (h_u, h_v)^t \quad (11)$$

بنابراین رابطه (۱۱) با توجه به معلوم بودن H و اندازه گیری W ، نسبت به متغیر مجهول l یک معادله خطی محسوب می شود. باید توجه کرد که اگر حرکت در محیط پیچیده تر باشد محاسبه (u_{Im}, v_{Im}) نیز پیچیده خواهد بود. برای حل آن، حرکت را به دو حرکت چرخشی $(u, v)_{rot}$ و انتقالی (عمقی) $(u, v)_{trans}$ تبدیل می کند. محاسبات نشان می دهد بردار $(u, v)_{rot}$ مستقل از عمق یا l است ضمن آنکه بردار $(u, v)_{trans}$ با توجه به کالیبره دوربین قابل محاسبه است. بنابراین اگر اندازه گیری ها براساس $(u_{Im}, v_{Im})_{rot} - (u_{Im}, v_{Im})_{trans}$ صورت گیرد، این سیستم نسبت به پارامتر عکس عمق معادلات خطی خواهد داشت.

۳-۲. آشکار سازی مانع با تخمین متغیرهای حالت:

در این روش با استفاده از محاسبات شار نوری، موانع به دو دسته تقسیم می شوند، دسته اول از اشیائی تشکیل می شود که متعلق به جاده و محیط ساکن نیستند. دسته دوم اشیائی است که مربوط به محیط ساکن می باشند مانند اتومبیل های پارک شده، ولی خطوط سفید جاده جزو این دسته محسوب نمی شود. فرض کنید s یک نقطه از محیط، با مختصات (u_S, v_S) در دستگاه تصویر باشد، بردار سرعت در این دستگاه، (u_S, v_S) متغیر حالت l_S است. با فرض ساکن بودن نقطه s از معادله (۱۱) می توان l_S را تخمین زد. نیز اگر \hat{l}_S تخمین مربع حداقل از متغیر l_S باشد، بصورت (۱۲) محاسبه می شود.

$$\begin{bmatrix} u_S \\ v_S \end{bmatrix} = H.l_S + w \quad ; \quad w \approx N(O, R) \quad (12)$$

$$p = (H^T R^{-1} H)^{-1} : p \text{ تابع همبستگی} \quad \hat{l}_S = \dots \quad \hat{l}_S = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} \begin{bmatrix} u_S \\ v_S \end{bmatrix} \quad (13)$$

از تابع زیر جهت دسته بندی و تعیین احتمال موانع استفاده می شود.

$$j(i_s) = \left[\begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \end{pmatrix} - H.i_s \right]^t . R^{-1} . \left[\begin{pmatrix} u_s \\ v_s \end{pmatrix} - H.i_s \right] \quad (14)$$

تابع $J(0)$ تخمینی از تعداد خطا در آشکار سازی مانع یا نقاط ساکن را بدست می دهد. λ_1, λ_2 آستانه هایی هستند که به مقدار احتمال a بستگی دارند و از یک جدول عددی بدست می آیند. اگر $J(i_s) > \lambda_1$ با توجه به سطح احتمال a ، نقطه s یک نقطه متحرک محسوب می شود. مثلا برای $a = 0/95$ مقدار λ_1 برابر $3/84$ خواهد بود. این روش آزمایش، کیفیت تطبیق نام دارد. بعد از این آزمایش مقدار i_s در فواصل I_s با درصد احتمال a قرار خواهد داشت.

$$I_s = [i - \lambda_2 < (l - I_s) . P^{-1/2} < \lambda_2] \quad (15)$$

I_s فاصله اطمینان نام دارد. اگر مدل نویز گوسی سفید باشد برای $a = 0/15$ نوار $\lambda_2 = 1/96$ خواهد بود. مفهوم I_s اینست که مقدار I_s در فاصله های I_s با احتمال a قرار خواهد داشت (رابطه 15).

برای محاسبه عمق معکوس l_k در زمانهای t_k یا تصاویر متوالی، رابطه (16) بکار می رود. مدل نویز، گوسی سفید با میانگین صفر می باشد ($v_k \approx N(O, Q_k)$). مقدار تغییر عمق از زمان k تا $k+1$ ، تحت سرعت نقطه s از محیط ساکن (x_k, y_k, z_k)، نسبت به خودرو می باشد. از آنجا ئیکه s ساکن فرض شده است، سرعت آن نسبت به خودرو مشخص است.

$$l_{k+1} = \frac{l_k}{1 + \Delta_k l_k} + v_k; \Delta_k = (t_{k+1} - t_k)(t_{31}x_k + t_{32}y_k + t_{33}z_k) \quad (16)$$

برای محاسبه l_{k+1} ، بدلیل غیر خطی بودن معادلات باید از فیلتر کالمن¹ توسعه یافته استفاده کرد. در اینجا مقدار

همبستگی $P_k(l + \Delta_k l_k)^{-4} + Q_k \approx P_k + Q_k$ با شرط $|\Delta_k l_k| \ll 1$ می باشد.

۳-۳. جدا سازی اشیاء متحرک از محیط ساکن:

نتیجه بحث قبل چنین است که اگر جواب تست کیفیت^۲ منفی باشد نقطه s یک نقطه متحرک منظور می شود. جهت دسته بندی دقیق تر به شرایط بیشتری نیاز است. یکی از آنها $I_s > O$ است. فرض کنید جاده مسطح و عمود بر محور z باشد.

اگر T_{33} ماتریس کالیبره دوربین و T_{33}^{-1} معکوس آن باشد، رابطه زیر مختصات s در دستگاه محیطی xyz را توسط (u_s, v_s) نتیجه میدهد:

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = T_{33}^{-1} \left[\frac{1}{l_s} \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} t_{14} \\ t_{24} \\ t_{34} \end{pmatrix} \right] \quad (17)$$

اگر s نقطه ای از صفحه xy با $z = z_0$ باشد روابط زیر صادق است.

$$l_s = c_z(u_s, v_s) / (z_0 + l_z) \quad (19)$$

$$c_z(u_s, v_s) = t'_{13}u_s + t'_{13}v_s + t'_{33}$$

$$t_z = t'_{13}t_{14} + t'_{23}t_{24} + t'_{33}t_{34} \quad (20)$$

برای $z_0 \neq -t_z$ اگر l_s به سمت صفر میل کند آنگاه $c_z(u_s, v_s) = (z_0 + t_z)l_s \rightarrow 0$ ، مفهوم آن اینست که خط کران با رابطه $c_z(u_s, v_s) = 0$ بدست می آید. بنابراین یکی از شرایط عمق علامت $c_z(u_s, v_s)$ است. با توجه به نوع کالیبره دوربین اگر $c_z(u_s, v_s) < 0$ مشخص کننده نقاط زیر خط کران است:

$$s: c_z(u_s, v_s) < 0 \quad (1)$$

زیر خط کران قرار دارد و l_s به نقاط بین سطح جاده و صفحه $z = z_{\min 1}$ محدود می شود البته با توجه به شرط مقابل:

$$l_s > l_{\min 1} = c_z(u_s, v_s) / (z_{\min 1} + t_z)$$

$$s: c_z(u_s, v_s) \geq 0 \quad (2)$$

بالا یا روی خط کران قرار دارد. با فرض آنکه هیچ مانعی با ارتفاع بزرگتر از z_{\min} وجود ندارد، l_s به این سطح محدود می شود، با این شرط که: $l_s > l_{\min} = c_z(u_s, v_s) / (z_{\max 1} + t_z)$ در هر دو مورد ۱ و ۲ اگر $l_{\min 1}$ بزرگتر از حد بالا در فاصله اطمینان l_s باشد، نقطه s جزو محیط ساکن نخواهد بود.

۳-۴. موانع در محیط ساکن:

در مواردیکه شار نوری بدلیل نویز و حرکت نسبی خودرو (یا دوربین)، در بعضی نقاط قابل دسته بندی نباشد از شرایط زیر جهت تعیین مانع بر اساس ارتفاعات استفاده می کنیم :

$$c_z(u_s, v_s) < 0 \quad (1)$$

برای جداسازی مانع از نقاط محیط نزدیک به سطح خیابان باید $z_s > z_{\min 2}$ شرط عمق نیز

چنین است:

$$l_s > l_{\min 2} = c_z(u_s, v_s) / (z_{\min 2} + t_z)$$

$$c_z(u_s, v_s) \geq 0 \quad (2)$$

لازم نیست همه نقاط بالای خط کران را بصورت مانع یا غیر مانع دسته بندی کنیم. لذا فقط موانعی

که ارتفاع آنها از $z_{\max 2}$ بیشتر نباشد را در نظر می گیریم. شرط عمق در اینجا چنین است:

$$l_s > l_{\min 2} = c_z(u_s, v_s) / (z_{\max 2} + t_z)$$

در هر دو مورد $l_{\min 2}$ باید کمتر از حد پایین در فاصله اطمینان I_s باشد تا s به عنوان نقطه ای از مانع مشخص شود.

مراجع :

- [1] kruger . w , Enkelmann . W , Rossle . s
“obstacle Detection by Real-time Optical Flow Evaluation“
IEEE . Conf . on Intelligent vehicles . paris , pp . 97 – 102 , 1994
- [2] Watanabe . M , Takeda . N .
“A Moving Object Recognition Method by Optical Flow Analysis”
IEEE . proceeding of IcPR 96 . pp . 528 – 533 . 1996
- [3] Heitz . F , Boutheymy . p
“Multi Model Estimation of Discontinous Opical Flow using Markov Random Fields”
IEEE . Trans . pattern . Anal . Machine Intell . VOL . 15 . No . 12 , pp . 1217 – 1232 , 1993
- [4] kruger . W , Enkelmann . w
“Real – time Estimation and Tracking of Optical Flow Vector for Obstacle Detection”
In proc . IEEE . Intelligent Vehicles , Detroit , MI , 304 – 309 , 1995

(۵) بوستان پور، مهدی

«ردیابی با استفاده از دید کامپیوتری» پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر سید علیرضا سیدین. دانشگاه فردوسی

مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، ۱۳۷۸