



مرکز توسعه فناوری نیرو (متن)



انجمن کامپیوتر ایران
Computer Society of Iran

کالیبراسیون دوربین در زمین فوتبال با استفاده از الگوریتم Simulated Annealing

دکتر حمیدرضا پوررضا

دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر

دانشگاه فردوسی مشهد

hpourreza@um.ac.ir

دکتر عابدین واحدیان

گروه مهندسی کامپیوتر

دانشگاه فردوسی مشهد

vahedian@um.ac.ir

هما فکور

گروه هوش مصنوعی

دانشگاه آزاد مشهد

Homa_fakoor@yahoo.com

در رابطه به کارهایی که در گذشته انجام گرفته اند می توان به کار [5]. Szeberg et al. اشاره نمود که وی در روش پیشنهادی خود تمام نقاط در زمین را معادل با نقاط موجود در تصویر قرار داده تا در نهایت بهترین تطابق را با مقایسه تعیین کرد. در کار [3]. Pourreza et al. به بررسی کالیبراسیون دوربین از طریق الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است.

هدف ما از انجام این پروژه اجرای الگوریتم تصادفی Simulated Annealing روی فریمهای ویدئویی فوتبال و استخراج ماتریس هموگرافی مربوط به کالیبراسیون دوربین می باشد. عملیات خود را در بخش های مختلف زیر تفصیل می نمایم: مروری بر کالیبراسیون دوربین، عملیات تکنیکی شامل تشخیص زمین بازی، تشخیص خطوط زمین و یافتن ماتریس هموگرافی و در نهایت اجرای الگوریتم SA.

۲- مروری بر کالیبراسیون دوربین

یک نقطه در فضای دو بعدی به صورت $m = [u, v]^T$ و در فضای سه بعدی به صورت $M = [X, Y, Z]^T$ تعریف می شود. از علامت \tilde{x} برای نمایش بردار اضافه با افزودن یک عنصر آخر استفاده می کنیم، بنابراین مختصات m و M به $\tilde{m} = [u, v, 1]^T$ و $\tilde{M} = [X, Y, Z, 1]^T$ تبدیل می گردند. در یک دوربین pinhole ارتباط بین نقطه سه بعدی M و تصویر آن به صورت زیر است:

$$s\tilde{m} = A[R \ t] \tilde{M} \quad (1)$$

S یک مقدار اختیاری بوده، (R, t) که پارامترهای خارجی نامیده می شوند، میزان چرخش و انتقالی است که سیستم مختصات جهانی را به سیستم مختصات دوربین مرتبط می سازد. A ماتریس داخلی دوربین می باشد که عبارت است از:

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

چکیده: در این مقاله به بررسی چگونگی کالیبراسیون دوربین در زمین فوتبال می پردازیم. زمین فوتبال در این مقاله به صورت مدلی بر اساس استاندارد فیفا در نظر می گیریم. الگوریتم پیشنهادی به دنبال ماتریس هموگرافی جهت تبدیل درستی بین دستگاه مختصات زمین بازی با فریم های دریافتی دوربین می باشد. برای کسب این ماتریس نیاز به تعیین نشانگرهایی در تصویر و زمین می باشیم. با توجه به این که این نشانگرها باید مکان هایی ثابت در زمین باشند از تقاطع خطوط در زمین برای حصول این نشانگرها بهره می بریم. این نقاط ورودی الگوریتم Simulated Annealing می باشند. این الگوریتم به دنبال بهترین تطابق بین نشانگرهای زمین و فریم می باشد. در این الگوریتم فریمهای مختلفی را امتحان نموده ایم که پاسخ خوبی را حاصل نموده اند.

واژه های کلیدی: کالیبراسیون دوربین، simulated annealing، تبدیل Hough، شناسایی زمین.

۱- مقدمه

با توجه به این که فوتبال یکی از پرطرفدارترین زمینه های ورزشی محسوب می شود، بسیاری از محققین در زمینه پردازش تصویر مطالعاتی را در این مورد انجام داده اند.

کالیبراسیون دوربین یکی از زمینه هایی است که کارهای زیادی روی آن انجام گرفته است. در این مقاله کار خود را روی کالیبراسیون دوربین در زمین فوتبال معطوف می سازیم. چنانچه اطلاعاتی از مختصات تصویر و مختصات نظیر این نقاط در زمین موجود باشد کالیبراسیون دوربین امری ساده تر خواهد شد لیکن چون اطلاعات دقیقی موجود نیست باید ابتدا سعی بر پیدا نمودن این نقاط نظیر نموده تا بتوان ماتریس هموگرافی خوبی را پیدا نمود.

۳- عملیات تکنیکی

با توجه به توضیحاتی که در قسمت قبل داده شد ورودی شناساگر SA چهار نقطه در زمین بازی و چهار نقطه در تصویر می باشد. چهار نقطه زمین با انتخاب دو خط از مجموع شش خط افقی و دو خط از مجموع هفت خط عمودی زمین و محاسبه نقاط تقاطع آنها می باشد. برای تصویر نیز چون در رابطه (۳) باید نقاط معادل با نقاط زمین منظور شود لازم است ابتدا به شناسایی خطوط در زمین بپردازیم. بنابراین عملیات خود را در بخش های زیر توضیح می دهیم.

۳-۱- شناسایی زمین بازی و استخراج خطوط

به دلیلی این که رنگ زمین در بازی های مختلف با توجه به نوع چمن، نورپردازی یا حتی زاویه دید دوربین ممکن است متفاوت باشد و حتی در طول یک بازی در امتداد فریم های گوناگون وضعیت مشابهی برای چمن زمین موجود نباشد، بنابراین عملیات شناسایی زمین بازی در طول فریم ها مرتباً اجرا می گردد.

با توجه به این مجموعه تغییرات، فضای رنگی باید انتخاب نمود که واکنش خوبی در این شرایط بتواند از خود نشان دهد. فضای رنگ HSV در این گونه موارد به دلیل توان محاسبه تغییرات رنگ و جدا سازی مناسبی که بین hue, saturation و brightness انجام می دهد، نتیجه خوبی را حاصل نموده است.

در این کار مقادیر سطوح هر یک را به صورت $N_H = 64$, $N_V = 256$ و $N_S = 64$ در نظر می گیریم. بنابراین هر هیستوگرام برای فریم i به صورت رابطه زیر تعریف می گردد.

$$Hist(H)_k; 0 \leq k < N_H, Hist(S)_k; 0 \leq k < N_S, Hist(V)_k; 0 \leq k < N_V, \quad (4)$$

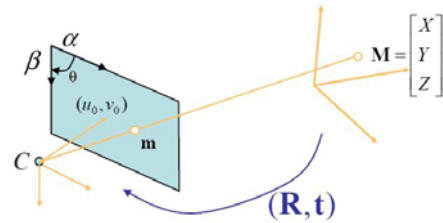
بعضی از مقادیر را نیز به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$\begin{aligned} & \text{PeakIndex}(\text{Hist}(V))=i, \text{ where } \\ & \text{Hist}(V)_i \geq \text{Hist}(V)_p \quad \text{for all } 0 \leq p < N_V \\ & \text{LeftBoundary}(\text{Hist}(V)) = j, \text{ where } \text{Hist}(V)_j = \text{Peak}(\text{Hist}(V)) \\ & \text{for } \text{PeakIndex}(\text{Hist}(V)) > j \geq 0 \\ & \text{RightBoundary}(\text{Hist}(V)) = k, \text{ where } \text{Hist}(V)_k = \text{Peak}(\text{Hist}(V))/20 \\ & \text{for } \text{PeakIndex}(\text{Hist}(V)) \leq k < N_V \quad (5) \\ & \text{LeftBoundary}(\text{Hist}(S)) = k, \text{ where } \text{Hist}(S)_k = \text{Peak}(\text{Hist}(S))/20 \\ & \text{for } \text{PeakIndex}(\text{Hist}(S)) > k \geq 0 \end{aligned}$$

(u_0, v_0) مختصات نقطه مرکزی می باشند، α و β فاکتورهای مقیاس در محورهای تصویر u و v هستند و Ψ پارمتری است که میزان انحراف در محور تصویر را مشخص می سازد. در شکل شماره ۱ نمونه ای از این مدل دیده می شود.

فرض می کنیم که صفحه مدل روی $Z=0$ از سیستم مختصات جهانی قرار گرفته باشد. اگر ستون i ام از ماتریس چرخش R را با τ_i نمایش دهیم از رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$



شکل (۱) مدل دوربین Pinhole

با توجه به این که Z را همواره برابر با صفر گرفته ایم بنابراین نقطه $M = [X, Y, 1]^T$ در صفحه مدل و در نتیجه $\vec{M} = [X, Y, 1]^T$ در نظر می گیریم. بنابراین یک نقطه مدل M و تصویر آن m با یک ماتریس همگرافی به هم مربوط می شوند.

$$s\vec{m} = H\vec{M} \quad \text{و} \quad H = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

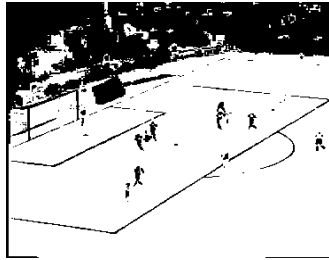
واضح است که ماتریس H یک ماتریس 3×3 خواهد بود [2,4]. در این مقاله سعی بر آن خواهیم داشت که به کمک تکنیک های تصویر پردازشی و الگوریتم Simulated Annealing ماتریس همگرافی H را تعیین نماییم تا بتوان رابطه درستی بین مختصات تصویر با زمین کسب نمود. به دلیل این که نقاط تعیین شده در زمین و تصویر باید از مجموعه نقاط مشخصی باشد، این نقاط را از بین نقاط تقاطع خطوط زمین انتخاب می نماییم. با انتخاب دو خط از مجموعه خطوط عمودی و دو خط از مجموعه خطوط افقی چهار نقطه تقاطع در زمین و تصویر حاصل خواهد شد که طبق روابط گذشته خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1 u_1 & -y_1 u_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1 v_1 & -y_1 v_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2 u_2 & -y_2 u_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2 v_2 & -y_2 v_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3 u_3 & -y_3 u_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3 v_3 & -y_3 v_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4 u_4 & -y_4 u_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4 v_4 & -y_4 v_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

همان نقاط مربوط به زمین می باشند. و (u_i, v_i) نقاط در تصویر می باشد [3].



الف



ب

شکل ۳ (الف) تصویر اصلی، (ب) نتیجه حاصل از اعمال الگوریتم پس از شناسایی محوطه زمین با به کارگیری فیلتر میانه و پر کردن فضاهای خالی از شکل ۳ (ب) شکل ۴ (تصویر خام زمین) حاصل خواهد شد.



شکل ۴ (تصویر زمین)

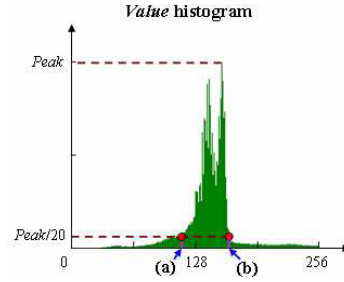


شکل ۵ خطوط استخراج شده از زمین

۳-۲- انتخاب نقاط ورودی الگوریتم

Simulated Annealing

پس از شناسایی خطوط موجود در فریم تصویر با به کارگیری تبدیل Hough به شناسایی خطوط راست موجود در فریم می پردازیم. در این حالت زوایای خطوط یافت شده و می توان بر اساس میزان زاویه، خطوط را به دو دسته افقی و عمودی در فریم ورودی تقسیم بندی نمود. به طور مثال خطوط با زوایای بین ۳۰ تا ۳۰ درجه را به عنوان



شکل ۲ (a) LeftBoundary(Hist(V)) ، (b)

RghitBoundary(Hist(V))

Peak(Hist(V)) بالاترین مقدار هیستوگرام است، PeakIndex(Hist(V)) شاخص محور قله را نشان می دهد. LeftBoundary(Hist(V)) شاخص محوری است که از PeakIndex(Hist(V)) تا ۰ تغییر می کند که مقدار آن مربوط به Peak(Hist(V))/20 در هیستوگرام مقدار می باشد. RightBoundary(Hist(V)) نیز مانند LeftBoundary(Hist(V)) باشد با این تفاوت که جهت جستجو از PeakIndex(Hist(V)) تا 256 تغییر می کند. LeftBoundary(Hist(S)) نیز مانند روش قبل است. یافتن RghitBoundary(Hist(V)) و LeftBoundary(Hist(V)) در شکل ۲ نشان داده شده است. با تعریف روابط بالا و استفاده از فضای رنگ RGB پیکسل هایی را که به زمین تعلق داشته را از رابطه زیر استخراج می نماییم.

$$Ground(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \left\{ \begin{array}{l} g > 0.95r, \quad r > 0.95b \quad \text{and} \\ LeftBoundary(Hist(V)) - \theta_1 < g \quad \text{and} \\ g < RightBoundary(Hist(V)) + \theta_2 \quad \text{and} \\ \frac{g-b}{g} \cdot N_g > LeftBoundary(Hist(S)) - \theta_3 \end{array} \right. \quad (6) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

در این رابطه مقادیر θ_1 ، θ_2 و θ_3 را به ترتیب برابر با ۱۰، ۵ و ۸ در نظر می گیریم. نتایج حاصل از این الگوریتم در شکل ۳ مشاهده می شود [1].

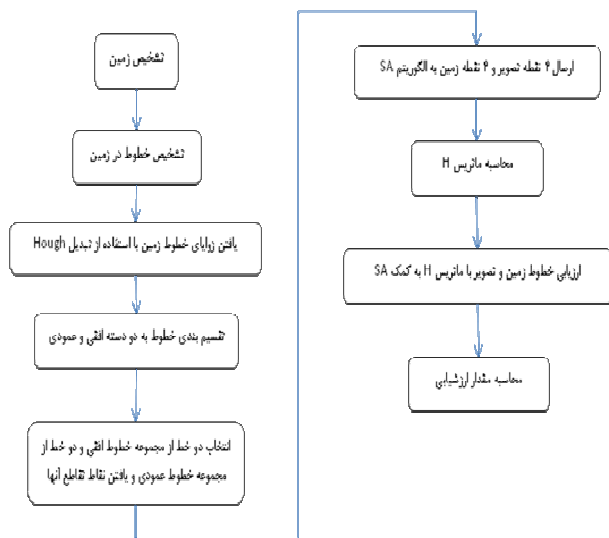
$$F = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H f(i, j)$$

$$fit = \begin{cases} counter = counter + 1, & F > 100 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$$fitness = \frac{fit}{length(frameline)} \quad (7)$$

۵- نتیجه گیری

الگوریتم خود را روی چندین فریم از بازی فوتبال انجام داده ایم. با توجه به این که الگوریتم، یک الگوریتم تصادفی می باشد بنابراین سعی خود را بر این دارد که بهترین ماتریس تطابق بین نقاط زمین و نقاط تصویر فریم فراهم آورد. با توجه به این که تجمع خطوط زمین عمدتاً در اطراف دروازه ها می باشد فریم هایی که مورد آزمایش قرار دادیم در محدوده دروازه می باشند. شکل ۸ نمونه ای از یک فریم همراه با خطوط استخراج شده از الگوریتم را نشان می دهد. به عنوان پیشنهادی برای آینده نیز در نظر است که ابتدا به شناسایی موقعیت زمین پردازیم چرا که کوچکتر نمودن محدوده جستجو احتمال رسیدن به جواب را سریعتر و بهتر می سازد. به طور مثال شناسایی دروازه چپ و یا راست بسیاری از خطوط اطراف دروازه مقابل را از محدوده اجرایی الگوریتم حذف می کند.



شکل ۷) فلوجارت عملیات انجام گرفته

خطوط افقی و بقیه را به عنوان خطوط عمودی در نظر می گیریم. برای انتخاب چهار نقطه ورودی الگوریتم از دسته خطوط عمودی و افقی هر کدام دو خط را انتخاب نموده و نقاط تقاطع آنها را با استفاده از معادله خط آنها هر چند که در فریم موجود نباشد پیدا می کنیم. نمونه ای از خطوط یافت شده را در تصویر زیر مشاهده می کنیم.



شکل ۶) خطوط استخراجی با تبدیل Hough (بسط داده شده)

۴- الگوریتم Simulated Annealing

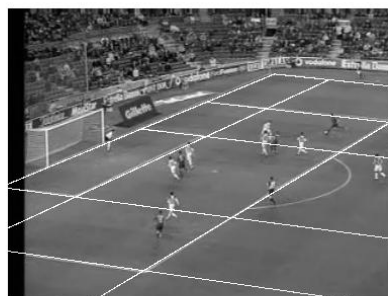
تا کنون مراحل که توضیح داده شد همه تکیه بر این داشتند که نقاطی از فریم و از زمین بازی انتخاب شوند. لیکن ماتریس هموگرافی زمانی درست عمل می نماید که نقاط انتخاب شده دقیقاً بر هم منطبق باشند. بنابراین کار الگوریتم Simulated Annealing انتخاب درست این نقاط و به دست آوردن بهترین ماتریس هموگرافی می باشد. مراحل انجام کار در فلوجارت شکل ۷ مشاهده می گردد.

برای ارزیابی کیفیت ماتریس حاصل شده، با دمای اولیه بالایی شروع می کنیم تا جوابه های اولیه اگر دارای شرایط خوبی هم بودند با احتمال $p = e^{-\frac{fitness - prefitness}{T}}$ مورد پذیرش قرار گیرند. در این کار دمای اولیه را $T=1000000$ انتخاب نموده ایم که به تدریج در طول برنامه کم می شود. در ابتدا تمامی خطوط زمین را با استفاده از ماتریس حاصل به مختصات فریم تبدیل می کنیم و سپس خطوط حاصل را با دو معیار می سنجم.

- ۱- زوایا و فواصل خطوط به دست آمده از تبدیل Hough را محاسبه می کنیم و با زوایا و فواصل خطوط استخراجی از فریم مقایسه می نماییم. چنانچه مقدار تشابهی بیش از یک حد آستانه (که در اینجا آن را بیش از ۰.۸ قرار داده ایم) داشت به معیار دوم می رویم.
- ۲- در این بخش پیکسل های خطوط به دست آمده پس از تبدیل با H را با پیکسل های خطوط استخراجی از فریم مقایسه می کنیم. با توجه به این که خطوط تبدیل شده را یک به یک مورد سنجش قرار می دهیم، تعداد طول خط تشابهی بیش از ۱۰۰ واحد را به عنوان خروجی این مرحله باز می گردانیم.

$$f(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } frameline(i, j) = 1 \text{ and } transline(i-1, i+1, j-1, j+1) = 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- [1] Ilkoo Ahn & Changick Kim, "Ground color customization of soccer videos", IEEE, 978-1-4244-2110-7, 2007.
- [2] Zhengyou Zhang, "A Flexible New technique for camera calibration", Microsoft Corporation, last updated on Aug. 2008.
- [3] Reza Pourreza & Morteza Khademi & Hamidreza Pourreza & Habib Rajabi, "Robust camera calibration of soccer video using genetic algorithm", IEEE, 978-1-424-2673-7, 2008.
- [4] Qihe Li & Yupin Luo, "Automatic camera calibration for images of soccer match", world academy of science, engineering and technology, 2005.
- [5] Flavio Szenberg, Paulo Cezar Pinto Carvalho, Marcelo Gattass, "Automatic Camera Calibration for Image Sequences of a Football Match", in Proc of the Second International Conference on Advances in Pattern Recognition, 2001.



شکل ۸) نمونه ای از خطوط به دست آمده دارای بهترین تطابق

مراجع