



ارائه روشی جدید در به هم پیوستن تصاویر به روش استیچر و کاربردهای آن در تهیه تصاویر ویدئویی وسیع

دکتر شهریار برادران شکوهی
دانشگاه علم و صنعت ایران
bshokouhi @iust.ac.ir

دکتر غلامعلی رضایی راد
دانشگاه علم و صنعت ایران
rezai@iust.ac.ir

غلامرضا اکبری زاده
دانشگاه علم و صنعت ایران
g.akbari@gmail.com

واژه‌های کلیدی: *Image stitching, panoramic image*

1- مقدمه

در سالهای اخیر، فیلم برداری اینترنتی برای مقاصد پژوهشی همانند کاربردهای تجاری رایج شده است. یکی از معمولترین انواع فیلم اینترنتی، فیلم (تصویر) با حوزه دید وسیع می‌باشد که آن را فیلم پانورامیک³ می‌گویند. فیلم پانورامیک به کاربر این امکان را می‌دهد که بتواند جهت دید را همانند اعمال بزرگنمایی⁴ و کوچک کردن⁵ در منظره، تغییر دهد.

یک تصویر پانورامیک را می‌توان با اتصال یک سری تصاویری که دارای بخش‌های مشترک بوده و توسط یک دوربین

چکیده: در این مقاله طراحی و پیاده‌سازی روش اتصال تصاویر¹ را که برای متصل نمودن تصاویر رنگی استفاده می‌شود، بررسی می‌کنیم. تصاویر طی دو مرحله به هم متصل می‌گردند. مرحله اول شامل ثبت کردن دو تصویر با به کارگیری روش مینیمم قدرمطلق فاصله می‌باشد. مرحله دوم؛ کنتراست تصاویر به هم پیوسته را با به کارگیری روش درونیابی خطی از اختلاف شدت بین دو تصویر، تنظیم می‌کند. سپس تصاویر توسط روش استیچر²، به هم متصل شده و یک تصویر واحد حاصل می‌شود. روش استیچر را می‌توان برای کاربردهای مختلفی از جمله افزایش دامنه دید، فیلمبرداری ساختاری و سایر کاربردهای جدید علمی و پژوهشی به کار برد.

³ Panoramic movie
⁴ Zoom in
⁵ Zoom out

¹ Image Stitcher
² Stitcher

فیلمبرداری گرفته شده‌اند ایجاد نمود. تصاویر پس از اخذ شدن توسط دوربین، با استفاده از الگوریتم **استیچر** به هم متصل می‌شوند و تصویر پانورامیک را به وجود می‌آورند. مشکلاتی اساسی و عمده‌ای که در اتصال یک سری تصویر به هم وجود دارد، عبارتند از

1- نامیزان بودن تصاویر (تصاویر در راستای هم نباشند)

2- شکل‌گیری لبه‌های نوک تیز در تصویر نهایی در اثر یکنواخت نبودن شدت رنگ بین تصاویر.

فیچر⁶های مورد نیاز برای اجرای الگوریتم **استیچر** شامل اعمال دقت در به هم متصل نمودن تصاویر، داشتن امکان تنظیم رنگها، داشتن عملکرد و کاربرد ساده و داشتن انعطاف در کاربرد آن می‌باشد.

الگوریتم‌های **استیچر** تجاری امروزی، روشهای متصل نمودن تصاویر به یکدیگر را شرح نمی‌دهند و همچنین از لحاظ کاربرد و نوع توابعی که به کار می‌برند، محدود می‌باشند. شناخت روش‌های **استیچر** جهت ارزیابی عملکرد، لازم و ضروری است.

تبدیل نمود. این عمل یکی دیگر از کاربردها و امکانات الگوریتم **استیچر** می‌باشد.

در این مقاله روش‌های به کار گرفته شده در پیاده‌سازی الگوریتم **استیچر** جدید را شرح و ارائه می‌دهیم تا مفاهیم دقیق **استیچر** را درک نماییم.

2- متصل کردن تصاویر

فرآیند متصل نمودن تصاویر کوچکتر که دارای بخش‌های مشترک با هم نیز می‌باشند و تبدیل آنها به تصاویر بزرگتر، از سال 1950 دنبال شد. [1] این فرآیند را موزائیک تصویر نامیدند. این روش سپس برای اتصال تصاویر هوایی به یکدیگر به صورت دستی استفاده شد. امروزه با به کارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای جدید، پروسه موزائیک تصویر را می‌توان در کسر کوچکی از زمان و با نتایج بهتر نسبت به قدیم اجرا نمود. در این قسمت؛ یک روش ویژه برای اجرای عمل پردازش موزائیک تصویر بر روی یک مجموعه از تصاویر رنگی گرفته شده توسط دوربین، شرح داده می‌شود.

2-1- ثبت تصویر

برای به دست آوردن یک تصویر بزرگتر از اتصال یک سری تصویر که با هم بخش‌های مشترک دارند، ابتدا می‌بایست مکان دقیقی را که در آنجا رویهم افتادگی¹⁰ وجود دارد در تصویر پیدا کنیم؛ تا بتوان تصاویر را به هم متصل نمود. این فرآیند که ثبت تصویر¹¹ نامیده می‌شود را می‌توان به چند روش اجرا نمود. فرآیندی که ما در **استیچر** خود برای ثبت تصویر استفاده کرده‌ایم، بر مبنای **مینیم قدرمطلق فاصله** می‌باشد.

در این مقاله، یک روش **استیچر** جدید را طراحی و پیاده‌سازی نموده‌ایم. این روش یک سری تصویر اخذ شده توسط دوربین را به هم متصل نموده و یک تصویر با دید وسیع⁷ را شکل می‌دهد. روش **استیچر** خصوصاً برای تنظیم نمودن رنگهای تصاویر پیاده‌سازی می‌شود تا در هنگام حرکت از یک تصویر به تصویر دیگر، تغییرات بسیار به آهستگی انجام شود. تصویر پانورامیک حاصل را می‌توان با به کارگیری الگوریتم حوزه عمومی⁸، به یک تصویر ویدئویی با دید وسیع⁹

به دلیل خاصیت تصاویر پانورامیک، بهتر است که برای رسیدن به بازدهی بیشتر در الگوریتم، عمل اسکن کردن از یک تصویر به تصویر دیگر در جهت افقی (حرکت بر روی ستونهای تصویر) انجام شود. لذا باید توجه داشت که یک شیفت عمودی کوچک هم در گرفتن تصاویر باید به عنوان خطا در نظر گرفته شود.

در طراحی این نرم افزار این پیش فرض در نظر گرفته شده که تصاویر در جهت حرکت عقربه های ساعت اخذ شده اند. بنابراین می بایست قسمت راست از تصویر k ام با قسمت چپ از تصویر $k+1$ ام یکسان در نظر گرفته شوند.

حال فرض کنید که Ik تصویر k ام از یک مجموعه از تصاویر بوده و $Wk(x,y)$ یک پنجره تعریف شده بر روی تصویر Ik می باشد که مرکز این پنجره در مکان (x,y) از تصویر Ik واقع شده است. روشی که برای پیدا کردن پاسخ حاصل از اعمال پنجره بر روی تصویر $Ik+1$ به کار برده شده است، به این صورت است که یک مکان (u,v) در تصویر $Ik+1$ پیدا می کنیم به طوریکه قدرمطلق فاصله $D(u,v)$ از این مکان بین $Wk(x,y)$ و $Wk+1(u,v)$ مینیمم گردد. نحوه محاسبه $D(u,v)$ بین دو پنجره به صورت زیر محاسبه می شود:

$$D(u,v) = \sum_{(i,j)} |Wk(x+i,y+j) - Wk+1(u+i,v+j)| \quad (1)$$

در فرمول (1) برای داشتن بازدهی بیشتر به جای استفاده از معیار مربع خطا، از مقدار قدرمطلق استفاده شده است. نحوه عملکرد الگوریتم به این صورت است که در مکانی (همان مکان (u,v)) که قدرمطلق فاصله مینیمم می گردد، $Wk(x,y)$ با $Wk+1(u,v)$ برابر شده و بنابراین می توان Ik را با یک انتقال افقی به اندازه $x-u$ و یک انتقال عمودی به اندازه $y-v$ به $Ik+1$ متصل نمود. برای پیدا کردن بهینه ترین انتقال ممکن، چندین مکان اولیه (x,y) مورد استفاده قرار می گیرند.

سایز نسبی پنجره W در مقایسه با سایز تصویر یکی از فاکتورهای مهم در این روش می باشد. چه بسا اگر اندازه پنجره مورد استفاده بسیار بزرگ باشد، محاسبات مربوط به یافتن فاصله کند و زمان بر می گردد و اگر اندازه پنجره بسیار کوچک انتخاب گردد، در آن صورت دیتای کافی در پنجره برای یافتن

یک مکان واقعی شامل بخش های مشترک در دو تصویر، وجود نخواهد داشت.

فاکتورهای دیگری که باید لحاظ شوند، مکانهای اعمال پنجره های انتخاب شده Wk هستند. اگر Wk در یک ناحیه همگن اعمال شود، عمل پیدا کردن مینیمم قدرمطلق فاصله به یک راه حل بهینه نخواهد انجامید. بنابراین عموماً Wk را باید در ناحیه ای انتخاب کرد که تصویر کمترین حالت همگن را داشته باشد. همچنین Wk را باید در ناحیه ای اعمال کرد که دو تصویر Ik و $Ik+1$ با هم بخش مشترک داشته باشند. در غیر اینصورت اگر موارد فوق رعایت نشوند، محاسبات مربوط به یافتن مینیمم قدرمطلق فاصله نتیجه دقیقی در بر نخواهد داشت. اطلاع از زاویه چرخش دوربین نیز می تواند به عنوان معیاری برای مکانهای شروع Wk استفاده شود.

در صورت لحاظ کردن تمامی فاکتورهای گفته شده در بالا، اولین پنجره Wk رو به سمت راست تصویر قرار گرفته و به صورت عمودی در وسط تصویر قرار می گیرد. این مکان با این فرض انتخاب می شود که تصاویر در جهت حرکت عقربه های ساعت گرفته شده اند و بنابراین قسمت راست تصویر Ik با قسمت چپ تصویر $Ik+1$ بخش مشترک خواهد داشت. اولین پنجره Wk همانطور که گفتیم به صورت عمودی در مرکز تصویر قرار داده می شود؛ زیرا می توان اینطور فرض کرد که همگنی کمتری در مرکز تصویر وجود دارد.

برای مثال، برای یک فیلم که شامل مجموعه ای از 24 تصویر با رزولوشن $160 * 256$ می باشد، اندازه Wk تقریباً حدود 128 * 80 انتخاب می شود. این فیلم نیز می تواند توسط یک دوربین با اندازه لنز 35 میلیمتر گرفته شده باشد. یک پنجره با چنین اندازه ای، به علت داشتن نواحی مشترک بین تصاویر به اندازه کافی بزرگ است که بتواند یک مکان قابل تطبیق واقعی را بدون نیاز به محاسبات زیاد پیدا کند.

$Wk+1$ در یک محدوده مشخص از تصویر $Ik+1$ برای پیدا کردن مختصات (u,v) در $Ik+1$ ، شیفت داده می شود تا مختصاتی که در آن D مینیمم می شود، به دست آید. محدوده ای که برای شیفت دادن ویندو $Wk+1$ تعیین می شود، در جایی از تصویر $Ik+1$ انتخاب می شود که احتمال وجود

تصویر بخش‌های مشترک زیادی داشته و همچنین شدت دو تصویر با هم متفاوت است. شکل (3)، تصویر حاصل از اعمال الگوریتم ثبت تصویر را بر روی دو تصویر (1) و (2) نشان می‌دهد.



شکل (1): تصویر ورودی اول



شکل (2): تصویر ورودی دوم

بخش مشترک از تصاویر در آنجا بیشتر است. این ناحیه توسط یک سطح آستانه افقی H و یک سطح آستانه عمودی V محدود می‌شود. بنابراین مقادیر مختصاتی u و v را می‌توان از مینیمم کردن رابطه زیر محاسبه و تعیین نمود:

$$D(u, v) = \min_{x-H \leq i \leq x+H, y-V \leq j \leq y+V} \{D(i, j)\} \quad (2)$$

کاربرد الگوریتم ثبت تصویر عموماً برای کانال روشنایی تصاویر ورودی جهت کاهش زمان پردازش می‌باشد. این امر به این دلیل است که کانال روشنایی دارای اطلاعات کافی برای منطبق کردن فیچرها می‌باشد. هرچند اگر در شدت دو تصویر به اختلاف زیادی وجود داشته باشد، هنگام اتصال دو تصویر به هم؛ ممکن است که یک انطباق نادرست انجام شود.

برای اصلاح خطای حاصل از اختلاف شدت بین دو تصویر، الگوریتم آشکارسازی لبه بر روی تصاویر اصلی انجام می‌شود. با توجه به خصوصیت تصاویر هوایی یک عملگر ساده مانند سابل¹² برای الگوریتم تشخیص لبه کافی است. لذا از بین الگوریتم‌ها و عملگرهای مختلفی که وجود دارد، چنین به نظر می‌رسد که تشخیص لبه سابل¹³ برای پیاده‌سازی اهداف ما کفایت می‌کند.

برای تبدیل تصویر به یک تصویر لبه‌ای (باینری)، الگوریتم تشخیص لبه سابل بر روی کانال روشنایی تصاویر اعمال می‌گردد. سپس الگوریتم ثبت تصویر همانند فرآیندهای قبل بر روی تصاویر لبه‌ای باینری اعمال می‌شود. این مرحله انطباق‌های نادرستی که در اثر تفاوت‌های موجود در شدت تصاویر ایجاد می‌شود را حذف می‌کند.

شکل‌های (1) و (2) یک زوج تصویر ورودی به الگوریتم اتصال تصاویر می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌کنید این دو

¹² sobel

¹³ sobel edge detection

و هم اینکه پیاده‌سازی آن سریعتر است و بر روی تصاویر لبه‌ای به خوبی کار می‌کند

2-2- تنظیم رنگ¹⁴

فرآیند اتصال ساده تصاویر به یکدیگر برای تولید یک تصویر وسیعتر، کافی نیست زیرا اختلاف شدت بین تصاویر به هم متصل شده در مواقعی آنقدر زیاد است که قابل چشم پوشی نیست. لذا برای کاهش اختلاف شدت بین تصاویر می‌بایست راهی را اتخاذ نمود تا لبه مشخصی که در محل اتصال بین دو تصویر به وجود می‌آید، حذف گردیده و انتقال از یک تصویر به تصویر بعدی به آهستگی و نرمی صورت پذیرد.

در مرجع [7] روشی برای اتصال یک زوج تصویر ماهواره‌ای غیر رنگی (در سطح خاکستری) شرح داده شده است. در حالت استاندارد با نمونه برداری حدود 25 یا 30 فریم بر ثانیه، چیزی حدود 10 تا 20 (یا بیشتر) تصویر را می‌بایست به هم متصل نمود. در چنین حالتی با مقدار قابل ملاحظه‌ای اختلاف در شدت بین تصاویر ورودی، مواجه هستیم. بنابراین در هنگام اتصال تصاویر به هم می‌بایست دقت بیشتری را لحاظ کنیم تا تصویر پانورامیک حاصل، یک تصویر بکناخت شود.

در پیاده‌سازی الگوریتم تنظیم رنگ روشهای متعددی بر روی تصاویر در هر دو مدل RGB و YIQ استفاده شده است. هرچند تا اینجا نتایج حاصل از روشهایی که به کار برده‌ایم چندان رضایتبخش نبوده است. لذا خواننده می‌تواند روشهای دیگری را برای تنظیم شدت در تصاویر در ادامه این مقاله بررسی کند. شرح روشی که تا این مرحله از تحقیق بهترین نتیجه را داده است به صورت زیر است:

ابتدا در تصویر حاصل دو ستونی را که اختلاف ناگهانی بین آنها وجود دارد، پیدا می‌کنیم. این دو ستون همان ستونهای



شکل (3): شکل خروجی حاصل از اعمال الگوریتم ثبت تصویر بر روی شکلهای (1) و (2)

در این پردازش، از روش مینیمم قدرمطلق فاصله به عنوان یک معیار جهت انطباق تصاویر بر روی یکدیگر استفاده شده است. به کارگیری این روش دو خاصیت عمده دارد؛ اول اینکه پیاده‌سازی این روش، ساده‌تر است و دوم اینکه محاسبات مربوط به آن ساده‌تر است. به جای این روش، می‌توان از روش مینیمم مربع فاصله نیز استفاده کرد که نتایج یکسانی را در بر خواهد داشت اما پیاده‌سازی این روش زمان بیشتری را نیاز دارد. لذا برای پیاده‌سازی الگوریتم انطباق تصاویر روش مینیمم قدرمطلق فاصله را به عنوان یک معیار بهینه و مفید می‌پذیریم.

همانطور که پیشتر گفته شد، در پیاده‌سازی الگوریتم ثبت تصویر این فرض در نظر گرفته شده است که وقتی قدرمطلق فاصله بین $Wk(x,y)$ و $Wk+I(u,v)$ مینیمم شود، معادل این است که نقاط (x,y) و (u,v) با هم برابر هستند. به دلایل مختلفی این فرض ممکن است که برای همه مواقع، صحیح نباشد. یکی از این دلایل ممکن است اختلاف شدت بین تصاویر ورودی در اثر تابش نور خورشید، نوردهی دوربین و غیره باشد. اما علیرغم همه این موارد، این روش هم ساده است



شکل (4): خروجی حاصل بعد از اعمال الگوریتم تنظیم رنگ

3- نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتمی برای به هم پیوستن تصاویر به یکدیگر و ایجاد یک تصویر پانوراما ارائه شد. الگوریتم فوق قادر است تصاویری که با فیلمبرداری از یک ناحیه تهیه شده به هم متصل نماید. این الگوریتم دو روش ثبت تصویر برای اتصال موفق تصاویر به یکدیگر و تنظیم رنگ برای تنظیم نمودن رنگ در سرتاسر تصویر را پیاده سازی و اجرا می نماید. در مرحله ثبت تصویر از روش مینیمم قدرمطلق فاصله به عنوان معیاری برای انطباق بخش های مشترک تصاویر در این الگوریتم استفاده شده است. در این قسمت از روش سابل برای تشخیص لبه و ایجاد یک تصویر باینری جهت اعمال الگوریتم روی تصاویر استفاده می شود. به این ترتیب می توان تصاویری که در شب و روز گرفته شده است و شدت رنگ آنها با هم متفاوت می باشد را نیز به یکدیگر متصل نموده و یک تصویر با شدت یکنواخت را به دست آورد.

تقدیر و تشکر

در پایان از مرکز تحقیقات مخابرات ایران جهت پشتیبانی و حمایت مالی از این مقاله و نیز از مدیریت عامل مؤسسه DSP جناب آقای مهندس لشگریان در تامین منابع و حمایت مالی جهت ارائه این مقاله در کنفرانس تشکر و قدردانی می کنم.

مراجع

[1] American society of photogrammetry, Manual of photogrammetry, 2nd ed. Wisconsin: George Banta

محل اتصال در تصویر نتیجه هستند. سپس با به کارگیری مدل رنگ RGB بین دو تصویر Ik و $Ik+1$ یک درونیابی خطی برای اختلاف بین ستونهای محل اتصال این دو تصویر پیدا می کنیم.

جزئیات بیشتر این روش را در زیر بررسی می کنیم. از قسمت 1-2 با به کارگیری الگوریتم تشریح شده ناحیه های مشترک در تصاویر را پیدا می کنیم. اطلاعات استخراج شده از این مرحله، سهم هر یک از تصاویر ورودی را در تشکیل تصویر نهایی تعیین می کند. فرض کنید که Ik اولین ستون از سمت چپ و rk اولین ستون از سمت راست تصویر نهایی Ik باشد. در اینصورت رابطه زیر را در نظر بگیرید:

$$Ek(s) = Ik(s, rk) - Ik+1(s, Ik+1) \quad (3)$$

که در این رابطه، $Ek(s)$ اختلاف شدت بین دو ستون rk و $Ik+1$ می باشد. هدف از اجرای الگوریتم تنظیم رنگ (color adjustment) این است که اختلاف شدت لبه $Ek(s)$ که در اثر اتصال دو تصویر ایجاد شده، تا حد ممکن برای بیننده حذف شود.

روشی که در این قسمت اجرا شده، انتشار خطی $Ek(s)$ در سرتاسر همسایگی مورد نظر است، تا اینکه تغییر در شدت تصویر کم شده و اثر آن ناچیز گردد. حال فرض کنید که N اندازه همسایگی تعریف شده باشد. در اینصورت $Ek(s)$ در سرتاسر N پیکسل از سمت چپ و راست محل اتصال انتشار داده می شود. با توجه به اینکه $Ek(s)$ به شکل خطی در طول $2N$ ستون منتشر می شود، اثر $Ek(s)$ در هر ستون به میزان $ek(s)$ از ستون قبلی بیشتر خواهد شد که $ek(s)$ از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$ek(s) = \frac{1}{2N} Ek(s) \quad (4)$$

تفاوت در شدت رنگ نیز در طول Ik و $Ik+1$ به روش تشریح شده در زیر منتشر می شود:

$$\begin{aligned} Ik(s, rk-h) &= Ik(s, rk-h) - (N-h)ek(s) \\ Ik+1(s, Ik+1+h) &= Ik+1(s, Ik+1+h) + (N-h)ek(s) \end{aligned}$$

این روش قادر است که انتقال از یک تصویر به تصویر بعد را هموار نماید. خروجی این روش در شکل (4) نشان داده شده است.

publishing co., 1952.

[2] K. R. Castleman, *Digital image processing*, New Jersey: Prentice Hall, 1996.

[3] S. E. Chen, "QuickTime VR - An image based approach to virtual environment navigation", *Proc. SIGGRAPH*, pp. 29-38, 2003.

[4] S. E. Chen, "View interpolation for image synthesis", *Proc. SIGGRAPH*, pp.279-285, 1993.

[5] P. Courtney, Neil Thacker and Adrian Clark, "Algorithmic modelling for performance evaluation", *Workshop on performance Characteristics of vision algorithms*, April 1996.

[6] R. Klette and P. Zamperoni, "Handbook of image processing operators", Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

[7] D. Milgram, "Computer methods for creating photomosaics", *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-24, pp. 1113-1119, Nov. 1975.

[8] D. Milgram, "Adaptive techniques for photomosaicking", *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-26, pp. 1175-1180, Nov. 1977.

[9] S. Peleg and J. Herman, "Panoramic mosaics by manifold projection", *Proc. CVPR*, Jun. 1997.

[10] S. Salmond, "Image stitcher",
<http://m3r.tcs.auckland.ac.nz/~ssal002>.

[11] I. Pitas, "Digital Image Processing Algorithms And Applications", Aristotle University of Thessaloniki, John Wiley & sons, Inc, 2000.

[12] T. R. Reed, "Digital Image Sequence Processing, Compression and Analysis", University of Hawaii at Manoa, CRC Press, 2005.

[13] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing", Second Edition, Prentice Hall, 2002.

[14] B. Jahne, "Image Processing for Scientific and technical applications", University of Heidelberg, CRC Press, 2004.