

عصر برق ۱

ASR-E-BARQ

فصلنامه علمی، آموزشی، پژوهشی
انجمن مهندسين برق و الكترونيك ايران
سال نخست • شماره ۱ • پاييز ۱۳۹۲
قيمت ۵۰۰۰ تومان



نگاهی به چالش‌های آب و برق / توسعه ظرفیت نیروگاهی کشور توامان با استفاده از بیع متقابل
باز انگاری در اقتصاد یارانه‌ای / بررسی روش‌های برقراری ارتباط بدون سیم در شبکه‌های نسل آینده
مخابرات مولکولی / امکان‌سنجی فن‌آوری‌های مختلف تولید سلول‌های خورشیدی



کلید واژه: سیستم واسط بین انسان و ماشین (HMI)، تشخیص شکل، بخش بندی تصویر، فیلتر همومورفیک

روشی جدید برای ارتباط بین انسان و ماشین

بر پایه پردازش تصویر و کاربرد آن در توسعه یک سامانه اطلاع رسانی کاربردی

۱- مقدمه

وظیفه یک سیستم واسط بین انسان و ماشین^(۱) (HMI) انتقال فرآیند کاربر به ماشین می باشد. از این منظر، HMI-ها گستره وسیعی از سیستم‌ها از صفحه کلید ساده کامپیوتر تا دسته هدایت پرواز در کابین خلبان را شامل می شوند.

در سال‌های اخیر، محققین تلاش گسترده‌ای در زمینه توسعه HMI-های زیستی و فیزیولوژیک داشته‌اند؛ که از آن جمله می توان به سیستم‌های مبتنی بر پردازش سیگنال EEG [۱] اشاره نمود. وجه مشترک سیستم‌های اخیر در استفاده حداقلی از تجزیهات جانبی برای درک فرامین کاربر می باشد. در این میان، استفاده از پردازش تصویر برای تشخیص وضعیت بدن [۲، ۳]، وضعیت چشم [۴] و یا حالت لب [۵] کاربر مورد توجه بوده است.

به طور کلی، ارزیابی حرکات انسان با استفاده از پردازش تصاویر ویدیویی می تواند منجر به صرفه جویی در زمان و هزینه گردد [۶].

در این مقاله، برای برقرار ارتباطی هوشمندانه بین انسان و ماشین، سیستمی مبتنی بر بینایی کامپیوتری ارائه شده است. قبلاً محققین در کارهای دیگری نیز از بینایی ماشین برای برقرار ارتباط با ماشین سود جستند. به عنوان مثال، Fukumoto و همکاران [۲] با استفاده از محاسبه جهت قرارگیری انگشتان و دست توانسته‌اند رابطی میان انسان و کامپیوتر ایجاد نمایند.

همچنین Wren و همکاران [۳] از مدلی دو بعدی بدن و دست‌ها برای این منظور استفاده نموده‌اند. در سیستم پیشنهادی، با تشخیص موقعیت ایستادن کاربر در مقابل دوربین دستور مورد نظر وی تشخیص داده می شود. به این ترتیب که بر روی زمین و در مقابل دوربین یک صفحه شاخص (شکل ۱ را ببینید) نصب می گردد.

بر روی صفحه شاخص تعداد پنج دکمه مجازی برای چهار دستور مجزا در نظر گرفته شده است (یک دکمه بی اثر می باشد). با قرار گرفتن کاربر بر روی هر دکمه سیستم به صورت خودکار دستور متناظر با آن دکمه را اجرا خواهد نمود. ما از روش پیشنهادی برای توسعه یک سامانه اطلاع رسانی در محیط Microsoft Power Point استفاده کرده ایم. در این سیستم، کاربر می تواند با انتخاب دکمه

سهیل اخلاقی امیری / دانشکده مهندسی / دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد / ایران / s.akhlaghiamiri@gmail.com
مهدی سعادت‌مند طرزجان / مرکز پژوهشی مهندسی پزشکی / دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد / مشهد / ایران / saadatmand@um.ac.ir

در این مقاله، یک سیستم جدید برای ارتباط بین ماشین و انسان (HMI) بر مبنای پردازش تصویر ارائه شده است. در سیستم پیشنهادی، فرآیند مورد نظر کاربر بر اساس موقعیت قرارگیری وی در مقابل دوربین اجرا می شود. به این ترتیب که یک صفحه شاخص شامل تعدادی دکمه مجازی در مقابل دوربین قرار گرفته و سیستم پیشنهادی با پردازش شکل دکمه‌های مجازی، موقعیت کاربر بر روی صفحه شاخص را تشخیص می دهد. همچنین، در این مقاله، برای تشخیص شکل دکمه‌ها، یک الگوریتم تشخیص شکل جدید بر پایه پردازش تغییرات زاویه لبه ارائه شده است.

الگوریتم پیشنهادی در برابر انتقال و تغییرات نور صحنه مقاوم می باشد. از روش HMI پیشنهادی برای توسعه یک سامانه اطلاع رسانی کاربردی در محیط Microsoft Power Point استفاده شده است؛ به طوری که کاربر با ایستادن بر روی دکمه‌های مجازی مناسب می تواند چهار فرمان مختلف شامل نمایش فایل بعدی، نمایش فایل قبلی، نمایش اسلاید بعدی و نمایش اسلاید قبلی را در محیط مذکور اجرا نماید. نتایج تجربی بیانگر عملکرد مناسب و کارایی سیستم پیشنهادی در شرایط نوری مختلف می باشد.

به آن دکمه، اجرا خواهد شد. در ادامه مقاله، در بخش (۲)، الگوریتم پیش‌پردازشی مورد استفاده برای ایجاد تصویر لبه شرح داده خواهد شد. بخش (۳) به شرح الگوریتم تشخیص شکل پیشنهادی اختصاص یافته است. در بخش (۴)، نتایج تجربی ذکر گردیده و در نهایت، بخش (۵) به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲- پیش‌پردازش

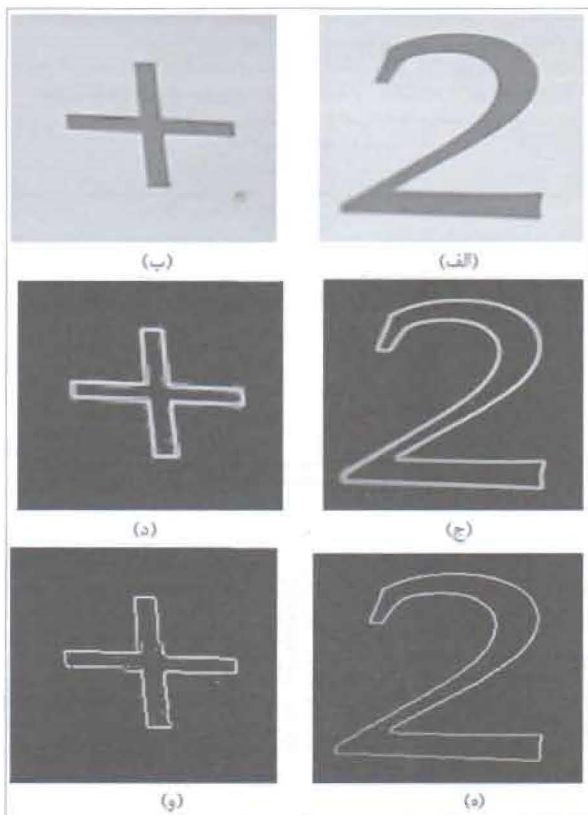
می‌دانیم که لبه‌ها مهمترین ویژگی سطح پایین توصیف کننده شکل در تصویر می‌باشند [۱۵]. لذا، با پردازش لبه‌ها می‌توان به توصیف مناسبی از شکل دست یافت. برای ایجاد تصویر لبه، ابتدا با استفاده از فیلتر گوسی نویز تصویر تضعیف می‌شود.

برای محاسبه گرادیان تصویر از فیلتر Sobel استفاده شده است. به طور کلی، اندازه و زاویه بردار گرادیان در هر پیکسل از تصویر $R \rightarrow g(x,y)$ ، به ترتیب، مطابق معادله‌های زیر محاسبه می‌گردد:

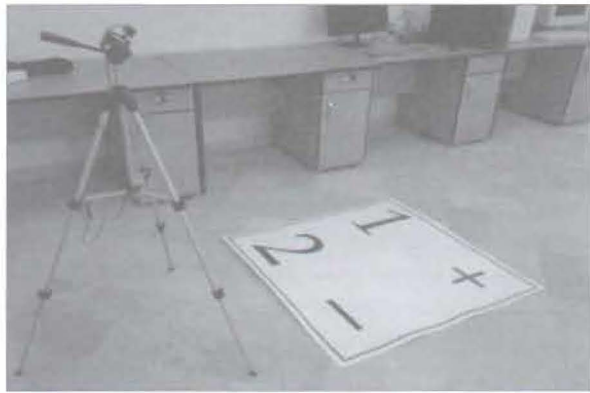
$$\|\nabla g(x,y)\| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

$$\varphi(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{g_x}{g_y}\right) \quad (2)$$

به عنوان مثال، در شکل (۲)، اندازه گرادیان برای تصویری از صفحه شاخص نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، لبه‌ها



شکل ۲- (الف)، (ب) تصویر دو دکمه مجازی در صفحه شاخص و (ج)، (د) تصاویر اندازه‌گردان حاصل از اعمال فیلتر سوبل بر آنها و (ه)، (و) تصاویر نازک‌سازی شده متناظر با استفاده از روش NMS



شکل ۱- نمایشی از سیستم HMI پیشنهادی شامل صفحه شاخص و دوربین

مجازی مناسب فایل مورد نظر خود را در نرم افزار مربوطه بارگذاری نموده و یا اسلایدهای آن را به دلخواه نمایش دهد. کاربری سیستم پیشنهادی ساده و جذاب بوده و نیازمند بکارگیری تجهیزات خاص (مانند صفحه کلید، دسته یا ماوس) نمی‌باشد.

در سیستم پیشنهادی، برای تشخیص دکمه‌های مجازی (رسم شده بر روی صفحه شاخص) به صورت مقاوم در برابر تغییرات نور محیط و جابجایی، از یک الگوریتم جدید بر پایه ویژگی شکل استفاده شده است. به طور کلی، تشخیص شکل یکی از مباحث مهم در حوزه پردازش تصویر می‌باشد. معمولاً روش‌های تشخیص شکل از ویژگی‌های سطح پایین مانند روشنایی پیکسل‌ها و یا ویژگی‌های سطح بالاتر از قبیل مرز [۷]، خطوط [۸]، گوشه‌ها [۹] و ناحیه [۱۰] استفاده می‌نمایند. به عنوان مثال، Anuar و همکاران [۱۰] از ممان‌های زرنیک برای توصیف شکل استفاده نموده‌اند. ممان‌های زرنیک نسبت به دوران نامتغیر بوده اما وابسته به تغییر مقیاس و انتقال می‌باشند.

Wei و همکاران [۱۱] با نگاشت تصویر ورودی بر دایره‌ای با شعاع مشخص، روشی برای حل مشکل فوق پیشنهاد نموده‌اند.

در کار دیگری، Wei و همکاران [۱۲] از انتقال تمام نواحی تصویر به فضای قطبی-شعاعی برای بهبود عملکرد ممان‌های زرنیک استفاده نموده‌اند. همچنین، تحقیقات متعددی نیز بر مبنای ویژگی‌های سطح بالا برای توصیف شکل انجام شده است.

به عنوان مثال، Lu و همکاران [۱۳] از اجزای مرز شی مطلوب برای ایجاد بردار ویژگی به منظور توصیف شکل استفاده نموده‌اند. برخی محققین نیز برای توصیف شکل، ارتباط بین پاره‌خط‌های لبه را مورد توجه قرار داده‌اند. به عنوان مثال، Prakash و همکاران [۱۴] از روش فوق برای تشخیص گوش در تصویر نیم‌رخ انسان استفاده نموده‌اند.

در سیستم ارائه شده در این مقاله، ابتدا تصویر شاخص به صورت دستی، به پنج ناحیه تجزیه می‌شود تا موقعیت کلی کلیدهای مجازی در تصویر مشخص گردد. سپس، در هر ناحیه بردار ویژگی پیشنهادی برای توصیف شکل استخراج می‌گردد. به عبارت دقیقتر، برای هر پیکسل لبه (با اندازه گرادیان قابل قبول)، پیکسل‌های لبه در یک همسایگی مشخص انتخاب شده و زاویه پاره‌خط‌های مرتبط کننده آنها به صورت مرتب در یک بردار ویژگی قرار می‌گیرند. سپس، بردار ویژگی نهایی به عنوان توصیفی از شکل دکمه مجازی ذخیره می‌گردد. در حین اجرا، بردار ویژگی فوق به روش مشابه در هر فریم دوباره محاسبه شده و با بردار ویژگی مینا (ذخیره شده) مقایسه می‌گردد. در صورتی که اختلاف آنها از یک حد مشخص بیشتر باشد، به منزله آن است که کاربر بر روی دکمه مذکور ایستاده و در نتیجه فرمان مربوط

در نهایت، تصویر گرادیان نازک‌سازی با استفاده از روش [Otsu ۱۷] آستانه‌گذاری می‌گردد تا تصویر باینری لبه بدست آید.

۳- الگوریتم تشخیص شکل پیشنهادی

بردار ویژگی پیشنهادی برای تشخیص شکل، در حقیقت توصیفگر تغییرات شیب لبه‌ها در محدوده شکل مورد نظر می‌باشد. برای این منظور، محدوده کاندیدای شکل (مثلاً در اینجا محدوده مشخص شده برای هر دکمه مجازی بر روی صفحه شاخص) در تصویر باینری لبه، پیکسل به پیکسل از بالا به پایین و از چپ به راست اسکن می‌شود تا زوج پیکسل‌های لبه همسایه (با مقدار غیر صفر در تصویر باینری لبه) با فاصله اقلیدوسی F مشخص گردند (در اینجا به صورت تجربی $F=5$ انتخاب شده است).

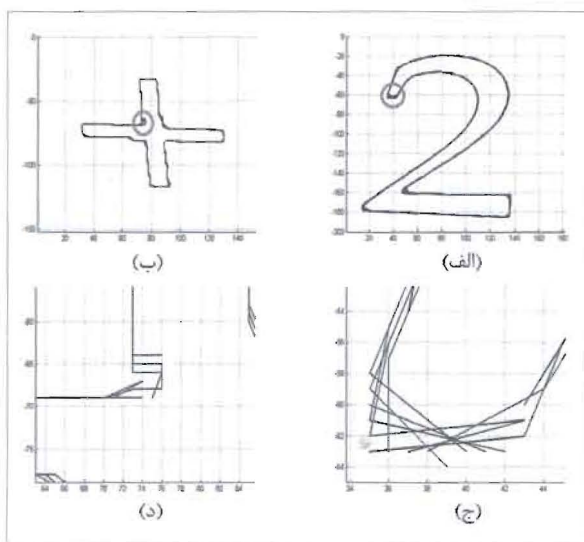
برای هر زوج پیکسل لبه، شیب پاره خط متصل کننده آنها به یکدیگر محاسبه شده و به ترتیب جستجو در بردار ویژگی پیشنهادی قرار می‌گیرد. توجه شود که برای هر زوج پیکسل همسایه، تنها یک شیب به بردار ویژگی اضافه می‌شود.

برای ساده‌سازی بیشتر، شیب‌های در محدوده 45° تا 135° درجه با مقدار ۱ و سایر شیب‌ها با مقدار صفر مشخص می‌گردند. لذا، بردار ویژگی پیشنهادی تنها شامل مقادیر صفر و یک خواهد بود.

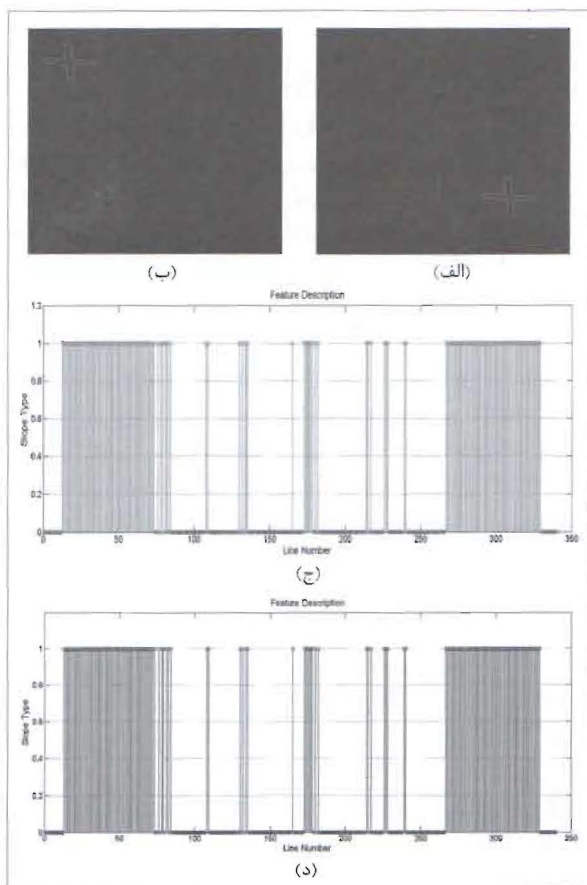
به عنوان مثال، در شکل‌های (۳-الف) و (۳-ب)، پاره خط‌هایی حاصل برای دکمه‌های مجازی مربوط به شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب) نشان داده شده است. به علاوه، بردارهای ویژگی حاصل به ترتیب در

لروما در تصویر گرادیان تیز نمی‌باشند (یعنی ضخامت آنها بیش از یک پیکسل است). این افزونگی اطلاعات می‌تواند منجر به کاهش دقت الگوریتم توصیف شکل بر مبنای اطلاعات لبه گردد.

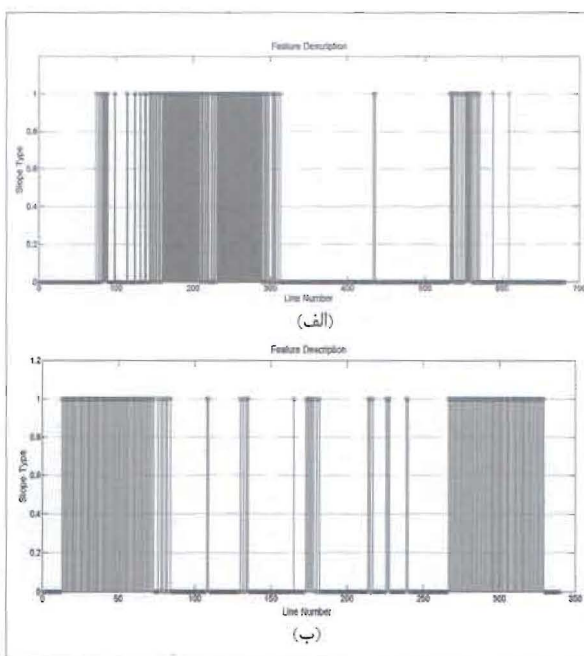
برای نازک‌سازی گرادیان در محل لبه‌ها از روش حذف مقادیر غیرماکزیمم^(۱۶) (NMS) استفاده نموده‌ایم. به این ترتیب که، در تصویر گرادیان، هر پیکسل که اندازه گرادیان آن از هر دو همسایه آن در راستای بردار گرادیان (معادله ۲) بیشتر نباشد، صفر می‌گردد. شکل‌های (۲-ه) و (۲-و) نتیجه اعمال پردازش فوق را، به ترتیب، بر تصاویر گرادیان شکل‌های (۲-ج) و (۲-د) نشان می‌دهند.



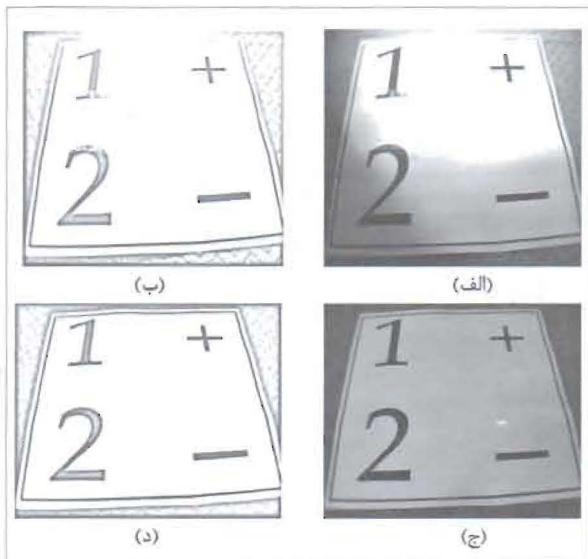
شکل ۳- (الف)، (ب) پاره خط‌های حاصل از اعمال روش پیشنهادی بر دکمه‌های مجازی نشان داده شده در به ترتیب شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب) و (ج)، (د) بزرگنمایی پاره خط‌های حاصل در نواحی مشخص شده با دایره در بخش‌های (الف) و (ب).



شکل ۴- (الف)، (ب) بردارهای ویژگی بدست آمده برای دکمه‌های مجازی نشان داده شده در، به ترتیب، شکل‌های (۲-الف) و (۲-ب).



شکل ۵- (الف)، (ب) تصویر دکمه مجازی + در دو موقعیت مختلف و (ج)، (د) بردارهای ویژگی متناظر با آنها.



شکل ۶- (الف)، (ج)، دو تصویر با شرایط نوری مختلف از صفحه شاخص و (ب)، (د) نتیجه عمل فیلتر همومورفیک بر آنها.

سپس، با حذف اطلاعات باند پایین تصویر لگاریتمی عملاً $i(x,y)$ به شدت تضعیف می‌گردد. ما برای این منظور، از فیلتر DoG^(۵) استفاده نموده‌ایم:

$$g(x,y) = \ln f(x,y) - G_{\sigma}(x,y) * \ln f(x,y) \quad (۶)$$

که در آن G_{σ} کرنل گوسی با انحراف معیار σ است. اکنون، با اعمال تابع نمایی، تصویر از حالت لگاریتمی خارج می‌شود:

$$\hat{f}(x,y) = \exp(g(x,y)) \quad (۷)$$

اکنون برای محاسبه بردار ویژگی به جای تصویر f از تصویر بهبود یافته \hat{f} استفاده می‌شود.

در شکل (۶) نتیجه اعمال پردازش فوق بر دو تصویر شاخص با شرایط نوری مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اثر سایه در تصاویر حاصل از فیلتر همومورفیک حذف شده است.

۴- نتایج تجربی

در این مقاله، کلیه نتایج تجربی با استفاده از یک کامپیوتر شخصی با پردازنده AMD Athlon(tm) 64 Processor 3800 و حافظه 2.4GHz و حافظه 3GB انجام شده است.

الگوریتم تشخیص شکل پیشنهادی در عین سادگی بسیار کارا نیز می‌باشد؛ به طوری که زمان پردازش در محیط برنامه‌نویسی MAT-LAB برای هر فریم ۱،۰۰۷ ثانیه بوده است. از سیستم HMI پیشنهادی برای توسعه یک سامانه اطلاع‌رسانی کاربردی استفاده شده است. در شکل (۷)، صفحه اصلی نرم‌افزار تهیه شده برای این سامانه نشان داده شده است.



شکل ۷- صفحه اصلی نرم‌افزار تجاری توسعه داده شده

شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) نشان داده شده‌اند.

پس از محاسبه بردار ویژگی پیشنهادی برای شکل مورد نظر، به منظور تشخیص شکل در تصویر از معیار فاصله مجموع قدر مطلق اختلاف^(۳) استفاده می‌شود.

به عبارت دقیقتر، اگر بردار ویژگی مبنا f_r (با طول n_r) و بردار ویژگی مورد ارزیابی f_i (با طول n_i) باشد، اختلاف دو بردار ویژگی مطابق معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$D(f_r, f_i) = \frac{1}{n_r} \left(|n_r - n_i| + \sum_{k=1}^{\min(n_r, n_i)} |f_{r,k} - f_{i,k}| \right) \quad (۳)$$

که در آن، $f_{r,k}$ بیانگر عنصر k -ام بردار ویژگی f_r می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، اختلاف طول دو بردار ویژگی به عنوان خطا در تابع هزینه منظور شده است.

بدیهی است که وقتی بردارهای ویژگی f_r و f_i هم‌طول بوده و همه عناصر آنها مشابه باشند، مقدار تابع هزینه (۳) صفر خواهد بود. چنانچه $D(f_r, f_i)$ از مقدار آستانه θ بزرگتر باشد، دو بردار ویژگی متفاوت تلقی شده و در سیستم HMI پیشنهادی فرمان مربوط به کلید مجازی مورد نظر اجرا خواهد شد.

۳-۱- عدم تغییر با انتقال

با توجه به اینکه بردار ویژگی شامل زاویه شیب زوج پیکسل‌های همسایه می‌باشد، می‌توان انتظار داشت که با جابجایی شی در تصویر، بردار ویژگی پیشنهادی تغییر چندانی نداشته باشد. این خصوصیت در شکل (۵) با ذکر مثال نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تصویربرداری از دکمه مجازی + در دو موقعیت مختلف، منجر به بردارهای ویژگی یکسان شده است.

۳-۲- عدم تغییر با تغییر نور صحنه

با توجه به اینکه بردار ویژگی پیشنهادی در حقیقت توصیفگر تغییرات زاویه شیب محلی لبه‌های شکل می‌باشد، می‌توان انتظار داشت که در برابر تغییرات نور محیط مقاومت خوبی داشته باشد. بویژه آنکه تغییرات نور صحنه معمولاً منجر به تغییر شکل لبه‌ها نمی‌شوند. با وجود این، ما برای بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی در برابر تغییرات روشنایی صحنه (بویژه اثر سایه)، از فیلتر همومورفیک^(۴) [۱۸] استفاده نموده‌ایم. بر این اساس، مدل روشنایی-انعکاس برای هر تصویر $f(x,y)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(x,y) = i(x,y)r(x,y) \quad (۴)$$

که در آن، $i(x,y)$ نور تابشی از منبع و $r(x,y)$ ضریب انعکاس صحنه است. با توجه به اینکه تغییرات نور منبع در محدوده دید دوربین بسیار کم می‌باشد، لذا، $i(x,y)$ تابعی با باند فرکانسی بسیار محدود می‌باشد. فیلتر همومورفیک برای حذف تغییرات روشنایی منبع، ابتدا لگاریتم تصویر را محاسبه نموده تا ترکیب مولفه‌های مربوط به تابش منبع و بازتابش صحنه به صورت خطی درآید:

$$\ln f(x,y) = \ln i(x,y) + \ln r(x,y) \quad (۵)$$

سیستم پیشنهادی قادر است با تشخیص موقعیت قرارگیری کاربر در یک صفحه شاخص، فرآیند مورد نظر وی را اجرا نماید. برای تشخیص کلیدهای مجازی موجود بر روی صفحه شاخص نیز یک الگوریتم تشخیص شکل جدید ارائه گردید. روش پیشنهادی علیرغم سادگی نسبت به تغییرات نور و انتقال مقاوم می‌باشد. اگرچه از سیستم HMI پیشنهادی در این مقاله، برای توسعه یک سامانه اطلاع‌رسانی استفاده شده، اما دامنه کاربرد آن می‌تواند بسیار گسترده‌تر باشد و فرآیند بسیار متنوع‌تری را پوشش دهد.

قدرتدانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله از شرکت بینایی ماشین و پردازش تصویر بیناتوس (سهامی خاص) مستقر در دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر حمایت از این پروژه تشکر می‌نمایند.

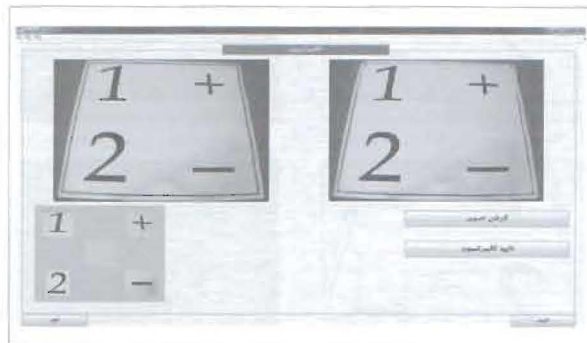
پی‌نوشت‌ها

1. Human-machine interface (HMI)
2. Non-maximum suppression (NMS)
3. Sum absolute difference
4. Homomorphic filter
5. Difference of Gaussian (DoG)

مراجع

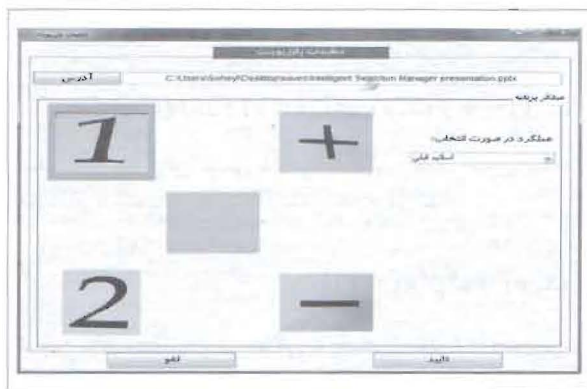
- [1] G. E. Fabiani, D. J. McFarland, J. R. Wolpaw, and G. Pfurtscheller, "Conversion of EEG activity into cursor movement by a brain-computer interface (BCI)," *IEEE Trans. Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 331-338, 2004.
- [2] M. Fukumoto, Y. Suenaga, and K. Mase, "Finger-pointer: pointing interface by image processing," *Computers & Graphics*, vol. 18, no. 5, pp. 633-642, 1994.
- [3] C. R. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, and A. P. Pentland, "Pfinder: real-time tracking of the human body," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 7, pp. 780-785, 1997.
- [4] T. W. Victor, J. L. Harbluk, and J. A. Engström, "Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 8, no. 2, pp. 167-190, 2005.
- [5] R. Navarathna, P. Lucey, D. Dean, C. Fookes, and S. Sridharan, "Lip detection for audio-visual speech recognition in-car environment," *Int'l Conf. Information Science, Signal Processing and their Applications*, pp. 598-601, 2010.
- [6] C. Wu and Y. Liu, "Development and evaluation of an ergonomic software package for predicting multiple-task human performance and mental workload in human-machine interface design and evaluation," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 56, no. 1, pp. 323-333, 2009.
- [7] N. Paragios and R. Deriche, "Geodesic active contours and level sets for the detection and tracking of moving objects," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 22, no. 3, pp. 266-280, 2000.
- [8] A. Mitchie and S. Seida, "Interpretation of structure and motion from line correspondence," *IEEE Conf. Pattern Recognition*, 1986.
- [9] K. Skifstad and A. Jain, "Illumination independent change detection for real world sequence," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 46, no. 3, pp. 387-399, 1989.
- [10] F. M. Anuar, R. Setchi, and Y.-K. Lai, "Trademark image retrieval using an integrated shape descriptor," *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 1, pp. 105-121, 2013.
- [11] C.-H. Wei, Y. Li, W.-Y. Chau, and C.-T. Li, "Trademark image retrieval using synthetic features for describing global shape and interior structure," *Pattern Recognition*, vol. 42, no. 3, pp. 386-394, 2009.
- [12] C.-Y. Wee and R. Paramesran, "On the computational aspects of Zernike moments," *Image and Vision Computing*, vol. 25, no. 6, pp. 967-980, 2007.
- [13] C. E. Lu, N. Adituru, H. Ling, G. Zhu, and L. J. Latecki, "Contour based object detection using part bundles," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 114, no. 7, pp. 827-834, 2010.
- [14] S. Prakash and P. Gupta, "A rotation and scale invariant technique for ear detection in 3D," *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, no. 14, pp. 1924-1931, 2012.
- [15] M. Sonka, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Thompson Learning, 3rd ed., Toronto, 2008.
- [16] C. Sun and P. Vallotton, "Fast linear feature detection using multiple directional non-maximum suppression," *J. Microscopy*, vol. 234, no. 2, pp. 147-157, 2009.
- [17] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [18] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, 2nd ed., 2003.

پس از اجرای نرم‌افزار و قرارگیری صفحه شاخص و دوربین در موقعیت مورد نظر، کاربر باید با استفاده از پنجره کالیبراسیون، موقعیت صفحه شاخص را برای نرم‌افزار مشخص نماید (شکل ۸).



شکل ۸- پنجره کالیبراسیون

نرم‌افزار به صورت خودکار موقعیت دکمه‌های مجازی را تشخیص داده و بردار ویژگی مینا برای هر یک را محاسبه و ذخیره‌سازی می‌کند. سپس، کاربر باید فرآیند مربوط به هر یک از دکمه‌های مجازی را مشخص کند (شکل ۹).



شکل ۹- صفحه تنظیم فرآیند مربوط به دکمه‌های مجازی

این فرآیند شامل نمایش فایل بعدی، نمایش فایل قبلی، نمایش اسلاید بعدی در فایل فعلی و نمایش اسلاید قبلی در فایل فعلی در محیط Microsoft PowerPoint می‌باشند. تنظیمات فوق، تنها یکبار انجام شده و تا زمانی که موقعیت صفحه شاخص و دوربین بیش از حد مجاز تغییر نکرده باشد، معتبر خواهند بود.

اکنون، با اجرای پنجره نمایش انتخابگر و فشردن دکمه شروع محیط Microsoft PowerPoint با استفاده از فن‌آوری ActiveX اجرا شده و اولین فایل در آن بارگذاری می‌شود. در این حالت، با قرارگیری کاربر بر روی هر کدام از دکمه‌های مجازی صفحه شاخص، فرمان مربوط به آن دکمه در محیط Microsoft PowerPoint اجرا خواهد گردید. نتایج تجربی بیانگر عملکرد بسیار مناسب سامانه اطلاع‌رسانی مذکور در شرایط نوری مختلف می‌باشد. به علاوه، کار با سیستم برای کاربران بسیار جذاب بوده و ارزیابی‌ها بیانگر رضایت نسبی آنها است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله سیستمی برای ایجاد ارتباط هوشمند میان انسان و کامپیوتر بر مبنای پردازش تصویر ارائه گردیده است.