

کاهش توان مصرفی و افزایش ضریب فضای مؤثر در طراحی حسگر تصویر هوشمند با قابلیت تشخیص حرکت

عباس مهبد^۱، حسین کریمیان^۲

چکیده

در بررسی عملکرد حسگر تصویر هوشمند، کاهش توان مصرفی سیستم تصویربرداری و افزایش ضریب فضای مؤثر هر سلول، اهمیت فراوان دارد؛ در این تحقیق با تعریف دو حالت کاری مجزا به منظور پردازش فریم‌های مختلف و همچنین طراحی و پیاده‌سازی واحد مدیریت توان در ساختار اصلی سیستم تصویربرداری، حجم پردازش اطلاعات اضافی در بررسی فریم‌های کم‌اهمیت به میزان چشمگیری کاهش یافته است که نتیجه‌ی آن کاهش توان مصرفی در سیستم‌های تصویربرداری مبتنی بر تشخیص حرکت خواهد بود. همچنین ارائه‌ی ساختاری نوین در طراحی هر سلول، زمینه‌ساز افزایش قابل توجه ضریب فضای مؤثر در سطح هر پیکسل شده است. بطوریکه ولتاژ مربوط به هر سلول در بررسی فریم‌های متوالی، صرفاً از طریق یک مسیر خروجی و به صورت سری در اختیار واحد تشخیص حرکت قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در پیاده‌سازی آرایه‌ای از پیکسل‌ها با ابعاد 64×64 و بهره‌گیری از تکنولوژی CMOS استاندارد 180 نانومتر، توان مصرفی حسگر پیشنهادی تحت تصویربرداری با نرخ 100 فریم بر ثانیه معادل با $2/$ میلی‌وات و ضریب فضای مؤثر هر سلول برابر با 45% خواهد بود.

کلید واژه‌ها

حسگر تصویر هوشمند، توان مصرفی پایین، افزایش ضریب فضای مؤثر، تشخیص حرکت، سنسور تصویر

۱ مقدمه

در طول حدود نیم‌قرنی که از پیدایش اولین سیستم‌های تصویربرداری الکترونیکی در جهان می‌گذرد، همواره دو فناوری مطرح در ساخت انواع حسگرهای تصویر مورد توجه بوده است: فناوری CCD و فناوری CMOS [۱] و [۲]. پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که امروزه حسگرهای تصویر

این مقاله در تیرماه سال ۱۳۹۵ دریافت، در آذرماه بازنگری و پذیرفته شد.

^۱ دانش‌آموخته دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان.
رایانامه: a.mahbod@grad.kashanu.ac.ir

^۲ دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان.
رایانامه: hkarimiyan@kashanu.ac.ir

مبتنی بر فناوری CMOS به دلیل ولتاژ کاری پایین‌تر و به تبع آن توان مصرفی کمتر در بسیاری از کاربردها جایگزین حسگرهای CCD شده‌اند [۳] و [۴]. این در حالیست که حسگرهای CCD، بواسطه‌ی حساسیت بالاتر همچنان در کاربردهای خاص از قبیل تصویربرداری در حوزه‌ی اخترشناسی، انتخاب اول مهندسان پردازش هستند [۲].

از دیگر ویژگی‌های منحصر به فرد حسگرهای تصویر CMOS، قابلیت مجتمع‌سازی آنها با سایر مدارهاست [۳] و [۵]. بطوریکه همین مزیت نسبی زمینه‌ساز پیدایش نسل جدیدی از حسگرهای تصویر تحت عنوان "حسگرهای تصویر هوشمند" شده است [۶] و [۷]. به بیان دیگر قابلیت مجتمع‌سازی با مدارات VLSI این امکان را به طراحان می‌دهد که برخی الگوریتم‌های پردازش تصویر را به صورت سخت افزاری بر روی حسگر اعمال کنند [۸]. به این

اطلاعات اضافی در فریم‌های کم‌اهمیت به میزان چشمگیری کاهش یافته که این امر کاهش توان مصرفی سیستم تصویربرداری را در پی دارد. همچنین افزایش قابل توجه ضریب فضای مؤثر در سطح هر پیکسل، دستاورد مهم دیگر در این پژوهش است که این مهم بواسطه‌ی بازطراحی ساختار هر سلول از آرایه‌ی تصویر محقق شده است. از نکات مورد نیاز در بررسی انواع سیستم‌های تصویربرداری، بکارگیری روشی کارآمد به منظور شبیه‌سازی هر چه بهتر رفتار نور در این افزاره‌هاست. در این مقاله، روشی نوین مبتنی بر تعامل میان دو نرم‌افزار MATLAB و HSPICE به منظور شبیه‌سازی عملکرد حسگرهای تصویر معرفی شده است.

روند ارائه‌ی مطالب به این صورت است که در بخش دوم ساختار کلی سیستم تصویربرداری پیشنهادی مرور و در بخش سوم طراحی و عملکرد بخش‌های مختلف حسگر تصویر به همراه الگوریتم‌های مربوطه معرفی می‌گردد. پس از ارائه‌ی نتایج شبیه‌سازی، بخش آخر به خلاصه و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲ ساختار کلی سیستم تصویربرداری پیشنهادی

پیشنهاد ساختاری هوشمند با توان مصرفی پایین و در عین حال برخوردار از ضریب فضای مؤثر بالا به منظور طراحی و پیاده‌سازی انواع سیستم‌های تصویربرداری مبتنی بر تشخیص حرکت، اولین و مهمترین هدف در ارائه‌ی تحقیق پیش روست. از جمله عوامل مؤثر در افزایش توان مصرفی می‌توان به پردازش بی‌وقفه و مداوم اطلاعات در بررسی فریم‌های مختلف تصویر اشاره کرد که در این پژوهش به صورت ویژه مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا و به منظور کاهش هرچه بیشتر حجم اطلاعات اضافی در پردازش فریم‌های متوالی، سیستم تصویربرداری هوشمندی ارائه شده است که در گام نخست فریم‌های با ارزش تصویر را از فریم‌های کم‌اهمیت‌تر تفکیک می‌کند و در مرحله‌ی بعد، توان مصرفی حسگر را متناسب با اهمیت هر فریم از تصویر مدیریت خواهد کرد. بدیهی است در این حالت، امنیت و دقت سیستم تصویربرداری بسیار حائز اهمیت است و کوچکترین خللی در این حوزه پذیرفتنی نیست. همچنین، با توجه به ارتباط میزان حساسیت و فضای مؤثر، بهبود ضریب فضای مؤثر در سطح هر سلول دستاورد مهم دیگری در طرح پیشنهادی است که این مهم بواسطه‌ی طراحی ساختاری نوین برای پیاده‌سازی هر پیکسل محقق شده است. شکل ۱ ساختار کلی سیستم تصویربرداری پیشنهادی را نشان می‌دهد. آرایه‌ای از پیکسل‌ها با ابعاد 64×64 ، واحد تشخیص حرکت^۱، واحد مدیریت توان^۲ و دیکدرها^۳ بخش‌های اصلی حسگر تصویر پیشنهادی را شامل می‌شوند.

ترتیب نیاز به یک واحد پردازنده‌ی بیرونی از قبیل تراشه‌ی FPGA، تراشه‌ی DSP و غیره تا حدود زیادی مرتفع می‌گردد [۱۰] و [۱۱]. تاکنون در سطوح مختلف، روش‌های متفاوتی به منظور طراحی حسگرهای تصویر هوشمند ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به حسگرهای هوشمند بکار گرفته شده در سیستم‌های نظارتی [۱۲]، سیستم‌های کنترل ترافیک [۵] و یا سیستم‌های مبتنی بر تشخیص حرکت اشاره کرد [۱۳] تا [۱۵].

فارغ از منطق الگوریتم طراحی شده در هر مرحله از پردازش تصاویر و یا شیوه‌ی پیاده‌سازی آن در یک حسگر تصویر هوشمند، توان مصرفی سیستم تصویربرداری به عنوان شاخصی مهم و حیاتی در بررسی کارایی این افزاره‌ها شناخته می‌شود [۱۶] و [۱۷]. بررسی پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهد به منظور دستیابی به یک حسگر تصویر هوشمند با توان مصرفی پایین، علاوه بر لزوم طراحی ساختاری کم‌مصرف جهت پیاده‌سازی خود حسگر، لازم است ملاحظات به منظور کاهش توان مصرفی در فاز پردازش نیز در نظر گرفته شود [۱۸] تا [۲۰]. همچنین بهبود ضریب فضای مؤثر هر سلول که بنا بر تعریف معادل با نسبت فضای حساس به نور در سطح هر پیکسل به ابعاد آن خواهد بود، چالش مهم دیگری پیش‌روی طراحان و مهندسان حوزه‌ی پردازش تصویر است [۲]؛ چراکه کمترین اثر منفی استفاده از حسگرهای تصویر هوشمند، کاهش شدید ضریب فضای مؤثر خواهد بود که دلیل این امر را باید در بکارگیری مدارات جانبی جهت پردازش تصاویر و به تبع آن، تخصیص بخشی از مساحت هر پیکسل برای پیاده‌سازی آنها جستجو کرد [۶] و [۸].

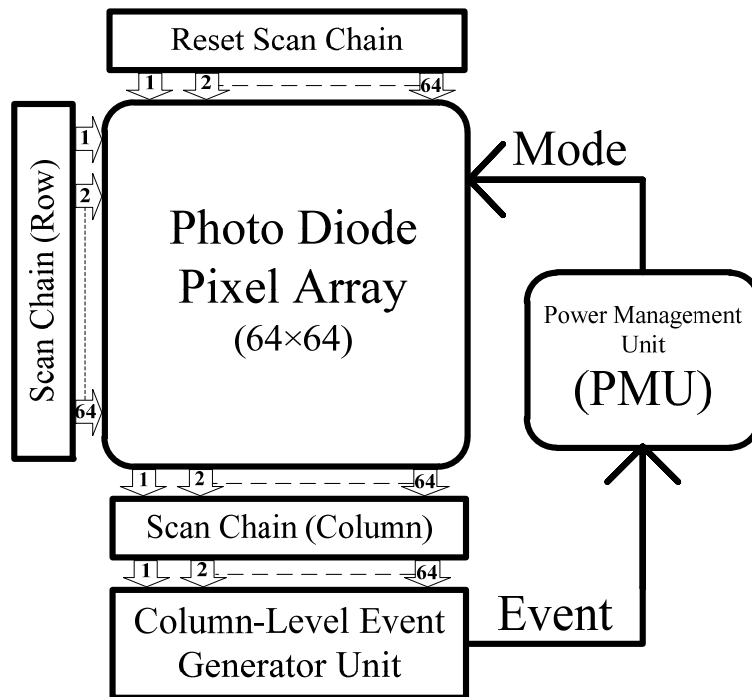
هر دو مرجع [۶] و [۱۷] از الگوریتم‌هایی نسبتاً مشابه، مبتنی بر محاسبه‌ی تفاضل ولتاژ پیکسل‌ها در دو فریم متوالی و مقایسه‌ی آن با مقداری پیش‌فرض به عنوان ابزاری جهت کشف جسم متحرک در صحنه بهره می‌برند. در [۱۷] از یک واحد تشخیص حرکت مستقل با توان مصرفی بالا برای همه‌ی پیکسل‌های آرایه استفاده شده است. خروجی پیکسل‌ها به صورت موازی و همزمان در اختیار واحد تشخیص حرکت قرار می‌گیرد و به این ترتیب تفاضل آنها در دو فریم متوالی محاسبه می‌شود. علاوه بر توان مصرفی بالا، ظرفیت بالای خازن تعبیه شده در هر پیکسل از چالش‌های جدی در پیاده‌سازی این روش است. این در حالیست که در [۶] با پیاده‌سازی واحد تشخیص حرکت در ساختار هر پیکسل، این مشکلات تا حدود زیادی مرتفع شده است. آنچه در این روش توان مصرفی، ضریب فضای مؤثر هر سلول و همچنین پیچیدگی سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تعداد زیاد واحدهای تشخیص حرکت است.

در پژوهش پیش رو بواسطه‌ی طراحی ساختار مداری جدید و بهینه‌سازی عملکرد بخش‌های مختلف سیستم تصویربرداری، حسگر تصویر هوشمند مبتنی بر تشخیص حرکت با توان مصرفی بسیار پایین و ضریب فضای مؤثر بالا معرفی شده است. به این ترتیب که با تعریف دو حالت کاری مختلف، حجم پردازش

¹ Column-Level Event Generator Unit

² Power Management Unit

³ Scan Chains



شکل ۱ ساختار کلی سیستم تصویربرداری پیشنهادی. آرایه‌ی پیکسل‌ها با ابعاد 64×64 ، واحد تشخیص حرکت، واحد مدیریت توان و دیکدرهای بخش‌های اصلی حسگر تصویر پیشنهادی را شامل می‌شوند.

هر سلول است. در گام بعد و پس از اتمام فرایند نورگیری، ستون-ها به صورت همزمان فعال شده و ولتاژ خروجی پیکسل‌های دیدبان در اختیار واحد تشخیص حرکت قرار می‌گیرد. واحد تشخیص حرکت اختلاف ولتاژهای مربوط به دو فریم متوالی را می‌سنجد و آن را با مقداری پیش فرض مقایسه می‌کند. در صورتی که اختلاف از حد آستانه‌ای تجاوز کند، تغییر یا حرکتی در صحنه تشخیص داده شده و سیگنال 'Event' فعال می‌گردد. مطابق با شکل ۱، در انتهای هر فریم، سیگنال 'Event' توسط واحد مدیریت توان تحلیل می‌شود و در صورت فعال و معتبر بودن، بواسطه‌ی غیرفعال‌سازی سیگنال 'Mode'، حسگر از حالت کاری تشخیص حرکت به حالت کاری تعقیب جسم متحرک غیر وضعیت می‌دهد. در این حالت فریم‌های پیش‌رو به عنوان فریم‌های با ارزش تصویر شناخته شده و به همین منظور همه‌ی پیکسل‌های آرایه (اعم از پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان) فعال خواهند بود و به تبع آن سیستم تصویربرداری با حداکثر تفکیک، صحنه را گزارش می‌کند. از طرفی برخلاف حالت کاری تشخیص حرکت، در حالت کاری تعقیب جسم متحرک، واحد تشخیص حرکت غیرفعال می‌شود و تغییرات موجود در صحنه توسط کاربر و یا سیستم تصویربرداری بررسی خواهد شد. این وضعیت مادامی که سیستم تصویربرداری دستور تغییر وضعیت را صادر نکرده باشد، ادامه خواهد داشت.

۳ حسگر تصویر پیشنهادی

در این فصل ابتدا ساختار مدار، عملکرد و الگوریتم‌های طراحی شده به منظور پیاده‌سازی بخش‌های مختلف حسگر تصویر

در سیستم تصویربرداری پیشنهادی دو حالت کاری مجزا در نظر گرفته شده که به ترتیب عبارتند از حالت کاری تشخیص حرکت^۱ و حالت کاری تعقیب جسم متحرک^۲. روند کار این سیستم به این شرح است که در آغاز فرایند تصویربرداری، حسگر تصویر پیشنهادی در حالت کاری تشخیص حرکت شروع به کار می‌کند. در این حالت واحد تشخیص حرکت فعال بوده و کنترل صحنه در اختیار سیستم تصویربرداری خواهد بود. همچنین در حالت کاری تشخیص حرکت که مختص به پردازش فریم‌های کم‌اهمیت‌تر تصویر است، فقط نیمی از پیکسل‌ها (پیکسل‌های دیدبان^۳) صحنه را رصد می‌کنند و مابقی پیکسل‌های آرایه (پیکسل‌های پشتیبان^۴) غیرفعال هستند. بنابراین در این حالت، توان مصرفی حسگر سیستم تصویربرداری پیشنهادی به نصف کاهش خواهد یافت. از آنجا که هر پیکسل از حسگر به یک خازن (به عنوان حافظه‌ی آنالوگ) مجهز شده است، آرایه‌ی حسگرها قادر خواهد بود که در پایان پردازش هر فریم از تصویر، علاوه بر گزارش صحنه در فریم کنونی، اطلاعات مرتبط با فریم قبل را نیز به عنوان فریم مرجع در خود ذخیره کند. در طرح پیشنهادی برخلاف آنچه قبل از آن آمده [۱۷]، دو خروجی مربوط به هر پیکسل فقط و فقط از طریق یک مسیر خروجی و به صورت سری در دسترس خواهند بود که همین امر زمینه‌ساز کاهش فضای اشغال شده بواسطه‌ی پیاده‌سازی مدارات جانبی و به تبع آن افزایش ضریب فضای مؤثر در سطح

¹ Motion Detection Mode

² Motion Tracking Mode

³ Active Pixels

⁴ Stand-by Pixels

پیکسل شامل يك فتودیود به عنوان المان حساس به نور، ترانزیستور ریست (M1)، يك مجموعه‌ی سورس پیرو (M2-M4)، يك مدار ذخیره‌ی اطلاعات (M5, M6, C) و همچنین يك مجموعه‌ی PMOS شامل (M7, M8) جهت دسترسی به سیگنال‌های خروجی هر پیکسل است.

عملکرد هر سلول از حسگر تصویر پیشنهادی در سه فاز ریست، فاز نورگیری و فاز قرائت ولتاژ قابل بررسی است. به این ترتیب که قبل از شروع هر فریم، سیگنال ریست برای مدت زمان کوتاهی فعال شده و ولتاژ فتودیود به مقدار 'VDD' می‌رسد. در گام بعد با قطع شدن سیگنال ریست و آغاز فاز نورگیری، ولتاژ فتودیود متناسب با شدت نور تابیده شده به حسگر کاهش خواهد یافت. به نحوی که با ارزیابی ولتاژ فتودیود در انتهای هر فریم از تصویر می‌توان شدت نور تابیده شده به حسگر را اندازه گیری کرد. چنانچه پیش‌تر اشاره شد، نکته‌ی مهم و اساسی در طراحی ساختار پیشنهادی، فاز قرائت ولتاژ است. مطابق با شکل ۳ (الف) همزمان با اتمام فاز نورگیری و آغاز فاز قرائت ولتاژ، سیگنال 'RowSel~' به تنها مسیر خروجی در نظر گرفته شده برای هر پیکسل (مجموعه PMOS شامل M7 و M8) اعمال شده و به تبع آن ولتاژ خازن که سیگنال مربوط به فریم قبل را در خود ذخیره کرده است، تحت عنوان 'Vid-Frames' به خروجی منتقل می‌شود. همانطور که از شکل ۳ (ب) برمی‌آید، پس از گذشت مدت زمان مشخصی، ترانزیستور 'M5' فعال شده و سیگنال مربوط به فریم کنونی روی خازن بارگذاری خواهد شد. مطابق با شکل ۳ (ج)، در این حالت سیگنال (Vid-Frames) بیانگر خروجی پیکسل در فریم کنونی خواهد بود.

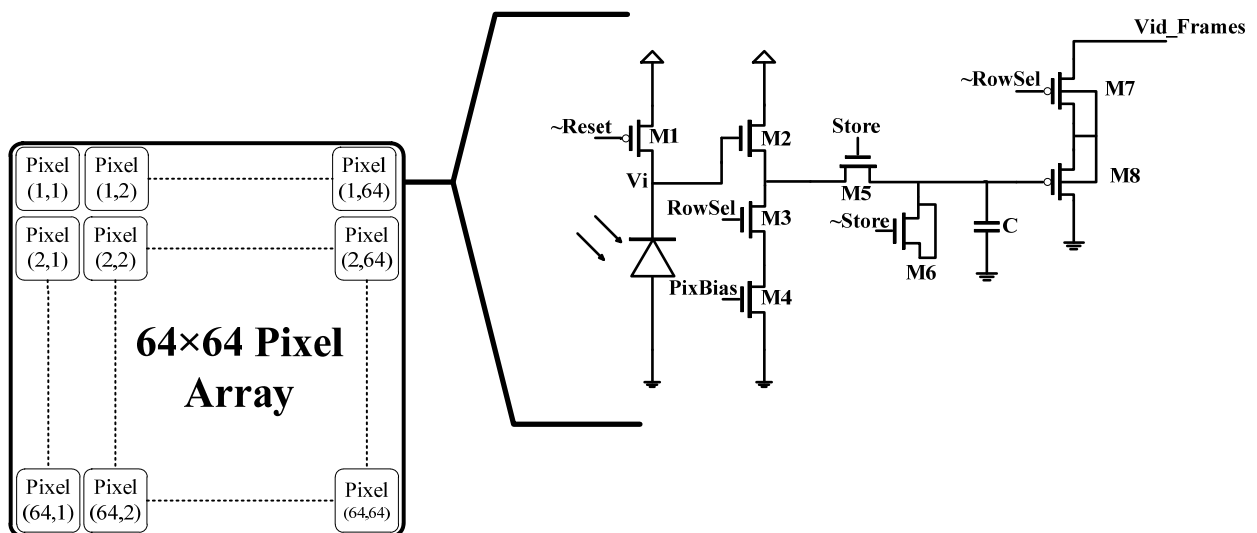
پیشنهادی به صورت مجزا تشریح شده و سپس چگونگی تعامل آنها در قالب يك سیستم تصویربرداری واحد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱ المان حساس به نور

به طور کلی دو خانواده از آشکارسازهای نوری در طراحی و ساخت حسگرهای تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرند: فتودیودها و فتوگیت‌ها [۲]. اساس کار در هر دو آشکارساز، فرایند جذب نوری است. با این تفاوت که بر خلاف فتودیودها، فتوگیت‌ها فقط در حالتی که بایاس شده باشند، امکان تکمیل فرایند فتوالکتریک را خواهند داشت [۲۱]. در این پژوهش از فتودیود به عنوان آشکارساز استاندارد در طراحی حسگرهای تصویر استفاده شده است.

۳-۲ ساختار هر سلول

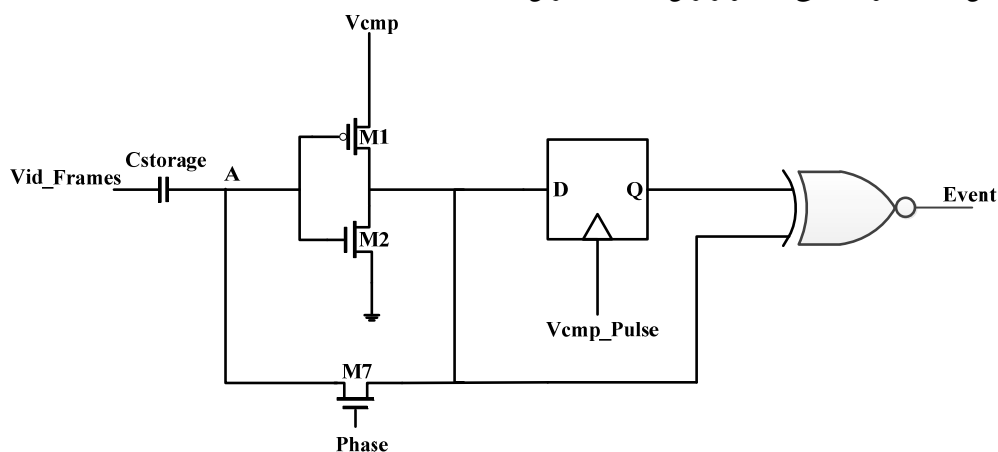
حسگر تصویر پیشنهادی شامل آرایه‌ای از پیکسل‌ها در ابعاد 64×64 می‌باشد که هر پیکسل از ساختار طراحی شده مجهز به يك حافظه‌ی آنالوگ (خازن) به منظور ذخیره‌ی اطلاعات فریم قبل خواهد بود. نکته‌ی کلیدی در طراحی ساختار حسگر پیشنهادی آنست که هر سلول، ولتاژهای مرتبط با دو فریم متوالی از تصویر را فقط و فقط از طریق يك مسیر خروجی و به صورت سری (و نه به صورت موازی) در دسترس قرار می‌دهد که نتیجه‌ی آن افزایش ضریب فضای مؤثر در سطح هر سلول است. شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب ساختار مداری هر پیکسل و همچنین نحوه‌ی اعمال سیگنال‌های کنترلی را به منظور قرائت ولتاژ نشان می‌دهند. همانطور که در شکل ۲ مشخص شده، ساختار اصلی هر



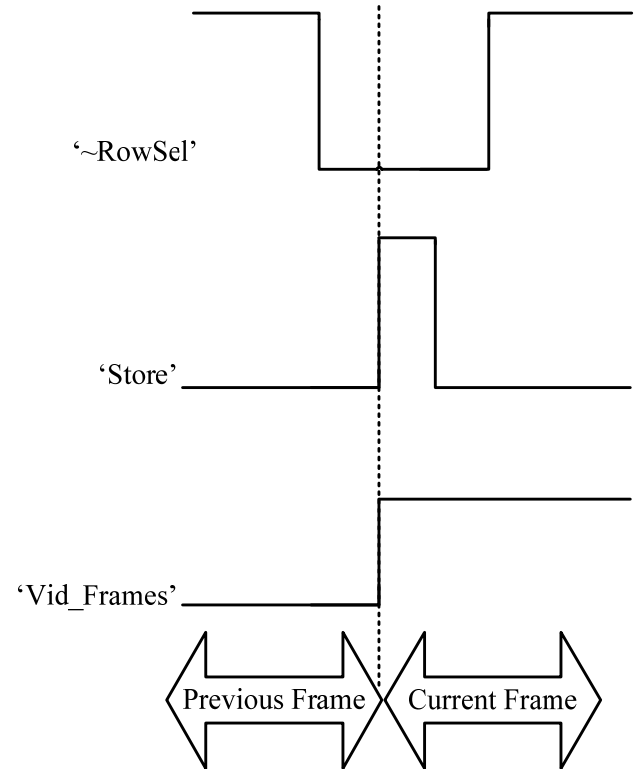
شکل ۲ ساختار مداری هر پیکسل در سیستم تصویربرداری پیشنهادی. ساختار اصلی هر پیکسل شامل يك فتودیود به عنوان المان حساس به نور، ترانزیستور ریست (M1)، يك مجموعه‌ی سورس پیرو (M2-M4)، يك مدار ذخیره‌ی اطلاعات (M5, M6, C) و همچنین يك مجموعه‌ی PMOS شامل (M7, M8) جهت دسترسی به سیگنال‌های خروجی هر پیکسل است.

الگوریتم‌ها شناخته می‌شود که این مزیت را باید در پیچیدگی کمتر و پاسخ بهتر آن جستجو کرد [۱۶]. به طور کلی واحد تشخیص حرکت در سه سطح قابل پیاده‌سازی است: ۱) در سطح هر پیکسل، ۲) در سطح آرایه و ۳) در سطح هر ستون. مطابق با آنچه که در [۶] آمده، پیاده‌سازی واحد تشخیص حرکت در سطح هر پیکسل، کاهش شدید فضای مؤثر هر سلول را به دنبال خواهد داشت؛ چرا که در این حالت بخش قابل توجهی از سطح هر پیکسل به پیاده‌سازی مدارات جانبی اختصاص می‌یابد. این در حالیست که سرعت قرائت و لتاژ در این روش بسیار بالاست که نتیجه‌ی آن، امکان بکارگیری این الگوریتم با در نظر گرفتن خازن-هایی با ظرفیت بسیار کم در سطح هر پیکسل خواهد بود. با پیاده‌سازی واحد تشخیص حرکت در سطح هر آرایه همانند کار ارائه‌شده در [۱۷]، مدت‌زمان قرائت پیکسل‌ها بیشتر خواهد بود؛ لذا لازم است ولتاژ فریم‌های مختلف برای مدت‌زمان بیشتری حفظ شود که این به معنی افزایش ظرفیت خازن تعبیه‌شده در سطح هر سلول است. در ازای سرعت کمتر، بهبود ضریب فضای مؤثر از دستاوردهای مهم در پیاده‌سازی در سطح آرایه است. در نهایت، پیاده‌سازی واحد تشخیص حرکت در سطح هر ستون پیشنهاد می‌شود که علاوه بر بهبود ضریب فضای مؤثر در سطح هر سلول، از سرعت قابل قبولی برخوردار است؛ چرا که مدت‌زمان انتظار هر پیکسل به منظور قرائت و لتاژ بسیار کمتر از روش پیاده‌سازی در سطح آرایه خواهد بود.

در این مقاله به منظور پیاده‌سازی این روند از واحد تشخیص حرکت معرفی شده در [۶] استفاده شده است. با این تفاوت که بر خلاف [۶] که در آن واحد تشخیص حرکت در سطح هر پیکسل گنجانده شده، در این پژوهش در انتهای هر ستون قرار گرفته است که همین امر کاهش پیچیدگی مدار و همچنین کمتر شدن توان مصرفی سیستم تصویربرداری را به دنبال دارد. شکل ۴ ساختار واحد تشخیص حرکت را نشان می‌دهند.



شکل ۴ ساختار واحد تشخیص حرکت استفاده شده در سیستم تصویربرداری پیشنهادی. بر خلاف [۶] که در آن واحد تشخیص حرکت در سطح هر پیکسل گنجانده شده، در این پژوهش در انتهای هر ستون قرار گرفته است.



شکل ۳ نحوه اعمال سیگنال‌های کنترلی به منظور قرائت و لتاژ در سیستم تصویربرداری پیشنهادی.

ذکر این نکته ضروری است که ساختار هر دو نوع پیکسل (اعم از دیدبان و یا پشتیبان)، یکسان بوده و آنچه سبب تغییر در ماهیت عملکردی آنها شده، صرفاً نحوه‌ی اعمال سیگنال‌های کنترلی و تغذیه است که این روند در بخش‌های بعدی به تفصیل تشریح خواهد شد.

۳-۳ ساختار واحد تشخیص حرکت

از میان روش‌های متفاوتی که تاکنون به منظور کشف حرکت موجود در صحنه‌ی تصویربرداری ارائه شده است، محاسبه‌ی اختلاف و لتاژ هر پیکسل در فریم‌های متوالی و مقایسه‌ی آن با مقداری پیش‌فرض، به عنوان یکی از مؤثرترین و کارآمدترین

همچنین ذکر این نکته ضروری است که واحد تشخیص حرکت فقط در حالت کاری تشخیص حرکت عمل می‌کند و در حالت کاری تعقیب جسم متحرک غیرفعال و کنترل تغییرات صحنه بر عهده‌ی کاربر خواهد بود. به همین منظور، مسیری مجزا جهت ارتباط واحد تشخیص حرکت با منبع ولتاژ طراحی شده است که در بخش بعد به تفصیل خواهد آمد.

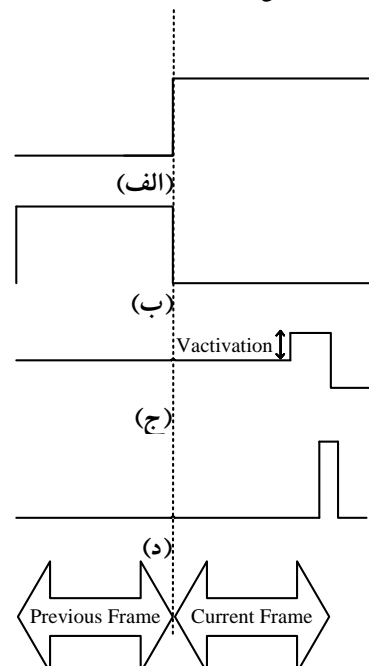
۳-۴ ساختار واحد مدیریت توان

با وجود پژوهش‌های گسترده‌ای که تاکنون در سطوح مختلف به منظور کاهش توان مصرفی در انواع سیستم‌های تصویربرداری صورت گرفته است، همچنان پردازش بی‌وقفه و مداوم اطلاعات رسیده از آرایه حسگرها به عنوان یکی از مهمترین منابع اتلاف توان شناخته می‌شود [۶]. حال آنکه در بسیاری از کاربردها از جمله تشخیص و تعقیب جسم متحرک فقط پردازش بخشی از اطلاعات موجود در برخی فریم‌های با ارزش کفایت می‌کند و پردازش سایر فریم‌ها نتیجه‌ای جز افزایش توان مصرفی در پی نخواهد داشت. راه حلی که در این پژوهش برای تشخیص فریم‌های با ارزش و جلوگیری از پردازش بی‌رویه‌ی سایر فریم‌ها ارائه شده است، طراحی و بکارگیری واحدی مستقل و هوشمند تحت عنوان واحد مدیریت توان می‌باشد.

در واقع وظیفه اصلی واحد مدیریت توان، تعیین حالت کاری مناسب به منظور عملکرد بهینه‌ی حسگر و تصمیم‌گیری در مورد فعال و یا غیرفعال بودن پیکسل‌های مختلف آرایه در پردازش هر فریم از تصویر است. به این ترتیب که در فریم‌های حساس و با ارزش، همه پیکسل‌های آرایه اعم از پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان فعال باشند و آرایه با حداکثر رزولوشن صحنه را گزارش کند. حال آنکه در بررسی فریم‌های کم‌اهمیت‌تر فقط بخشی از پیکسل‌ها (پیکسل‌های دیدبان)، صحنه را رصد می‌کنند و سایر پیکسل‌ها غیرفعال خواهند بود.

تعیین نسبت تعداد پیکسل‌های دیدبان به پیکسل‌های پشتیبان، از جمله پارامترهای مؤثر در ارزیابی کارایی حسگر تصویر ارائه‌شده در این پژوهش به شمار می‌رود. بدیهی است که بسته به شرایط کاری مختلف و محیطی که حسگر در آن بکار گرفته می‌شود، نسبت تعداد پیکسل‌های دیدبان به تعداد پیکسل‌های پشتیبان می‌تواند متغیر باشد. در این پژوهش بدترین شرایط کاری در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، حسگر در محیطی بکار گرفته می‌شود که مسیر مشخصی برای حرکت در صحنه‌ی تصویربرداری تعیین نشده و امکان تغییر در هر نقطه از تصویر وجود دارد (مثلاً تعقیب اجسام متحرک در یک پارک). در این شرایط، نسبت ۱:۱ برای پیکسل‌های دیدبان و پیکسل‌های پشتیبان پیشنهاد می‌شود. به این ترتیب، در پردازش فریم‌های کم‌اهمیت نیمی از پیکسل‌ها فعال و نیمی از آنها غیرفعال خواهند بود. علاوه بر تعیین نسبت تعداد پیکسل‌ها، شیوه‌ی چیدمان آنها نیز بسیار اهمیت دارد. در طرح پیش رو از چیدمان یک در میان برای پیکسل‌های دیدبان و

روند کار مدار به این شرح است که حین قرائت ولتاژ فریم قبل، سیگنال 'Phase' فعال است. در این حالت ورودی و خروجی گیت معکوس کننده به هم متصل هستند. از آنجا که گیت معکوس کننده به نحوی طراحی شده که ولتاژ آستانه‌ی آن برابر با $V_{cmp}/2$ باشد، لذا در این حالت ولتاژ گره‌ی 'A' هم معادل با همین مقدار خواهد بود. در گام بعد، سیگنال 'Phase' غیر فعال شده و ولتاژ فریم کنونی در اختیار واحد تشخیص حرکت قرار می‌گیرد. به تبع آن ارتباط گره‌ی 'A' با خروجی گیت معکوس کننده قطع شده و خازن $C_{storage}$ تمایل به حفظ مقدار قبلی دارد. بنابراین اگر ولتاژ دو فریم متوالی به هم نزدیک باشد، ولتاژ گره‌ی 'A' نیز مقدار قبلی خود را حفظ خواهد کرد. این در حالیست که اگر تغییر چشم‌گیری در ولتاژ دو فریم متوالی رخ دهد، ولتاژ گره‌ی 'A' مقداری بیشتر و یا کمتر از مقدار آستانه‌ی گیت معکوس کننده خواهد داشت. بطوریکه اگر این اختلاف از مقدار $V_{cmp} \pm V_{activation}/2$ تجاوز کند، خروجی گیت معکوس کننده تغییر وضعیت می‌دهد. در این حالت خروجی فلیپ‌فلاپ وضعیت صحنه در فریم قبل و ورودی آن وضعیت صحنه در فریم کنونی را نمایندگی می‌کند. این دو ولتاژ از طریق دو مسیر مجزا در اختیار گیت XNOR قرار می‌گیرند و به این ترتیب هرگونه اختلاف آنها رصد می‌شود. در انتهای هر فریم از تصویر، سیگنال V_{cmp_Pulse} فعال شده و ولتاژ فریم کنونی به خروجی فلیپ‌فلاپ منتقل می‌گردد. لازم به ذکر است که ولتاژ آستانه، توسط کاربر و یا سیستم پردازش تصویر تنظیم شده و متناسب با شرایط محیطی موجود در صحنه‌ی تصویربرداری از قبیل شدت نور تابیده‌شده به حسگر، دقت مورد نیاز و غیره به سیستم اعمال خواهد شد. روند اعمال سیگنال‌های کنترلی به واحد تشخیص حرکت در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵ روند اعمال سیگنال‌های کنترلی به واحد تشخیص حرکت.
(الف) سیگنال 'Vid-Frames'، (ب) سیگنال 'Phase'،
(ج) سیگنال 'Vcmp'، (د) سیگنال 'Vcmp_Pulse'

حالت، بازگشت حسگر به حالت کاری تشخیص حرکت، منوط به صدور دستور تغییر وضعیت از جانب کاربر و یا سیستم پردازش تصویر خواهد بود که در قالب یک پالس ولتاژ اعمال می‌شود.

وظیفه‌ی بخش دوم از واحد مدیریت توان که جزئیات آن در شکل ۷(ب) ترسیم شده است، تعیین وضعیت فعال و یا غیرفعال بودن پیکسل‌های پشتیبان در پردازش فریم‌های مختلف است. همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شد، به منظور جلوگیری از تحمیل سیم‌بندی پیچیده در طراحی، ساختار مداری بکارگرفته‌شده در همه پیکسل‌های آرایه اعم از پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان یکسان بوده و تنها تفاوت آنها در نحوه‌ی اعمال سیگنال‌های کنترلی و تغذیه است. به همین منظور، در گام نخست، هر یک از سیگنال‌های تغذیه و یا کنترلی پس از اعمال به مدار و قبل از رسیدن به آرایه به دو بخش مجزا تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال در مورد سیگنال تغذیه دو خط 'VDD' و 'Standby_VDD' خواهیم داشت که به ترتیب به پیکسل‌های دیدبان و پیکسل‌های پشتیبان اعمال می‌شوند. خط 'VDD' همواره متصل است و این در حالیست که فعال بودن خط 'Standby_VDD' منوط به فعال بودن سیگنال 'Event' خواهد بود. به عبارت دیگر 'VDD' در تمام حالات کاری حسگر و 'Standby_VDD' فقط در حالت کاری تعقیب جسم متحرک به آرایه متصل خواهند شد.

شکل ۷(ج) طبقه‌ی سوم از واحد مدیریت توان را نشان می‌دهد که وظیفه‌ی اصلی آن کنترل عملکرد واحد تشخیص حرکت در حالات کاری مختلف است؛ بطوریکه در حالت کاری تشخیص حرکت فعال باشد و در حالت کاری تعقیب جسم متحرک، غیر فعال. این فرایند با استفاده از طراحی مسیری مجزا جهت اعمال سیگنال تغذیه به واحد تشخیص حرکت پیاده‌سازی شده است. همانطور که از شکل ۷(ج) بر می‌آید، وضعیت سیگنال 'VDD_Event_Genetearor' وابسته به سیگنال 'Mode' خواهد بود.

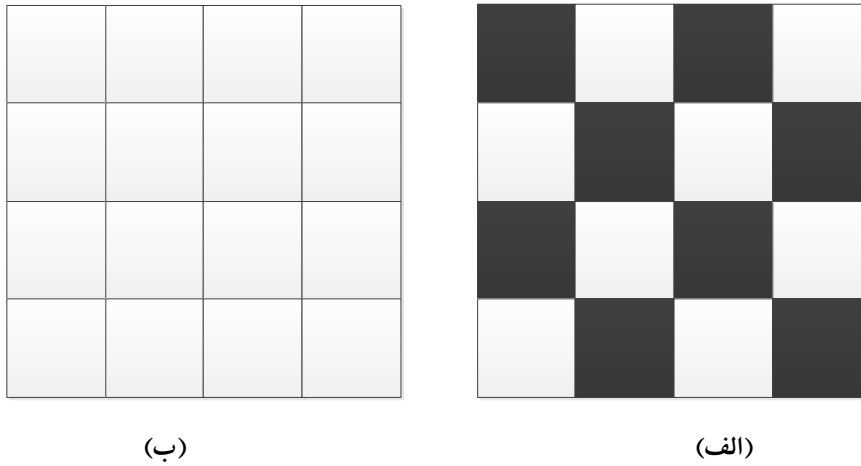
شکل ۷(د) آخرین طبقه از واحد مدیریت توان را نشان می‌دهد که وظیفه‌ی اصلی آن اعمال سیگنال مناسب به ترانزیستور 'm5' به منظور دسترسی به ولتاژ خازن است؛ به نحوی که در حالت کاری تشخیص حرکت، اطلاعات دو فریم متوالی در اختیار باشد و در حالت کاری تعقیب جسم متحرک، صرفاً اطلاعات فریم کنونی پردازش شود.

پشتیبان در یک آرایه، چه در جهت افقی و چه در جهت عمودی استفاده شده است. شکل ۶ شماتیک طرح مورد نظر را برای یک آرایه ۴×۴ در دو حالت کاری نشان می‌دهد که در آن پیکسل‌های دیدبان با رنگ سفید و پیکسل‌های پشتیبان با رنگ مشکی مشخص شده‌اند. همین الگو برای آرایه‌های مختلف با ابعاد گوناگون قابل پیاده‌سازی است.

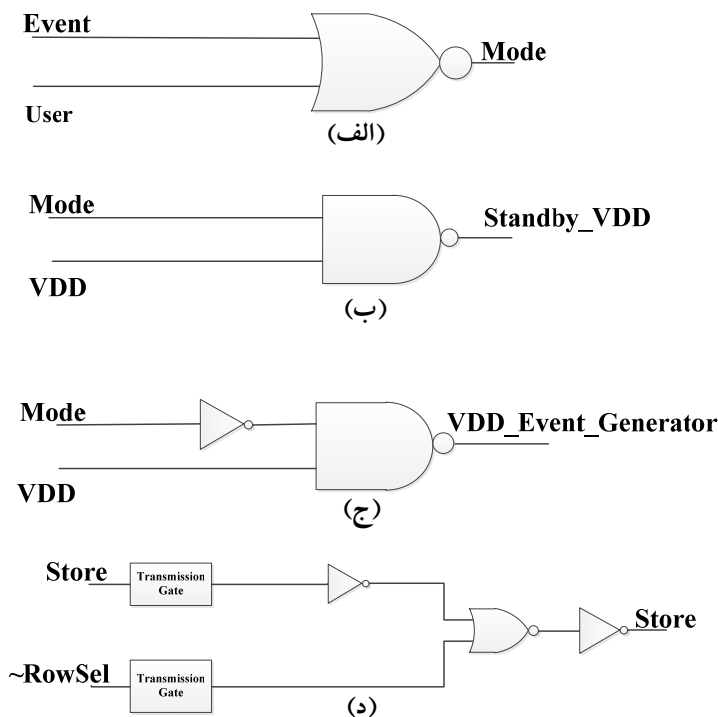
لازم به ذکر است در صورتی که حسگر در محیطی بکار گرفته شود که در آن مسیرهای مشخصی برای عبور و مرور تعیین شده باشد (به عنوان مثال کنترل افراد وارد شده به یک بانک)، می‌توان با تغییر چیدمان پیکسل‌ها و یا تغییر در نسبت پیکسل‌های دیدبان به پیکسل‌های پشتیبان توان مصرفی را بازهم کاهش داد؛ چرا که توان مصرفی یک سیستم تصویربرداری نمونه ارتباط مستقیمی با تعداد پیکسل‌های فعال در پردازش هر فریم از تصویر دارد [۱۶]. بنابراین اگر بتوان در شرایط خاص بخش بیشتری از پیکسل‌های موجود در آرایه را غیر فعال در نظر گرفت، به همان نسبت توان مصرفی حسگر کاهش می‌یابد.

در کنار توان مصرفی، دقت سیستم تصویربرداری پارامتر مهم دیگری است که لازم است در بررسی کارایی حسگر تصویر ارائه‌شده مورد توجه قرار گیرد. در طرح پیش‌رو، بواسطه‌ی چینش یک در میان پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان چه در جهت افقی و چه در جهت عمودی، حداکثر دقت ممکن در آشکارسازی کوچکترین حرکت احتمالی در هر نقطه از تصویر در نظر گرفته شده است. به این ترتیب که هر جسمی با کمترین تغییر وضعیت جغرافیایی در صحنه (به اندازه‌ی یک سلول در هر جهت) به عنوان متحرک شناخته می‌شود. بدیهی است می‌توان با تغییر نسبت و چیدمان پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان، دقت سیستم تصویربرداری را تنظیم کرد.

شکل ۷ ساختار مداری طراحی شده به منظور پیاده‌سازی بخش‌های مختلف واحد مدیریت توان را در سیستم تصویربرداری پیشنهادی نشان می‌دهد. در شکل ۷(الف) هسته‌ی مرکزی واحد مدیریت توان آمده است که وظیفه‌ی اصلی آن تعیین حالت کاری مناسب جهت عملکرد بهینه‌ی حسگر در پردازش فریم‌های مختلف از تصویر است. در انتهای هر فریم، همزمان با فعال شدن سیگنال 'Read'، واحد تشخیص حرکت سیگنال‌های 'Event' تولید شده در انتهای هر ستون را در اختیار این بخش از واحد مدیریت توان قرار می‌دهد؛ در صورتی که حرکتی در صحنه تشخیص داده نشده باشد ($Event = 0$)، حسگر در حالت تشخیص حرکت باقی خواهد ماند ($Mode = 1$). حال آنکه اگر حرکتی در صحنه کشف شده باشد ($Event = 1$)، سیگنال 'Mode' نیز صفر شده و حسگر به حالت کاری تعقیب جسم متحرک تغییر وضعیت می‌دهد. در این



شکل ۶ چینش پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان در حالات مختلف کاری. (الف) حالت کاری تشخیص حرکت، (ب) حالت کاری تعقیب جسم متحرك.



شکل ۷ ساختار بخش‌های مختلف واحد مدیریت توان در طراحی حسگر تصویر پیشنهادی. (الف) هسته مرکزی به منظور تعیین حالت کاری مناسب در پردازش هر فریم از تصویر، (ب) طبقه دوم جهت تعیین وضعیت پیکسل‌های پشتیبان از نظر فعال و یا غیر فعال بودن در پردازش هر فریم از تصویر، (ج) طبقه سوم با هدف کنترل وضعیت واحد تشخیص حرکت در حالات کاری مختلف، (د) طبقه‌ی چهارم واحد مدیریت توان با هدف کنترل سیگنال اعمال شده به خازن.

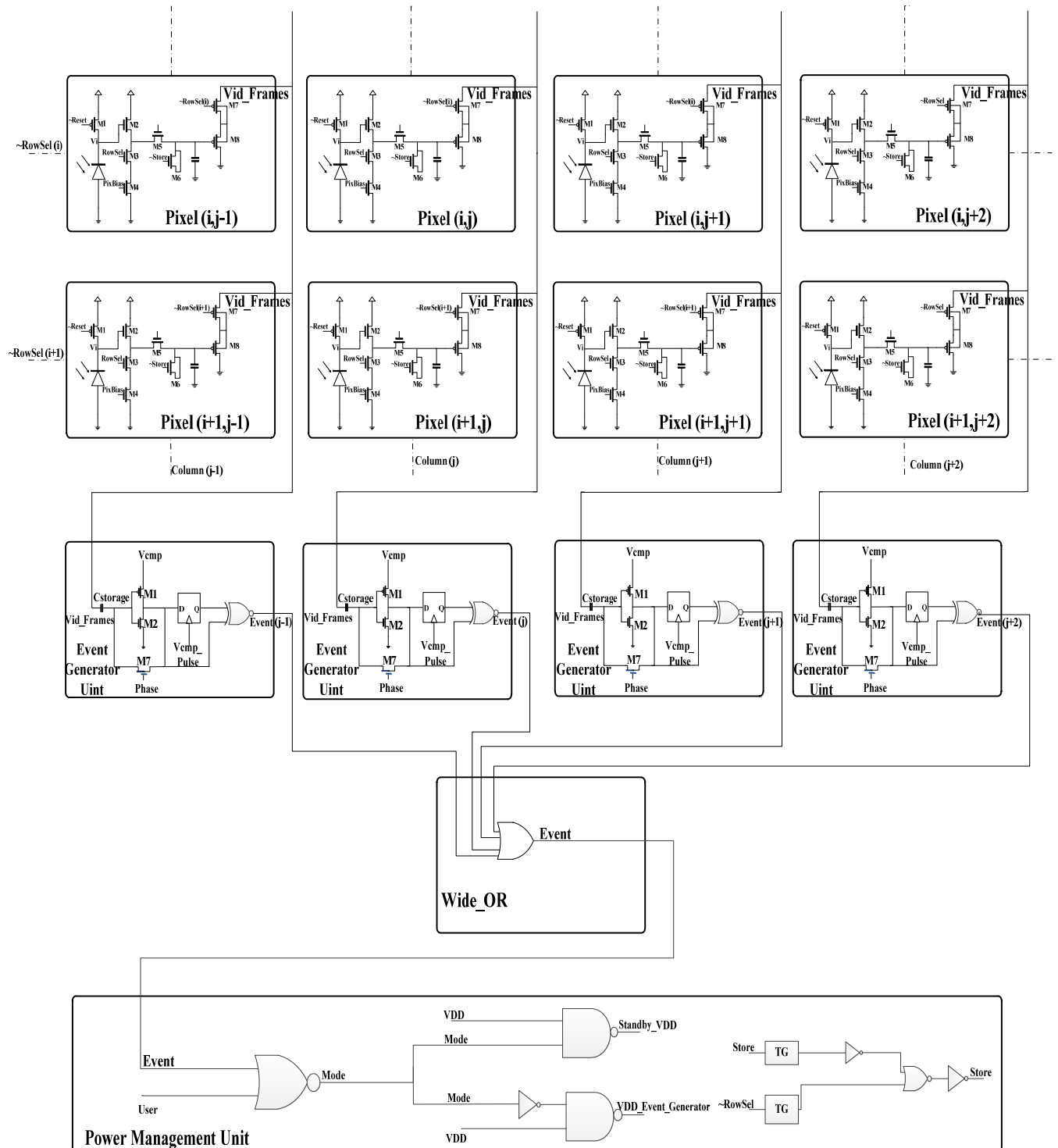
قرار می‌گیرید. در این قسمت به منظور آشکارسازی هرگونه حرکت احتمالی در تصویر، اختلاف ولتاژ خروجی مربوط به دو فریم متوالی بررسی شده و با مقداری پیش فرض مقایسه می‌گردد. در گام بعد سیگنال‌های ستونی واحد تشخیص حرکت توسط گیت Wide-OR تجمیع شده و به تبع آن سیگنال 'Event' به واحد مدیریت توان تحویل می‌گردد. نهایتاً واحد مدیریت توان متناسب با وضعیت سیگنال 'Event'، در مورد فعال و یا غیرفعال بودن پیکسل‌های پشتیبان در بررسی هر فریم از تصویر تصمیم‌گیری می‌کند.

۳-۵ روند انتقال اطلاعات

پس از تشریح ساختار و توصیف عملکرد بخش‌های مختلف حسگر تصویر پیشنهادی، چگونگی تعامل آنها در قالب یک سیستم تصویربرداری واحد بسیار حائز اهمیت است. شکل ۸ روند انتقال اطلاعات را در طرح پیش‌رو نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، در انتهای هر فریم از تصویر، ولتاژ خروجی پیکسل‌های فعال (Vid-Frames) بصورت ستونی در اختیار واحد تشخیص حرکت

پیشنهادی در سطح سیستم نیز به صورت هوشمند عمل می‌کند؛ چراکه در هر فریم از تصویر، توان مصرفی و نرخ انتقال اطلاعات را متناسب با شرایط صحنه‌ی تصویربرداری از حیث وجود و یا عدم وجود هر گونه حرکت احتمالی مدیریت خواهد کرد.

بنا بر آنچه تشریح شد، عملکرد هوشمند حسگر تصویر پیشنهادی در دو سطح قابل دفاع است: (۱) در سطح پیکسل، (۲) در سطح سیستم. از یک سو بهره‌گیری از پیکسل‌های هوشمند (و نه پیکسل‌های معمولی) با قابلیت ذخیره‌ی اطلاعات فریم قبل در گزارش هر فریم از تصویر و آن هم بدون نیاز به پردازش‌گر بیرونی از نکات قابل توجه در این طرح است. از سوی دیگر، حسگر



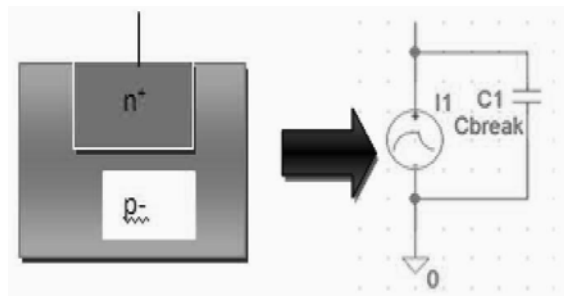
شکل ۸ روند انتقال اطلاعات در حسگر تصویر پیشنهادی.

۴ نتایج شبیه‌سازی

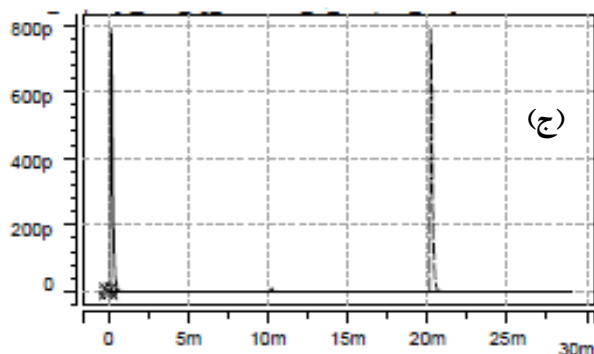
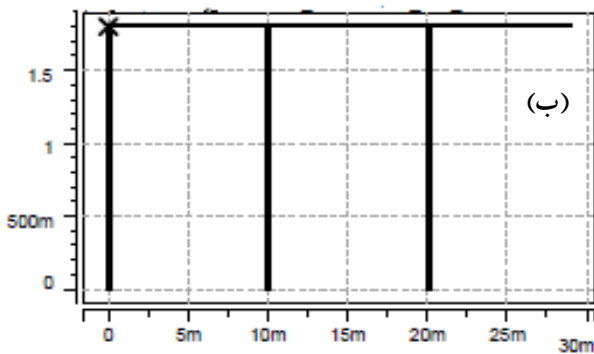
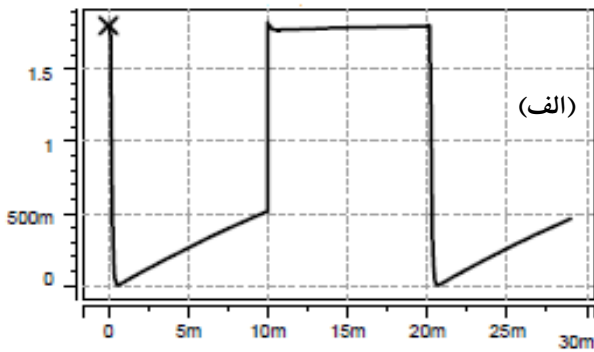
در این بخش ابتدا ابعاد فنی مرتبط با نحوه‌ی آماده‌سازی محیط شبیه‌سازی به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در ادامه نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم تصویربرداری پیشنهادی در سطوح مختلف و تحت شرایط محیطی متفاوت ارائه می‌گردد. همچنین بیان مشخصات حسگر تصویر پیشنهادی و مقایسه‌ی عملکرد آن با کارهای ارائه‌شده در پژوهش‌های پیشین از دیگر موضوعات مهم در نگارش این بخش خواهد بود.

۴-۱ آماده‌سازی محیط شبیه‌سازی

نکته‌ی مهم و اساسی در بررسی عملکرد حسگرهای تصویر، مدل‌سازی و شبیه‌سازی روند تبدیل نور به جریان الکتریکی در نرم‌افزارهای الکترونیکی است. راه حلی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، استفاده از یک منبع جریان نمایی موازی با یک خازن در ورودی حسگر به منظور مدل‌سازی رفتار فتودیود می‌باشد. در این حالت، ثابت زمانی صعود و فرود برای همه‌ی منابع جریان در سطح آرایه یکسان بوده و آنچه سبب ایجاد تفاوت در منابع مختلف تحت تابش نور با شدت‌های گوناگون خواهد شد، صرفاً دامنه‌ی جریان آنهاست. شکل ۹ مدار معادل فتودیود را در هر سلول از آرایه نشان می‌دهد. در این مدل‌سازی، خازن موازی با منبع جریان مجموع خازن‌های پارازیتی موجود در گره‌ی فتودیود را نمایندگی می‌کند که نقشی اساسی در عملکرد هر سلول خواهد داشت. به این ترتیب که با وصل شدن کلید 'Reset'، ولتاژ فتودیود به مقدار 'VDD' می‌رسد و پس از آن با آغاز فرایند نورگیری، ولتاژ آن متناسب با شدت نور در ورودی حسگر کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر است که در ساختار مدار معادل پیشنهادی می‌توان مقاومت دیود معکوس را نیز بصورت موازی با سایر اجزا در نظر گرفت؛ که با توجه به مقدار بسیار زیاد این مقاومت، عملاً تاثیر چندانی بر عملکرد مدار نخواهد داشت. شکل ۱۰ نتیجه‌ی شبیه‌سازی عملکرد هر سلول در پردازش سه فریم متوالی از تصویر را نشان می‌دهد. در این شکل در پردازش فریم‌های اول و سوم به دلیل شدت بالای نور تابیده شده به حسگر، افت ولتاژ گره‌ی فتودیود شدید و در فریم دوم این افت ولتاژ بسیار ناچیز بوده است. همچنین اثر ناشی از وجود خازن‌های پارازیتی در این نمودار مشهود است.



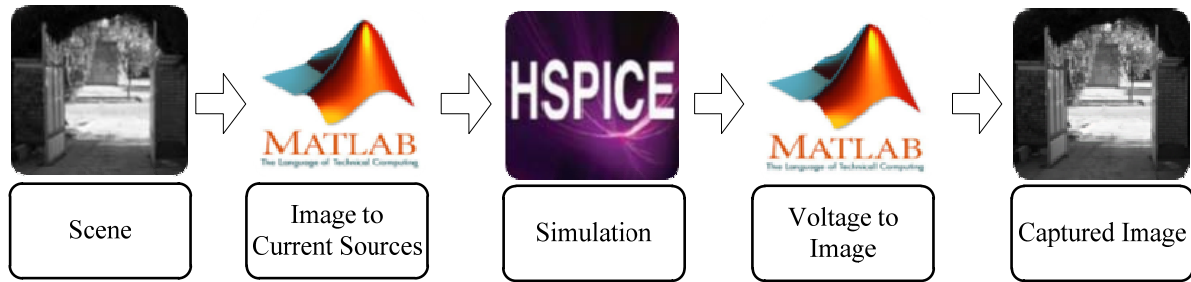
شکل ۹ مدار معادل فتودیود به منظور شبیه‌سازی فرایند فتوالکتریک.



شکل ۱۰ دیاگرام زمانی مربوط به عملکرد هر سلول در حسگر تصویر پیشنهادی. (الف) ولتاژ گره فتودیود، (ب) سیگنال Reset، (ج) منبع جریان نمایی به منظور شبیه‌سازی تابش نور.

(محور افقی در هر سه نمودار بر حسب ثانیه است. محور عمودی در نمودارهای الف و ب بر حسب ولت و در نمودار ج بر حسب آمپر است)

چگونگی شبیه‌سازی فرایند اخذ تصویر در شبیه‌سازی یک سیستم تصویربرداری نمونه، موضوع مهم دیگری است که در مقاله‌ی پیش‌رو مورد توجه قرار گرفته است. برخلاف کارهای مشابه که عمدتاً از مجموعه‌هایی نسبتاً پرهزینه و پیچیده شامل دوربین‌های تصویربرداری، تراشه‌ی FPGA و الگوریتم‌هایی با توان مصرفی و سرعت پردازشی بالا به منظور تبدیل همزمان نور دریافتی در هر پیکسل به منابع جریان متناسب جهت شبیه‌سازی فرایند تصویربرداری در حسگرهای تصویر استفاده می‌کنند [۷]، در این پژوهش، روشی به مراتب ساده‌تر و در عین حال کارآمدتر مبتنی بر تعامل میان نرم‌افزارهای MALAB و HSPICE طراحی و پیاده‌سازی شده است. شکل ۱۱ فرایند انتقال اطلاعات در این روش را تشریح می‌کند.



شکل ۱۱ روند انتقال اطلاعات به منظور شبیه‌سازی فرایند اخذ تصویر در حسگر تصویر پیشنهادی.

دستی نور برای هر پیکسل به طور کامل مرتفع شده است. همچنین مطابق با برنامه‌های نوشته شده در MATLAB، ساینز تصویر ورودی اهمیت ندارد و در هر مرحله مدارات لازم متناسب با اندازه‌ی تصویر ورودی به صورت کاملاً خودکار تولید و تحلیل می‌گردد.

۲-۴ گزارش نتایج شبیه‌سازی

شکل ۱۲ یک وضعیت صحنه‌ی تصویربرداری نمونه و خروجی حسگر را در پردازش سه فریم متوالی از تصویر نشان می‌دهد.

مطابق با شکل ۱۱ ابتدا یک تصویر ورودی به عنوان صحنه‌ی تصویربرداری شده در اختیار نرم‌افزار MATLAB قرار می‌گیرد. به کمک برنامه‌های نوشته شده، روشنایی هر پیکسل از آرایه در هر فریم از تصویر ورودی به منبع جریانی متناسب، نگاشت شده و به تبع آن مدار معادل مناسب تولید می‌شود. در گام بعد، نرم‌افزار HSPICE این اطلاعات را تحلیل می‌کند و خروجی الکتریکی متناسب هر پیکسل محاسبه می‌گردد. در آخرین مرحله، بار دیگر این سیگنال‌های الکتریکی به نرم‌افزار MATLAB بازگردانده شده و تصویر خروجی حسگر تولید می‌شود. در این روش تمامی پیکسل‌های موجود در آرایه به صورت همزمان شبیه‌سازی می‌شوند و به این ترتیب نیاز به شبیه‌سازی یک به یک سلول‌ها و یا تنظیم



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

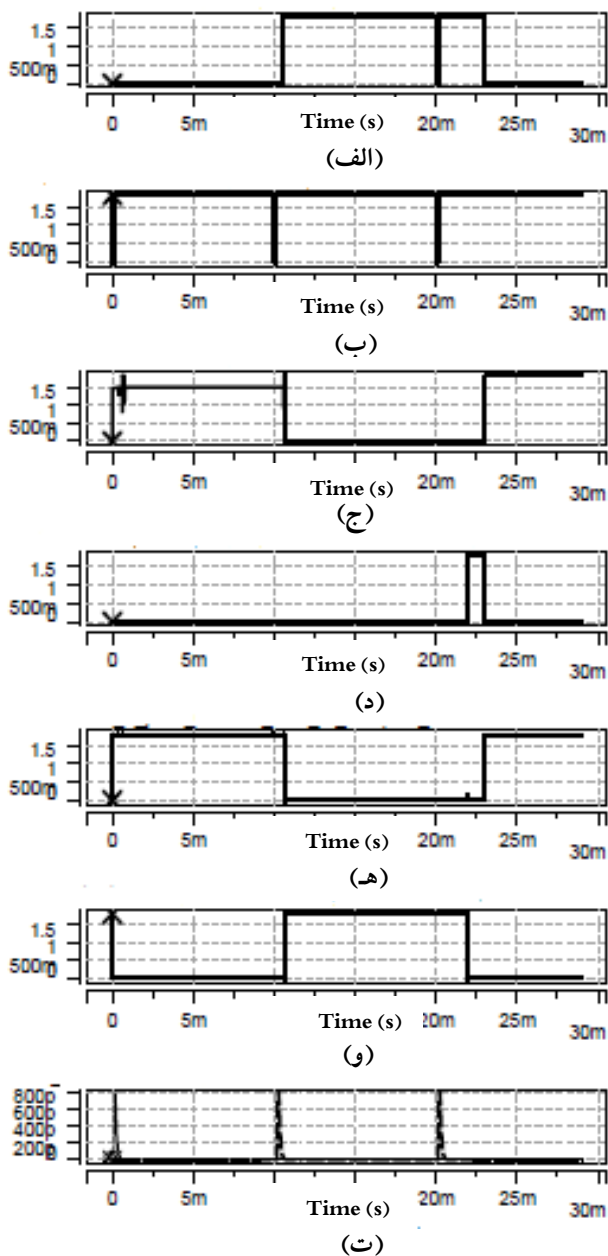


(ه)



(و)

شکل ۱۲ وضعیت صحنه تصویربرداری و خروجی حسگر تصویر پیشنهادی در پردازش سه فریم متوالی. (الف) صحنه در فریم اول، (ب) خروجی حسگر در فریم اول، (ج) صحنه در فریم دوم، (د) خروجی حسگر در فریم دوم، (ه) صحنه در فریم سوم، (و) خروجی حسگر در فریم سوم.

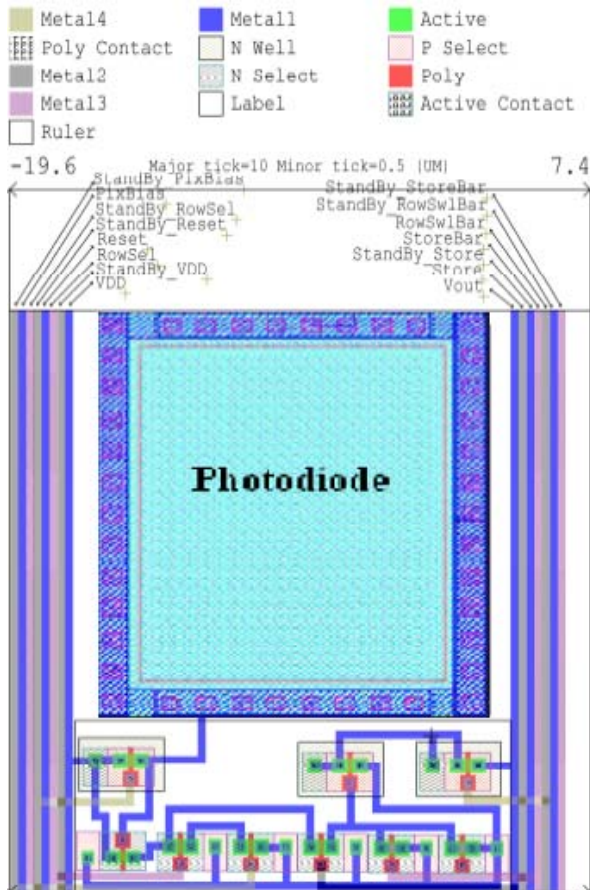


شکل ۱۳ دیاگرام زمانی سیگنال‌های کنترلی در دو فریم متوالی، (الف) سیگنال Reset پیکسل‌های پشتیبان، (ب) سیگنال Reset پیکسل‌های دیدبان، (ج) سیگنال تغذیه واحد تشخیص حرکت، (د) سیگنال user، (ه) سیگنال mode، (و) سیگنال event، (ت) منابع جریان. (محورهای الف تا و بر حسب ولت و نمودار ت بر حسب آمپر)

همچنین به منظور تشریح هرچه بهتر این فرایند، نتایج شبیه‌سازی واحد تشخیص حرکت به صورت مجزا در شکل ۱۴ ارائه می‌گردد. همانطور که در شکل ۱۴ (الف) مشخص شده است، ابتدا با صفر شدن سیگنال RowSel[~]، پیکسل مربوطه انتخاب و در گام بعد مطابق با شکل ۱۴ (ب)، سیگنال Phase به حسگر اعمال می‌گردد. همچنین شکل‌های ۱۴ (ج) و ۱۴ (د) به ترتیب وضعیت خروجی پیکسل در دو فریم متوالی و سیگنال Vcmp_pulse را نشان می‌دهند. نهایتاً مطابق با شکل‌های ۱۴ (ه) و ۱۴ (و) با فعال‌سازی سیگنال 'Read'، سیگنال 'Event' قرائت می‌شود.

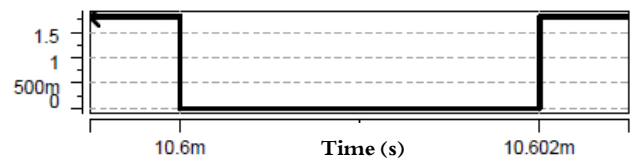
در ابتدای فرایند تصویربرداری و در پردازش اولین فریم، حسگر تصویر پیشنهادی در حالت کاری تشخیص حرکت قرار دارد. شکل‌های ۱۲ (الف) و ۱۲ (ب) صحنه‌ی تصویربرداری و خروجی حسگر را در پایان پردازش اولین فریم از تصویر نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که در شکل ۱۲ (ب) نقاط سیاه‌رنگ بیانگر غیرفعال بودن پیکسل‌های پشتیبان در آرایه‌ی حسگرها هستند. در ادامه‌ی روند تصویربرداری، فریم دوم در حالی آغاز می‌شود که حسگر تصویر پیشنهادی همچنان در حالت کاری تشخیص حرکت قرار دارد. فرض می‌کنیم وضعیت صحنه در فریم دوم مطابق با شکل ۱۲ (ج) تغییر کند. لذا گزارش حسگر در انتهای دومین فریم از تصویر مطابق با شکل ۱۲ (د) خواهد بود؛ با این تفاوت که در انتهای پردازش فریم دوم، تغییرات موجود در صحنه توسط واحد تشخیص حرکت حسگر کشف شده و به تبع آن سیگنال 'Event' فعال می‌گردد. پس از بررسی وضعیت سیگنال 'Event' توسط واحد مدیریت توان، حسگر از حالت کاری تشخیص حرکت به حالت کاری تعقیب جسم متحرک تغییر وضعیت می‌دهد. بنابراین پردازش سومین فریم از تصویر در حالی آغاز می‌شود که تمامی پیکسل‌های موجود در آرایه اعم از پیکسل‌های دیدبان و پشتیبان فعال هستند و سیستم تصویربرداری با حداکثر رزولوشن صحنه را گزارش می‌کند. همچنین واحد تشخیص حرکت غیرفعال خواهد بود و مادامی که دستور تغییر وضعیت صادر نشده باشد، تصاویر ارسالی توسط کاربر تحلیل و بررسی می‌شود. شکل‌های ۱۲ (ه) و ۱۲ (و) به ترتیب وضعیت صحنه‌ی تصویربرداری و خروجی حسگر را در انتهای فریم سوم نشان می‌دهند.

شکل ۱۳ وضعیت سیگنال‌های کنترلی مربوط به بخش‌های مختلف سیستم تصویربرداری پیشنهادی را طی فرایند فوق و در پردازش سه فریم متوالی نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت، در پردازش اولین فریم، حسگر در حالت کاری تشخیص حرکت قرار دارد. در این حالت سیگنال 'Event' غیر فعال و سیگنال 'Mode' فعال خواهد بود. همزمان با پایان فاز قرائت ولتاژ در فریم دوم، سیگنال 'Event' فعال شده و حسگر به حالت کاری تعقیب جسم متحرک تغییر وضعیت می‌دهد. در این حالت سیگنال 'Mode' صفر خواهد بود و همچنین سیگنال 'VDD_Event_Generator' غیر فعال است. نهایتاً با فعال‌سازی سیگنال 'User' در فریم سوم، بار دیگر حسگر به حالت کاری تشخیص حرکت بازخواهد گشت و کنترل صحنه را بر عهده خواهد داشت. همچنین در پردازش فریم‌های اول و دوم، سیگنال‌های کنترلی و تغذیه‌ی پیکسل‌های پشتیبان غیرفعال هستند. حال آنکه در بررسی فریم سوم که حرکتی در صحنه کشف شده است، همه‌ی پیکسل‌ها فعال خواهند بود. در این طرح فرض بر این بوده است که در انتهای فریم سوم، سیگنال 'User' فعال می‌گردد و بار دیگر حسگر به حالت کاری تشخیص حرکت باز خواهد گشت.

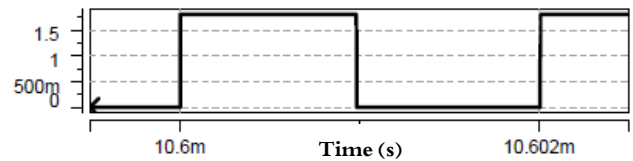


شکل ۱۵ نمایش کلی از جانمایی سلول پیشنهادی.

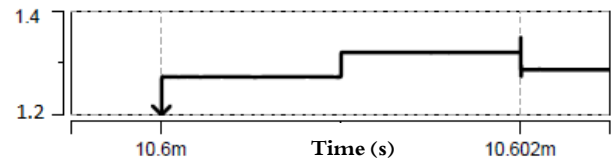
ذکر این نکته ضروری است که توان مصرفی گزارش شده، در واقع متوسط توان مصرفی سیستم تصویربرداری با نرخ ۱۰۰ فریم بر ثانیه طی پردازش دو فریم متوالی از تصویر در حالت کاری تشخیص حرکت و بدون حضور جسم متحرک است. به منظور محاسبه هرچه دقیق‌تر این پارامتر، بخش‌های مختلف حسگر تصویر پیشنهادی در زیرمدارهای جداگانه تحلیل و توان مصرفی هر یک به صورت مجزا بدست آمده است. مطابق با نتایج شبیه‌سازی، توان مصرفی ساختارهای دیجیتال در مقایسه با توان مصرفی آرایه‌ی آنالوگ حسگر بسیار ناچیز بوده و کاملاً قابل اغماض است. همچنین، تمامی نتایج گزارش شده در این تحقیق، حاصل ارزیابی عملکرد حسگر تصویر پیشنهادی تحت شرایط کاری مختلف با در نظر گرفتن تصاویر گوناگون به عنوان صحنه‌های متفاوت تصویربرداری و اعمال گستره‌ی وسیعی از شدت نور به سیستم تصویربرداری است و مختص به شرایط کاری توصیف شده در شکل ۱۲ نمی‌باشد. با در نظر گرفتن این ملاحظات، توان مصرفی حسگر پیشنهادی ۲/ میلی‌وات خواهد بود که این عدد، حکایت از کاهش توان مصرفی در حسگرهای تصویر هوشمند با قابلیت تشخیص حرکت دارد. همچنین، طراحی و ارائه‌ی ساختاری نوین به منظور پیاده‌سازی هر سلول از حسگر تصویر پیشنهادی از جمله دستاوردهای مهم در این پژوهش است که دستیابی به ضریب فضای مؤثر بالاتر را در مقایسه با حسگرهای مشابه به دنبال دارد. جدول (۱) مشخصات فنی حسگر تصویر



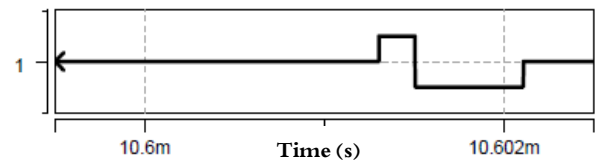
(الف)



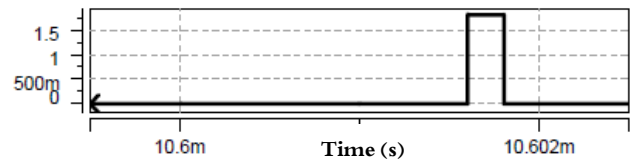
(ب)



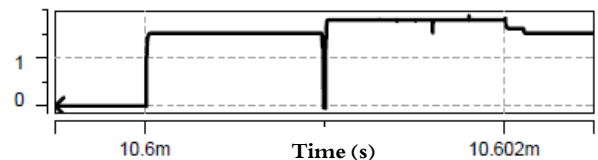
(ج)



(د)



(ه)



(و)

شکل ۱۴ نتایج شبیه‌سازی واحد تشخیص حرکت. (الف) سیگنال RowSel، (ب) سیگنال Phase، (ج) ولتاژ خروجی پیکسل در دو فریم متوالی، (د) سیگنال Vcmp_Pulse، (ه) سیگنال Read، (و) سیگنال Event. (تمامی محورها بر حسب ولت)

به منظور محاسبه‌ی ضریب فضای مؤثر، ارائه‌ی طرحی کلی از جانمایی^۱ هر سلول مطابق با شکل ۲ مورد نیاز است که این طرح در شکل ۱۵ آمده است. در این تحقیق، از مجموعه نرم‌افزارهای TANNER به منظور تخمین طرح کلی جانمایی استفاده شده است. با توجه به کوچک‌تر شدن فضای اشغال شده توسط مدارات جانبی در طراحی ساختار هر پیکسل و همچنین بهینه‌سازی عملکرد آن در طرح پیشنهادی، ضریب فضای مؤثر هر سلول به ۴۵٪ افزایش یافته است.

مؤثر هر سلول افزایش یافته است. مکانیزم پردازش، شاخص مهم دیگری است که در بررسی و مقایسه‌ی الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر مورد توجه قرار می‌گیرد. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، در طرح پیش‌رو واحد تشخیص حرکت در سطح هر ستون پیاده‌سازی شده است که ضمن بهینه‌سازی ظرفیت خازنی هر پیکسل، از سرعت قابل قبولی به منظور قرائت ولتاژ پیکسل‌های آرایه برخوردار خواهد بود.

پیشنهادی را بیان می‌کند. همچنین با در نظر گرفتن توان مصرفی، ضریب فضای مؤثر و نرخ تصویربرداری، جدول (۲) مقایسه‌ی اجمالی از عملکرد سیستم تصویربرداری پیشنهادی با کارهای مشابه ارائه می‌دهد. در این جدول اطلاعات تکنولوژیهای مشابه جهت مقایسه‌ی کامل و سایر موارد به منظور مقایسه‌ی ضریب فضای مؤثر درج شده‌اند. همانطور که از این جدول بر می‌آید، بواسطه‌ی استفاده از مدار و ساختار پیشنهادی، با وجود افزایش نرخ تصویربرداری، توان مصرفی سیستم کاهش و ضریب فضای

جدول ۱ مشخصات فنی حسگر تصویر پیشنهادی.

ابعاد ترانزیستورها	تکنولوژی استاندارد ۱۸۰ نانومتر
ابعاد آرایه	۶۴×۶۴
ابعاد هر پیکسل	۱۴ میکرومتر مربع
تعداد ترانزیستور بکاررفته در ساختار هر سلول	۸ ترانزیستور
مکانیزم پردازش	در سطح ستون
ضریب فضای مؤثر	۴۵٪
نرخ تصویربرداری	۱۰۰ فریم بر ثانیه
توان مصرفی حسگر تصویر پیشنهادی	۰/۲ میلی‌وات در حالت کاری تشخیص حرکت ۰/۴ میلی‌وات در حالت کاری تعقیب جسم متحرك

جدول ۲ مقایسه اجمالی سیستم تصویربرداری پیشنهادی با نمونه‌های مشابه.

مرجع	تکنولوژی	ابعاد پیکسل (میکرومتر مربع)	نرخ تصویربرداری	مکانیزم پردازش	ضریب فضای مؤثر	توان مصرفی
[۱۰]	۵۰۰ نانومتر	۲۵×۲۵	۳۰ فریم بر ثانیه	در سطح آرایه	۱۷٪	۴/۲ میلی‌وات
[۱۷]	۵۰۰ نانومتر	۲۹×۲۸	۳۰ فریم بر ثانیه	در سطح آرایه	۲۳٪	۱/۲ میلی‌وات
[۹]	۵۰۰ نانومتر	۳۳×۳۳	۱۶۰ فریم بر ثانیه	در سطح آرایه	۱۱/۵٪	۰/۹ میلی‌وات
[۶]	۱۸۰ نانومتر	۷/۵×۷/۵	۳۰ فریم بر ثانیه	در سطح پیکسل	۳۰٪	۰/۵ میلی‌وات
[۸]	۱۸۰ نانومتر	۱۴×۱۴	۱۰۰ فریم بر ثانیه	در سطح آرایه	۳۲٪	۰/۴ میلی‌وات
[۵]	۶۵ نانومتر	۳۵×۳۵	گزارش نشده	در سطح پیکسل	۱۵٪	۵/۴ میکرو وات به ازای هر پیکسل
پژوهش پیش‌رو	۱۸۰ نانومتر	۱۴×۱۴	۱۰۰ فریم بر ثانیه	در سطح ستون	۴۵٪	۰/۲ میلی‌وات

۵ خلاصه و نتیجه گیری

در این پژوهش، یک حسگر تصویر هوشمند مبتنی بر تشخیص حرکت با توان مصرفی بسیار پایین و همچنین ضریب فضای مؤثر بالا ارائه شد. کاهش حجم پردازش‌های اضافی در فریم‌های کم-ارزش، عامل اساسی در کاهش توان مصرفی سیستم تصویربرداری پیشنهادی می‌باشد که این مهم با افزودن واحد مدیریت توان به ساختار اصلی سیستم تصویربرداری محقق شده است؛ به گونه‌ای که در پردازش فریم‌های حساس که حرکتی در آنها تشخیص داده شده باشد، حسگر از تمام پیکسل‌های موجود در آرایه استفاده کند و در پردازش سایر فریم‌ها فقط بخشی از پیکسل‌های آرایه فعال باشند. همچنین با توجه به بازطراحی و بهینه‌سازی ساختار هر سلول، موجبات انتقال سیگنال‌های مربوط به فریم‌های متوالی از طریق یک مسیر خروجی فراهم گردیده که همین مساله افزایش چشمگیر ضریب فضای مؤثر در هر سلول را در پی داشته است. در پایان، ارائه‌ی روشی ساده و کارآمد به منظور شبیه‌سازی فرایند اخذ تصویر در شبیه‌سازی انواع حسگر تصویر از جمله دستاوردهای مهم این مقاله است. مطابق با نتایج شبیه‌سازی، توان مصرفی حسگر پیشنهادی معادل با ۲/۰ میلی‌وات و ضریب فضای مؤثر هر سلول برابر با ۴۵٪ خواهد بود.

مراجع

- [9] Y.S. Chen, W. Tang, and E. Culurciello, "A 64×64 pixels UWB wireless temporal difference digital image sensor," *IEEE Int. Symposium on Circuit and Systems*, 2010.
- [10] Y. Chai, U. Mallik, and M. Clapp, "CMOS camera with in-pixel temporal-change detection and ADC", *IEEE Journal of Solid-State Circuit*, vol. 42, pp. 2187-2196, 2007.
- [11] H. Zhu and T. Shibata, "A Real-Time Motion-Feature-Extraction VLSI Employing Digital-Pixel-Sensor-Based Parallel Architecture," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 24, pp. 1787-1799, 2014.
- [12] Y. Yang, J. Yang, L. Liu, and N. Wu, "High-Speed Target Tracking System Based on a Hierarchical Parallel Vision Processor and Gray-Level LBP Algorithm", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 99, pp. 1-15, 2016.
- [13] M. Rusci, D. Rossi, M. Lecca, M. Gottardi, E. Farella, and L. Benini, "An Event-Driven Ultra-Low-Power Smart Visual Sensor" *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, pp. 5344-5353, 2016.
- [14] X. Peng, B. Zhao, R. Yan, H. Tang, and Z. Yi, "Bag of Events: An Efficient Probability-Based Feature Extraction Method for AER Image Sensors" *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 99, pp. 1-13, 2016.
- [15] C. Dupoirion, A. Verdant, and G. Sicard, "Trade-off between the number of bits per pixel and motion detection quality for a low power image sensor" *Electronic Imaging*, pp. 1-6, 2016.
- [16] X. Liu, M. Zhang, and J. Van der Spiegel, "A low-power multifunctional CMOS sensor for an electronic facade," *IEEE Transaction on Circuit and Systems for Video Technology*, vol. 61, 2014.
- [17] Z. Fu, and E. Culurciello "A 1.2mW CMOS temporal-difference image sensor for sensor networks," *IEEE Int. Symposium on Circuit and Systems*, pp. 1064-1067, 2008.
- [18] A. Fish, L. Sudakov-Boresha, and O. Yadid-Pecht, "Low-power tracking image sensor based on biological models of attention," *International Journal Inform. Theory Application*, vol. 14, no. 2, pp. 103-114, 2006.
- [19] S. Hanson, Z. Foo, D. Blaauw, and D. Sylvester, "A 0.5 V sub-microwatt CMOS image sensor with pulse-width modulation read-out," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 45, pp. 759-767, 2010.
- [20] L. G. McIlrath, "A low-power low-noise ultrawide-dynamic-range CMOS imager with pixel-parallel A/D conversion," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 36, pp. 846-853, 2001.
- [21] B. E. Saleh, and M. C. Teich, *Fundamentals of photonics* vol. 22: Wiley New York, 1991.
- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Prentice hall Upper Saddle River, 2002.
- [2] M. Bigas, E. Cabruja, J. Forest, and J. Salvi, "Review of CMOS image sensor," *Microelectronics journal*, vol. 37, pp. 433-541, 2006.
- [3] S. A. Taylor, "CCD and CMOS imaging array technologies: technology review," *Relatorio Tecnico EPC-1998-106, Cambridge Laboratory*, 1998.
- [4] H.-S. Wong, "Technology and device scaling considerations for CMOS imagers," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 43, pp. 2131-2142, 1996.
- [5] X. Zhang, and S. Chen "A second-generation noise-immune motion detection image sensor for moving object tracking application" *international Symposium on Integrated Circuits (ISIC)*, pp. 252-255, 2014.
- [6] M. Habibi, "A low power smart CMOS image sensor for surveillance applications," *6th Iranian Machine Vision and Image Processing (MVIP)*, pp. 1-4, 2010.
- [7] J. Yang, C. Shi, Z. Cao, Y. Han, L. Liu, and N. Wu, "Smart Image Sensing System" *Sensors IEEE*, p.p. 1-4, 2013.
- [8] B. Zhao, X. Zhang, S. Chen, K.-S. Low, and H. Zhuang, "A 64×64 CMOS image sensor with on-chip moving object detection and localization" *IEEE Transaction on Circuit and Systems for Video Technology*, vol. 22, pp. 581-588, 2012.



عباس مهبد مدارك کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته‌ی مهندسی برق، گرایش الکترونیک به ترتیب در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول و در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه کاشان اخذ کرد. زمینه‌ی تخصصی فعالیت‌های علمی وی معطوف به دانش پردازش تصاویر (در سطوح دیجیتال و آنالوگ) و همچنین کاربرد آن در صنعت بینایی ماشین است که در همین رابطه و با تمرکز بر بهینه‌سازی ساختار حسگر تصویر هوشمند، تاکنون مقالات متعددی را در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی به چاپ رسانده است.



حسین کریمیان مدرک کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته‌ی مهندسی برق، گرایش الکترونیک به ترتیب در سالهای ۱۳۸۰ و ۱۳۸۹ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ کرد. از سال ۱۳۸۹ و با طی یک دوره پس‌دکتری هیئت علمی دانشگاه کاشان است. حوزه تخصصی فعالیت‌های پژوهشی ایشان طراحی سیستم‌ها و مدارهای دیجیتال کم مصرف، مواد نوظهور، مدارهای پردازش تصویر و همچنین منابع تغذیه و کاربردهای صنعتی است. در این زمینه‌ها، تاکنون مقالات متعددی در مجلات و کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی از ایشان به چاپ رسیده است.