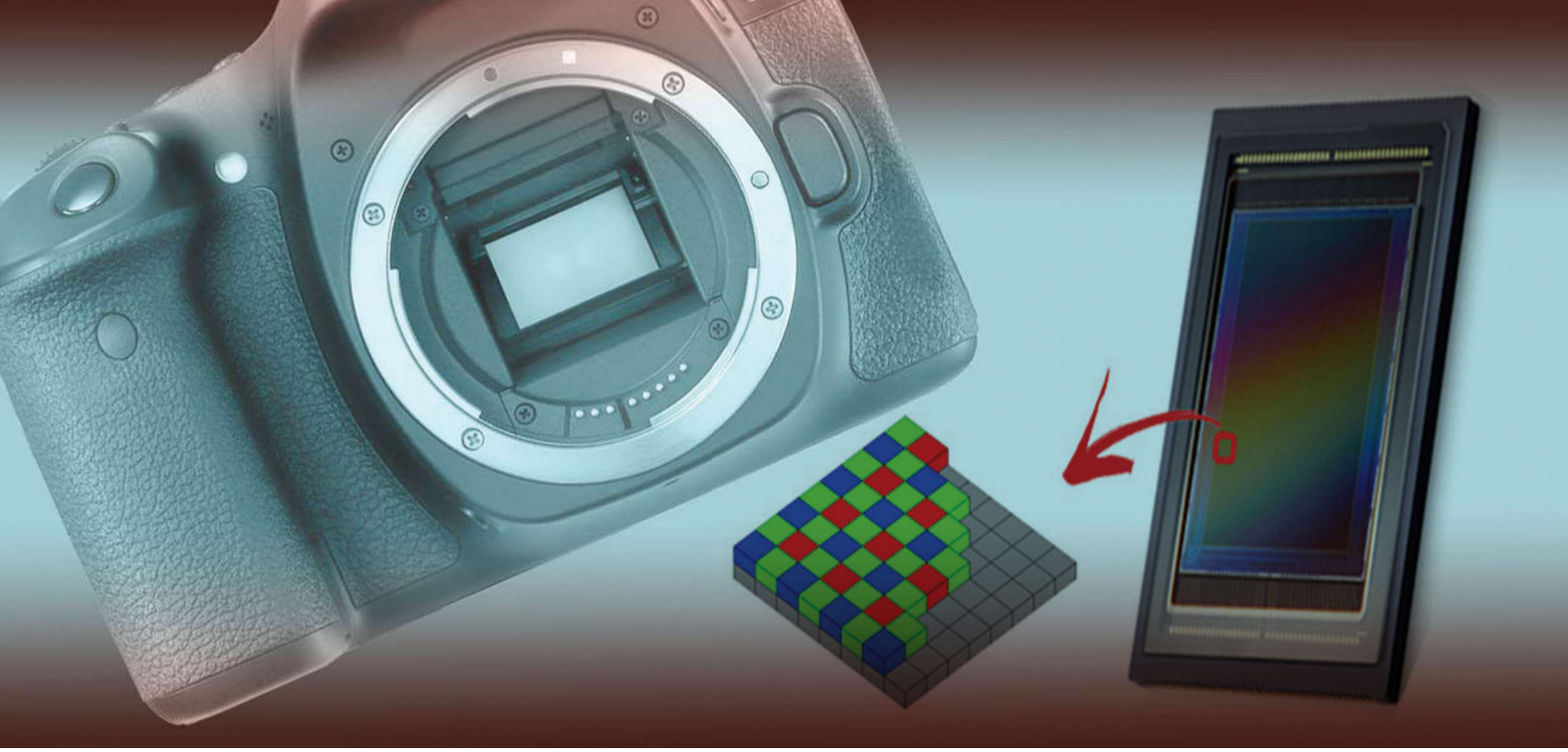


مقاله علمی-ترویجی

اصول طراحی سنسورهای تصویر برای استفاده در دوربین‌های دیجیتال

مسعود تیموری، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، m.teymouri@uut.ac.ir

چکیده

در این مقاله ساختار کلی یک دوربین دیجیتال معرفی شده و مهمترین بخش آن که سنسور تصویر CMOS می‌باشد توضیح داده شده است. بعد از آشنایی با قسمت های مختلف سنسور تصویر، یک سنسور تصویر با استفاده از معماری ستون-موازی و رزولوشن یک مگاپیکسل (۱۲۸۰×۷۲۰) طراحی گردیده است. برای طراحی بلوک های مختلف سنسور از مدارات رایج و پرکاربرد استفاده شده است. برای آشنایی با نحوه ارزیابی سنسورهای تصویر، انواع پارامترهای مهم سنسور همراه با توضیحات در مقاله گردآوری شده است.

کلمات کلیدی: دوربین دیجیتال، سنسور تصویر CMOS، پیکسل، مبدل آنالوگ به دیجیتال.

Principles of Designing Image Sensors for Use in Digital Cameras

Masood Teymouri, Faculty of Electrical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran, m.teymouri@uut.ac.ir

Abstract

Abstract- In this paper, the overall structure of a digital camera is introduced and its most important part which is the CMOS image sensor, is explained in detail. After getting acquainted with the different parts of the image sensor, an image sensor has been designed using column-parallel architecture and a resolution of one megapixel. The most popular circuits have been used to design different blocks of the sensor. To evaluate image sensors, a variety of important sensor parameters with descriptions have been collected in the article.

Keywords: Digital camera, CMOS image sensor, pixel, analog to digital converter

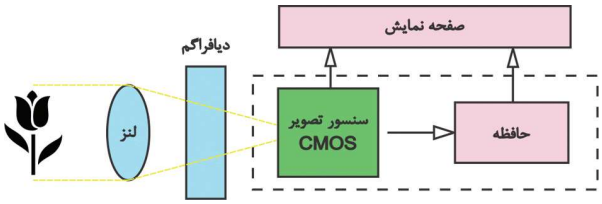
۱-مقدمه

دوربین‌های دیجیتال یکی از پرکاربردترین تجهیزات الکترونیکی می‌باشند که کاربردهای فراوانی در زندگی امروزی دارند. نه تنها از آنها برای عکسبرداری و فیلم‌برداری از مناظر استفاده می‌شود بلکه کاربردهای زیادی در ماشین‌های صنعتی، تجهیزات پزشکی، ماشین آلات کشاورزی، ادوات نظامی و غیره دارند. تقاضای زیادی که به دوربین در دنیا وجود دارد باعث شده است که تحقیقات فراوانی برای ارتقاء عملکرد آنها صورت پذیرد. نتیجه این تحقیقات

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]

در یک قرن اخیر باعث شده که دوربین‌ها از یک وسیله دستی که در آنها برای تصویربرداری از فیلم‌های فوتوگرافی استفاده میشد و در نهایت عکس گرفته شده بر روی کاغذ چاپ می‌گردید به یک دوربین دیجیتال تبدیل شود که قابلیت تصویربرداری الکترونیکی داشته و بعد از پردازش تصویر در نهایت اطلاعات تصویر در یک فایل ذخیره می‌گردد. بلوک دیاگرام کلی یک دوربین دیجیتال در شکل (۱) نشان داده شده است. برای ایجاد یک تصویر واضح از مناظر، از یکسری ادوات اپتیکی استفاده می‌شود. ساده‌ترین نوع آن، یک عدسی موازی‌ساز (لنز) می‌باشد که بتواند تصویر مناظر را به‌صورت واضح بر روی سنسور تصویر[1] ایجاد کند. برای کنترل شدت روشنایی عبوری به داخل دوربین از یک دریچه قابل تنظیم که دیافراگم[2] نام دارد استفاده می‌شود. با باز و بسته شدن دیافراگم می‌توان میزان نور رسیده به داخل بدنه دوربین را کاهش یا افزایش داد تا دوربین بتواند در محیط‌های کم نور و پر نور عکسبرداری نماید.

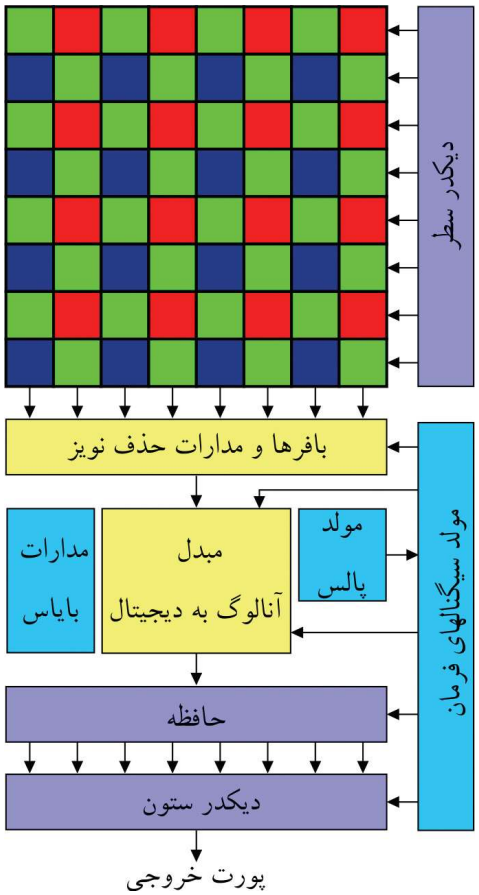
تصویر اپتیکال یک منظره، نور نقاط مختلف در یک فضای دو بعدی است که شدت روشنایی نقاط، تصویر را می‌سازد و طول موج آنها، رنگ نقاط را مشخص می‌کند. از این‌رو برای شناسایی شدت روشنایی و رنگ نقاط از سنسوری استفاده می‌شود که به سنسور تصویر[3] معروف می‌باشد. این سنسورها قلب تپنده دوربین‌های دیجیتال می‌باشند که در بخش بعدی به‌طور مفصل در خصوص آن بحث خواهد شد. داده‌های دیجیتال تولید شده توسط سنسور تصویر، برای ذخیره‌سازی به واحد حافظه داخلی دوربین و یا یک حافظه که بیشتر به‌صورت کارت حافظه می‌باشد ارسال می‌گردد. همچنین برای نمایش تصویر گرفته شده می‌توان یک صفحه نمایش در دوربین تعبیه نمود[1].



شکل ۱: بلوک دیاگرام کلی یک دوربین دیجیتال

۲- سنسور تصویر

سنسور تصویر یک وسیله نیمه‌هادی است که قادر است تصویر ایجاد شده بر روی آن را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل نماید. امروزه این سنسورها توسط تکنولوژی CMOS ساخته می‌شوند چون می‌توان با استفاده از تکنولوژی CMOS علاوه بر ساختن آشکارسازهای نوری، انواع متنوعی از مدارات CMOS مورد نیاز را نیز در کنار این آشکارسازها تعبیه نمود. از این‌رو می‌توان در سنسورهای تصویر علاوه بر تولید سیگنال‌های آنالوگ متناسب با شدت روشنایی نقاط مختلف تصویر، مقادیر دیجیتال آنها را نیز تولید نمود. در این صورت می‌توان اطلاعات مربوط به شدت روشنایی نقاط مختلف تصویر را به صورت عددی تولید کرده و بر اساس هر پروتکل دلخواه به خارج از سنسور ارسال نمود. سنسورهای تصویر امروزی این توانایی را دارند که تصویر مربوطه را با وضوح بسیار بالا (در حد چندین ده مگاپیکسل) و سرعت عکسبرداری زیاد (در حد چندین صد فریم بر ثانیه) تولید کرده، نویز مربوط به مدارات را کاهش داده، توابع پردازش تصویر خاصی را بر روی اطلاعات اجرا نموده و در نهایت اطلاعات تصویر را به بیرون از تراشه ارسال نمایند. سنسورهای تصویر CMOS دارای بلوک‌های متعددی هستند که عبارتند از پیکسل‌ها[4]، آرایه پیکسل‌ها[5]، مدارات خواندن سیگنال آنالوگ پیکسل‌ها[6]، مدارات حذف نویز[7]، مبدل‌های داده آنالوگ به دیجیتال، واحد تولید ولتاژهای مرجع، دیکدرهای سطر و ستون پیکسل‌ها، واحد کنترل و تولید پالس‌های مورد نیاز سنسور، حافظه SRAM و بخش‌های مختلف دیجیتال و غیره که دیاگرام کلی آن در شکل (۲) نشان داده شده است[2-1].



شکل ۲: بلوک دیاگرام سنسور تصویر CMOS

۲-۱- آشکارسازهای نوری

قطعات سیلیکونی که به‌عنوان آشکارساز نور در سنسورهای تصویر استفاده می‌شوند به گونه‌ای ساخته می‌شوند که وقتی در معرض نور قرار می‌گیرند جریانی از آنها متناسب با شدت نور رد می‌شود. با اندازه‌گیری جریان الکتریکی ایجاد شده، می‌توان شدت نور متمرکز بر روی آشکارساز را به دست آورد. این پدیده به اینصورت اتفاق می‌افتد که وقتی یک شار فوتونی به یک نیمه هادی برخورد می‌کند، اگر سطح انرژی نور تابیده شده بیشتر از سطح انرژی باند ممنوع نیمه هادی باشد مقداری از این فوتون‌ها در ماده نیمه هادی جذب شده و باعث ایجاد الکترون و حفره شده و به طبع آن موجب تولید جریان الکتریکی می‌شود. انرژی یک فوتون به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

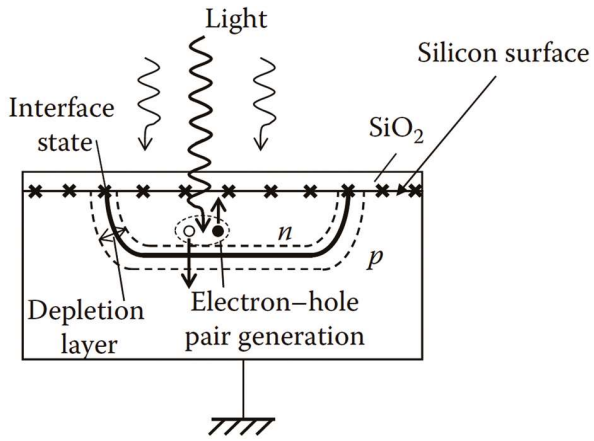
$$E_{photon} = h.\upsilon = h.c/\lambda \geq E.g \qquad (۱)$$

در معادله بالا h ثابت پلانک، c سرعت نور، υ فرکانس و λ طول موج نور می‌باشد.

بخاطر این موضوع که باند انرژی نیمه هادی سیلیسیم حدود ۱/۱ الکترون-ولت می‌باشد به راحتی از فرمول بالا می‌توان به این نتیجه رسید که نور با طول موج کمتر از ۱۱۰۰ نانومتر می‌تواند موجب تولید حامل‌های الکتریکی در این ماده گردد و همچنین می‌دانیم طول موج مرئی بین ۳۸۰ تا ۷۴۰ نانومتر می‌باشد پس می‌توان از عنصر

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]

سیلیسیم برای تشخیص نور مرئی استفاده نمود[3]. برای آشکارسازی نوری می‌توان از قطعات سیلیکونی مانند فوتوگیت[۸]، فوتودیود[۹] و پیوند فوتودیود[۱۰] اســتفاده نمود.به دلیل اینکه فوتودیود کاربردهای فراوانی دارد لــذا در ادامه یک توضیح اجمالی در خصوص آن ارایه می‌شــود. ساختار فیزیکی فوتودیود در شکل (۳) نشان داده شده است[2].



شکل۳: ساختار فیزیکی فوتودیود از نمای جانبی[۲]

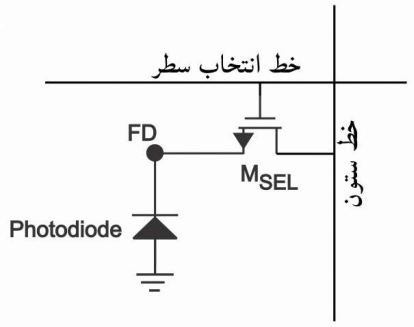
همان‌طورکــه دیــده می‌شــود فوتودیودها از یک پیوند PN ســاخته می‌شــوند. هنگامی که فوتودیود در معرض نور قرار می‌گیرد در ناحیه پیوند، زوج الکترون-حفره تولید می‌شــود. ایــن حامل‌ها تحت تاثیر میدان الکتریکی داخلی پیوند، جدا ســازی شده و باعث ایجاد جریان می‌گردند که جریان مربوطه رابطه مســتقیم با شدت روشنایی دارد. برای ســاخت فوتودیود می‌توان از N^{+}-P_{sub} و یا Nwell-Psub استفاده نمود که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارند [4].

۲-۲- پیکسل

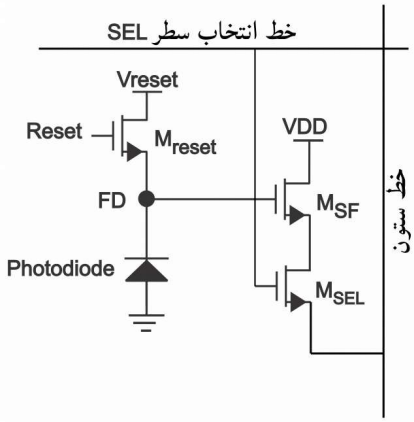
پیکســل‌ها کوچکتریــن جزء ســاختاری یــک تصویر می‌باشــند که دست‌کم از یک آشکارســاز نوری و یک مدار، به‌طور معمول به‌عنوان تقویت‌کننده تشــکیل می‌شوند. ساختارهای مختلفی برای پیکسل‌ها معرفی شده است که مهمترین آنها به این شرح می‌باشد.

۱- ســاختار پیکســل غیرفعال[۱۱]: در این ســاختار فوتودیود توســط یک ســویچ به خط خروجی (خط انتخاب ســتون) وصل می‌شــود و توســط همان خط خروجی ریســت می‌شــود. توســط خط انتخاب ســطر نیز، سطری که آن پیکســل در آنجا قرار دارد فعال می‌شود. به این دلیل به این پیکســل غیرفعال می‌گویند چــون هیچ مدار بافری (تقویت‌کننده‌ای) در داخل پیکسل وجود ندارد[1]. شکل (۴) شمای مداری این پیکسل را نشان می‌دهد.

۲- پیکســل نوع فعال[۱۲]: این پیکســل علاوه بر یک آشکارساز نوری، یــک تقویت کننــده جریان (بافر) نیز برای درایــو خط خروجی دارد. برای ریســت پیکسل، یک خط ریســت در نظر گرفته شده است که با یک ســویچ به آشکارساز متصل می‌باشد. بر اساس اینکه آشکارساز مورد استفاده در پیکسل فعال از نوع فوتودیود باشد یا پیند فوتودیود، می‌توانــد بــه دو صــورت ســه ترانزیســتوری (3T-APS) و یا چهار ترانزیســتوری (4T-APS) مورد استفاده قرار گیرد. ساختار استاندارد 3T-APS[۱۳] در شــکل (۵) نشان داده شده اســت. در این ساختار، از ترانزیستور M_{reset} برای ریست فوتودیود، ترانزیستور M_{SF} برای تقویت کردن ولتاژ فوتودیود و M_{SEL} به‌عنوان ســویچ برای اتصال پیکسل به ستون استفاده می‌شود[1].

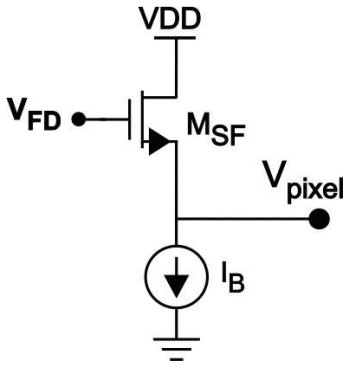


شکل ۴: شمای مداری پیکسل غیر فعال



شکل ۵: ساختار رایج پیکسل فعال نوع سه ترانزیستوری

طرز کار این ســاختار به این صورت می‌باشــد که ابتدا با اعمال پالس Reset به ترانزیســتور M_{reset} ولتاژ دو سر فوتودیود تا ولتاژ V_{reset} شارژ می‌گردد، بعد از شارژ خازن گره FD به ولتاژ ریست، ترانزیستور M_{reset} خاموش شده و خازن گره FD با جریان فوتودیود دشارژ می‌شود. این وضعیت به اندازه زمان مشــخصی معــروف به زمان در معرض گذاری نوری[۱۴] (T_{EXP}) طول می‌کشد. بعد از این زمان با خواندن جریان خط ســتون می‌توان شــدت روشنایی تابشــی بر روی پیکسل را به دست آورد. لازم بــه توضیح اســت می‌تــوان با اتصال یک منبــع جریان به خروجــی خط ســتونی، جریان خط را به ولتاژ تبدیــل نمود. در واقع با روشــن شدن ترانزیســتور M_{SEL}، ترانزیســتور M_{SF} با منبع جریان تشکیل مدار سورس-فالوور[۱۵] را می‌دهدکه ورودی آن ولتاژ فوتودیود و خروجی آن ولتاژ دو ســر منبع جریان می‌باشد. مدار معادل مربوطه در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶: مدار معادل پیکسل سه ترانزیستوری با اتصال به منبع جریان

۳- پیکســل دیجیتال[۱۶] : در این ســاختار، علاوه بر فوتودیود و مدار تقویت کننده، یک مبدل آنالوگ به دیجیتال[۱۷] نیز در داخل پیکســل

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]

قرار داده می‌شود. از این‌رو خروجی پیکسل به جای سیگنال‌های آنالوگ، داده‌های دیجیتال می‌باشد. این نوع از پیکسل در ساخت دوربین‌های با نرخ عکسبرداری بسیار زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد[1].

۲-۳- آرایه پیکسل

همان‌طور که در بخش ۲-۱ توضیح داده شد با استفاده از یک پیکسل می‌توان شدت روشنایی یک نقطه از تصویر را اندازه‌گیری کرد. بنابراین برای اینکه بتوانیم شدت روشنایی نقاط مختلف یک تصویر را اندازه‌گیری کنیم باید پیکسل‌های زیادی در نقاط مختلف به‌صورت منظم قرار دهیم تا بتوان نمونه‌گیری‌های مختلفی از شدت روشنایی نقاط مختلف تصویر اپتیکال ورودی انجام داد. بهترین روش چیدن پیکسل‌ها، قرار دادن آنها در سطرها و ستون‌ها بطور منظم می‌باشد همانند درایه‌های یک ماتریس، که نمونه آن در شکل (۷) برای یک آرایه پیکسل N سطر و M ستون دیده می‌شود.

با استفاده از شماره سطر و شماره ستون، شدت روشنایی هر نقطه از تصویر را می‌توان به‌دست آورد. تعداد پیکسل‌های موجود در آرایه پیکسل به نام رزولوشن معروف است که یکی از پارامترهای بسیار مهم در دوربین‌های دیجیتال می‌باشد. رنگ‌های مختلف هر پیکسل در تصویر به‌خاطر وجود فیلتر رنگی به نام Bayer می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان رنگ نقاط مختلف را شناسایی کرد. با سه رنگ اصلی قرمز، آبی و سبز می‌توان کد رنگ استاندارد RGB را استخراج نمود[5].

۲-۴- مدار خواندن-پیکسل

همان‌طورکه در بخش قبلی مشاهده کردیم پیکسل‌هابه‌صورت منظم در آرایه پیکسل‌هاقرار می‌گیرند. برای خواندن سیگنال پیکسل‌ها باید مداری (بافر) در داخل پیکسل و یا بیرون آرایه پیکسل تعبیه شود تا بتوان سیگنال پیکسل‌ها را استخراج نمود. به این، مدار خواندن-پیکسل[18] گفته می‌شود. اگر این مدار در داخل پیکسل‌ها قرار داده شود به دلیل زیاد بودن تعداد پیکسل‌ها، تراشه[19] سنسور مساحت سیلیکونی بسیار زیادی را اشغال خواهد کرد به همین دلیل رایج است که این مدار در خارج از آرایه پیکسل‌ها قرار داده شود و به‌صورت مشترک توسط همه پیکسل‌ها و یا پیکسل‌های یک ستون استفاده گردد. از طرفی برای خواندن سیگنال هر پیکسل، باید آن پیکسل توسط دیکدر سطر و ستون انتخاب شده و به مدار خواندن-پیکسل متصل گردد. حال اینکه مدار خواندن-پیکسل به چه صورتی پیاده‌سازی شود سه ساختار برای سنسور تصویر ایجاد می‌کند که در ادامه توضیح داده شده است.

۳- معماری‌های رایج سنسورهای تصویر

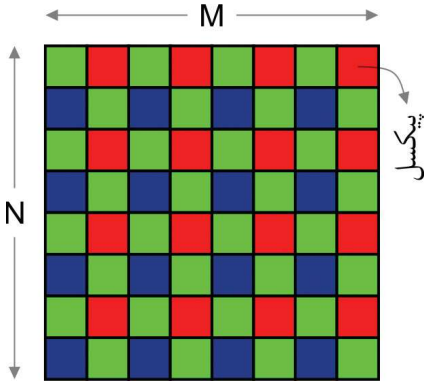
سه معماری مختلف بر اساس سه روش رایج خواندن سیگنال پیکسل‌ها وجود دارد.

۳-۱- روش سریال

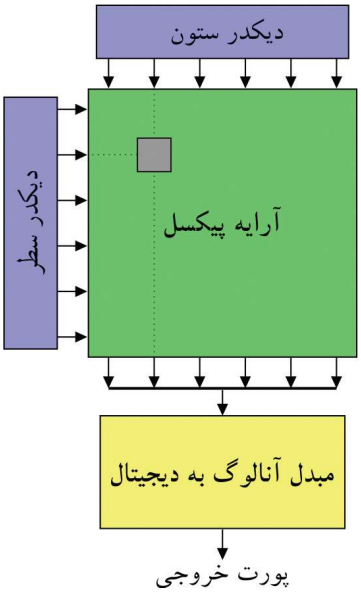
در این روش با استفاده از دیکدر سطر و ستون ، در هر لحظه فقط به یک پیکسل می‌توان دسترسی داشت. به همین دلیل برای خواندن سیگنال تمامی پیکسل‌های آرایه، باید به‌صورت مرتب از پیکسل سطر اول و ستون اول تا پیکسل سطر N ام و ستون M ام عملیات خواندن پیکسل‌هارا انجام داد. شکل (۸) نمای ساختاری روش سریال را نشان می‌دهد [1]. این روش کمترین میزان مدار را داشته و از این‌رو توان مصرفی کمی داشته اما سرعت پایینی هم دارد و برای طراحی دوربین‌های کم توان اما با سرعت عکسبرداری پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲- روش ستون-موازی[20]

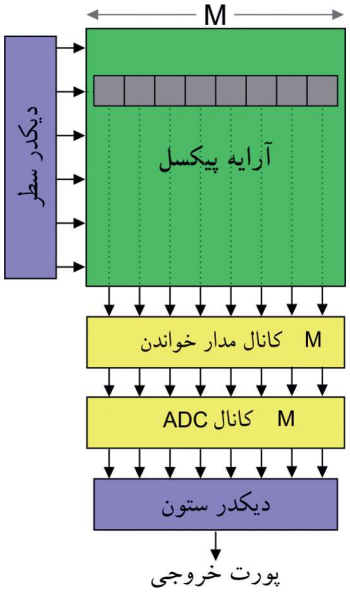
در این روش در هر لحظه از زمان می‌توان به همه پیکسل‌های موجود در یک سطر دسترسی داشت، به همین منظور فقط یک آدرس دکدر سطر لازم می‌باشد و نیاز به خطوط اضافی آدرس به ستون‌ها نیست. نمایی از ساختار آن در شکل (۹) قابل مشاهده می‌باشد[1]. با این روش می‌توان دوربین‌های دیجیتال پر سرعت و با توان مصرفی معقول



شکل۷ : آرایه پیکسلی N×M



شکل ۸: ساختار سریال



شکل ۹: معماری ستون-موازی

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]

طراحی نمود. بنابراین این روش رایج‌ترین معماری در سنسورهای تصویر CMOS می‌باشد[6].

۳-۳- روش پیکسل موازی

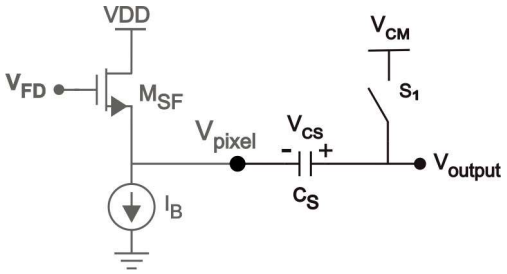
در این روش در هر لحظه از زمان، سیگنال تمامی پیکسل‌ها خوانده می‌شود. برای ساخت چنین سنسوری باید مدار خواندن پیکسل و مبدل داده در داخل هر پیکسل گذاشته شود. لذا فضای سیلیکونی بسیار زیادی را اشغال می‌کند و توان مصرفی بسیار بالای دارد. کاربرد این روش ساخت سنسورهای تصویر با سرعت عکسبرداری بسیار زیاد می‌باشد.

۴- طراحی یک سنسور تصویر

در اینجا هدف طراحی یک سنسور تصویر با استفاده از معماری ستون-موازی و بلوک‌ها و مدارات رایج در این حوزه می‌باشد. رزولوشن سنسور یک مگاپیکسل در نظر گرفته شده است بنابراین با مراجعه به استانداردهای مربوط به تصاویر، رزولوشن سنسور ۱۲۸۰×۷۲۰ انتخاب می‌گردد. پیکسل مورد استفاده از نوع سه ترانزیستوری بوده که مدار آن در شکل (۲) نشان داده شده است. برای استخراج سیگنال پیکسل، از مدار بسیار رایج و پرکاربرد سورس-فالوور استفاده خواهد شد. همان‌طورکه در بخش ۲ توضیح داده شد. سیگنال پیکسل باید دو بار خوانده شود یک بار هنگام ریست پیکسل و بار دیگر بعد از زمان T_{EXP} میزان ولتاژ تغییر یافته فوتودیود به خاطر تابش نور، برابر با حاصل تفریق این دو نمونه خواهد بود.

$$V_{ph}=V_{reset}-V_{sig} \quad (۲)$$

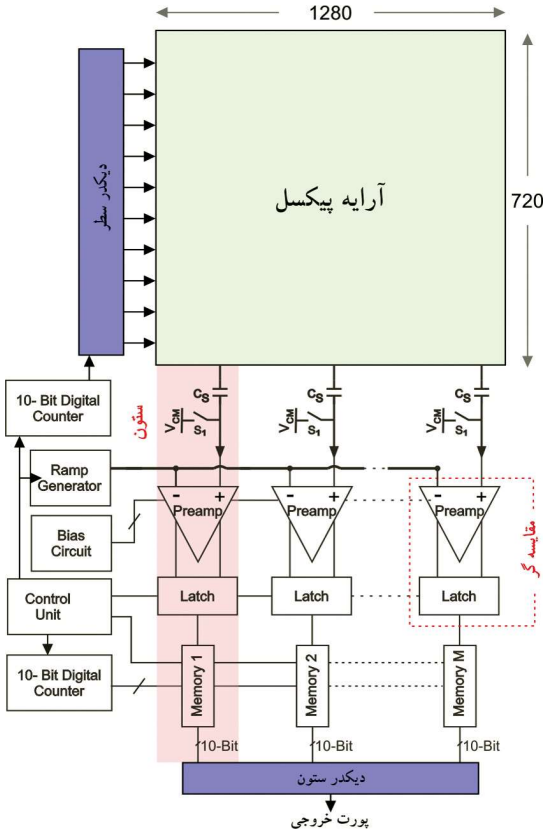
عمل تفریق می‌تواند به‌صورت دیجیتالی بعد از تبدیل نمونه‌ها به دیجیتال صورت پذیرد و یا می‌تواند به‌صورت آنالوگ اجرا گردد که روش آنالوگ بسیار رایج می‌باشد. به دلیل اینکه نویز با الگوی ثابت[۲۱] در هر دو نمونه به یک اندازه می‌باشد بنابراین در زمان تفریق نمونه‌ها این نویز از خروجی حذف می‌شود به این مدار تفریق CDS[22] گفته می‌شود که مدار CDS مورد استفاده در این سنسور از نوع آنالوگ بوده و در شکل (۱۰) نشان داده شده است[8-7].



شکل ۱۰: مدار CDS متصل به پیکسل

طرز کار این مدار به این صورت می‌باشد که ابتدا کلید S_1 در فاز سیگنال روشن شده بنابراین ولتاژ $V_{CS}=V_{CM}-V_{sig}-V_{gs,SF}$ در خازن C_S ذخیره می‌گردد. سپس کلید S_1 خاموش شده و بعد با ریست شدن پیکسل، ولتاژ خروجی پیکسل برابر با $V_{pixel}=V_{reset}-V_{gs,SF}$ می‌شود، لذا در این شرایط ولتاژ خروجی مدار CDS برابر خواهد بود با $V_{output}=V_{CS}+V_{pixel}=V_{CM}+V_{reset}-V_{sig}$. با دقت در این رابطه و رابطه (۲) می‌بینیم ولتاژ خروجی برابر است با ولتاژ فوتودیود که به اندازه V_{CM} جابجا شده است.

برای تبدیل این سیگنال به داده دیجیتال از مبدل آنالوگ به دیجیتال با ساختار تک-شیب[۲۳] که بسیار رایج می‌باشد استفاده شده است[11-9]. بلوک دیاگرام کلی سنسور تصویر طراحی شده با معماری ستون-موازی و مبدل تک-شیب در شکل (۱۱) قابل



شکل ۱۱: بلوک دیاگرام کلی سنسور تصویر طراحی شده

مشاهده می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود تمامی ستون‌ها از لحاظ مداری به‌طور کامل مشابه بوده و همگی با هم به صورت موازی کار می‌کنند. بنابراین کافیست فقط نحوه کار مبدل یک ستون را بررسی کنیم. سیگنال خروجی پیکسل‌ها به ورودی مثبت مقایسه‌گر ستون و سیگنال شیب به پایه منفی آن اعمال می‌گردد. در شروع عمل تبدیل، مولد سیگنال شیب، شمارنده ۱۰ بیتی و حافظه ستونی ۱۰ بیتی ریست می‌گردد. بنابراین ولتاژ خروجی مولد سیگنال شیب V_{CM} شده و محتوی شمارنده و حافظه پاک می‌شود. با اعمال هر پالس ساعت به مبدل، شمارنده یک واحد افزایش یافته و یک گام جدیدی به سیگنال شیب که برابر با $V_{FS}/1024$ می‌باشد اضافه می‌گردد. V_{FS} رنج کل مبدل داده می‌باشد. با اعمال هر گام از سیگنال شیب به مقایسه‌گر ولتاژ آن گام با ولتاژ خروجی پیکسل مقایسه می‌شود تا زمانی که $V_{ph}>V_{step}$ باشد مقدار شمارنده در حافظه ستونی مربوطه ذخیره می‌گردد اما وقتی که $V_{ph}<V_{step}$ باشد حافظه ستونی قفل شده و دیگر مقدار شمارنده در حافظه آن ستون ذخیره نمی‌گردد. حال این داده‌ی قفل شده در حافظه ستونی معادل داده دیجیتال سیگنال پیکسل آن ستون می‌باشد. بعد از طی $2^{10}=1024$ کلاک پالس، سیگنال آنالوگ پیکسل تمامی ستون‌ها که مربوط به یک ردیف مشخص از آن آرایه می‌باشند به دیجیتال تبدیل شده و در حافظه‌های ستونی ذخیره می‌گردند. حال با استفاده از دیکدر ستون‌ها این داده‌ها به بیرون تراشه ارسال می‌شود. توسط دیکدر سطر، پیکسل‌های ردیف بعدی فعال شده و کل عملیات خواندن سیگنال پیکسل‌ها و تبدیل به دیجیتال عین حالت قبلی اجرا می‌گردد. این کار تا زمانی که به آخرین ردیف از آرایه پیکسل برسیم انجام خواهد شد. حال کل پیکسل‌های آرایه خوانده شده به دیجیتال تبدیل شده و از تراشه نیز

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]

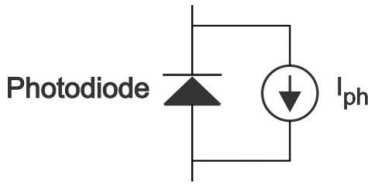
جدول ۱: مشخصات انواع سنسور تصویر گردآوری شده در مرجع[۱۸]

مرجع	واحد	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]
اندازه پیکسل	µm	86/5	5/1	1/1	2/3	45/2
تعداد سطر	pixel	3840	19568	7728	7680	15360
تعداد ستون	pixel	2160	12588	4368	4320	8640
نرخ عکسبرداری	fps	480	5	240	120	60
توان مصرفی	mW	5230	1970	3000	3200	11050
بهره تبدیل	µV/e⁻	30	91	92	61	80
نویز	µVrms	140	319	414	317	614
اشباع	mV	923	687	524	933	800
رنج دینامیکی	dB	3/76	7/66	1/62	7/69	3/62
معیار شایستگی	pJ/DRU.e⁻	92/0	60/2	32/1	97/4	18/8

به بیرون ارسال شده است.

۵- ارزیابی سنسورهای تصویر

سنسورهای تصویر CMOS بعد از طراحی، باید شبیه‌سازی شده و بعد از تایید نتایج شبیه‌سازی به مرحله ساخت و تست آزمایشگاهی برسند. از آنجایی‌که امکان نوردهی به فوتودیود و هر آشکارساز نوری دیگر در تحلیل کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مانند Hspice و یا Spectre وجود ندارد. بنابراین برای شبیه‌سازی فوتودیود از یک منبع جریان موازی با فوتودیود استفاده می‌شود که این منبع جریان، معادل جریان روشنایی فوتودیود می‌باشد[12]. مدار مورد استفاده در شبیه‌سازی به جای یک فوتودیود در شکل (۱۲) دیده می‌شود.



شکل ۱۲: مدل شبیه‌سازی فوتودیود

برای تحلیل پیکسل و مدار خواندن پیکسل باید خطیبت، دقت و نویز آن مورد بررسی قرار گیرد که ولتاژ فوتودیود با چه دقتی و خطیبتی قابل خواندن می‌باشد در این تحلیل‌ها جریان فوتودیود و یا ولتاژ دوسر فوتودیود به‌عنوان ورودی و خروجی مدار-خواندن به‌عنوان خروجی مدار در نظر گرفته می‌شود. نمونه تحلیل‌های شبیه‌سازی پیکسل و مدار خواندن پیکسل در مرجع[13] ارایه شده است. همان‌طورکه می‌دانیم سیگنال خروجی مدار-خواندن به طبقه مبدل داده ارسال می‌گردد تا این سیگنال به داده‌های دیجیتال تبدیل شود. واضح است که از هر ساختار مبدل آنالوگ به دیجیتال می‌توان در سنسور استفاده نمود و نحوه شبیه‌سازی آن نیز در مقالات فراوانی در این خصوص آورده شده است[14-17]. بعد از تحلیل کامپیوتری نوبت به ساخت تراشه وتست عملی آن می‌رسد تعدادی از مهمترین پارامترهای که بعد از رسم layout و ساخت سنسور می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد عبارت است از:

ضریب FF[24] پیکسل: نسبت سطح سیلیکونی آشکارساز به کل سطح پیکسل، رنج دینامیکی DR[25]: نسبت ماکزیمم شدت روشنایی قابل شناسایی به حداقل روشنایی قابل تشخیص توسط سنسور، نرخ عکسبرداری FR[26]: ماکزیمم تعداد عکس گرفته شده در یک ثانیه، حساسیت[27]: نسبت تغییرات خروجی پیکسل به تغییرات شدت روشنایی دریافتی،بار اشباع[28]: عبارت است از میزان باری که در خازن دو سر آشکارساز ذخیره می‌گردد، توان مصرفی: عبارت است از کل توان الکتریکی که سنسور مصرف می‌کند و معیار شایستگی FOM[29]: یک شاخصی است که برای مقایسه سنسورهای تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد و با رابطه زیر تعریف می‌گردد.

$$Fom = \frac{Power \times noise}{M \times N \times fps} \quad (۳)$$

در این رابطه M تعداد ستون آرایه، N تعداد سطر آرایه، noise میزان نویز سنسور، power کل توان مصرفی سنسور و در نهایت fps نرخ عکسبرداری می‌باشد[1,18]. برای آشنایی با مقادیر معمول برای پارامترهای معرفی شده، مشخصات تعدادی از سنسورهای تصویر که در مجلات معتبر منتشر شده است در جدول(۱) گردآوری شده است.

۶-نتیجه‌گیری

امروزه دوربین‌های دیجیتال یکی از تجهیزات مهم الکترونیکی است که به صورت گسترده در گوشی‌های موبایل، تبلت‌ها، لپ‌تاپ‌ها و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین یک زمینه بسیار مناسبی برای طراحان مدارات مجتمع جهت پژوهش می‌باشد. دوربین‌های دیجیتال دارای بخش‌های مختلفی هستند که مهمترین بخش آن سنسورهای تصویر است. برای توضیح نحوه کارکرد این سنسورها، یک سنسور نمونه با رزولوشن ۱۲۸۰×۷۲۰ با استفاده از مدارات رایج طراحی گردید و قسمت‌های مختلف آن از قبیل پیکسل، آرایه پیکسل، مدار خواندن پیکسل، مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیکدرهای سطر و ستون توضیح داده شده و ساختار کلی سنسور نیز ارایه گردید.

پی‌نوشت‌ها

1 Image sensor
2 Diaphragm
3 Image sensor
4 Pixel
5 Pixel array
6 Pixel readout circuit
7 Noise suppression circuit
8 Photo gate
9 Photodiode
10 Pinned photodiode
11 PPS: Passive pixel sensor

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]

12 APS: Active pixel sensor
13 Four transistor APS
14 Exposure time
15 Source follower
16 DSP: Digital pixel sensor
17 Analog to digital converter
18 Pixel signal readout circuit
19 IC: Integrated circuit
20 Column- parallel architecture
21 FPN: Fixed pattern noise
22 Correlated double sampling
23 Single slope ADC
24 Fill factor
25 Dynamic range
26 Frame rate
27 Sensitivity
28 Saturation charge
29 Figure of meri

مراجع

[1] J .Nakamura, "Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras," Taylor & Francis, 2006.
[2] T. Kuroda, "Essential principles of image sensors," Boca Raton, Florida: CRC Press, 2015.
[3] S.M. Sze, "Semiconductor Devices: Physics and Technology," John Wiley & Sons, NewYork, 256, 1985.
[4] D. C. -Y. Li, V. C. Gaudet, A. Basu, "Test results of various CMOS image sensor pixels," Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005.
[5] B. E. Bayer, "Color imaging array," US patent US3971065A, 1975.
[6] M. Teymouri, J. Sobhi, "A FHD 1080, 120 fps CMOS image sensor with two step SS-ADC," Analog Integr Circ Sig Process 99, 339–347, 2019.
[7] A. El Gamal and H. Eltoukhy, "CMOS image sensors," IEEE Circuits and Devices Magazine, vol. 21, no. 3, pp. 6-20, 2005.
[8] Y. Nitta et al., "High-Speed Digital Double Sampling with Analog CDS on Column Parallel ADC Architecture for Low-Noise Active Pixel Sensor," IEEE International Solid State Circuits Conference - Digest of Technical Papers, San Francisco, CA, 2006.
[9] J. Wei, X. Li, L. Sun and D. Li, "A 63.2μW 11-Bit Column Parallel Single-Slope ADC with Power Supply Noise Suppression for CMOS Image Sensors," IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Sevilla, 2020.
[10] N. Cho, B. Song, K. Kim, J. Burm and S. Han, "A VGA CMOS Image Sensor with 11-bit column parallel single-slope ADCs," International SoC Design Conference, Seoul, 2010.
[11] G. Liu, N. Yu, H. Zhang and J. He, "A Fully Differential SAR/Single-Slope ADC for CMOS Imager Sensor," IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC), Xi'an, China, 2019.
[12] S. U. Ay, "Electrical property modelling of photodiode type CMOS active pixel sensor (APS)," 48th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2005.
[13] M. Teymouri, J. Sobhi, "An ultra-linear CMOS image sensor for a high-accuracy imaging system," Int J Circ Theor Appl. 2018.
[14] Y. Chae et al., "A 2.1 M Pixels, 120 Frame/s CMOS Image Sensor with Column-Parallel ΔΣ ADC Architecture," in IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 46, no. 1, pp. 236-247, Jan. 2011.
[15] M. Shin and O. Kwon, "14-bit two-step successive approximation ADC with calibration circuit for high-resolution CMOS imagers," in Electronics Letters, vol. 47, no. 14, pp. 790-791, 7 July 2011.
[16] M. Fan, J. Ren, N. Li, et al., "A 1.8-V 11-bit 40-MS/s 21-mW pipelined ADC," Analog Integr Circ Sig Process, 2010.
[17] S. Lim, J. Lee, D. Kim and G. Han, "A High-Speed CMOS Image Sensor with Column-Parallel Two-Step Single-Slope ADCs," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 56, no. 3, pp. 393-398, March 2009.
[18] Y. Oike et al., "8.3 M-Pixel 480-fps Global-Shutter CMOS Image Sensor with Gain-Adaptive Column ADCs and Chip-on-Chip Stacked Integration," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 52, no. 4, pp. 985-993, April 2017.
[19] H. Totsuka et al., "An APS-H-size 250Mpixel CMOS image sensor using column single-slope ADCs with dual-gain amplifiers," ISSCC Dig. Tech. Papers, Feb. 2016.
[20] T. Arai et al., "A 1.1μm 33Mpixel 240fps 3D-stacked CMOS image sensor with 3-stage cyclic-based analog-to digital converters," ISSCC Dig. Tech. Papers, Feb. 2016.
[21] T. Yasue et al., "A 14-bit, 33-Mpixel, 120-fps image sensor with DMOS capacitors in 90-nm/65-nm CMOS," Proc. Int. Image Sensor Workshop (IISW), Jun. 2015.
[22] R. Funatsu et al., "133Mpixel 60fps CMOS image sensor with 32-column shared high-speed column-parallel SAR ADCs," in ISSCC Dig. Tech. Papers, Feb. 2015.

❋❋❋

ادامه از صفحه ۱۹

[9]L .K .Grover" ,A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Database Search ",in Proceedings of the28 th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing) STOC ,(pp.1996 ,212-219 .
[10] G .B .Charles .H Bennet" ,Quantum Cryptography :Public Key Distribution and Coin Tossing ",in Proceeding of IEEE International Conference on Computer System and Signal Processing New York, pp. 175-179, 1984.
[11] C .H .Bennett ,G .Brassard ,C .Crepeau ,R .Jozsa ,A .Peres ,and W .K .Wootters" ,Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels ",Physical Review Letters, vol. 70, pp. 1895-1899, 1993.
[12] C .H .Bennett and S .J .Wiesner" ,Communication via One -and Two-Particle Operators on Einstein Podolsky-Rosen states ",Physical Review Letters ,vol ,69 .pp ,2881-2884 .November.1992
[13] A .U .Khalid" ,FPGA Emulation of Quantum Circuits ".vol .MS thesis :McGill University.2005 ,
[14] J .H .Holland" ,Adaptations in natural and artificial systems ,"MIT press, 1975.
[15] D .E .Goldberg ",Genetic Algorithms in Search ,Optimisation and Machine Learning ",Reading ,MA Addison-Wesley, 1989.
[16] M .Mitchell" ,An introduction to Genetic Algorithms,"Cambridge, Massachusetts ,London ,England :The MIT Press, 1999.
[17] C .P .Williams and A .Gray" ,Automated Design of Quantum Circuits ",in Quantum Computing and Quantum Communications)QCQC ,(98' Springer-Verlag, pp. 113-125, 1999.
[18] M .Lukac ,M .Perkowski ,H .Goi ,M .Pivtoraiko ,C .H .Yu ,K .Chung ,H. Jee ,B .J .Kim ,and Y .D .Kim" ,.Evolutionary Approach to Quantum and Reversible Circuit Synthesis ",Artificial Intelligence Review, vol. 20, pp. 361-417, 2004.
[19] M .U .C .Ruican ,L .Prodan ,M .Vladutiu" ,Automatic synthesis for quantum circuits using genetic algorithms ",in ICANNGA07' International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms ,LNCS) 4431 Springer-Verlag Berlin Heidelberg ,(Warsaw, Poland ,pp.2007 ,183–174 .
[20] C .Ruican" ,Developing Automatic Synthesis Methodologies For Quantum Circuits Using Genetic Algorithms ".vol .PhD thesis, Politehnica University of Timisoara ,Romania.2009 ,
[21] G .F .Viamontes ,M .Rajagopalan ,I .L .Markov ,and J .P .Hayes, "Gate-Level Simulation of Quantum Circuits ",in Asia South Pacific Design Automation Conference, pp. 295-301, 2003.
[22] R .Jozsa" ,An Introduction to Measurement Based Quantum Computation ",preprint availabele at http//:arxiv.org/abs/quant-ph.2005 ,.050812/
[23]T .Atkinson ,A .Karsa ,J .Drake ,and J .Swan" ,Quantum Program Synthesis :Swarm Algorithms and Benchmarks ",Springer Nature Switzerland AG 2019 L .Sekanina et al) .Eds :(.EuroGP ,2019 LNCS ,11451pp.2019 ,34–19 .
[24] H.B .Mann ,D.R .Whitney" ,On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other ,"Ann .Math .Stat. ,(1)18pp.1947 ,60–50 .
[25]A .Vargha ,H.D .Delaney",A critique and improvement of the CL common language effect size statistics of McGraw and Wong .J. Educ",Behav .Stat ,(2)25 .pp.2000 ,132–101 .
[26]M .Sarvaghad-Moghaddam ,P .Niemann ,and R .Drechsler" ,Multi-objective Synthesis of Quantum Circuits Using Genetic Programming," Springer Nature Switzerland AG2018 , pp. 220-227,2018.
[27] M.Y.Abubakar, L.T. Jung, N. Zakaria, A.Younes, and A. Abdel-Aty,"Reversible circuit synthesis by genetic programming using dynamic gate libraries ",Quantum Inf .Process. 16(6), pp. 160, 2017.
[28] J.E. Baker,"Adaptive selection methods for genetic algorithms," International Conference on Genetic Algorithms, pp. 101–111, 1985.
[29] S. Silva, J. Almeida," Gplab-a genetic programming toolbox for matlab," Proceedings of the Nordic MATLAB Conference (NMC-2003), pp. 273–278, 2005.
[30] D .Maslov" ,Reversible logic synthesis benchmarks ",http//: webhome.cs.uvic.ca/dmaslov2018,/
[۳۱] بهاره رستمیان ملکی و مجید محمدی،"طراحی با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک،" نوزدهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳-۱۵اسفندماه ۱۳۹۲، صفحه ۱۱۷۷-۱۱۸۲.
[32] J .R .Koza" ,Genetic programming :on the programming of computers by means of natural selection ,"MIT Press,1992.
[33] M. Lukac, M. Perkowski, & M.Kameyama, "Evolutionary quantum logic synthesis of Boolean reversible logic circuits embedded in ternary quantum space using heuristics," arXiv preprint arXiv:1107.3383, 2011.

❋❋❋

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-11-23]