طراحی سیستم آشکارسازی حساس به مکان بر اساس شبکه فوتودیودی

حمید جعفری*، مجید شهریاری، سید مهدی صفوی، علیرضا کمالی اصل

دانشگاه شهید بهشتی – دانشکده مهندسی هسته ای – گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

تصویربرداری پرتویی یکی از کارآمدترین روشهای تشخیصی در پزشکی و آزمون های غیر مخرب در کاربردهای صنعتی می باشد. یکی از مهمترین اجزای یک سیستم تصویربرداری پرتویی دیجیتال، آشکارساز آن است. در این کار، طراحی و ساخت یک سیستم آشکارسازی بر اساس شبکه ی فوتودیودی انجام شده است. شبکه فوتودیودی ساخته شده به ابعاد mm^2 ۵۰×۵۰ و بصورت یک آرایه ی ۱۰×۱۰ از فوتودیودها شکل گرفته است. در کنار این شبکه، برد های کنترلی لازم نیز طراحی شده اند که نهایتاً داده های لازم برای تشکیل تصویر به یک رایانه انتقال پیدا کرده و بعد از پردازش بر روی مانیتور به نمایش در می آید. درستی کارکرد این سیستم با استفاده از یک منبع نور مرئی و چندین نمونه ی آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت.

کلید واژه ها: *بازسازی تصویر، برد حسگر، برد کنترلی، سیستم تصویربرداری،شبکه فوتودیودی*

۱- مقدمه:

تصویربرداری پرتویی یکی از کارآمدترین روشهای تشخیصی در پزشکی و آزمون های غیر مخرب در کاربردهای صنعتی می باشد[۱] ،[۲]. یکی از مهمترین اجزای یک سیستم تصویربرداری پرتویی دیجیتال، آشکارساز آن است. آشکارساز لازم برای انجام تصویربرداری دیجیتال، باید دارای خصوصیات ویژه ای از جمله حساس به مکان بودن باشد که این حساسیت توسط قرار گرفتن سنسورهایی در هر نقطه از صفحه ی آشکارساز امکان پذیر می باشد[۳],[۴]. این سنسورها معمولاً به نور مرئی حساس می باشند. بنابراین برای یک تصویربرداری (پرتوی ایکس، نوترون و ...) پرتوها با برخورد به یک ماده ی سوسوزن حساس به آن پرتو، در همان نقطه ی برخورد تولید نور مرئی می کنند، که این نور توسط سنسور نوری دریافت شده و طی فرایندی به تپ ولتاژ تبدیل می شود. این تپ ولتاژ در یک مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) به بیت های باینری تبدیل می شود و برای پردازش نهایی و ترسیم رادیوگرافیکی، به یک پردازشگر فرستاده می شود[۵],[۶].

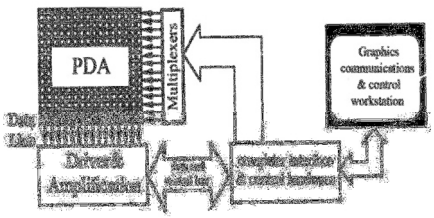
۲- روش کار :

یکی از جدیدترین و پر بازده ترین سنسورهای نوری که در این قبیل سیستم های تصویربرداری دیجیتال استفاده می شود، فوتودیود نوری است. فوتودیودها قطعات الکترونیکی از جنس نیمه رسانا هستند که می

Archive of SID
www.SID.ir

توانند در برخی کاربردها به عنوان جانشینی برای PMT، برای تبدیل نور حاصل از سوسوزنی به جریان خروجی باشند[۷]. فوتودیود نسبت به PMT دارای مزیت های عمده ای می باشد که می توان به بالاتر بودن بازده ی کوانتومی و در نتیجه توانایی قدرت تفکیک انرژی بهتر، توان مصرفی کمتر، اندازه ی بسیار کوچکتر و هموارتر بودن آنها اشاره کرد. همچنین دارای مزیت هایی برای استفاده در آشکارسازهای سوسوزنی می باشند. فوتودیودها نسبت به میدان مغناطیسی بی اثر بوده و بنابراین در آزمایش هایی که در آن میدان مغناطیسی مانع استفاده از PMT می شود، می تواند گزینه مناسبتری باشد. باتوجه به ابعاد نسبتاً کوچک فوتودیودها، پاسخ زمانی آنها نسبت به PMT بسیار قابل ملاحظه تر می باشد و می توان از آنها برای بهبود همزمانی و دیگر کاربردهای زمانگیری استفاده کرد.

سیستم آشکارسازی دیجیتالی تابلوی تخت، یک ماژول حسگر تصویربرداری پرتوهای هسته ای شامل یک برد حسگر و یک برد کنترلی است. برد حسگر همان آرایه فوتودیودی است و برد کنترلی نیز شامل درایور، تقویت کننده ها، مبدل آنالوگ به دیجیتال و میکروکنترلر برای آدرس دهی و فرستادن داده های دیجیتال به کامپیوتر می باشد. در شکل ۱ نمایی از بلوک دیاگرام اجزای مهم یک تصویرگر فوتودیودی نشان داده شده است.

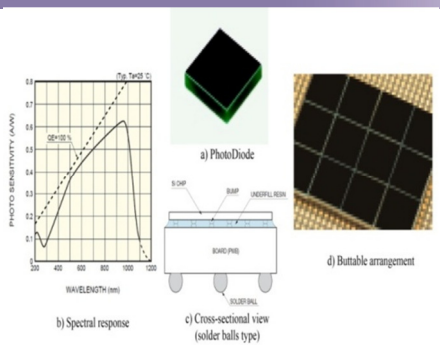


شکل ۱ : بلوک دیاگرام یک تصویرگر فوتودیودی

۲-۱- برد حسگر

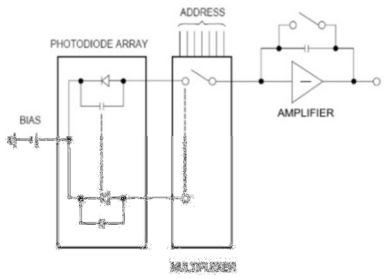
آرایه فوتودیودی که ما در ساخت سیستم آشکارسازی در نظر گرفتیم، با توجه به آزمایشگاهی بودن این نمونه، به شکل مربعی به ابعاد ۵×۵ سانتیمتر مربع می باشد. این آرایه شامل ۱۰۰ عدد فوتودیود است. فوتودیودهای انتخاب شده مربوط به شرکت هاماماتسو (HAMAMATSU) است [۸]، همانطوریکه در شکل ۲ نشان داده شده، این فوتودیود به شکل مربعی به ضلع ۵ میلیمتر و ضخامتی حدود ۱ میلیمتر است و دارای بازه گسترده ی حساسیت طول موجی (از ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ nm) و یکنواختی حساسیت در تمامی سطح آن می باشد.

www.SID.ir



شکل ۲: نمایی از فوتودیود استفاده شده در شبکه فوتودیودی. a) فوتودیود S10357-01 مربوط به شرکت Hamamatsu . b) چیدمان آرایه ای از این فوتودیودها. c) نمایی عرضی از سطح مقطع فوتودیود و چگونگی اتصال پایه ها. D) تابع پاسخ این نوع فوتودیود.

یکی از دیگر مزیت های مهم این فوتودیودها داشتن حداقل فضای مرده در سطح حساس خود می باشد که باعث قرارگرفتن آنها بصورت آرایه ای در کنار یکدیگر می شود. درایور مربوط به این فوتودیودها شامل ۱۶ کانال می باشد یعنی در هر لحظه تنها ۱۶ فوتودیود را بطور همزمان تغذیه می کند. بدین خاطر ما در طراحی خود مجبور به استفاده از مالتی پلکسر برای تعویض ولتاژ معکوس مورد نیاز از درایور به تمامی آرایه ی فوتودیودی شدیم. شماتیکی از این عمل در شکل ۳ نشان داده شده است.



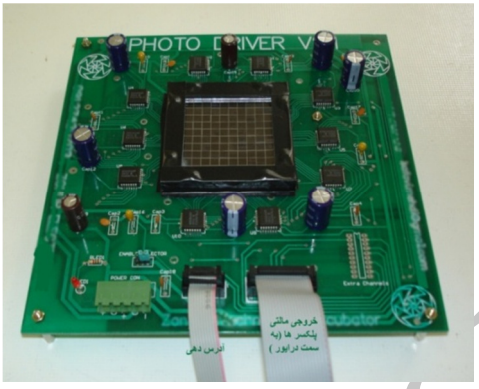
شکل ۳: شماتیکی از استفاده ی مالتی پلکسر در برد حسگر

هر فوتودیود دارای ۸ پایه ی توپی (Solder Ball) چسبیده به سطح زیرین است که ۴ پایه آن کاتد و ۴ پایه دیگر آند می باشد که هر ۴ پایه ی مربوط به یک الکترود از داخل به یکدیگر متصل هستند. کاتدها برای تمامی آرایه یکسان بوده و به هم متصل می شوند و آند هر فوتودیود نیز به همانگونه که گفته شد به ورودی مالتی پلکسر ها وارد می شود. هر مالتی پلکسر دارای یک خروجی است که توسط یک کابل تخت به برد کنترلی (درایور) منتقل می شود. آدرس دهی برای این مالتی پلکسر ها بطور موازی انجام می گیرد، به این صورت که یک خط آدرس به تمامی مالتی پلکسر ها متصل است و فرمانی شامل آدرسی خاص، برای تمامی آنها بطور یکسان اعمال می شود.

Archive of SID

www.SID.ir

در نهایت با اتصال فوتودیودها به برد با دقت فراوان و تست اولیه برای اطمینان از اتصال تمامی فوتودیودها، برد حسگر شامل شبکه ی فوتودیودی و مالتی پلکسر ها، همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، برای انجام آزمایش، آماده گردید.



شکل ۴ : برد حسگر شامل شبکه ی فوتودیودی و مالتی پلکسرها

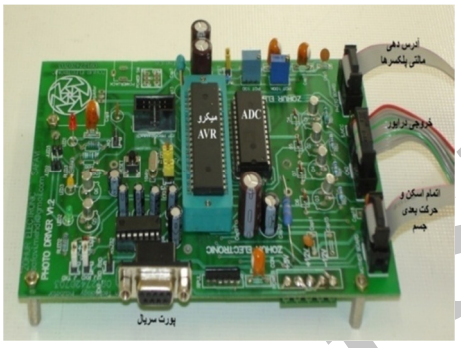
۲-۲- برد کنترلی

برای تغذیه و راه اندازی شبکه فوتودیودی و تقویت سیگنال آنالوگ خروجی فوتودیودها از یکی از محصولات جانبی شرکت هاماماتسو استفاده شده است. که مدار درایوری برای یک آرایه فوتودیودی ۱۶ تایی می باشد و خود این مدار، عمل تقویت کنندگی و شکل دهی سیگنال آنالوگ فوتودیودها را انجام می دهد.
باتوجه به اینکه درایور دارای ۱۶ کانال ورودی است برای تغذیه ی تمامی ۱۰۰ فوتودیود موجود در شبکه از مالتی پلکسرها استفاده شده است، خروجی مالتی پلکسر ها توسط یک کابل تخت به کانکتور ورودی درایور در سمت راست تصویر وارد می شود. بدین صورت در هر لحظه، ۱۰ فوتودیودی که در خروجی مالتی پلکسرها قرار می گیرند، درایو شده و سیگنال آنالوگ آنها تقویت و شکل دهی می شود و نهایتاً بصورت سری یعنی ۱۰ سیگنال آنالوگ پشت سر هم تبدیل می شود. خروجی درایور برای ثبت و پردازش توسط کابل تختی در سمت چپ تصویر به مبدل آنالوگ به دیجیتال در برد جداگانه ای انتقال می یابد. خروجی های درایور توسط کابل تختی به یک مبدل آنالوگ به دیجیتال وارد می شود. این مبدل همراه با یک میکروکنترولر و خروجی پورت سریال برای انتقال داده های دیجیتال شده به یک کامپیوتر، در برد جداگانه ای طراحی و کارگذاشته شده اند. نمایی از این برد با اجزای آن در شکل ۵ نشان داده شده است. مبدل A/D استفاده شده، یک مبدل ۱۲ کاناله است که دارای سرعت بالای تبدیل و مناسب برای فرکانس پالس های آنالوگ خروجی از درایور است. از پالس های تریگر نیز بعنوان راه انداز شروع برای هر تبدیل استفاده شده است.

خروجی های دیجیتال A/D به ورودی های یک میکروکنترولر وارد می شود. میکروکنترلر استفاده شده از نوع AVR (ATMEGA32) با کریستال خارجی ۱۶ مگاهرتز می باشد که علاوه بر گرفتن خروجی های

www.SID.ir
Archive of SID

دیجیتال شده ی مبدل آنالوگ به دیجیتال و انجام پردازش ابتدایی بر روی داده ها برای فرستادن آنها به کامپیوتر، عمل آدرس دهی به مالتی پلکسر ها را نیز انجام می دهد. آدرس دهی به مالتی پلکسر ها (برد حسگر) توسط کابل تختی که در شکل ۵ هم نشان داده شده است، انجام می شود. همچنین پالس نشان دهنده ی اتمام اسکن کامل صفحه ی آشکارساز و انتظار برای حرکت بعدی صفحه و اسکن مجدد، توسط کابل تختی از برد مربوط به حرکت جسم که در شکل هم نشان داده شده است به میکروکنترلر وارد می شود. داده های پردازش شده با فرمت خاصی از طریق پورت سریال به کامپیوتر انتقال می یابند.



شکل ۵ : برد کنترلی شامل مبدل A/D و میکروکنترلر

۲-۳- پردازش داده ها

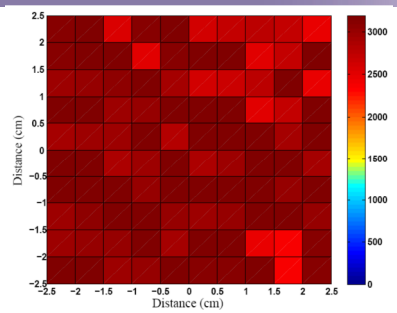
داده ها در کامپیوتر مرکزی از طریق پورت سریال دریافت می شوند. بنابراین می توان با استفاده از نرم افزارهای مناسب، اقدام به بازسازی تصویر حاصل از داده های دیجیتال شده ی آرایه ی فوتودیودی نمود. داده ها توسط برنامه نوشته شده در محیط MATLAB ، جمع آوری شده و در یک ماتریس در خانه ی مربوطه ذخیره می شوند، و با اجرای برنامه به نمایش در می آیند.

۳- نتایج

با طراحی یک سیستم آشکارسازی بر اساس شبکه ی فوتودیودی، می توان با استفاده از یک منبع نور مرئی در مقابل یک جسم نمونه، تصویری دو بعدی از آن ایجاد نمود. برای چشمه نور با شدت یکنواخت در تمام سطح شبکه فوتودیود از یک ویدیو پروژکتور استفاده شده است. ابتدا برای بررسی یکنواختی و زمینه محیط در تصاویر بدست آمده، یکبار تصویری را بدون جسم و تنها با قرار دادن سیستم تصویربرداری در مقابل منبع نور بدست آوردیم که پس از ارسال داده ها به یک پردازشگر کامپیوتری و نهایتاً بازسازی تصویر با استفاده از برنامه ی نوشته شده در محیط نرم افزار MATLAB، تصویر حاصل شده در شکل ۶ نشان داده شده است که تقریباً یکنواختی خوب و با شدت بالا را برای تمامی فوتودیودهای این شبکه نشان می دهد. شرایط آزمایش در یک اتاقک تاریک برپاشده است که همین شرایط برای تمامی آزمایشات بعدی هم رعایت شده است.

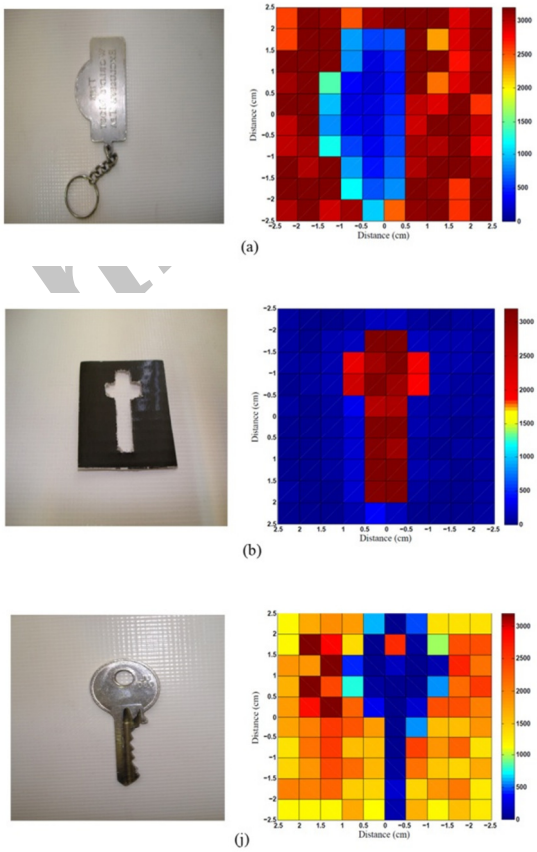
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶ : تصویر منبع نوری بر روی شبکه ی فوتودیودی بدون جسم

با قرار دادن چندین نمونه ی آزمایشی در مقابل منبع نوری با نور یکنواخت برای تمامی آرایه ی فوتودیودی، تصویر حاصل از این جسم به صورت دو بعدی در شبکه فوتودیودی ثبت شده و توسط پورت سریال به کامپیوتر انتقال داده شده و با استفاده از برنامه ی بازسازی تصویر نوشته شده در MATLAB به نمایش در می آید. در ادامه تصاویری از چندین نمونه ی آزمایشی مختلف به همراه خود نمونه (شکل ۷) آورده شده است.



شکل ۷ : تصاویر گرفته شده از نمونه های مختلف (سمت راست). نمونه آزمایشی (سمت چپ)

www.SID.ir

با توجه به اینکه قدرت تفکیک فضایی برای این سیستم در حد اندازه هر پیکسل از صفحه ی آشکارساز، یعنی در حد ۵ میلیمتر می باشد، انتظار آن می رفت که تنها ابعاد کلی از این نمونه ها قابل مشاهده باشد. و برای مشاهده ی جزئیات مربوط به هر نمونه نیاز به شبکه ی آشکارسازی با قدرت تفکیک بالاتر و پیکسل بندی ریزتری از این شبکه می باشد. نکته حائز اهمیت در مورد تمامی این تصاویر آن است که در هر نقطه از شبکه فوتودیودی اگر جسمی مانع از رسیدن پرتوهای نوری به آن نقطه شود و یا به اصطلاح، سایه ای بر روی آن فوتودیود ایجاد کند، آن نقطه در تصویر بصورت تاریک و با رنگ های سرد نشان داده شده است. و با توجه به قابلیت حساس به مکان بودن سیستم با قدرت تفکیک ۵ mm، می توان از این سیستم با استفاده از ورقه های آشکارساز سوسوزنی برای رادیوگرافی و حتی توموگرافی با پرتوهای نوترون و گاما استفاده کرد.

٤- بحث و نتیجه‌گیری

در این کار یک سیستم تصویربرداری با استفاده از آشکارساز شبکه فوتودیودی طراحی و ساخته شد. در این سیستم برای آشکارسازی نقطه به نقطه ی نور مرئی از فوتودیودهایی به ابعاد ۵×۵ mm در یک آرایه ی ۱۰×۱۰ استفاده شده است و تمامی مدارها و بردهای الکترونیکی لازم، طراحی و ساخته شدند که این کار به نوبه ی خود برای اولین بار در ایران صورت پذیرفته است. درستی کارکرد این سیستم با قدرت تفکیک ۵mm با استفاده از یک منبع نور مرئی و چندین نمونه ی آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. این سیستم قابلیت استفاده در تصویربرداری نوری و همچنین تصویربرداری پرتوهای هسته ای با استفاده از سوسوزن مناسب را دارد.

مراجع

[۱] Bushberg, J. Anthony; Leidholdt Jr., Edwin M.; Boone, John M. (2001), *The Essential Physics of Medical Imaging* (2nd ed.), Lippincott Williams & Wilkins

[۲] U. Ewert, H. Heidt, Current Status of European Radiological Standards for NDT, ASNT spring conference and IIW micro symposium, Orlando, 03/22-03/27, 1999, proceedings p. 171-173.

[۳] Anssi Mäkynen: Position-Sensitive Devices and Sensor Systems for optical Tracking and Displacement Sensing Application. Dissertation, Faculty of Technology, University of Oulu, 2000

[۴] Henrik Andersson, Position Sensitive Detectors : Device Technology and Applications in Spectroscopy., Mid Sweden University, Sundsvall, Sweden, 2008

[۵] R.A. Street, S . Nelson, L.E. Antonuk and V.Perez Mendez, "Amorphous silicon sensor arrays for radiation imaging", Mat. Res. Soc.Sym. Proc., vol. 192, pp. 192-196, 1990.

[۶] L.E. Antonuk, J. Yorkston, C.W. Kim, W.Huang, E.J. Morton, M.J. Longo, and R.A.Street,"Light response characteristics of amorphous silicon arrays for megavoltage and diagnostic imaging", Mat. Res. Soc. Sym.Proc., vol. 219, pp. 531-536, 1991.

[۷] R. Farrell, F. Olschner, E G. Entine, “Large area silicon avalanche photodiodes for scintillation detectors,” Nucl. Instrum. Meth., vol. A288, pp.137–139, 1990.

[۸] http://www.hamamatsu.com

Archive of SID

www.SID.ir