کالیبراسیون آشکارساز دستگاه تصویربرداری گسیل پوزیترون با استفاده از الگوریتم های خوشه ای و تبدیل Hough

سیده زهرا اسلامی راد[۲]، رضا قلی پور پیوندی[۱]، مجتبی عسکری له‌داربنی[*۱]

۱- سازمان ا نرژی اتمی،پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای

۲- دانشگاه قم، دانشکده علوم پایه،گروه فیزیک

چکیده:

کالیبراسیون آشکارساز نقش مهمی در بهبود کیفیت تصویر و افزایش کارایی سیستم های تصویربرداری گسیل پوزیترون دارد. برای دستیابی به این هدف الگوریتم های تبدیل هاف و خوشه ای کاهشی را برای تعیین موقعیت پیک کریستال و تولید نقشه کریستالمناسب پیشنهاد و روی داده های خام اعمال گردید. نتایج، بیانگر برتری الگوریتم تبدیل هاف نسبت به الگوریتم خوشه‌ای کاهشی می‌باشد. این الگوریتم موقعیت تمام پیک‌ها حتی داده‌های نامنظم و غیر واضح را تعیین می کند و دارای دقت ۱۰۰٪ می باشد. نتایج اکتسابی می تواند برای همه ی دستگاه های تصویربرداری پزشکی که بر پایه ی آشکارسازها با سنتیلاتورهای پیکسل شده است، مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه: کالیبراسیون، آشکارساز، الگوریتم هاف، الگوریتم خوشه ای کاهشی

مقدمه

دستگاهتصویربرداریگسیلپوزیترونحیوانی،برای تصویربرداری حیواناتکوچکبه اسکنرهایرزولوشنبالانیازمند است.

ساختآشکارسازهاازآرایههایکریستالسنتیلاسیونمانندLYSOمیتواندبرایتحققاینیازموثرباشد.

اینکریستال‌هادریکماتریسمرتبشدهو

رابطهبینموقعیتکریستالدرآرایهومحلناحیهتحتتاثیرآنباهدایتپرتویکنواختیازپرتوهایگامادرهر

ماجولتعیینمی‌شودتانقشهکریستالراتولیدکند.

ابعادنواحیمتاثرازهرکریستالمی‌تواندباتقسیمنمودناینتصویرتعیینشودکهبهاصطلاحکالیبراسیونآشکارساز

امیدهمی‌شود. داده های حاصل

ازماجولهایآشکارسازبکاررفتهدرسیستمپتحیوانیتحتتاثیربینظمی‌هاوغیریکنواختیموجوددرماجولهایآشکا

رسازیوالکترونیکهستهایموجوددرمسیرآندچار خطا می‌شوند.

بنابراینبهمنظوربهبودکیفیتتصویرودقتآشکارسازدرنگاشتاز (x,

y)بهشاخصکریستالدرمکانواقعیجذبفوتونانبودیودرنتیجهافزایشکاراییورزولوشندریکدستگاهپتبایدفرآیندک

الیبراسیونآشکارسازراتوسعهدهیم.استانگروهمکارانشروشیرابراساستخمیناحتمالبیشینهمدلترکیبیگاوسی

نارائهدادند کهدادههایهیستوگرام،نقشهموقعیتراتعیینمی نمود.مائوالگوریتمتبدیلwatershedرا برایتقسیمتصویربهنواحیمتاثربوسیلههیهرکریستالاستفادهنمود.
تصویرتقسیمشدههسپسبرایتولیدجدولlook-upبرایماجولآشکارسازبکارمی رود.
بروئروهمکارانشروشآنالیزمولفهیاصلیراپیشنهاددادندکهبرایتعیینمشخصاتجمعیموقعیتهایپیکبکارمیرود.
همچنینهووآتکینزشبکههعصبیبراساسنقشههمشخصههخود-سازماندههیبرایتشخیصکریستالآشکارسازبلوکپتاستفادهمی کنند. دراینپروژههدوالگوریتمتبدیلهاف[۱] و خوشهبندی کاهشی[۲] دادههابرایشناساییمختصاتادوبعدینقشههایکریستالآشکارسازپرتوگاماپیشنهادشد که برای اولین بار در محیط مطلب نوشته و بر روی نقشه مکانی کریستال اعمال گردید[۴-۱].

تئوری

تبدیلهاف: این الگوریتمبرایجدانمودنمشخصاتیکشکلخاصدریکتصویربکارمی رود. دراینالگوریتم،شکلهایپارامتریدریکتصویرباجستجوبراینقاطانباشتگیدرفضایپارامترآشکارمی شوند. اگریکشکلخاصدرتصویرارائهگردد،سپسنگاشتهمهینقاطآندرفضایپارامتربایددرحدودمقادیرپارامترمطابقباآن شکل،خوشهبندیشود.

خوشه

بندی[۳]:خوشهبندیدادههابعنوانیکدیدگاهجالببرایبافتنتشابهدردادههاوقراردادندادههایمشابهدرگروههادرن ظرگرفتهمی شود.
سهمخوشهبندیمجموعهایازادرچندینگروهبهگونهایاستکهتشابهدریکگروهبیشترازگروههایدیگراست.
اگرایدهیواضحیدرموردتعدادخوشههابرایمجموعهایازدادههایمشخصموجودنباشد،الگوریتمخوشهبندیکاه شی،الگوریتمیسریعبرایتخمینتعدادخوشههاومراکزخوشهدرمجموعهایازدادههاست.
مجموعهایازnنقطهدرفضایmبعدیدرنظربگیرید. نقاطدادههاداخلمکعبذکر شدهنرمالیزهمی شود. ازآنجائیکههرنقطهدادهنمایندهایبرایمراکزخوشهاست،چگالیدرنقطهداده شدهx_iبهصورتزیراندازه گیریمی شود:

۱. Hough
۲. Subtractive Clustring
۳. Clustering

$$D_i = \sum_{j=1}^{n} \exp\left[- \frac{\| x_i - x_j \|^2}{\left(r_a / 2 \right)^2} \right]$$

کهدرآن r_aثابتیمثبتاست. شعاع r_aیکهمسایگیراتعریفمی کند.
نقاطدادهخارجازاینشعاعتنهاسهمجزئیدراندازهگیریچگالیدارد[۱۰۰].

روشکار

اسکنرپتحیوانیازچهارهدآشکارساز،متشکلازکریستالLYSOمیباشد. هربلوکآشکارسازبهطورنوریبه-PS PMTکوپلشدهاستکههدارای ۶ خروجیآنددرراستایXو ۶ خروجیآنددرراستایYاستکهبارهایتقویتشدهتولیدشدهبوسیلهیرخدادهایسنتیلاسیونراجمعآوریمی کند. سیگنالهایخروجیازمدولPS-PMTکریستالبایکشبکهمقاومتیDPCبر اساس منطقنوعانگربه ۴ خروجیکاهشپیدامی کنند. موقعیتهایXوYمی تواندبامعادله $X_{position} = \frac{X_a}{X_a+X_b}$ و $Y_{position} = \frac{Y_c}{Y_c+Y_d}$کهدرآن X_a،X_b،Y_cوYدامنههایسیگنالهارویمسیرXوYاست.
اینداده‌هارویکامپیوتربعدازدیجیتایزشدنبوسیلهیکارتDAQثبتشدهوسپسکاربرمی تواندالگوریتم‌هایپردازش تصویررابرایتشخیصمختصاتدوبعدیپیکهاازنقشههایکریستالآشکارسازوایجادتصویربابهترینکیفیتاجرانماید.

شناساییپیکازطریقتبدیلهاف

بعدازاعمالتبدیلهافرویتنقشهمکانیکریستال،بهمنظوریافتنپیک‌هاباید پارامترهایذیلراتعیینمود. **آستانه:** اینپارامتریکمقدارصحیحغیرمنفیاستکهآستانه یمقادیریازماتریسهافراکهبعنوانپیکدرنظرگرفتهمی شود،مش خصمی نماید. آستانهمی توانداز۰ تابینهایتتغییرکند. دراینمطالعهآستانه ۳ انتخابشدهکهپیکیابیشینهشدترانشانمی دهد. **اندازههمسایه:** اینپارامتریکبردارددوعنصریصحیح،فردومثبتاست: [M N]اندازههمسایههفرونشانیرامشخصمی کند. اینهمسایگیاطرافهرپیکاستکهبعدازمشخصشدنپیکصفرقراردادهمی شود. دراینمطالعهاندازههپیکسل ۱۰۰ استواندازههمسایه [۱۳ ۱۳] درنظرگرفتهمی شود. **تعدادبیشینهپیک‌ها:** اینپارامترتعدادبیشینهپیکهاییکهبایدحاصلشودرامشخصمی کند. دراینمطالعهتعدادبیشینهپیک‌هاباید ۱۰۰ انتخابشود. بلوکدیاگرامالگوریتمتشخیصپیکازطریقتبدیلهافدرشکل ۱رسمشدهاست. براینشاندادنکیفیتکارایبالگوریتم‌هایموجود،مفهومدقتمی تواندپیشنهاددادهشود.

تعریفدقتبصورتنسبتزیرتعیینه ۰۰۰

تعدادپیکهایتشخیصدادهشدهصحیح نت

دراینمطالعهتصاویرمتفاوتیازنقشهکریستال‌هابراینمایشقدرتالگوریتم‌هانشانداده‌شده‌است.

شناساییپیک از طریقخوشه‌بندیکاهشی

دامنهتاثیر:

اینمتغیربرداریاستبینصفرویککهدامنه‌یتاثیریازمرکزخوشهدرهریکازابعادداده‌ها،بافرضقرارگرفتنداده‌هادریکجعبه‌هایپرواحد،مشخصمی‌کند.

دامنه‌یکوچکیازمقادیرموثرعمومابراییافتنتعدادکمتریازخوشه‌هایبزرگنتیجهمی‌شود.

بهترینمقادیربرایدامنه‌یتاثیرمعمولابین ۰/۲ و ۰/۵ است. **فاکتوراسکواش:**

فاکتوراسکواشنشاندهنده‌یاینکهماتنهاخوشه‌هایدورازیکدیگررامی‌خواهیم.

اینفاکتوربرایضربمقادیرشعاعکهتعیین‌کننده‌یهمسایگییکمرکزخوشهاستبکارمیرود.

بطوریکهپتانسیلرابراینقاطقرارگرفتهدربیرونبعنوانبخشیازآنخوشهفرومی‌نشاند.**نسبتپذیرش:**

اینفاکتورپتانسیلرابعنوانکسریازپتانسیلاولینمرکزخوشهتنظیممی‌کند.

نقاطداده‌هایدیگربالایاینکسربعنوانمرکزخوشهپذیرفتهمی‌شود. **نسبتعدم پذیرش:**

اینفاکتورپتانسیلرابعنوانکسریازپتانسیلاولینمرکزخوشهتنظیممی‌کند.

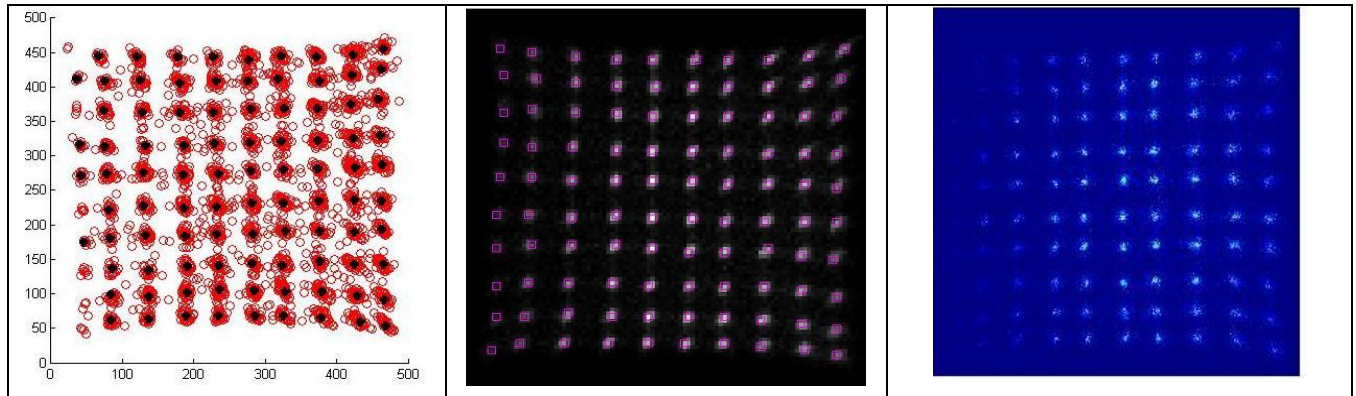
نقاطداده‌هایدیگرپایینایناینکسربعنوانمرکزخوشهپذیرفتهنمی‌شود.

دیاگرامالگوریتمتشخیصپیکخوشه‌بندیکاهشیدرشکل ۱رسمشده‌است.

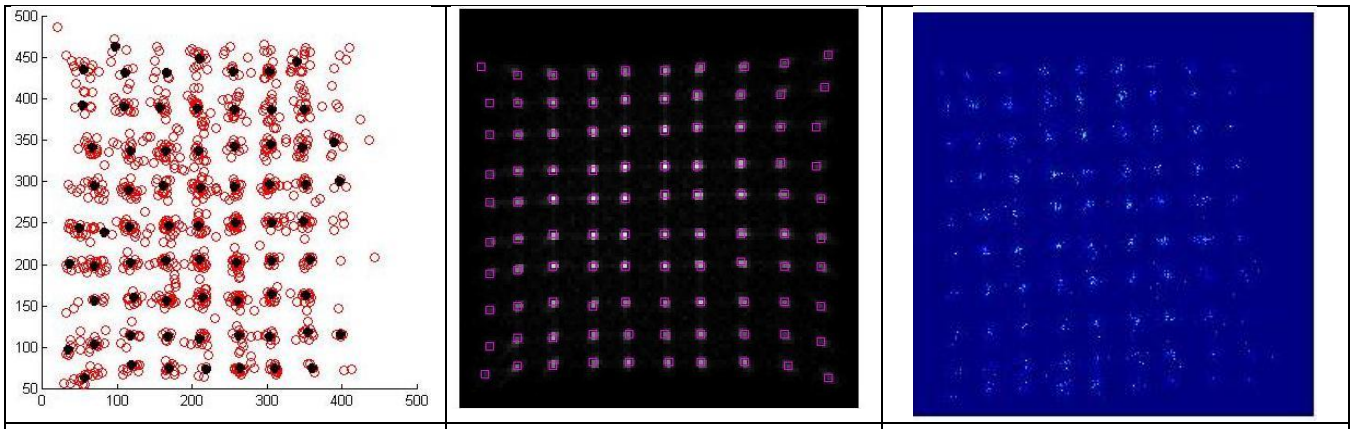
شکل۱. دیاگرامالگوریتمتشخیصپیکازطریقخوشهبندیکاهشی (راست) و تبدیل هاف (چپ)

نتایج

الگوریتمتشخیصمکانیکریستال‌هابرایسیستمIRI-MicroPETدرمحیطمطلبنوشتهشدوبررویکریستالبا ۱۰۰ آرایهاعمالگردید. الگوریتمهافوخوشه‌بندیکاهشیرویداده‌هایخروجیاز PS-PMTکهبهسیگنال‌هایدیجیتالتبدیلشدهاعمالمی‌گردد. درروشاول،ازالگوریتمتبدیلهافاستفادهشده است. شکل ۲تصاویرنقشهکریستالبدستآمدهازدوماجولآشکارسازرانمایشمیدهد.



الف- دادهخام	ب- (دقت: ۱۰۰٪)Hough	ج-خوشهبندی (دقت: ۹۴٪)



الف- دادهخام | ب- (دقت: ۱۰۰٪) Hough | ج-خوشهبندی (دقت: ۷۰٪)

شکل۲. مقایسهدقتالگوریتمتشخیصپیک (هاف وخوشهبندیکاهشی) بعدازاعمالبرروینقشههایکریستالمتفاوت. الف- نواحیروشنترنشاندهندهیاحتمالمکانپیکهاستب- مربعبنفشمکانپیکبعدازاعمالالگوریتمتبدیل Hough رانشانمیدهد. ج- دایرهسیاهمکانپیکبعدازاعمالالگوریتمخوشهبندیکاهشیرانشانمیدهد.

همانطورکهدرشکلدیدهمیشودالگوریتمهافبهدقتپیکهاراتشخیصوشناساییمودهاستحتیدرموردومکه دادههایخامشاملپیکهاینامنظماست.

درروشدومنتایجحاصلونقشهکریستالازالگوریتمخوشهبندیکاهشیدرشکل ۲نشانادهشدهاست.

همچنیندقتناشیازاعمالدوالگوریتمدرشکل ۲آمدهاست.

بحث و نتیجه گیری

مطابقنتایجدقتروش اول ۱۰۰٪،امادقتروشدوم ۷۰٪

استکهنشاندهندهبرتریالگوریتمتبدیلهافنسبتبهالگوریتمخوشهبندیکاهشیاست.

اینروشرویبلوکهاباطراحیمتفاوتامتحانشدهاستکهبیانکنندهاینحقیقتاستکهاینالگوریتمهامیتوانندرویانوا عمتفاوتیازآشکارسازهااعمالشود.

همچنینتعدادپیکهاییکهبایدشناساییشوندمیتواندرمتنبرنامهمطلبمشخصشودزیراتعدادآرایههادرمدول کریستالمشخصمیباشد.در نهایت

الگوریتمهایتبدیلهایهافوخوشهبندیکاهشیبرایکالیبراسیونآشکارسازونتایجحاصلازآنمیتوانندبرایهمه یتج هیزاتتصویربرداریپزشکیهمچونآشکارسازهایپتواسپکتبراساسسنتیلاسیونهاییپکسلشدهبسیارمفیدباشند

.

مراجع

[1] K. A. Stonger, M. T. Johnson,Optimal Calibration of PET crystal position maps using Gaussian mixture models, IEEE Trans NuclSci,51, 85-90, (2004).

[2] A. Mao, Positron emission tomograph detector module calibration through morphological algorithms and interactive correction, 1999-2000 International Student Technical Writing Competition (ISTWC) winners, (2000).
[3] J. Breuer, K. Wienhard, PCA-Based Algorithm for Generation of Crystal Lookup Tables for PET Block Detectors, IEEE Trans NuclSci, 56, 602–607 (2009).
[4] D. Hu, Verification of neural network based algorithm for crystal identification of PET block detector, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record,* 2847- 2850, (2007)
[5] P. V. C. Hough, *Method and Means for Recognizing Complex Patterns*. U.S. Patent No. 3069654, (1962)