

واژه نامه پرتو ایکس شماره ۱۲

Qom, University of Qom
Tel ۰۲۵۳۱۸۸۶۱۱۰

Email info@xrayschool.ir
xrayschool.ir

فهرست

۱. بازده کوانتومی آشکارساز – DQE _____ ۱

۲. تابع انتقال مدولاسیون – MTF _____ ۴

۳. آیا MTF و DQE به تنهایی کیفیت تصویر را تعیین می کنند؟ _____ ۷

۴. جمع بندی _____ ۸

پرسش های متداول _____ ۹

منابع _____ ۱۰

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

۱. بازده کوانتومی آشکارساز - Detector Quantum Efficiency (DQE)

بازده کوانتومی آشکارساز چیست؟

Detector Quantum EfficiencyیاDQE یکی از مهم ترین شاخص های ارزیابی عملکرد آشکارسازهای دیجیتال است.

DQEنشان می دهد آشکارساز تا چه اندازه می تواند اطلاعات موجود در فوتون های ورودی را با حفظ نسبت سیگنال به نویز، به یک تصویر مفید تبدیل کند.

به بیان ساده، DQE به این سؤال پاسخ می دهد:

آشکارساز تا چه اندازه از اطلاعات موجود در پرتو ورودی برای تشکیل تصویر استفاده می کند؟

این مفهوم فقط به تعداد فوتون هایی که آشکارساز دریافت می کند مربوط نیست؛ بلکه کیفیت تبدیل این اطلاعات به سیگنال تصویر و میزان نویزی که در این فرآیند ایجاد یا حفظ می شود نیز اهمیت دارد.

XRAY SCHOOL

چرا DQE اهمیت دارد؟

در تصویربرداری پرتو ایکس، تعداد فوتون های ورودی محدود است و وجود نویز کوانتومی نیز بخشی از ماهیت تصویربرداری با پرتو ایکس است. بنابراین تنها دریافت فوتون کافی نیست؛ آشکارساز باید بتواند اطلاعات این فوتون ها را با کارایی مناسب به سیگنال تصویری تبدیل کند. هرچه بازده کوانتومی آشکارساز بیشتر باشد، در شرایط یکسان، می توان اطلاعات بیشتری از پرتو ورودی را در تصویر حفظ کرد. به همین دلیل، DQE ارتباط نزدیکی با کیفیت تصویر، نویز و میزان تابش مورد نیاز دارد.

البته DQE به تنهایی کیفیت تصویر را تعیین نمی کند و باید در کنار شاخص های دیگری مانندMTF ، نویز و شرایط تصویربرداری بررسی شود.

DQEچگونه تعریف می شود؟

یکی از تعریف های رایج DQE بر اساس نسبت مجذور نسبت سیگنال به نویز در خروجی به مجذور نسبت سیگنال به نویز در ورودی است:

فرمول اصلی:

بازده کوانتومی آشکارساز(DQE) DETECTOR QUANTUM EFFICIENCY -

$$\mathbf{DQE(f)} = \frac{\mathbf{SNR^2_{out}(f)}}{\mathbf{SNR^2_{in}(f)}}$$

که در آن:

- $\mathbf{DQE(f)}$ = بازده کوانتومی آشکارساز در فرکانس فضایی f
- $\mathbf{SNR^2_{out}(f)}$= نسبت سیگنال به نویز در خروجی
- $\mathbf{SNR^2_{in}(f)}$= نسبت سیگنال به نویز در ورودی

وجود f در رابطه نشان می دهد که DQE می تواند با فرکانس فضایی تغییر کند. بنابراین DQE معمولاً به صورت یک منحنی برحسب فرکانس فضایی بررسی می شود، نه صرفاً یک عدد ثابت.

DQEچه چیزی را نشان می دهد؟

برای درک ساده تر DQE می توان مسیر تشکیل تصویر را این گونه در نظر گرفت:

فوتون های ورودی ← آشکارسازی ← تبدیل به سیگنال ← اثر نویز ← تصویر خروجی

DQEدر واقع بررسی می کند که اطلاعات کوانتومی موجود در ورودی، پس از عبور از این فرآیند، با چه کارایی در تصویر حفظ شده است. به همین دلیل، DQEرا نمی توان صرفاً با "توانایی جذب فوتون" یکسان دانست.

بازده کوانتومی آشکارساز مفهومی گسترده تر است و کیفیت استفاده از اطلاعات فوتون ها و اثر نویز را نیز در نظر می گیرد.

بازده کوانتومی آشکارساز و میزان تابش

یکی از دلایل اهمیت DQE در تصویربرداری پزشکی، ارتباط آن با میزان تابش مورد نیاز برای دستیابی به کیفیت تصویر مناسب است. آشکارسازی با DQE بالاتر، در شرایط قابل مقایسه، می تواند استفاده مؤثرتری از فوتون های ورودی داشته باشد. در نتیجه، امکان دستیابی به کیفیت تصویری مشخص با میزان تابش کمتر، بسته به شرایط سامانه و تصویربرداری، می تواند افزایش یابد.

اما نباید این موضوع را به شکل ساده به این صورت بیان کرد که: DQEبالاتر همیشه به معنی دوز کمتر است.

میزان دوز و کیفیت تصویر به عوامل متعددی مانند پروتکل تابش، انرژی پرتو، هندسه تصویربرداری، نویز، MTF و پردازش تصویر وابسته هستند.

بازده کوانتومی آشکارساز(DQE) DETECTOR QUANTUM EFFICIENCY -

چه عواملی بر DQE اثر می گذارند؟

عملکرد DQE تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد، از جمله:

- جنس ماده آشکارساز: ویژگی های ماده مورد استفاده برای آشکارسازی پرتو ایکس بر نحوه جذب و تبدیل انرژی فوتون ها به سیگنال اثر می گذارد.
- ضخامت لایه آشکارساز: ضخامت ماده آشکارساز می تواند بر میزان جذب فوتون های ورودی تأثیر داشته باشد.
- نویز الکترونیکی: نویز ایجادشده در بخش های الکترونیکی سامانه می تواند نسبت سیگنال به نویز را کاهش دهد و در نتیجه بر DQE اثر بگذارد.
- ساختار آشکارساز: ساختار پیکسل ها، لایه های تبدیل کننده و نحوه انتقال سیگنال می توانند عملکرد آشکارساز را تحت تأثیر قرار دهند.
- فرکانس فضایی: DQEدر فرکانس های فضایی مختلف می تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

DQE در کجا اهمیت دارد؟

بازده کوانتومی آشکارساز در ارزیابی و مقایسه عملکرد سامانه های مختلف تصویربرداری پرتو ایکس اهمیت دارد، از جمله:

- رادیوگرافی دیجیتال
- فلوروسکوپی
- ماموگرافی
- آشکارسازهای صفحه ای
- سامانه های تصویربرداری پزشکی
- سامانه های تصویربرداری صنعتی
- کنترل کیفیت تصویر
- ارزیابی عملکرد آشکارساز

در همه این موارد، DQE می تواند اطلاعات ارزشمندی درباره میزان کارایی آشکارساز در استفاده از اطلاعات پرتو ورودی ارائه کند.

۲. تابع انتقال مدولاسیون - Modulation Transfer Function (MTF)

تابع انتقال مدولاسیون چیست؟

Modulation Transfer Function یا MTF یکی از شاخص های مهم برای ارزیابی عملکرد فضایی سیستم تصویربرداری است. MTF نشان می دهد یک سیستم تصویربرداری تا چه اندازه می تواند کنتراست جزئیات با اندازه های مختلف را از جسم به تصویر منتقل کند.

به زبان ساده: MTFنشان می دهد سیستم تصویربرداری چقدر توانایی دارد جزئیات فضایی را بدون از دست دادن کنتراست بازتولید کند.

فرکانس فضایی چیست؟

برای درک MTF ابتدا باید با مفهوم فرکانس فضایی (Spatial Frequency) آشنا شویم. فرکانس فضایی نشان می دهد در یک فاصله مشخص، چند الگوی تکرارشونده وجود دارد.

از تئوری تا فناوری XRAY SCHOOL

واحد رایج آن:

$$\frac{\text{cycles}}{\text{mm}}$$

است. فرکانس فضایی پایین معمولاً با جزئیات بزرگ تر و فرکانس فضایی بالا با جزئیات کوچک تر مرتبط است. بنابراین وقتی MTFرا بررسی می کنیم، در واقع می خواهیم بدانیم سامانه در انتقال جزئیات با اندازه های مختلف چه عملکردی دارد.

MTFچگونه تعریف می شود؟

MTFنسبت مدولاسیون تصویر خروجی به مدولاسیون ورودی در یک فرکانس فضایی مشخص است.

فرمول اصلی:

$$\mathbf{MTF(f)} = \frac{\mathbf{M_{out}(f)}}{\mathbf{M_{in}(f)}}$$

که در آن:

تابع انتقال مدولاسیون(MTF) MODULATION TRANSFER FUNCTION -

- $MTF(f)$ = تابع انتقال مدولاسیون در فرکانس فضایی f
- $\mathbf{M_{out}(f)}$ = مدولاسیون در تصویر خروجی
- $\mathbf{M_{in}(f)}$ = مدولاسیون در ورودی

مدولاسیون را می توان به کمک بیشینه و کمینه شدت تصویر به صورت زیر تعریف کرد:

$$\mathbf{M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}}$$

در این رابطه:

- $\mathbf{I_{max}}$ = بیشترین مقدار شدت یا سیگنال
- $\mathbf{I_{min}}$ = کمترین مقدار شدت یا سیگنال

MTFچگونه تفسیر می شود؟

فرض کنید یک الگوی دارای جزئیات ریز وارد سیستم تصویربرداری شود. اگر سیستم بتواند کنتراست این الگو را به خوبی حفظ کند، MTF در آن فرکانس بالا خواهد بود. اما اگر جزئیات ریز در تصویر محو شوند و تفاوت میان نواحی روشن و تاریک کاهش پیدا کند، MTF پایین می آید.

به همین دلیل، منحنی MTF معمولاً در فرکانس های پایین مقدار بالاتری دارد و با حرکت به سمت فرکانس های بالاتر کاهش می یابد.

MTFچگونه اندازه گیری می شود؟

روش های مختلفی برای اندازه گیری MTF وجود دارد. یکی از روش های شناخته شده، روش لبه (Edge Method) است. در این روش، تصویر یک لبه با کنتراست بالا ثبت می شود. ابتدا از تصویر لبه، تابع Edge Spread Function (ESF) استخراج می شود. سپس با مشتق گیری ازESF ، تابع Line Spread Function (LSF) به دست می آید.

در مرحله بعد، تبدیل فوریه LSF برای استخراج پاسخ فرکانسی سیستم استفاده می شود.

به صورت خلاصه:

Edge → ESF → LSF → Fourier Transform → MTF

تابع انتقال مدولاسیون(MTF) MODULATION TRANSFER FUNCTION -

این روش یکی از روش های رایج برای ارزیابی عملکرد فضایی سامانه های تصویربرداری دیجیتال است.

چه عواملی بر MTF اثر می گذارند؟

MTFنتیجه عملکرد کل زنجیره تصویربرداری است و عوامل مختلفی می توانند روی آن اثر بگذارند.

- اندازه پیکسل: اندازه پیکسل یکی از عوامل مؤثر بر توانایی سامانه در ثبت جزئیات فضایی است. البته وضوح فضایی صرفاً با تعداد پیکسل های تصویر تعیین نمی شود.
- نقطه کانونی: اندازه نقطه کانونی می تواند بر وضوح تصویر و میزان تاری هندسی اثر بگذارد.
- حرکت: حرکت جسم، بیمار یا اجزای سامانه هنگام تصویربرداری می تواند باعث ایجاد تاری حرکتی شود.
- ساختار آشکارساز: نوع ماده آشکارساز، ساختار پیکسل ها و نحوه انتقال سیگنال می توانند بر انتقال جزئیات فضایی اثرگذار باشند.
- پردازش تصویر: ردازش های نرم افزاری نیز می توانند ظاهر و پاسخ فضایی تصویر را تغییر دهند.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

۳. آیا MTF و DQE به تنهایی کیفیت تصویر را تعیین می کنند؟

خیر. کیفیت تصویر یک سیستم X-ray نتیجه تعامل چندین عامل است. از جمله:

- کنتراست
- نویز
- MTF
- DQE
- دز یا میزان تابش
- اندازه پیکسل
- هندسه تصویربرداری
- حرکت
- پردازش تصویر
- ویژگی های جسم مورد تصویربرداری

بنابراین بهتر است MTF و DQE را شاخص های مکمل عملکرد سیستم بدانیم، نه یک معیار واحد برای تمام جنبه های کیفیت تصویر.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

۴. جمع بندی

Detector Quantum Efficiency (DQE) - بازده کوانتومی آشکارساز و Modulation Transfer Function (MTF) - تابع انتقال مدولاسیون دو شاخص مهم در ارزیابی عملکرد سامانه های تصویربرداری پرتو ایکس هستند.

DQEبیشتر بر کارایی آشکارساز در استفاده از اطلاعات فوتون های ورودی و نسبت سیگنال به نویز تمرکز دارد.

MTFتوانایی سامانه در انتقال کنتراست جزئیات با فرکانس های فضایی مختلف را توصیف می کند.

درک هم زمان این دو مفهوم کمک می کند عملکرد آشکارساز و کیفیت تصویر را دقیق تر بررسی کنیم و بدانیم که "کیفیت تصویر" تنها به وضوح یا تعداد پیکسل ها محدود نمی شود.

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL

پرسش های متداول

آیا DQE بالاتر همیشه به معنی تصویر بهتر است؟

DQEبالاتر نشان دهنده کارایی بهتر سیستم در استفاده از اطلاعات کوانتومی ورودی، با توجه به نسبت سیگنال به نویز، است. اما کیفیت نهایی تصویر فقط به DQE وابسته نیست و عواملی مانندMTF ، کنتراست، پردازش و شرایط تصویربرداری نیز اهمیت دارند.

آیا MTF بالاتر همیشه به معنی وضوح بیشتر است؟

MTFبالاتر در یک فرکانس مشخص یعنی سیستم کنتراست جزئیات را در آن فرکانس بهتر منتقل می کند. برای قضاوت درباره عملکرد کلی سیستم، باید منحنی MTF در محدوده فرکانس موردنظر و در کنار سایر شاخص ها بررسی شود.

تفاوت اصلی DQE و MTF چیست؟

MTFبر انتقال جزئیات و کنتراست فضایی تمرکز دارد، در حالی که DQE بر کارایی استفاده از اطلاعات فوتون ها و حفظ نسبت سیگنال به نویز تمرکز می کند.

چرا باید DQE و MTF را با هم بررسی کرد؟

زیرا این دو شاخص جنبه های متفاوتی از عملکرد سیستم را نشان می دهند .MTF اطلاعاتی درباره انتقال جزئیات فضایی ارائه می کند و DQE نشان می دهد سیستم با چه کارایی از اطلاعات فوتون های ورودی برای تشکیل تصویر استفاده می کند.

منابع

- The Essential Physics of Medical Imaging (Bushberg)
- Foundations of Image Science (Barrett و Myers)

از تئوری تا فناوری
XRAY SCHOOL