



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



شبیه‌سازی میکروسکوپ انتگرالی با زیمکس جهت بهینه‌سازی پارامترهای میکروعدسی‌ها

داود هاشمی دستجردی^۱ و علیرضا مرادی^۲

^۱ دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، صندوق پستی ۴۵۱۴۹-۱۱۵۹

^۲ پژوهشکده علوم نانو، پژوهشگاه دانشهای بنیادی، تهران، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۵۵۳۱

چکیده - در این مقاله میکروسکوپ انتگرالی توسط نرم افزار زیمکس بر اساس اپتیک هندسی شبیه‌سازی شده است. با استفاده از آرایه‌ی میکروعدسی طراحی شده تصویر انتگرالی ثبت می‌شود و سپس با الگوریتم بازبازی عمق تصویر، تصویر سه‌بعدی به همراه توزیع شدت تصویر بازسازی می‌گردد. در آزمایشگاه مجازی ارائه شده عملکرد میکروسکوپی انتگرالی با تغییر و تنظیم پارامترهای مختلف از جمله ویژگی‌های آرایه‌ی میکروعدسی برای رسیدن به وضعیت بهینه بررسی می‌شود. با توجه به قیمت بالای آرایه‌ی میکروعدسی و سایر ادوات اپتیکی امکان طراحی مجازی چیدمان میکروسکوپی انتگرالی و بررسی قابلیت آن پیش از تهیه‌ی قطعات اهمیت بالایی خواهد داشت.

کلیدواژه- تصویربرداری سه‌بعدی، زیمکس، میکروسکوپ انتگرالی، میکروعدسی.

Zemax Simulation of Integral Imaging Microscope for Optimzation of Microlens Parameters

Davood Hashemi Dastjerdi¹ and Ali-Reza Moradi^{1,2}

¹Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), 45137-66731, Zanjan, Iran

²School of Nano Science, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), 19395-5531, Tehran, Iran

Email: dastjerdi@iasbs.ac.ir, moradika@iasbs.ac.ir

Abstract- In this paper we simulate integral imaging microscope by ZEMAX. Integral image of an arbitrary sample is formed by the use of a pre-designed microlens array and by the use of a depth estimation algorithm the 3D image along with intensity distribution of the sample is reconstructed. Then, adjusting the system parameters virtually the optimum configuration for the integral imaging microscopy system is investigated. The possibility for virtual lab design, according to high expenses of microlens arrays is significant.

Keywords: 3D Imaging, Integral Imaging Microscope, Microlens, Zemax.

مقدمه

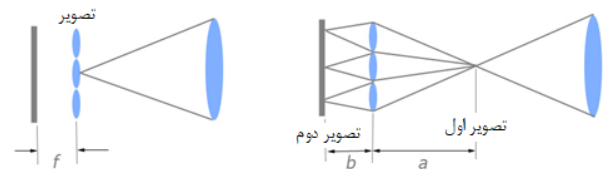
میکروسکوپی پس از شیئی بسیار کمتر است. بنابراین می‌توان با استفاده از چنین آشکارسازهایی و آرایه‌ای از میکروعدسی‌ها علاوه بر ثبت توزیع شدت، اطلاعات زاویه‌ی پرتوها را هم ثبت نمود تا بتوان تصویری سه‌بعدی را بدست آورد. با توجه به گشودگی عددی بزرگ میکروسکوپ‌ها، از چیدمان تک‌تصویری انتگرالی برای میکروسکوپ انتگرالی استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از نرم افزار زیمکس نحوه‌ی کار میکروسکوپ انتگرالی به صورت آزمایشگاه مجازی شبیه‌سازی شده است و پارامترهای مؤثر در کیفیت تصویر نهایی بررسی گردیده است.

شبیه‌سازی میکروسکوپ انتگرالی توسط

زیمکس

جهت بررسی هرچه دقیق‌تر عملکرد آرایه میکروعدسی‌ها، شبیه‌سازی میکروسکوپ انتگرالی با استفاده از عدسی ایده‌آل برای شیئی (عدسی ایده‌آل دقیقاً دارای کانونی نقطه‌ای و بدون ابیراهی است ولی عدسی پیرامحوری با تقریب $\theta \rightarrow 0$ ، $\theta \approx \text{tg} \theta$ است و دارای ابیراهی هم می‌باشد) و آرایه واقعی از میکروعدسی‌ها توسط نرم افزار اپتیکی زیمکس صورت گرفته است. در شبیه‌سازی صورت گرفته شیئی میکروسکوپ (40X) با فاصله کانونی $F=3.9\text{mm}$ و گشودگی عددی $NA=0.95$ ، آشکارساز با ابعاد $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ و تعداد نقاط 2400×2400 میکروعدسی‌ها با فاصله کانونی $F_{mi}=2.5\text{mm}$ با سطوح کوژ - تخت از جنس BK7 به تعداد 200×200 و ابعاد کل $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ در نظر گرفته شده‌اند [۲]. در شکل ۲ طرح کلی میکروسکوپ انتگرالی شبیه‌سازی شده آورده شده است. بخش بزرگنمایی شده از آرایه میکروعدسی شبیه‌سازی شده نیز در شکل آورده شده است. شکل ۳ توزیع شدت ایجاد شده توسط میکروعدسی‌ها بر روی آشکارساز را نشان می‌دهد. جسم استفاده شده در این

در تصویرگیری عادی، توزیع شدت تصویر بر روی آشکارساز ایجاد می‌گردد و ثبت می‌شود؛ اطلاعات بعد سوم ناشی از فاز یا به طور معادل اطلاعات زاویه‌ی پرتوهای ایجاد کننده‌ی تصویر از بین می‌رود. در تصویربرداری انتگرالی با استفاده از آرایه‌ی بزرگی از میکروعدسی‌ها و ثبت تصویر با هر میکروعدسی در زاویه‌ای مختلف تصویر سه‌بعدی در کنار توزیع شدت تصویر بدست می‌آید. دو آرایش برای تصویربرداری انتگرالی پیش بینی گردیده است، آرایش دوتصویری و آرایش تک‌تصویری (شکل ۱).



شکل ۱: آرایش دوتصویری (راست) و آرایش تک‌تصویری (چپ) از

تصویربرداری انتگرالی.

در آرایش دوتصویری، آرایه میکروعدسی‌ها با فاصله‌ای از محل تصویر ایجاد شده توسط عدسی اصلی قرار داده می‌شود و آشکارساز در پشت آرایه میکروعدسی‌ها قرار دارد. توسط میکروعدسی‌ها آرایه‌ای از تصاویر کوچک بر روی آشکارساز تشکیل می‌گردد. در آرایش تک‌تصویری، آرایه میکروعدسی‌ها در محل تشکیل تصویر عدسی اصلی قرار داده می‌شود و آشکارساز در فاصله کانونی پشتی میکروعدسی‌ها قرار دارد. توسط میکروعدسی‌ها آرایه‌ای از توزیع شدت بدست می‌آید که هر یک از این توزیع شدت‌ها وابسته به زاویه پرتوها می‌باشد و می‌توان از آنها زاویه پرتوها را بدست آورد. الگوریتم‌های مختلفی برای بازسازی تصویر سه‌بعدی از تصویر ثبت شده از این آرایش‌ها وجود دارد [۱].

در میکروسکوپ‌های نوری، محدود کننده اصلی توان تفکیک، حد پراش اثر موجی نور می‌باشد. ابعاد دانه بندی آشکارسازهای نوعی، امروزه از تصویر نمونه‌های

گردد. در اینصورت تصاویر (توزیع شدت) پشت میکروعدسی‌ها با هم ترکیب نمی‌شوند و از طرفی شدت نقاط تصویر هریک از میکروعدسی‌ها، حاصل از پرتوهای عبوری از نواحی مشخص عدسی شیئی خواهد بود که خود بیانگر زاویه‌ی پرتوها است. در این شبیه‌سازی براساس اپتیک هندسی، پرتوهایی از نقاط مختلف جسم ساطع شده و با ردیابی آنها محل برخورد آنها با نقاط آشکارساز محاسبه می‌گردد. با توجه به مقدار شدت و ناکانونی هر نقطه جسم، توزیع شدت متفاوتی بر روی آشکارساز خواهیم داشت. در الگوریتم مورد استفاده، برای نقاط جسم مقادیر متفاوت شدت و ناکانونی در نظر گرفته شده و با ردیابی پرتوهای ساطع شده از آن نقاط، نقاط آشکارساز دریافت کننده پرتوها بدست می‌آید. اگر توزیع شدت نقاط آشکارساز بدست آمده حداقل انحراف را از توزیع شدت بدست آمده از شبیه‌سازی را داشته باشد، در اینصورت شدت آن نقطه برابر میانگین شدت نقاط و ناکانونی فرض شده، ناکانونی آن نقطه در نظر گرفته می‌شود [۳]. برای بدست آوردن توزیع شدت در تمام نقاط آشکارساز از روی شبیه‌سازی صورت گرفته توسط زیمنکس، ابتدا تمام نقاط جسم را در یک ناکانونی مشخص فرض می‌کنیم. پرتوهای ساطع شده از هر نقطه جسم را ردیابی هندسی نموده و نقاط آشکارساز دریافت کننده پرتوها را بدست می‌آوریم. میانگین و خطای RMS شدت نقاط آشکارساز بدست آمده به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$I_a = \frac{1}{N} \sum I_s[i, j] \quad (1)$$

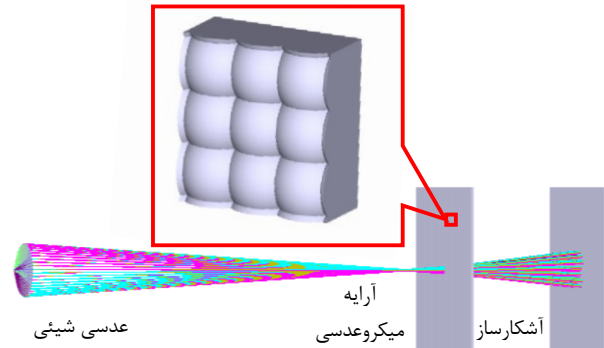
$$I_q = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (I_s[i, j] - I_a)^2}$$

که $I_s[i, j]$ ، توزیع شدت در نقطه‌ی $[i, j]$ از آشکارساز هستند. شدت نقطه‌ی آشکارساز دریافت کننده‌ی پرتوی مرکزی $([i_c, j_c])$ و خطای RMS آن را هم از روابط زیر بدست می‌آید:

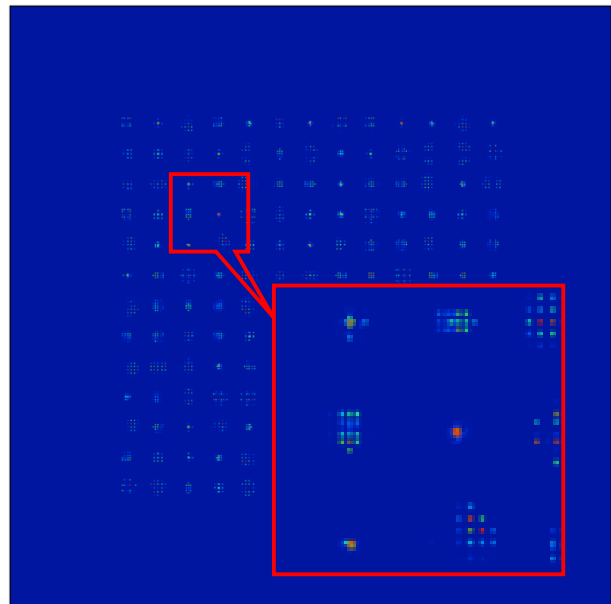
$$I_c = I_s[i_c, j_c] \quad (2)$$

$$I_{qc} = (I_c[i, j] - I_a)^2$$

شبیه‌سازی‌ها شامل نقاطی با ارتفاع (یا ضخامت) مختلف و شدت‌های اختیاری است.



شکل ۲: طرح کلی میکروسکوپ انتگرالی شبیه‌سازی شده.



شکل ۳: توزیع شدت بدست آمده بر روی آشکارساز پشت میکروعدسی‌ها در میکروسکوپ انتگرالی شبیه‌سازی شده.

الگوریتم تعیین ناکانونی و بازسازی تصویر

هدف از الگوریتم تعیین ناکانونی و بازسازی تصویر، استفاده از توزیع شدت ایجاد شده بر روی آشکارساز در پشت میکروعدسی‌ها برای بدست آوردن تصویر توزیع شدت و توزیع ناکانونی (ارتفاع یا ضخامت نمونه) است. در چیدمان تک‌تصویری ابعاد و فاصله کانونی میکروعدسی‌ها طوری انتخاب می‌گردد که تصویر عدسی شیئی بر روی آشکارساز پشت میکروعدسی‌ها تقریباً برابر اندازه قطر میکروعدسی‌ها

بنابراین از همان روابط آماری تعیین کیفیت سطوح می توان برای بررسی اختلاف دو تصویر یا همان تشابه دو تصویر استفاده کرد. در اینجا هرچه RMS شدت نقاط تصویر اختلاف دو تصویر کمینه باشد به عنوان معیار تشابه دو تصویر به هم در نظر گرفته شده است. با این معیار در نظر گرفته شده و با پارامترهای بالای در نظر گرفته شده برای میکروسکوپ انتگرالی و با تکرار موارد مختلف از توزیع شدت و ناکانونی تصادفی در محدوده $\pm 10\mu\text{m}$ حول کانون برای نقاط جسم، خطای RMS توزیع شدت و ناکانونی تعیین شده از مقادیر واقعی آنها در حدود 30% بدست آمد.

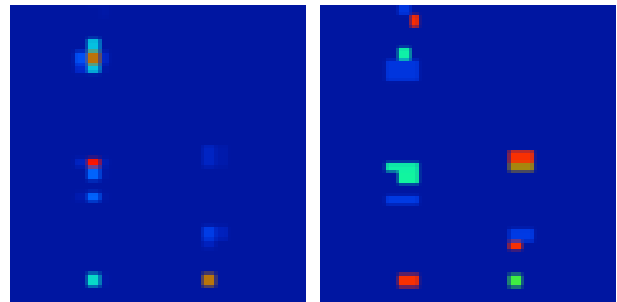
نتیجه گیری و کارهای پیش رو

در این مقاله میکروسکوپ انتگرالی با زیمکس شبیه سازی شد و با استفاده الگوریتم بازیابی عمق تصویر توزیع شدت و توزیع ناکانونی سه بعدی بدست آمد. می توان با هوشمندتر کردن این الگوریتم و استفاده از الگوریتم های دیگر بطور ترکیبی با این الگوریتم، تصاویر با ضریب اطمینان بسیار بالاتری از میکروسکوپ انتگرالی بازسازی نمود.

مرجع ها

- [1] R. Zhang, Y. Ruan, D. Liu, Z. Youguang, *All-Focused Light Field Image Rendering*, Pattern Recognition, 6th Chinese Conference, CCPR 2014 Changsha China November 17-19, 2014 Proceedings, Part I.
- [2] M. Levoy, R. Ng, A. Adams, M. Footer, M. Horowitz, "Light Field Microscopy", *ACM Transactions on Graphics* 25(3), Proc. SIGGRAPH 2006.
- [3] Ting-Chun Wang, *Beyond Photo-Cosistency Shape, Reflectance and Material Estimation Using Light-Field Cameras*, p. 22, University of California at Berkeley May 11, 2017.

برای هر نقطه از جسم پارامتر $\alpha = I_q + I_{qc}$ محاسبه می شود. در صورتی که برای هر نقطه جسم α با ناکانونی در نظر گرفته شده کمینه گردد، ناکانونی این نقطه جسم برابر ناکانونی با α کمینه قرار داده می شود و شدت آن نقطه جسم هم برابر میانگین توزیع شدت (I_a) در نظر گرفته می شود. بدین طریق توزیع ناکانونی برای بدست آوردن تصویر سه بعدی و توزیع شدت متناظرش بدست می آیند.



(ب)

(الف)

شکل ۴: نمونه ای از توزیع شدت (چپ) و ناکانونی (راست) بدست آمده توسط الگوریتم بالا.

مقایسه نتایج بازسازی جسم با مقادیر جسم

واقعی

در شکل ۴ توزیع ناکانونی (الف) و توزیع شدت (ب) بخش بزرگنمایی شده از توزیع شکل ۳ که توسط الگوریتم بالا محاسبه شده اند نشان داده شده است. توزیع شدت و ناکانونی واقعی جسم در نظر گرفته شده را می توان از مقادیر در نظر گرفته شده در شبیه سازی برای جسم بدست آورد. واضح است که هرچه تصاویر متناظر شبیه سازی شده و واقعی مشابه هم باشند نشان دهنده میزبان عملکرد بهینه ی میکروسکوپ انتگرالی با میکروعدسی انتخابی و الگوریتم مورد استفاده است. جهت مقایسه ی دو تصویر، مقدار توزیع متناظر نقاط دو تصویر را از هم کم می کنیم و تصویر اختلاف آنها را بدست می آوریم. مقادیر این تصویر مشابه خطای سطح یک رویه از سطح ایده آل می باشد.