بهبود قدرت تفکیک در تصویربرداری ناهمدوس سه بعدی برمبنای ترکیب روش های تصویربرداری انتگرالی و تمام نگاری ناهمدوس

مریم قانعی زاد، زهرا کاوه وش

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده - در این مقاله، روشی جدید و بهبود یافته برای تصویربرداری سه بعدی بر پایه روشهای موجود در ادبیات ارائه شده است. در این روش، که آن را تصویربرداری ترکیبی می‌نامیم، با تلفیق دو روش تصویربرداری سه بعدی، تصویربرداری انتگرالی و تمام نگاری ناهمدوس، و استفاده از نقاط مثبت هر یک قادر هستیم بر مصالحه قدرت تفکیک عرضی و عمقی فائق آمده و به قدرت تفکیک سه بعدی بسیار بهتر از روش‌های فعلی موجود دست یابیم. نتایج شبیه سازی ها، برتری این روش را از لحاظ قدرت تفکیک سه بعدی بر دو روش دیگر مورد بحث تأیید می کنند.

کلید واژه- تصویربرداری سه بعدی، تصویربرداری انتگرالی، قدرت تفکیک عرضی، قدرت تفکیک عمقی، هولوگرافی ناهمدوس.

Resolution improvement in incoherent 3D imaging system based on a combination of integral-imaging and incoherent-holography

Maryam Ghaneizad, Zahra Kavehvash

Department of Electrical Engineering, Sharif University of Technology

Abstract- In this paper a novel improved method for three-dimensional (3D) imaging is proposed based on the existing 3D imaging methods. In this method, which we call it the merged imaging (MI) technique, by combining two 3D imaging methods i.e., integral imaging and incoherent holography and using the positive features of each we are able to overcome the trade-off between resolution and depth-of-field and reach to an improved 3D resolution. Simulation results confirm the superiority of the proposed method compared to previous 3D imaging techniques.

Keywords: three-dimensional imaging, integral imaging, lateral resolution, depth resolution, incoherent holography.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

در سالهای اخیر، توجه به تصویربرداری سه‌بعدی جهت ثبت اطلاعات کامل اشیا، روندی رو به رشد داشته است. با توجه به محدودیت‌های متعدد روش‌های تصویربرداری سه‌بعدی موجود بر اساس تصویربرداری انتگرالی و نیاز روش تمام‌نگاری به منبع نور همدوس، ارائه‌ی روشی جدید که قادر به ثبت تصاویر با منبع نور ناهمدوس بوده و همچنین بتواند در هر دو راستای عرضی و عمقی قدرت تفکیک مناسبی داشته باشد، می‌تواند بسیار مفید واقع شود. بنابراین در این مقاله، روشی نوین از تلفیق مزایای دو روش تصویربرداری انتگرالی و تمام‌نگاری ناهمدوس ارائه می‌دهیم که قادر است قدرت تفکیک سه بعدی را نسبت به هر یک از این روش‌ها بهبود بخشد.

۲- روش پیشنهادی

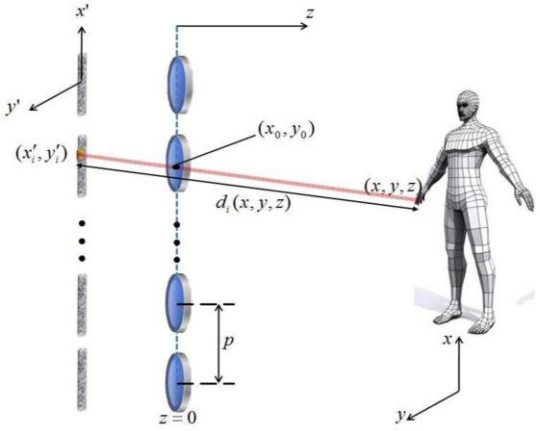
در روش پیشنهادی، که آن را MI[1] می‌نامیم، از تلفیق دو روش تمام نگاری ناهمدوس و تصویربرداری انتگرالی استفاده می شود که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

۲-۱- تصویربرداری انتگرالی(InI)

روش InI[2] شامل دو مرحله ثبت تصاویر المانی و بازسازی محاسباتی است [۴-۲]. در مرحله اول، تصاویر المانی از زوایای مختلف از صحنه ثبت می‌شود. ساختاری که برای این منظور استفاده می‌شود، یک آرایه دوربین یا لنز صفحه‌ای است که در یک بعد در شکل (۱) نشان داده شده است. به منظور بازسازی محاسباتی تصویر سه‌بعدی با استفاده ار مجموعه تصاویر ثبت شده، کافی است معکوس نگاشت مرحله‌ی ثبت را بیابیم؛ یعنی باید مقدار هر پیکسل حجمی (x,y,z) را از جمع اثر پیکسل‌های متناظر همه‌ی تصاویر المانی در آن نقطه بیابیم (شکل (۱)):

$$O_i(x,y,z)=\left\{\left[x-\left(i-\frac{N+1}{2}\right)p\right]^2+y^2+z^2\right\} \qquad (۱)$$
$$(1+f/z)^2.I(x_i',y_i')$$

که در آن، N و p به ترتیب تعداد کل لنزها و فاصله مراکز



شکل (۱) مرحله‌ی ثبت تصویر در InI

پیکسل حجمی تصویر سه‌بعدی در مختصات (x,y,z) بر اساس رابطه زیر از تصویر ثبت شده توسط لنز iام، $I(x_i',y_i')$، بازسازی می شود:

دو لنز متوالی است. در عبارت فوق، اندیس i در O_i تأکید این نکته است که O_i تنها جزیی از مقدار پیکسل حجمی (x,y,z) است که توسط پیکسل (x_i',y_i') در تصویر iام نگاشته شده است. بنابراین برای بدست آوردن مقدار پیکسل حجمی (x,y,z) باید اثر تمام پیکسل‌های متناظر در تصاویر مختلف را با یکدیگر جمع نمود:

$$O(x,y,z)=\sum_i O_i(x,y,z) \qquad (۲)$$

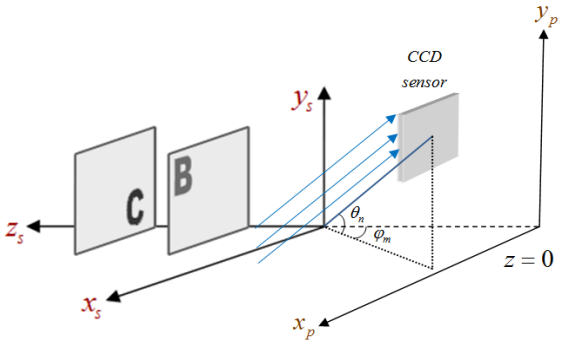
۲-۲- تمام نگاری ناهمدوس (IH)

در تمام نگاری ناهمدوس، IH[3]، ساختار ثبت تصاویر المانی یک ساختار صفحه‌ای است و تولید یک تمام نگاشت فوریه از شئ مورد توجه است [۵]. در روش IH، ابتدا شئ مفروض، تحت زوایای مختلف تصویر می‌شود؛ که این در واقع همان به دست آوردن تصاویر المانی است. لذا شئ ورودی به صورت یک ماتریس سه‌بعدی با مختصات (x_s,y_s,z_s) فرض می‌شود (شکل (۲)). در ادامه تصویر شئ $t(x_s,y_s,z_s)$ را توسط یک آرایه‌ی سنسور دوبعدی ثبت می‌کنیم. اگر (x_p,y_p) مختصات تصویر و تصاویر المانی $P_{mn}(x_p,y_p)$ باشند، با استفاده از رابطه (۳) می‌توان هر یک از تصاویر المانی را به یک مؤلفه فرکانس مکانی تبدیل کرد:

[1] Merged Imaging
[2] Integral Imaging
[3] Integral Holography

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]



شکل (۲) ساختار ثبت تصاویر المانی در روش IH

$$s(m,n)=\iint P_{mn}(x_p,y_p)\exp[-j2\pi b(x_p\sin\phi_m+y_p\sin\theta_n)]dx_p dy_p \quad (۳)$$

بنابراین متناظر با هر تصویر المانی، یک ضریب مختلط حاصل می‌شود که از کنار هم قرار دادن این اعداد در یک ماتریس به الگوی تمام‌نگاشت فوریه‌ی شئ دست می‌یابیم:

$$F(f_m,f_n)=\iint P_{mn}(x_p,y_p)\exp[-j2\pi(f_m x_p+f_n y_p)]dx_p dy_p \quad (۴)$$

که در آن $f_m=b\sin\varphi_m$ و $f_n=b\sin\theta_n$. رابطه (۴) بیان می‌کند که با تبدیل فوریه هر تصویر المانی و انتخاب مقدار تبدیل فوریه در یک زوج فرکانس خاص می‌توان مقادیر پیکسل‌های مختلف تمام‌نگاشت را تولید نمود.

۲-۳- مقایسه قدرت تفکیک سه‌بعدی در روش‌های InI و IH

برای مقایسه عادلانه بین دو روش InI و IH، فرض می‌کنیم آرایه لنز، یکسان و تعداد تصاویر المانی، برابر و همچنین تعداد پیکسل‌های سنسور نیز با تعداد لنزها مساوی باشد. در InI، هر چه از مرکز آرایه لنز به سمت اطراف حرکت کنیم، لنزها قسمت کمتری از شئ را در شعاع‌دید خود دارند. بنابراین به دلیل کاهش یا فقدان اطلاعات شی در لنزهای جانبی، تعداد لنزها به طور مؤثر کمتر از تعداد واقعی آنهاست و این باعث از دست دادن بخشی از اطلاعات زاویه‌ای و درنتیجه کاهش قدرت تفکیک عمقی می‌شود. اما در روش IH، به دلیل استفاده از زیرتصویرها به عنوان تصاویر المانی (P_{mn}) و دید اریب P_{mn}ها به شئ، همه‌ی P_{mn}ها تمام قسمت‌های شئ را در بر دارند و در واقع دارای اطلاعات کاملی از نماهای مختلف شئ هستند. این موضوع روشن می‌کند که قدرت تفکیک عمقی در IH از InI بیشتر است.

از طرف دیگر در InI، دید مستقیم تصاویر المانی به شئ باعث می‌شود فاصله‌ی متوسط شئ تا صفحه‌ی تصویر در مقایسه با IH کمتر بوده و درنتیجه قدرت تفکیک عرضی در InI بیشتر از IH است. در روش InI که از تصاویر المانی به طور مستقیم در روند بازسازی استفاده می‌شود، اطلاعات عرضی سهم بیشتری از اطلاعات عمقی داشته و تعداد پیکسل‌های تصویر بازسازی‌شده چندین برابر تعداد پیکسل‌های هر تصویر المانی است.

بنابراین، در یک ساختار تصویربرداری مشابه، روش InI قدرت تفکیک عرضی بهتر و روش IH قدرت تفکیک عمقی بهتر برای تصویر خروجی به دست می‌دهد.

۲-۴- روش تلفیقی MI

در این بخش، الگوریتم تولید تصویر سه‌بعدی توسط روش MI ارائه می‌شود. فرض کنیم شئ سه‌بعدی در مختصات (x_s,y_s,z_s) باشد. اولین مرحله MI، بازسازی تصویر سه‌بعدی به دو روش IH و InI است. مرحله‌ی دوم، استخراج تصویر سه‌بعدی با قدرت تفکیک مطلوب در هر سه بعد است. برای این منظور، از اطلاعات تصاویر بازسازی‌شده IH و InI برای تولید تصویر سه‌بعدی بهینه در هر عمق z_{s_i} استفاده می‌کنیم. با توجه به مقایسه‌ای که در بخش ۲-۳ بین IH و InI انجام شد، روش IH دارای قدرت تفکیک عمقی بهتری است. بنابراین، از تصاویر بازسازی‌شده O_i^{IH} برای مشخص نمودن تصویر شئ موجود در هر عمق بهره می‌گیریم. سپس تصویر این شئ را که با قدرت تفکیک عرضی نامناسبی نمایش داده شده است، با تصویر شئ متناظر در تصویر بازسازی‌شده InI که دارای قدرت تفکیک عرضی بهتری است، جایگزین می‌کنیم. تصاویر حاصل را که همان تصاویر بهینه تولیدشده توسط الگوریتم MI است، O_i^{MI} می‌نامیم. قدم بعدی، تغییر اندازه‌ی تصویر O_1^{InI} به‌منظور برابر نمودن تعداد پیکسل‌های آن با تصویر O_1^{IH} است. تعداد نقاط تمام‌نگاشت همان تعداد نقاط تصاویر بازسازی‌شده O_i^{IH} و برابر با تعداد تصاویر المانی یعنی $m\times n$ است:

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

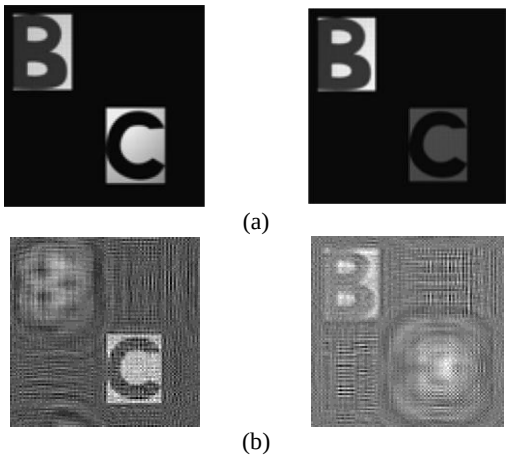
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

$$O_1^{\prime InI} = \mathrm{S}(O_1^{InI}, [m,n]) \qquad (۵)$$

که در آن تابع S عملگر تغییر اندازه تصویر است. بـه ایـن ترتیب تعداد پیکسل‌هـای تصـویر حاصـل، $O_1^{\prime InI}$، و تصـویر خروجی IH، O_1^{IH}، برابر خواهند شد. در قدم آخر، محتوای تصـــــــــــــویر $O_1^{\prime InI}$ را در نقـــــــــــــاط $\{(x,y)|x_1 \le x \le x_2, y_1 \le y \le y_2\}$ کپـی نمـوده و در همین نقاط از تصویر O_1^{IH} جایگزین می‌نماییم تـا تصـویر نهایی، O_1^{MI}، حاصل شود. به ایـن ترتیـب تصـویر حاصـل، O_1^{MI}، دارای اطلاعات سه‌بعدی با قدرت تفکیک مناسب در هر دو راستای عمقی و عرضی است. روش پیشـنهادی MI در بخش بعد با داده‌های شبیه‌سازی بررسی شده است.

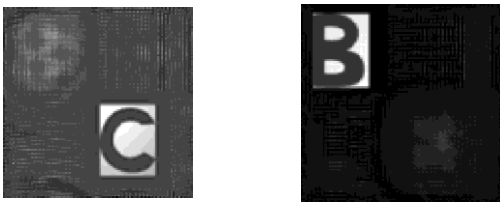
۳- شبیه سازی

شئ سه‌بعدی را به‌صورت شکل (۲) در نظر می‌گیـریم کـه شامل دو حرف لاتـین B و C اسـت کـه بـه‌ترتیـب در دو عمق $z_{s_1} = 10cm$ و $z_{s_2} = 20cm$ قـرار گرفتـه‌انـد. بـرای تحقق روش MI، ابتدا شبیه‌سازی را با روش‌های InI و IH انجـــام داده و تصـــاویر O_i^{InI} و O_i^{IH} را در عمـــق‌هـــای $z_{s_i}; i = 1,2$ به دست می‌آوریم. همان‌طـور کـه از تصـاویر حاصـل از روش InI (شـکل (۳a)) مشـخص اسـت قـدرت تفکیک عرضی، مطلوب است، امـا قـدرت تفکیـک عمقـی اصلاً مناسب نیست و در بازسازی تصویر هر عمـق، حـرف مربوط به عمق دیگر با وضوح زیـادی قابـل رؤیـت اسـت. نتایج بازسازی روش IH در شـکل (۳b) نشـان داده شـده است. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، در IH



(a)

(b)



(c)

شکل (۳) مقایسه بازسازی تصویر سه‌بعدی در سه روش: (a) InI, (b) IH (c) MI. ستون سمت راست تصویر بازسازی شده در عمق z_{s_1} و ستون سمت چپ تصویر عمق z_{s_2} را نشان می‌دهد.

تفکیک عمقی به‌خوبی صورت گرفته و در عمق مربوط بـه هر یک از حروف، اثر تصویر حرف دیگر تـا حـدود زیـادی حذف شده است. هرچند همان‌گونه که از تصاویر مشخص است، قـدرت تفکیـک عرضـی تصـاویر بازسـازی‌شـده IH چندان مناسب نیست. حال بـا رونـد بخـش ۲-۴، تصـاویر بهینه الگوریتم MI را در دو عمق z_{s_1} و z_{s_2}، تولیـد مـی-نماییم. تصاویر خروجی حاصل از الگـوریتم MI (O_i^{MI}) در شکل (۳c) نشان داده شده است. با مقایسه این تصاویر بـا تصاویر خروجی دو روش قبلی، ملاحظه مـی‌شـود تصـاویر خروجی MI برخلاف InI و IH هـم‌زمـان قـدرت تفکیـک عرضی و عمقی مناسبی دارند.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله با تلفیق مزایای روش‌های مطـرح ارائـه شـده برای تصـویربرداری سـه‌بعـدی، تصـویربرداری انتگرالـی و تمام‌نگاری ناهمدوس، روشـی جدیـد بـرای تصـویربرداری سه‌بعدی با استفاده از نور محیط و قدرت تفکیک سه‌بعدی بسیار بهتر از روش‌های قبلـی مطـرح شـد. نتـایج شـبیه-سازی‌های روش پیشنهادی MI، این ادعا را تأیید می‌کند.

مراجع

[1] G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," *J. Phys. Theor. Appl.*, Vol. 7, No. 1, 1908.

[2] V.J. Traver, P. Latorre-Carmona, et al. "Human gesture recognition using three-dimensional integral imaging," *JOSA A*, Vol. 31, No. 10, 2014.

[3] M. Ghaneizad, Z. Kavehvash, et al. "Human detection in occluded scenes through optically inspired multi-camera image fusion," *JOSA A*, Vol. 34, No. 6, 2017.

[4] M. Ghaneizad, Z. Kavehvash, et al. "A fast bottom-up approach toward three-dimensional human pose estimation using an array of cameras," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 95, 2017.

[5] Y. Takaki, K. Ikeda, "A Simplified calculation method for computer-generated holographic stereograms from multiview images," *Optics express*, Vol. 21, No. 8, 2013.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]