

## 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 می نامیم، 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 روش های 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.

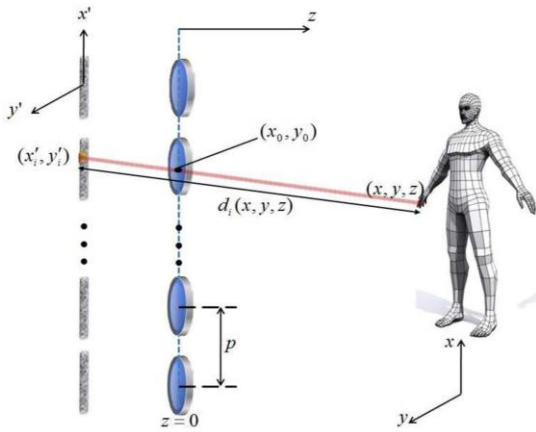
### Resolution improvement in incoherent 3D imaging system based on a combination of integral-imaging and incoherent-holography

Maryam Ghaneizad, Zahra Kavehvasht

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.



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  $i$ ام،  $I(x'_i, y'_i)$ ، بازسازی می‌شود:

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  $i$ ام 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:

$$O(x, y, z) = \sum_i O_i(x, y, z) \quad (2)$$

## ۲-۲- تمام‌نگاری ناهمدوس (IH)

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

## 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 سه‌بعدی را نسبت به هر یک از این روش‌ها بهبود بخشد.

## ۲- روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی، که آن را MI<sup>1</sup> می‌نامیم، از تلفیق دو روش تمام‌نگاری ناهمدوس و تصویربرداری انتگرالی استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

## ۱-۲- تصویربرداری انتگرالی (InI)

روش InI<sup>2</sup> 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 از 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)):

$$O_i(x, y, z) = \left\{ \left[ x - \left( i - \frac{N+1}{2} \right) p \right]^2 + y^2 + z^2 \right\} (1+f/z)^2 \cdot I(x'_i, y'_i) \quad (1)$$

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

<sup>1</sup> Merged Imaging  
<sup>2</sup> Integral Imaging

<sup>3</sup> Integral Holography

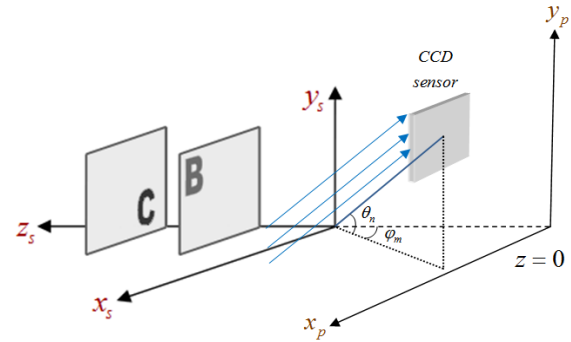
بر دارند و در واقع دارای اطلاعات کاملی از نماهای مختلف شی هستند. این موضوع روشن می‌کند که قدرت تفکیک عمقی در IH از InI بیشتر است.

از طرف دیگر در InI، دید مستقیم تصاویر المانی به شی باعث می‌شود فاصله‌ی متوسط شی تا صفحه‌ی تصویر در مقایسه با IH کمتر بوده و در نتیجه 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 بازسازی شده 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 شی سه‌بعدی در مختصات  $(x_s, y_s, z_s)$  باشد. اولین مرحله MI، بازسازی تصویر سه‌بعدی به دو روش IH و InI است. مرحله دوم، استخراج تصویر سه‌بعدی با قدرت تفکیک مطلوب در هر سه بعد است. برای این منظور، از اطلاعات تصاویر بازسازی شده IH و InI برای تولید تصویر سه‌بعدی بهینه در هر عمق  $z_s$  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 بازسازی شده  $O_i^{IH}$  برای مشخص نمودن تصویر شی موجود در هر عمق بهره می‌گیریم. سپس تصویر این شی را که با قدرت تفکیک عرضی نامناسبی نمایش داده شده است، با تصویر شی متناظر در تصویر بازسازی شده InI که دارای قدرت تفکیک عرضی بهتری است، جایگزین می‌کنیم. تصاویر حاصل را که همان تصاویر بهینه تولید شده توسط الگوریتم MI است،  $O_i^{MI}$  می‌نامیم. قدم بعدی، تغییر اندازه‌ی تصویر  $O_i^{MI}$  به منظور برابر نمودن تعداد پیکسل‌های آن با تصویر  $O_i^{IH}$  است. تعداد نقاط تمام‌نگاشت همان تعداد نقاط تصاویر بازسازی شده  $O_i^{IH}$  و برابر با تعداد تصاویر المانی یعنی  $m \times n$  است:



شکل (۲) ساختار ثبت تصاویر المانی در روش IH

$$s(m, n) = \iint P_{mn}(x_p, y_p) \exp[-j2\pi b(x_p \sin \phi_m + y_p \sin \theta_n)] dx_p dy_p \quad (3)$$

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 شی دست می‌یابیم:

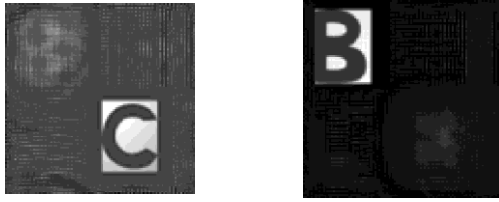
$$F(f_m, f_n) = \iint P_{mn}(x_p, y_p) \exp[-j2\pi(f_m x_p + f_n y_p)] dx_p dy_p \quad (4)$$

که در آن  $f_n = b \sin \theta_n$  و  $f_m = b \sin \phi_m$ . 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 شی را در شعاع دید 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 در نتیجه 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 شی، همه‌ی  $P_{mn}$ ها تمام قسمت‌های شی را در



(c)

شکل (۳) مقایسه بازسازی تصویر سه‌بعدی در سه روش: (a) InI، (b) IH و (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 به هر یک از حروف، اثر تصویر حرف دیگر تا حدود زیادی حذف شده است. هر چند همان‌گونه که از تصاویر مشخص است، قدرت تفکیک عرضی تصاویر بازسازی‌شده IH چندان مناسب نیست. حال با روند بخش ۲-۴، تصاویر بهینه الگوریتم MI را در دو عمق  $z_{s_1}$  و  $z_{s_2}$  تولید می‌نماییم. تصاویر خروجی حاصل از الگوریتم MI ( $O_i^{MI}$ ) در شکل (۳c) نشان داده شده است. با مقایسه این تصاویر با تصاویر خروجی دو روش قبلی، ملاحظه می‌شود تصاویر خروجی MI برخلاف IH و InI هم‌زمان قدرت تفکیک عرضی و عمقی مناسبی دارند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله با تلفیق مزایای روش‌های مطرح ارائه شده برای تصویربرداری سه‌بعدی، تصویربرداری انتگرالی و تمام‌نگاری ناهمدوس، روشی جدید برای تصویربرداری سه‌بعدی با استفاده از نور محیط و قدرت تفکیک سه‌بعدی بسیار بهتر از روش‌های قبلی مطرح شد. نتایج شبیه‌سازی‌های 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. Kavehvasht, 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. Kavehvasht, 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.

$$O_i^{hl} = S(O_i^{hl}, [m, n]) \quad (5)$$

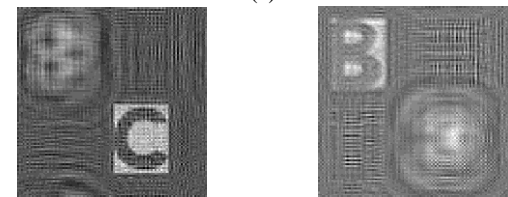
که در آن تابع  $S$  عملگر تغییر اندازه تصویر است. به این ترتیب تعداد پیکسل‌های تصویر حاصل،  $O_i^{hl}$ ، و تصویر خروجی IH،  $O_i^{IH}$ ، برابر خواهند شد. در قدم آخر، محتوای تصویر  $O_i^{hl}$  را در نقاط  $\{(x, y) | x_1 \leq x \leq x_2, y_1 \leq y \leq y_2\}$  کپی نموده و در همین نقاط از تصویر  $O_i^{IH}$  جایگزین می‌نماییم تا تصویر نهایی،  $O_i^{MI}$ ، حاصل شود. به این ترتیب تصویر حاصل،  $O_i^{MI}$ ، دارای اطلاعات سه‌بعدی با قدرت تفکیک مناسب در هر دو راستای عمقی و عرضی است. روش پیشنهادی MI در بخش بعد با داده‌های شبیه‌سازی بررسی شده است.

#### ۳- شبیه‌سازی

شیء سه‌بعدی را به‌صورت شکل (۲) در نظر می‌گیریم که شامل دو حرف لاتین B و C است که به‌ترتیب در دو عمق  $z_{s_1} = 10\text{ cm}$  و  $z_{s_2} = 20\text{ cm}$  قرار گرفته‌اند. برای تحقق روش MI، ابتدا شبیه‌سازی را با روش‌های InI و IH انجام داده و تصاویر  $O_i^{hl}$  و  $O_i^{IH}$  را در عمق‌های  $z_{s_i}; i=1, 2$  به دست می‌آوریم. همان‌طور که از تصاویر حاصل از روش InI (شکل (۳a)) مشخص است قدرت تفکیک عرضی، مطلوب است، اما قدرت تفکیک عمقی اصلاً مناسب نیست و در بازسازی تصویر هر عمق، حرف مربوط به عمق دیگر با وضوح زیادی قابل رؤیت است. نتایج بازسازی روش IH در شکل (۳b) نشان داده شده است. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، در IH



(a)



(b)