مدلسازی سه‌بعدی شهرها با استفاده از تصاویر استریو پانوراما

امیرشاهرخ امینی[۱]، مسعود ورشوساز[۲]

۱. دانشجوی دکترای فتوگرامتری، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
Email:amirshahrokh_amini@yahoo.com

۲. عضو هیات علمی دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
Email: varshosazm@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، چگونگی روند مدلسازی سه‌بعدی شهری و روشها و سیستم‌های طراحی و بکار گرفته شده در این زمینه معرفی می‌گردد. این مدل‌ها در بسیاری از کاربردهای شهری مانند تصمیم‌گیری، تهیه نقشه‌های شهری، طراحی، ترافیک و ... می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این راستا، یک سیستم تهیه و مدلسازی سه‌بعدی بصورت کم‌هزینه و با قابلیت کاربردی از مناطق شهری در دست بررسی و تهیه است که در آینده ارائه خواهد شد.

کلمات کلیدی: استریو پانوراما، پانوراما، فتوگرامتری بردکوتاه، مدلسازی سه‌بعدی، مدل شهری

۱- مقدمه

درخواست برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری بزرگ مقیاس با هزینه پایین، بسیار مورد توجه می‌باشد. این مدل‌ها در بسیاری از کاربردهای شهری مانند تهیه نقشه، تصمیم‌گیری، طراحی، ترافیک و ... می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. بطور کلی، مراحل تهیه این مدل‌های سه‌بعدی شامل اخذ تصاویر، تناظریابی بین تصاویر، تعیین موقعیت ایستگاه‌های تصویربرداری، تهیه مدل استریوی محیط، ترکیب تمام مدل‌ها و تشکیل یک مدل سه‌بعدی یکپارچه و در نهایت استخراج اطلاعات هندسی و غیرهندسی از مدل سه‌بعدی می‌باشد. پانوراما در لغت به معنی دیدی از صحنه‌ها یا تصاویر در حال تعویض است. هدف دوربین‌ها و نرم‌افزارهای پانوراماساز نیز ایجاد چنین دیدی است. نمونه‌ای از تصاویر پانورامای تهیه شده در شکل (۱) دیده می‌شود[۱].

شکل ۱. نمونه‌ای از تصاویر پانوراما

جهت ایجاد یک مدل با دید سه‌بعدی نیاز به سه موضوع می‌باشد[۹]:

۱. دید سه‌بعدی، بطوری که چشم ها بتوانند عمق محیط را حس نمایند.
۲. دید کامل و بصورت ۳۶۰ درجه از محیط
۳. حرکت دلخواه در محیط

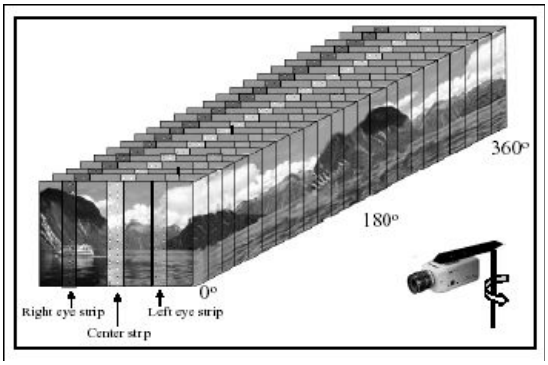
یکی از سیستم‌های مناسب مدلسازی سه‌بعدی محیط و مناطق شهری، استفاده از تصاویر پانوراما با قابلیت دید استریو است. استفاده از تصاویر استریو پانوراما، یک دید جدید را از محیط به کاربر خواهد داد که دارای قابلیت‌های (۱) و (۲) می‌باشد. جهت اخذ تصاویر استریو پانوراما، می‌توان از دو دوربین مشابه که بصورت موازی و هم ارتفاع بر روی یک بار نصب شده و حول یک محور مشترک می‌چرخند، استفاده نمود[۵]. در شکل (۲)، نمایی از این سیستم دیده می‌شود.

شکل ۲. سخت افزار سیستم MPMS

از مهمترین مشکلات در ایجاد تصاویر استریو پانوراما، تغییر شکل یافتگی مدل تشکیل شده بدلایل گوناگون مانند عدم تناظریابی صحیح، تهیه پانوراهای استریو بصورت آنی از کل محیط، تاثیر عوارض متحرک مانند وسایل نقلیه و افراد پیاده، تنوع زیاد عوارض و نقاط پنهان می‌باشند که تمام این موارد می‌بایست در تشکیل استریو پانوراما در نظر گرفته شوند[۸].

از مشکلات اصلی دیگر در زمینه تهیه مدلهای استریو، تنظیم و کالیبره نبودن هندسی و مکانی دو دوربین مورد استفاده است. مثلا دو دوربین باید در یک ارتفاع و بصورت موازی نسبت به یکدیگر قرار داشته باشند. بطور کلی پنج روش جهت تهیه استریو پانوراهای مناسب استفاده نمود که هرکدام دارای مزیت‌ها و معایب خود می‌باشند. این پنج روش عبارتند از[۲]:

۱- بصورت ساده می‌توان از یک دوربین جهت تهیه استریو پانوراما استفاده نمود. بدین ترتیب که تصاویر با پوشش زیاد اخذ شده و سپس از قسمت سمت چپ تصاویر جهت تهیه پانوراهای چپ و از سمت راست تصاویر جهت تهیه پانورانای راست استفاده می‌شود. این موضوع در شکل (۳) نشان داده شده است. در این روش، مشکل تفاوت دو دوربین و کالیبره نبودن آنها نسبت به یکدیگر مرتفع می‌گردد.



شکل ۳. استفاده از یک دوربین جهت تهیه استریو پانوراما

۲- استفاده از دو دوربین بصورت اسکنر خطی که بصورت عمودی روی یکدیگر قرار گرفته اند و در واقع بین تصاوی پارالاکس y عامل برجسته‌بینی است.

۳- استفاده از دو دوربین با لنز fisheye

۴- استفاده از دوربین‌هایی که بر روی آنها یک آینه با زاویه باز نصب شده است، مانند آینه‌های شلجمی، هذلولی و ...

۵- استفاده از یک دوربین با چندین آینه. مثلا استفاده از دو آینه که معادل دو دوربین می‌باشد.

در شکل (۴) نمونه‌هایی از موارد ۳، ۴ مشاهده می‌گردد.

شکل ۴. تهیه تصاویر پانوراما با استفاده از لنزها و آینه‌هایی با زاویه باز

مزیت سه روش آخر این است که می‌توان در یک لحظه، فضای زیادی از صحنه را تصویربرداری نمود و مشکل تصویربرداری در حال حرکت و یا اجسام متحرک برطرف می‌شود. علاوه بر این، در روش پنجم، عملا با استفاده از یک دوربین می‌توان دو تصویر پانوراما تهیه نمود[۲].

از مسائل مهم در زمینه استفاده از این روش‌ها، چگونگی حل مدل هندسی سیستم این دوربین‌ها و برطرف نمودن اعوجاجات ناشی از لنزها و آینه‌هایی با زاویه باز می‌باشد.

۲- مدلسازی سه‌بعدی شهرها

مدلسازی سه‌بعدی محیط با استفاده از تصاویر در بسیاری از زمینه‌ها از جمله ساخت محیط مجازی، تهیه نقشه مناطق شهری، توریسم و غیره کاربرد بسیاری دارد[۲]. اکثر روش‌های تهیه مدلسازی سه‌بعدی از محیط بر مبنای لیزر اسکن‌ها می‌باشند که ابزارهایی گران قیمت هستند. مدلسازی سه‌بعدی بوسیله تصاویر پوشش‌دار می‌تواند

بعنوان یک روش مقرون به صرفه و آسان در تهیه مدل سه‌بعدی مناطق شهری مورد استفاده قرار گیرد[۳]. محیط های شهری در تصاویر اغلب دارای کمبود بافت، ساختارهای تکراری، مناطق پنهان بی‌شمار، تغییرات شدید نوری و سایه‌ها می‌باشند. این خصوصیات، تهیه مدل سه‌بعدی را مخصوصا جهت یافتن نقاط متناظر مناسب با مشکل مواجه می‌سازند[۸].

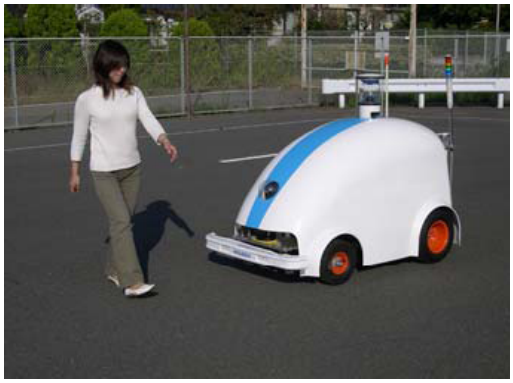
بطور کلی، تهیه یک مدل سه‌بعدی از مناطق شهری شامل مراحل زیر می‌گردد[۷]:

۱- اخذ تصاویر و تهیه مدل پانوراما
۲- تهیه مدل استریو از تصاویر
۳- تعیین موقعیت ایستگاههای تصویربرداری
۴- تهیه مدل عمق و هندسی محیط
۵- اضافه نمودن اطلاعات بافت به مدل هندسی

اگر هدف تهیه مدل سه‌بعدی بصورت آنی و تهیه یک سیستم در حال حرکت باشد (mobile mapping)، می-بایست تصاویر کل محیط ۳۶۰ درجه در هر ایستگاه تصویربرداری هم‌زمان اخذ گردند. پس از تهیه مدل سه‌بعدی هر منطقه، اتصال و یکپارچگی این مدل‌ها و تشکیل یک مدل دقیق از مسائل مهم و قابل بررسی است.

۳- سیستم‌های اخذ و تولید مدلهای سه‌بعدی شهری بر اساس پانوراما

یکی از سیستم‌های تهیه شده در این زمینه در شکل (۵) مشاهده می‌شود.



شکل ۵. سیستم متحرک تهیه مدل سه‌بعدی

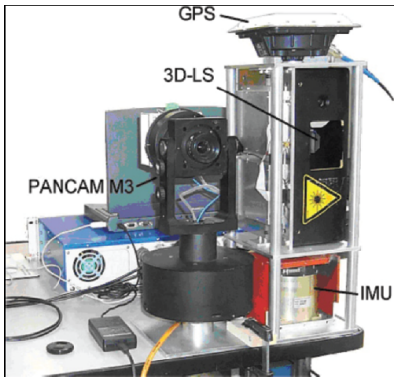
در این سیستم، جهت اخذ تصاویر کامل از دو دوربین Omni-Directional استفاده شده است. جهت تناظریابی در تصویر و تشکیل پانوراما‌ی سه‌بعدی، از روش‌های متداول تناظریابی استفاده می‌شود. در این سیستم از GPS جهت تعیین موقعیت ایستگاههای تصویربرداری استفاده شده است که از نوع RTK (Real Time Kinematic) بوده و قادر به تعیین موقعیت لحظه‌ای می‌باشد. جهت تهیه نقشه عمق و تعیین معادله صفحه اپی پلار بین دو تصویر از اطلاعات موقعیتی و وضعیت GPS/DR استفاده می‌شود. در این سیستم، تعیین موقعیت مکانی با دقت ۲ تا ۳ سانتیمتر و وضعیت با دقت ۱/. درجه تعیین می‌شود[۷].

از دیگر روش‌های تهیه یک مدل سه‌بعدی از محیط، استفاده از دوربینی با برداشت بصورت اسکن خطی (line camera) می‌باشد. در این روش از یک خط اسکن استفاده می‌شود که می‌تواند حول یک محور چرخش نموده و یک

تصویر پانوراما تهیه نماید. از یک فاصله‌یاب لیزری بصورت تکنیک on the fly نیز می‌توان جهت تعیین فاصله نقاط محیط تا ایستگاه تصویربرداری استفاده نمود. با استفاده از سیستم تعیین موقعیت GPS، موقعیت ایستگاه تصویربرداری و با استفاده از سیستم ناوبری IMU جهت دید مشخص می‌شود. در نتیجه، موقعیت هر نقطه از صحنه نسبت به ایستگاه تصویربردای تعیین شده و در نهایت تمام نقاط در یک سیستم رفرانس تعیین موقعیت می‌شوند. به بیان دیگر می‌توان گفت سیستم فاصله یاب لیزری ابر سه‌بعدی نقاط را تهیه می‌نماید که این نقاط مثلث‌بندی شده و سپس بافت متناظر از تصاویر پانوراما‌ی اخذ شده توسط دوربین به نقاط اضافه می‌گردند[۴].

از مسائل مطرح در بکارگیری این سیستم می‌توان به چگونگی کالیبره نمودن دوربین اسکنر خطی، لیزر فاصله یاب، و کالیبراسیون سیستم دوربین و سیستم لیزر نسبت به یکدیگر نام برد. همچنین می‌بایست تفاوت زاویه دید اسکن دوربین و لیزر فاصله‌یاب نیز تعیین و کالیبره گردد.

در شکل (۶)، یکی از سیستم‌های ترکیبی دوربین و لیزر به نام سیستم PLP-CAM شامل دوربین، لیزر طولیاب، GPS و IMU دیده می‌شود[۱۰].



شکل ۶. سیستم PLP-CAM

مهمترین مزیت سنسورهای خطی، تولید یک تصویر با قدرت تفکیک و کیفیت بالا بدون نیاز به اتصال تصاویر متوالی است. در استفاده ترکیبی از دوربین تصویربرداری و لیزر خطی، موقعیت و دوران دو سیستم نسبت به یکدیگر می‌بایست دقیقا کالیبره گردد تا ارتباط درستی بین داده‌های هندسی و بافت ایجاد شود[۱۰].

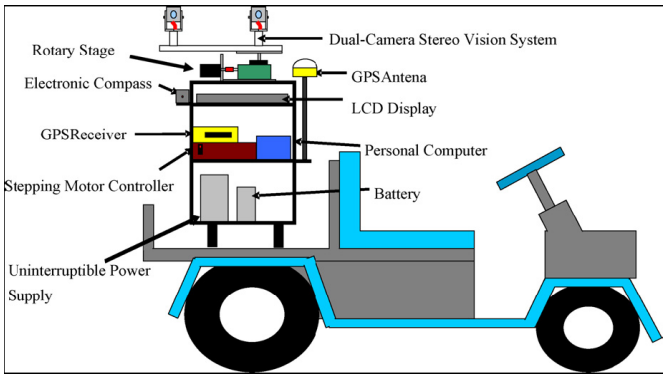
یکی از زمینه‌های جدیدی که می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد، چگونگی تهیه تصاویر پانوراما با استفاده از تصاویر ویدئویی است. در واقع تصاویر ویدئویی تعداد زیادی تصویر متوالی می‌باشند. Sato et al. روشی را به کار گرفت که در آن با استفاده از تصاویر ویدئویی اخذ شده با دوربینی با لنز باز، مدلسازی سه‌بعدی محیط را انجام داد. او در این روش از تعدادی علائم و نقاط طبیعی با مختصات از پیش تعیین شده جهت تعیین پارامترهای توجیه خارجی استفاده نمود[۳]. با این حال، تعیین موقعیت دقیق این علائم و تعدد نیاز به آنها، یکی از مشکلات مهم در مناطق وسیع و پیچیده است.

در روشی دیگر از تولید مدل سه‌بعدی محیط با استفاده از تصاویر ویدئویی، به این صورت انجام می‌شود که ابتدا پارامترهای هر تصویر تعیین می‌شود. سپس، مدل عمق از تصاویر متوالی استخراج شده و در نهایت مدل سه‌بعدی نهایی از مدل عمق تصاویر تهیه می‌گردد. برای تعیین موقعیت هر ایستگاه و پارامترهای هر تصویر به این صورت عمل می‌شود که با توجه به شش علامت مشخص (marker) یا بیشتر، پارامترهای توجیه خارجی تصویر اول بدست

می‌آیند. سپس با تناظریابی و انتقال علائم در تصاویر دیگر، پارامترهای توجیه خارجی تصاویر دیگر تعیین می‌شوند. از مسائل مهم در این روش، تصحیح میزان رنگ و کنتراست پیکسل‌های متناظر در تصاویر متوالی است[۱۱].

یکی از کاربردهای تولید مدل سه‌بعدی از مناطق شهری، غنی سازی نقشه‌های دوبعدی می‌باشد. در سیستمی که به این منظور طراحی شده است، از محیط تصاویری بصورت استریو پانوراما تهیه می‌شود. سپس موقعیت مختصاتی ایستگاههای تصویربرداری بر روی یک نقشه رقومی مشخص می‌گردد. از تصاویر استریوی اخذ شده، نقشه عمق تهیه شده و سپس تصاویر به مدل سه‌بعدی منصوب می‌شوند. برای این منظور نرم‌افزاری تهیه شده است که کار پردازش تصاویر، انتقال مختصات، تشکیل سطح سه‌بعدی، یکپارچه سازی داده‌ها و اتصال مدل سه‌بعدی به نقشه رقومی را انجام می‌دهد. در نهایت، کاربر با انتخاب هر منطقه بر روی نقشه می‌تواند در فضای سه‌بعدی آن ناحیه حرکت نماید[۶].

در واقع می‌توان گفت که این سیستم تلفیقی از اطلاعات GIS و مدل سه‌بعدی پانورامیک است که لایه‌های اطلاعاتی مناطق شهری در آن قرار داده شده است. در شکل (۷)، سیستم بکار گرفته شده نشان داده شده که شامل GPS، قطب‌نمای دیجیتالی، دو دوربین استریو، کامپیوتر و باتری است[۶].



شکل ۷. نمایش شماتیک سیستم بکار گرفته شده جهت اخذ مدل سه‌بعدی

از کارهای مناسب جهت توسعه این سیستم این است که با توجه به کاربرد مورد نظر، عوارض خاصی استخراج، تعیین موقعیت و طبقه‌بندی شده و بعنوان یک لایه در سیستم GIS ذخیره گردند.

۴- نتیجه‌گیری

نیاز به تهیه و تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری بزرگ مقیاس با هزینه پایین، بطور روزافزون در حال افزایش است. این مدل‌ها در بسیاری از کاربردهای شهری مانند تهیه نقشه، تصمیم‌گیری، طراحی، ترافیک و ... می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به روش‌ها و سیستم‌های گوناگونی که جهت اخذ و تولید مدلهای سه‌بعدی از مناطق شهری ارائه شده است، می‌توان به موارد زیر بعنوان مهمترین مسائل مورد توجه، بررسی و تحقیق در زمینه تولید این مدلها اشاره نمود:

- کاهش حجم ذخیره‌سازی، بازیابی و نمایش داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی
- چگونگی همگونی میزان کنتراست و رنگی در تصاویر
- نحوه کالیبراسیون دوربین

- کالیبراسیون تمام سیستم سخت‌افزاری
- چگونگی تناظریابی و تشکیل مدل سه‌بعدی
- چگونگی استخراج اطلاعات هندسی از تصاویر
- بحث اتوماسیون مدلسازی
- بحث هم‌زمانی اخذ تصاویر
- رفع مشکل اجسام متحرک در تصویربرداری
- طراحی شبکه ایستگاههای تصویربرداری
- پخش همگن دقت در تمام جهات تصاویر استریو پانوراما
- چگونگی تطابق بافت و مدل هندسی
- چگونگی تعیین موقعیت ایستگاههای تصویربرداری
- چگونگی اتصال مدلها و تشکیل یک مدل یکپارچه از تمام محیط

مراجع

[۱] ورشوساز م.، امینی ا.ش.، ۱۳۸۵، "*مدلسازی واقعی ساختمانها در مناطق شهری با استفاده از تصاویر پانوراما*"، طرح پژوهشی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک، ایران، تهران.

[۲] Gledhill D., Yun Tian G., Taylor D., 2000, "*3D Reconstruction of a Region of Interest Using Structured Light and Stereo Panoramic Images*", Proceedings of the Eighth International Conference on Information Visualization (IV'04), 1093-9547/04 $ 20.00 IEEE.

[۳] Ho Jang K., Ki Jung S., 2006, " *3D City Model Generation from Ground Images*", CGI 2006, LNCS 4035, pp. 630–638, 2006, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[۴] Klette R., Scheibe K., 2005, "*Combinations of Range Data and Panoramic Images – New Opportunities in 3D Scene Modeling* –", Proceedings of the Computer Graphics, Imaging and Vision: New Trends (CGIV'05), 0-7695-2392-7/05 $20.00 © 2005 IEEE.

[۵] Li R., Yan L., Di K., Wu B., 2008, "*A New Ground-Based Stereo Panoramic Scanning System*", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences و Vol. XXXVII. Part B5 و Beijing.

[۶] Lin T., Hsiung Y., Hong G., Chang H., Lu F., 2008, "*Development of a Virtual Reality GIS Using Stereo Vision*", Computers and Electronics in Agriculture 63, 38–48, Journal of Elsevier.

[۷] Meguro J., Takiguchi J., Amano Y., Hashizume T., 2006, "*3D Reconstruction by a Mobile Robot using Multi-Baseline Omni-Directional Motion Stereo based on GPS/DR Compound Navigation System*", Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany.

[۸] Micusik B., Kosecka J., 2009, "*Piecewise Planar City 3D Modeling from Street View Panoramic Sequences*", George Mason University, Computer Science Department, Fairfax, USA. 978-1-4244-3991-1/09/$25.00 ©2009 IEEE.

[۹] Peleg S., Ben-Ezra M., Pritch Y., "*Panoramic Imaging with Horizontal Stereo*", School of Computer Science and Engineering, The Hebrew University of Jerusalem, Israel, E-Mail: peleg@cs.huji.ac.il.

[١٠] Reulke R., Wehr A., Griesbach D., 2006, "*Mobile Panoramic Mapping Using CCD-Line Camera and Lase Scanner with Integrated Position and Orientation System*", Imaging Beyond the Pinhole Camera, 165–183., © 2006 Springer.
[١١] Sato T., Kanbara M., Yokoya N., 2003, "*Outdoor Scene Reconstruction from Multiple Image Sequences Captured by a Hand-held Video Camera*", IEEE Conference on Multisensor Fusion and lntegration for Intelligent Systems.