مقاله مروری

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره هفت، مهرماه ۱۴۰۰(۲۰۶-۱۹۱)

مروری بر روش های آشکارسازی دوبعدی و سه بعدی تغییرات ساختمان مبتنی بر داده‌های سنجش از دور

سیده شراره حسینی[۱]

فاطمه طبیب محمودی[۲*]

fmahmoudi@sru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: در مواجهه با ساختمان‌ها و ابنیه شهری، توسعه پایدار شهر و لزوم به هنگام نگه داشتن مدل‌های سه‌بعدی آن نیاز به پایش مداوم تغییرات رخ داده در سطح زمین دارد. بنابراین، آشکارسازی تغییرات کاربری و یا پوشش زمین با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندزمانه برای درک روابط پویا بین پدیده‌های انسانی و طبیعی به منظور تصمیم‌گیری صحیح و به تبع آن تسهیل مدیریت شهری و بحران و استفاده بهینه از منابع، بسیار حائز اهمیت است. هدف از انجام این مطالعه مروری، پاسخ به این سوال است که آیا پیشرفت‌های صورت گرفته در روش‌های آشکارسازی تغییرات ساختمان‌ها و تبدیل آنها از روش‌های دوبعدی به روش‌های سه بعدی توانسته چالش‌های مطرح در این زمینه را پاسخ دهد و زمینه‌های تحقیقاتی آتی برای بهبود نتایج روش‌های سه بعدی آشکارسازی تغییرات چیست؟

روش بررسی: در این مقاله، مروری کلی بر دسته بندی انواع روش‌های مطرح در آشکارسازی تغییرات عوارض شهری با تاکید بر عارضه ساختمان انجام شده است. پیشرفت‌های موجود در تسهیل دستیابی به داده‌های سه بعدی موجب شده روش‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات با دو مفهوم مقایسه هندسی و آنالیز هندسی-طیفی مورد توجه تحقیقاتی قرار گیرند.

یافته ها: با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه آشکارسازی دوبعدی تغییرات با استفاده از روش‌های مختلف، دقت نتایج وابسته به پاره‌ای از عوامل نظیر قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریکی داده‌های سنجش از دور ورودی، رفتار پدیده‌ها در منطقه مورد مطالعه و چرخه تغییرات طبیعی در آن‌ها، تکنیک‌های به کار رفته در شناسایی تغییرات، تجربه و مهارت عامل خبره و ... می‌باشد. امروزه به داده‌های سه‌بعدی دسترسی آسان‌تری داریم. آشکارسازی سه بعدی تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور افزونه‌ای از تحقیقات بسیار کلاسیک و در عین حال رایج است که در آن از اطلاعات سه‌بعدی در فرآیند تشخیص تغییر استفاده می‌شود.

نتیجه گیری: در بررسی الگوریتم آشکارسازی دو بعدی و سه بعدی تغییرات، این نتیجه به دست می‌آید که در اکثر موارد، روش‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات به شدت به دو موضوع اساسی متکی هستند: ۱) استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته تناظریابی تصاویر برای

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

تولید داده‌های سه‌بعدی؛ ۲) تکنیک‌های استخراج و یادگیری ماشین سطح بالا براساس داده‌های هندسی و طیفی. بنابراین، جدا از الگوریتم آشکارسازی تغییر، توسعه تکنیک‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات بستگی به تلاش تحقیقاتی در این دو جنبه دارد.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی تغییرات، ساختمان، سنجش از دور، روش پیکسل مبنا و شیء مبنا، اصلاح هندسی، پس طبقه بندی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 7, October, 2021

Review on 2D and 3D Building Change Detection Methods Based on Remotely Sensed Data

Seyedeh Sharareh Hosseini[1]
Fatemeh Tabib Mahmoudi [2*]
fmahmoudi@sru.ac.ir

Admission Date: August 1, 2020 Date Received:January 21, 2020

Abstract

Background and Objective: Land is rapidly changing at the local, regional, national, and global scales, with a significant impact on the environment. Some changes occur due to natural causes, while other changes due to human projects such as urban growth.

Material and Methodology: This article provides an overview on the categorization of different methods used in detecting urban changes with emphasis on building complexities. Advances in facilitating the acquisition of three-dimensional data have led to three-dimensional change detection methods with two concepts of geometric comparison (including height difference calculation, Euclidean distance and transition-based methods) and geometric-spectral analysis (including correction). The purpose of this review is to answer the question of whether advances in change detecion methods and converting them from two-dimensional methods to three-dimensional ones have been able to meet the challenges in this context. What is future research to improve the results of 3D change detection methods?

Findings: According to the results of research on different types of change detection methods, although two-dimensional change detection methods have considerable variation, they lack altitude information and estimation of changes in the third dimension and in the face of high spatial and spectral resolution and three-dimensional effects such as buildings face challenges. Therefore, just by relying on the results of these methods, it is not possible to get a proper assessment of damages during accidents or construction estimations and so on.

Discussion and Conclusion: In this article, while discussing the concepts presented in the three-dimensional methods of detecting changes, the strengths and weaknesses and challenges of the existing research are compared with the two-dimensional methods. It is concluded that in most cases, three-dimensional change detection methods rely heavily on two basic issues: 1) the use of advanced image-matching algorithms to produce three-dimensional data; 2) high-level machine learning techniques based on geometric and spectral data.

Keywords: Change Detection, Remote Sensing, Building, Post Classification, Feature Fusion.

1- MSc student, Dept. of Geomatic Engineering, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Art and Architecture, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran. **(Corresponding Author)*

مقدمه

در چند دهه اخیر، افزایش روزافزون شهرنشینی، مناطق شهری و حومه را در زمره پویاترین مناطق روی زمین قرار داده است. با توجه به توسعه محیط‌های شهری، نقشه‌های دوبعدی شهری به سرعت با مدل‌های سه‌بعدی جایگزین می‌شوند و نیاز به نگهداری و بروزرسانی این مدل‌ها بیش از پیش احساس می-گردد(۱). آشکارسازی تغییرات به عنوان فرایند شناسایی اختلافات در حالت یا موقعیت یک شئ یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف، تعریف شده است (۲و۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و یا پوشش زمین با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندزمانه برای درک روابط پویا بین پدیده‌های انسانی و طبیعی به منظور تصمیم‌گیری صحیح و به تبع آن تسهیل مدیریت شهری و بحران و استفاده بهینه از منابع، بسیار حائز اهمیت است. با توجه به رشد روزافزون شهرها و لزوم برنامه‌ریزی در زمینه کنترل نرخ رشد، مدیریت حاشیه نشینی شهرها و ساخت و سازهای غیر مجاز شهری، از داده‌های سنجش از دور که در بازه زمانی مطلوب برداشت شده‌اند، می-توان برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در عوارض شهری به ویژه ساختمان‌ها، استفاده نمود.

چالش های مطرح در آشکارسازی تغییرات ساختمان

بسیاری از مطالعات آشکارسازی دوبعدی تغییرات با استفاده از تصاویر سنجش از دور روی مسائل بزرگ مقیاس از جمله نظارت بر جنگل، گسترش شهری، ارزیابی خسارات زمین لرزه و غیره انجام شده‌اند (۴). در بین این آثار، بیشتر مطالعات آشکارسازی تغییر با استفاده از تصاویر با وضوح پایین تا متوسط در سطح منطقه انجام شده‌اند (۵). تعداد کمی از آن‌ها امکان استفاده از تصاویر با وضوح بسیار زیاد را برای آشکارسازی دوبعدی تغییر، در سطح جزئی‌تر مورد بررسی قرار داده‌اند (۶-۹) . دلیل این امر آن است که هنگامی که وضوح تصویر به سطح دقیق‌تری می‌رسد، آشکارسازی دوبعدی تغییر با چندین چالش مواجه می‌شود (۱۰):

- **تنوع طیفی بالاتر:** پیکسل‌ها در تصاویر با وضوح خیلی زیاد جزئیات بیشتری را نشان می‌دهند، که اثر پیکسل‌های ادغام شده در تصاویر را بسیار کاهش می‌دهد. در عین حال، این امر تنوع طیفی بالاتری برای اشیاء زمینی در پی خواهد داشت و باعث می‌شود نتایج آشکارسازی تغییر نسبت به روش‌های پیکسل‌مبنا حساس‌تر شوند (۲ و۴).
- **اعوجاج پرسپکتیو:** تبدیل صحنه سه‌بعدی به تصویر دوبعدی یک گام مهم در روند آشکارسازی تغییرات دوبعدی است که به تطابق پیکسل متناظر در یک صحنه نیاز دارد، و معمولاً توسط تبدیلات دوبعدی مدل‌سازی می‌شود. تبدیلات دوبعدی، زمین را به عنوان سطح مسطحی تقریب می‌کنند، که ممکن است برای تصاویر با وضوح پائین معقول باشند، اما برای تصاویر با وضوح خیلی زیاد بسیار نامناسب است. در نتیجه در هم مرجع‌سازی تصاویری که از چند سنجنده برداشت شده‌اند، مشکل ایجاد می‌شود.
- **کمبود اطلاعات حجمی:** آشکارسازی تغییرات دوبعدی می‌تواند تغییرات مسطحاتی را استخراج نماید. این نتایج برای کاربردهایی که به اطلاعات ارتفاعی نیاز دارند، مانند برآورد کمی از حجم زمین لرزه، رشد درختان و نظارت بر پیشرفت عمودی ساخت و سازها، کافی نیست.

آشکارسازی سه بعدی تغییرات به وضوح دارای مزایای بیشتری نسبت به آشکارسازی دوبعدی است، زیرا اطلاعات هندسی سه‌بعدی عاری از تغییرات روشنایی و اعوجاج پرسپکتیو هستند. هدف از این تحقیق، مروری بر انواع روش‌های ارائه شده در زمینه آشکارسازی دوبعدی و سه بعدی تغییرات شهری با تاکید بر عارضه ساختمان است. با توجه به چالش‌های یاد شده در بالا، فرضیه مطرح در این تحقیق این است که مطالعات آشکارسازی تغییرات به طور کلی وابسته به موارد ذیل هستند:

- نوع (اعم از دوبعدی و سه بعدی) و خصوصیات (قدرت تفکیک و وضوح مکانی) داده سنجش از دور ورودی به الگوریتم آشکارسازی تغییرات
- نوع عارضه مورد پایش (عوارض دوبعدی نظیر خاک و معابر، عوارض سه بعدی نظیر ساختمان و درخت)

بنابراین، همزمان با پیشرفت فناوری‌های سنجش از دور در برداشت تصاویر با وضوح مکانی زیاد و تسهیل دسترسی به

داده‌های ارتفاعی، تحقیقات در زمینه آشکارسازی سه بعدی تغییرات عارضه ساختمان نسبت به روش‌های دوبعدی از موفقیت بیشتری برخوردار خواهند بود.

سوال مطرح به منظور انجام مقایسه بین روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات این است که با توجه به نقاط قوت و ضعف روش‌های دوبعدی و سه بعدی، پیشرفت‌های صورت گرفته در روش‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات ساختمان‌ها توانسته چالش‌های مطرح در این زمینه را پاسخ دهد و زمینه‌های تحقیقاتی آتی برای بهبود نتایج روش‌های سه بعدی آشکارسازی تغییرات چیست؟

روش بررسی

مروری بر روش‌های دوبعدی آشکارسازی تغییرات

لو و همکاران در سال ۲۰۰۴ روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییرات را براساس الگوریتم‌های ریاضی دسته‌بندی کردند که این دسته‌بندی شامل روش‌های جبری، تبدیلات، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی، روش‌های مبتنی بر مدل‌های فیزیکی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل بصری می‌باشند (۴). در تحقیق دیگری، حسین و همکاران در سال ۲۰۱۳ روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییرات را براساس پایه محاسباتی دسته‌بندی کردند که شامل روش‌های پیکسل‌مبنا و شئ‌مبنا است. آن‌ها روش‌های پیکسل‌مبنا را به گروه‌های روش‌های مقایسه مستقیم، تبدیلات، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی، یادگیری ماشین[1]، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های پیشرفته تقسیم کردند و روش‌های شئ‌مبنا را به گروه‌های مقایسه مستقیم اشیاء، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات شئ‌مبنا، دسته‌بندی نمودند (۱۲).

با وجود ضعف نسبی روش‌های پیکسل‌مبنا در مقایسه با روش‌های شئ‌مبنا که مهم‌ترین آن بهره‌گیری اندک این روش‌ها از اطلاعات غیرطیفی در تحلیل تغییرات می‌باشد، ساده بودن، تنوع بالای الگوریتم‌ها و سطح اتوماسیون بالای آن‌ها سبب شده است تا این تکنیک‌ها بطور وسیع در حل مسائل آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای چند زمانه مورداستفاده قرار گیرند (۱۳).

روش‌های پیکسل مبنای آشکارسازی دوبعدی تغییرات

تحقیقات زیادی بر روی تقسیم‌بندی روش‌های پیکسل‌مبنای آشکارسازی دوبعدی تغییرات صورت گرفته است (۴، ۱۴، ۱۵ و۱۶). بیشتر این مرورها براساس بررسی تکنیک‌های پیکسل‌مبنا برای داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی متوسط و پایین نظیر تصاویر چندزمانه ماهواره‌های مادیس[2]، لندست[3]، اسپات[4] و رادار با ابعاد پیکسل نسبتا بزرگ است. خلاصه‌ای از تقسیم بندی‌های صورت گرفته توسط محققان مختلف بر روی روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییرات با رویکرد پیکسل مبنا در جدول ۱ نشان داده شده است.

براساس مطالعاتی که در زمینه آشکارسازی تغییرات مبتنی بر مقایسه مستقیم و تبدیلات صورت گرفته است، نقشه تغییرات حاصل از این روش‌ها بصورت نقشه باینری تغییر است که اشاره به مناطق تغییریافته و تغییرنیافته دارد. نقشه تغییرات حاصل از روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی و روش‌های یادگیری ماشین بصورت نقشه ماهیت تغییر است که اشاره به تغییرات "از" کلاس "به" کلاس دیگر دارد. در استفاده از مدل‌های پیشرفته، باید به زمان‌بر بودن اجرای الگوریتم‌ها و پیچیدگی پیاده‌سازی آن‌ها و استفاده صرف جهت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی توجه داشت. آشکارسازی تغییرات با استفاده از منطق فازی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مرز مشخصی بین کلاس‌ها وجود نداشته باشد و یا جدایی بین کلاس‌ها به دلیل شباهت طیفی (سقف بتنی ساختمان و آسفالت خیابان) مشکل باشد.

روش های شیء مبنای آشکارسازی دوبعدی تغییرات

در روش‌های بر پایه اشیاء معمولاً یک گام قطعه‌بندی به منظور جداسازی عوارض از یکدیگر انجام می‌گیرد. براساس مطالعاتی که در زمینه آشکارسازی تغییرات مبتنی بر روش‌های شئ‌مبنا صورت گرفته است، این روش‌ها از اطلاعات مربوط به خصوصیات هندسی- طیفی عوارض به منظور تشخیص هر چه

1- Learning Mechine

2- MODIS
3- Landsat (MMS, TM)
4- SPOT

بهتر تغییرات در تصاویر ماهواره‌ای و هوایی چندزمانه استفاده می‌کنند.

به منظور آشکارسازی تغییرات در روش شئ‌مبنا، مقایسه مستقیم عوارض تصویری مربوط به زمان‌های مختلف اعمال می‌شود. در این روش مقایسه براساس خصوصیات هندسی (همچون مساحت، فشردگی و ابعاد)، خصوصیات طیفی و یا ویژگی‌های مستخرج از عوارض می‌باشد.

جدول ۱- دسته بندی روش های آشکارسازی دوبعدی تغییرات با رویکرد پیکسل مبنا (۴ و۱۳)

Table 1. Pixel based two-dimensional change detection algorithms (4 , 13)

روش	زیرمجموعه ها	محدودیت ها
مقایسه مستقیم	▪ تفاضل تصاویر ▪ نسبت‌گیری تصاویر ▪ رگرسیون تصاویر ▪ تفاضل شاخص پوشش گیاهی ▪ آنالیز بردار تغییرات (CVA)	• مقادیر صحیح اختلافات در سطح تصویر تولیدی • عدم ارائه ماهیت تغییرات • امکان نرمال نبودن توزیع مقادیر پیکسل‌های تصویر • به شدت تحت تأثیر نویز تصاویر • دشواری در آشکارسازی تغییرات پوشش کاربری زمین • نیازمند داده‌های اخذ شده در شرایط آب و هوایی و محیطی یکسان
تبدیلات	▪ آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) ▪ تبدیل کاوث-توماس (KT) ▪ تبدیل گرام اشمیت (GS) ▪ تبدیل کای-اسکوئر (CHT) ▪ آنالیز مؤلفه چندمتغیره (MAD)	• عدم ارائه ماهیت تغییرات • تفسیر مشکل نتایج و نیاز به کالیبراسیون دقیق اتمسفری • عدم ارائه برچسب کلاس‌های پوشش و کاربری زمین • پیاده سازی مشکل، نیازمند دانش اولیه از زیر فضای پایدار اطلاعات • وابستگی به تابع توزیع آماری • مشکل در تفسیر نتایج مربوط به ماهیت تغییرات
طبقه‌بندی	▪ مقایسه پس از طبقه‌بندی ▪ ترکیب با ماسک باینری ▪ طیفی-زمانی	• نیاز به نمونه‌های آموزشی • دشواری در انتخاب نمونه‌های آموزشی • وابسته به دقت طبقه‌بندی هر یک از تصاویر • وابسته به دقت تولید ماسک باینری • اجتناب‌ناپذیری نرمالیزاسیون نسبی و رادیومتریکی
یادگیری ماشین	▪ شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ▪ ماشین بردار پشتیبان (SVM) ▪ درخت تصمیم‌گیری	• تعیین معماری شبکه بهینه (تعداد نورون‌های لایه‌های شبکه) • حساسیت به تعداد و کیفیت داده‌های آموزشی • مشکل در انتخاب بهترین کرنل و پارامترهای آن • هزینه محاسباتی و تفسیر نتایج متناسب با تعداد باندهای طیفی • عدم امکان جستجو برای بهترین برازش
مدل‌های پیشرفته	▪ مدل آنالیز ترکیب طیفی (SMA) ▪ مدل انعکاسی Li-Strahler	• پیچیدگی الگوریتم و پیاده‌سازی مشکل • نیاز به پردازش‌های تصویری پیشرفته و طولانی • نیاز به جمع‌آوری اطلاعات فراوان زمینی و انجام مشاهدات میدانی • عدم وجود نرم‌افزارهای تجاری و متداول پردازش تصویری

		• نیاز به نرمالیزاسیون رادیومتریکی دقیق تصاویر
دانش‌مبنا	▪ مبتنی بر منطق فازی	• دشواری برچسب‌دهی به کلاس‌های دارای همپوشانی • پیچیدگی روش بدلیل اعمال قوانین زیاد • عدم ارائه نقشه ماهیت تغییرات در روش‌های نظارت‌نشده
GIS	▪ ادغام با GIS	• کیفیت مختلف داده‌ها از منابع مختلف • دقت‌های هندسی متفاوت
سنجنده‌های مختلف	▪ادغام داده‌های سنجنده‌های مختلف	• وضوح مکانی و طیفی مختلف • نیاز به بهبود روش‌های ادغام

جدول ۲- دسته بندی روش های آشکارسازی دوبعدی تغییرات با رویکرد شیء مبنا (۴ و۱۳)

Table 2. Object based two-dimensional change detection algorithms (4 , 13)

نوع روش	مزایا	محدودیت‌ها
مقایسه مستقیم شئ‌مبنا	▪ مقایسه مستقیم عوارض ▪ استفاده از خصوصیات هندسی (شکل، مرز، طول و اندازه) ▪ آشکارسازی تغییرات به وسیله استخراج اطلاعات طیفی و مکانی	• وابسته به دقت قطعه‌بندی • مشکل در جستجو برای مرتبط‌سازی عوارض در تصاویر چندزمانه • انتخاب حدآستانه مناسب وابسته به هندسه و طیف یا استخراج عارضه • عدم ارائه نقشه ماهیت تغییرات
مقایسه طبقه‌بندی شئ‌مبنا	▪ استفاده از تمام عوارض موجود ▪ قابلیت اندازه‌گیری تغییرات موضوعی، هندسی، توپولوژیک ▪ مقایسه طبقه‌بندی بر مبنای تغییرات ▪ ارائه نقشه ماهیت تغییرات	• اختلاف اندازه و مرتبط‌سازی عوارض به دلیل قطعه‌بندی • خطاهای مکانی مربوط به جستجوی عوارض استخراج شده • خطاهای مکانی وابسته به دقت قطعه‌بندی
آشکارسازی تغییرات چندزمانه شئ‌مبنا	▪ انجام یک قطعه‌بندی برای سری تصاویر ▪ یکسان بودن خصوصیات هندسی عوارض در زمان‌های مختلف ▪ بهره‌برداری از خصوصیات هندسی و طیفی جهت شناسایی تغییرات ▪ ارائه نقشه ماهیت تغییرات	• رسیدن به نتایج غیرواقعی به دلیل رد شدن عمل تناظریابی • عدم توانایی در نمایش اختلاف عوارض • وابسته به دقت قطعه‌بندی

تخمین ارتفاعی ساخت و ساز و مواردی از این دست حاصل نمود. به همین دلیل، تحقیقات زیادی در زمینه آشکارسازی سه بعدی تغییرات انجام شده که در ادامه به بررسی روش‌ها و تحقیقات پیشین در این زمینه پرداخته می‌شود.

ساخت و ساز و مواردی از این دست حاصل نمود. به همین دلیل، تحقیقات زیادی در زمینه آشکارسازی سه بعدی تغییرات انجام شده که در ادامه به بررسی روش‌ها و تحقیقات پیشین در این زمینه پرداخته می‌شود.

مروری بر روش‌های سه بعدی آشکارسازی تغییرات

مشابه روش‌های دوبعدی آشکارسازی تغییرات، روش‌های سه‌بعدی نیز معمولاً دارای سه مرحله پردازشی می‌باشند: ۱) جمع آوری و انتخاب داده‌ها، ۲) هم‌مرجع‌سازی داده‌ها و ۳) آنالیز تغییر. دو مرحله اول به عنوان مراحل پیش پردازش در

نظر گرفته می‌شوند که داده‌های سه‌بعدی چندزمانه را برای آنالیز تغییر آماده می‌کنند.

در آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات، تفاضل داده‌ها به تنهایی نمی‌تواند جوابگوی نیاز باشد. "تفاضل داده" و "شناسایی اشیاء معنی‌دار" مطابق با دو ویژگی هندسی و اطلاعاتی داده‌های سه‌بعدی انجام می‌شوند: هندسه برای به دست آوردن اختلافات هندسی مقایسه می‌شود و اشیاء موردنظر از طریق ویژگی‌های مستخرج از اطلاعات سه‌بعدی تشخیص داده می‌شوند. به بیان دیگر، اطلاعات هندسی سه‌بعدی دو ویژگی را دربردارند:

۱) ویژگی هندسی: اندازه‌گیری‌های فیزیکی از واقعیت زمین در فضای شئ را فراهم می‌کند. ۲) ویژگی اطلاعات: هندسه می‌تواند به عنوان منبع اطلاعاتی از واقعیت زمین دیده شود و این امکان را می‌دهد که ویژگی‌هایی مانند شکل، حجم و ... برای تجزیه و تحلیل استخراج شوند. براین اساس، روش‌های موجود آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات را می‌توان در قالب دو دسته ذیل از یکدیگر تفکیک نمود:

۱) **مقایسه هندسی:** روش‌هایی که اختلاف هندسی سه‌بعدی را اندازه‌گیری می‌کنند.

۲) **آنالیز طیفی-هندسی:** روش‌هایی که اطلاعات هندسی و یا طیفی را برای آنالیز تغییر در نظر می‌گیرند.

از آن‌جا که وجود یک بعد اضافی (از دوبعد به سه‌بعد) تغییرات زیادی در فضا ایجاد می‌کند، چالش‌های جدیدی هم در تشخیص تغییر و هم در زمینه کاربردهای آن در آشکارسازی سه بعدی تغییرات ایجاد شده است (۱۱):

۱) عدم اطمینان به داده‌های سه‌بعدی: به دلیل وجود ابزارهای مختلف تولید داده‌های سه‌بعدی، عدم اطمینان در اطلاعات هندسی (مثل ارتفاع) وجود دارد.

۲) ادغام داده‌های ناهمگن یا حاصل از چندسنجنده: داده‌های هندسی یک ماهیت متفاوت از داده‌های تصویر را نشان می‌دهند. تلفیق هر دو داده نیاز به ملاحظات ویژه‌ای در خصوص عدم اطمینان داده‌ها، استخراج ویژگی و وزن داده‌های حاصل از چند منبع دارد.

در ادامه‌ی این بخش بیشتر به توضیح چگونگی دو روش رایج آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات و مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته خواهد شد.

جدول ۳- پیشینه تحقیق در آشکارسازی دوبعدی تغییرات با رویکرد شیء مبنا (۴ و ۱۳)

Table 3. Literature review on the object based two-dimensional change detection (4 , 13)

روش	هدف تحقیق	سال تحقیق	محقق
مقایسه مستقیم شئ‌مبنا	آشکارسازی تغییرات قسمتی از شهر سانفرانسیسکو	۱۳۹۱	صداقت و همکاران
	آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین	۲۰۰۵	Miler و همکاران
مقایسه طبقه‌بندی شئ‌مبنا	آشکارسازی تغییرات مناطق شهری با استفاده از تلفیق تصاویر ابرطیفی با تصاویر پانکروماتیک	۱۳۹۲	زلیکانی
	به روزرسانی پایگاه داده پوشش زمین	۲۰۱۰	Xian و Homer
آشکارسازی تغییرات چندزمانه شئ‌مبنا	آشکارسازی تغییرات سری‌های زمانی	۲۰۰۸	Bontemps و همکاران

روش مقایسه هندسی

با توجه به منطقه مورد مطالعه، هندسه برداشت داده (دید قائم یا مایل) و نوع داده (DSM، ابر نقطه، تصاویر استریو و غیره)، روش آشکارسازی سه بعدی تغییرات مبتنی بر مقایسه هندسی می‌تواند کاملاً متفاوت باشد. علاوه بر این، مجموعه تصاویر اخذ شده از دیدهای مختلف به طور ضمنی حاوی اطلاعات هندسی سه‌بعدی هستند (تصاویر استریو/ چند گانه)، و تشخیص تفاوت هندسی این داده‌ها نیاز به مقایسه تصاویر از طریق تبدیل (روش مبتنی بر انتقال) دارد. در ادامه، هریک از روش‌های مطرح در دسته آشکارسازی سه بعدی تغییرات مبتنی بر مقایسه هندسی به طور جداگانه تشریح می‌گردند.

روش اختلاف ارتفاع

روش اختلاف ارتفاع یک تفاضل ساده مبتنی بر اختلاف تصاویر است که در آن یک تفریق ساده روی DSM های چند زمانه اعمال می‌شود و در نتیجه باقیمانده‌های ارتفاع در نقشه، تغییرات احتمالی محسوب می‌شوند. این روش به طور گسترده در برنامه‌های کاربردی مانند پایش بلایای طبیعی نظیر زمین لرزه و ارزیابی خسارت‌ها و همچنین در پایش مناطق شهری مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶، ۱۷ و ۱۸).

برای کاهش خطاهای ناشی از روش اختلاف ارتفاع، روش‌های مبتنی بر پنجره پیشنهاد شده است. تیان و همکاران (۲۰۱۰) حداقل اختلاف ارتفاع را در طول پنجره تغییر دادند تا نویز DSM که در مرز اشیاء رخ می‌دهد کاهش یابد. همچنین، در تحقیق بعدی خود در سال ۲۰۱۳ از اشیاء حاصل از تصویر پانکروماتیک به عنوان واحد اختلاف ارتفاع استفاده نمودند، که باعث کاهش مثبت کاذب بیشتری می‌شود. چنین راهبردی برای کاهش نویز اشیاء بزرگ شهری مؤثر است. با این وجود خطر احتمالی از دست دادن تغییرات واقعی اشیاء کوچک وجود دارد (۱۷ و ۱۸).

حدآستانه ارتفاع، به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای به دست آوردن ماسک تغییر نهایی، تحت تأثیر صحت داده‌هاست. یکی از راه‌های تعیین حدآستانه ارتفاع استفاده از اطلاعات قبلی مانند پیش ارزیابی کیفیت DSM و گزینه‌های تجربی آزمون و خطاست (۱۱).

روش اختلاف اقلیدسی سه‌بعدی

یک مشکل عمده در روش اختلاف ارتفاع، حساسیت بالای آن در عدم زمین مرجع‌سازی درست است که ممکن است منجر به خطاهای قابل توجهی در مرز اشیاء (به عنوان مثال لبه‌ی ساختمان‌ها) شود. دلیل این امر آن است که اختلاف ارتفاع، فاصله بین دو سطح را در فضای منتقل شده در نظر می‌گیرد، که لزوماً فاصله اقلیدسی آن‌ها (در جهت عادی سطح) نیست. فاصله اقلیدسی دو سطح، فاصله در جهت طبیعی با سه درجه آزادی برای هندسه سه‌بعدی را در نظر می‌گیرد، که از نظر تئوری بسیار دقیق‌تر است. روش فاصله اقلیدسی با روش‌های زمین مرجع‌سازی کاملاً مرتبط است و هدف از این روش به حداقل رساندن اختلاف اقلیدسی دو سطح سه‌بعدی است.

نمونه‌ای از روش‌های مطرح در این گروه که توسط گرون و آکا (۲۰۰۵) در قالب روش کمترین مربعات ارائه شده است، ترکیبی از زمین مرجع‌سازی و تخمین فاصله اقلیدسی است (۱۹). این روش توسط واسر و همکاران (۲۰۰۸) نیز برای تخمین پویای حجم جنگل بین دو DSM حاصل از تصویر، اعمال شد (۲۰).

اگرچه فاصله اقلیدسی از نظر تئوری دقیق‌تر از اختلاف ارتفاع است، اما مزایای آن در پردازش DSM ها را می‌توان با تکنیک‌های پس پردازش بعد از اعمال اختلاف ارتفاع جبران کرد. مناطق پنهان و کامل نبودن داده‌های سه‌بعدی حاصل از تصاویر مایل و یا لیدار زمینی، صحنه‌های بسیار پیچیده‌تری نسبت به تصاویر سنجش از دور قائم ارائه می‌دهند. هم‌مرجع‌سازی در چنین مواردی دشوارتر است، از این رو به راه حل‌های دقیق نیاز دارد. نمونه‌های مختلف موفقیت‌آمیز در تشخیص تغییر با استفاده از اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی در برنامه‌های کاربردی برد کوتاه در زمینه تحلیل تغییر شکل و کنترل کیفیت، ارائه شده است (۲۱).

گاهی اوقات ممکن است مقایسه هندسی پیکسل‌مبنا مشکلات زیادی را به وجود آورد، در حالی که برخی از ویژگی‌های

هندسی مستخرج می‌تواند استحکام بیشتری داشته باشد. ادن و کوپر (۲۰۰۸) تفاوت خطوط سه‌بعدی را در دو مجموعه تصویر چنددید اندازه‌گیری کردند که باعث کاهش چشم‌گیر نویز و پراکندگی شد (۲۲). با همین مفهوم، شمپیون و همکاران (۲۰۱۰) خطوط سه‌بعدی را از تصاویر استریو استخراج کردند تا با مقایسه آن‌ها با بانک اطلاعات GIS، وجود ساختمان‌ها را تأیید کنند (۲۳). روش‌های مبتنی بر ویژگی فقط باید در شرایطی به کار روند که شئ مورد مطالعه با ویژگی خاصی ارائه شود.

روش اختلافات هندسی مبتنی بر انتقال

تصاویر استریوی بی‌کیفیت، مانند تصاویری که دارای زوایای دید بزرگی هستند و منجر به اختلاف دید بزرگی می‌شوند، حتی با استفاده از پیشرفته‌ترین الگوریتم‌های تناظریابی هم ممکن است قادر به تولید ابر نقاط یا DSM مناسب برای تشخیص تغییر نباشند. اگر DSM یا ابر نقطه نسبتاً قابل اعتماد در یک تاریخ موجود باشد و تصاویر با توجه به داده‌های سه‌بعدی، زمین‌مرجع شده باشند، می‌توان اختلاف هندسی مبتنی بر انتقال را برای ارزیابی هندسی بین تصاویر استریو و داده‌های سه‌بعدی استفاده کرد. این روش DSM تولید شده از یک زوج استریو یا ابر نقطه را با تصویر دیگر مرتبط می‌سازد، و تفاوت‌های رادیومتری و طیفی آن‌ها را مقایسه می‌کند. در تحقیقی در سال ۲۰۰۳، مدل‌های سه‌بعدی بر روی عکس‌های دوبعدی انتقال یافته و سپس طبقه‌بندی نظارت شده برای تشخیص تغییر انجام می‌شود (۲۴).

کین و گرون (۲۰۱۴) همبستگی را با مقایسه نواری از تصاویر با ابر نقطه لیدار، برای تشخیص تغییر ارائه دادند. با توجه به هم‌مرجع‌سازی خوب و دقت بالای داده‌های لیدار، بیش از ۷۰٪ تغییرات در آزمایشات آن‌ها به درستی مشاهده شد (۲۵).

روش مبتنی بر انتقال یک استراتژی مؤثر برای ارائه شواهد تغییر در صحنه سه‌بعدی کاملاً پیچیده است، زیرا لزوماً به داده‌های سه‌بعدی صریح نیاز ندارد. با این حال، این روش نیز به کیفیت داده‌های سه‌بعدی وابسته است پس نمی‌تواند تغییرات مناطق دارای بافت کم را به درستی تشخیص دهد (۱۱).

روش مقایسه هندسی- طیفی

استفاده از اطلاعات طیفی در کنار اطلاعات هندسی می‌تواند خطاهای ناشی از برداشت داده را کاهش داده و دقت نتایج آشکارسازی تغییرات را بهبود بخشد. با این حال، مزایا و خطاهای هر دو منبع را به همراه دارد. بنابراین، چالش اصلی روش‌های مقایسه هندسی-طیفی در مورد چگونگی استفاده مناسب از مزایای منابع مختلف اطلاعات بدون وارد شدن خطاهای اضافی است. به طور کلی، سه روش برای ادغام خصوصیات هندسی و طیفی به عنوان منابع اطلاعاتی در یک فرآیند آشکارسازی سه بعدی تغییرات وجود دارد: ۱) اصلاح نهایی، ۲) ادغام مستقیم ویژگی و ۳) پس طبقه‌بندی.

اصلاح نهایی

رویکردهای اصلاح نهایی از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده می‌کنند، طوری که شواهد تغییر اولیه با مقایسه هندسی ارائه می‌شوند و به دنبال آن، آنالیز هندسی و طیفی برای اصلاح نتایج تغییر اولیه اعمال می‌شوند. در این روش پارامترها اغلب به آسانی قابل درک هستند و تنظیم آن‌ها ساده است. چنین روش‌هایی با توجه به برنامه‌های کاربردی مختلف آشکارسازی تغییر انعطاف‌پذیر هستند و فرایند گام به گام باعث می‌شود این روش‌ها از نظر محاسباتی کارآمد باشند. با این حال، نتیجه آشکارسازی تغییر اولیه فقط به مقایسه هندسی بستگی دارد و تغییرات از دست رفته در مرحله اولیه در اصلاح نهایی قابل بازیابی نیست (۱۱).

خیلی اوقات، اگر هدف از تشخیص تغییر، شناسایی وضعیت تغییر اشیائی مانند ساختمان‌ها باشد، اختلاف ارتفاع معمولاً به عنوان گام اولیه برای روش اصلاح نهایی استفاده می‌شود. این اصلاحات با استفاده از ویژگی‌های اضافه مانند هندسه اولیه، ویژگی‌های بافت یا طیف و یا استفاده از یک منبع داده خارجی مانند پایگاه داده GIS انجام می‌شود (۲۶).

چوی و همکاران (۲۰۰۹) روشی نظارت شده بر روی ماسک تغییر اولیه اتخاذ کردند و از ویژگی‌های مختلف شکل مانند زبری[1]، اندازه و ارتفاع قطعه‌های تغییر برای طبقه‌بندی آن‌ها به

1-Roughness

انواع مختلف اشیاء استفاده نمودند (۲۷). براساس این فرض که نقشه‌های تغییر در سطح جهانی نرم[1] هستند، گورین و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از یک برنامه‌نویسی تعمیم‌یافته برای از بین بردن اشتباهات احتمالی ناشی از تفریق DSM، از یک بهینه‌سازی جهانی استفاده می‌کنند که اطلاعات زمینه مکانی را مورد استفاده قرار می‌دهد. روش مارکوف[2] به عنوان یک مدل اصلاح قدرتمند، در روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییر مورد استفاده قرار گرفته و روش‌های مشابه نیز تحت یک بستر سه‌بعدی ایجاد شده‌اند (۲۸).

ادغام مستقیم ویژگی

برخلاف رویکردهای سلسله مراتبی "اصلاح نهایی"، ادغام مستقیم ویژگی همه اطلاعات را با هم درنظر می‌گیرد. چنین روشی می تواند در سطح ویژگی یا سطح تصمیم‌گیری انجام شود، به این معنا که یا خصوصیات هندسی و طیفی (مثل اختلاف ارتفاع، شاخص‌های شکل، اختلاف طیفی، NDVI[3] و غیره) برای تولید شواهد تغییر ادغام می‌شوند، یا شواهد تغییر حاصل از همه منابع به عنوان نشانه های تغییر نهایی ادغام می‌گردند. اگرچه مطالعات انجام شده در "ادغام مستقیم" عمدتا ادغام تصاویر چند منبع را برای تشخیص تغییر در نظر می‌گیرند، ولی مطالعاتی که هم اطلاعات هندسی و هم اطلاعات طیفی را مستقیماً برای تشخیص تغییر ادغام می‌کنند، نیز وجود دارند.

تیان و همکاران (۲۰۱۳) به طور مستقیم اختلافات ارتفاعی و رادیومتری مجموعه داده Cartosat-1 را تحت روند آنالیز تغییر برداری CVA[4] ادغام کردند، که در نهایت به یک شاخص تغییر واحد برای آستانه‌گذاری منجر شد (۱۷). در اثر بعدی، تیان و همکاران ۲۰۱۴ یک KMNF[5] برای به حداقل رساندن نویز ارائه شده در اختلاف ارتفاع و رادیومتری برای ادغام، و یک ICDA[6] برای تولید ماسک‌های تغییر نهایی، اتخاذ کردند. این آزمایش‌ها در مناطق جنگلی با استفاده از تصاویر Cartosat-1 انجام شده است، که در آن پیشرفت قابل توجهی در مقایسه با تفریق ساده DSM یا رادیومتری و ادغام CVA و سایر روش‌های طبقه‌بندی سنتی مانند ماشین‌های بردار پشتیبان گزارش داده‌اند (۲۹). سایر تئوری‌های ادغام اطلاعات نیز با استفاده از مجموعه داده‌های ماهواره‌ای مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

در تحقیقی در سال ۲۰۰۴ یک رویکرد تشخیص تغییر دو مرحله‌ای براساس داده‌های لیدار ارائه داده شد. در مرحله اول اشیاء ساختمانی و غیر ساختمانی از هم تفکیک شدند. سپس اطلاعات تغییر ارتفاع با نقشه اشیاء ساختمان ادغام می‌شوند تا نتایج تشخیص تغییر دقیق را ارائه دهند (۳۰). تحقیق مشابهی نیز در سال ۲۰۱۳ انجام شد، که در آن اشیاء روی زمین با توجه به زبری سطح، به ساختمان و پوشش گیاهی طبقه‌بندی شدند. نقشه شئ با نقشه اختلاف ارتفاع ادغام شد تا چهار نوع تغییر را بدست آورد (۳۱). روش‌های "ادغام مستقیم ویژگی" هم اطلاعات هندسی و هم اطلاعات طیفی را به عنوان منبع اطلاعات خالص در نظر می‌گیرند. تعیین مشارکت هر منبع اطلاعات هنگام استفاده از مدل‌های ادغام خطی بسیار مهم است.

پس طبقه‌بندی

شرایط متغیر زمانی ممکن است به شدت نتایج مقایسه هندسی و طیفی از دو مجموعه داده زمانمند را مختل کند. روش‌های پس طبقه‌بندی پیشنهاد می‌کنند ابتدا اشیاء مورد علاقه را تشخیص داده یا طبقه‌بندی پوشش زمین انجام شود، سپس برچسب کلاس‌های حاصل مقایسه شوند، که از مقایسه مستقیم اطلاعات طیفی و ارتفاعی جلوگیری به عمل آید.

در یک محیط شهری، ساختمان‌ها یکی از مهم‌ترین انواع عوارض هستند. "تشخیص ساختمان + تشخیص تغییر" یک استراتژی رایج برای آشکارسازی تغییرات ساختمان‌هاست. در این چارچوب، کین و همکاران در ۲۰۱۵ اطلاعات ارتفاع را با یک روند نظارت شده برای تشخیص ساختمان با استفاده از عکس‌های هوایی اسکن شده ادغام کرند. سپس اشیاء ساختمان

1-Smooth
2- Markov random field
3- Normalized Difference Vegetation Index
4- Change Vector Analysis
5- Kernel Minimum Noise Fraction
6- Iterated Canonical Discriminant Analysis

با درنظرگرفتن اختلاف ارتفاع و بافت با یکدیگر مقایسه شدند. در رویکرد آن‌ها، ادغام اطلاعات مربوط به ارتفاع عمدتا در سه مرحله انجام شد: ۱) در قطعه‌بندی تصویر؛ ۲) در استخراج ویژگی برای طبقه‌بندی و ۳) در ارزیابی تغییر ساختمان (۳۲).

روش پس طبقه‌بندی به عنوان یک روش محبوب در نظر گرفته می‌شود، زیرا مقایسه مستقیم هندسی و یا طیفی را به تغییرات برچسب کلاس‌ها تبدیل می‌کند، که نسبت به مشکلات ناشی از شرایط برداشت داده (فصل، اختلاف درخشندگی و غیره) مستحکم‌تر است.

یافته ها

جمع بندی، بحث و مقایسه

در این بخش، ضمن ارائه جمع بندی از مطالب ارائه شده در مبحث روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییرات، دلایل توجه به روش‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات در حوزه ساختمان‌ها و ابنیه شهری بیان می‌شود. سپس، جمع بندی و مقایسه‌ای بر انواع روش‌های ارائه شده در آشکارسازی سه بعدی عوارض ارائه می‌گردد.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه آشکارسازی دوبعدی تغییرات با استفاده از روش‌های مختلف، دقت نتایج وابسته به پاره‌ای از عوامل نظیر قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریکی داده‌های سنجش از دور ورودی، دقت تصحیح هندسی تصاویر، نرمالیزاسیون و کالیبراسیون، رفتار پدیده‌ها در منطقه مورد مطالعه و چرخه تغییرات طبیعی در آن‌ها، تکنیک‌های به کار رفته در شناسایی تغییرات، نوع طبقه‌بندی کننده در روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی و نوع خوشه‌بندی در روش‌های مبتنی بر مقایسه مستقیم، تجربه و مهارت عامل خبره و اطلاعات و میزان آشنایی عامل خبره با منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۴ و ۱۳).

در بسیاری از تحقیقات، برای ارزیابی روش‌های آشکارسازی دوبعدی تغییرات از یک سری داده‌های ورودی استفاده شده است و این الگوریتم‌ها از لحاظ سرعت، سادگی پیاده‌سازی و صحت آشکارسازی تغییرات با یکدیگر مقایسه شده‌اند و نتایج حاصل، گویای این واقعیت است که در اکثر مواقع، این نتایج با نتایج سایر تحقیقات، تناقض دارد. دقت حاصل از هر یک از روش‌های آشکارسازی تغییرات تابعی از همخوانی بین الگوریتم‌ها و داده‌های ورودی است (۱۳).

امروزه به داده‌های سه‌بعدی دسترسی آسان‌تری داریم. آشکارسازی سه بعدی تغییرات با استفاده از داده‌های سنجش از دور افزونه‌ای از تحقیقات بسیار کلاسیک و در عین حال رایج است که در آن از اطلاعات سه‌بعدی در فرآیند تشخیص تغییر استفاده می‌شود. پیشرفت فعلی تحقیقات آشکارسازی سه بعدی تغییرات با دو مفهوم ارائه شده است: ۱) مقایسه هندسی، ۲) آنالیز هندسی-طیفی. علاوه بر این، با جمع‌بندی برنامه‌های کاربردی موجود و جدید در زمینه‌های مختلف، افزایش تقاضای آشکارسازی سه بعدی تغییرات در کاربردهای متنوع وجود دارد. نتایج حاصل از تحقیقات مختلف تایید کرده‌اند که آشکارسازی سه بعدی تغییرات می‌تواند قابلیت اطمینان به تشخیص تغییر را در سطح بسیار بالایی از جزئیات بهبود بخشد. اختلاف ارتفاع ساده‌ترین راه برای محاسبه اختلاف هندسی دو DSM است. اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی کمی پیچیده است اما برای هم‌مرجع‌سازی داده‌های سه‌بعدی بویژه داده‌های مایل و یا بردکوتاه بسیار مفید است. روش‌های مبتنی بر انتقال به تدریج تبدیل به یک فرایند استاندارد برای اندازه‌گیری ثبات هندسی در صحنه‌های پیچیده دید مایل و بردکوتاه می‌شوند. برای آنالیز اطلاعات هندسی و طیفی، "اصلاح نهایی" به دلیل سهولت در اجرا و درک آسان، در حال حاضر محبوب‌ترین استراتژی است. از طرف دیگر، "پس طبقه‌بندی" و "ادغام مستقیم ویژگی" از پتانسیل بسیار خوبی برای توسعه بیشتر برخوردار هستند، زیرا اطلاعات طیفی موجود ممکن است دقت تشخیص تغییر را برای DSM های با وضوح و کیفیت پایین به طور قابل توجهی بهبود بخشد. بدیهی است که ترکیبی از تمام این استراتژی‌ها می‌تواند به طور بالقوه‌ای نواقص منحصر به هر روش را جبران کند و در نهایت نتایج معتبرتری را ارائه دهد.

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله مروری نقاط قوت و ضعف و مزایا و معایب روش-های آشکارسازی دوبعدی و سه‌بعدی تغییرات با یکدیگر مقایسه شدند تا به این پرسش پاسخ داده شود که آیا پیشرفت‌های

صورت گرفته در روش‌های آشکارسازی سه‌بعدی تغییرات ساختمان‌ها توانسته چالش‌های مطرح در روش‌های آشکارسازی دوبعدی را پاسخ دهد و زمینه‌های تحقیقاتی آتی برای بهبود نتایج روش‌های سه بعدی آشکارسازی تغییرات چیست؟

با توجه به نتایجی که از مقایسه بین روش‌های مختلف آشکارسازی دوبعدی و سه بعدی تغییرات بدست آمد، ملاحظات زیر در انجام عملیات آشکارسازی تغییرات عوارض سه بعدی نظیر ساختمان‌های شهری به عنوان نتیجه گیری این مطالعه ارائه می‌گردد:

۱) وضوح داده و شئ مورد علاقه از جمله عوامل تعیین کننده در نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات هستند. به طور کلی داده‌های با وضوح بالاتر نتایج بهتری را در مقیاس شئ ثابت ارائه می‌دهند، در حالی که این امر همچنین باعث افزایش زمان و هزینه پردازش می‌شود.

۲) هم‌مرجع‌سازی داده‌ها قبل از شروع کار آشکارسازی سه بعدی تغییرات ضروری است. روش‌های مختلف هم‌مرجع‌سازی را می‌توان با توجه به فرمت‌های متنوع داده‌های سه‌بعدی اعمال کرد.

۳) برای تصاویر با وضوح خوب، روش‌های تناظریابی تصاویر چندگانه پیشنهاد می‌شود. یکی از بهترین روش‌های با سرعت و عملکرد زیاد، روش تناظریابی SGM[1] با استراتژی-های سلسله مراتبی و الگوریتم‌های مشابه آن است. برای تصاویر با وضوح پائین مانند تصاویر با زاویه گشایش بزرگ، روش‌های تطبیق چند دید محدودیت چند پرتویی را در نظر می‌گیرند، و کنترل مناطق پنهان ممکن است نتایج بهتری را ارائه دهد.

۴) برای آشکارسازی تغییرات ساختمان با استفاده از مجموعه داده‌های دید قائم، توصیه می‌شود برای بررسی کیفیت داده‌های سه‌بعدی، اول روش اختلاف ارتفاع انجام شود. اگر هدف از آشکارسازی سه بعدی تغییر، بررسی تغییر یک شئ باشد باید از روش‌های شئ‌مبنا استفاده شود. برای مجموعه داده‌های نمای مایل، مجموعه‌ای از نقاط کنترل برای هم‌مرجع‌سازی داده‌ها مورد نیاز است.

۵) روش "پس طبقه‌بندی" هنگامی توصیه می‌شود که مجموعه‌ی داده‌ها به شدت تحت تأثیر تغییرات فصلی قرار بگیرند، این روش از مقایسه مستقیم داده‌های هندسی و طیفی جلوگیری می‌کند.

۶) روش "ادغام مستقیم ویژگی" هنگامی توصیه می‌شود که DSM ها دارای خطای احتمالی یا اشکالاتی باشند و تصاویر طیفی قبل و بعد از رویداد از همان تاریخ نیز در دسترس باشند.

۷) "اصلاح نهایی + پس طبقه‌بندی" به عنوان یک استراتژی بهینه توصیه می‌شود، و این که کدام روش در ابتدا اجرا شود به کیفیت داده‌های سه‌بعدی بستگی دارد: در صورت رضایت بخش بودن کیفیت DSM، "اصلاح نهایی" باید ابتدا اعمال شود، در غیر این صورت برعکس عمل می‌شود.

در بررسی الگوریتم آشکارسازی سه بعدی تغییرات به تنهایی، این نتیجه به دست می‌آید که در اکثر موارد، روش‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات به شدت به دو موضوع اساسی متکی هستند: ۱) استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته تناظریابی تصاویر برای تولید داده‌های سه‌بعدی؛ ۲) تکنیک‌های استخراج و یادگیری ماشین سطح بالا براساس داده‌های هندسی و طیفی. بنابراین، جدا از الگوریتم آشکارسازی تغییر، توسعه تکنیک‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات بستگی به تلاش تحقیقاتی در این دو جنبه دارد، که هر دو روش "تناظریابی قابل اطمینان تصاویر" و "درک تصویر سطح بالا" کلیدهای مهمی برای پیشبرد موفقیت‌های بیشتر در روش‌های آشکارسازی سه بعدی تغییرات هستند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی طبق قرارداد شماره ۱۷۵۳۸ مورخ ۱۳۹۸/۷/۲۹ انجام گردیده است.

References

1. Qin, R. 2014. Change detection on LOD 2 building models with very high resolution space-borne stereo imagery.

1- Semi Global Matching

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 96 (2014): PP.179-192.

2. Singh, A.1989. Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. International Journal of Remote Sensing 10 (6): PP. 989-1003.
3. Madanian, M. Safianian, A. 2012. A review of some of the methods for detecting changes using remote sensing data. Geographical information journal (Sepehr), Vol. 21 (82): PP. 44-49 (In Persian)
4. Lu, D. Mausel, P. Brondzio, E. and Moran, E. 2004. Change Detection Techniques. International Journal of Remote Sensing, Vol. 25 (12): PP. 2365–2407.
5. Lu, D. Mausel, P. Brondzio, E. and Moran, E. 2002. Change detection of successional and mature forests based on forest stand characteristics using multitemporal TM data in Altamira, Brazil. In: XXII FIG International Congress, ACSM–ASPRS Annual Conference Proceedings, Washington, DC, USA, pp. 19-26.
6. Brunner, D. Lemoine, G. and Bruzzone, L. 2010. Earthquake damage assessment of buildings using VHR optical and SAR imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48 (5), PP. 2403-2420.
7. Huang, X. Zhang, L. and Zhu, T. 2014. Building change detection from multitemporal high-resolution remotely sensed images based on a morphological building index. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 7 (1), PP.105-115.
8. Košecka, J. 2012. Detecting changes in images of street scenes.” In: Asian Conference on Computer Vision, PP. 590-601.
9. Vakalopoulou, M. Karantzalos, K. Komodakis, N. and Paragios, N. 2015. Simultaneous registration and change detection in multitemporal, very high resolution remote sensing data. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, pp. 61-69.
10. Tian, J. Dezert, J.and Qin, R. 2018. Time-series 3D Building Change based on Belief Functions.
11. Qin, R. Tian, J. and Reinartz, P. 2016. 3D change detection – Approaches and applications. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.09.013.
12. Hussain, M. Chen, D. Cheng, A. Wei, H. and Stanley, D. 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 80: pp. 91-106.
13. Moghimi, A. Ebadi, H. Sadeghi, V. 2016. Review on the pixel based and object based change detection methods on the multi-temporal satellite images.Geospatial engineering journal, Vol. 7 (2): PP. 99-110. (In Persian)
14. Coppin, P. Jonckheere, I. Nackaerts, K. Muys, B. and Lambin, E. 2004. Review ArticleDigital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, International journal of remote sensing, vol. 25, pp. 1565-1596.
15. Jianya, G. Haigang, S. Guorui, M. and Qiming, Z. 2008. A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms," The

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 37, pp. 757-762.

16. Turker, M. and B. Cetinkaya, 2005. Automatic detection of earthquake- damaged buildings using DEMs created from preand post- earthquake stereo aerial photographs. International Journal of Remote Sensing 26 (4), PP.823-832.
17. Tian, J., Reinartz, P., d' Angelo, P. and Ehlers, M., 2013. Region-based automatic building and forest change detection on cartosat-1 stereo imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 79(0), pp. 226 – 239.
18. Tian, J., H. Chaabouni-Chouayakh, P. Reinartz, T. Krauß and P. d'Angelo, 2010. Automatic 3D change detection based on optical satellite stereo imagery. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38 (Part 7B), PP. 586-591.
19. Gruen, A. and Akca, D. 2005. Least squares 3D surface and curve matching. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 59 (3), PP. 151-174.
20. Waser, L. Baltsavias, E. Ecker, K. Eisenbeiss, H. Feldmeyer-Christe, E. Ginzler, C. Küchler, M. and Zhang, L. 2008. Assessing changes of forest area and shrub encroachment in a mire ecosystem using digital surface models and CIR aerial images. Remote Sensing of Environment 112 (5), PP.1956-1968.
21. Akca, D., M. Freeman, I. Sargent and A. Gruen, 2010. Quality assessment of 3D building data. The Photogrammetric Record 25 (132), PP.339-355.
22. Eden, I. and D. B. Cooper, 2008. Using 3D line segments for robust and efficient change detection from multiple noisy images. In: 10th European Conference on Computer Vision, Marseille, France, 12-18, October, PP. 172-185.
23. Champion, N., D. Boldo, M. Pierrot-Deseilligny and G. Stamon, 2010. 2D building change detection from high resolution satelliteimagery: A two-step hierarchical method based on 3D invariant primitives. Pattern Recognition Letters 31 (10), PP.1138-1147.
24. Knudsen, T. and B. P. Olsen, 2003. Automated change detection for updates of digital map databases. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69 (11), 1289-1296.
25. Qin, R. and A. Gruen, 2014. 3D change detection at street level using mobile laser scanning point clouds and terrestrial images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 90 (2014), 23-35.
26. Dini, G., K. Jacobsen, F. Rottensteiner, M. Al Rajhi and C. Heipke, 2012. 3D Building Change Detection Using High Resolution Stereo Images and a GIS Database. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 1 299-304.
27. Choi, K., I. Lee and S. Kim, 2009. A feature based approach to automatic change detection from Lidar data in urban areas. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38 (Part 3/W8), 259-264.

28. Guerin, C., R. Binet and M. Pierrot-Deseilligny, 2014. Automatic Detection of Elevation Changes by Differential DSM Analysis: Application to Urban Areas. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 7 (10), 4020-4037.
29. Tian, J., A. A. Nielsen and P. Reinartz, 2014b. Improving change detection in forest areas based on stereo panchromatic imagery using kernel MNF. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 52 (11), 7130 - 7139.
30. Vögtle, T. and E. Steinle, 2004. Detection and recognition of changes in building geometry derived from multitemporal laserscanning data. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 35 (B2), 428-433.
31. Teo, T.-A. And T.-Y. Shih, 2013. LiDAR-based change detection and change-type determination in urban areas. International Journal of Remote Sensing 34 (3), 968-981.
32. Qin, R., X. Huang, A. Gruen and G. Schmitt, 2015a. Object-Based 3-D Building Change Detection on Multitemporal Stereo Images. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 5 (8), 2125-2137.10.1109/JSTARS.2015.2424275.