

多时相LT-1影像城区建筑物变化检测： 以珠海市横琴镇局部地区为例

王秀华¹, 冯光财¹, 王斌², 刘金沧², 蒋泓波¹, 李宁¹

1. 中南大学 地球科学与信息物理学院雷达遥感实验室, 长沙 410083;

2. 广东省国土资源测绘院, 广州 510663

摘要: 城区建筑物变化检测是土地利用、资源管理和城市规划的重要内容, 然而中国南方地区常年受云雾雨天气影响, 光学影像难以发挥作用, 中国自主研制的陆地探测一号01组A/B卫星(LT-1A/1B)具有高分辨率、短重返周期、多极化、全天时、全天候等优势, 可作为光学影像的重要补充, 在变化检测领域有较强的应用潜力。本文基于LT-1数据, 提出一种融合多时相合成孔径雷达(SAR)幅度特征和相干性信息的城区建筑物变化检测算法, 该算法通过建筑物识别、色域分割和相干性变化约束, 将多时相影像像素值变化与建筑物变化情况对应, 从而获取城区建筑物变化区域并定位建筑物变化时段。本文以珠海市横琴镇局部地区为例展开实验, 利用2023年6月23日—11月14日共5景LT-1升轨影像得到研究区建筑物变化检测结果; 同时借助工程项目施工情况对横琴镇东北部及中部的建筑物变化检测结果进行验证, 结果显示8处典型区域内共19处建筑物变化情况均与项目施工周期吻合, 验证了本文算法的可靠性。本研究证实了LT-1数据在变化检测领域的应用能力和价值, 在城市规划和违建查处等领域具有广泛应用前景。

关键词: SAR, 建筑物变化检测, 幅度, 色域分割, 相干性

中图分类号: TP75/P2

引用格式: 王秀华, 冯光财, 王斌, 刘金沧, 蒋泓波, 李宁. 2025. 多时相LT-1影像城区建筑物变化检测: 以珠海市横琴镇局部地区为例. 遥感学报, 29(11): 3124-3135

Wang X H, Feng G C, Wang B, Liu J C, Jiang H B and Li N. 2025. Urban building change detection on the basis of multitemporal LT-1: A case study of Hengqin Town, Zhuhai City. National Remote Sensing Bulletin, 29(11): 3124-3135 [DOI:10.11834/jrs.20254179]

1 引言

建筑物变化检测是城市规划、灾害评估、土地资源管理的重要内容, 在该领域, 光学遥感应用已较为成熟, 相关理论与算法丰富(殷守敬等, 2013; 张良培和武辰, 2017)。由于南方地区多云多雾, 光学影像受限于天气条件难以发挥作用。与光学遥感相比, 合成孔径雷达(SAR)不受夜间和恶劣天气的限制, 可全天时、全天候对地成像, 其多极化、短重返周期、高空间分辨率等特点可弥补光学遥感影像的不足(朱建军等, 2017)。陆地探测一号01组A/B卫星(以下简称陆探一号卫星, LT-1)已经于2023年5月后开始周期性监

测, 在冰川稳定性分析、滑坡形变监测等领域的应用也越来越多(Li等, 2023; 刘斌等, 2023), 充分展示了LT-1的应用性能和稳定性, 其搭载的L波段多极化多通道SAR载荷, 具备了可提供高分辨率、高穿透性的长波雷达影像(李永生等, 2024), 为中国城区建筑物变化检测提供了新的数据源, 能够服务于中国南方地区精细化变化检测。随着LT-1卫星数据的不断更新, LT-1数据有望进一步提高多时相SAR城区建筑物变化检测算法的稳定性和可靠性, 为后续实行长期稳定的变化跟踪提供支撑。

多时相SAR建筑物变化检测算法主要集中于SAR影像幅度和相干性信息的提取和利用, 结合

收稿日期: 2024-12-03; 预印本: 2025-04-22

基金项目: 国家自然科学基金(编号:42174039)

第一作者简介: 王秀华, 研究方向为多时相SAR建筑物变化检测。E-mail: csuxhgd@csu.edu.cn

通信作者简介: 冯光财, 研究方向为广域InSAR数据处理与参数反演。E-mail: fredgps@csu.edu.cn

上下文及空间特征得到变化区域。已有研究运用代数法、图像变换法和聚类法等方法提取幅度信息，得到城市建筑物的变化情况（Zhang 等，2022；Marin 等，2015；Li 等，2019，2022；Yousif 等，2013）；也有研究充分利用SAR影像的复数信息，基于相干性提取震害建筑物（Monti-Guarnieri 等，2018；刘云华 等，2010；Wang 等，2022；Lee 等，2016）。近年来，多特征融合成为建筑物变化检测的新趋势，融合多特征对建筑物变化进行提取，能够得到更加完整清晰的结果。例如：在幅度时序的基础上，引入相干性特征，最终检测得到建筑物变化（Amitrano 等，2016；Feng 等，2022；Hu 和 Wu，2021；Jiang 等，2022）。多特征融合对变化检测精度的有效提升已在多次研究中得到验证。这些方法虽然能够提取出SAR影像中的建筑物信息，但却未能发挥多时相SAR影像在时序方面的优势，也没有对建筑物变化时段进行定位。实际工程应用中，除了获取建筑物变化情况外，通常更希望知道建筑物发生变化的具体时段，如违章建筑的搭建时间、震害建筑物的倒塌时间、大型工程的施工进度等等，这些时间的获取都要求更为精确，以辅助政府相关部门进行决策。

在国家政策的支持下，珠海横琴飞速发展，高楼林立，对该地区开展建筑物变化检测能够为横琴粤澳深度合作区的建筑物变化统计提供便利。然而，广东区域常年多云，常用的光学变化检测影像数据含云量大，以Sentinel-2为例，2023年下半年云覆盖率低于2%的影像仅有一景，无法开展变化检测研究。因此，本文拟利用多时相LT-1数据对珠海横琴进行建筑物变化检测研究，探讨高分辨率LT-1数据在建筑物变化检测领域的应用能力，从时序的角度进行变化检测并定位变化时段，以期进一步扩展LT-1的应用范围，为相关部门决策提供新的数据和技术支撑。

2 研究区域与实验设计

2.1 研究区域及LT-1数据介绍

横琴镇位于中国岭南地区，隶属于广东省珠海市香洲区，与澳门路环岛、氹仔岛隔海相望，处珠江口西侧，南濒南海，北与珠海保税区一桥（横琴大桥）相连，西接磨刀水道，与珠海西区一衣带水，总面积106 km²。2009年国务院批准实施

《横琴总体发展规划》，明确把横琴作为粤港澳紧密合作的新载体，在国家政策的支持下横琴建设步伐加快，建筑物变化日新月异。但是由于常年云雾缭绕，光学影像难以发挥作用，而SAR影像可以穿云透雾，反映地表地物的变化状态，弥补光学影像的不足。本文搜集了覆盖横琴镇局部区域（主要包括横琴镇北部、中部及东部）自2023年6月23日—11月14日的LT-1影像升轨数据共5景，影像覆盖如图1所示，所用光学底图为谷歌地球2022年10月21日影像，具体参数如表1所示。

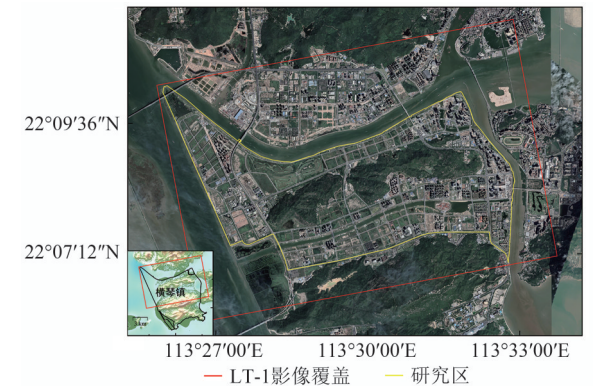


图1 横琴镇研究区地理位置及影像覆盖(所用光学底图为谷歌地球2022年10月21日影像。左下角小图展示了横琴镇的位置和地貌,红色方框表示LT-1影像覆盖,黑色多边形为横琴镇行政边界)

Fig. 1 The geographic position of research area and image coverage of Hengqin Town (The optical basemap used is October 21, 2022 image of the Google Earth. The subgraph on the lower left corner shows the position and topography of Hengqin Town. The red box indicates the coverage of LT-1 image, and the black polygon is the boundary of Hengqin Town)

表1 LT-1影像参数信息表	
Table 1 The parameters information of LT-1 images	
参数	LT-1
波段(波长)	L(23 cm)
轨道方向	升轨
入射角	36.26°
方位角	348.10°
采样间隔(距离向×方位向)	1.67 m×1.98 m
时间序列	2023-06-23, 2023-07-25, 2023-09-19, 2023-10-17, 2023-11-14

2.2 数据处理

建筑物变化检测过程需要同时利用SAR影像幅度信息和相干性特征，因此，在数据处理环节，需要同时获取影像的幅度和相干性信息。首先选取覆

盖研究区的影像中的第一景为主影像, 将其他影像分别与主影像进行配准, 然后利用研究区边界文件裁剪配准后的影像, 以得到与研究区更吻合的数据范围, 并减少后续数据处理的计算量, 再经过地理编码、块匹配三维滤波 (BM3D) 等操作, 得到多

时相SAR幅度影像。利用每景影像与其后3景影像组对构建时间基线 (图2 (a)) 的构网策略对SAR影像做干涉处理, 共构建9个干涉影像对。随后通过平均加权的方式计算平均相干性 (图2 (b)), 用于后续建筑物识别环节约束建筑物提取阈值。

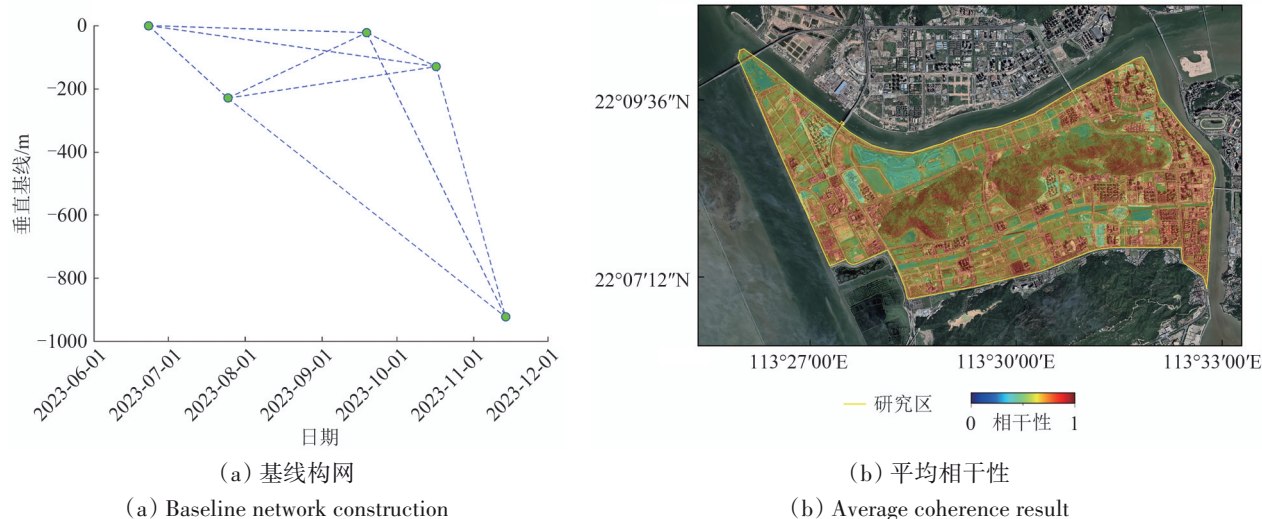


图2 基线构网策略与平均相干性结果

Fig. 2 Baseline network construction strategy and the average coherence result

3 多时相城区建筑物变化检测

3.1 建筑物识别

在SAR幅度影像中, 建筑物作为强散射体通常以极强的亮斑、亮线存在, 在时间序列影像中, 稳定建筑物的散射强度始终保持在较高的水平, 因此可通过幅度影像中建筑物的散射强度特征将其与其他地物加以区分, 利用PS选点中常用的振幅离差法, 通过设置散射强度阈值和信噪比阈值, 可提取出时序影像中的稳定点。当散射强度阈值设置为较高数值时, 所提取的稳定点经过相干性进一步筛选后可视为稳定建筑物。

相干性是地物变化的表征, 可反映地物的稳定性, 取值范围0—1。稳定建筑物常表现为高相干性, 可与低相干的植被、水体及移动的不稳定地物如行驶中的车辆、轮船等加以区分。通常情况下, 稳定建筑物的相干性普遍高于0.7 (Feng等, 2022)。将平均相干性作为限制条件对所有经过散射强度信息提取的像素点一一筛选, 只有当像素点同时满足高散射强度和高相干性时, 才将其确定为稳定建筑物所在位置, 由此得到最终确

定的稳定建筑物。计算时间序列影像中所有稳定建筑物的散射强度平均值, 将该值作为SAR影像建筑物的提取阈值初始值。

建筑物识别精度直接影响着建筑物变化检测的准确率, 这一步骤的目的是将影像中所有建筑物识别出来, 因此对于建筑物阈值的设置应选择极高散射强度值中的极低值, 以保证将所有建筑物识别出来的同时不存在误判, 即误将非建筑物认定为建筑物。由于极值在实际操作中难以实现, 且极限设置缺乏现实意义, 因此将建筑物提取阈值初始值与缩放系数0.5相乘, 计算得到建筑物提取阈值。最后, 利用建筑物阈值提取多时相SAR影像中的建筑物, 并将其二值化, 建筑物设为1, 非建筑物设为0, 得到多时相SAR建筑物影像。

首先设定振幅离差指数倒数阈值和信噪比阈值分别为1.5和1.0, 得到在整个时间序列都保持稳定的像素点 (图3)。再利用平均相干性作为约束条件, 将平均相干性阈值设为0.7。统计时间序列中影像的所有稳定建筑物的幅度值, 并与缩放系数0.5相乘, 最终得到SAR影像建筑物提取阈值为 5.18×10^4 。利用该阈值提取时序影像中的建筑物, 得到多时相SAR建筑物幅度影像共5景 (图4)。



图3 研究区时序稳定点提取结果(红色区域为整个时间序列中均保持稳定的像素点)

Fig. 3 The results of time series stable point in the study area
(The red region are the pixel points that remains stable throughout the time series)

3.2 色域分割

在RGB色彩模型中,若将3个不同时间的SAR幅度影像分别输入R、G、B这3个通道,则影像间的变化体现在三通道所合成的彩色影像上;而在HSV色彩模型中,色彩仅由 H 这一个分量表示,具有较大的区分度。RGB色彩模型与HSV色彩模型可以在颜色空间中进行转换,将RGB中由3

个分量共同决定的颜色域经过转换,分割到HSV中的 H 单个分量,从而突出色彩的变化。

对影像中的建筑物识别后得到二值化建筑物影像,其中建筑物为1,非建筑物为0。将在时序上相邻的三景二值化建筑物影像数据 T_1 、 T_2 、 T_3 分别输入R、G、B的3个通道,则像素点的取值和色域分割后所对应的HSV数值共有8种情况(表2),对应8种地物种类及存在的可能。表2可知,同一RGB通道输入值(同一 H 值)所对应情况存在多种可能性,因此需要进一步筛选。由于噪声的产生具有随机性,因而在相邻影像中同时存在于同位像素点的概率较低,若 T_2 — T_4 时段内某像素点的值只在 T_2 时刻为1,则当 T_1 时刻该像素点的值为0时可判断该点在 T_1 时刻为干扰信息,当 T_1 时刻该像素点的值为1时可判断该点在 T_2 时刻或为目标信息;同理,若 T_2 — T_4 时段内某像素点的值只在 T_4 时刻为1,则当 T_5 时刻该像素点的值为0时可判断该点在 T_4 时刻为干扰信息,当 T_5 时刻该像素点的值为1时可判断该点在 T_4 时刻或为目标信息。

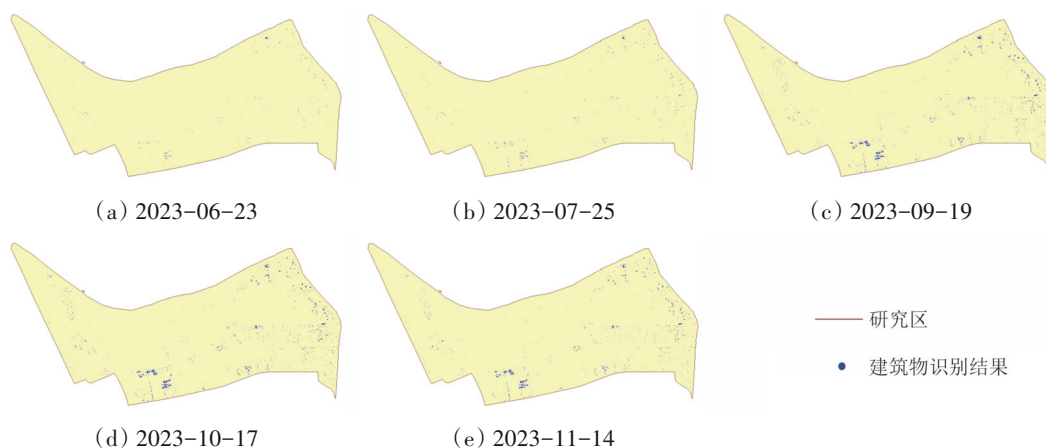


图4 多时相SAR幅度影像建筑物提取结果

Fig. 4 The results of building in multi-temporal SAR amplitude images

根据这一规律,将色域分割的范围扩大到相邻5景影像,即在时间序列上分别往前、往后各增加一景影像,则同一RGB通道输入值(同一 H 值)所对应的多种可能情况能被有效区分,如表3所示。

基于前文的假设,在连续的时间段内,非建筑物的其他强散射体最多只可能存在于两景影像的时间段中,则表3中第7种(④B)和第9种(⑤B)情况可以确切判断为建筑物变化,第2种(①B)和第5种(③B)情况可以判断为疑似建

筑物变化,需要延长时间序列进行判断。将二值化建筑物幅度影像数据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 以相邻三景影像组队的方式进行组队,再将组队结果分别输入R、G、B的3个通道,通过色域分割后可得到由3个 H 分量构成的序列(图5)。分别对表3中4种建筑物变化或疑似变化情况执行色域分割操作,得到4组 H 分量的序列(表4)。可见,对于确定的相邻时序影像像素值, H 分量序列是唯一确定的,可将其作为匹配窗口搜索对应建筑物变化情

况。其中：当 H 分量序列为0.167-0-0时，该像素点疑似原有的建筑物被拆除；当 H 分量序列为0-0.667-0.500时，在该像素点处疑似新建了建筑物；当 H 分量序列为0-0.167-0时，该像素点原有的建筑物被拆除；当 H 分量序列为0.667-0.500-0时，在该像素点处新建了建筑物。由于色域分割是基于时序进行的，是将时序影像中的每一个 H 分量序列与建筑物变化对应 H 分量序列进行匹配，因此能够定位建筑物发生变化的具体时段。

表2 色域分割情况分类

RGB通道 输入值 ($R-G-B$)	HSV对应 数值 ($H-S-V$)	影像中地物种类及存在可能
1-0-0	0-1-1	① A: T_1 时刻影像存在噪声 ① B: T_1-T_2 时段建筑物被拆除
0-1-0	0.67-1-1	②: T_2 时刻影像存在噪声
0-0-1	0.33-1-1	③ A: T_3 时刻影像存在噪声 ③ B: T_2-T_3 时段新建建筑物
1-1-0	0.83-1-1	④ A: T_1-T_2 时段持续存在车辆等强散射体 ④ B: T_2-T_3 时段建筑物被拆除
0-1-1	0.5-1-1	⑤ A: T_2-T_3 时段持续存在车辆等强散射体 ⑤ B: T_1-T_2 时段新建建筑物
1-0-1	0.17-1-1	⑥ A: T_1 和 T_3 时刻影像存在噪声 ⑥ B: T_1 和 T_3 时刻存在车辆等强散射体
1-1-1	0-0-1	⑦ T_1-T_3 时段均为建筑物
0-0-0	0-0-0	⑧ T_1-T_3 时段均非建筑物

表3 多时相影像像素值与对应情况分类

相邻时序影像像素值 ($T_1-T_2-T_3-T_4-T_5$)	影像中地物种类及存在可能
0-1-0-0-0	① A: T_2 时刻影像存在噪声
1-1-0-0-0	① B: T_2-T_3 时段建筑物被拆除
0-0-1-0-0	②: T_3 时刻影像存在噪声
0-0-0-1-0	③ A: T_4 时刻影像存在噪声
0-0-0-1-1	③ B: T_3-T_4 时段新建建筑物
0-1-1-0-0	④ A: T_2-T_3 时段持续存在车辆等强散射体
1-1-1-0-0	④ B: T_3-T_4 时段建筑物被拆除
0-0-1-1-0	⑤ A: T_3-T_4 时段持续存在车辆等强散射体
0-0-1-1-1	⑤ B: T_2-T_3 时段新建建筑物
0-1-0-1-0	⑥ A: T_2 和 T_4 时刻影像存在噪声 ⑥ B: T_2 和 T_4 时刻存在车辆等强散射体
1-1-1-1-1	⑦ T_2-T_4 时段均为建筑物
0-0-0-0-0	⑧ T_2-T_4 时段均非建筑物

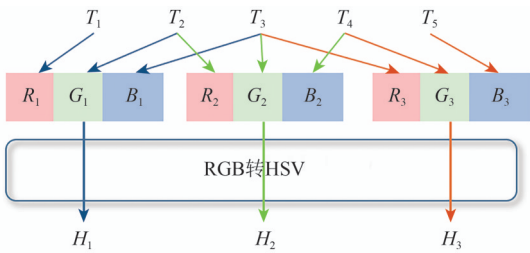


图5 相邻影像色域分割组队策略

Fig. 5 The team strategy of color model conversion about adjacent images

表4 建筑物变化对应 H 分量序列情况

相邻时序影像像素值 ($T_1-T_2-T_3-T_4-T_5$)	H 分量序列 ($H_1-H_2-H_3$)	对应情况
1-1-0-0-0	0.167-0-0	疑似建筑物被拆除
0-0-0-1-1	0-0.667-0.500	疑似新建建筑物
1-1-1-0-0	0-0.167-0	建筑物被拆除
0-0-1-1-1	0.667-0.500-0	新建建筑物

本文选取5景LT-1升轨影像，正好满足一个变化窗口筛选条件，因此在提取影像变化时可以得到发生于时间序列中第2时间到第3时间、第3时间到第4时间的建筑物变化。分别把第1、2、3景影像输入RGB通道，经色域分割后得到 H_1 ，再将第2、3、4景影像输入RGB通道，经色域分割后得到 H_2 ，最后将第3、4、5景影像输入RGB通道，经色域分割后得到 H_3 。 H_1 、 H_2 、 H_3 共同构成一个 H 分量序列 h ，用新建建筑物和建筑物被拆除这两类情况所对应的 h 对时序影像组成的每一个像素的 h 进行筛选，得到满足窗口条件的像素点，从而得到变化建筑物的位置。

3.3 相干性变化

在幅度信息提取建筑物变化的基础上，融合相干性特征，能够很好地融合两者的信息，提取到更加精确的建筑物变化检测结果。建筑物的变化是一个地物由稳定到不稳定再恢复到稳定的过程，会引起相干性序列从高到低再恢复到高的变化，而色域分割与相干性同样都是定位到具体某一景影像所发生的变化，因此可将相干性的变化作为色域分割结果的约束条件，对明确变化节点的建筑物变化检测结果进行相干性变化的判断，即只有同时满足色域分割提取建筑物变化的条件和相干性变化的条件的像素点，才能够被确定为变化

建筑物所在位置。通过将色域分割结果与相干性变化特征进行融合，可进一步提高变化检测的精度。

从色域分割的结果可见：每一种建筑物变化情况都有唯一对应的 H 分量序列，对这些变化的前后相邻影像相干性进行分析得到相干性的变化所对应的情况为：疑似建筑物被拆除时， T_1 、 T_2 这两景影像的相干性高于 T_2 、 T_3 这两景影像的相干性；疑似建筑物新建时， T_3 、 T_4 这两景影像的相干性低于 T_4 、 T_5 这两景影像的相干性；建筑物被拆除时， T_2 、 T_3 这两景影像的相干性高于 T_3 、 T_4 这两景影像的相干性；建筑物新建时， T_2 、 T_3 这两景影像

的相干性低于 T_3 、 T_4 这两景影像的相干性。建筑物变化对应 H 分量序列及相干性变化情况如表5所示。可见：在窗口匹配的同时加入相干性变化的判断条件：建筑物被拆除时，第2、3景影像的相干性高于第3、4景影像的相干性；建筑物新建时，第2、3景影像的相干性低于第3、4景影像的相干性，对经过窗口匹配的像素点再筛选一遍，剔除不满足相干性变化的像素点，最终留下既对应色域分割建筑物变化情况同时又满足相干性变化的像素点，得到基于色域分割和相干性变化的建筑物变化检测结果。

表5 建筑物变化对应 H 分量序列及相干性变化情况

Table 5 Building changes corresponding the H component sequence and the coherence changes			
相邻时序影像像素值(T_1 - T_2 - T_3 - T_4 - T_5)	H 分量序列(H_1 - H_2 - H_3)	相干性变化	对应情况
1-1-0-0-0	0.167-0-0	$C_{12}>C_{23}$	疑似建筑物被拆除
0-0-0-1-1	0-0.667-0.500	$C_{34}<C_{45}$	疑似新建建筑物
1-1-1-0-0	0-0.167-0	$C_{23}>C_{34}$	建筑物被拆除
0-0-1-1-1	0.667-0.500-0	$C_{23}<C_{34}$	新建建筑物

多时相SAR影像城区建筑物变化检测的整体技术流程如图6所示，在数据预处理和建筑物识别的基础上开展基于色域分割的变化检测和引入相

干性变化的变化检测，最终得到融合幅度和相干性的变化建筑物提取结果。

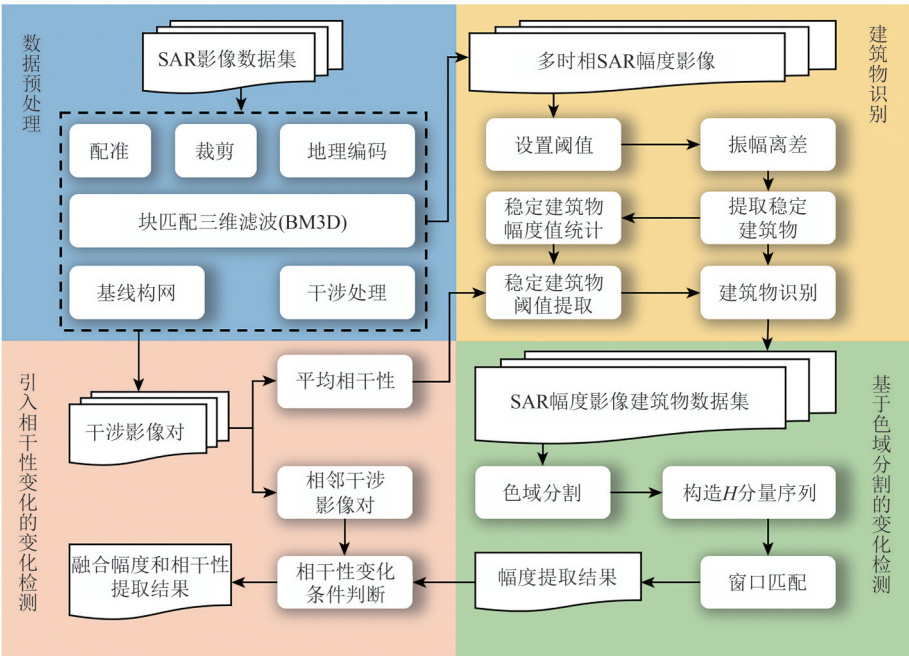


图6 多时相SAR影像城区建筑物变化检测的整体技术流程

Fig. 6 Technique flow chart of urban building change detection based on multitemporal SAR images

4 结果与分析

4.1 建筑物变化检测结果

由于影像总数较少,非建筑物的其他类型强散射体对建筑物变化提取有较大干扰,因此在实验中暂不考虑疑似建筑物变化情况。新建建筑物

和建筑物被拆除对应情况经过窗口匹配后得到完整的建筑物变化检测结果,再经膨胀处理增强像素点的显示(如图7(a)和(b)所示)。对比左右两图可以看到,引入相干性变化后,实验得到的建筑物变化像素点明显减少,说明在色域分割算法提取的建筑物变化中,有部分变化为噪声引起,并非实际建筑物变化。

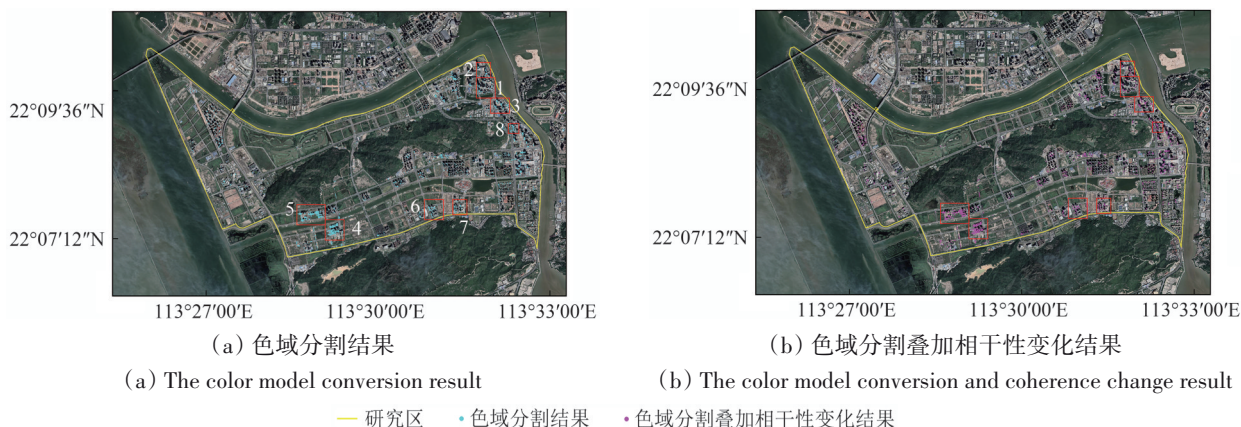


图7 谷歌地球2022年10月21日光学影像单独叠加色域分割及叠加色域分割与相干性变化的建筑物变化检测结果(图中红色方框1—8为下文用于精度验证的区域。区域1—3采用研究时段前后光学影像数据用于精度验证;区域4—8采用网页新闻等辅助信息作为验证)

Fig. 7 Building change detection results used color model conversion only and both color model conversion and coherence change based on optical image in October 21, 2022 from Google Earth (The red boxes 1–8 in the figure are the regions used for accuracy verification below. The optical images before and after the research period was used for accuracy verification of Regions 1 to 3, and the web news information was used for verification of Regions 4 to 8)

从基于色域分割和引入相干性变化的建筑物变化检测结果可见,变化建筑物主要集中在横琴镇东部毗邻澳门的区域,这一部分为横琴镇金融岛建设区域,新建建筑物主要为写字楼、办公楼、配套住宅,包括珠海横琴国际金融中心、横琴中大金融中心等。此外在中心沟南侧也分布着部分变化建筑物,主要为商场、创新科研中心、企业办公楼、住宅公寓等,包括横琴万象世界、钜星汇商业广场、港澳智慧城等等。由于实验选取的LT-1影像共5景,影像数量等于色域分割窗口匹配一个步长的距离,因此实验提取的新建建筑物变化时间落于第2景影像和第3景影像的时间范围,即2023年7月25日—2023年9月19日期间;被拆除建筑物变化时间落于第3景影像和第4景影像的时间范围,即2023年9月19日—2023年10月17日。

4.2 建筑物变化检测精度验证

选取部分典型变化区域放大进行分析(图7(a)中1—8红色方框区域所示),结果见图8和图9。图8的区域采用变化前后光学影像作为验证,图9

的区域采用网页新闻等辅助信息作为验证。结合图8和图9可见:变化检测结果所覆盖影像区域多为施工中的高楼(图8的1、2区域,图9中的5、6、7区域);同时还包括部分高楼已基本建设完成但是周边地面还在施工收尾阶段的变化情况(图中7中的3、4、8区域)。因此,建筑物变化检测结果基本落于实际建筑物施工区域,变化检测准确度较高,同时引入相干性变化前后,变化检测结果和像素点所落区域基本一致。

图8中区域1,包括保利湾区中心、中交汇通横琴广场、华发横琴府、中大金融中心等几大高楼和在售楼盘。保利湾区中心于2021年动工,预计于2024年交付,华发广场横琴府于2023年12月交房,从光学影像中可以看到,保利湾区中心在研究时间前处于施工状态,而研究时间后期已基本处于完工状态,本文变化检测结果成功检测到该处建筑物的变化。图8中区域2,是横琴国际金融中心、横琴国际交易广场和横琴金融租赁总部大厦,其中横琴国际金融中心建成时间为2020年,结果显示该建筑物西侧存在变化,从近景图中可

以看出该处为建筑入口，猜测该变化与入口处绿化建设有关；横琴金融租赁总部大厦已于2022年竣工，但其周边施工现场仍未复原，横琴国际交易广场预计于2024年全面完工，变化检测结果很好地检测到该处变化建筑物。图8中区域3，是华发广场悦琴湾、横琴府楼盘，该楼盘多个地块陆

续开发，本文变化检测研究时间同样与该楼盘建设时间吻合，同时在研究期间，其周边设施正在逐步完善中，研究时间前后光学影像同样很好地验证了这点，塔吊从出现到消失、高层建筑周边地面的铺设完善等等都进一步验证了结果的可靠性。

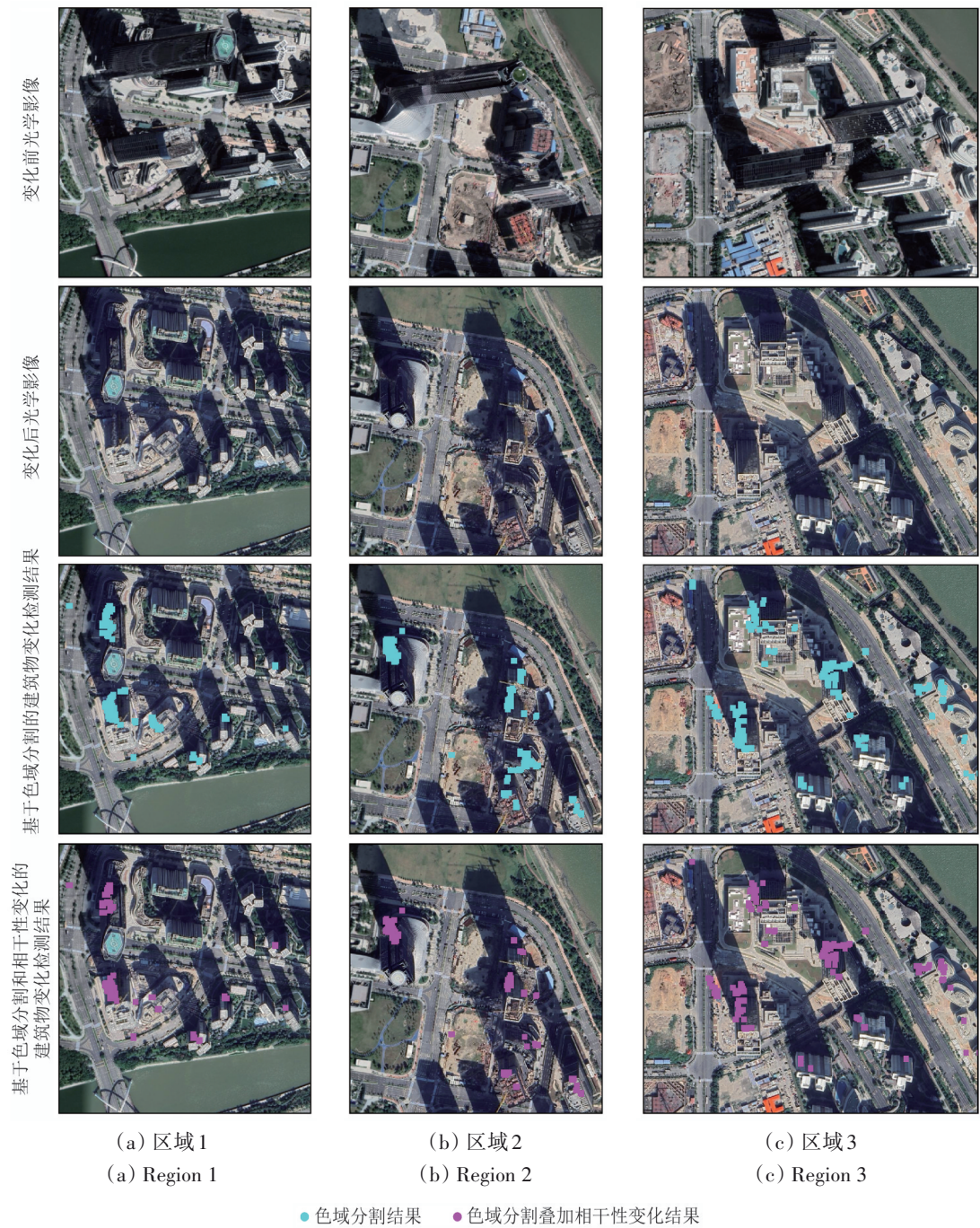


图8 区域1—3建筑物变化检测结果(各区域变化前光学影像为谷歌地球2022年10月21日光学影像;变化后光学影像和变化检测结果底图均为谷歌地球2023年11月15日光学影像)

Fig. 8 Building change detection results in Regions 1 to 3 (The optical image before the change of each region is October 21, 2022 image of the Google Earth. Both the optical image after the change and the change detection result basemap are November 15, 2023 image of the Google Earth)

图9中的区域多为住宅、新建楼盘、写字楼和商业广场，在研究时间期间大部分处于施工状态，如区域4的华润横琴万象世界楼盘整体建成时间为2018年—2023年，变化检测结果与该项目的建设吻合；区域8的铁建广场于2023年12月29日通过

竣工验收，研究时期刚好落于项目施工期，变化检测结果也成功覆盖该项目的3幢高楼。总体而言，变化检测结果与实际工程施工情况或项目落地情况相符，准确率较高，具有一定的可靠性和实际应用参考价值。

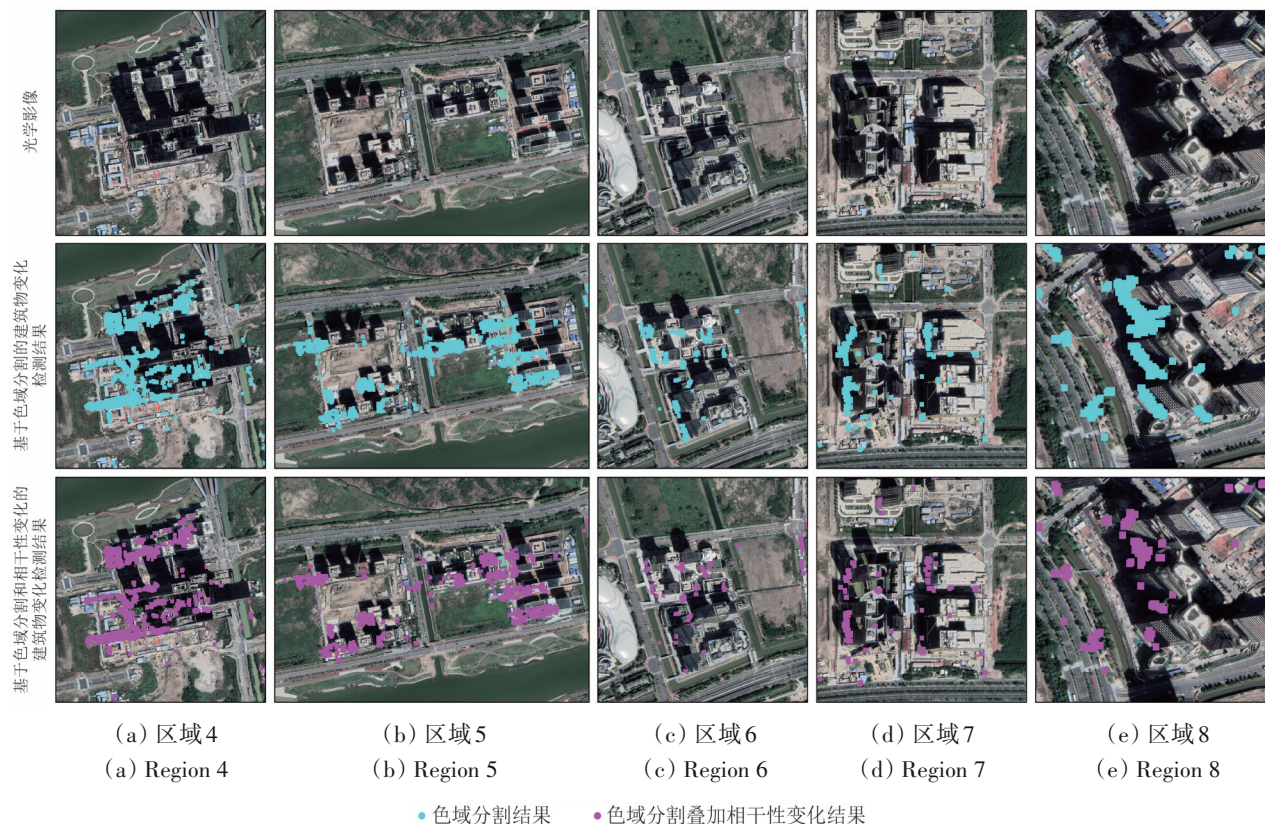


图9 区域4—8建筑物变化检测结果(所用光学底图为谷歌地球2022年10月21日影像)

Fig. 9 Building change detection results in Regions 4 to 8 (The optical basemap used is October 21, 2022 image of the Google Earth)

5 讨论

SAR影像中非建筑物的其他强散射体会对建筑物识别产生一定影响，本文利用幅度特征和相干性信息实现建筑物变化检测的实质是对SAR影像中建筑物回波强度变化和相位变化的捕捉及识别，是将建筑物视为强散射体，在识别建筑物的基础上获取变化建筑物。在城区中，铁皮垃圾桶、汽车、码头的集装箱等等都是强散射体，在建筑物识别环节会被一并识别出来。如图10所示，在研究区的西北侧为码头及物流园，常年存放着形状方正规则的集装箱，排布整齐且与道路平行，同时处于不断更迭状态。因此该算法除了能够得到城区变化建筑物外，还能够识别码头的集装箱摆放区域。

SAR成像几何同样会影响建筑物识别结果。SAR传感器多为侧视成像，雷达视线与地面成一定夹角。对于排列紧密的建筑物而言，传感器所发射的电磁波在抵达中高层建筑物后即被反射、折射，单一几何的雷达视线可能会被中高层建筑物遮挡而无法抵达中高层建筑物周边的低矮建筑物，从而导致建筑物识别过程中遗漏部分低矮的建筑物。采用不同方位角的影像进行研究可解决该问题，综合利用升降轨影像的多几何信息对城区建筑物进行识别能够很好地补充和完善单几何识别结果，提高变化检测的准确性。

LT-1影像在建筑物变化检测领域具有较好的应用潜力。在SAR影像变化检测中，影像分辨率对建筑物变化检测结果影响较大，对于中低分辨率影像而言，单栋建筑物的变化可能难以引起整

个像素灰度值的变化，在变化检测中便难以提取到建筑物的变化。不做多视处理的LT-1幅度影像分辨率可达到2—3 m，分辨单元内地物要素单一，建筑物识别结果可以精确到独栋建筑物，因此在一定程度上保证了建筑物变化检测的效率和精度。

随着LT-1数据的不断扩充，多时相SAR变化检测算法的不断改进，LT-1数据将会在建筑物变化检测领域展现出更大的应用潜力，发挥出高分辨率多时相SAR影像的优势。

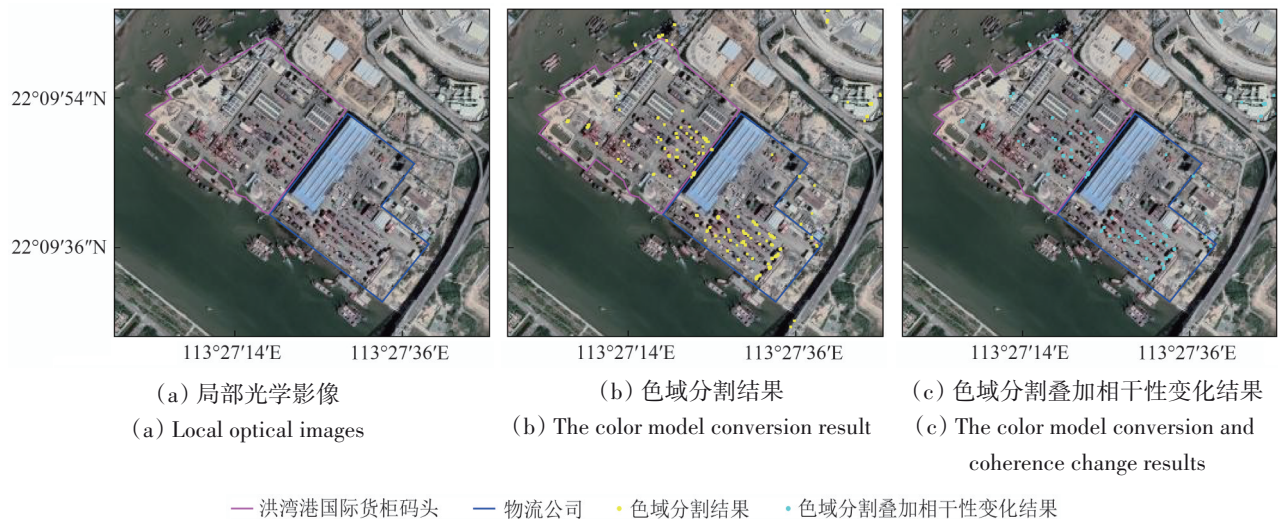


图10 研究区局部光学影像及变化检测结果(底图为谷歌地球2022年10月21日影像)

Fig. 10 Local optical images and change detection results in the study area (The basemap used is October 21, 2022 image of the Google Earth)

6 结 论

本研究为探究LT-1幅度影像在城区建筑物变化检测领域的应用能力，基于SAR影像的幅度特征和相干性信息，提出融合色域分割算法与相干性变化的城区建筑物变化检测方法，并以珠海市横琴镇局部地区（主要包括横琴镇北部、中部及东部）为例进行验证，主要结论如下：

(1) 建筑物变化检测结果基本落于实际建筑物施工区域，变化检测准确度较高，成功检测到于研究时段内施工的大型商场、楼盘等建筑物；

(2) 引入相干性变化后，变化检测结果和像素点所落区域基本一致，并能够进一步确定建筑物变化的具体时段。

本文实验结果展现了LT-1卫星数据的应用能力和变化检测精度的可靠性，希望推动基于SAR数据的城区建筑物变化检测的应用和发展，并为LT-1卫星数据应用于变化检测领域提供新的案例，为相关部门规划城区建设提供技术支撑。

志 谢 本文所用LT-1数据源于广东省国土资源测绘院。

参考文献(References)

- Amitrano D, Belfiore V, Cecinati F, Di Martino G, Iodice A, Mathieu P, Medagli S, Poreh D, Riccio D and Ruello G. 2016. Urban areas enhancement in multitemporal SAR RGB images using adaptive coherence window and texture information. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(8): 3740-3752 [DOI: 10.1109/JSTARS.2016.2555340]
- Feng H, Wu J Z, Zhang L and Liao M S. 2022. Unsupervised change detection of man-made objects using coherent and incoherent features of multi-temporal SAR images. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 33(4): 896-906 [DOI: 10.23919/JSEE.2022.000087]
- Hu F M and Wu J C. 2021. Detecting spatio-temporal urban surface changes using identified temporary coherent scatterers. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 32(6): 1304-1317 [DOI: 10.23919/JSEE.2021.000110]
- Jiang A H, Dai J, Yu S S, Zhang B L, Xie Q Y and Zhang H X. 2022. Unsupervised change detection around subways based on SAR combined difference images. *Remote Sensing*, 14(17): 4419 [DOI: 10.3390/rs14174419]
- Lee K W, Kim H C, Kim B and Lee W K. 2016. Design of SAR image feature detector for small-scaled coherent change detection//*Proceedings of 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Beijing: IEEE: 2344-2347 [DOI: 10.1109/

- IGARSS.2016.7729605]
- Li H, Li B Q, Li Y S and Duan H Z. 2023. The stability analysis of Mt. Gongga glaciers affected by the 2022 Luding M_s 6.8 earthquake based on LuTan-1 and sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 15(15): 3882 [DOI: 10.3390/rs15153882]
- Li Q, Gong L X and Zhang J F. 2019. A correlation change detection method integrating PCA and multi-texture features of SAR image for building damage detection. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1): 435-447 [DOI: 10.1080/22797254.2019.1630322]
- Li W S, Xiao X Y, Xiao P H, Wang H P and Xu F. 2022. Change detection in multitemporal SAR images based on slow feature analysis combined with improving image fusion strategy. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15: 3008-3023 [DOI: 10.1109/JSTARS.2022.3166234]
- Li Y S, Li Q, Jiao Q S, Jiang W L, Li B Q, Zhang J F and Luo Y. 2024. Application of Lutan-1 SAR satellite constellation to earthquake industry and its prospect. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 49(10): 1741-1752 (李永生, 李强, 焦其松, 姜文亮, 李兵权, 张景发, 罗毅. 2024. 陆地探测一号 SAR 卫星星座在震害行业的应用与展望. *武汉大学学报(信息科学版)*, 49(10): 1741-1752) [DOI: 10.13203/J.whugis20230498]
- Liu B, Zhang L, Ge D Q, Li M, Zhou X L, Guo Z C, Shi P Q, Zhang L, Jin D J, Wan X X, Wang Y and Wang Y. 2023. Application of InSAR monitoring large deformation OF landslides using Lutan-1 constellation. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 49(10): 1753-1762 (刘斌, 张丽, 葛大庆, 李曼, 周小龙, 郭兆成, 石鹏卿, 张玲, 金鼎坚, 万祥星, 王宇, 王艳. 2023. 陆地探测一号卫星滑坡大变形 InSAR 监测应用. *武汉大学学报(信息科学版)*, 49(10): 1753-1762) [DOI: 10.13203/J.whugis20230478]
- Liu Y H, Qu C Y, Shan X J, Song X G, Zhang G F and Zhang G H. 2010. Application of SAR data to damage identification of the Wenchuan earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 32(2): 214-223 (刘云华, 屈春燕, 单新建, 宋小刚, 张桂芳, 张国宏. 2010. SAR 遥感图像在汶川地震灾害识别中的应用. *地震学报*, 32(2): 214-223) [DOI: 10.3969/j.issn.0253-3782.2010.02.009]
- Marin C, Bovolo F and Bruzzone L. 2015. Building change detection in multitemporal very high resolution SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(5): 2664-2682 [DOI: 10.1109/TGRS.2014.2363548]
- Monti-Guarnieri A V, Brovelli M A, Manzoni M, Alessandro M M, Molinari M E and Oxoli D. 2018. Coherent change detection for multipass SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(11): 6811-6822 [DOI: 10.1109/TGRS.2018.2843560]
- Wang Z H, Li S Q and Wang J L. 2022. Multi-scale analysis for coherent change detection: a method for extracting typical changed area. *Remote Sensing*, 14(19): 4986 [DOI: 10.3390/rs14194986]
- Yin S J, Wu C Q, Wang Q, Ma W D, Zhu L, Yao Y J, Wang X L and Wu D. 2013. Review of change detection methods using multitemporal remotely sensed images. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 33(12): 3339-3342 (殷守敬, 吴传庆, 王桥, 马万栋, 朱利, 姚延娟, 王雪蕾, 吴迪. 2013. 多时相遥感影像变化检测方法研究进展综述. *光谱学与光谱分析*, 33(12): 3339-3342) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)12-3339-04]
- Yousif O and Ban Y F. 2013. Improving urban change detection from multitemporal SAR images using PCA-NLM. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(4): 2032-2041 [DOI: 10.1109/TGRS.2013.2245900]
- Zhang K Y, Lv X L, Chai H M and Yao J C. 2022. Unsupervised SAR image change detection for few changed area based on histogram fitting error minimization. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60: 5231819 [DOI: 10.1109/TGRS.2022.3190977]
- Zhang L P and Wu C. 2017. Advance and future development of change detection for multi-temporal remote sensing imagery. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 46(10): 1447-1459 (张良培, 武辰. 2017. 多时相遥感影像变化检测的现状与展望. *测绘学报*, 46(10): 1447-1459) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20170340]
- Zhu J J, Li Z W and Hu J. 2017. Research progress and methods of InSAR for deformation monitoring. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 46(10): 1717-1733 (朱建军, 李志伟, 胡俊. 2017. InSAR 变形监测方法与研究进展. *测绘学报*, 46(10): 1717-1733) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20170350]

Urban building change detection on the basis of multitemporal LT-1: A case study of Hengqin Town, Zhuhai City

WANG Xiuhua¹, FENG Guangcai¹, WANG Bin², LIU Jincang², JIANG Hongbo¹, LI Ning¹

1. Radar Remote Sensing Laboratory, School of Geosciences and Info-physics, Central South University,
Changsha 410083, China;

2. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department Guangdong Province, Guangzhou 510663, China

Abstract: Urban building change detection is an important part of land use, resource management, and urban planning. It plays an extremely important role in urban development, housing security and post-disaster reconstruction in earthquake areas. Optical image and SAR image are two commonly used data sources in urban building change detection. Optical images have the advantages of high resolution, high timeliness and convenient visual interpretation in change detection. However, optical images are difficult to use because of the

influence of cloud, fog, and rain weather in southern China. SAR satellite is a side-looking imaging, and its imaging signal contains rich surface texture information, which is convenient for change detection and analysis. In SAR images, the change of ground objects can cause the change of amplitude information and coherence characteristics of SAR images, and buildings have certain imaging characteristics. China's self-developed LT-1A/1B satellite has the advantages of high resolution, short return period, multipolarization, and all-day, all-weather operation. It can be used as an important supplement to optical images and has strong application potential in change detection. At present, the mining and utilization of SAR image timing information is not enough, and there are still some problems in the fusion of amplitude feature and coherence information. Therefore, it is of great significance to integrate the amplitude and coherence characteristics of multi-temporal SAR images to realize the change detection of urban buildings for the development of urban planning statistics. On the basis of LT-1 data, this study proposes an urban building change detection algorithm that combines multitemporal SAR amplitude and coherence information. The algorithm uses building recognition, color model conversion, and coherence change constraints to correlate multitemporal image pixel value changes to building changes, thereby obtaining urban building change areas and locating building change periods. Through the conversion of color model, the change characteristics of changing buildings in H component are distinguished, and the color gamut segmentation is classified and discussed to further determine the correspondence between building changes and H component sequences. The algorithm also analyzes the comparative changes of coherence before and after building changes, and obtains the corresponding relationship between building changes and coherence changes. With the amplitude and coherence information, the algorithm can locate the time period of change accurately and the misjudgment area is better eliminated. The local area of Hengqin Town, Zhuhai City, is employed as an example to conduct an experiment, and the results of building change detection in the study area are obtained using five scenes of LT-1 ascending images from June 23, 2023, to November 14, 2023. In addition, combined with the development of Hengqin, the results of building change detection in the northeast and central parts of Hengqin Town are verified against the construction periods of buildings. The findings show that the changes in 19 buildings in eight typical areas are consistent with the construction period of buildings, verifying the reliability of the algorithm. This work reveals the application ability and value of LT-1 data in urban building change detection. These data have a wide application prospect in urban planning and illegal construction investigation.

Key words: SAR, building change detection, amplitude, color model conversion, coherence

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 42174039)