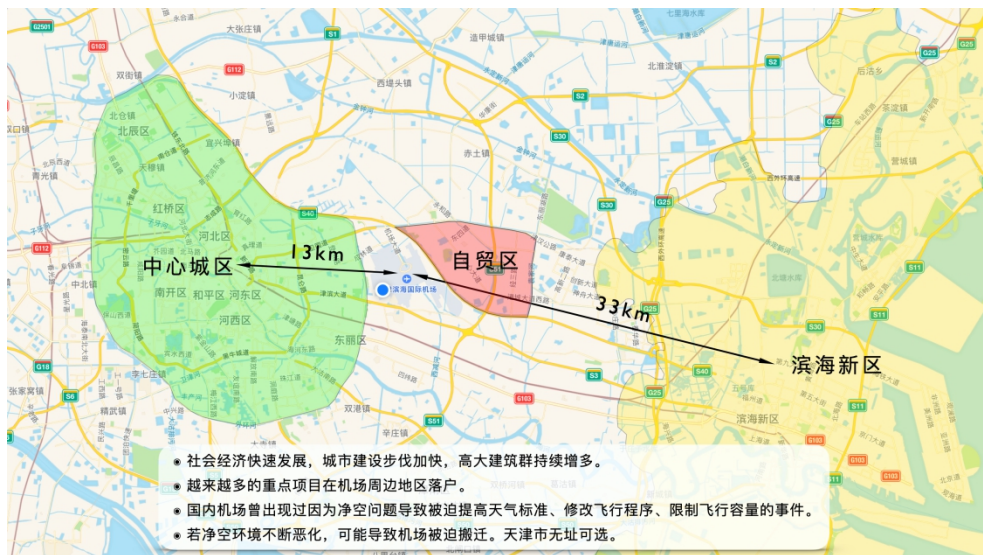


《InSAR 技术在机场净空保护区监测巡查的研发及应用》 介绍材料

一、系统概述

近年来，随着社会经济和机场周边临空产业的快速发展，城市建设与机场净空安全之间的必然矛盾逐步凸显。国内多个机场都相继出现了净空问题导致机场被迫提高天气标准、修改飞行程序、限制容量甚至被迫搬迁的事件，造成了巨大的经济损失和负面社会影响。天津机场因独特的地理位置（见下图）也发生过类似问题。为解决上述问题，天津机场采取多种手段加强净空管理，取得了一定成果，但依靠传统的巡视方式很难对天津机场净空保护区（ 1007km^2 ）内所有建筑物做到及时发现、及时处理，巡视检查针对性不强，效率低。



天津机场地理区位图

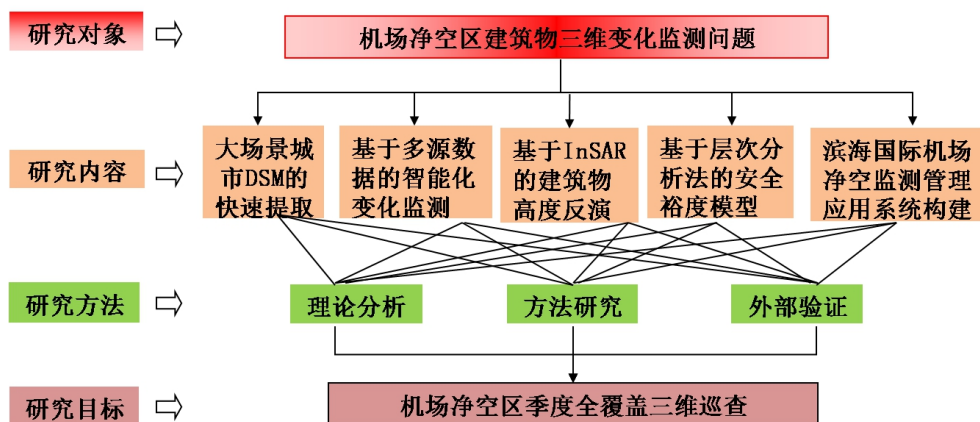
合成孔径雷达干涉测量技术（简称：InSAR 技术）是一种新型遥

感观测手段，它借助卫星平台的优势和干涉测量理论，实现高分辨率的地表形变监测，具有全天候、全天时、高精度、范围广的优势，在地表监测领域显示出越来越大的应用潜力。

天津机场创新性的把 InSAR 技术应用于净空管理，自主研发国内首个应用 InSAR 技术的净空智慧监测系统。系统构建了三维城市地图，精确采集了净空保护区范围内全部建筑物（约 30 万栋）的坐标及高程数据。周期性对建筑物的变化情况进行动态监测，对高程和坐标信息进行精确测量。建立分层级的预警阈值体系，自动统计、计算、分析、评估建筑物的超高情况，有效识别已经超高的障碍物和潜在的风险源，并分层级自动预警，为人工巡视提供靶向依据，颠覆了传统的净空巡视工作模式，有效解决人工巡视覆盖不全、针对性不强、不及时的问题。建立三维数据库，对净空保护区内所有建筑物进行动态管理，实现净空管理的专业化、数字化、智能化。

二、研发内容

系统研发的总体技术路线，见下图所示：



系统研发的总体技术路线

1、大场景城市 DSM 的快速与自动化提取研究

建立高可靠性的通用多角度多视影像匹配模型，进行模型关键技术研究 and 实现，提出城市三维 TIN 网算法，在保证三维 TIN 构网正确的情况下，提高构网效率，使其适应于净空保护区大场景城市 DSM 快速提取。并以航空影像为数据源（见下图），获取天津滨海国际机场净空保护区内全部建筑物坐标、轮廓的本底数据，成功采集建立三维城市地图的数据信息。



获取立体像对

2、基于多源数据的智能化变化监测方法研究

研究面向对象的高分辨率遥感影像变化检测方法与关键技术，针对机场净空保护区监测巡查对建筑物变化监测的实际需求，运用数学形态学运算和随机森林算法实现建筑物的智能化识别与变化检测。并以航空影像和光学影像为数据源，采用该建筑物变化监测技术，获取

天津滨海国际机场净空保护区建筑物的变化信息。经过天津机场大量的随机外业验证，该方法获取的建筑物变化识别率达到 95%以上。

3、基于 InSAR 的建筑物高度反演

对建筑物合成孔径雷达散射特性进行分析，研究建筑物电磁散射模型和基于 GIS 空间数据的建筑物定位，建立基于 GIS 空间数据的建筑物高度仿真反演和迭代分析方法。并以高分辨率 TerraSAR 影像为数据源，采用该建筑物高度反演算法，获取天津滨海国际机场净空保护区变化建筑物的现势高程数据。经过天津机场大量外业验证（见下图），该方法获取的建筑物高程测量误差为 ± 1 米。

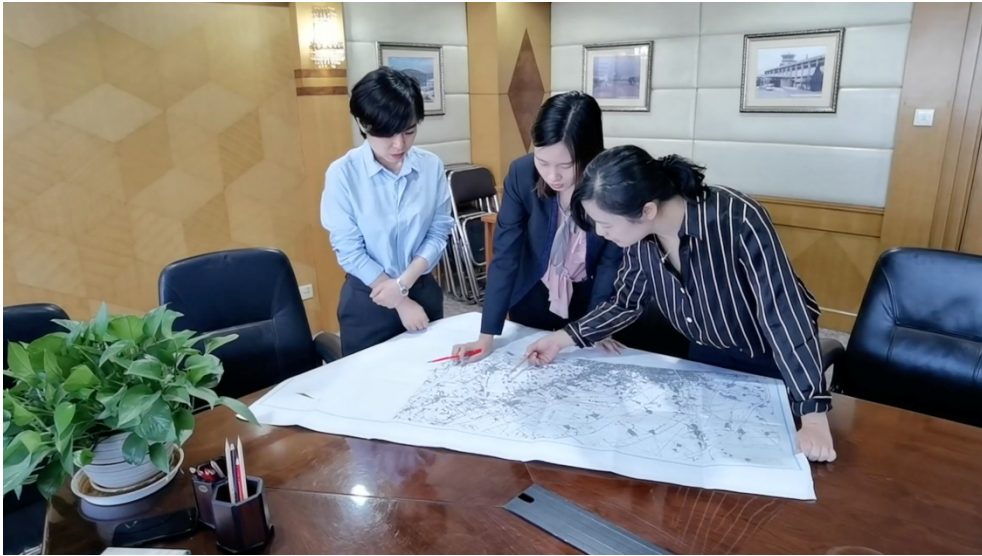


现场验证高度信息

4、基于层次分析法的预警阈值体系研究与应用

借鉴国内多个机场的先进经验，考虑施工机具、施工进度、巡视频次等实际情况，结合 InSAR 技术高程反演误差，预留安全裕度，运用层次分析法建立预警阈值评价模型。经过多次研讨（见下图），选

取最优方案，依次建立分层级的预警阈值体系。对机场净空保护区建筑物三维监测成果进行典型障碍物限制面的限高情况分析和突破预警阈值面限制高度情况分析。



预警阈值研讨

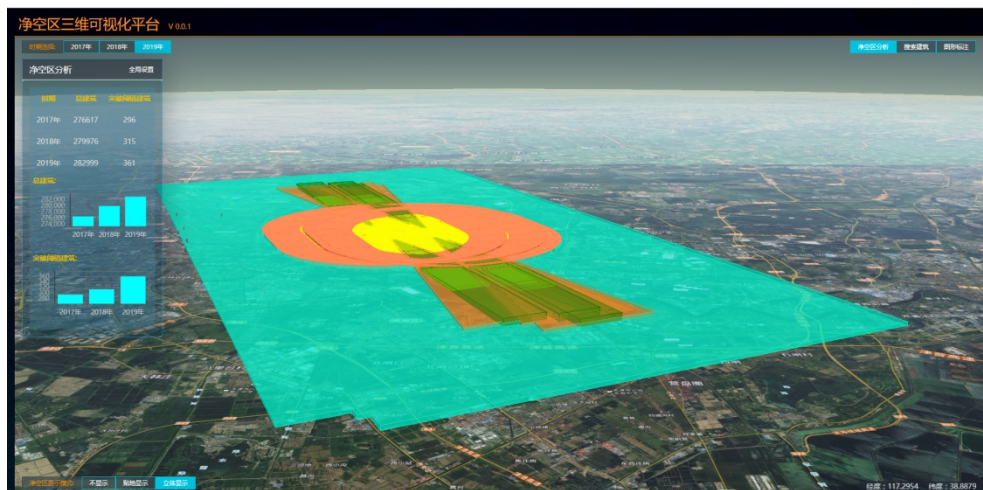
5、天津滨海国际机场净空监测系统构建

研究系统设计的架构、软件体系、实现的关键技术，采用面向对象的架构方式构建一套实用性强的天津滨海国际机场净空监测系统。系统主要实现光学数据、InSAR 数据等地理底图数据的海量数据管理，建筑物三维动态数据版本的更新和数据库的建立。完成建筑物的三维可视化渲染和分析，建立三维城市地图，并采用“等高线”思想实现建筑物与预警阈值面的对比。成功监测 3000 多栋新建、高度变化的建筑物情况，实现对建筑物高度变化情况的精准测量和动态监控。

三、成果展示

1、基于三维 GIS 的 InSAR 净空智慧监测系统总览

InSAR 净空智慧监测系统以 2017 年 5 月天津机场净空保护区内所有建筑物三维数据为基础，周期性获取天津机场净空保护区内高度变化建筑物的经纬度、高度（85 高程），建立三维数据库，自动判断建筑物是否突破系统设置的预警阈值体系，统计 2017-2019 年净空保护区内建筑物总体情况，并以柱状图呈现历年增长趋势（见下图）。



InSAR 净空智慧监测系统总览

2、三维城市地图

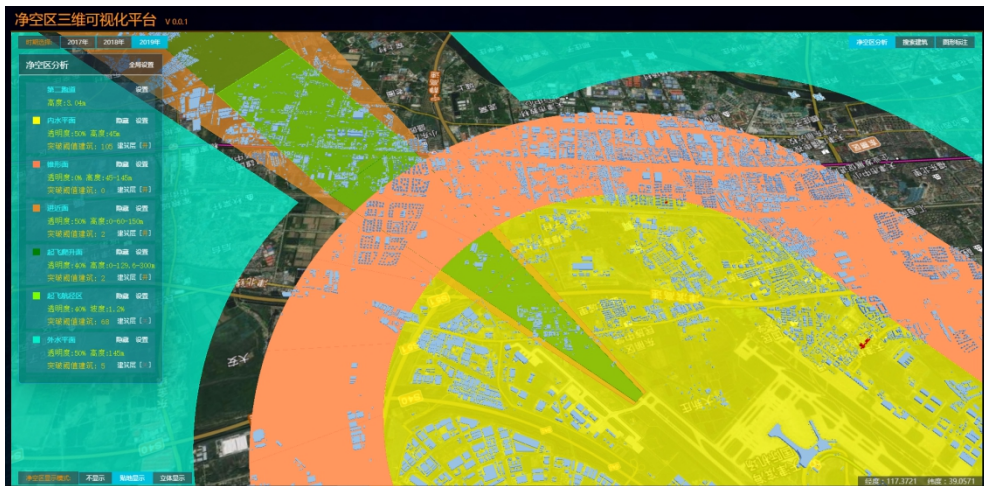
建立天津机场净空保护区的三维城市地图，以真实城市地图为基础，三维展示每个建筑物的轮廓，精确显示建筑物名称、坐标、高度以及是否突破阈值面等关键信息（见下图）。



三维城市地图

3、预警阈值体系

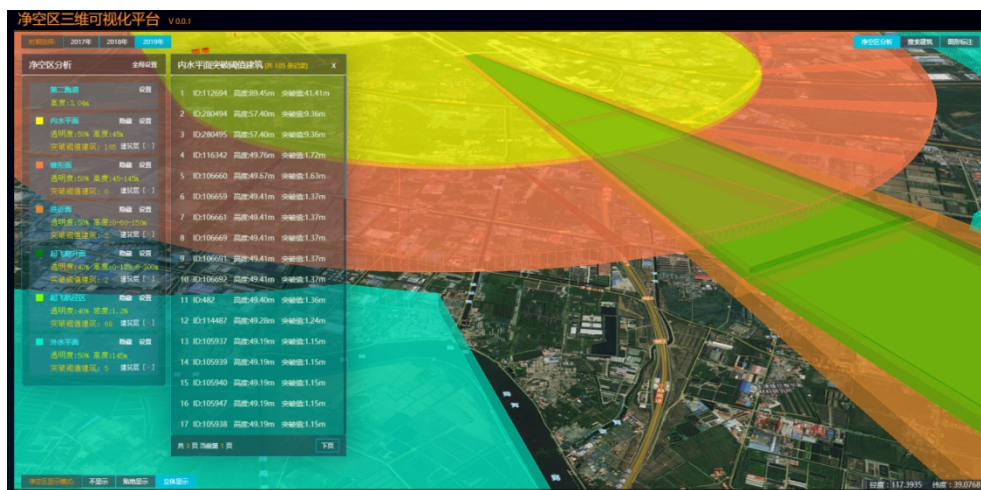
为天津机场每条跑道（含规划跑道）建立三维显示的障碍物限制面，可根据实际情况动态调整每个限制面的高度、坡度、颜色等参数，形成不同预警阈值，建立分层级的预警体系。阈值面能直观显示所在地理位置和实际高度，实现阈值面与建筑物直接的高度对比（见下图）。



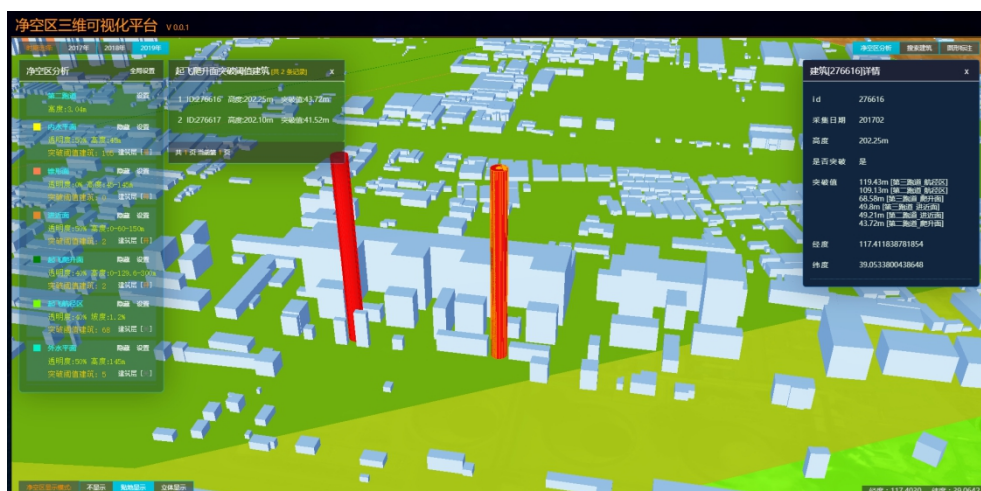
预警阈值体系

4、自动的净空限高分析和预警提示

系统实现对建筑物高度的自动限高分析，当预警阈值调整后，可对净空保护区近 30 万个建筑重新进行净空计算，统计突破阈值面的建筑信息，自动形成列表，并按超过阈值的大小进行降序排列（见下图）。同时，超过阈值面的建筑物将会已高亮显示，提示巡视人员重点关注，实现自动预警（见下图）。



限高分析列表



超高建筑物高亮提示

5、建筑物变化的动态监测

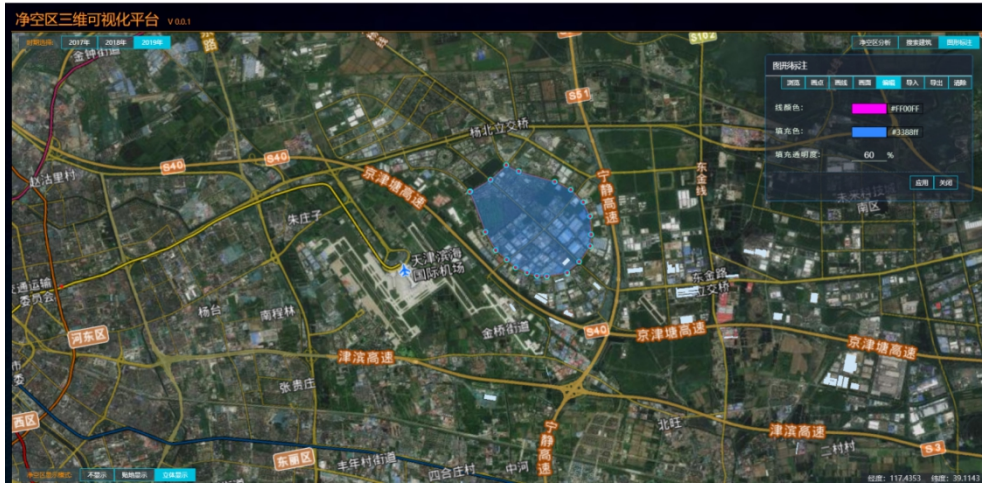
以固定时间为周期，监测天津机场净空保护区内所有建筑物的变化情况，精确获得高程、坐标信息，自动输出每个周期新增建筑列表，更新三维数据库，提供测量结果和净空限高分析结果，为人工巡视提供靶向依据（见下图），大幅提高净空巡视效率。



周期监测结果

6、其它功能

系统实现地理底图切换（矢量地图、影像图、InSAR 底图）、距离测量、面积测量、高度检索、简单画图和自定义标注等功能（见下图）。



面积测量

6、论文著作

在中文核心期刊《测绘通报》中成功发表论文《基于多元遥感数据的净空区三维动态监测》。

在《北京工业职业技术学院学报》中成功发表论文《基于 GIS 和高分辨 SAR 数据的机场净空建筑物高度提取》。

7、发明专利

系统已申请发明专利，目前正在进行实质性审核（见下图）。



国家知识产权局

300000

天津市河西区郁江道 17 号 229-1 天津合正知识产权代理有限公司
吕琦 (022-88286985)

发文日:

2019 年 08 月 08 日



申请号或专利号: 201910171436.X

发文序号: 2019080500196340

申请人或专利权人: 天津滨海国际机场 天津市测绘院

发明创造名称: 基于 GIS 和 SAR 的建筑物高度反演方法和装置

发明专利申请公布及进入实质审查阶段通知书

上述专利申请, 经初步审查, 符合专利法实施细则第 44 条的规定。根据专利法第 34 条的规定, 该申请在 35 卷 3102 期 2019 年 08 月 02 日专利公报上予以公布。

根据申请人提出的实质审查请求, 经审查, 符合专利法第 35 条及实施细则第 96 条的规定, 该专利申请进入实质审查阶段。

提示:

1. 根据专利法实施细则第 51 条第 1 款的规定, 发明专利申请人自收到本通知书之日起 3 个月内, 可以对发明专利申请主动提出修改。

2. 申请人可以访问国家知识产权局政府网站 (www.sipo.gov.cn), 在专利检索栏目中查询公布文本。如果申请人需要纸件申请公布单行本的纸件, 可向国家知识产权局请求获取。

3. 申请文件修改格式要求:

对权利要求修改的应当提交相应的权利要求替换项, 涉及权利要求引用关系时, 则需要将相应权利要求一起替换补正。如果申请人需要删除部分权利要求, 申请人应该提交整理后连续编号的部分权利要求书。

对说明书修改的应当提交相应的说明书替换段, 不得增加和删除段号, 仅能对有修改部分段进行整段替换。如果要增加内容, 则只能增加在某一段中; 如果需要删除一个整段内容, 应该保留该段号, 并在此段号后注明: “此段删除” 字样。段号以国家知识产权局回传的或公布/授权公告的说明书段号为准。

对说明书附图、摘要、摘要附图修改的应当提交相应的说明书附图、摘要、摘要附图替换页。

同时, 申请人应当在补正书或意见陈述书中标明修改涉及的权利要求、段号、页。

审查员: 路景涛

审查部门: 专利局初审及流程管理部

联系电话: 010-62356655

210308 2018.10 纸质申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区前门桥西土城路 6 号 国家知识产权局专利局受理处收
电子申请, 应当通过电子专利申请系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。

发明专利公布及进入实质审查阶段通知书

8、软件著作权

“基于三维 GIS 的净空智慧监测系统 V2.0” 已正式获取计算机软件著作权 (见下图)。



计算机软件著作权登记证书

四、应用效果

系统正式投用后，对天津机场净空保护区内全部建筑物（约 30 万栋）位置、高度等情况进行全方位排查，对全部建筑物进行限高分

析和分层级自动预警。天津机场根据系统周期性排查结果进行层级分类，不同层级采用不同管控手段。对存在新建、高度变化建筑物的区域规划巡视路线，及时跟进建设等情况；对突破预警阈值体系的建筑物，确保在一个周期内完成所有突破预警阈值体系建筑物的查验，及时排查潜在风险源；对确实存在安全风险的建筑物，联系建筑物施工单位、管理单位采取净空安全提示、限高审批手续核查等一系列管控。

InSAR 净空智慧监测系统为人工巡视提供靶向依据，有效提高净空巡视效率，降低人工成本，预防突破障碍物限制高度的事件发生，避免对机场安全运行产生影响以及拆迁带来的巨大经济损失。系统显著提升机场净空管理智慧化、精细化水平，极大地降低净空安全潜在风险，确保飞行安全，具备广阔的推广前景。系统在机场总体规划布局、地表形变监测等其他领域也具有借鉴价值。

五、未来发展

系统自投入使用以来，受到国内多个机场和空军的高度关注，获得了民航局的高度认可，得到了中国测绘科学研究院的高度评价。在2019年华北局年度安全管理会议上，InSAR 净空智慧监测系统作为亮点工作向全华北地区各机场率先推广。

目前系统已开展二期研发工作。由于系统一期的航空影像和遥感数据影像分别来自美国和德国，数据成本较高，为降低系统运行成本，提高安全性，此次研发将重点开展基于国产卫星的建筑物三维变化经济监测，不断优化数据分析、处理技术，完成国产卫星遥感技术在民航净空管理领域的研发及应用。同时，系统的二期研发将充分结合三

维 GIS 平台，实现对建筑物所在限制面及其限制高度等内容的智能分析和判断，把机场净空管理手段从二维静态管理提升至三维动态管理；通过不断学习、迭代，优化预警阈值体系，提升建筑物防控预警的准确性和可操作性，打造具有世界领先水平的 InSAR 净空智慧监测系统。

（文章最后插入“国内首个基于国产卫星的净空智慧监测系统在天津机场研发成功”视频）