引文格式：周小迦,彭益坤. 一种高精度地图质量控制与修正方法[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 5-8. doi:10.3969/j.issn.1672-4623.2023.11.002

一种高精度地图质量控制与修正方法

周小迦[1]，彭益坤[2]
（1. 辽宁省测绘产品质量监督检验站，辽宁 沈阳 110034；2. 湖北亿咖通科技有限公司，湖北 武汉 430100）

摘　要：目前高精度地图仍采取半自动交互形式制作，因此控制与评价高精度地图质量显得尤为重要。根据高精度地图制图规范、产品规格书等开发地图要素检查系统，可实现部分自动修正功能。依据空间拓扑关系与要素逻辑检查，设立三级检查机制，实现程序自动查、改、报错等功能，并根据错误要素重要性修改占比自动计算地图品质率。经杭州亚运会测试场与德清测试场实验可知，该方法可极大地提高审图效率，客观、公正地评价地图的品质率；其建立的检查机制模型不仅为地图从业者提供了借鉴方法，也为国家确立地图相关评价规范提供了参考。

关键词：地图制图；高精度地图；质量控制；自动检查项；修正方法
中图分类号：P283.7　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0005-04

Quality Control and Correction Method of High Definition Map

ZHOU Xiaojia[1], PENG Yikun[2]
(1. Liaoning Province Quality Supervision and Inspection Station for Surveying and Mapping Products, Shenyang 110034, China;
2. ECARX Technology Co., Ltd., Wuhan 430100, China)

Abstract: At present, high definition(HD) map is still made in the form of semi-automatic interaction. It is particularly important to control and evaluate the quality of HD map. In this paper, we used HD map drawing specifications and product specifications to develop a map element inspection system, which could realize some automatic correction functions. According to the spatial topological relationship and element logic inspection, three-level inspection mechanisms were established to realize the functions of automatic program inspection, correction and error reporting, and automatically calculate the map quality rate according to the proportion of importance of wrong elements. The experiments of Hangzhou Asian Games test field and Deqing test field show that this method greatly improves the efficiency of map review, and can objectively and fairly evaluate the quality rate of map. The inspection mechanism model established by this method not only provides reference methods for map practitioners, but also for the country to establish relevant evaluation norms of maps.

Key words: cartography, HD map, quality control, automatic inspection item, correction method

自动驾驶汽车研究领域的快速发展，使得规划、感知、控制、地图绘制和定位系统的研究急剧增加[1-6]，而高精度地图方向自动更新与质量控制评价也一直是各地图从业者研究的重点。当前高精度地图仍采用半自动化与人机交互相结合的形式绘制，如何标准化评定高精度地图质量、判断是否达到地图编译标准、实现自动化纠错是必须攻克的问题[7]。基于上述问题，李星滢[8]等提出了一种基于高影响力评价算子HEEO的矢量地图质量多级模糊综合评价方法；鄂新华[9]等提出了一种DNS数据质量评价方法。2019年百度地图研发了一种地图准确度评价方法和装置[10]。同时，HERE、TomTom、四维图新等国内外知名图商虽有自成一体的地图质量检查系统[11-12]，但检查逻辑并不完善，如车道线高程或水平抖动检查无法定位、车道中心线与车道线逻辑关系判断不准确、空间拓扑buff无法包含全部车道线等。检查项缺失以及缺乏一套标准化高精度地图评价检验体系等问题仍未解决。

本文通过研究电子地图国家规范标准、部分车企对高精度地图规格交付要求以及部分图商的地图要素检查包，开发了一套地图要素检查项。依据空间拓扑关系与要素逻辑检查，创新性地设立了S、A、B三级检查机制，实现了程序自动查、改、报错等功能；并根据错误要素重要性修改占比自动计算地图品质率，帮助确认是否达到出品编译标准，技术路线见图1。

1　模型设计

绘图员根据高精度地图数据工艺书，基于点云、照片、轨迹信息等资料制作车道级要素等。要素制作

收稿日期：2022-05-24。
第一作者简介：周小迦（1988—），硕士研究生，高级工程师，主要从事测绘产品质量检验工作，E-mail：shidejie2022@163.com。

内容包括几何（点、线、面）、关联关系（拓扑连接关系、各要素的关联性关系）、属性（类型、形态、编号、方向等）3大类，大多数要素几何、属性及其关联关系是经过机器学习后算法模型根据图像标注/点云语义分割等方式融合后自动感知输出的，部分感知遗漏和错误将流转至作业员进行修正，需检查修正完的高精度地图数据，控制数据质量。系统设计了对应的质量自动化控制与自动统计品质率模块。

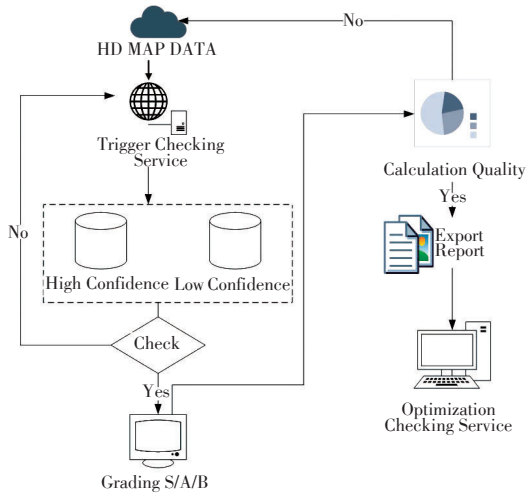


图1　技术路线图

1.1　自动化控制模块

该模块主要通过自动检查服务实现自动报错，错误流转至全自动修正或人工确认是否执行自动修正。空间拓扑关系检查包含地图要素（车道线、地面箭头、车道中心线等）间是否压盖相交、相邻（挂接）、相离、重叠等内容。逻辑检查模块负责数据间的逻辑生成、各要素间的关联和拓扑关系检查、数据的逻辑属性检查。检查去重模块将逻辑检查与空间拓扑关系检查结果汇总，自动去除相同报错项的模块。自动修正模块根据报错报表的具体错误内容，并利用错误中引用的要素主键或其他定位信息对所有高置信的报错（100%确认）进行自动修改。人工确认修正模块将所有低置信的报错（未达到100%确认）通过数据流转机制流转至作业员账号，程序可直接根据要素主键ID或引用的外键ID索引数据坐标定位，人工确认检查报表以及是否需要执行自动修正。

1.2　品质率计算模块

数据经过自动化控制模块后将输入品质率计算模块，其中自动修正过滤模块池对应所有检查模块中自动执行高置信自动修正的所有有效错误；人工确认修正过滤模块池对应人工确认检查报表中发现并确认执行自动修正的所有有效错误；错误汇总模块池则对自动检查修正与人工确认检查修正过滤后的所有有效错误进行分类统计汇总，根据产品数据工艺规格书、各类数据错误对车端应用的影响程度，将输出错误分为S、A、B级；品质率自动统计模块负责统计各任务中各要素个数、该任务错误总量和错误分类，自动统计各要素各错误等级的品质率，并结合各类数据错误对车端应用的影响程度确定各类错误权重，再根据应用需求自定义配置质量分级评定模块参数，设定S、A、B级的权重比例，自动计算地图品质率。模块数据流转见图2。

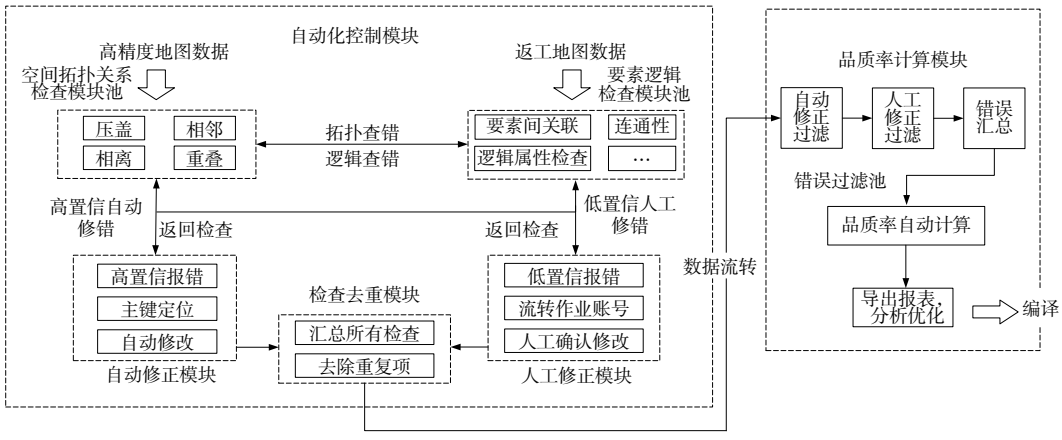


图2　模块设计图

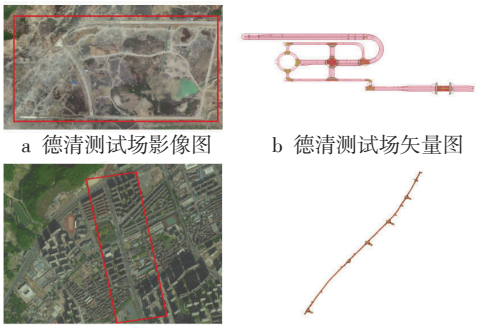
2　实验对象与方法

2.1　实验设备与场景

本次实验采用1台采集车，配备1个Pandar-64线激光雷达、2个HDL-32线激光雷达、3台工业级相机、1台诺瓦泰惯导系统、1台BDS/GPS/GLONASS/Galileo接收机。实验场地选择德清无人驾驶测试场和杭州亚运会无人驾驶开放测试场（图3）。

2.2　方案设计

1）设立分组。本文进行对比实验，分成两组，依据实验场景点云处理自动化成图，甲组按规范标准制作高精度地图，乙组在甲组的基础上修改部分地图要素，



a 德清测试场影像图　b 德清测试场矢量图

c 亚运会测试场影像图　d 亚运会测试场矢量图

图3　测试场景图

两组同时提交检查包，查看乙组是否自动修改部分错误，导出错误报告，改动部分见图4，序号1处修改车道线折角，序号2处修改关联左右车道线，序号3处修改压盖车道虚线框，序号4处修改车道分离点属性。

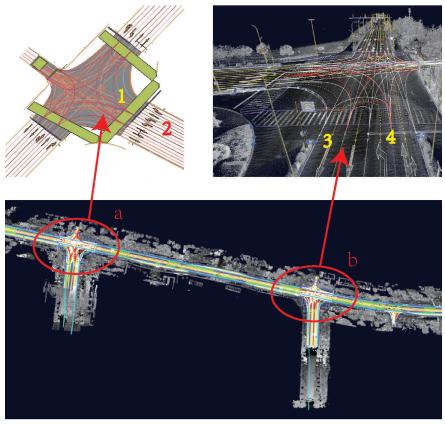


图4　改动部分示意图

2）确定错误要素等级。依据产品规格书和国家相关规范，设定S级（必改）错误，即必然对车道级导航造成影响的错误，如要素空间关系错误、车道属性错误、车道连通性错误等；A级（重要）错误，即大概率造成影响的错误，如红绿灯关联车道线错误、限速未关联车道线、部分语义关系错误等；B级（需确认）错误，即可能造成影响的错误，如杆状物要素空间位置、车道线绘制不平滑抖动等。

3）自动修正与品质率计算。提交分组任务，查看乙组修改部分程序是否自动修正，导出各实验任务品质率计算明细，核对结果。

2.3　计算公式

品质率计算汇总公式为：

$$y=\left(1-\frac{x}{\theta\times x}\right)\times 100\%$$

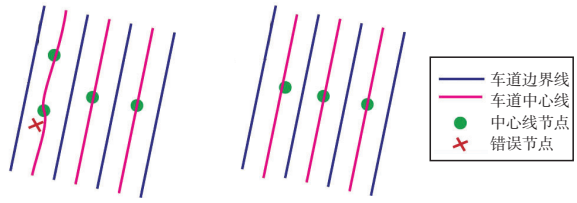
式中，x 为单要素各级别错误总数；θ 为单要素总数。

对上述数据进行加权计算，即可得到单要素综合品质率，即 $\delta=S_{品质率}\times S级权重+A_{品质率}\times A级权重+B_{品质率}\times B级权重$ 。

3　实验结果与分析

3.1　车道线折角分析

对于车道中心线异常折角，程序可检查车道中心线中相邻3个折点形成的夹角，设置第一报错阈值，可根据线要素的平滑要求自定义设置，设置当3个折点夹角≤预设角度阈值时报错；自动修正可根据所有线要素的异常夹角，对比周边多个报错组角度，抽稀删除最小夹角组的中间折点，完成后重复检查，直至无报错即可。实验结果见图5，程序根据相邻（1,2,3）、（2,3,4）、（3,4,5）3组折点形成夹角≤178°报错，根据相邻3个报错组，自动删除其中折角最小组（2,3,4）中间折点3，结果表明车道线空间拓扑关系检查池可自动查找并修正部分错误。



a 车道线折角　b 程序自动修改车道线

图5　车道线折角修改示意图

3.2　车道中心线关联关系分析

对车道中心线与对应关联左右车道线的空间位置进行检查，若中心线不位于左右车道线中间则报错（设置中心线距离左右车道线距离差值过大报错的第一阈值）；通过几何计算求面积法，可判断车道线位于车道中心线的左侧还是右侧，左右判断是基于矢量线前进方向的。平面上3点 $P_1(x_1,y_1)$、$P_2(x_2,y_2)$、$P_3(x_3,y_3)$ 面积的计算公式为 $S(P_1,P_2,P_3)=(x_1-x_3)(y_2-y_3)-(y_1-y_3)(x_2-x_3)$ ，当 $P_1P_2P_3$ 逆时针时，S 为正数；顺时针时，S 为负数。同理，判断车道线位于中心线左右侧的方法为：令中心线矢量的起点为 A 、终点为 B ，待判断的左右侧车道线矢量上的折点为 C ，若 $S(A,B,C)$ 为正数，则 C 在矢量AB的左侧；若为负数，则 C 在矢量AB的右侧；若为0，则 C 在矢量AB线上；若同一条矢量上多个折点计算的结果有正有负也有零，则 C 所在的矢量车道线与矢量线AB相交或相接。通过计算左右车道线上的折点与对应关联中心线起点终点形成的几何面积来判断车的中心线关联的左右车道线的左右方位（Left/Right）是否正确。自动修正程序可根据报错要素引用的外键ID，自动删除、新建、替换拓扑关系外键ID。由图6可知，报错log为中心线8228与8562的拓扑关系多余，且中心

线8228与8561的拓扑关系缺失，程序会根据报错的中心线ID删除中心线8228与8562的连接关系，新建中心线8228与8561的连接关系。

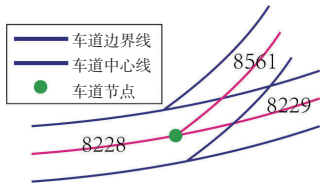


图6 程序自动修改关联左右车道线

3.3 车道线属性分析

对于车道线类型错误，程序可根据图像感知识别输出的车道线虚线框属性，结合地面虚线框与车道线（虚线）空间位置（相交、相近、重合等）的特征及其同为虚线属性的关联性，检查存在地面虚线框位置的车道线属性的正确性，可通过检查车道线与地面虚线框属性的不一致性进行自动修正，改正车道线类型属性，自动修正完成后将进行循环检查，直至无报错为止。

3.4 地图品质率分析

将计算所得的品质率与预设的品质率进行对比，若单任务各等级品质率和综合品质率均大于预设品质率，程序会通过任务流转机制将任务流转至统计分析模块，统计任务各要素错误数量和占比；若单任务各等级品质率和综合品质率中任意一个小于预设品质率，程序会自动将该任务标记为返工任务，流转至作业员账号，进行全量返工。本次实验设定S级占比为60%，A级占比为30%，B级占比为10%，实验取部分结果见表1，结果表明该系统不仅可有效修正部分作业错误，还可快速公平公正计算高精度地图品质率。

表1 实验前后数据对比

项目	修正前任务号			修正后任务号		
	1	2	3	1	2	3
要素个数	1 063	1 275	1 183	1 063	1 275	1 183
S级错误	4	1	3	1	1	2
A级错误	4	4	7	2	2	4
B级错误	7	6	11	6	6	9
品质率/%	99.85	99.91	99.82	99.91	99.93	99.88

4 结 语

系统开发涵盖绝大部分地图场景，整合了空间拓扑关系检查、逻辑检查、自动修正和自动计算品质率功能，不仅可高效快速地解决高精度地图审查问题，而且可公平公正地评价地图是否达到出图标准，其自动修改功能还可极大缩小绘图员改图的工作量。目前该系统已成功运用于湖北亿咖通科技有限公司量化生产杭州亚运会区高精度无人驾驶地图绘制中，并已申请专利。然而，该系统仍无法覆盖全部地图要素场景，如匝道分离场景限速标牌无法智能控制单根车道线限速、空间立交会误报错误、盘桥曲率过大会误报车道不平滑等，因此还有改进空间。后续高精度地图质量评价方法研究可从一些特殊场景入手完善该系统，并可在导出错误分析中增加机器学习模块分析学习易错项的正确改正方法，完善自动修改功能。

参考文献

[1] Geiger A, Lenz P, Stiller C, et al. Vision Meets Robotics: The KITTI Dataset[J]. International Journal of Robotics Research, 2013, 32(11):1 231-1 237

[2] Thomas A, Mastrogiovanni F, Baglietto M. An Integrated Localization, Motion Planning and Obstacle Avoidance Algorithm in Belief Space[J]. Intel Serv Robot, 2021, 14(2): 235-250

[3] Bahreinian S F, Palhang M. Taban MRA New Approach to Solve SLAM Challenges by Relative Map Filter[J]. Intel Serv Robot, 2017, 10(4):271-286

[4] Lim H, Gil H, Myung H. MSDPN: Monocular Depth Prediction with Partial Laser Observation Using Multi-stage Neural Networks[C]//Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2020: 10 750-10 757

[5] Lim H, Oh M, Myung H. Patchwork: Concentric Zone-based Region-wise Ground Segmentation with Ground Likelihood Estimation Using a 3D LiDAR Sensor[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2021(9):236-241

[6] 刘静华. 高精度地图在德清“城市大脑”中的应用研究[J]. 地理空间信息, 2020, 18(9):40-43

[7] 祖似杰, 张攀, 罗跃军. 基于车道驾驶态势的拓扑构建与路径规划[J]. 地理空间信息, 2018, 16(5):53-56

[8] 李星滢, 魏海平, 孙梦婷. 顾及高影响力要素的矢量地图质量评价方法[J]. 测绘科学技术学报, 2018, 35(6):654-658

[9] 鄂新华, 霍如, 张娇, 等. 一种DNS数据质量评价方法: CN110995880A[P]. 2020

[10] 杨光垚, 侯瑞杰, 沈莉霞, 等. 地图准确度评价方法和装置: CN109635050A[P]. 2019

[11] Kent L. HERE Introduces HD Maps for Highly Automated V EhicleTesting[J/OL]. (2015-07-20)[2022-03-21]. https://360. here. com/ 2015 / 07 / 20 /hereintroduces-hd-maps-for-highly-automated-vehicle-testing/

[12] TomTom. TomTom HD Map With Road DNA[R/OL]. (2019-10-29)[2022-03-21]. https://www. tomtom. com/automotive/automotive-solutions/automated-driving/hd-map-roaddna/