

文章编号: 1006-7736(2016)01-0034-05

doi: 10.16411/j.cnki.issn1006-7736.2016.01.007

大范围多尺度雷达仿真数据的生成算法

张新宇* 姚舜 陈华

(大连海事大学 航海动态仿真与控制交通行业重点实验室 辽宁 大连 116026)

摘要: 针对航海模拟器中由单张海图生成的小范围雷达仿真数据引起的雷达仿真图像不连续和跳跃问题,提出一种生成大范围雷达仿真数据的方法。首先,筛选并确定海图库内需要使用的 S-57 标准电子海图,对这些比例尺不同的海图分别生成雷达仿真数据;然后,根据所需雷达数据范围,采用裁剪、排序、去重、合并、拼接等算法操作,生成大范围连续的多尺度雷达仿真数据。以宁波港附近水域为例,实验证明,该方法生成的雷达仿真数据高效准确,能够满足航海模拟器的实际需要。

关键词: 雷达仿真数据;自动图幅拼接;裁剪缓冲区;单侧衰减拼接法

中图分类号: U612.26; TP391.9; P208 文献标志码: A

Generation algorithm of wide-ranging multi-scale radar simulation data

ZHANG Xin-yu*, YAO Shun, CHEN Hua

(Key Laboratory of Marine Simulation and Control for Ministry of Communications, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In order to solve the discontinuity and saltation of radar simulation image in maritime simulator resulted from only reading a small range of radar simulation data generated from single chart, a method was proposed to generate a wide range of radar simulation data based on multi-scale chart data. Firstly, S-57 standard electronic charts to be used were filtered in chart library to produce radar simulation data for those different scale charts. Then, by using the algorithms operating such as clipping, sorting, deletion, combination as well as matching, a wide range of continuous multi-scale radar simulation data were generated. Taking the water area around Ningbo Port as an example, experimental results prove that the radar simulation data generated by this method have high accuracy, which can meet the practical requirements of mari-

time simulator.

Key words: radar simulation data; auto edge-matching; clipping buffer; unilateral attenuation matching method

0 引言

航海模拟器属于系统仿真技术在航海领域的应用,是通过模型手段对某些状况的一种创建,以此模拟船舶操作中的不同态势,现已广泛应用于航海教育和培训以及相关领域工程论证和科学研究中^[1]。本文研究航海模拟器环境真实感中的雷达仿真技术。目前,航海模拟器中的雷达仿真图像是基于电子海图数据生成的,其生成方法是通过读取单张 S-57 标准电子海图的岸线数据生成用于雷达图像仿真的雷达仿真数据^[2]。这种方法的问题在于:航海模拟过程需要覆盖范围较大的一片区域,单张海图范围有限,本船驶离当前雷达仿真数据范围时会造成雷达仿真图像丢失;即使相邻范围存在雷达仿真数据,但本船从一个区域进入另一个区域时也会产生不连续的跳跃;此外,原始海图是多尺度的,并且图幅范围和数据精度也不尽相同,势必导致由此生成的雷达仿真数据出现重叠、间断和冗余等现象。

在制图时,电子海图按航线自由规划图幅范围,没有固定的比例尺系列,相邻海图间的叠幅部分大小视海区的自然状况和航海需要而定。船舶航行时,在不同区域采用不同比例尺、不同航海用途的电子海图。从 S-57 海图中提取的雷达仿真数据只有尺度这一属性约束。尺度是电子海图数

收稿日期: 2015-06-19; 修回日期: 2015-08-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51309043);交通部应用基础研究项目(2014329225020);辽宁省自然科学基金资助项目(2014025005);辽宁省重点实验室基础研究项目(LZ2015009);辽宁省高校杰出青年学者成长计划(LJQ2014052);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3132014202)。

作者简介: 张新宇*(1978-),男,博士,副教授, E-mail: zhang.xinyu@sohu.com.

据的重要特征,在不同的尺度背景下,陆地岸线或实体具有不同的空间形态、结构和细节.在大尺度下,陆地岸线的形状描述较为概括;小尺度下,则描述得比较详细^[3].对于多幅不同尺度 S-57 标准电子海图中雷达仿真数据生成问题,目前在地理信息系统(Geographic Information System, GIS)中有部分相关研究:一是 GIS 中对于同尺度下等高线地形图^[4-6]、数字线划图(Digital Line Graphic, DLG)^[7-8]、道路、水系等接边研究,该研究均是对比例尺相同、邻幅间无重叠或叠幅较小、图幅中要素属性完整的图幅集进行拼接,并提出了平均法、强制法、拉直法、趋势接边法^[9]以及衰减接边法^[10];二是在 GIS 中对于多尺度电子地图的显示研究,文献[11]提出了变比例尺可视化技术,该技术的关键在于在关心细节区域内显示大比例尺地图,而在该区域外显示小比例尺地图.

针对上述情况,本文借鉴 GIS 中同尺度电子地图多图幅接边算法和多尺度电子地图变比例尺可视化思想,首先,筛选海区内需要使用的 S-57 海图,然后,对多张不同比例尺 S-57 海图的雷达仿真数据进行裁剪、排序、去重、合并、拼接,生成大范围、高精度、无重叠并且连续的雷达仿真数据,达到逻辑无缝、物理无缝,满足航海模拟器中雷达仿真图像范围、精度和效率的要求.

1 大范围多尺度雷达仿真数据生成

雷达仿真图像需要的雷达仿真数据是在 S-57 标准电子海图中按照“人沿岸线行走,陆地在人左手侧”的方向提取岸线基本点,以折线逼近模型描述真实海岸线,提取的雷达岸线数据是由多个基本点组成的封闭多边形.在生成大范围雷达仿真数据过程中,首先,在海图库中筛选海区内海图,对每张海图进行裁剪,去除边界线;然后,按比例尺和海图图幅范围大小顺序将多张海图去重合并成一个雷达仿真数据集;最后,采用比例尺属性约束、岸线走向约束和距离约束对雷达仿真数据进行拼接,最终生成逻辑无缝、物理无缝大范围多尺度的雷达仿真数据.

1.1 筛选海图

S-57 标准电子海图是经国际水道组织 IHO 认证的、包含安全航行所需的所有海图信息的矢量化电子海图.根据 IHO 标准分级 S-57 海图根据不同的航海用途分为六类:综述(Overview)、一般(General)、沿海(Coastal)、近岸(Approach)、港

口(Harbor)、码头泊位(Berthing).一般在航海实践中利用雷达进行瞭望时,应选择适当量程:大洋航行可用 12~24 n mile 量程;沿岸航行可用 6~12 n mile 量程;狭水道航行应远近量程兼用,以 2~6 n mile 为主^[12].在航海教育中,航海模拟器经常用于模拟海区内船舶进出港航行,因此借鉴多尺度电子地图变比例尺可视化技术,在港口水域内选取参考点,对模拟航行时涉及的不同比例尺海图,根据其航海用途和与参考点的距离进行筛选.如此,在保证雷达仿真数据精度的前提下,可以减少雷达仿真数据的数据量.

1.2 裁剪边界线

S-57 标准电子海图按航海需要自由分幅的制图方式人为地割裂了现实中完整连续的海洋地理环境,导致相邻海图上的陆地实体之间产生物理意义上的空间缝隙.从 S-57 标准电子海图中提取到的雷达岸线数据表现为在靠近海图图廓线的区域会生成不必要的边界线,边界线(图 1 实线)与海图图廓线(图 1 短虚线)接近但不一定重合.

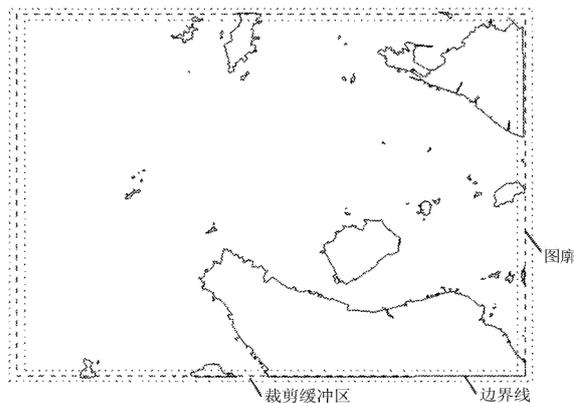


图 1 海图 CN452135 边界线、图廓、裁剪缓冲区

Fig. 1 The sheet line, the boundary line and the clipping buffer in CN452135

为直观地观察边界线与海图图廓之间的距离,设比例 α :

$$\alpha_{左} = |x_{左边界线最小值} - x_{左图廓线}| / (x_{右图廓线} - x_{左图廓线})$$

$$\alpha_{右} = |x_{右图廓线} - x_{右边界线最大值}| / (x_{右图廓线} - x_{左图廓线})$$

$$\alpha_{上} = |y_{上图廓线} - y_{上边界线最大值}| / (y_{上图廓线} - y_{下图廓线})$$

$$\alpha_{下} = |y_{下边界线最小值} - y_{下图廓线}| / (y_{上图廓线} - y_{下图廓线})$$

边界线是无用的雷达仿真数据,会影响后续雷达仿真数据处理的准确性,删除边界线的前提是有效区分边界线和雷达岸线.现定义前向夹角:当前数据点与下一数据点所形成的有向线段与 x 轴的夹角($0^\circ \sim 180^\circ$).手动提取多张 S-57 标准

电子海图中的所有边界线,计算其边界线各点之间的前向夹角并按由小到大排序做出散点图(图 2)。

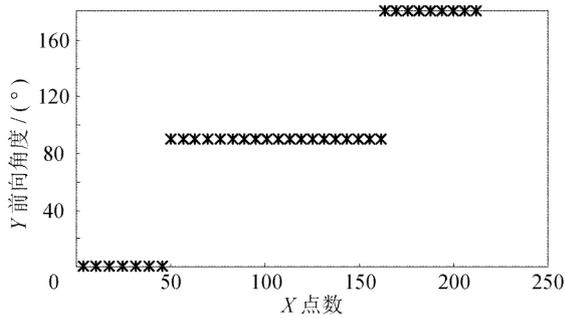


图 2 前向夹角散点图

Fig.2 Scatter diagram of forward angel

经过统计,边界线上各点的前向夹角集中在 0°、90°、180°三个特殊角度上,偏差不超过 0.1°。这也与直观观察图 1 所得到的结论一致。为快速删除边界线,同时不引起其他雷达仿真数据的误删,可以设置一个裁剪缓冲区(图 1),裁剪缓冲区大小由海图内雷达仿真数据的分布范围确定,使其包含海图内所有边界线。依靠前向夹角这一特征值可以在裁剪缓冲区内将全部边界线删除,保留雷达岸线(图 3)。需要指出的是,仅依靠前向夹角删除边界线仍然会误删雷达仿真数据,这是不可避免的。

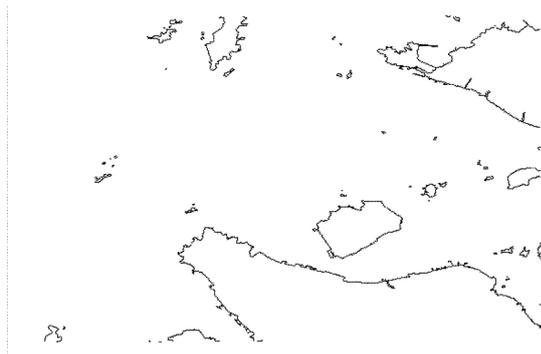


图 3 海图 CN452135 裁剪边界线后

Fig.3 CN452135 after clipping

1.3 S-57 海图排序

对于同一地图目标,在大尺度地图上的精细程度及复杂程度小于其在小尺度地图上的精细程度及复杂程度^[13]。因此,在对雷达仿真数据文件合并去重过程中,需要保留大比例尺海图上的雷达仿真数据,删除小比例尺海图上相应位置的雷达仿真数据。

对 S-57 海图排序基于以下两个原则:

- (1) 不同比例尺的海图按比例尺由小到大排序;
- (2) 相同比例尺的海图按海图图幅减去海图内裁剪缓冲区后的剩余图幅范围由小到大排序。

1.4 雷达仿真数据合并去重

S-57 标准电子海图按航线规划图幅范围,按航海需要确定比例尺大小,相邻海图之间的比例尺不一定相等,叠幅部分大小也不固定,按 1.3 节中顺序处理的两张海图的空间拓扑关系可以分为三种:相离、包含、相交。相对而言,在 GIS 中,待接边处理的电子地图是根据特定目的按同一比例尺专门绘制的,地图间的叠幅很小或者可以忽略不计,按邻近关系接边时,相邻地图间仅存在相交关系。相交又可以分为两种:边相交、角相交。每次合并得到新的电子地图时均要进行多边形裁剪,最终得到一个不规则的多边形。假使在 S-57 标准电子海图中雷达仿真数据合并时可以不考虑最终生成的多边形的形状,将其填补形成一个矩形(图 4),海图按 1.3 节中排列的顺序依次合并,对于填补部分如果后续海图中存在相应位置的雷达仿真数据,直接合并覆盖空白部分;若没有新的雷达仿真数据覆盖,说明本航次不涉及这一地理位置,可以继续保持空白,简化了雷达仿真数据合并时对海图图幅的判断,对于海图间三种位置关系(相离、包含、相交)均可以直接按比例尺合并。

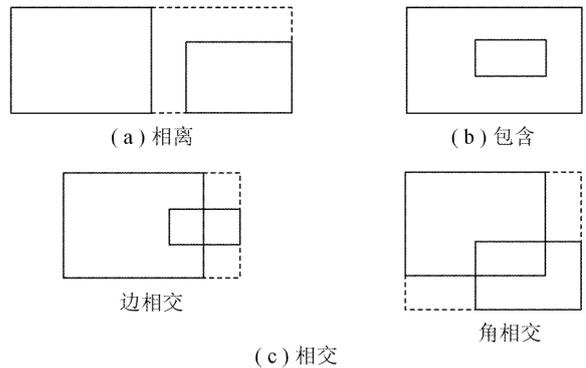


图 4 不规则多边形填补成矩形

Fig.4 A new rectangle after filling the blanks

在对海图叠幅部分的冗余数据(图 5)处理时,遵循保留来自大比例尺海图的雷达仿真数据、删除来自小比例尺海图的雷达仿真数据这一原则。两张海图合并时,若第一张海图比例尺不大于第二张海图比例尺,对于叠幅区域内的冗余数据,保留第一张海图内进入第二张海图图幅内雷达岸线的第一个点和最后一个点,其余数据全部删除。

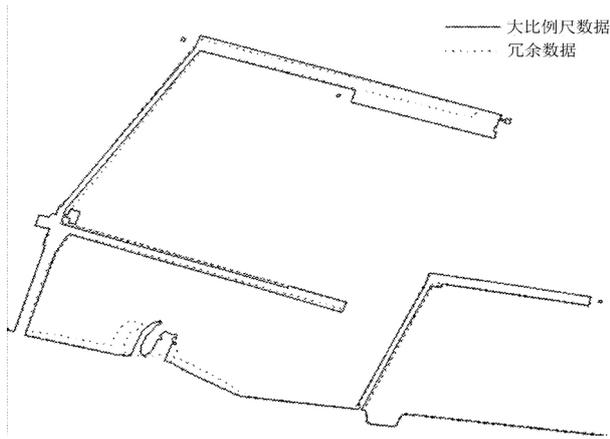


图 5 相邻海图间叠幅区域数据对比
Fig.5 Data in the overlapping area

1.5 雷达仿真数据无缝拼接

在 S-57 标准电子海图中取雷达岸线基本点以折线逼近模型描述真实海岸线. 对于同一陆地, 小比例尺海图雷达岸线的基本点少于大比例尺海图雷达岸线的基本点, 但两者仍可以认为描述同一陆地^[13]. 在 1.4 节中, 已经保留了小比例尺雷达岸线进入大比例尺海图图幅的第一个点和离开大比例尺海图图幅的前一个点, 该基本点可以与对应待接边大比例尺海图雷达岸线的待接点视为同一基本点. 大比例尺海图雷达岸线数据更精确, 所以两者之间的误差按衰减系数分配给小比例尺海图雷达岸线邻近点, 使得雷达岸线基本上保持原有趋势, 过渡得更平稳光滑, 即单侧衰减拼接法, 具体算法如下:

小比例尺海图雷达岸线待接点 $A(x_A, y_A)$, 大比例尺海图雷达岸线待接点 $B(x_B, y_B)$, 两点之间的误差:

$$d_x = x_B - x_A \quad d_y = y_B - y_A$$

设衰减系数为 $esp(0 < esp < 1)$, 衰减系数是指小比例尺海图雷达岸线为消除基本点选取误差做的一定摆动. 对于小比例尺海图雷达岸线待接点以后的 n 个基本点, 做以下误差分配:

$$x_n' = x_n + (1 - n \times esp) d_x$$

$$y_n' = y_n + (1 - n \times esp) d_y$$

$n \times esp > 1$ 时, 停止误差分配.

2 实例分析

以宁波港海区为例, 首先, 在宁波港海港港区、河口港区、内河港区确定 5 个参考点(图 6) 根据海图航海用途和与参考点距离筛选海图库中的

海图, 筛选后海图总计 27 幅, 各图幅覆盖范围如图 6 所示. 然后, 分别计算每张海图上、下、左、右 4 个方向上的比例 α 确定裁剪缓冲区大小, 依据前向角度裁剪海图边界线并计算剩余图幅大小. 最后, 按比例尺大小和剩余图幅大小对海图排序, 取衰减系数 $esp = 0.1$, 依次对海图构造新的图幅, 删除冗余的小比例尺雷达仿真数据, 连接待拼接雷达岸线, 最终生成的雷达仿真数据如图 7 所示.

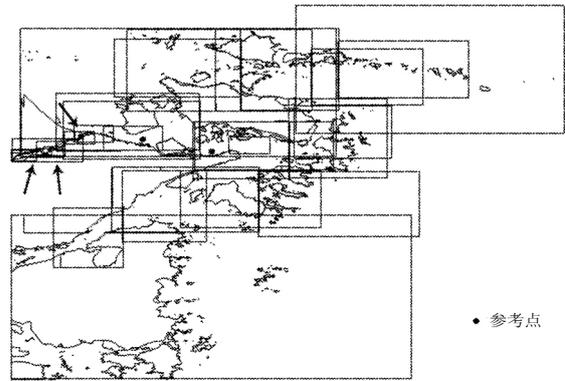


图 6 宁波港周围水域电子海图
Fig.6 Charts about the waters around Ningbo port



图 7 无缝拼接后的雷达仿真数据($esp = 0.1$)
Fig.7 The waters around Ningbo port after seamless matching($esp = 0.1$)

将无缝拼接后的雷达仿真数据导入到航海模拟器中, 选取主航道上三水道交汇点对比 ECDIS 中的 S-57 海图和模拟器中的雷达仿真图像(图 8). 图 8 中模拟船位位于金塘水道、册子水道和螺头水道交汇处($29^{\circ}58.5'N, 121^{\circ}58.3'E$), 西侧是金塘岛, 东北侧是舟山岛, 南侧是大榭岛. 附近船舶在此汇集转向, 航道狭窄, 船舶密度大, 是交通流最为复杂的水域. 模拟船位周围岛屿众多, 在雷达仿真图像中均准确显示, 且雷达信号清晰.

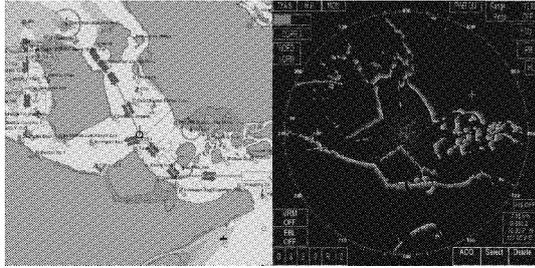


图 8 无缝拼接后的三水道交汇点在航海模拟器中的对比

Fig. 8 The comparison of three channel confluence in maritime simulator

3 结语

借鉴地理信息系统中同尺度电子地图基于线要素的拼接算法和多尺度电子地图的变比例尺可视化技术,首先根据参考点筛选海图库内的 S-57 海图,然后对筛选出的不同比例尺的 S-57 标准电子海图中的雷达仿真数据裁剪、去重、合并、拼接,最终生成逻辑无缝、物理无缝的大范围雷达仿真数据,在航海模拟器中验证表明雷达仿真图像清晰饱满、精度高,满足模拟航行时的实际需要。该方法不仅可以用于航海模拟器中雷达仿真数据的生成,还可用在三维视景地形图的数据合并与生成,并对 GIS 中多尺度 DLG 数据接边和等高线接边有一定的借鉴作用。

参考文献(References):

- [1] Det Norske Veritas(DNV). Standard for certification No. 2.14 maritime simulator systems[M]. Oslo: Norske Veritas 2011.
- [2] 熊欣,张新宇,王金涛.基于道格拉斯改进的雷达回波数据简化算法[J].中国航海,2014,37(3):1-4.
XIONG Xin,ZHANG Xin-yu,WANG Jin-tao. Simplifying radar echo simulation with improved Douglas-Peucker algorithm[J]. Navigation of China,2014,37(3):1-4. (in Chinese)
- [3] 贾奋励.电子地图多尺度表达的研究与实践[D].郑州:解放军信息工程大学,2010.
JIA Fen-li. Research and practice of electric map multi-scale representation[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University 2010. (in Chinese)
- [4] DU Jin-yang,ZHANG Yu-mei. Automatic extraction of contour lines from scanned topographic map[C]//Proceedings of 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Volume: 5). Piscataway: IEEE Press 2004:2886-2888.
- [5] POUDEIROUX J,SPINELLO S. Global contour lines reconstruction in topographic maps[C]//Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (Volume: 2). Piscataway: IEEE Press,2007:779-783.
- [6] SANDHYA B,AGARWAL A,RAO C R, et al. Automatic gap identification towards efficient contour line reconstruction in topographic maps[C]//Third Asia International Conference on Modelling & Simulation. Piscataway: IEEE Press 2009:309-314.
- [7] 陈泽民,殷红霞. DLG 数据采集中的自动接边实现[J].现代测绘,2004,27(6):36-39.
CHEN Ze-min,YIN Hong-Xia. Realization of automatic joining at DLG collecting[J]. Modern Surveying and Mapping 2004,27(6):36-39. (in Chinese)
- [8] 戴相喜,周卫,高磊. DLG 数据任意范围接边算法及实现[J].测绘通报,2008,54(7):32-35.
DAI Xiang-xi,ZHOU Wei,GAO Lei. The algorithm and realization of DLG edge match of arbitrary scope[J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2008,54(7):32-35. (in Chinese)
- [9] 赵江洪.趋势接边的算法设计及功能的实现[J].测绘通报,2004,50(6):26-27.
ZHAO Jiang-hong. Arithmetic design and the realization of the function of trend-edgematching[J]. Bulletin of Surveying and Mapping 2004,50(6):26-27. (in Chinese)
- [10] 周顺平,张江东,左泽均,等.线要素任意范围接边算法的设计与实现[J].测绘科学,2012,37(5):20-22.
ZHOU Shun-ping,ZHANG Jiang-dong,ZUO Ze-jun, et al. Design and achievement of edgematching algorithm of line features in arbitrary scope[J]. Science of Surveying and Mapping,2012,37(5):20-22. (in Chinese)
- [11] 艾廷华,梁蕊.导航电子地图的变比例尺可视化[J].武汉大学学报:信息科学版,2007,32(2):127-130.
AI Ting-hua,LIANG Rui. Variable-scale visualization in navigation electronic map[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2007,32(2):127-130. (in Chinese)
- [12] 郭禹.航海学[M].大连:大连海事大学出版社,2005.
- [13] 李雯静,毋河海.地图目标在制图综合中的分形衰减机理研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2005,30(4):309-312.
LI Wen-jing,WU He-hai. Fractal attenuation analysis of cartographic object's self-similarity on cartographic generalization[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2005,30(4):309-312. (in Chinese)