

基于地形熵和地形差异熵的综合地形匹配算法

王 华^{1,2}, 晏 磊¹, 钱 旭², 朱 明²

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所 空间信息集成与

3S 工程应用北京市重点实验室, 北京 100871;

2. 中国矿业大学 机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘 要:水下运载体的导航主要以惯性导航为主,但是,由于水下运载体在海底的运行速度比较慢,惯性导航系统随着时间的累积出现了定位误差增大的缺点,因此需要地形辅助导航来纠正惯导的误差。文中将地形熵和地形差异熵的概念引入到水下地形匹配算法中,设计了基于地形熵和地形差异熵的综合地形匹配算法,并将该算法应用于水下地形辅助导航系统中,经验证该算法取得了良好的纠正惯导定位的效果,实现了水下地形辅助导航的任务。

关键词:地形匹配;地形熵;地形差异熵;地形辅助导航

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)09-0025-03

Integration Terrain Match Algorithm Based on Terrain Entropy and Terrain Variance Entropy

WANG Hua^{1,2}, YAN Lei¹, QIAN Xu², ZHU Ming²

(1. Key Lab. of Spatial Info. Integration & 3S Eng., Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Electrical and Mechanical Services Department, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: UUV mainly based on INS. As UUV operating speed is relatively slow, INS with a cumulative time of the shortcomings positioning error increases. Terrain-aided navigation can correct the error. The concept of terrain entropy and terrain difference entropy underwater in the paper is introduced the terrain match algorithm, and design the algorithm of based on terrain entropy and terrain variance entropy, and the algorithm is used terrain-aided navigation. The algorithm is certified good result, the algorithm finish the task of the underwater terrain-aided navigation.

Key words: terrain match; terrain entropy; terrain variance entropy; terrain-aided navigation

0 引 言

水下运载体(UUV)在海底运行时主要是依靠惯性导航系统(INS)导航的。然而,由于水下运载体(UUV)在海底的运行速度比较慢,惯性导航系统随着时间的累积出现了定位误差增大的缺点,因此必须定期利用外部信息对惯导进行校准。海底地形辅助导航系统是一种完全自主式导航系统,它无需借助任何外部信息,就可以在水下完成对惯导的校正,获得较高的定位精度。从而满足水下运载体(UUV)对导航系统“水下、长期、自主、高精度、全天候”的要求^[1]。

地形匹配算法是水下地形辅助导航系统的核心。水下地形辅助导航系统将惯性导航系统提供的导航位置信息、测深测潜仪测得的水深信息送入计算机,计算机根据惯导系统提供的位置信息从数字海图中读取相关的水深数据,然后采用一定的匹配算法将测得的水深数据与数字海图中读取的水深数据进行匹配,得到最佳匹配点。利用该匹配点的位置信息对惯导系统进行校正,可有效地提高惯导系统的定位精度。文中将水下地形熵和相关系数的概念引入到地形匹配算法中,设计了基于地形熵和相关系数度量的水下地形匹配算法,获得了较好的定位精度。

1 地形熵的概念

在统计物理学中,热熵是一个物理系统杂乱性(无序性)的度量。香农将物理中的熵的概念引入到信息

收稿日期:2006-11-02

作者简介:王 华(1979-),女,内蒙古人,硕士研究生,研究方向为图像处理、模式识别;晏 磊,教授,研究方向为遥感、摄影测量与数字成像、导航控制与智能交通系统、空间信息集成与网络传输;钱旭,教授,研究方向为数据库、信息融合技术、软件工程理论与技术。

论中,提出了信息熵的概念^[2]。信源的信息熵是从整个信源的统计特性来考虑的。它是从平均意义上表征信源的总体信息测度的。对于某特定的信源(概率空间给定),其信息熵是一个确定的数值。不同的信源因统计特性不同,其熵也不同^[3]。

信息熵的定义:

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

信息熵具有三种物理含义:

第一,表示信源输出后,每个消息所提供的平均信息量。

第二,表示信源输出前,信源的平均不确定性。

第三,用信息熵来表征变量 X 的随机性。

根据信息熵的定义以及它的物理含义,信息熵的概念被广泛地应用于信号处理、图像处理等各种领域,并且在信号处理和图像处理的领域运用的非常成功。有文献将信息熵的概念引入到地形匹配中,并定义了地形熵的概念:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M p_i \log p_i \quad (1)$$

$$p_i = \frac{R(i)}{\sum_{i=1}^M R(i)} \quad (2)$$

其中 $R(i)$ 表示水深值。

根据上式所定义的地形熵反映了该地形所含信息量的大小,地形高程变化越剧烈,高程熵的信息就越丰富,就越有利于匹配^[4,5]。

水下运载体在海底运行速度较慢,在一定的时间内,对于地形起伏变化并不明显的区域,可以直接运用地形熵的定义。对于地形起伏变化比较明显的区域,定义了地形差异熵的概念:

$$H_{\text{map}} = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{i,j} \log P_{i,j}$$

其概率值计算公式为:

$$P_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{i,j}}$$

地形差异值的计算公式为:

$$C_{i,j} = \frac{|h_{i,j} - \bar{h}_{\text{map}}|}{\bar{h}_{\text{map}}}$$

海底地形平均水深值:

$$\bar{h}_{\text{map}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N h_{i,j}}{M \times N}$$

2 匹配算法

地形熵和地形熵差匹配算法的基本思想是水下运

动载体测深测潜仪测量的水深数据是一个有序的水深序列: $h_k(x, y | z + m)$ 。其中 (x, y) 为 INS 输出的水下运动载体位置,该位置与量测时所在的实际位置存在误差; z 为该位置测深测潜仪测量得到的水下载体的误差, m 为该位置测深仪测量得到的水下载体距离水底的高度;两者之和 $z + m$ 即为水下运动载体所在位置的量测水深值。

截取水下运动载体的一段航迹,该航迹由 n 个水深测量点组成,构成了一个水深序列。该水深序列的地形熵值反映了这段航迹所经过区域的局部地形信息特征。将量测水深序列的熵值与匹配窗口内的水深值序列所构成的熵值数组的每一熵值作比较,得到的熵差值最小的点即为匹配点^[6]。

3 算法设计

匹配算法的评价因素主要是精度和速度,算法精度和速度的优劣直接决定了匹配算法的好坏,考虑到地形熵和地形差异熵各自的突出优点,以及对匹配算法评价指标的综合考虑,设计了海底地形判别因子,当海底地形判别因子反映了地形变化剧烈否,当获得的匹配区域海底地形变化比较剧烈时,采用地形差异熵的概念如果匹配区域海底地形变化比较平缓,则采用地形熵的概念,海底地形判别因子文中采用了高程标准差的概念。

4 算法步骤

算法步骤如下:

1) 截取水下运载体的一段航迹,计算该航迹量测水深序列的高程标准差,得到海底地形判别因子。

2) 当判别因子 K 小于某值时,计算水下运载体测量水深序列的地形熵值,再计算匹配窗口内的每一匹配序列的地形熵值,并用一有序数组保存;当判别因子 K 大于某值时,计算水下运载体测量水深序列的地形差异熵值,再计算匹配窗口内的每一匹配序列的地形熵值,并用一有序数组保存。

3) 计算量测水深序列的地形熵值或地形差异熵值与匹配序列数组内的每一地形熵值或地形差异熵值的绝对差。

4) 将得到的绝对差进行比较,最小的绝对差对应的点即为最佳匹配点。

5) 误匹配的判断:当得到的匹配点位于电子海图的边界上,认为匹配丢失并以 INS 输出;在整个匹配过程中,当误差发散到初始误差大小(或设定某一阈值)时,认为匹配丢失,以 INS 输出。

5 算法仿真

根据上面提出的匹配算法,对其进行了计算机仿真实验。选择了适于匹配的地形图如图1和图2所示,设定仿真试验的条件,INS的初始误差为0.02,测深测潜仪的量测误差为标准量测误差,电子海图的制图误差为5米,仿真步长14秒,陀螺仪参数为0.003度,随机游走为0.01度。

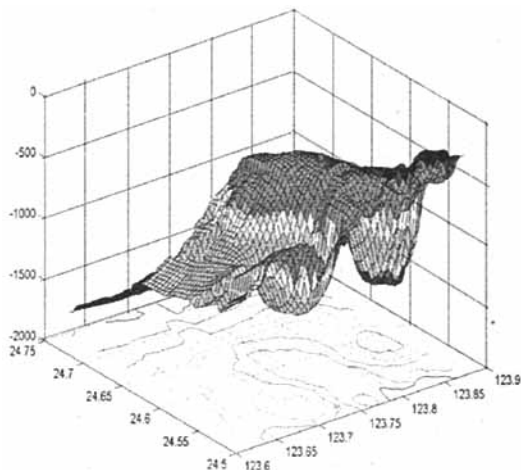


图1 地形5适于匹配高程三维图

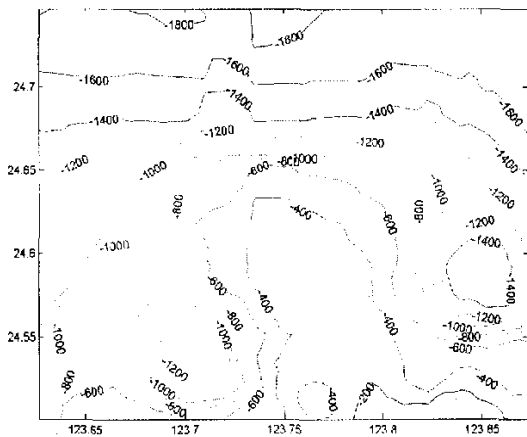


图2 适于匹配高程等高线图

从试验结果图3~4来看,地形熵和地形差异熵综合匹配算法能够将匹配平均经纬度误差控制在200米以内,圆概率误差值能控制在250米以内,因此,该算法具有较好的收敛匹配误差的作用。

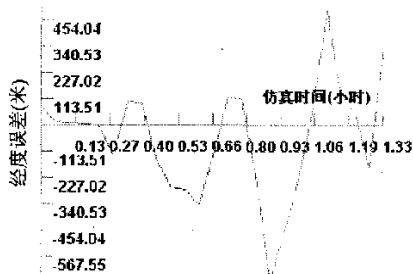


图3 算法匹配后的经度误差图

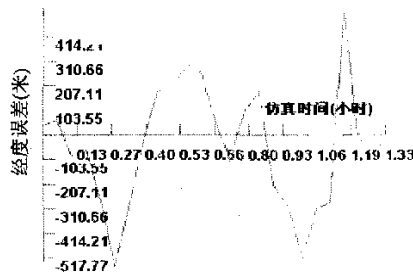


图4 算法匹配后的纬度误差图

6 结论

文中探讨并设计了基于地形熵和地形差异熵的综合地形匹配算法,并利用VC++语言实现了该算法,通过大量实验研究表明,该算法符合匹配精度和速度的要求,基本能够完成水下运载体辅助导航的任务。

参考文献:

- [1] 马洪波,刘建辉,杨 健.基于地形熵差和高程绝对差度量的地形匹配算法[J].指挥技术学院学报,2000(5):60-63.
- [2] 刘光军,陈 晶.海底地形辅助导航系统仿真技术研究[J].计算机仿真,2000(2):21-23.
- [3] 张飞舟.水下无源导航系统仿真匹配算法研究[J].武汉大学学报,2003(2):33-35.
- [4] 李爱军,白 焱.高程熵综合地形匹配算法的仿真研究[J].计算机仿真,2004(8):135-137.
- [5] 刘光军,袁书民.海底地形匹配技术研究[J].中国惯性技术学报,1999(1):20-22.
- [6] Bar-Gill A. Improvement of Terrain-Aided Navigation Via Trajectory Optimization[J]. IEEE Trans on Control Systems Technology, 1994(4):336-342.

(上接第24页)

C, Liu Chung-Shyan, et al. A Formal Approach to Software Components Classification and Retrieval[C]//Proceedings of the COMPSAC'97-21st International Computer Software

and Applications Conference. Washington D C: [s. n.], 1997.

- [6] 万剑怡,薛锦云.使用规范匹配实现设计模式的自动获取[J].小型微型计算机系统,2003,24(3):326-329.