

基于向量搜索的地磁导航匹配算法研究

田哲旭

中国电建集团吉林省电力勘测设计院有限公司, 吉林长春, 130022

摘要: 为了充分发挥和利用向量搜索匹配算法的应用优势, 保证地磁导航匹配效果, 现以“向量搜索匹配算法”应用为例, 提出一套行之有效的地磁导航匹配算法研究方案。首先, 在利用地磁匹配导航中相关技术的基础上, 分析了地磁辅助惯性导航系统的基本原理。其次, 从向量搜索匹配算法的基本原理、模型形态数据的构造、确定最优匹配位置、搜索匹配过程、搜索过程优化等方面入手, 研究了基于向量搜索的匹配算法。最后, 利用航空实测地磁数据, 进行多次匹配仿真试验, 仿真试验结果表明: 本文所提出的基于向量搜索的地磁导航匹配算法具有较高的可靠性和可行性, 并没有对初始位置误差提出较高的要求, 所以, 无需线性化假设处理磁场, 仅仅保证磁场变化特征, 完全符合实际应用需求。

关键词: 导航; 地磁导航; 向量搜索; 匹配算法

中图分类号: U666.1

文献标志码: A

DOI: 10.19335/j.cnki.2095-6649.2022.11.002

0 引言

地磁导航匹配算法作为地磁导航功能重要的实现技术, 在保证地磁匹配导航系统性能方面具有重要作用, 该算法主要用于对相关载体位置的精确化解算, 这种匹配原理与重力匹配之间具有较高的相似性, 均结合地球物理场特征进行设计, 在全面分析和比较有价值信号的基础上, 通过利用处理方法, 完成对最佳匹配位置的精确化确定。另外, 地磁导航匹配算法设计是否科学, 会对地磁导航系统的误差产生直接性的影响, 所以, 在向量搜索匹配算法的应用背景下, 如何科学地设计地磁导航匹配算法是技术人员必须思考和解决的问题。

1 地磁导航匹配相关技术

在进行地磁导航匹配期间, 通常会用到以下两种技术: ①高精度的地磁数据库。结合地磁导航匹配相关原理不难发现, 通过使用精确度较高的地磁数据库, 在保证导航结果精确度方面发挥出重要作用。对于地磁数据库而言, 其本质是

通过将所需要的信息数据安全可靠地存储到计算机中, 并使用这些信息数据, 精确地表示二维地理空间位置。②地磁适配区域的选择。在选择地磁适配区域期间, 要科学地控制选择范围, 避免因选择范围过大, 而增加误匹配概率。

2 地磁辅助惯性导航系统的基本原理

现阶段, 地磁导航匹配算法主要包含以下两种类型: 一种是连续递推滤波算法, 另一种是断续的批相关处理算法。其中连续递推滤波算法基本原理为通过借助卡尔曼滤波方法, 对位置坐标进行设置, 将其直接设置为状态变量, 同时, 对磁传感器所对应的实时测量值进行设置, 使其被设置为观测量, 从而完成对观测方程的构建^[1], 最后, 在充分结合滤波迭代方法的基础上, 获得最终坐标估计值。处理算法原理为通过利用磁传感器, 把某一时间段内所获得的实时测量值直接设置为相关序列, 同时, 利用数字地磁图, 选取符合相关标准和要求的相关序列, 并对这些序列之间的相关性进行精确化分析和判断, 然后, 对地磁图中的位置序列进行设置, 使其被

作者简介: 田哲旭, 男, 吉林长春, 工程师, 研究方向: 测绘。

直接设置为实际位置估计值。但是,递推滤波算法在实际应用中,存在最大缺陷是需要线性化估计处理地磁场,对于磁场强度而言,其内部并没有出现非空间位置变化,此时,需要利用线性函数,采用线性处理的方式,对滤波进行处理,这无疑增加了结果误差度,甚至,还会引发滤波发散现象^[2]。另外,在应用递推滤波算法期间,要科学调整和控制初始位置误差,避免因误差过大或者过小而降低递推滤波算法的使用效果。但是,对于批相关处理算法而言,在实际运用中,并不会出现上述不良问题,这是由于批相关处理算法具有噪声鲁棒性强、匹配精度高等特点,通过将该算法应用于地磁导航匹配领域中,可以取得良好的应用效果。本文所介绍的地磁导航匹配算法属于典型的批相关处理算法^[3]。

3 基于向量搜索的匹配算法

3.1 向量搜索匹配算法的基本原理

对于向量搜索匹配算法而言,所采用的主要思想如下:在结合惯导系统输出轨迹的基础上,严格按照所设置好的惯导系统误差范围,确定出符合匹配校正需求的轨迹线,该轨迹线符合以下两个条件:①惯导系统并没有出现较大的航向误差,即航向误差相对较低。②在所设置好的匹配区域内,要确保所获取的地磁场强度值表现出一定的连续性、均匀变化性。

3.2 模型形态数据的构造

在所设置好的匹配区域内,载体在实际运动中,需要利用磁传感器,按照所确定好的时间间隔,完成对一系列磁场强度值的采集,并对这些磁场强度值进行数据预处理,从而获得相应的测量数据序列,记为:

$$H_N = [h_1, h_2, \dots, h_N]$$

其中, N 代表匹配长度,影响匹配长度的因素主要包含地磁场特点、载体运动轨迹等,一旦磁场信息表现出较高的多样性和丰富性,需要适当地降低匹配长度^[4];当磁场信息表现出一定的

贫乏时,需要适当地增加匹配长度。当匹配长度相对较小时,所对应的匹配精度会出现大幅度的下降趋势;当匹配长度达到最大值,通常会获得较大的运算量。另外,对于惯导系统而言,所对应的输出位置序列为:

$$S_N = [x_1, x_2, \dots, x_N]$$

当搜索向量设置为 y 时,可以获得相应的模型形态数据序列,该序列为:

$$W = [x_1 + y, x_2 + y, \dots, x_N + y]$$

由此可见,结合测量数据获取情况,获取与之相对应的基准模型形态数据,为后期相关运算工作的开展创造了良好的条件。

3.3 确定最优匹配位置

对于模型形态而言,所用到的相关性程度通常会用到多种类型的算法,这里以“平均误差平方和算法”为例,对所用到的两种序列进行介绍。当不同搜索向量达到 y 时,会获得相应的相关函数值,通过利用相关函数值,可以确保所获取的搜索向量达到最小值^[5],并将搜索向量设置为最终匹配结果。但是,在对最优匹配位置进行确定期间,通常会遇到磁场噪声问题和搜索离散化问题,这无疑增加了真实轨迹的漏掉风险,此时,需要确定出相应的虚假轨迹。为了避免以上不良现象的出现,需要用代表阈值,并将所获得的相关函数值直接设置为可行搜索向量。通过利用可行搜索向量^[6],严格按照所设置好的惯导轨迹,对最优匹配向量进行平移处理,确保所获得的校正轨迹达到最优状态。

3.4 搜索匹配过程

对于向量搜索匹配算法而言,其核心步骤是确定最佳搜索向量,另外,由于地磁图在实际存储数据期间,通常会表现出较高的离散性和复杂性,此时,无法使用所设置好的公式,对 y 具体表达式进行精确确定。所以,通过利用离散搜索向量^[7],可以对各个向量函数值进行全面化分析和对比,从而确定出 y 所对应的次优解。当载体一直沿着平面进行运动,用 y 表示二维向量,用 $y = (r, \theta)$ 表示极坐标,向量搜索地磁匹配原理如图1所

示,对于惯导系统而言,其圆周误差用 Ω 表示,此时, r 的最小值为0,最大值为 Ω ,使用 θ 表示搜索步长, θ 最小值为0,最大值为 2π 。在所设置好的地磁图区域,载体进行匀速直线运动,所产生的惯导输出轨迹如图1所示,从图1中可以看出,该载体的理论输出轨迹为ABCDE曲线,载体的真实轨迹为A'B'C'D'E'。当惯性导航系统在短时间内运行期间,通常会表现出较高的精确度^[8],假设以上两条轨迹之间所存在的误差主要以“初始位置误差”为主。

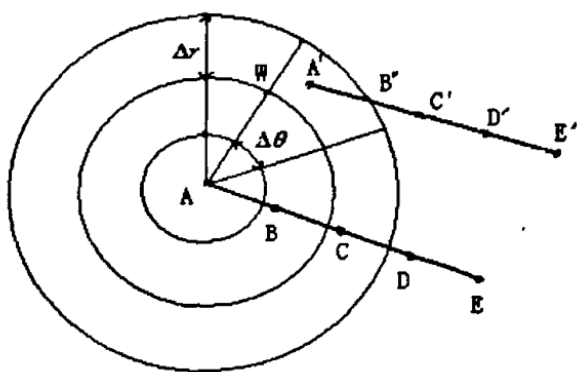


图1 向量搜索地磁匹配原理

3.5 搜索过程优化

向量搜索匹配算法所使用的原理相对比较简单,这就增加了该算法的实现容易度,另外,该算法在实际运用中,通常会表现出较高的匹配精度和捕获概率,但是,这种算法所用到的计算量相对较大,一旦出现不定匹配区域大幅度增加现象时,将会严重影响导航系统的实时性,所以,需要科学地改进和优化向量搜索匹配算法^[9]。在对该算法进行改进和优化期间,需要用到序贯相似检测技术,在进行实际匹配期间,通过使用计算机,对整个匹配区域进行遍历搜索,会增加计算量,这是由于消耗了大量的非匹配计算量。为了解决以上问题,需要利用相应的技术手段,对非匹配点进行预先排除处理,此时,需要用到序列相似检测算法。该序列相似检测原理为:通过对待检测序列所有点进行处理,发现其误差已经达到了所预定的阈值,此时,可以将该序列判定为非匹配点^[10],不需要对序列剩余点

进行全面化检测,并对搜索向量进行转向计算。结合向量搜索算法相关原理,不难发现,当点对不断上升时,相关函数值会呈现出不断上升的趋势,这表明该序列不是最优序列。所以,在对数据形态数据序列进行计算期间,一旦所计算的函数值超过所设定的阈值,需要对该模型序列进行排除处理,此时,无需对相关函数值进行精确化计算,从而实现对运算流程的有效简化。此外,通过利用预匹配与精匹配相结合的方式,将计算量降到最低,这种处理过程所用到的思想为:在预匹配阶段中,通过选取较大角度步长,获得相应的预匹配结果,然后,将预匹配结果直接设置为惯导输出,当所选用的半径步长和角度步长比较低时,需要对其进行重新匹配处理,从而获得最终结果。但是,需要注意的是,要确保所选用的预匹配半径步长的合理性,避免该半径步长因选取过大而降低预匹配结果的精确度,最终造成精匹配任务无法有效执行。

4 仿真试验分析

在整个仿真试验中,假设载体在所设置好的地磁场范围内进行活动,需要将地磁图的分辨率设置为 $400\text{m} \times 400\text{m}$ 。载体在实际运动中,通常以 9m/s 的速度从某点开始,以匀速直线方式进行运动,对于惯导系统而言,其输出轨迹与载体实际轨迹之间始终保持相对平行的状态,另外,该系统的圆概率误差、磁传感器采样频率、采样次数、噪声标准方差分别达到了 800m 、 9s/次 、 20次 、 1nT ,通过利用向量搜索匹配算法,可以确保误差达到 330m 。上述描述所展现的匹配效果具有一定的单一性,为了确保所获得的匹配结果具有一定的通用性,需要采用多次匹配的方式,提出以下假设,假设载体在实际运动中,沿着不同方向进行运动,同时,惯导真实误差表现出一定的任意性,并确保仿真次数达到 120次 ,所获得的不同噪声和匹配长度下的匹配误差如表1所示,从表1中的数据可以看出,匹配长度会随着

磁场噪声的不断下降而呈现出不断延长的趋势,另外,对于向量搜索相关匹配算法而言,在实际运用中,通常表现出较高的捕获概率和精确度,这完全符合理论分析相关原理,但是,从最终的试验结果发现,当匹配长度不断上升时,计算耗时呈现出不断上升的趋势,不利于后期实时校正和优化惯性导航系统,所以,技术人员在实际运用中,要确保所确定的匹配长度 N 具有一定的规范性和合适性。

表1 不同噪声和匹配长度下的匹配误差

匹配长度	噪声			
	0.1nT	1nT	2nT	4nT
10 个格	436m	426m	487m	516m
20 个格	398m	438m	493m	508m
30 个格	347m	356m	436m	452m

5 结语

结合以上仿真结果,不难发现本文所设计的地磁导航匹配算法表现出以下几个优点:①对初始位置误差并没有提出较高的要求。②无需线性化假设处理磁场,在保证磁场出现明显变化的基础上,即可正常工作。③通过利用地磁导航匹配算法所获得的解属于全局最优解。但是,该算法还存在以下不足,如虚假定位出现可能性较高;对方位误差表现出较高的敏感程度;对步长的量化误差产生较高的依赖程度;运算量相对较

高,对计算机性能提出了更高的要求,因此,相关技术人员要对这些问题进行一一突破和解决。

参考文献

- [1] 赵航,纪新春,陆一,等.面向车辆导航的多用户云端地磁匹配定位技术研究[J].传感技术学报,2022,35(6):844-849.
- [2] 刘洋,祁文刚,王文瑶,等.基于奇异值分解及扫描匹配的地磁导航算法[J].信息技术,2020,44(9):90-93,98.
- [3] 蔡欣华,柳宇,樊宇韬,等.基于模拟多特征向量的地磁匹配导航半实物仿真系统设计[J].电脑知识与技术,2019,15(30):241-243.
- [4] 黄欣,熊智,许建新,等.基于零速/航向自观测/地磁匹配的行人导航算法研究[J].兵工学报,2017,38(10):2031-2040.
- [5] 韦金芬.地磁匹配导航的关键技术现状[J].电子质量,2017(1):108-110.
- [6] 王闯,贺莹,张妍典.一种基于MAD的地磁匹配导航方法[J].信息技术与网络安全,2017,36(23):84-85.
- [7] 莫荣.不同地磁匹配导航算法比较研究[J].测绘与空间地理信息,2016(10):46-48.
- [8] 吕志峰,孙渊,张金生,等.地磁匹配导航半实物仿真方案设计及相关技术分析[J].电光与控制,2015,22(2):59-64.
- [9] 邓翠婷,黄朝艳,赵华,等.地磁匹配导航算法综述[J].科学技术与工程,2012,12(24):6125-6131.
- [10] 解伟男,李清华,奚伯齐,等.基于仿射参数估计的地磁匹配导航算法[J].哈尔滨工程大学学报,2018,39(8):1363-1368,1388.