一种平行接近的地磁梯度仿生导航方法

王琼, 周军

(西北工业大学 精确制导与控制研究所, 陕西 西安 710072)

摘 要:针对地磁导航受到先验地磁图的精度制约的问题,借鉴平行接近法的思想提出一种地磁梯度仿生导航方法。受生物可以利用地磁信息进行无先验信息导航的行为的启发,将导航过程归结为多目标值收敛问题,建立仿生导航模型。在导航过程中引入地磁场梯度信息,借鉴平行接近法对航向角进行解算,提出一种无需任何地磁先验信息,完全依靠实测地磁数据进行导航的方法,并通过仿真实验验证了该方法有效性。

关 键 词:地磁导航;梯度;平行接近法;仿生导航;约束优化

中图分类号:V249.32 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-2758(2018)04-0611-07

地磁场具有相当丰富的参数信息,其与地球近地空间的任一点都存在对应关系,是导航领域的一种天然坐标系。有关地磁导航的研究应用最为广泛的方式是地磁匹配导航,就是将飞行器导航路径上的实测地磁信息与机载地磁先验地磁图进行相关匹配,以获得飞行器的实测位置并解算导航信息[1-2]。这种方法可以克服惯导系统中误差随时间距离进行累积的缺陷,而且其具有自主性,抗干扰性能较强,能够全天时、全天候和全地域地执行自主导航任务[3],所以地磁导航已经成为目前较重要的一种导航方式。但是先验地磁图的绘制由于种种原因,其精确性和完整性难以得到保证。这就对地磁匹配导航这种对磁图精度依赖性较高的导航方法产生了极大的制约。近年来种种研究表明,地球上许多生物都可以根据地球磁场信息来进行定位和导航[4]。美国、德国、英国等多个国家对生物的地磁导航行为进行了实验验证和分析研究,研究表明:鸟类[5]、海龟[6]、鲑鱼[7]等生物都能够利用地磁场信息对自身的航向进行校正,从而实现自主导航[8-9];但是当其受到磁场干扰时,这些生物中的大部分都不能顺利地到达目的地[10]。这些生物的归巢、回溯等过程往往是长距离导航,显然它们的脑细胞中不大可能储存一副完整的地磁图,完成长距离导航所利用的仅仅为目的地的地磁信息。

西北工业大学的刘明雍等人[11]受生物利用地磁信息进行导航行为的启发,提出了一种基于时序进化策略的搜索方法,使得多参量收敛伴随并指导导航搜索的进行。导航过程中采用“优胜劣汰”的进化搜索模式,引导载体趋势性逼近目标点,因而导航过程也即航向角的寻优过程。但是其随机游走的导航搜索方式导致航向角波动较大,路径往往比较曲折,不能很好地应用于飞行器导航。

本文受其启发,为探求一种能适用于飞行器的仿生导航方法,在以终点地磁多参量为目标值的趋势仿生导航过程中,结合当前位置的地磁场梯度信息,提出一种不依赖任何先验地磁数据信息的仿生导航算法,利用实测数据平行接近目的地数据这一思想进行航向角预测,从而引导飞行器不断向目标点运动,最终完成导航。

1 地磁仿生导航策略

地磁场的参数信息会因地球上任一点的经、纬度和高度的不同而变化[12]。因此,地磁参量 $\boldsymbol{B}$ 可以描述为

$$\boldsymbol{B} = \{B_1, B_2, \cdots, B_n\} \tag{1}$$

式中, $B_i(i = 1,2,\cdots,n)$ 为地磁参量元素,即地磁要

收稿日期:2017-08-11 **基金项目**:国家自然科学基金(61703339)资助

作者简介:王琼(1989—),西北工业大学博士研究生,主要从事飞行器导航制导与控制方向研究。

素,是指表示地球磁场的方向和大小的物理量,由地磁场总强度 F、水平强度 H、磁偏角 D、磁倾角 I、磁场 3 分量 X,Y,Z 7 个物理量组成。

仿生导航的目的是模仿生物快速安全地到达目的地,这种多目标收敛问题的目标函数 Q 可以描述为[13]

$$\min\ Q(\boldsymbol{B}_k,\boldsymbol{B}_T)=(q_1,q_2,\cdots,q_n),\ n=1,2,\cdots,7 \tag{2}$$

式中,$\boldsymbol{B}_k$ 为飞行器当前位置 k 的地磁参量,$\boldsymbol{B}_T$ 为目标位置 T 的地磁参量;q_i 为第 i 个地磁参量 $\boldsymbol{B}_i$ 所对应的子目标函数,用来表示当前点与目标点之间的差异。仿生导航的任务就是使 $\boldsymbol{B}_k$ 中的 n 个参量在路径约束下最终收敛到目标值 $\boldsymbol{B}_T$。当目标值 Q 达到最小,即当多个地磁参量的 q 收敛为 0 或者达到最小的时候,即认为飞行器到达目标点 T。

2 平行接近地磁梯度仿生导航算法

2.1 平行接近导航策略

平行接近的概念是 2 个飞行器在交会过程中,实现转动速度在某一确定的坐标系为零,也就是 2 个飞行器之间的视线在接近过程中保持平行,如图 1 所示。在此情况下,追踪器就可以利用自身与目标器轨道速度差沿着视线方向接近目标[14]。平行接近法实现起来比较方便,而且弹道比较平直、导弹的过载比较小。

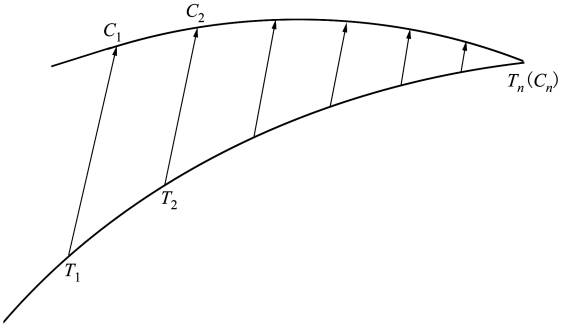


图 1 平行接近法的示意图

以往的地磁仿生导航方法是在随机游走的模型基础上进行的,航向角变化丰富,不能很好地应用于飞行器导航。本文针对这一问题,设计了一种适用于飞行器的地磁仿生平行接近导航算法。如图 2 所示,在飞行器向目的地接近的过程中,计算求得当前位置 k 的航向角 θ_k,使按照此航向角行进的单位步长下,不同地磁参量 $B_{i,k}(i=1,2,\cdots,n)$ 能保持相同比值接近各自目标点的地磁值 $B_{i,T}$,即

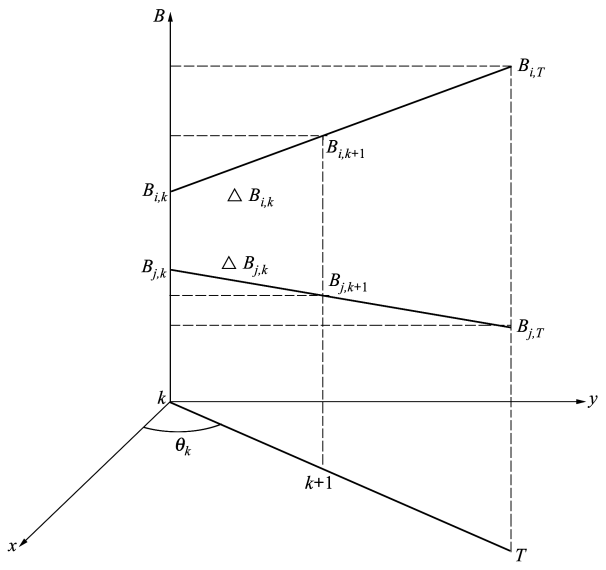


图 2 地磁仿生导航平行接近法示意图

$$(B_{i,k+1}-B_{i,k})\propto(B_{i,T}-B_{i,k})\ i=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

2.2 地磁梯度仿生导航算法

1) 飞行器运动方程

在一个二维平面内,飞行器的运动方程可表述为

$$\begin{cases} x_{k+1}=x_k+v\cos\theta_k \\ y_{k+1}=y_k+v\sin\theta_k \\ u=(\theta,v) \end{cases} \tag{4}$$

式中,(x,y) 表示飞行器所在的位置,u 为系统输入,也即与速度 v 和航向角 θ 相关的函数。

2) 航向角解算

假设飞行器的速度 v 是恒定的,那么导航输入 u 直接由航向角 θ 决定,即 $u=\theta$。所以地磁仿生导航的过程也就是航向角 θ 的求取过程,如图 3 所示。

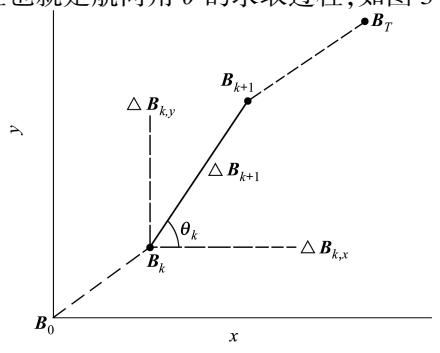


图 3 行进方向预测示意图

图中,$\Delta \boldsymbol{B}_k$ 为当前位置 k 与前一位置 $k-1$ 的地磁差值,$\Delta \boldsymbol{B}_{k,x}$,$\Delta \boldsymbol{B}_{k,y}$ 分别为其 x 轴、y 轴方向的分量。为使不同地磁参量 $B_{i,k}$ 能以相同比值 M_k 接近各自目标点的地磁值 $B_{i,T}$,(3) 式可进一步写为

$$\Delta B_{i,k+1} = M_k \cdot \Delta B_{i,T},\ i = 1,\cdots,n \tag{5}$$

式中

$$\Delta B_{i,k+1} = B_{i,k+1} - B_{i,k} = |\ \Delta B_{i,k,x}\ | \cos\theta_k + |\ \Delta B_{i,k,y}\ | \sin\theta_k \tag{6}$$

$$\Delta B_{i,k,T} = B_{i,T} - B_{i,k} \tag{7}$$

根据平行接近导航策略,就是使下一时刻 $k+1$ 相邻两步之间的地磁差值 $\Delta B_{i,k+1}$ 平行接近当前点 k 与目标点 T 之间的差值 $\Delta B_{i,T}$,也就是求得航向角 θ_k,使当前位置 k 的不同参量比例系数相等,即 $M_{i,k} = M_{j,k}$,$(i \neq j)$。

$$\frac{\Delta B_{i,k+1}}{\Delta B_{i,k,T}} = \frac{\Delta B_{j,k+1}}{\Delta B_{j,k,T}},\ i \neq j \tag{8}$$

即

$$\frac{|\ \Delta B_{i,k,x}\ | \cos\theta_k + |\ \Delta B_{i,k,y}\ | \sin\theta_k}{B_{i,T} - B_{i,k}} = \frac{|\ \Delta B_{j,k,x}\ | \cos\theta_k + |\ \Delta B_{j,k,y}\ | \sin\theta_k}{B_{j,T} - B_{j,k}} \tag{9}$$

由于上式中 x 轴、y 轴方向的分量 $\Delta B_{i,k,x}$ 和 $\Delta B_{i,k,y}$ 并不好直接获得,本文引入地磁场梯度进行计算。因为地磁梯度表示的是地磁场在某点范围的变化量,假设 k 点与 $k+1$ 点之间的距离足够小,可以认为相邻两点之间地磁差值 $\Delta B_{i,k,x}$ 与该分量的梯度值 $g_{i,k}$ 大致相等。证明如下[15]:

定义　函数 $B_i(x,y)$ 有关变量 x 的偏导数 $\mathrm{d}B_i$ 可写作

$$\mathrm{d}B_i(x,\Delta x,y) \triangleq B_i'(x,y)\Delta x \tag{10}$$

如果 B_i 在 x 处可微,那么 B 的差值

$$\Delta B_{i,x} \triangleq B_i(x_0,\Delta x,y) - B_i(x_0,y) \tag{11}$$

满足

$$\Delta B_{i,\lambda} = B_i'(x,y)\Delta x + o(\Delta x) = \mathrm{d}B_i(x,y) + o(\Delta x) \tag{12}$$

式中,增量 Δx 近似满足 $\Delta x \to 0$。可以得到

$$\Delta B_{i,x} \approx \mathrm{d}B_i(x,y) \tag{13}$$

地磁场梯度 $g_{i,k}$ 是安振昌学者[16] 根据地磁场的高斯理论提出的

$$g_{i,k,x} = \left.\frac{\partial B_i(x,y)}{\partial x}\right|_k,\ g_{i,k,y} = \left.\frac{\partial B_i(x,y)}{\partial y}\right|_k \tag{14}$$

式中,$g_{i,k,x}$ 和 $g_{i,k,y}$ 分别为地磁场梯度的 x 轴、y 轴方向的分量。有关地磁场梯度具体的求导过程可以参考文献[17]。

于是(9)式可以改写为

$$\frac{|\ g_{i,k,x}\ | \cos\theta_k + |\ g_{i,k,y}\ | \sin\theta_k}{B_{i,T} - B_{i,k}} = \frac{|\ g_{j,k,x}\ | \cos\theta_k + |\ g_{j,k,y}\ | \sin\theta_k}{B_{j,T} - B_{j,k}} \tag{15}$$

从(15)式可以推导出

$$\tan\theta_k = \frac{(B_{i,T} - B_{i,k})\ |\ g_{j,k,x}\ | - (B_{j,T} - B_{j,k})\ |\ g_{i,k,x}\ |}{(B_{j,T} - B_{j,k})\ |\ g_{i,k,y}\ | - (B_{i,T} - B_{i,k})\ |\ g_{j,k,y}\ |} \tag{16}$$

则航向角 θ_k 为

$$\theta_k = \arctan\left(\frac{(B_{i,T} - B_{i,k})\ |\ g_{j,k,x}\ | - (B_{j,T} - B_{j,k})\ |\ g_{i,k,x}\ |}{(B_{j,T} - B_{j,k})\ |\ g_{i,k,y}\ | - (B_{i,T} - B_{i,k})\ |\ g_{j,k,y}\ |}\right) \tag{17}$$

由于反正切函数 $\arctan(\cdot)$ 的取值范围在 $[0,\pi]$ 之间,因此在求取航向角 θ_k 时,应注意角度方向。

3) 评价指标

本文根据目标函数的收敛性构建了评价指标体系。这个指标可以通过当前位置的地磁值 $B_{i,k}$ 和目的地的地磁值 $B_{i,T}$ 之间的差异来描述。即

$$q_i(k) = |\ B_{i,k} - B_{i,T}\ |\ \ i = 1,\cdots,n \tag{18}$$

则评价指标 $Q(k)$ 可设置为

$$Q(k) = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i(k)}{\sum_{i=1}^{n} q_i(0)} = \frac{\|\boldsymbol{B}_k - \boldsymbol{B}_T\|}{\|\boldsymbol{B}_0 - \boldsymbol{B}_T\|} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(B_{i,k} - B_{i,T})^2}{\sum_{i=1}^{n}(B_{i,0} - B_{i,T})^2}} < \varepsilon \tag{19}$$

当评估指标 $Q(k)$ 达到极小值 ε 时,可以认为飞行器到达目标点,导航过程完成。

4) 误匹配点校正

假定地球磁场是一个理想的磁偶极子体,地球表面同一高度情况下的每个地磁场参量 B_i 的等值线都应该是一个圆。也就是说 2 个不同的地磁分量的等值线有可能存在 2 个交点 P_1 和 P_2,而如果只用这 2 个地磁分量进行导航,在这 2 个交点处该分量地磁值是完全相同的,如图 4 所示,这就会导致误匹配问题。

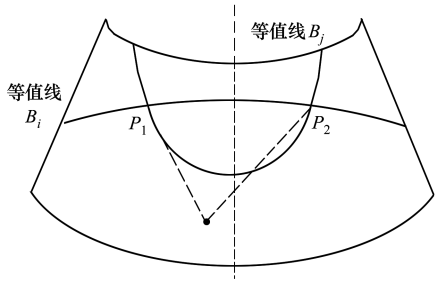


图 4 导航误匹配情况示意图

但是当导航过程中 P_1 和 P_2 不在一个平面内的时候,2 个地磁分量就可以完成导航任务。

众所周知地磁场具有丰富的地磁信息,但已知其中任意独立的 3 个地磁分量就可以推算出全部 7 个地磁分量。7 个地磁分量间的相互推导关系见文献[18]。为避免导航过程陷入误匹配情况,本文引入第 3 个地磁分量对航向角进行辅助判断。当一段连续时间内,2 个不同地磁分量的评价指标 $q_i(k)$ 和 $q_j(k)$ 一直存在收敛趋势,而第 3 个地磁分量的值 $q_l(k)(l \neq i,j)$ 却明显开始增大,说明航向角求取过程陷入误匹配点导航。此时需重新选取 2 个地磁分量在当前点重新开始导航过程。

本文创新性地利用平行接近方法进行地磁仿生导航,并借助地磁场梯度信息,用地磁场趋势变化辅助航向角的求取。算法流程如图 5 所示。

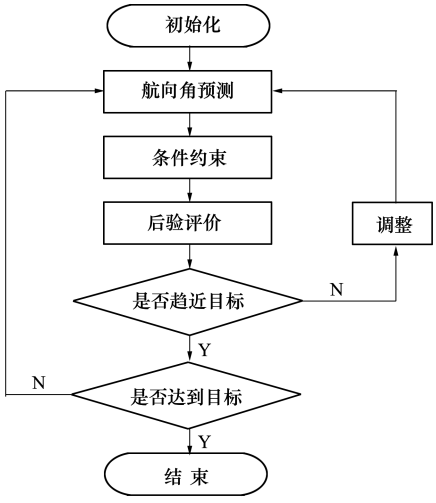


图 5 比例梯度导引算法流程

3 仿 真

为了验证上述导航算法,本文采用国际地磁模型 IGRF12 模拟实际地磁场环境,并在 Matlab 中进行仿真验证。

下面首先不考虑误匹配情况,仅对本文所述平行接近地磁梯度仿生方法进行仿真实验。仿真过程用经纬度表示飞行器的位置信息 (x,y),设定导航速度 v 的值约为 0.1° 经纬度值的大小。当飞行器所在位置与目标点的磁测数据的差值达到某一较小范围时,认为到达目的地,仿真结束。本次仿真任务中的评价指标设置为 $Q(k) < 0.01$。

1) 不同地磁参量作为导航线索

由于地磁场信息丰富,导航过程仅选取 2 种地磁参量用于解算导航信息,为说明本文方法的有效性,仿真过程中选取了如下 3 组不同的地磁分量进行实验:A 组的导航线索为地磁场东向分量 B_x、北向分量 B_y;B 组的导航线索为地磁场垂直分量 B_z、水平分量 H;C 组的导航线索为磁偏角 D、磁倾角 I。最终实验结果如图 6 所示。

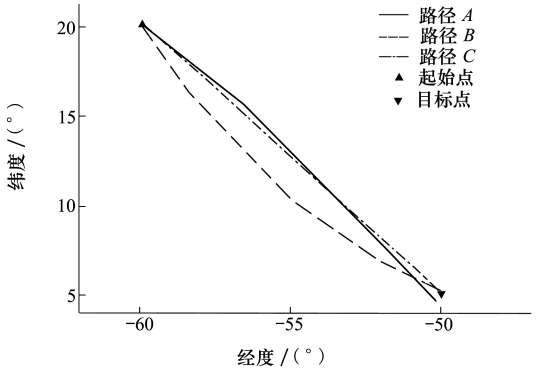


图 6 从(-60,20)到(-50,5)的 3 组导航运动轨迹图

上图中导航起始点设置为(-60,20),目标点设置为(-50,5)。针对同一初始点到目标点的指令信息,仿真结果显示,在没有地磁图先验参考条件的情况下,采用本文地磁梯度仿生导航算法进行了 3 组实验,其导航过程虽然呈现不一致的导航路径,但最终均能完成导航到达目标点。

2) 相同地磁参量作为导航线索

关于相同的导航参量,选取不同的飞行路径进行导航实验。本次实验中地磁参量选取磁偏角 D、磁倾角 I,从相同的初始位置(图 7 中 O 点)开始,选取 4 个不同方向朝既定的目标位置(图 7 中 A,B,C,D 点)运动。实验结果如图 7 所示。

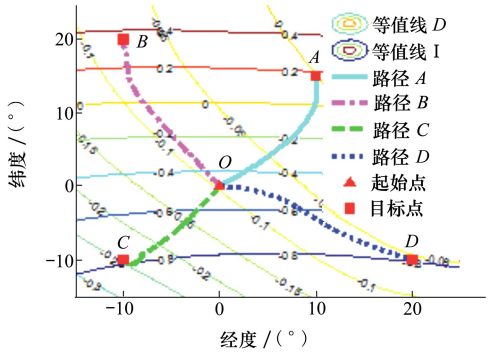


图 7　相同导航参量的导航运动轨迹图

图 7 中,起始点 O 设置为(0,0) 点,4 个目标点的设置分别为 $A(20,-10)$,$B(-10,-10)$,$C(-10,20)$,$D(10,15)$。飞行器从起始点出发朝着 4 个不同的目标点飞行,随着时间的累积,4 组导航运动根据地磁场的变化都存在明显逼近目标的趋势,结果表明 4 组实验都较好地完成了导航任务。

3) 与进化仿生导航的对比

为了与文献[11] 中所述进化地磁仿生导航方法进行对比,选取实验 2 中导航运动轨迹 OA 作为参考,并同样设置进化仿生导航方法的导航参量为磁偏角 D、磁倾角 I,仿真对比结果如图 8 所示。

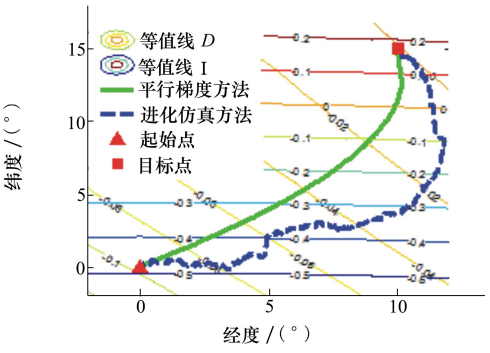


图 8　与进化仿生导航轨迹对比图

从图 8 可以看出,2 种导航方法从同一起点(0,0) 点出发向目标点(10,15)前进,最终都能完成导航到达目标点。由于进化地磁仿生导航方法借鉴了随机游走模型的思想,导航路径虽能逐渐趋于收敛,但是其随机搜索的过程导致航向角的变化较为丰富。本文方法的航向角 θ 随着导航过程缓慢变化,整体来说变化过程较为平缓,相对更适合应用于飞行器进行导航任务。

综合实验 1、2、3,当导航过程中不存在误匹配点,即当 P_1 和 P_2 不在同一导航平面时,可以证明本文所述算法可以模拟无先验地磁图情况下的仿生导航过程。而且导航航迹路线比较平滑,基本满足飞行器导航任务的需求。

4) 误匹配点校正

前文对本文所述平行接近地磁梯度仿生方法进行了有效的验证,在绝大多数情况下,采用本文方法都能很好地完成导航。但是地磁场信息丰富,仅采用 2 个地磁分量进行导航,难免会由于信息量缺失导致误匹配,如图 9 所示。为解决这种状况,引入第 3 个地磁分量辅助进行导航,从而对匹配情况进行校正,如图 10 所示。

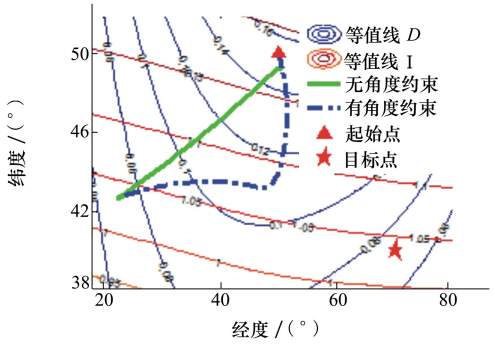


图 9　导航信息误匹配轨迹图

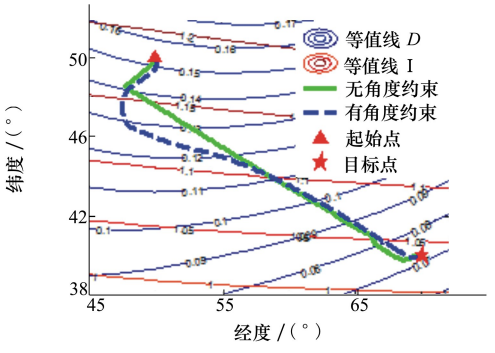


图 10　误匹配校正导航轨迹图

图 9 中,导航起点为(50,50),目标点设置为(70,40),直线表示的是飞行过程中没有航向角约束的情况,虚线为存在航向角约束的飞行轨迹。从图中可以看出,导航过程本应从起点出发往目标点行进,但是由于 2 个导航参量在误匹配点(23.3,42.7)的地磁值与目标点(70,40)的地磁值相同,均为 $D=0.072$ nT,$I=1.036$ nT,从而导致导航过程发生误匹配情况。

为了解决这种误匹配状况,从导航过程起始就

引入第3个地磁分量 F 进行辅助导航,如图10所示。一段时间后对导航过程进行判断,如果发现出现误匹配导航状况就采用其他地磁分量在当前点开始重新导航。同样,直线为没有加入飞行器航向角约束情况的飞行轨迹,虚线为存在航向角约束的误匹配点校正导航飞行轨迹。图9、图10的航向角约束均设置为 $\theta_{\text{limit}}<15°$。

综上所述,本文方法可以较好地完成导航任务,并可以适用于飞行器的导航任务中。

4 结 论

本文针对地磁导航受地磁图等先验信息限制的问题,受平行接近法的启发,结合地磁场梯度信息提出了一种平行接近地磁梯度仿生导航方法。利用地磁场梯度信息使当前位置的地磁参量平行接近目标信息,进行航向角求解,从而可不依赖任何地磁先验信息进行地磁导航,并通过仿真验证了该方法的有效性。

在实验过程中发现,本文方法利用地磁梯度信息运用比例算法解算导航信息,在磁场信息较为平滑没有地磁干扰情况下导航效果较好,若磁场曲线比较迂回或者存在地磁干扰将对整个导航过程造成较大的影响,有关这一问题将成为本文后续的研究重点。

参考文献:

[1] Goldenberg F. Geomagnetic Navigation Beyond the Magnetic Compass[C]//Position Location and Navigation Symposium, IEEE/IONIEEE, 2006: 684-694

[2] 高翔, 严胜刚, 李斌. 基于最小二乘的磁通门梯度仪转向差校正方法[J]. 西北工业大学学报, 2016, 34(5):837-842
Gao Xiang, Yan Shenggang, Li Bin. Error Calibration Method for Magnetic Gradiometer Base on Least Square[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2016, 34(5):837-842 (in Chinese)

[3] 周军, 葛致磊, 施桂国,等. 地磁导航发展与关键技术[J]. 宇航学报, 2008, 29:1467-1472
Zhou Jun, Ge Zhilei, Shi Guiguo, et al. Key Technique and Development for Geomagnetic Navigation[J]. Journal of Astronautics, 2008, 29:1467-1472 (in Chinese)

[4] Bulte M, Heyers D, Mouritsen H, et al. Geomagnetic Information Modulates Nocturnal Migratory Restlessness But Not Fueling in a Long Distance Migratory Songbird[J]. Journal of Avian Biology, 2017, 48(1): 75-82

[5] Dennis T E, Rayner M J, Walker M M. Evidence That Pigeons Orient to Geomagnetic Intensity During Homing[J]. Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences, 2007, 274(1614): 1153-1158

[6] Lohmann K J, Lohmann C M F, Ehrhart L M, et al. Geomagnetic Map Used in Sea-Turtle Navigation[J]. Nature, 2004, 428(6986): 909-910

[7] Putman N F, Lohmann K J, Putman E M, et al. Evidence for Geomagnetic Imprinting as a Homing Mechanism in Pacific Salmon[J]. Current Biology, 2013, 23(4):312-316

[8] Walker M M, Dennis T E, Kirschvink J L. The Magnetic Sense and Its Use in Long-Distance Navigation by Animals[J]. Current Opinion in Neurobiology, 2002, 12(6): 735-744

[9] 张兵芳, 田兰香. 动物地磁导航机制研究进展[J]. 动物学杂志, 2015, 50(5):801-819
Zhang Bingfang, Tian Lanxiang. Progresses in the Mechanisms of Animal Geomagnetic Navigation[J]. Chinese Journal of Zoology, 2015, 50(5): 801-819 (in Chinese)

[10] Papi F, Luschi P, Akesson S, et al. Open-Sea Migration of Magnetically Disturbed Sea Turtles[J]. Journal of Experimental Biology, 2000, 203(22): 3435-3443

[11] Liu M, Li H, Liu K. Geomagnetic Navigation of AUV without a Priori Magnetic Map[C]//Oceans, IEEE, 2014

[12] 孙晓洁, 寇军, 张笑楠,等. 地磁导航技术研究进展[J]. 导航与控制, 2016, 15(6): 1-6
Sun Xiaojie. Kou Jun, Zhang Xiaonan, et al. Research Progress in Geomagnetic Navigation[J]. Navigation and Control, 2016, 15(6): 1-6 (in Chinese)

[13] Liu M, Liu K, Peng X, et al. Bio-Inspired Navigation Based on Geomagnetic for the Autonomous Underwater Vehicle[C]//Oceans, IEEE, 2014: 1-5

[14] Fu L C, Chang W D, Chuang D M, et al. A Nonlinear Constant Bearing Guidance and Adaptive Autopilot Design for BTT Missiles[C]// American Control Conference, Proceedings of the IEEE, 1997: 2774-2778

[15] Riskunov N. Differential and Intergral Calculus[J]. Ussr Compntational Mathematics & Mathematical Physics, 2015, 8(3): 308-309

[16] 安振昌. 地磁总强度梯度的计算与分析[J]. 物探与化探, 1992(5): 365-369
An Zhenchang. Calculation and Analysis of the Gradient of the Total Geomagnetic Intensity[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 1992(5): 365-369 (in Chinese)

[17] 安振昌. 地磁场水平梯度的计算与分析[J]. 地球科学进展, 1992, 7(1):39-43
An Zhencan. Calculation and Analysis of the Horizontal Gradient of the Geomagnetic Field[J]. Advance in Earth Sciences, 1992, 7(1): 39-43 (in Chinese)

[18] Welch G. An Introduction to the Kalman Filter[M]. Course Notes of Acm Slggraph, 1995, 8(7): 127-132

Geomagnetic Gradient Bionic Navigation Based on Parallel Approach Method

Wang Qiong, Zhou Jun

(Institute of Precision Guidance and Control, Northwestern Polytechnical University, Xi′an 710072, China)

Abstract: Priori geomagnetic information is important to the geomagnetic navigation. However in practice, the precision of the geomagnetic information is a greatly constraint to the development of the geomagnetic navigation. In order to solve this problem, this paper present a geomagnetic gradient bionic navigation method based on parallel approach without any priori information. Inspired by the evidence that many creatures can navigate using the Earth magnetic field, the navigation process can be considered as a convergence of multi-objective problem, and develop the bionics navigation model. By introducing the parallel approach method to the navigation process, the heading angle can be estimated with the information of magnetic field gradient. The simulation results show the proposed method is able to navigation effectively without magnetic priori information, just rely on the actual geomagnetic measurement, which has implies potential application in the future.

Keywords: geomagnetic navigation; geomagnetic gradient; parallel approach method; bionic navigation; constrained optimization