

基于运动标量磁强计的磁性目标定位问题研究

王金根, 龚沈光

(海军工程大学, 湖北武汉 430033)

摘 要: 本文对基于单个运动标量磁强计和基于两个运动标量磁强计的磁定位问题分别进行了详细研究, 指出用单个运动标量磁强计不能完全确定出目标的位置参数, 并给出了一种通用的磁定位方法. 该方法先用改进的进化策略方法得到粗值, 然后用单纯形法获得精确值. 仿真结果表明该方法是切实有效的, 而且定位范围大; 由于它不需要事先假定磁性目标的磁矩已知, 因而是实用的. 另外, 对该方法稍做修改后, 还可将其直接用到基于矢量磁强计的磁定位问题中.

关键词: 磁性目标; 定位; 非线性规划

中图分类号: TM153.1; O221.2

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2002) 07-1057-04

Research on the Problem of Localizing Magnetic Target Based on Motion Scalar Magnetometer

WANG Jin-gen, GONG Shen-guang

(Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033, China)

Abstract: By studying the problems of localizing magnetic target based on single motion scalar magnetometer and based on two motion scalar magnetometers in detail, the authors indicate that magnetic target's position parameters can not be completely ensured by adopting single motion scalar magnetometer, and present a universal method of localizing magnetic target. The method first searches position parameters in the rough by adopting modified evolution strategy and then finds precision parameters by using simplex method. Testing experiment results indicate the effectivity and large localization area of the method. Since the method need not know magnetic moment in advance, it is practical. In addition, the method can be directly applied to solve the problem of localizing magnetic target based on vector magnetometer after a few modifications.

Key words: magnetic target; localizing; nonlinear programming

1 引言

现实世界中, 很多物体都由铁磁性物质构成, 因而在地磁场中会产生感应磁场(故称之为磁性目标). 若测得了这些磁性目标周围的部分磁场值, 就可通过建立磁场模型、运用测量数据反演模型来定出这些目标的位置和运动参数, 这就是磁性目标定位问题. 依据所采用磁强计的类型及其运动状态可分为四大类, 即基于静止矢量磁强计的定位问题、基于静止标量磁强计的定位问题、基于运动矢量磁强计的定位问题、基于运动标量磁强计的定位问题. 但是其中的基于运动矢量磁强计的定位问题和基于静止标量磁强计的定位问题没有实际应用前景. 这是因为现实中矢量磁强计的运动不可避免地要使它自身产生晃动, 因自身晃动引入的虚假磁信号往往使定位不准, 甚至失败; 标量磁强计(如核磁旋进式或光泵式磁强计)测量的是总场, 因磁场数据中不含方向信息, 不适于近场定位, 主要用于远场, 目的是为了搜索目标(像民用上的勘探铁矿、打捞沉船等工作), 所以它要是静止不动, 将失去了其实际

意义. 因此实际中人们将只研究基于静止矢量磁强计的定位问题和基于运动标量磁强计的定位问题, 本文只对后一个问题进行详细研究. 关于这个问题, 国内外一些学者都作了些相应的研究工作. 国外从70年代就开始从事这项技术的研究, 文献[1~3]就是很好的见证. 文献[1, 2]中采用两个标量磁强计进行定位, 但是它事先假定磁性目标的磁矩已知, 这显然与实际不吻合, 而且其定位范围小. 文献[3]采用5个标量磁强计进行定位, 其基本思想是: 首先假定磁性目标的磁矩已知, 然后运用5个标量磁强计的数据来解一个线性方程组, 从而得到目标的位置. 这种技术离实际应用还差得很远. 国内对这项技术的研究工作开展得不多, 文献[4]根据信号特征频率与探测距离的近似反比关系来粗略估计出目标与探头之间的距离. 这种方法不能确定目标方位, 它只是一个经验公式, 其中的经验系数与多种因素有关, 不易确定. 本文通过对基于运动标量磁强计的磁定位问题的详细研究, 给出了一种实用的磁性目标定位方法. 该方法不需要事先假定磁性目标的磁矩

已知. 它简单可靠且定位范围大, 因而不论在民用上还是在军事上都有一定的应用前景.

2 基于单个运动标量磁强计的磁定位问题

在不失问题实质的前提下, 为了讨论问题的方便, 可做如下几点假设:

- (1) 地磁总场 H_e 恒定, 磁倾角为 ϕ ;
- (2) 磁性目标只有一个, 其主要几何尺寸(一般指长度)为 L_M , 标量磁强计离磁性目标几何中心的距离为 D_M , 且 $D_M \geq (3 \sim 5) L_M$;

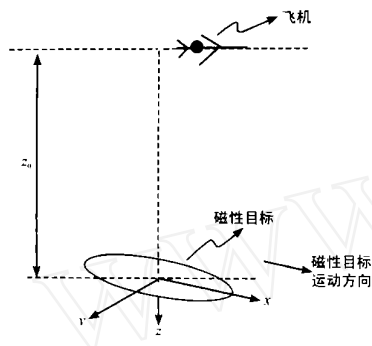


图1 磁性目标与标量磁强计的位置关系

(3) 标量磁强计安装在飞机上且不考虑飞机本身的磁场, 飞机只作平飞和直飞(实际中飞机并不总是作平飞和直飞, 但是在较短的数据采集时间内, 可以认为飞机沿直线飞行), 偏航角为 θ , 飞行速度为 v_a , 飞机纵轴与磁北方向的夹角为 α , 目标运动方向与磁北方向的夹角为 ϕ , 目标的运动速度为 v_s .

则运动磁性目标与单个运动标量磁强计的位置关系如图1所示. 图中 σ_{xyz} 为磁性目标的坐标系. 飞机航向、地磁总场方向与 σ_{xyz} 坐标系之间的几何关系如图2所示. 所有夹角都是以顺时针方向为正, 逆时针方向为负.

磁探头在 $t = 0$ 时开始采样, 采样周期为 T_s . $t = 0$ 时刻磁探头在 σ_{xyz} 坐标系中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , $t = nT_s$ 时刻磁探头的标量输出为 $H_s(n)$, 则根据上面的假定, 可得到如下结论:

- (1) $-z_0$ 为飞机离开磁性目标的垂直距离;
- (2) 由于目标离磁探头非常远, 则可将其等效为一个磁偶极子; $H_e, H_s(n), H_t(n)$ 之间的矢量关系如图3所示, 其中 $H_t(n)$ 为 $t = nT_s$ 时刻磁探头处的目标磁场矢量, ϕ 为 $H_t(n)$ 与 H_e 的夹角;
- (3) 由于 $|z_0|$ 非常大, $H_t(n) \ll H_e$, 于是利用余弦定理可得到 $H_s(n) = H_e + H_t(n) \cos \phi$, 其中 $H_t(n)$ 为 $H_t(n)$ 的大小;
- (4) $t = nT_s$ 时刻磁探头在 σ_{xyz} 坐标系中的坐标为 $(x_0 + v_a n T_s \cos(\theta + \alpha) - v_s n T_s, y_0 + v_a n T_s \sin(\theta + \alpha), z_0)$.

在上面出现的 $x_0, y_0, z_0, v_s, v_a, \theta, \alpha, \phi$ 等8个参数中, 有

3个是已知的, 它们是 v_a, ϕ, θ , 其余5个参数需要我们去求解. 下面研究如何由已知的 $H_s(n), n = 0, 1, \dots, M - 1$ 去求解 $x_0, y_0, z_0, v_s, \dots$.

设 $t = nT_s$ 时刻, 磁性目标在标量磁强计处产生的磁场三分量为 $H_x(n), H_y(n), H_z(n)$, 则由单个磁偶极子模型可得到

$$\begin{aligned} H_x(n) &= a_x(n) M_x + a_y(n) M_y + a_z(n) M_z \\ H_y(n) &= b_x(n) M_x + b_y(n) M_y + b_z(n) M_z \\ H_z(n) &= c_x(n) M_x + c_y(n) M_y + c_z(n) M_z \end{aligned}$$

其中, M_x, M_y, M_z 为磁性目标磁矩的三分量,

$$\begin{aligned} a_x(n) &= \frac{1}{4} \left[\frac{3x_n^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right], & a_y(n) &= \frac{3}{4} \left[\frac{x_n y_n}{r^5} \right], \\ a_z(n) &= \frac{3}{4} \left[\frac{x_n z_n}{r^5} \right], & b_y(n) &= \frac{1}{4} \left[\frac{3y_n^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right], \\ b_z(n) &= \frac{3}{4} \left[\frac{y_n z_n}{r^5} \right], & c_z(n) &= \frac{1}{4} \left[\frac{3z_n^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right], \\ b_x(n) &= a_y(n), & c_x(n) &= a_z(n), & c_y(n) &= b_z(n). \end{aligned}$$

式中: $x_n = x_0 + v_a n T_s \cos(\theta + \alpha) - v_s n T_s, y_n = y_0 + v_a n T_s \sin(\theta + \alpha), z_n = z_0, r = \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}$,

$$\begin{aligned} H_t(n) \cos \phi &= H_x(n) \cos \phi \cos \alpha + H_y(n) \cos \phi \sin \alpha + H_z(n) \sin \phi \\ &= f_1(n) M_x + f_2(n) M_y + f_3(n) M_z \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} f_1(n) &= a_x(n) \cos \phi \cos \alpha + b_x(n) \cos \phi \sin \alpha + c_x(n) \sin \phi \quad (1) \\ f_2(n) &= a_y(n) \cos \phi \cos \alpha + b_y(n) \cos \phi \sin \alpha + c_y(n) \sin \phi \quad (2) \\ f_3(n) &= a_z(n) \cos \phi \cos \alpha + b_z(n) \cos \phi \sin \alpha + c_z(n) \sin \phi \quad (3) \end{aligned}$$

根据前述结论3有

$$\begin{aligned} H_s(n) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} H_s(k) &= (f_1(n) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} f_1(k)) M_x + (f_2(n) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} f_2(k)) M_y + (f_3(n) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} f_3(k)) M_z \quad (4) \end{aligned}$$

对每个 $n = 0, 1, \dots, M - 1$ 用式(1)~(3)分别计算, 得到 $f_1(n), f_2(n), f_3(n), n = 0, 1, \dots, M - 1$ 然后将它们逐一代入式(4)可得到一个方程组, 写成矩阵形式为

$$H = F \cdot M$$

其中

$$\begin{aligned} H &= [H_s(0) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} H_s(k), H_s(1) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} H_s(k), \dots, H_s(M-1) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} H_s(k)]^T \end{aligned}$$

F 是 $p = (x_0, y_0, z_0, v_s, \dots)^T$ 的函数, 不妨记为 $F(p)$, 它的第 i 行, 第 j 列的元素为 $f_{ij}(i-1) - \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} f_{ij}(k), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq 3; M = [M_x, M_y, M_z]^T$.

由已知的 H 求解 p 可转化为下面的约束优化问题.

$$\begin{cases} \min & \|H - F(p)\|^2 \\ \text{s.t.} & a \leq p \leq b \end{cases} \quad (5)$$

其中 $p = (p_1, p_2, \dots, p_L)^T, R^{L \times 1}$ 为待定参数向量, $a = (a_1, a_2, \dots, a_L)^T, R^{L \times 1}, b = (b_1, b_2, \dots, b_L)^T, R^{L \times 1}$ 分别为下限向量和上限向量.

$(F(p))^+$ 为 $F(p)$ 的广义逆

对此非线性优化模型,可用罚函数将其转化为下面的无约束优化问题.

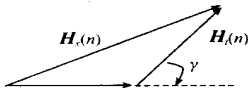


图 3 $H_e, H_s(n), H_t(n)$ 之间的矢量关系

$$\min \quad H - F(p) (F(p))^+ H \quad (6)$$

$$+ C \cdot \sum_{i=1}^L (g((p_i - a_i)(p_i - b_i)) + 1)$$

其中 C 为一较大正数 (如令 $C = 1000$); $g(x) = \begin{cases} -1, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$

问题(6)在可行域内有较多局部极小点,而我们需要求全局最小点.为了得到全局最小点,对复杂的目标函数进行详细研究,最后采用如下策略:先用进化策略^[5]方法得到粗值 p_g ,然后用单纯形法得到精确值 p_p .

求解 p_g 的进化策略如下:

- (1) 输入种群规模 P , 进化代数 k_{max} , 设定均方差向量的初值 $\sigma = R^L \cdot x^1$, 置 $k = 1$;
- (2) 随机产生 P 个初始父本 $x_1^k, x_2^k, \dots, x_P^k$, 并计算每个父本的适应度 (即目标函数值);
- (3) 对任一父本 x_i^k ($i = 1, 2, \dots, P$), 其相应分量 x_{ij}^k ($j = 1, 2, \dots, L$) 按公式 $x_{ij}^k = x_{ij}^k + \sigma_i(j) \cdot N(0, 1)$ 变异, 产生子代 (x_i^k) (其相应分量为 (x_{ij}^k)), 其中 $N(0, 1)$ 是均值为 0, 标准偏差为 1 的正态随机变量, $\sigma_i(j)$ 为均方差向量 σ_i 的第 j 个分量;
- (4) 计算 P 个子代的适应度;
- (5) 选择算子采用 $(P + P) - ES$ 进化策略;
- (6) $k = k + 1$, 如果 $k > k_{max}$, 则算法终止, 输出适应度最小的个体作为 p_g 的值, 否则转 (3).

在上述求解 p_g 的进化策略中,若采用 Schwefel 提出的均方差调整方案,即令 $\sigma = 1/\sqrt{2n}$, $\sigma = 1/\sqrt{2}\sqrt{n}$, 则发现求解效率不高.为了提高求解效率,针对具体问题提出了一种新的均方差调整方案,可使进化代数大为减少,具体如下:

$$\sigma_i^k(j) = (B + A \cdot (F(x_i^k))) \cdot \sigma_0(j)$$

$i = 1, 2, \dots, P, j = 1, 2, \dots, L, k = 1, 2, \dots, k_{max}$ 其中 $B = 0.5 \sim 1, \sigma_0(j) = 1$ 或 $2, F(x_i^k)$ 为第 k 代第 i 个父本的适应度 (即目标函数值) $A = C/\min\{F(x_i^1)\}, C = 15 \sim 30, \sigma_0(j)$ 为 σ_0 的第 j 个分量.

求解 p_p 可采用 Nelder-Mead 单纯形调优法模型^[6].

当目标静止不动 (即 $v_s = 0$) 时,上述磁定位问题可以简化.此时,可将磁性目标的坐标系 σ_{xyz} 进行旋转直到 $v_s = 0$, 即 x 轴正向与飞机航向一致.做了此坐标变换后,发现原问题的待定参数由 5 个减少到 3 个,即 $L = 3, p = (x_0, y_0, z_0)^T$, 变成了 3. 当采用上述的方法确定出 $H, F(p)$, 再求解全局最优解时发现该优化问题的全局最优解不唯一 (即 p_p 不唯一), 它至少有两个全局最优解.可将这一新发现的结论写成如下定理的形式.

定理 1 若 $p_1 = (x_0, y_0, z_0)^T$ 是上述优化问题的全局最

优解,则 $p_2 = (x_0, -y_0, z_0)^T$ 也是它的全局最优解.

证明:为了证明 p_2 是全局最优解,只需证明:

$$H - F(p_1) (F(p_1))^+ H \quad (7)$$

$$= H - F(p_2) (F(p_2))^+ H \quad (8)$$

如果 $F(p_1) (F(p_1))^+ = F(p_2) (F(p_2))^+$, 则上式必成立.又命题 $F(p_1) (F(p_1))^+ = F(p_2) (F(p_2))^+$ 等价于命题 $(F^T(p_1))^+ \cdot F^T(p_1) = (F^T(p_2))^+ \cdot F^T(p_2)$, 所以下面只需证明命题 $(F^T(p_1))^+ \cdot F^T(p_1) = (F^T(p_2))^+ \cdot F^T(p_2)$ 成立即可.

设 $f_i(p_1), f_i(p_2)$ 分别为 $F^T(p_1)$ 和 $F^T(p_2)$ 的第 i 列, $i = 1, 2, \dots, M, M = 1, 2, \dots$, 并令 $\sigma_1 = (F^T(p_1))^+, \sigma_2 = (F^T(p_2))^+$, 则

$$(F^T(p_1))^+ \cdot F^T(p_1) = [\quad \sigma_{11}(p_1) \quad \sigma_{12}(p_1) \quad \dots \quad \sigma_{1M}(p_1)] \quad (7)$$

$$(F^T(p_2))^+ \cdot F^T(p_2) = [\quad \sigma_{21}(p_2) \quad \sigma_{22}(p_2) \quad \dots \quad \sigma_{2M}(p_2)] \quad (8)$$

下面来证明如下命题.

命题 1 对任意 $i = 1, 2, \dots, M$, 有 $\sigma_{i1}(p_1) = \sigma_{i2}(p_2)$ 成立.

该命题的证明过程书写起来较冗长,在此只给出其证明思路.令 $w_1 = \sigma_{i1}(p_1), w_2 = \sigma_{i2}(p_2)$. 由于 $f_i(p_1), f_i(p_2)$ 分别是 $F^T(p_1)$ 和 $F^T(p_2)$ 的第 i 列, 于是方程 $F^T(p_1) \cdot x = f_i(p_1)$ 和方程 $F^T(p_2) \cdot y = f_i(p_2)$ 皆有解. 现在将前面的式 (1) ~ (3) 分别代入 $f_i(p_1), F^T(p_1)$ 和 $f_i(p_2), F^T(p_2)$ 中, 合并同类项, 并考虑 x_0, y_0, z_0 之间的独立性后进行比较, 即可得到方程 $F^T(p_1) \cdot x = f_i(p_1)$ 的解空间 R_1 与方程 $F^T(p_2) \cdot y = f_i(p_2)$ 的解空间 R_2 相同. 根据矩阵理论可知 w_1, w_2 分别是 R_1 和 R_2 中唯一的最小范数解, 又 $R_1 = R_2$, 则 $w_1 = w_2$, 命题 1 获证.

由命题 1, 再结合式 (7)、(8), 立即可得到 $(F^T(p_1))^+ \cdot F^T(p_1) = (F^T(p_2))^+ \cdot F^T(p_2)$, 从而定理获证.

该定理说明当 $v_s = 0$ 时,用单个运动标量磁强计只能定出磁性目标 3 个未知参数中的 2 个 (即 x_0 和 z_0).

在现实当中,为了能够估计出静止目标的位置,可采用如下策略:

- (1) 采用单个标量磁强计,飞行员通过多次改变航向和定位后可完全确定出目标的位置;
- (2) 采用两个标量磁强计 (这两个标量磁强计可分别安装在飞机的两翼上) 进行定位,可一次性定出未知磁性目标的 3 个位置参数.

下面来讨论基于两个运动标量磁强计的磁定位问题.

3 基于两个运动标量磁强计的磁定位问题

若将两个标量磁强计分别安装在图 1 飞机的两翼上,则它们在 oxy 平面内的投影如图 4 所示. 图中 d 为两传感器间的距离. 图中其它参数的含义同上节. 两探头在 $t = 0$ 时开始采样, 采样周期为 T_s . $t = 0$ 时刻磁探头 1 在 σ_{xyz} 坐标系中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) . $t = nT_s$ 时刻磁探头 1 的标量输出为 $H_{s_1}(n)$, 磁探头 2 的标量输出为 $H_{s_2}(n)$. 根据上述假定, 可得到

如下结果:

(1) z_0 为飞机离开磁性目标的垂直距离;

(2) $H_{s_1}(n) = H_e + H_1(n) \cos \alpha_1(n)$,

$H_{s_2}(n) = H_e + H_2(n) \cos \alpha_2(n)$, 其中 $H_{t_1}(n)$, $H_{t_2}(n)$

(n) 分别为 $t = nT_s$ 时刻磁探头 1 和磁探头 2 处的目标磁场 $H_1(n)$ 和 $H_2(n)$ 的大小,

$\alpha_1(n)$, $\alpha_2(n)$ 分别为 $H_1(n)$ 和 $H_2(n)$ 与 H_e 的夹角;

(3) $t = nT_s$ 时刻磁探头 1 在 σ_{xyz} 坐标系中的坐标为 $(x_0 + v_x nT_s \cos(\theta + \alpha) - v_y nT_s, y_0 + v_x nT_s \sin(\theta + \alpha), z_0)$ 磁探头 2 在 σ_{xyz} 坐标系中的坐标为 $(x_0 + v_x nT_s \cos(\theta + \alpha) - v_y nT_s, y_0 - v_x nT_s \sin(\theta + \alpha) + v_z nT_s, z_0)$.

当 $v_s = 0$ 时, 同样可以得到简化模型, 但是与上节不同的是, 它的全局最优解唯一. 在上面出现的 $x_0, y_0, z_0, v_x, v_y, v_z, \theta, \alpha, \phi$ 等 9 个参数中, 有 4 个是已知的, 它们是 v_x, v_y, v_z, θ , 其余 5 个参数待定. 同上节一样, 也需要确定 H 和 $F(p)$. 将探头 1 的所有采样点和探头 2 的所有采样点合并在一起, 然后仿照上节的方法来确定 H 和 $F(p)$.

4 仿真实验及其结果

在仿真实验进行之前, 需要做如下准备工作:

(1) 用某船模的若干实测数据样本建立混合阵列模型 (模型中磁偶极子的个数 $N = 13$), 然后用此模型换算出 $z_0 = -400\text{m}$ 处的磁场矢量, 并将它同地磁矢量 H_e 合成, 得到空间的标量场分布;

(2) 假定飞机以 $v_a = 100\text{m/s}$ 的速度做平飞和直飞, 机头方向与磁北方向的夹角 $\theta = -65^\circ$, 两探头 (探头间距离 $\Delta = 8\text{m}$) 以 $T_s = 0.1\text{s}$ 的时间间隔同时采样, 各采集 120 个点, 分别形成时间序列 $H_{s_1}(n)$ 和 $H_{s_2}(n)$;

$H_{s_1}(n)$ 、 $H_{s_2}(n)$ 随时间的变化曲线如图 5 所示. 图中的横轴为时间轴 (单位为: s), 纵轴为磁场信号的大小 (单位为: nT). 图中的实线对应于磁探头 1, 虚线对应于磁探头 2. $H_{s_1}(n)$ 、 $H_{s_2}(n)$ 中不含噪声. 有了上述实验数据, 可做如下的定位算法仿真实验.

在定位算法中, $L = 3$, $a = (-3000, -3000, -600)^T$, $b = (3000, 3000, -200)^T$, 进化策略中的种群规模 $P = 30$, 进化代数 $k_{\max} = 60$, $B = 0.5$, $C = 20$, $\lambda = 1$, $\mu = (b - a)/300$, 磁性目标的真实位置参数向量 $p_r = (-543.8, 253.6, -400.0)^T$. 现用 $H_{s_1}(n)$ 进行定位, 得到的定位结果为 $(-541.8, 335.4, -334.4)^T$; 用 $H_{s_1}(n)$ 、 $H_{s_2}(n)$ 进行定位, 得到的定位结果为

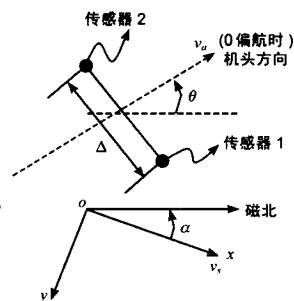


图 4 两传感器在 oxy 平面内的投影

$(-542.2, 253.6, -400.2)^T$. 这表明采用两个标量磁强计的定位精度好于采用单个标量磁强计的.

上述实验结果只是从一个实例得到的, 为了证实该方法具有普遍性, 作者用不同的实例不同的样本进行了大量的仿真实验, 结果发现都达到了预期效果. 因篇幅所限, 其它实例的结果在此不再一一列出.

5 结束语

本文对基于单个运动标量磁强计和基于两个运动标量磁强计的磁定位问题分别进行了详细研究, 指出用单个运动标量磁强计不能完全确定出目标的位置参数, 并给出了一种通用的磁定位方法. 该方法先用改进的进化策略方法得到粗值, 然后用单纯形法获得精确值. 仿真结果表明该方法是切实有效的, 而且定位范围大; 由于它不需要事先假定磁性目标的磁矩已知, 因而是实用的. 另外, 需要特别说明的是: (1) 尽管本文提出的磁定位方法是针对标量磁强计的, 但是对其稍做修改后, 还可直接用到基于矢量磁强计的磁定位问题中. (2) 本文在讨论基于运动标量磁强计的磁定位问题时, 假定了标量磁强计的载体本身不产生磁场. 这种情况在实际中是存在的 (如载体为木船或由其它无磁性材料制成), 但是当载体为飞机时, 情况则不然, 因飞机自身产生磁场, 特别当飞机离目标较远时, 飞机磁噪声完全将目标信号淹没. 这时为了使前述的磁定位方法不失效, 要采取如下策略: (1) 用信号处理技术消除载体本身的磁噪声; (2) 用更多的数据点来进行定位. 关于飞机磁噪声的消除问题, 作者已研究出了相应的自适应算法 (详细内容见文献 [7]), 因篇幅所限, 在此不再详细给出.

参考文献:

- [1] A D McAulay. Computerized model demonstrating magnetic submarine localization [J]. IEEE Trans on AES, 1977, 13 (3): 246 - 254.
- [2] A D McAulay. Real Time Model for Airborne submarine localization Using Dual Magnetic Sensors [R]. USA: Boeing Doc, 1975.
- [3] A Linear Approximation of the Source Position Using Multiple MAD(u) [R]. USA: AD-A134733, 1983.
- [4] 曾洪. 潜艇磁信号的频谱规律与近似计算 [J]. 声学与电子工程, 1990, (1): 25 - 30.
- [5] 陈国良, 等. 遗传算法及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996. 279 - 284.
- [6] 陈开明. 非线性规划 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1991. 183 - 189.
- [7] 王金根. 航空磁探系统中目标信号检测与磁性目标定位研究 [D]. 武汉: 海军工程大学, 2001.

作者简介:



王金根 男, 1972 年 2 月生于安徽, 博士, 研究兴趣为: 弱信号检测与处理, 人工神经网络理论及其应用, 小波分析等.