

文章编号: 1001-0920(2003)01-0103-03

## 电子地图在边扫描边跟踪侦察系统中的应用研究

刘刚, 潘泉, 张洪才

(西北工业大学 自动控制系, 陕西 西安 710072)

**摘要:** 提出一种利用电子地图信息改善边扫描边跟踪侦察系统性能的新算法。利用地面目标一般沿着道路或河流运动的特性, 从电子地图得到目标周围道路或河流信息, 通过假设检验将其与跟踪滤波器输出进行综合, 修正跟踪滤波器的估计结果。该方法在仿真和实际侦察系统中取得了较好的结果。

**关键词:** 电子地图; 边扫描边跟踪; 侦察系统

中图分类号: TP279

文献标识码: A

### Application of electronic map in track-while-scan surveillance-system

L IU Gang, PAN Quan, ZHAN G Hong-cai

(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi an 710072, China)

**Abstract** A new approach to improving the performance of track-while-scan (TWS) surveillance-system using electronic map is presented. Ground targets are always constrained by roads or rivers. The electronic map provides information of roads or rivers around the target, which is used to modify the estimation of tracking filter by hypothesis testing. Simulation results of real scenarios show good performance of the algorithm.

**Key words:** Electronic map; Track-while-scan; Scout surveillance system

## 1 引言

战场侦察雷达用于对敌战役纵深侦察和监视。在地域辽阔、复杂多变的战场上, 如果雷达具备了边扫描边跟踪(TWS)<sup>[1-3]</sup>能力, 就能更有效地跟踪、定位、识别和录取多批机动目标, 形成它们的轨迹, 从中提取有用的情报。在此系统中, 由于可以应用系统提供的数字地图信息, 并可利用其他信息确定出目标的特征(种类), 如机动车辆、直升机、船舶等, 因此能对TWS系统的输出结果进行修正。本文将给出有关的解决方案。

## 2 高度修正

战场侦察雷达通常只能提供径距 $R$ 和方位 $\theta$ 量

测, 因此TWS系统一般只能使用平面的滤波方法, 根据本机的高度以及地面的海拔, 将目标的径向距离一律投影到水平面上, 得到径向距离在水平面上的投影 $R$ , 结合方位量测 $\theta$ 在水平面上进行滤波。这种做法对于空中目标会产生一定的水平距离上的误差; 而对于因地形高低引起的地面目标的高度差异, 由于在量测的投影过程中利用了电子地图获取的地面海拔高度信息, 因此这种误差已经消除。

一旦确定目标是一架直升机或者其他飞行器, 就能给出这种目标的高度上的一般经验值 $H$ 。根据我机的高度 $H_0$ 、地面高度 $h$ (由电子地图给出)和未修正前的目标相对于我机的水平距离 $r$ , 便可确定

收稿日期: 2001-04-23; 修回日期: 2002-05-13。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60172037); 教育部跨世纪优秀人才培养计划基金资助项目([2000]1号)。

作者简介: 刘刚(1974—), 男, 安徽凤台人, 博士, 从事自适应滤波、机动目标跟踪的研究; 潘泉(1961—), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 博士, 从事自适应滤波、机动目标跟踪等研究。

出目标的实际水平距离(如图 1 所示)

$$r = \sqrt{r'^2 + (H_0 - h)^2 - (H_0 - H)^2} \quad (1)$$

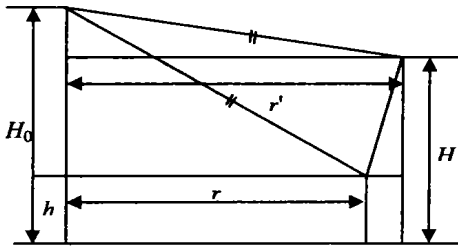


图 1 目标高度不同产生的水平距离上的偏差

### 3 地面目标修正

对于车辆、船舶等地面目标,它们通常沿着道路或河流运动,这样就有可能根据这一特性来修正这些目标的水平地理位置。国外利用电子地图修正地面目标定位的方法<sup>[4,5]</sup>较为复杂,这些算法是以改善跟踪效果为前提。对于侦察系统而言,注重的是目标的分辨;而且实际侦察系统对于目标是否沿着道路或河流运动,有时并不能提供确实的信息,从而使得这些算法要求的条件可能达不到。本文以侦察系统为背景,利用假设检验的方法给出一种简单且实用的解决方案,经过扩展可用于没有先验信息的情况。

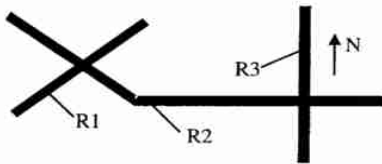


图 2 地面目标修正

如图 2 所示,设目标的估计位置为  $(x_0, y_0)$ , 速度为  $(v_x, v_y)$ , 位置和速度的估计误差协方差矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} P_x & P_{xy} \\ P_{yx} & P_y \end{bmatrix}$$

在  $x$  坐标和  $y$  坐标解耦情况下,则

$$P = \begin{bmatrix} P_x & 0 \\ 0 & P_y \end{bmatrix}$$

假定  $(x_0, y_0)$  在道路(看作直线)R1 上的投影为  $(x_1, y_1)$ , 并取 R1 上另一点为  $(x_1 + dx, y_1 + dy)$ , 使得  $dx^2 + dy^2 = v_x^2 + v_y^2$ 。只要判定目标是否属于道路 R1, 便可等价于判别目标的实际状态是否可能是位置为  $(x_1, y_1)$  且速度为  $(dx, dy)$  (此目标称为假想目标)。将目标和假想目标的估计值写作向量形式,即

$$s_0 = \begin{bmatrix} s_{0x} \\ s_{0y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ v_x \\ y_0 \\ v_y \end{bmatrix}, \quad s_1 = \begin{bmatrix} s_{1x} \\ s_{1y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ dx \\ y_1 \\ dy \end{bmatrix} \quad (2)$$

则相对于  $s_0$  (与一般理解相反,这里将实际目标状态  $s$  看作随机向量,而将估计值看作已知点), 实际目标状态  $s$  应服从均值为  $s_0$ , 协方差为  $P$  的高斯分布,即  $s \sim N(s_0, P)$ 。则

$$(s - s_0)^T P^{-1} (s - s_0) \sim \chi^2(4) \quad (3)$$

其中  $\chi^2(4)$  表示维数为 4 的  $\chi^2$  分布。假想目标到估计目标的统计距离为

$$d^2 = (s_1 - s_0)^T P^{-1} (s_1 - s_0) \quad (4)$$

于是,要判别假想目标是否为实际目标,可按  $\chi^2$  检验方法构造置信度为  $\alpha$  ( $0, 1$ ) 的置信区间  $d^2 \leq g^2$ , 使得

$$P\{d^2 \leq g^2\} = 1 - \alpha = P_R \quad (5)$$

其中  $P_R$  为实际目标在道路 R1 上且能正确判别的概率,实际中  $P_R$  不宜选择过大。

需要注意的是,实际中可能出现多条道路都通过假设检验的情况,此时可根据最近邻法则简单地取统计距离  $d^2$  最小的一条。另一个可能出现的问题是,在道路 R1 上取点  $(x_1 + dx, y_1 + dy)$  时,方向可能相反,即取到  $(x_1 - dx, y_1 - dy)$  点。为避免这种情况,可将两种情况看作两条方向相反的道路来处理。这样,方向相反的一条计算出来的统计距离  $d^2$  会较大(除非估计速率为 0, 即  $dx = dy = v_x = v_y = 0$ , 此时两点相同), 按上述最近邻法则取统计距离  $d^2$  较小的一个,便可直接消除相反的一条。

在上述方法中,本文只考虑了单个数据点的情况,这对于确知目标是沿道路(或河流)时是可行的。可将上述方法扩展开来,对一条航迹上的某段数据点,利用滑窗方法来判别其是否属于某条道路(或河流)。这种方法可应用于任何目标,判断其是否属于某条道路(或河流)。该方法能直接判别某目标是否为沿道路或河流行驶的地面目标,而不需要其他的先验信息。

### 4 应用实例

如图 3 所示,战场环境有 3 条公路(也可以是河流),R1 上有一组车队(4 辆)由南向北以 54 km/h 的速度行驶,R2 两端各有一组车队(各 4 辆)以 72 km/h 的速度相向行驶,R3 上有一组车队(4 辆)由北向南以 54 km/h 的速度行驶。

某型侦察雷达有关参数如下: 采样周期  $T =$

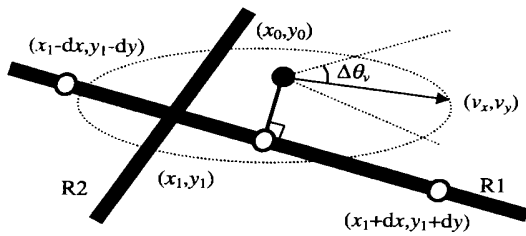


图 3 战场环境

2.5 s, 仿真时间 125 s。量测为径向距离和角度, 径向距离量测噪声服从均值为零、方差为  $50 \text{ m}^2$  的高斯分布白噪声; 角度量测噪声服从均值为零、方差为  $0.3 \text{ rad}^2$  的高斯分布白噪声。探测概率  $P_D = 0.8$ 。

TW S 系统有关参数如下: 滤波采用推广 Kalman 滤波, 滤波模型采用匀速模型, 模型噪声方

差  $Q_x = Q_y = 100 \text{ m}^2$ , 波门概率  $P_F = 0.99$ , 航迹起始逻辑为  $2/2$  和  $3/4$ , 航迹终结逻辑为  $5/7$ 。

本文算法参数如下: 目标在道路上且能正确判别的概率  $P_R = 0.9$ ; 其他参数(如目标估计向量  $s$  和误差协方差矩阵  $P$ ) 由 TW S 系统提供。

仿真结果如图 4~ 图 6 所示。图 4 中多个点表示目标的雷达量测结果在 50 拍内的累积图象(经过坐标变换); 图 5 中 4 条细折线代表经过跟踪后所分离出的目标轨迹; 图 6 中 4 条带箭头的线表示对于图 5 的跟踪结果, 利用本文算法进行修正后侦察系统所需的目标标定图。由于系统中方位量测精度太低, R3 和 R1 上的目标后半段在跟踪过程中误跟, 从而导致最终被误判。(下转第 109 页)

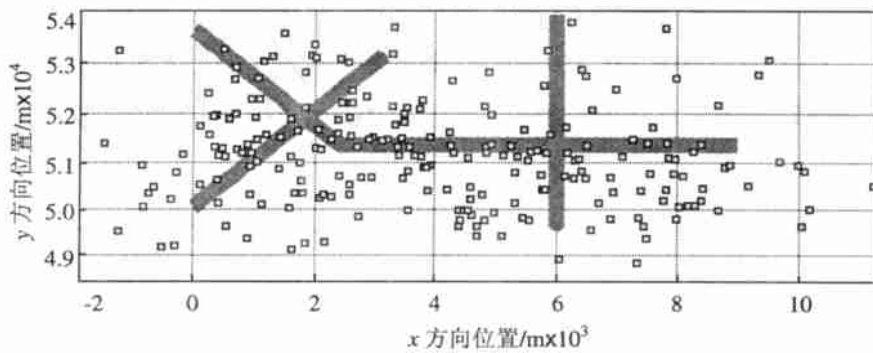


图 4 雷达数据的原始累积图象

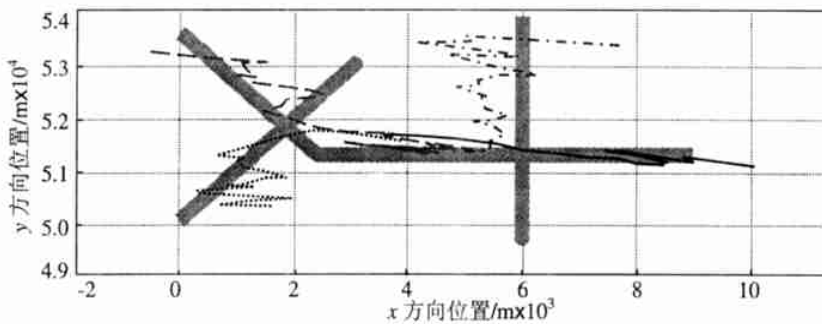


图 5 跟踪后形成的航迹图象

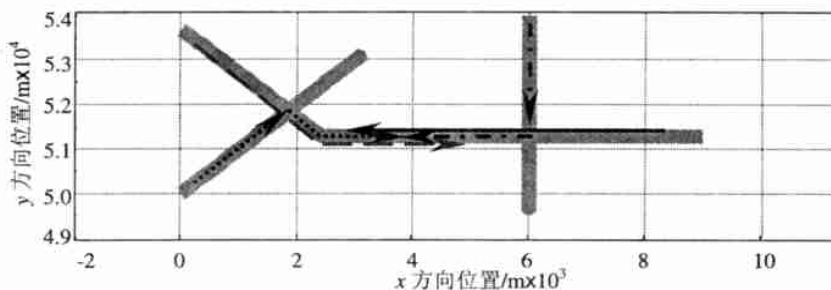


图 6 修正后形成的标定图象