

海面远距离目标运动属性判别方法

杨士英¹, 花良发¹, 马飒飒²

(1. 空军预警学院黄陂士官学校, 武汉 430345; 2. 军械工程学院军械技术研究所, 石家庄 050003)

摘要: 基于临近空间平台的 T^1R^1 系统, 以对海面远距离目标运动属性的快速判别为需求, 提出了对目标运动属性的快速判别方法。该方法不用计算目标位置, 仅需根据单侦察时差参数观测值的统计特征来判别目标的运动属性。仿真结果验证了该方法的有效性。

关键词: 海面远距离目标; 运动属性; 时差; 临近空间平台

中图分类号: V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)01-0015-03

A Method for Rapid Recognition of Moving Attributes for Offing Remote Targets

YANG Shi-ying¹, HUA Liang-fa¹, MA Sa-sa²

(1. Huangpi NCO School, Air Force Early Warning Academy, Wuhan 430345, China;

2. Ordnance Technology Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to implement rapid recognition of the moving attributes of offing remote target, a fast recognition method based on T^1R^1 system of nearspace platform is put forward. The method can be used to judge the moving attributes of the target only according to the statistic characteristics of Time Difference of Arrival (TDOA) values based on single receiver station without calculating the position of the target. Simulation results indicate the effectiveness of the method.

Key words: offing remote target; moving attribute; TDOA; nearspace platform

0 引言

由于视距限制, 对于海面远距离目标的侦察与定位的探测难度较大, 因而, 将探测设备升空进行长时间监视是解决此问题最直接有效的方法。临近空间侦察站可长期定点在 20 km 左右的平流层内, 其探测半径可达 600 km 以上, 可以对海面远距离目标进行全天候的侦察监视。

基于临近空间的单发单收联合定位系统对海面远距离目标的定位精度有限^[1], 而基于单发单收海面目标运动属性判别的意义在于: 在无法实现精确跟踪目标的情况下, 提供探测区域内目标的动态信息, 作为进一步战术决策的依据。譬如当发现目标动态有异常现象, 可分配其他战斗力量(如机载光学探测设备)进行

进一步确认和跟踪。

本文基于临近空间平台的 T^1R^1 双基地^[2-4] 系统, 以一个发射站和一个侦察站组成的系统为条件, 发射站辐射但不接收信号, 侦察站接收发射站的辐射信号, 以及该信号经目标反射回来的信号, 这样在侦察站上将产生到达时间差, 本文研究能否基于该时差观测值序列值, 对目标运动属性问题进行判别。通常, 目标运动属性判别应包括机动判别、航向判别, 以及速度估计, 本文主要是完成机动判别, 对于航向判别可以结合时差观察序列值的变化速度和测向信息进行判断, 而速度获取则需增加一个侦察站, 以共同完成对目标的定位跟踪。

1 海面目标运动属性判别方法研究

当远距离海面目标运动属性未知时, 对于单侦察站测方位角及时间差参数的联合定位系统, 其定位精度主要取决于方位角的测向角度, 当测向角度的精度不能优于 1° 时, 如图 1 所示, 平台高度 21 km, 基线长度 50 km, 时差精度 100 ns, 测向精度 1° , 其远场区的定位精度将低于 20 km。鉴于此, 若要鉴别海面远距离

收稿日期: 2013-02-19

修回日期: 2013-03-28

基金项目: 学院青年博士创新基金(X11QN209); “十二五”预研(41101020303)

作者简介: 杨士英(1979—), 女, 安徽庐江人, 博士, 讲师, 研究方向为信号与信息处理。

目标的运动属性,依赖单侦察站测向和测时差对目标位置的定位结果是不可取的。

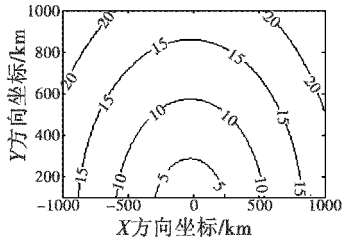


图1 临近空间 T^1R^1 定位系统的GDOP等值分布图

Fig.1 GDOP map for T^1R^1 nearspace location system

由侦察站测时差位置线误差^[5]等值分布图(如图2所示,平台高度21 km,基线长度10 km,时差测量精度1 μ s)可以看出,对于远距离目标(如距离为1000 km),时差参数测量误差达1 μ s时,其对应的位置线精度约150 m,若时差测量精度能达到10 ns,其对应的位置线精度约1.5 m,从理论上说,即使目标有微小运动(如速度为1.5 m/s),通过几次连续观测,也可以将其运动属性估计出来,即目标位置的稍许变化将会导致时差测量参数的较大变化。由于其位置变化较小时对应的时差测量值变化较大,因此,通过观察时差参数测量值的变化对海面远距离目标运动属性进行判别。具体算法介绍如下文所述。

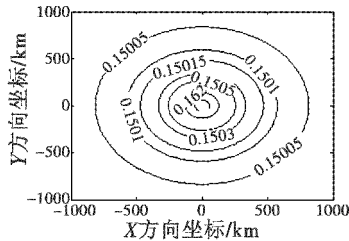


图2 时差位置线误差等值分布图

Fig.2 Contour map for TD OA position-line error

1.1 目标运动属性判别方法 I(初始位置已知)

已知目标初始位置 $x_T(x, y, z)$, 干扰站位置为 $s_0(x_0, y_0, z_0)$, 侦察站位置为 $s_1(x_1, y_1, z_1)$, 若目标为固定目标, 则侦察站时差参数观测值服从正态分布(μ_0, σ_0^2), 且

$$\mu_0 = (|x_T - s_0| + |x_T - s_1| - |s_1 - s_0|)/c \quad (1)$$

若某段时间内, 侦察站 s_1 对该目标测时差信息依次为 $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_N$, 以样本平均值 \bar{x} 和 σ^2 分别表示时差观测序列的均值和方差, 且 $\sigma^2 = \sigma_0^2$ 。问题是根据时差观测值 $\{\Delta t_i\}$ 来判断 $\bar{x} = \mu_0$ 还是 $\bar{x} \neq \mu_0$ 。为此, 提出假设 $H_0: \bar{x} = \mu_0$, 固定目标, $H_1: \bar{x} \neq \mu_0$, 运动目标, 取检验统计量

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (2)$$

当 H_0 为真时, $\frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1)$, 因而, 若某段时间

的观察值满足

$$\left| \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \right| \geq z_{\alpha/2} \quad (3)$$

则拒绝 H_0 , 判断为运动目标, 而若

$$\left| \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} \right| \leq z_{\alpha/2} \quad (4)$$

则接受 H_0 , 判断为固定目标, 时差观测序列 $\{\Delta t_i\}$ 源于同一个参数的测量。 α 为给定的一个较小的数 ($0 < \alpha < 1$), α 通常取 0.1, 0.05, 0.01, 0.005, 表示 H_0 为真时仍可能做出拒绝 H_0 的判断的最大概率, 即 $P\{\text{拒绝 } H_0 | H_0 \text{ 为真}\} \leq \alpha$ 。

判断目标为固定辐射源时, 由于其判别统计量服从正态分布, 可以根据其统计特性给出其正确判断为固定辐射源的概率

$$P_{\text{fixed}} = 2(1 - \phi\left(\left|\frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right|\right)) \quad (5)$$

1.2 目标运动属性判别方法 II(初始位置未知)

实际情况中, 目标的初始位置往往是未知的。当目标的初始位置未知时, 即时差观测序列 μ_0 未知, 判断目标运动属性的过程就是判断时差观测序列是否为同一个位置点的观测数据, 即判断各时差观测值是否源于对同一个参数的测量。本文提出如下所述的判别方法。

由于样本方差 s^2 为 σ^2 的无偏估计, 当目标为固定目标时, 比值 $\frac{s^2}{\sigma_0^2}$ 一般应在 1 附近摆动, 而不应过分大于 1 或过分小于 1, 且

$$\frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2} = \chi^2(N_T - 1) \quad (6)$$

因此可取

$$\chi^2 = \frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2} \quad (7)$$

作为检验统计量。若

$$\frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2} \geq \chi_{\alpha}^2(N_T - 1) \quad (8)$$

判断为运动目标, 即时差参数值观测序列 $\{\Delta t_i\}$ 源于不同时差值的测量; 相反, 若

$$\frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2} \leq \chi_{\alpha}^2(N_T - 1) \quad (9)$$

则判断为固定目标, 即时差观测序列 $\{\Delta t_i\}$ 源于同一个时差值的测量。 α 为给定的一个较小的数 ($0 < \alpha < 1$), α 通常取 0.1, 0.05, 0.01, 0.005。

若判断为固定辐射源, 则认为时差观测序列 $\{\Delta t_i\}$ 源于同一个时差值的测量, 且计算属于固定辐射源概率为

$$P_{\text{fixed}} = 1 - P\left\{\chi^2(N_T - 1) \geq \frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2}\right\} = 1 - \int_{\frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2}}^{\infty} \frac{1}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} y^{n/2 - 1} e^{-y/2} dy \quad (10)$$

对于慢速目标而言,其概率应偏小,这样或许可以将固定目标和慢速运动目标进一步快速区分开。

但是,若目标正好沿时差等值位置线运动时,按时差测量结果,这时目标是“固定”的。在这种情况下,仅依靠单个侦察站无法对目标的运动属性做出判别,需结合其他侦察站的时差测量值或同一侦察站的其他测量参数进行判别。

2 仿真分析

1) 初始位置已知的情况。

设干扰站和侦察平台高度 21 km,基线长度 50 km,辐射源初始位置为(200 km,600 km,0 km),计算可得其时差均值 $\mu_0 = 0.0041$ s,本仿真中 α 取 0.05,查表得

$z_{\alpha/2} = z_{0.025} = 1.96$ 。则当 $\left|\frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}\right| \geq 1.96$ 时,认为目标属性为运动状态。时差测量精度分别为 10 ns 和 100 ns。

目标运动状态分为 4 组,分别为:① 固定目标;② X 方向慢速运动,运动速度 5 m/s;③ Y 方向慢速运动,运动速度 5 m/s;④ X、Y 方向同时有速度,速度大小为(8 m/s,8 m/s)。

在侦察站时差测量精度分别为 10 ns 和 100 ns 时,观测时间为 5 ~ 20 s,记录其到达时间差序列,计算时差观测序列的均值和方差,依据式(3)和式(4)判断目标的运动属性,分别经过 10000 次的 Monte Carlo 仿真,其判断准确率的统计结果如表 1、表 2 所示。

表 1 初始位置已知时目标运动属性判别结果
(时差测量精度:10 ns)

Table 1 Moving attribute identification results with known initial position ($\sigma_{\text{TDOA}} = 10$ ns)

观测时间/s	速度/(m · s ⁻¹)			
	(0,0)	(5,0)	(0,5)	(8,8)
5	94.66	99.79	100	100
10	95.30	100	100	100
20	94.87	100	100	100

仿真结果表明:

① 参数测量精度对识别结果的影响较大,同样的速度和观测时间下,10 ns 的测量精度可以在 5 s 内将慢速目标的运动状态判别准确;

② 观测时间是目标属性判别的重要影响因子,即使在 100 ns 的观测误差下,经过 10 ~ 20 s 的观测时间,单侦察站对慢速运动目标属性的判别准确率也能达 90% 以上;

③ 在相同的观测时间和参数测量精度下,对 Y 轴方向运动目标的属性判别准确率高于 X 轴方向的运动目标,原因在于当侦察站和干扰站按 X 轴方向部署时,其对应的等位置线长轴方向为 X 轴,所以 X 轴方向的运动轨迹几乎是沿着等位置线方向运动,即所引起的时差值变化微小。

表 2 初始位置已知时目标运动属性判别结果
(时差测量精度:100 ns)

Table 2 Moving attribute identification results with known initial position ($\sigma_{\text{TDOA}} = 100$ ns)

观测时间/s	速度/(m · s ⁻¹)			
	(0,0)	(5,0)	(0,5)	(8,8)
5	94.83	7.53	29.77	85.48
10	94.75	32.77	99.30	100
20	95	99.39	100	100

2) 初始位置未知的情况。

设干扰站和侦察平台高度 21 km,基线长度 50 km,辐射源初始位置为(200 km,600 km,0 km),在本仿真中 α 取 0.1, $T_s = 1$ s,观测时间 N_T 分别为 5 s、10 s、20 s;查表得 $\chi_{0.1}^2(4) = 7.779$, $\chi_{0.1}^2(9) = 14.684$, $\chi_{0.1}^2(19) = 27.204$ 。则当 $\frac{(N_T - 1)s^2}{\sigma_0^2} \geq \chi_{0.1}^2(N_T - 1)$ 时,认为目标属性为运动状态;时差测量精度分别为 $\sigma_0 = 10$ ns 和 $\sigma_0 = 100$ ns;目标运动属性设置同仿真分析 1)。

依本文提出的判别算法对目标的运动属性进行判别,经过 10000 次 Monte Carlo 仿真,判别统计结果如表 3、表 4 所示。

表 3 初始位置未知时目标运动属性判别结果
(时差测量精度:10 ns)

Table 3 Moving attribute identification results with unknown initial position ($\sigma_{\text{TDOA}} = 10$ ns)

观测时间/s	速度/(m · s ⁻¹)			
	(0,0)	(5,0)	(0,5)	(8,8)
5	91.6	85.6	100	100
10	89.76	100	100	100
20	90.28	100	100	100

表 4 初始位置未知时目标运动属性判别结果
(时差测量精度:100 ns)

Table 4 Moving attribute identification results with unknown initial position ($\sigma_{\text{TDOA}} = 100$ ns)

观测时间/s	速度/(m · s ⁻¹)			
	(0,0)	(5,0)	(0,5)	(8,8)
5	90.11	11.18	18.48	48.14
10	90.14	14.81	60.67	99.93
20	90.44	42.48	100	100

(下转第 90 页)

- low-cost ultra-low profile phased array system for mobile satellite reception using zero-knowledge beamforming algorithm [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2008, 56(12):3667-3679.
- [4] 林志强,姚敏立,沈晓卫. 基于遗传算法的多子阵平板天线旁瓣电平优化[J]. *电波科学学报*, 2011, 26(2):369-375.
LIN Z Q, YAO M L, SHEN X W. Sidelobe reduction of the planar antenna with multiple subarrays based on genetic algorithm[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2011, 26(2):369-375.
- [5] SON S H, PAR U H. Sidelobe reduction of low-profile array antenna using a genetic algorithm [J]. *ETRI Journal*, 2007, 29(1):95-98.
- [6] LIN Z Q, YAO M L, SHEN X W. Sidelobe reduction of the low profile multi-subarray antenna by genetic algorithm [J]. *International Journal of Electronics and Communications*, 2012, 66(2):133-139.
- [7] 林志强,贾维敏,姚敏立,等. 混合扫描多子阵平板天线旁瓣电平优化研究[J]. *微波学报*, 2011, 27(6):54-58.
LIN Z Q, JIA W M, YAO M L, et al. Sidelobe reduction of the hybrid scanning planar antenna with multiple subarrays[J]. *Journal of Microwaves*, 2011, 27(6):54-58.
- [8] RaySat, Inc. SpeedRay™ 3000 installation & user guide [R]. Virginia, US, 2008.
- [9] JUNG Y B, EOM S Y, JEON S. Experimental design of mobile satellite antenna system for commercial use [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(2):429-435.
- [10] MARCELLINI L, FORTI R L, BELLAVEGLIA G. Future developments trend for Ku and Ka antenna for satcom on the move [C]//*Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2011)*, 2011:2346-2350.
- [11] COOK K L B. Current wideband MILSATCOM infrastructure and the future of bandwidth availability [J]. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2010, 25(12):23-28.
- [12] GOUDOS S K, SIAKAVARA K, SAMARAS T, et al. Sparse linear array synthesis with multiple constraints using differential evolution with strategy adaptation [J]. *IEEE Antennas Wireless Propagation Letter*, 2011, 10:670-673.
- [13] 陈客松,韩春林,何子述. 一种有阵元间距约束的稀布阵天线综合方法[J]. *电波科学学报*, 2007, 22(1):27-32.
CHEN K S, HAN C L, HE Z S. A synthesis technique for linear sparse arrays with optimization constraint of minimum element spacing[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2007, 22(1):27-32.

(上接第 17 页)

由表 3、表 4 可以看出,对表 1、表 2 的分析结果完全适用于辐射源初始位置未知时的识别结果。对比可以看出,初始位置已知时的判别准确率要优于初始位置未知时的判别准确率;但对于参数测量精度较高时(如 10 ns),判别准确率依然很高,如表 3 所示,对运动目标的属性判别在 10 s 内准确率达 100%。

表 3、表 4 的判别结果是基于 α 取 0.1 的识别结果,若在实际环境中允许虚假概率大些,则对运动目标的判别效果会更好些。

3 结束语

本文利用时差观测值的统计特征对海面远距离目标运动属性进行判别,该方法不用计算目标位置,仅需根据单侦察的时差参数观测值的统计特征判别目标的运动属性。仿真结果表明,利用该判别方法可以快速地海面远距离目标的运动属性进行准确判别,有较好的应用前景。但是,若目标运动曲线正好和时差等值位置线分布一致,仅依靠单个侦察站无法对目标的运动属性做出判别,此时需结合其他侦察站进行判别,若在与原侦察站垂直方向再部署一个侦察站,就可以对任意方向的运动目标实现高准确率的目标运动属性判别。

参考文献

- [1] 杨士英. 对海面远距离目标的高精度定位方法研究[J]. *电子信息对抗技术*, 2010, 25(6):7-10.
YANG S Y. Study on high precision location method for offing remote target [J]. *Electronic Information Warfare Technology*, 2010, 25(6):7-10.
- [2] 孙仲康,周一宇,何黎星. 单多基地有源无源定位技术[M]. 北京:国防工业出版社,1996:69-109.
SUN Z K, ZHOU Y Y, HE L K. Single and multiple based active passive location technology [M]. Beijing: Defense Industry Press, 1996:69-109.
- [3] 陈永光,孙仲康. T/R-R 型双基地系统分段跟踪技术的研究[J]. *航空学报*, 1994, 15(12):1515-1519.
CHEN Y G, SUN Z K. A study on dividural tracking technique in T/R-R bistatic system[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 1994, 15(12):1515-1519.
- [4] 刘琪,孙仲康. 双基地两坐标雷达对三维目标的最优化定位算法[J]. *电子科学学刊*, 2000, 22(3):366-372.
LIU Q, SUN Z K. Optimal location algorithms in 3D space with bistatic two coordinate radar [J]. *Journal of Electronics*, 2000, 22(3):366-372.
- [5] 杨士英,罗景青. 位置线误差的时/频差联合定位性能研究[J]. *现代雷达*, 2008, 30(2):25-28.
YANG S Y, LUO J Q. Study of TDOA/FDOA location accuracy based on position-line error analysis [J]. *Modern Radar*, 2008, 30(2):25-28.