

一种调整发射站触发脉冲的双基地雷达测距方法

谢军伟¹, 余江明², 张启亮¹, 张永顺¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军工程大学 训练部, 陕西 西安 710051)

摘要:为了实现双基地雷达单基距的测量,采用调整发射站触发脉冲延时的方法,使双基信号与接收站单基工作时的信号重合,从而实现双基测距,同时也可实现双基信号的显示校正。文中给出了发射站触发脉冲调整的计算控制模型,仿真结果表明了该方法的可行性。

关键词:双基地雷达; 触发脉冲调整; 测距

中图分类号: TN953.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)06-0031-03

随着现代电子战的发展,传统的单基地雷达面临着电子干扰、隐身目标、低空突防和反辐射导弹4大威胁,由于双基雷达固有的优势,日益受到人们的重视^[1-3]。在双基地雷达中,接收站得到的是双基距离和,如何解算目标的单基距,是系统要解决的关键技术问题。传统的方法是根据双基距离和以及目标的高低角、方位角,通过双基方程解算出目标的单基距,这种方法接收站接收的是双基信号,必须进行显示校正^[4]。通过调整双基地雷达发射站发射机触发脉冲的延时,使双基信号与接收站单基工作时的信号重合,可使距离跟踪系统的输出等于目标的单基距,同时可实现双基显示信号的校正。

1 调整发射站触发脉冲的双基地雷达测距原理

双基地雷达的配置如图1所示,图中 R_T 为目标到发射站的距离, R_R 为目标到接收站的距离^[5]。接收站双基工作时,目标反射信号相对发射信号的延时为 $(R_T + R_R)/c$,接收站单基工作时,目标反射信号相对发射信号的延时为 $2R_R/c$,如图2所示,在双基地工作时,可通过调整发射站发射机触发脉冲的延时,使双基信号与接收站单基工作时的信号重合,从而实现接收站的双基测距。图2中 $\Delta\tau = (R_R - R_T)/c$, $\Delta\tau$ 为正,则脉冲应向右调整 $|\Delta\tau|$,反之向左调整 $|\Delta\tau|$ 。

发射站触发脉冲调整量的计算控制流程为,当角同步信号到来时,开始进行计算,发射站首先将接收站送来的目标坐标经卡尔曼滤波外推到当前时刻,再将外推后目标相对接收站的极坐标转换为相对发射站的极坐标,根据目标相对接收站和发射站的距离计算出发射站触发脉冲的调整量,控制硬件电路进行延时调整,保证接收站的双基信号与单基信号重合。

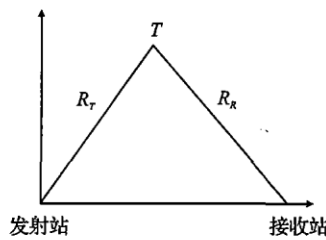


图1 双基地雷达配置关系图

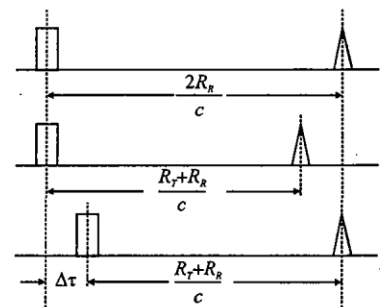


图2 双基测距原理示意图

2 数学模型

2.1 目标坐标外推

收稿日期:2007-04-11

作者简介:谢军伟(1970-),男,河南禹州人,副教授,博士生,主要从事雷达系统研究。

目标坐标外推采用卡尔曼滤波,卡尔曼滤波的状态方程和测量方程^[6-7]为

$$\mathbf{X}(k+1) = \Phi(k+1, k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{W}(k); \mathbf{Y}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{V}(k) \quad (1)$$

式中: $\mathbf{X}(k) \in \mathbf{R}^{n \times 1}$ 为目标状态向量; $\mathbf{Y}(k) \in \mathbf{R}^{m \times 1}$ 为量测向量; $\mathbf{W}(k) \in \mathbf{R}^{p \times 1}$ 和 $\mathbf{V}(k) \in \mathbf{R}^{m \times 1}$ 分别为状态噪声和量测噪声,且为互不相关的高斯白噪声向量序列,其协方差矩阵分别为 $\mathbf{Q}(k)$ 和 $\mathbf{R}(k)$; $\Phi(k+1|k) \in \mathbf{R}^{n \times n}$, $\mathbf{G}(k) \in \mathbf{R}^{n \times p}$ 和 $\mathbf{H}(k) \in \mathbf{R}^{m \times n}$ 分别为状态转移矩阵、输入矩阵和观测矩阵。卡尔曼滤波算法为

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{X}}(k|k) = \hat{\mathbf{X}}(k|k-1) + \mathbf{K}(k)[\mathbf{Y}(k) - \mathbf{H}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k-1)] \\ \hat{\mathbf{X}}(k|k-1) = \Phi(k|k-1)\hat{\mathbf{X}}(k-1|k-1) \\ \mathbf{K}(k) = \mathbf{P}(k|k-1)\mathbf{H}^T(k)[\mathbf{H}(k)\mathbf{P}(k|k-1)\mathbf{H}^T(k) + \mathbf{R}(k)]^{-1} \\ \mathbf{P}(k|k-1) = \Phi(k|k-1)\mathbf{P}(k-1|k-1)\Phi^T(k|k-1) + \mathbf{Q}(k-1) \\ \mathbf{P}(k|k) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}(k)\mathbf{H}(k)]\mathbf{P}(k|k-1) \end{cases} \quad (2)$$

在选取滤波的运动模型时,选取 CA 模型作为状态转移模型,即

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} \quad \Phi = \begin{bmatrix} 1 & T & 0.5T^2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{H} = [1 \quad 0 \quad 0]$$

$\mathbf{P}(0)$ 对滤波的影响仅仅在刚开始时的暂态过程,一般可取 $\mathbf{P}(0) = m\mathbf{I}$, m 为一个较大的数,这里取 $m = 1000$ 。

2.2 求目标相对发射站的极坐标

将目标相对接收站的极坐标转换为相对接收站的站心直角坐标公式为

$$x_R = R_R \sin \beta_R \cos \varepsilon_R; y_R = R_R \cos \beta_R \cos \varepsilon_R; z_R = R_R \sin \varepsilon_R \quad (3)$$

式中: $(\varepsilon_R, \beta_R, R_R)$ 为目标相对接收站的极坐标, (x_R, y_R, z_R) 为接收站站心直角坐标。

将目标相对接收站的站心直角坐标转换为地心坐标的公式为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin L_0 & -\sin B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \cos L_0 \\ \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \sin L_0 \\ 0 & \cos B_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: (x, y, z) 为目标的地心直角坐标; (B_0, L_0, H_0) 和 (X_0, Y_0, Z_0) 分别为发射站站址的大地坐标和地心直角坐标^[8]。将目标的地心坐标转换为发射站的站心直角坐标公式为

$$\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - X_0 \\ y - Y_0 \\ z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: (x_T, y_T, z_T) 为发射站站心直角坐标。

将目标相对发射站的站心直角坐标转换为站心极坐标的公式为

$$\varepsilon_T = \arctan \frac{z_T}{\sqrt{x_T^2 + y_T^2}}; \beta_T = \arctan \left(\frac{x_T}{y_T} \right); R_T = \sqrt{x_T^2 + y_T^2 + z_T^2} \quad (6)$$

式中: $(\varepsilon_T, \beta_T, R_T)$ 为目标相对发射站的极坐标。

2.3 计算发射站触发脉冲调整量

如图 2 所示,为使双基状态下接收站跟踪系统输出距离为单基距,则需要对发射站发射脉冲进行调整,调整量 $\Delta\tau$ 应满足: $\Delta\tau \times c = 2R_R - (R_T + R_R) = R_R - R_T$, 则 $\Delta\tau = (R_R - R_T)/c$ 。式中 c 为光速,取得的值为正,则脉冲应向右调整 $|\Delta\tau|$, 反之向左调整 $|\Delta\tau|$ 。

3 系统仿真及分析

设发射站相对于接收站的极坐标为 $\varepsilon_0 = 0^\circ, \beta_0 = 90^\circ$, 基线 $L = 40\,000$ m, 目标飞行高度为 8 000 m, 雷达测量角度起伏误差为 $3'$, 距离起伏误差为 12 m。

图 3(a) 为航迹起始点相对接收站方位角为 0° , 航向角为 135° , 目标速度 420 m/s, 航迹斜距范围 60 km - 40 km, 目标坐标与当前时刻的时差为 120 ms 时的测距误差, 稳定工作后的系统误差为 1.8 m, 起伏误差

为 9.95 m。

图 3(b) 为航迹起始点相对接收站方位角为 45° , 航向角为 225° , 目标速度 420 m/s, 航迹斜距范围 60 km - 40 km, 目标坐标与当前时刻的时差为 120 ms 时的测距误差, 稳定工作后的距离系统误差为 3.02 m, 起伏误差为 11.5 m。

仿真中取雷达工作周期 60 ms, 由以上典型航迹仿真可以看出, 在设定条件下, 测距的系统误差在 3 m 左右, 起伏误差在 10 m 左右, 仿真结果表明该方法是可行的。

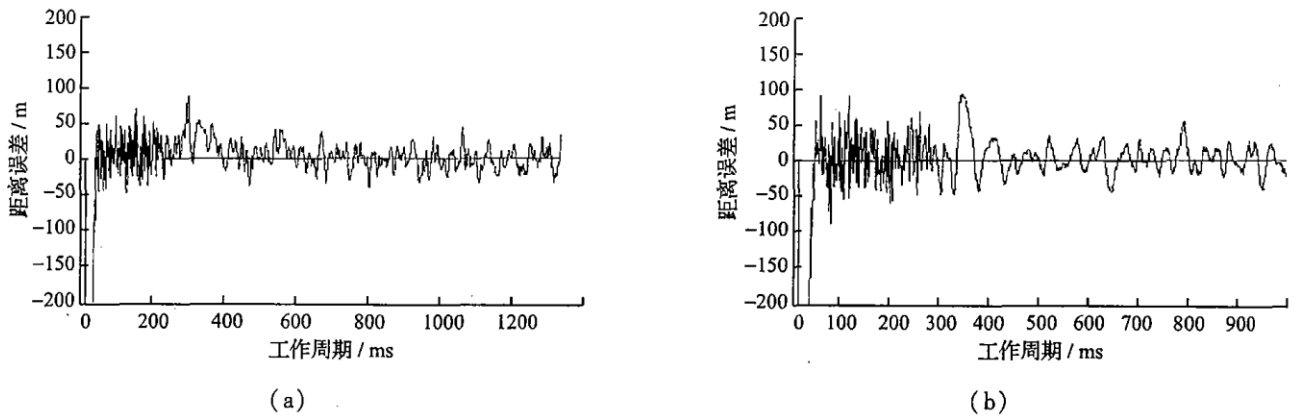


图 3 单基距误差曲线

4 结束语

本文提出了一种新的双基地雷达测距方法, 该方法通过调整双基地雷达发射站发射机触发脉冲的延时, 使接收站单、双基信号重合, 既可实现单基距的测量, 同时可实现双基显示信号的校正。通过典型航线和测距、测角误差下的系统仿真, 表明该方法是可行的。

参考文献:

- [1] 余洪涛, 张永顺. 双基地雷达抗有源压制性干扰性能分析[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2002, 3(2): 34 - 37.
- [2] 朱敏. 双(多)基地雷达系统中的若干关键技术研究[J]. 现代雷达, 2002, 24(6): 1 - 5.
- [3] 李晓东. 基于双基地体制的异地配置探测系统研究[J]. 火控雷达技术, 2004, 33(2): 23 - 27.
- [4] 杨振起, 张永顺, 骆永军. 双(多)基地雷达系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 236 - 239.
- [5] 朱永文. 双基地雷达定位误差模型与保精度空域划分方法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2006, 7(1): 20 - 22.
- [6] 周宏仁, 敬忠良, 王培德. 机动目标跟踪[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991. 33 - 37.
- [7] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. 177 - 187.
- [8] 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. 6 - 18.

(编辑: 田新华)

A Ranging Method of the Bi - static Radar Based on Adjusting the Delay of Transmitter Triggering Pulse

XIE Jun - wei¹, YU Jiang - ming², ZHANG Qi - liang¹, ZHANG Yong - shun¹

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Dept. of Training, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In order to realize the ranging of bi - static radar, a method of adjusting the delay of a transmitter triggering pulse is brought forward. By using this method, the mono - static and bi - static signals coincide with each other, thus realizing the bi - static ranging, and simultaneously accomplishing the display emendation of bi - static signals. The model of adjusting transmitter triggering pulse is given in this paper, and the simulation result displays the feasibility of this method.

Key words: bi - static radar; adjusting of transmitter triggering pulse; ranging