

· 总体工程 ·

中图分类号: TN957

文献标识码: A

文章编号: 1004-7859(2009)09-023-05

生命探测雷达组网定位技术研究

都基焱¹, 赵温波¹, 李 胜², 张自发¹, 卢 达¹

(1. 中国人民解放军炮兵学院, 合肥 230031; 2. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘要:单频连续波体制的生命探测雷达具有设备简单、易于展开等优点,但无法测定目标体的准确位置。文中分析了使用2部单频连续波生命探测雷达组网定位原理,给出了包含目标位置的边界控制点的具体计算方法,证明了这些边界控制点的误差形式,并进行了仿真分析。

关键词:单频连续波;生命探测雷达;组网定位

A Study on Netting Location Technology in Life Detection Radar

DU Ji-yan¹, ZHAO Wen-bo¹, LI Sheng², ZHANG Zi-fa¹, LU Da¹

(1. Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

(2. Anhui Institute of Optics Fine Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230021, China)

Abstract: The equipment of the single frequency continuous-wave life detection radar is simple, and easy to be deployed, but it can not give the accurate location of the target. The principle of netting location method using two life detection radars together is analyzed. The detailed calculation method including the boundary control points of target position is given, and the error form of these boundary control points is proved in this paper. This method is analyzed with a simulation.

Key words: single frequency continuous-wave; life detection radar; netting location

0 引 言

生命探测雷达根据电磁波的反射、散射、穿透等传播特性,通过发射电磁波照射人员生命体并对回波信号进行处理,提取出生命体的有关信息,从而达到生命体探测的目的^[1-2]。由于该项技术突破了视觉的局限性,并且不易被探测者发觉,因而在军事、执法、反恐、救灾等领域都具有极高的应用价值^[3-4]。

单频连续波体制的L波段和S波段穿透式生命探测雷达的简要工作过程是:雷达发射的电磁波直接照射或穿透墙壁等障碍物照射到被探测人体,电磁波信号受人体呼吸、心跳活动所引起的体表微动所调制,从而产生了多普勒频移并被人体反射;雷达接收到人体反射波后首先解调出该多普勒频移信号,即体表微动信号;通过进一步滤波、相干积累和数字信号处理,从中提取出呼吸、心跳引起的生命特征信息^[5-6]。

采用单频连续波体制的雷达具有设备简单、发射频谱窄、无速度模糊、易于生命特征信息的提取等优点,还具有设备量较少,场地占用范围较小,架设与撤收容易,便于在地震废墟等危急场合快速展开生命探

测等特点^[7]。然而,由于单频连续波雷达不含距离信息,因此只能给出目标的大概方向,而无法对被探测目标进行精确定位,这就使其在生命救援等工作应用中存在许多不便之处。

本文基于单频连续波生命探测雷达的定位问题,研究了使用2部或2部以上生命探测雷达组网探测,利用波束交叠原理来确定生命体位置。

1 生命探测雷达组网定位原理

以生命探测雷达为例,其探测范围内的波束形状可近似为标准扇形,令波束宽度为 Φ 。利用2部生命探测雷达 R_1 和 R_2 进行组网定位,以雷达 R_1 为组网融合中心。对于同一目标 T ,假定每部雷达都能给出目标区域的方位角,雷达 R_1 给出的波束中心方位角为 α_1 ,雷达 R_2 给出的波束中心方位角为 α_2 ,约定 θ_{XX} 表示向量 XX 的方位角^[8]。

如图1所示,利用2部位于不同位置的生命探测雷达对于同一目标探测时,可根据2部雷达波束交叠所形成的区域作为被探测生命体的一致位置。显然,如果所用的位于不同位置的雷达数目越多,雷达波束的交叠区会越小,组网系统对目标的定位就越准确。本文讨论2部雷达组网的情况。对于目标 T ,组网系统能够给出的目标范围由4个边界点 T_1 、 T_2 、 T_3 和

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(070412040)

通信作者:都基焱

Email:jiyandu@hotmail.com

收稿日期:2009-04-03

修订日期:2009-07-29

T_4 所界定,下面计算 4 个边界点的位置坐标。其中 4 个边界点的位置计算使用融合中心直角坐标系,2 部组网雷达波束中心的方位角 α_1 和 α_2 使用雷达极坐标系。

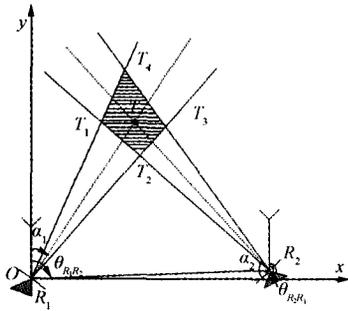


图 1 2 部生命探测雷达组网定位示意图

首先,计算点 T_1 的融合中心直角坐标。在 $\Delta T_1 R_1 R_2$ 中,3 条边长分别为 $R_1 T_1$ 、 $R_2 T_1$ 和 $R_1 R_2$,其中 $R_1 R_2$ 为 2 部雷达的基线长。3 个内角分别为 $\angle T_1 R_1 R_2$ 、 $\angle T_1 R_2 R_1$ 和 $\angle R_1 T_1 R_2$,利用已知条件,可知 3 个内角的表达式为

$$\angle T_1 R_1 R_2 = \theta_{R_2 R_1} - \alpha_1 + \frac{\Phi}{2} \quad (1)$$

$$\angle T_1 R_2 R_1 = \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2} \quad (2)$$

$$\angle R_1 T_1 R_2 = \pi - \angle T_1 R_1 R_2 - \angle T_1 R_2 R_1 = 2\pi + \alpha_1 - \alpha_2 \quad (3)$$

根据正弦定理有

$$\frac{R_1 T_1}{\sin \angle T_1 R_2 R_1} = \frac{R_1 R_2}{\sin \angle R_1 T_1 R_2} \quad (4)$$

综上得

$$R_1 T_1 = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \quad (5)$$

于是可以得到点 T_1 在融合中心直角坐标系中的坐标表达式

$$\begin{cases} x_{T_1} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \\ y_{T_1} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \cos(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \end{cases} \quad (6)$$

与 T_1 点的计算方法类似,可以得到点 T_2 、 T_3 和 T_4 在融合中心直角坐标系中的坐标表达式

$$\begin{cases} x_{T_2} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2 + \Phi)} R_1 R_2 \\ y_{T_2} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \cos(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2 + \Phi)} R_1 R_2 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} x_{T_3} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \sin(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \\ y_{T_3} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \cos(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} x_{T_4} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \sin(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2 - \Phi)} R_1 R_2 \\ y_{T_4} = \frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \cos(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2})}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2 - \Phi)} R_1 R_2 \end{cases} \quad (9)$$

由式(7)~式(9)可以看出,4 个边界控制点在融合中心直角坐标系中的坐标位置与 2 部雷达的波束中心方位角、2 部雷达与目标的夹角、2 部雷达的基线长有关。利用 2 部生命探测雷达组网探测的工作有 4 个步骤。

(1) 预估目标的可能位置,将 2 部生命探测雷达展开;

(2) 以其中一部雷达为组网融合中心(假定雷达 R_1 为组网融合中心),调整 2 部雷达的天线指向,直至 2 部雷达的终端上都可以得到清晰的生命体体动和呼吸信号;

(3) 精确测定另一部雷达(即雷达 R_2)的位置,并向组网融合中心上报雷达 R_2 测量的目标方位角及其精确位置;

(4) 利用上述计算边界控制点坐标的方法,由融合中心精确计算出目标范围的 4 个边界控制点,从而得到目标的位置区域,进而估算出生命体的位置坐标。

2 组网定位边界控制点的误差分析

先研究边界控制点 T_1 的误差情况。假定雷达 R_1 和雷达 R_2 能够精确定位,分析边界控制点 T_1 的误差时,不考虑雷达位置误差,即不考虑 2 部雷达基线长 $R_1 R_2$ 误差,以及方位角 $\theta_{R_2 R_1}$ 、 $\theta_{R_1 R_2}$ 的误差。

对式(6)的 x_{T_1} 、 y_{T_1} 取全微分得

$$\begin{cases} \Delta x_{T_1} = \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \Phi} \Delta \Phi \\ \Delta y_{T_1} = \frac{\partial y_{T_1}}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial y_{T_1}}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \frac{\partial y_{T_1}}{\partial \Phi} \Delta \Phi \end{cases} \quad (10)$$

根据式(6),可得偏导数 $\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_1}$ 、 $\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_2}$ 和 $\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \Phi}$ 的计算表达式为

$$\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_1} = -\frac{\sin(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin(\alpha_2 - \frac{\Phi}{2})}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \quad (11)$$

$$\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_2} = \frac{\sin(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2})}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} R_1 R_2 \quad (12)$$

$$\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \Phi} = \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \Phi) R_1 R_2}{2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (13)$$

对 Δx_{T_1} 取数学期望得

$$\begin{aligned} E[\Delta x_{T_1}] &= E\left[\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \Phi} \Delta \Phi\right] = \\ &\frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_1} E[\Delta \alpha_1] + \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \alpha_2} E[\Delta \alpha_2] + \frac{\partial x_{T_1}}{\partial \Phi} E[\Delta \Phi] \end{aligned} \quad (14)$$

假定2部雷达波束中心方位角的误差 $\Delta \alpha_1$ 和 $\Delta \alpha_2$,以及波束宽度误差 $\Delta \Phi$ 服从零均值独立高斯分布,其方差分别为 δ_α^2 、 δ_α^2 和 δ_Φ^2 ,则有

$$E[\Delta \alpha_1] = 0, \quad E[\Delta \alpha_2] = 0, \quad E[\Delta \Phi] = 0$$

于是得

$$E[\Delta x_{T_1}] = 0 \quad (15)$$

可以得到 Δx_{T_1} 的二阶中心矩表达式为

$$\begin{aligned} E[(\Delta x_{T_1} - E[\Delta x_{T_1}])^2] &= \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^4(\alpha_2 - \alpha_1)} \cdot \\ &[\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_2 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \Phi) \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1) \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \end{aligned} \quad (16)$$

对 Δy_{T_1} 取数学期望,同理可得

$$E[\Delta y_{T_1}] = E\left[\frac{\partial y_{T_1}}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial y_{T_1}}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \frac{\partial y_{T_1}}{\partial \Phi} \Delta \Phi\right] = 0 \quad (17)$$

同理,可以得到 Δy_{T_1} 的二阶中心矩表达式为

$$\begin{aligned} E[(\Delta y_{T_1} - E[\Delta y_{T_1}])^2] &= \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^4(\alpha_2 - \alpha_1)} \cdot \\ &[\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_2 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\cos^2(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \Phi) \sin^2(\alpha_1 - \alpha_2) \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \end{aligned} \quad (18)$$

同理,可以得到边界控制点 T_2 、 T_3 和 T_4 误差均值 $E[\Delta x_{T_2}]$ 、 $E[\Delta y_{T_2}]$ 、 $E[\Delta x_{T_3}]$ 、 $E[\Delta y_{T_3}]$ 、 $E[\Delta x_{T_4}]$ 、 $E[\Delta y_{T_4}]$ 均等于0,其二阶中心矩表达式分别为

$$\begin{aligned} E[(\Delta x_{T_2} - E[\Delta x_{T_2}])^2] &= \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2 + \Phi)} \cdot \\ &[\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_2 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &(\cos(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1}) \cos(\alpha_1 - \alpha_2 + \Phi) - \cos(\theta_{R_2 R_1}))^2 \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} E[(\Delta y_{T_2} - E[\Delta y_{T_2}])^2] &= \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2 + \Phi)} \cdot \\ &[\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_2 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &(\sin(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1}) \cos(\alpha_1 - \alpha_2 + \Phi) + \sin(\theta_{R_2 R_1}))^2 \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} E[(\Delta x_{T_3} - E[\Delta x_{T_3}])^2] &= \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} \cdot \\ &[\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_1 R_2} + \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_2 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &\sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_1 R_2} + \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \\ &(\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2 + \Phi - \theta_{R_1 R_2}) \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} E[(\Delta y_{T_3} - E[\Delta y_{T_3}])^2] &= \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)} \cdot \\ &[\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_1 R_2} + \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_2 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \end{aligned}$$

$$\sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_1 R_2} + \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_1 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + (\cos^2(\alpha_1 + \alpha_2 + \Phi - \theta_{R_1 R_2}) \frac{\delta_\Phi^2}{4}) \quad (22)$$

$$E[(\Delta x_{T_4} - E[\Delta x_{T_4}])^2] = \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^4(\alpha_1 - \alpha_2 - \Phi)} \cdot [\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_2 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \sin^2(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + (\cos(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1}) \cos(\alpha_1 - \alpha_2 - \Phi) + \cos(\theta_{R_2 R_1}))^2 \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \quad (23)$$

$$E[(\Delta y_{T_4} - E[\Delta y_{T_4}])^2] = \frac{(R_1 R_2)^2}{\sin^4(\alpha_1 - \alpha_2 - \Phi)} \cdot [\sin^2(\alpha_2 - \theta_{R_2 R_1} + \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_2 + \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + \sin^2(\alpha_1 - \theta_{R_2 R_1} - \frac{\Phi}{2}) \cos^2(\alpha_1 - \frac{\Phi}{2}) \delta_\alpha^2 + (\sin(\alpha_1 + \alpha_2 - \theta_{R_2 R_1}) \cos(\alpha_1 - \alpha_2 - \Phi) + \sin(\theta_{R_2 R_1}))^2 \frac{\delta_\Phi^2}{4}] \quad (24)$$

3 仿真测试与结果分析

本文采用仿真的方法来验证该算法的有效性,并分析4个定位控制点的定位误差情况,得出有意义的结论。仿真实验如下:2部雷达参与组网目标定位,其仿真坐标分别为 $R_1:[0,0], R_2:[200,20]$ (单位为m,下同)。其中,雷达 R_1 为组网融合中心;目标 T 沿着雷达旋转一周,采样若干个仿真目标点以供测试与验证。具体采样规则为:以雷达 R_1 和雷达 R_2 的基线 $R_1 R_2$ 的中心为圆心,目标 T 以190m为半径绕2部雷达旋转一周,每隔 1° 采样一个目标点(共采样360个仿真目标点)。组网雷达仿真参数为:雷达波束宽度为 15° ,雷达波束方位角测量精度为 0.5° ,波束宽度误差精度为 0.5° 。

仿真结果中有关标示解释如下:圆点标志表示定位控制点(命名规则同上文);三角形标志为仿真组网雷达;十字形标志为目标真值点,定位控制点周围的椭圆形标志为该点的定位精度范围(X轴方向和Y轴方向 ± 1 个标准差)。本文假定:Y轴正半轴为2部雷达前方,Y轴负半轴为2部雷达后方,X轴负半轴为两雷达的左方,X轴正半轴为2部雷达的右方。

成功定位结果如图2所示,未成功定位的结果如图3所示。4个定位控制点的定位圆精度与目标和2

部雷达夹角的变化情况如图4所示。

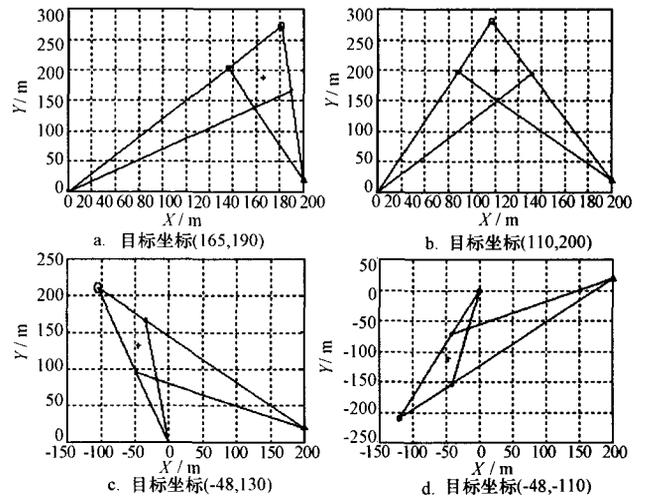


图2 成功定位目标的结果

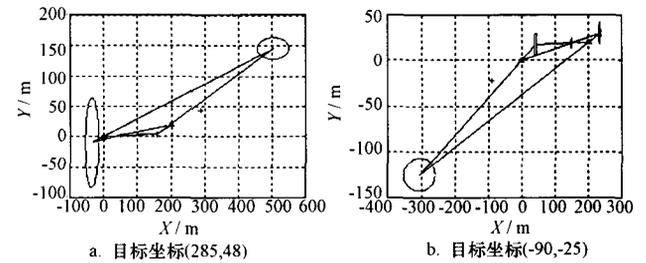


图3 目标与2部雷达夹角小于波束宽度时定位不成功的结果

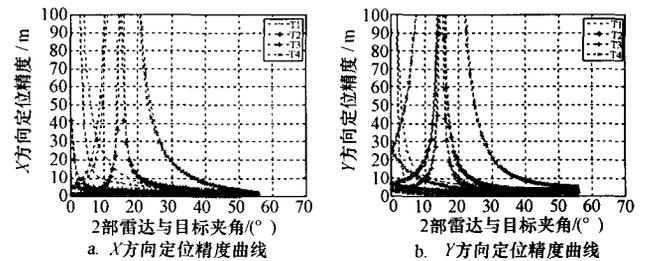


图4 目标定位控制点的定位精度

4 结束语

本文给出了2部生命探测雷达组网探测生命体时目标区的可能范围,并给出该范围边界控制点的误差表达式,同时进行了仿真测试,可以得到如下结论:(1)使用2部生命探测雷达组网探测后,利用波束交叠原理可以计算出目标的可能范围,解决了单频连续波雷达无法给出目标位置的难题;(2)生命探测雷达组网探测后给出的目标范围控制点的误差分布可以认为服从零均值高斯分布;(3)生命探测雷达组网探测后给出的目标控制点的误差精度与波束中心误差精度 σ_ϕ^2 、雷达测量方位角的精度 σ_α^2 以及2部雷达的目标

方位角、波束宽度及基线长度有关;(4)从图2~图3可以看出,当目标与2部雷达的夹角大于波束宽度时,定位成功,4个定位控制点的定位精度较好,一般为10m以内;而且目标点越靠近两雷达基线的垂线位置时,其定位范围越小,控制点的误差精度越高;4个定位控制点的误差精度有差异,远离2部雷达的定位控制点(如控制点 T_4)的定位精度要比其他3个定位控制点的精度要差;(5)由图4可以看出,4个定位控制点的定位精度与目标和2部雷达的夹角的大小有很大的关系,夹角越大,其定位精度越好;夹角越小,定位精度越差;夹角小于波束宽度时,定位不成功,无法确定目标位置如图3所示。因此在工程应用,预估的目标位置尽可能保证目标与2部雷达夹角大于波束宽度,且夹角越大越好。

参考文献

- [1] Ferris D D, Currie N C. A survey of current technologies for through-wall-surveillance (TWS)[C]//Sensors, C³I, Information, and Training Technologies for Law Enforcement. Boston, Massachusetts:1998.
- [2] Gauthier S S, Chamma W. Surveillance through concrete walls[C]// Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C³I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense III, Orlando, United states:SPIE,2004.
- [3] Frazier L M. Motion detection radar (MDR) for law enforcement[J]. IEEE Potentials, 2004, 16(5):3079-3082.
- [4] Withington P, Fluhler H, Nag S. Enhancing homeland security with advanced UWB sensors[J]. Microwave Magazine, 2003, 4(3):51-58.
- [5] Ivashov S I, Razevig V V, Sheyko A P. Detection of human breathing and heartbeat by remote radar[C]// Progress in Electromagnetics Research Symposium, Pisa, Italy: Electromagnetics Academy, 2004.
- [6] Petrochilos N, Reznik M, Host-Madsen A. Blind separation of human heartbeats and respiration by the use of a doppler radar remote sensing[C]// 2007 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Honolulu, United states:IEEE, 2007.
- [7] Bugaev A S, Chapursky V V, Ivashov S I. Through wall sensing of human breathing and heart beating by monochromatic radar[C]//Proceedings of the Tenth International Conference Ground Penetrating Radar, Delft, Netherlands: IEEE,2004.
- [8] 丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理[M]. 3版. 西安:西安电子科技大学出版社, 2004.
Ding Lufei, Geng Fulu. Radar principle[M]. 3rd ed. Xi'an: Xidian University Press, 2004.

都基焱 男,1962年生,教授,博士生导师。研究方向为雷达信号处理。

赵温波 男,1972年生,副教授,博士。研究方向为目标跟踪、数据融合、统计信号处理。

李胜 男,1981年生,博士。研究方向为光学信号处理。

(上接第22页)

由于分了3个层次,每个层次又有若干个抗干扰特征向量进行描述,因此总的抗干扰能力被量化到3个层次上,每一个层次的抗干扰能力又被分解到同一层的每一个具体抗干扰措施上,从而使得复杂的抗干扰问题得以量化分析处理,也就是说其关联度得到了稀释。

3 结束语

通过基于AHP方法,从纵、横2个层面对雷达抗干扰性能进行了分析评估,横向构建出射频、中频、视频3个层次的物理系统模型,对例举出的7个抗干扰性能进行了权值分配;纵向抽象出3大类抗干扰因子,对每一类因子进行权值分配,形成纵横两项多个层面的量化分析评估结果。一方面对雷达系统内的抗干扰性能有了对比,另一方面对具有不同抗干扰因子属性雷达间的抗干扰性能也有了比较,从而得到了一个比较全面的量化分析评估结果。

由于AHP方法过多地依赖于前期判断矩阵的构建,而判断矩阵中元素值的选取需有一定工程实践经验(要经过多次的筛选和收敛性检验)才能找出最合理的元素值。

参考文献

- [1] 赵焕臣,许树柏. 层次分析法[M]. 北京:科学出版社, 1986.
Zhao Huanchen, XU Shubai. Analytic hierarchy process [M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [2] 王国玉,肖顺平. 电子系统建模仿真与评估[M]. 北京:国防科大出版社, 2000.
Wang Guoyu, Xiao Shunping. Electronic system modeling simulation and evaluation[M]. Beijing: Publishing House of National Defense Industry, 2000.

郭予并 男,1965年生,硕士,高级工程师。研究方向为雷达和作战系统试验方法。