

基于地理网格和灰色关联的目标数据融合

申卯兴^{1,2}, 许进¹, 谢树龙², 刘建仓³

(1. 华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074; 2. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 3. 空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051)

摘要:提出了地理网格新概念、编码及其与地理坐标之间的转化,将同一目标在地理网格上的多个雷达信息,用灰色关联的方法进行融合,减小了干扰和随机因素引起的测量误差,使目标信息更统一、精确,同时从数据处理的角度提高了雷达的抗干扰能力,并通过实例验证了本方法的可行性和有效性。

关键词:地理网格; 灰色关联; 数据融合; 抗干扰

中图分类号: TN957.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0043-04

现代战争的趋势所反映的未来高新技术战争的信息化多维快速的非接触式、远距离作战等特征,要求防空力量利用军事网格^[1]融合所有网络资源,应对联合作战。这样,以往常用的九九方格表示目标住处的方法局限性越来越突出;防空资源在组网过程中,由于多传感器的使用,以及各种干扰和不确定因素的存在,导致多传感器目标数据关联关系模糊^[2],而灰色关联分析可以很好的处理这种贫信息且关联关系模糊的问题,且这种方法数据计算量小,数据处理速度快。基于此,本文提出了目标信息的新的地理网格表示,将全球目标信息用定性与定量,确定和随机有机结合起来,很好地克服了九九方格^[3]不能表示大范围目标信息和与大地直角坐标转化复杂的缺点,并给出基于网格和灰色关联的目标数据融合方法,使目标信息能够快速而统一地在防空网络中处理和应用。

1 地理网格

1.1 基本概念

地理网格——以经过格林尼治天文台地理子午线和赤道为基准,经度每 1° ,纬度 0.5° ,划分成大网格。每个大网格按“井”字等分,划分成9个中网格,则每个中网格覆盖的地理坐标经度 $20'$ 、纬度 $10'$ 。中网格再按“井”字等分,划分成9个小方格……。这样,便构成地理网格(如图1)。

1.2 地理网格表示法

如果采用大、中、小地理网格,则指示目标的地理网格坐标编码由10位数码组成,记为 $a_0a_1a_2a_3a_4a_5a_6a_7a_8a_9$,前二位 a_0a_1 为地理象限编码(如图2),中间6位 $a_2a_3a_4a_5a_6a_7$ 为大网格地理坐标编码, $a_2a_3a_4$ 为经度编码,单位为度; $a_5a_6a_7$ 为纬度编码,单位为度。 a_8 为中网格的代码, $1 \leq a_8 \leq 9$ 。 a_9 为小网格代码, $1 \leq a_9 \leq 9$ 。可见, $a_0a_1a_2a_3a_4a_5a_6a_7$ 表示出了大网格所在的地理坐标,称为基准经纬度; a_8a_9 表示目标在大网格中的经纬度,称为网格经纬度。坐标原点的坐标编码为10个0,即0000000000。

1.3 地理网格坐标与地理坐标的转化

如果采用大、中、小地理网格能够满足测量精度的要求,则小网格代表了地理网格的精度,它应该小于雷达测量精度。如果不能满足精度要求,小网格再按“井”字等分,划分成小小网格,直到满足要求为止。这

收稿日期:2005-10-20

基金项目:国家高等学校骨干教师计划资助项目(GG-1105-90039-1004)

作者简介:申卯兴(1961-),男,陕西合阳人,博士生,从事防空作战决策分析及其优化理论与方法研究;

许进(1959-),男,陕西乾县人,教授,博士生导师,从事系统优化理论与方法研究。

样,地理坐标 = 基准经纬度 + 网格经纬度 + 网格精度随机数,其中网格精度随机数,是网格精度范围内随机数,用随机数消除随机因素干扰已在通讯领域成功应用。

例:网格坐标编码为 0012558599,网格精度为(6.7',3.3'),设产生的网格精度随机数为(5.4',2.6'),则网格坐标编码转化成地理坐标为(125° + 26.7' + 5.4',58.5° + 13.3' + 2.6') = (125°32.1',58°45.9')。

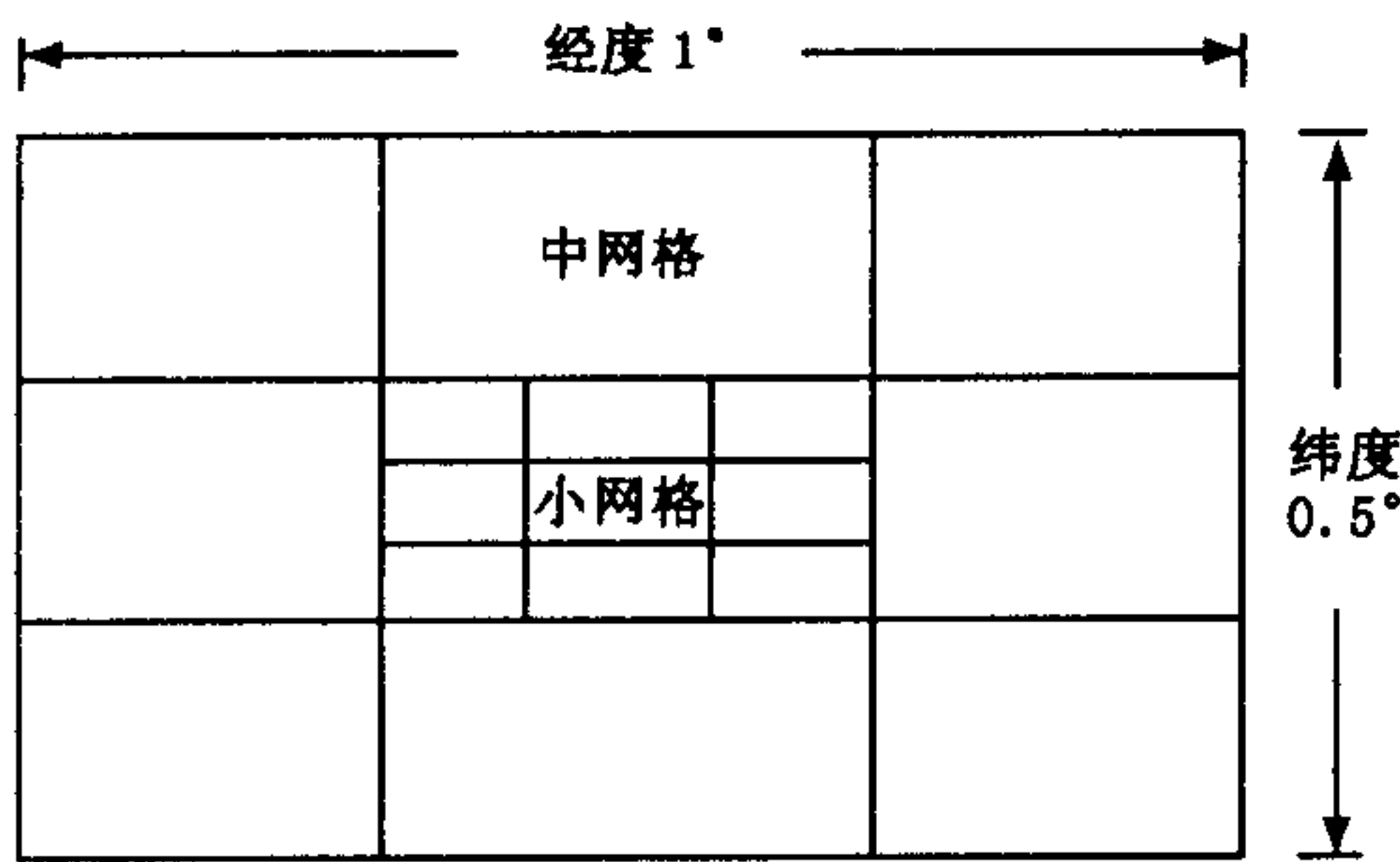


图1 地理网格大网格的划分

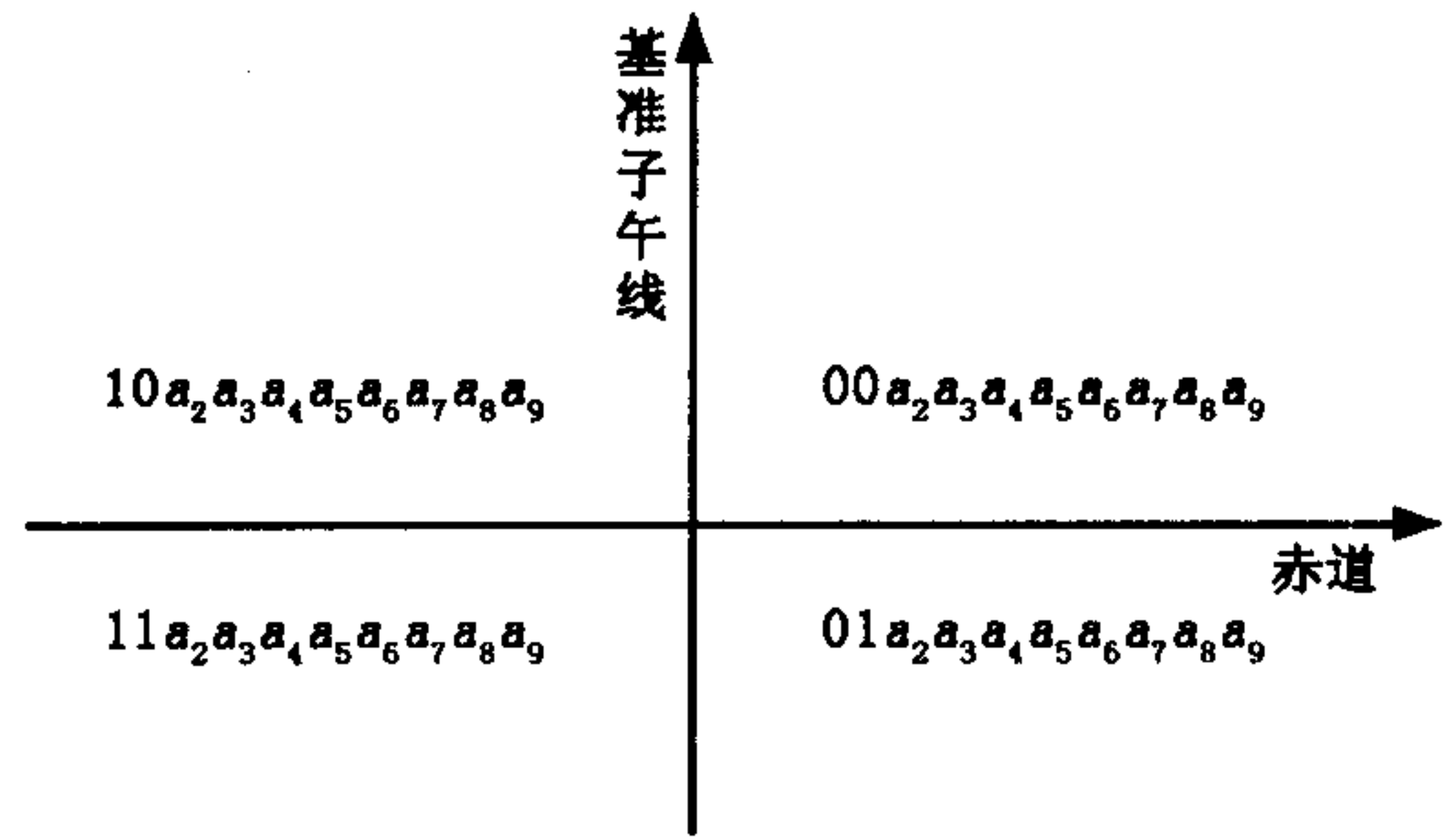


图2 地理象限编码示意图

2 数据融合方法

2.1 目标信息序列

目标信息向量为(地理经度,地理纬度,地理高度,速度大小,雷达截面积),符号表示为(B,L,H,V,S)。为提高目标地理坐标分析精度,可用下面方法进行处理,将(网格经度,网格纬度,地理高度,速度大小,雷达截面积)用符号表示为(b,l,h,v,s),从而目标信息序列为 $x = (b,l,h,v,s)$ 。

2.2 基于地理网格和灰色关联的目标数据融合方法

假设一个目标进入,被 n 个雷达跟踪,第 i 个雷达关于目标的信息序列用 $x_i = (b_i, l_i, h_i, v_i, s_i)$, 其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。构想信息矩阵为

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & \dots & b_n \\ l_1 & l_2 & \dots & l_n \\ h_1 & h_2 & \dots & h_n \\ v_1 & v_2 & \dots & v_n \\ s_1 & s_2 & \dots & s_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

对于这个矩阵,设参考序列为 $x_i = \{x_i(k) | k = 1, 2, \dots, m\}$, 比较序列为 $x_j = \{x_j(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$, $j = 1, 2, \dots, n$, 则灰关联系数定义为^[4]

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\min_j \min_k \Delta_{ij}(k) + \rho \min_j \min_k \Delta_{ij}(k)}{\Delta_{ij}(k) \rho \min_j \min_k \Delta_{ij}(k)} \quad (2)$$

其中 $\Delta_{ij}(k) = |x_i(k) - x_j(k)|$, $k = 1, 2, \dots, m; i, j = 1, 2, \dots, n$, 其中的参数 $\rho \in (0, +\infty)$ 称为分辨系数^[5]。显然,灰色关联系数满足 $0 < \xi_{ij}(k) \leq 1$, $(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。灰色关联度定义为^[4]

$$d_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{ij}(k) \quad (3)$$

显然,灰关联度满足 $0 < d_{ij} \leq 1$, $(i = 1, 2, \dots, m)$ 。依此,可求得关联矩阵

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 d_{ij} 表示 x_i 与 x_j 的灰关联度,且 $d_{ii} = 1$ 。定义第 i 部雷达关于目标的信息序列平均相对灰关联度为

$$\bar{d}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

这里的平均相对关联度 \bar{d}_i 表示第 i 部雷达关于目标信息序列的相对于目前信息的可靠程度,即接近真实值的程度^[6]。

设定阈值 $K = \bar{d} - \delta$, 如果 $\bar{d}_i < K$, 说明雷达 i 受到干扰, 信息序列 x_i 应该舍弃, 并通告雷达 i 注意反干扰。其中

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{d}_i \tag{6}$$

这里 $\delta (0 < \delta < 1)$ 的大小, 要根据校飞、演习、打靶等数据进行调整, 使其足以能够分辨和滤除干扰。

经过阈值 K 处理后的信息序列仍用 $x_i = (b_i, l_i, h_i, v_i, s_i)$ 表示, 但应注意 $i = 1, 2, \dots, r \leq n$ 。则重新用灰色关联分析数据融合方法进行数据融合(重复式(2)、(3)、(4)、(5)、(6)), 得目标信息序列 x 为

$$x = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r w_i x_i \tag{7}$$

其中 $w_i = \bar{d}_i / \sum_{i=1}^r \bar{d}_i, i = 1, 2, \dots, r \leq n$ 。

3 实例

现有一架飞机, 位于东经 $125^\circ 33.5'$, 北纬 $58^\circ 45.8'$, 高度为 3.25 km , 速度 250.4 m/s , 雷达截面积为 2.56 m^2 (目标信息用地理网格编码为 $0012558599, 03250, 02504, 02560$), 处理后信息序列为 $x_0 = [33.5 \ 15.8 \ 3.25 \ 25.4 \ 2.56]$ 。被 5 部雷达发现并跟踪, 数据如表 1。本例中, 取 $\delta = 0.03$ 。

表 1 雷达目标信息数据

目标信息 X	雷达 1	雷达 2	雷达 3	雷达 4	雷达 5
地理经度 B	$125^\circ 33.2'$	$125^\circ 33.9'$	$125^\circ 32.9'$	$125^\circ 34.2'$	$125^\circ 35.7'$
地理纬度 L	$58^\circ 45.4'$	$58^\circ 45.6'$	$58^\circ 46.3'$	$58^\circ 45.9'$	$58^\circ 45.7'$
目标高度 H/km	3.21	3.31	3.41	3.28	3.31
目标速度 $V/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	248.8	250.6	258.1	251.4	254.8
目标截面积 S/m^2	2.31	2.41	2.97	2.62	3.21

雷达将信息编码传给指控中心, 指挥中心经过解码, 并处理, 可得到信息序列矩阵

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] = \begin{bmatrix} 33.2 & 33.9 & 32.9 & 34.2 & 35.7 \\ 15.4 & 15.6 & 16.3 & 15.9 & 15.7 \\ 3.21 & 3.31 & 3.41 & 3.28 & 3.31 \\ 248.8 & 250.6 & 258.1 & 251.4 & 254.8 \\ 2.31 & 2.41 & 2.97 & 2.62 & 3.21 \end{bmatrix}$$

由式(2)、(3)得关联矩阵

$$d = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.91 & 0.80 & 0.87 & 0.78 \\ 0.89 & 1.00 & 0.77 & 0.93 & 0.80 \\ 0.81 & 0.81 & 1.00 & 0.82 & 0.82 \\ 0.83 & 0.92 & 0.77 & 1.00 & 0.80 \\ 0.71 & 0.77 & 0.75 & 0.79 & 1.00 \end{bmatrix}$$

由式(5)、(6)得 $\bar{d} = [0.87 \ 0.88 \ 0.85 \ 0.86 \ 0.80]$, $\bar{d} = 0.85$, $K = \bar{d} - \delta = 0.82$

此时按式(7)得 $x = [33.96 \ 15.78 \ 3.30 \ 252.68 \ 2.69]$

由于 $\bar{d}_5 = 0.80 < K = 0.82$, 说明雷达 5 受到干扰, 信息序列 x_5 应该舍弃, 舍弃 x_5 后重新计算得:

$$d = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.91 & 0.80 & 0.87 \\ 0.89 & 1.00 & 0.77 & 0.93 \\ 0.81 & 0.81 & 1.00 & 0.82 \\ 0.83 & 0.92 & 0.77 & 1.00 \end{bmatrix},$$

$$\bar{d} = [0.90 \ 0.90 \ 0.86 \ 0.88], \bar{d} = 0.88, K = 0.85$$

由于所有 $\bar{d}_i > K, i = 1, 2, 3, 4$; 说明信息可信, 进行数据融合得

$$x = [33.55 \ 15.79 \ 3.30 \ 252.16 \ 2.57]$$

从而得到目标信息 ($125^\circ 33.55' \ 58^\circ 45.79' \ 3.30 \ 252.16 \ 2.57$)。

4 误差分析

相对误差 $\varepsilon_i = |x_i - x_0|/x_0$, 平均误差 $\bar{\varepsilon}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \varepsilon_{ik}$, $k=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n$, 由此可得前面示例中的 X

的相对误差矩阵

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} 0.0090 & 0.0119 & 0.0179 & 0.0209 & 0.0657 \\ 0.0253 & 0.0127 & 0.0316 & 0.0063 & 0.0063 \\ 0.0123 & 0.0185 & 0.0492 & 0.0092 & 0.0185 \\ 0.0064 & 0.0008 & 0.0308 & 0.0040 & 0.0176 \\ 0.0977 & 0.0586 & 0.1602 & 0.0234 & 0.2539 \end{bmatrix}, \quad \bar{\varepsilon} = [0.0301 \quad 0.0205 \quad 0.0579 \quad 0.0128 \quad 0.0724]$$

没滤除测得值 x_5 时, 测得值 x 与真实值 x_0 相对误差为

$$\varepsilon = [0.0137 \quad 0.0013 \quad 0.0154 \quad 0.0091 \quad 0.0508], \quad \bar{\varepsilon} = 0.0181$$

经过使用阈值 $K=0.82$ 滤除 x_5 后, 测得值 x 与真实值 x_0 相对误差为

$$\varepsilon = [0.0015 \quad 0.0013 \quad 0.0006 \quad 0.0154 \quad 0.0070 \quad 0.0039], \quad \bar{\varepsilon} = 0.0057$$

可以看出, 经过灰色关联数据融合, 数据精度高于任一个雷达测得值, 并很好的实现了反干扰。

5 结束语

本文方法能够提高数据精度, 并能很好地滤除干扰, 而数据在地理网格上表示, 使目标信息在防空网格中能够统一处理和运用。同时, 本文的地理网格也为全球范围内的数据共享与融合提供了参考。

参考文献:

- [1] 刘鹏 王立华. 走向军事网格时代[M]. 北京: 解放军出版社出版, 2004.
- [2] 康耀红. 数据融合理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997.
- [3] 娄寿春. 防空指控模型[M]. 西安: 空军工程大学导弹学院, 2004.
- [4] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 申卯兴, 薛西峰, 张小水. 灰色关联分析中分辨系数的选取[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(1): 68-70.
- [6] 刘维顺. 多雷达数据融合技术应用效果研究[J]. 现代电子工程, 2003, (1): 21-24.

(编辑: 田新华)

Target Data Fusion Based on Grey Incidence and Geographical Gridding

SHEN Mao-xing^{1,2}, XU Jin¹, XIE Shu-long², LIU Jian-cang³

(1. Department of Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China 3. The Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710051, China)

Abstract: A new definition of geographical gridding and its code is presented aiming at network warfare. Data of various radars are fused by using a method of grey incidence, which can be used to diminish the measuring error caused by jam and other random factors. This method can make the target information more unified and accurate, and at the same time the anti-jam ability of the radar is enhanced in the sense of data processing. At last, an example is given to validate the feasibility and validity of this method.

Key words: geographical gridding; grey incidence; data fusion; anti-jam