# Journal of System Simulation

Volume 29 | Issue 12

Article 22

6-6-2020

# Modeling and Simulation of Radar Networking Anti-stealth Based on the Detection Probability

Bin Chen Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

Chuangming Tong Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

Ximin Li Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

Follow this and additional works at: https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal

Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

# Modeling and Simulation of Radar Networking Anti-stealth Based on the Detection Probability

## Abstract

Abstract: For the scene of stealth target penetration against radar network, an evaluation model of detection effectiveness is established by taking the detection probability of the netted radar as an evaluation index. Based on the target's Radar Cross Section (RCS) data, the relationships among the false alarm probability, detection probability and signal to noise ratio are analyzed. A method using signal detection probability of the radar network is proposed with the Rank "K" principle of the fusion center. The RCS of stealth target is analyzed utilizing physical optics and method of equivalent currents. The detection probability of radar network under equilateral triangle and square position is resolved respectively combined with the divided region. The optimal configuration and baseline distance are selected. Theoretical analysis and simulation results prove the applicability and feasibility of proposed configuration.

#### Keywords

stealth target, detection probability, radar network, effectiveness' evaluation

## **Recommended Citation**

Chen Bin, Tong Chuangming, Li Ximin. Modeling and Simulation of Radar Networking Anti-stealth Based on the Detection Probability[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(12): 3100-3106.

第 29 卷第 12 期	系统仿真学报©	Vol. 29 No. 12
2017年12月	Journal of System Simulation	Dec., 2017

# 基于检测概率的雷达组网反隐身建模与仿真

陈彬, 童创明, 李西敏 (空军工程大学, 西安 710051)

**摘要**:针对隐身飞机突防对抗雷达网的应用背景,以雷达网检测概率为评价指标,建立了应用于雷 达网反隐身飞机的探测效果评估模型。首先基于典型隐身飞机雷达散射截面(RCS)起伏数据,分析 了其与虚警概率、发现概率和信噪比等参数间的关系。并应用秩 K 融合算法,计算了雷达网的综 合检测概率,提出了评估反隐身性能的方法。然后采用物理光学和等效电磁流法,分析了典型隐身 目标的雷达散射截面积。并结合区域剖分方法,解算了等边三角形、正方形布站方式下雷达网对隐 身目标的综合检测概率,从而甄选最优雷达布站方式和基线距离。理论分析与仿真结果验证了优化 雷达网布站的应用性和可行性。

关键词: 隐身目标; 检测概率; 雷达网; 效能评估
中图分类号: TN953 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 12-3100-07
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712022

## Modeling and Simulation of Radar Networking Anti-stealth Based on the Detection Probability

#### Chen Bin, Tong Chuangming, Li Ximin

(Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China.)

**Abstract:** For the scene of stealth target penetration against radar network, *an evaluation model of detection effectiveness is established by taking the detection probability of the netted radar as an evaluation index.* Based on the target's Radar Cross Section (RCS) data, the relationships among the false alarm probability, detection probability and signal to noise ratio are analyzed. A method using signal detection probability of the radar network is proposed with the Rank "*K*" principle of the fusion center. The RCS of stealth target is analyzed utilizing physical optics and method of equivalent currents. The detection probability of radar network under equilateral triangle and square position is resolved respectively combined with the divided region. The optimal configuration and baseline distance are selected. Theoretical analysis and simulation results prove the applicability and feasibility of proposed configuration.

Keywords: stealth target; detection probability; radar network; effectiveness' evaluation

# 引言

隐身飞机的出现、应用和发展,对我国战略和



收稿日期:2015-11-13 修回日期:2016-01-13; 基金项目:国家自然科学基金(61372033); 作者简介:陈彬(1992-),男,江苏新沂,硕士,研 究方向为雷达目标特性;童创明(1964-),男,湖北 黄冈,博士,教授,博导,研究方向为复杂目标与环 境复合电磁散射特性。 战术防御系统提出了严峻挑战,迫使人们研究反隐 身技术。隐身飞机的设计力求在迎头和机尾方向 尽可能减小 RCS,但雷达照射能量不可能完全吸 收和消耗,很大一部分还要通过其它方向散射出 去,即能量守恒。也就是说,有的方向上 RCS 显 著减小,有的方向不减反增,这就为空域反隐身提 供了条件。组网雷达可在大角度范围内从不同方

http://www.china-simulation.com

第 29 卷第 12 期 2017 年 12 月

位照射隐身飞机,实现对隐身飞机的预警探测。因此在当下尚无单部雷达具备对隐身目标预警探测 能力的条件下,对抗隐身目标较有效的方法就是雷 达组网。

针对组网雷达,许多专家学者展开了研究,其 工作主要集中在雷达网探测能力设计和探测性能 的研究,以及雷达网对采集数据融合算法的分析与 改进等方面。文献[1]推导了服从 Swerling 模型目 标的雷达探测概率公式,提出了雷达网综合发现概 率的概念。文献[2]基于经验公式,建立了一种针 对非起伏目标的雷达检测概率计算模型,并采用秩 D 法则评估雷达网的综合检测概率。文献[3]采用 累计发现概率取代传统的瞬时探测概率,给出了多 雷达探测系统对目标发现概率的计算方法。文献[4] 提出了一种针对光学传感器全探测空域的描述方 法,并进行了探测概率建模。文献[5]分析比较了 基于 Neyman-Pearson 准则的直接融合算法和秩 K 融合算法的优劣,提出了一种综合应用两种方法, 从而提高系统最终探测概率的工作模式。文献[6] 详细介绍了集中式融合和分布式融合组网模式的 工作原理,定量研究了两种模式下雷达网抗干扰反 隐身性能。

上述方法或是将目标 RCS 采用常值处理,这 样只能针对非起伏目标,而无法描述 RCS 剧烈起 伏的隐身目标;或是采用通用拟合模型,这样近似 处理失真较大,也不能准确描述特定目标的回波信 号。在上述文献的基础上,本文以某型飞机 A 作 为典型结构隐身目标,以其金属几何模型为基础, 建立了一种基于目标原始回波数据的检测概率仿 真模型,进而提出了一种评估雷达网反隐身效能的 方法。为准确表征隐身目标 RCS 起伏特性,采用 物理光学和等效电磁流方法,计算该型隐身飞机金 属模型在不同姿态角下的 RCS,并结合正三角形 和正方形两种典型的布站方式,以雷达网布站覆盖 度和重叠度为指标,分析评估了雷达网反隐身的效 能,甄选出最优雷达布站方式和基线距离,验证了 优化雷达网布站的应用性和可行性。

# 1 单部雷达检测性能建模

#### 1.1 虚警概率

虚警概率是指没有信号而仅有噪声时,噪声电 平超过门限值被误认为信号的概率。信号处理通常 认为加到接收机中频滤波器上的噪声是宽带高斯 噪声,其概率密度函数为:

$$p(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{v^2}{2})$$
 (1)

式中:噪声的均值为零,方差为1。

高斯噪声通过窄带中频滤波器后加到包络检 波器,根据随机噪声的数学分析可知,包络检波器 输出端噪声电压振幅的概率密度函数为:

$$p_{\rm fa}(r) = r \exp(-\frac{r^2}{2}), r \ge 0$$
 (2)

式中:r表示检波器输出端噪声包络的振幅值。

对式(2)积分可求得虚警概率 Pfa 为:

$$P_{\rm fa} = \int_{U_{\rm T}}^{\infty} p_{\rm fa}(r) dr = \exp(-\frac{U_{\rm T}^2}{2})$$
(3)

则在给定虚警概率的情况下,门限电平 U<sub>T</sub>可求出为:

$$U_{\rm T} = \sqrt{2\ln\frac{1}{P_{\rm fa}}} \tag{4}$$

#### 1.2 发现概率

发现概率是指信号加噪声通过接收机时,其电 平超过门限值的概率。振幅为 A 的回波信号同高 斯噪声通过窄带中频滤波器后,再经包络检波器的 输出包络的概率密度函数为:

$$p_{\rm d}(r) = r \exp(-\frac{r^2 + A^2}{2})I_0(rA), r \ge 0$$
 (5)

式中, *I*<sub>0</sub>(·)是第一类零阶修正贝塞尔函数; *r* 为信号加噪声的包络。

对式(5)积分可求得发现概率 Pd 为:

$$P_{\rm d} = \int_{U_{\rm T}}^{\infty} p_{\rm d}(r) {\rm d}r = \int_{U_{\rm T}}^{\infty} r \exp(-\frac{r^2 + A^2}{2}) I_0(rA) {\rm d}r \quad (6)$$

式(5)中回波信号幅值 A 视为常量,但隐身目标 的回波幅值起伏剧烈,用常量替代会引起较大误差, 因此将其修正为服从某种概率密度分布 *p*(A)的随

第 29 卷第 12 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 12
2017年12月	Journal of System Simulation	Dec., 2017

机变量。对于 *p*(*A*)的确定,文献[1]采用 Swerling 模型拟合目标,文献[7]分别采用 2 分布、对数正 态分布、赖斯分布和非参数法拟合目标全向 RCS 数据,并进行拟合优度检验,进而提出了一种选择 隐身目标 RCS 最优分布模型的方法。

然而这些通用的拟合模型并不能准确的描述 特定目标的回波起伏特性,因此本文直接采用原始 仿真数据的概率密度函数作为 *p*(*A*),避免拟合近似 引起的误差。式(6)的发现概率可修正为<sup>[8]</sup>

$$P_{\rm d} = \int_0^\infty \int_{U_{\rm T}}^\infty p(A) r \exp(-\frac{r^2 + A^2}{2}) I_0(rA) {\rm d}r {\rm d}A \quad (7)$$

#### 1.3 区域剖分法

由于雷达接收到的回波信号幅值 A 随着雷 达探测目标的姿态角和雷达与目标之间的距离 变化也在时刻发生变化,所以预警区域内各位置 处的检测概率也是无规律性的,因此采用网格剖 分法<sup>[9]</sup>来计算雷达在预警区域内各位置处的检测 概率。

假定目标以某一高度 h, 作水平直线飞行。首 先,设定以雷达为原点的水平面为预警区域,以目 标飞行方向的反方向为 y 轴正方向,水平面内与 y 轴垂直方向为 x 轴; 然后,对这个区域沿 x、y 轴 进行网格剖分,剖分步长为Δx、Δy; 最后,用坐 标(x<sub>T</sub>,y<sub>T</sub>,h)表示任意时刻目标位置。则雷达探测任 意位置处目标的姿态角θ, φ分别为:

$$R = \sqrt{x_T^2 + y_T^2 + h^2}$$
(10)

根据雷达距离方程和信号处理的基本公式,可 以由目标 RCS 计算回波信号幅度 A

$$\begin{cases}
P_{\rm r} = S_{\rm i} = \frac{P_{\rm t}G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \\
S_{\rm i} = kT_0 B_{\rm n} F_{\rm n} (\frac{S}{N})_0 \\
(\frac{S}{N})_0 = A^2
\end{cases}$$
(11)

式中:  $P_t$ 和  $P_r$ 分别为雷达发射、接收功率; G 为 雷达天线增益;  $\lambda$  为雷达工作波长;  $\sigma$ 为目标 RCS; k 为玻尔兹曼常数; 为  $T_0$ 标准室温;  $B_n$ 为噪声宽 带;  $F_n$ 为噪声系数;  $(S/N)_0$ 是匹配接收机输出端信 号功率  $S_0$ 和噪声功率 N 的比值。1.1 节中已假定噪 声功率为 1。

联立上式,可得回波信号幅度 A 为:

$$A^{2} = \frac{P_{t}G^{2}\lambda^{2}}{(4\pi)^{3}kT_{0}B_{n}F_{n}} \cdot \frac{\sigma}{R^{4}}$$
(12)

以公式(12)为基础,根据目标全向 RCS 仿真数 据即可得到信号幅值 A 的概率密度函数,即 p(A); 结合式(7)即可得到任意给定 P<sub>fa</sub>条件下已知参数雷 达对给定目标在任意位置处的发现概率 P<sub>d</sub>。

### 2 雷达网检测性能建模

对于雷达网而言,各部雷达之间独立工作, 互不影响,可以看作彼此独立的事件,因此只要 知道各部雷达的部署位置和雷达参数,即可通过 上述方法解算出各自对任意位置处目标的发现概 率。文献[5]已分析了基于 Neyman-Pearson 准则的 直接融合算法存在的严重缺点:当各部雷达的探测 概率相差较大时,采用直接融合算法无法实现高概 率的探测。对于隐身目标而言,各姿态角下 RCS 起伏较大,所以对同一位置处的目标,各部雷达间 的探测概率相差较大。因此本文的反隐身雷达网系 统,采用秩 K 融合算法计算其综合发现概率,其 原理是:雷达网系统内共有 N 部雷达,假定其中 至少  $K(1 \leq K \leq N)$ 部雷达判定目标存在,则该系统 就判定目标存在。

因为 N 部 雷 达之 间 互 相 独 立 , 对 于 第 n(n=1,2,...,N)部 雷达来说,设定其对目标的判定结 果为 d<sub>n</sub>(d<sub>n</sub> 为"0"或"1"),将各部 雷达的判定结果送 达组网系统的融合中心后,该中心产生系统的判决向量 *D*(*d*<sub>1</sub>,*d*<sub>2</sub>,...,*d*<sub>N</sub>)。将系统的融合规则记为 *R*,则可表示为:

$$R(D) = \begin{cases} 1, & \sum_{n=1}^{N} d_n \ge K \\ 0, & \sum_{n=1}^{N} d_n < K \end{cases}$$
(13)

根据上文方法计算出的各部雷达对目标的检测概率 $P_a$ ,即可求得雷达网的综合检测概率为:

$$P_{D} = \sum_{D} \left[ R(D) \prod_{S_{0}} (1 - P_{d_{i}}) \prod_{S_{1}} P_{d_{i}} \right]$$
(14)

式中: *S*<sub>0</sub> 表示判决向量 *D* 中元素为 0(目标不存在) 的雷达集合; *S*<sub>1</sub> 表示判决向量 *D* 中元素为 1(目标存 在)的雷达集合; *P*<sub>d</sub> 为第*i* 个雷达对目标的检测概率。

K 值的设置需要综合考虑组网雷达系统的融 合发现概率和融合虚警概率,然后融合后的发现概 率和虚警概率是一个非线性系统,因此很难给出确 切的最优解的公式。对于由 N 部单体雷达构成的 组网系统,当 K=N 时虽然使得融合虚警概率非常 低,但相应的发现概率也极低;当 K=1 时虽然明 显地改善了融合发现概率,但相应的融合虚警概率 却又几乎变成了单部雷达虚警概率的 N 倍。因此 很难解算出确切的最优 K 值。为简化模型,将秩 K 融合算法做退化处理采用"and"法则和"or"法则,即 分别令 K=1 和 K=N:

$$P_{one} = 1 - \prod_{i=1}^{N} (1 - P_{d_i}) \quad , K = 1$$
(15)

$$P_{all} = \prod_{i=1}^{N} P_{d_i} \quad , K = N \tag{16}$$

*P<sub>one</sub>*表示只要有一部雷达判定目标存在,则该 系统就判定目标存在;*P<sub>all</sub>*表示只有雷达网内所有 雷达判定目标存在,该系统才判定目标存在。

对于无限区域预警, 雷达组网布站要从对称性 入手, 将雷达布置成对称性好的几何图形可以保证 较高的目标探测发现能力。另外, 只有满足顶角除 360 是一个大于 3 的整数的完全对称(边长和顶角 相等)多边形, 才能不留有任何空隙的填充一个平 面。满足上述条件的典型的布站方式主要有等边三 角形和正方形布站。对于无限区域预警,我们更关 心的是每个雷达网单元对其标定预警区域内部的 探测能力,因此用上述概率在预警区域内的平均值 表征雷达网单元综合检测性能。

$$\overline{P_{one}} = \left(\sum_{area} P_{one}\right) / S_{area} \tag{17}$$

$$\overline{P_{all}} = \left(\sum_{\text{area}} P_{all}\right) / S_{area}$$
(18)

 $P_{one}$  描述了雷达网在预警区域内的覆盖程度,  $P_{all}$  描述了雷达网在预警区域内的重叠程度。在给 定雷达网工作参数的情况下,通过优化部署,使雷 达网对目标的覆盖程度尽可能的高,同时使雷达网 重叠程度尽可能的小。

# 3 隐身目标 RCS 建模

本文以某型战斗机 A 作为典型的结构隐身目标,采用等效电磁流(Method of Equivalent Current) 棱边修正的物理光学法(Physical Optics)计算 S 波 段该型飞机的 RCS 特性。

物理光学法(PO)出发点是 Stratton-Chu 散射场 积分方程。在高频条件下,用散射体表面的感应电 流取代散射体本身,通过对表面感应场的近似和积 分求的散射场。在平面波入射情况下,物体表面远 区散射场一般计算公式可写为

$$\vec{E}_{s}(\vec{r}) = \frac{jk}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \int_{S} \hat{s} \times (\vec{M}_{s}(\vec{r}') + \eta_{0}\hat{s} \times \vec{J}_{s}(\vec{r}')) \times \exp[jk\vec{r}' \cdot (\hat{s} - \hat{i})] ds'$$
(19)

式中: $\bar{J}_{s}(\bar{r}')$ 和 $\bar{M}_{s}(\bar{r}')$ 表示S上的电磁流矢量幅度;  $\hat{i}$ 和 $\hat{s}$ 是入射方向和散射方向的单位矢量, $\eta_{0}$ 为自 由空间波阻抗,S表示目标表面的照明部分。

等效电磁流法(MEC)是处理劈边绕射贡献最 好的方法之一,该方法认为边缘的绕射是边缘等效 电磁流所致,并以等效电磁流代入辐射积分计算任 意方向的散射场。对边缘为 *C* 的任意劈边,表示 它的远区边缘绕射场为:

$$\vec{E}^{d} = \frac{jk}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \int_{C} \left\{ \eta_0 \hat{s} \times [\hat{s} \times \vec{J}(\vec{r}')] + \hat{s} \times \vec{M}(\vec{r}') \right\} \times e^{jk\hat{s}\cdot\vec{r}'} dl$$
(20)

式中: 
$$\overline{J}(\overline{r}') = I_e(\overline{r}')\hat{t}$$
 和 $\overline{M}(\overline{r}') = I_m(\overline{r}')\hat{t}$ 分别是等效

http://www.china-simulation.com

Chen et al.: Modeling and Simulation o	FRadar Networking Anti-stealth Based on
--	---

第 29 卷第 12 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 12
2017年12月	Journal of System Simulation	Dec., 2017

边缘电流和磁流, *î* 是 *C* 的切向单位矢量, *ŝ* 是观察方向的单位矢量, *r'* 是从原点到边缘上某点的径向矢量, *dl* 是沿 *C* 的弧长增量。

# 4 仿真与分析

#### 4.1 RCS 计算算法验证

为了验证上述等效电磁流棱边修正的物理光 学法的有效性和计算精度,这里采用一平板模型进 行验证。为满足高频近似条件,模型几何尺寸选定 为1m×1m×0.05m,入射波频率设定为1GHz,极 化方式为水平极化,方位角为90°,俯仰角在0°-90° 范围内变化。将计算结果与软件 FEKO 中的快速 多极子(MLFMM)进行对比如图 1,结果表明等效 电磁流棱边修正的物理光学法在较大的角度范围 内能得到满意的结果。



#### 4.2 结构隐身目标 RCS 仿真

图 2 给出了 A 型隐身战斗机方位向 RCS 的 分布图。仿真方法采用上文所述等效电磁流棱边 修正的物理光学法,模型为 1:1 金属几何模型。 仿真频点设定为 3 GHz,选取水平极化方式,俯 仰角为 90°,图中 0°对应机头方向,仿真角度间 隔为 1°。

从图 2 可以看出,结构隐身目标 RCS 随方位 角有规律地变化,最小值约在 13°处(非 0°时最小); 正前鼻锥方向(入射角为 0°)水平±40°范围内 RCS 值较小,其平均值仅为-8.6 dB; 方位角 43°处 RCS 曲线呈现突增,为飞机后掠翼前缘法线方向,可用 于对飞机翼后掠角的识别; 在正侧向(方位角 90° 时)和后侧向(方位角 140°时)RCS 较大。





#### 4.3 单部雷达检测性能仿真

设定雷达参数如下:发射功率  $P_T$ =1 000 kw; 雷达天线的增益 G=30 dB; 玻尔兹曼常数  $k=1.38\times10^{-23}$  J/k;标准室温  $T_0$ 一般取 290 K;噪声 宽带  $B_n=10^6$  Hz;噪声系数  $F_n=1.5$  dB;虚警概率  $P_{fa}=10^{-6}$ 。采用第 1 节中方法计算该单基地雷达对 隐身目标 A 的发现概率,结果如图 3 所示,图中 坐标(0,0)为雷达位置,各坐标下的颜色代表雷达 对目标在不同距离和方位上的发现概率。

从图 3 可以看出,上述设定条件下,雷达对该 型隐身目标在正前鼻锥方向(Y 轴正方向)±45°和正 后尾锥方向(Y 轴负方向)±30°范围内,发现概率大 于 0.5 的平均探测距离小于 30 km,严重缩减了雷 达预警距离,影响了防空武器对目标进行有效射 击。但在目标侧向,雷达探测效果较好,因此可以 利用雷达组网,从多角度对隐身目标进行探测,从 而延长预警距离。此外,在同一方位角上,雷达对 隐身目标的发现概率起伏剧烈,且出现阶跃现象, 影响对目标的稳定跟踪,若优化部署雷达基线距 离,可使雷达网在发现概率阶跃区域内重叠覆盖, 增大对目标的综合发现概率,从而提高雷达对隐身 目标跟踪的稳定度。 第 29 卷第 12 期 2017 年 12 月



targets

#### 4.4 雷达网检测性能仿真

设定单部雷达参数不变, 雷达网中两雷达的基 线距离(相邻两部雷达间的水平距离)L 在 80–180 km 范围内变化。下面对等边三角形、正方形两种布站 方式分别进行仿真, 分析基线距离和布站方式对雷 达网检测概率的影响。为方便比较, 选定相同参数 雷达进行组网, 且每个组网单元均采用四部雷达 (等边三角形布站方式下四部雷达呈菱形分布)。

#### 4.5 仿真结果分析

对于两种不同的布站方式,在设定虚警概率 *P<sub>fa</sub>*=10<sup>-6</sup>的前提下,分析比较表1和图4,可得到 以下结论:



1. 在 80~180 km 范围内,随着基线距离的增

大,两种布站方式下,雷达网的覆盖度和重叠度均 呈下降趋势。

2. 对于正三角形布站,基线距离 L 在 80~ 120 km 范围内变化时,雷达网覆盖程度变化不大, 波动范围约为0.01;但当基线距离L在140~180 km 范围内变化时,覆盖程度急剧下降,波动范围约 为0.18。而雷达网的重叠程度随基线距离增大急剧 减小。

3. 对于正方形布站,基线距离在 80~180 km 范围内变化时,雷达网覆盖程度与重叠程度均随基 线距离增大而急剧减小,且波动范围较正三角形布 站更大。

 4.相同基线距离条件下,正三角形布站覆盖 度较大,重叠度较小,均值分别为正方形布站的
 106%和1%。说明采用正三角形布站的雷达网对隐 身目标的检测性能更好。

 通过雷达组网,可重叠覆盖发现概率起伏 剧烈的阶跃区域,提高了预警区域内的发现概率, 改善了雷达对隐身目标跟踪的稳定度。

6. 正方形布站方式下,预警区域内存在较大的探测盲区(综合发现概率为零区域),无法完成预 警探测任务;正三角形布站方式下,预警区域内虽 然局部存在综合发现概率起伏现象,但整体较好, 可在全方位上完成对要地中心的预警探测和对目 标的稳定跟踪任务。



图 4 L=140 km 时正三角形和正方形布站雷达网对隐身目标发现概率示意图 Fig.4 Detection probability of the radar networking under equilateral triangle and square position when L=140km

http://www.china-simulation.com

第 29 卷第 12 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 12
2017年12月	Journal of System Simulation	Dec., 2017

表 1 两种布站方式效能				
Tab. 1	Efficiency under two kinds of position			
	正三角形		正方形	
基线距离/km	覆盖度	重叠度	覆盖度	重叠度
	$(\overline{P_{one}})$	$(\overline{P_{all}})$	$(\overline{P_{one}})$	$(\overline{P_{all}})$
80	0.984 2	3.536 2e-3	0.993 7	2.252 3e-1
100	0.980 3	5.743 6e-5	0.959 0	9.998 7e-2
120	0.970 7	1.081 0e-6	0.910 0	2.614 5e-2
140	0.925 6	5.898 2e-8	0.847 5	3.132 6e-3
160	0.835 0	3.756 8e-9	0.758 1	1.535 4e-4
180	0.741 2	2.259e-10	0.661 3	1.558 4e-6

# 5 结论

组网反隐身是国内外专家学者研究的热点问 题,隐身目标回波信号的准确模拟和雷达网反隐身 效能的评估问题更是电磁散射与信号处理领域相 交汇的重难点问题。本文以典型结构隐身目标为 例,以其全金属几何模型为基础,建立了一种基于 目标原始回波数据的检测概率计算模型,进而提出 了一种以雷达网布站覆盖度和重叠度为指标,评估 雷达网反隐身效能的方法。仿真结果表明,同等参 数雷达,相同基线距离条件下,采用正三角形布站 方式的雷达网其综合检测性能更优。雷达接收回波 信号时,可以通过脉冲积累增大信噪比,提高检测 性能,进一步提升雷达网的反隐身效能,这是下一 步工作的重点。

## 参考文献:

- 方学立,杨水祥. 雷达与雷达网的目标检测威力模型[J]. 现代雷达, 2008, 30(7): 18-20.
   Fang Xueli, Yang Shuixiang. Radar target detection range model based on detection probability [J]. Modern Radar, 2008, 30(7): 18-20.
- [2] 赵志超, 饶彬, 王涛, 等. 雷达网检测概率计算及性 能评估[J]. 现代雷达, 2010, 32(7): 7-10.
   Zhao Zhichao, Rao Bin, Wang Tao, et al. Detection Probability Calculation and Performance Evaluation of Radar Network [J]. Modern Radar, 2010, 32(7): 7-10.
- [3] 王旭, 宋笔锋, 郭晓辉. 飞行器被雷达发现概率的计

算方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(6): 130-134.

Wang Xu, Song Bifeng, Guo Xiaohui. Research on the Approach for Calculaiting the Probability of Detecting an Aircraft by Radar System [J]. Theory and Practice of System Engineering, 2006, 26(6): 130-134.

[4] 党宏杰, 余浩章, 邓洛凤, 等. 面向全探测空域的光
 学目标探测概率建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(6): 1214-1220.

Dang Hongjie, Yu Haozhang, Deng Luofeng, et al. Modeling and Simulation of Detection Probability for Whole Airspace Oriented Optical Target [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(6): 1214-1220.

[5] 朱彬,胡玮,邓科,等. 多波段光学探测系统的探测概率研究[J]. 电子科技大学学报,2008,37(3): 339-342.
Zhu Bin, Hu Wei, Deng Ke, et al. Research on Detection Brababilitian of Multi Pand Onticel Detection Systems

Probabilities of Multi-Band Optical Detection Systems [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2008, 37(3): 339-342.

- [6] 陈志杰, 饶彬, 李永祯, 等. 雷达组网数据融合系统 性能分析[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(7): 1526-1531.
  Chen Zhijie, Rao Bin, Li Yongzhen, et al. Performance Analysis of Netted Radar Data Fusion Systems [J].
  Journal of System Simulation, 2015, 27(7): 1526-1531.
- [7] 黄坦, 徐振海, 戴崇, 等. 隐身目标雷达散射截面最 优分布模型选择[J]. 电波科学学报, 2014, 29(5): 899-904
  Huang Tan, Xu Zhenhai, Dai Chong, et al. Optimal distribution model selection of stealth target RCS [J]. Chinese Journal of Radar Science, 2014, 29(5): 899-904.
- [8] 陈世春,黄沛霖,姬金祖.从探测概率的角度评价飞机的隐身性能[J]. 航空学报, 2015, 36(4): 1150-1161.
   Chen Shichun, Huang Peilin, Ji Jinzu. Evaluaiting aircraft's stealth performance from the perspective of detection probability[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2015, 36(4): 1150-1161.
- [9] 张小宽,刘尚钞,张晨新,等. 隐身目标的双基地雷 达探测技术[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(3): 444-446.

Zhang Xiaokuan, Liu Shangchao, Zhang Chenxin, et al. Study on the detection technology of bistatic radars for stealthy targets [J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(3): 444-446.