

## 组网火控雷达目标跟踪仿真系统设计

杨小龙<sup>1</sup>, 李成玉<sup>2</sup>, 封吉平<sup>3</sup>, 韩壮志<sup>3</sup>, 何强<sup>3</sup>

(1. 中国人民解放军 65185 部队, 辽宁 铁岭 112611; 2. 武汉军械士官学校光电装备系, 武汉 470035;  
3. 军械工程学院光学与电子工程系, 石家庄 050003)

**摘要:** 随着电子侦察设备不断发展, 雷达在战场受到的威胁越来越大, 采用雷达组网技术可以对保护雷达起到一定的作用。为了对雷达组网技术应用效果进行仿真, 采用交互式仿真方法对组网火控雷达目标跟踪系统进行仿真。首先介绍了组网火控雷达目标跟踪技术; 然后提出基于 HLA 的组网火控雷达目标跟踪系统的仿真方法, 并给出仿真系统中的各个联邦成员的功能、参数和公布/订购关系; 最后给出了仿真系统的主流程。

**关键词:** 组网火控雷达; 高层体系结构; 联邦成员; 公布/订购

**中图分类号:** V271.4; TN95 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)07-0024-04

## Design of a Simulation System for Target Tracking of Netted Fire-Control Radar

YANG Xiaolong<sup>1</sup>, LI Chengyu<sup>2</sup>, FENG Jiping<sup>3</sup>, HAN Zhuangzhi<sup>3</sup>, HE Qiang<sup>3</sup>

(1. No. 65185 Unit of PLA, Tieling 112611, China;  
2. Wuhan Ordnance N. C. O. Academy of PLA, Department of Optical and Electrical Equipment, Wuhan 470035, China;  
3. Department of Optics and Electronic Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** As the development of electronic reconnaissance equipment, the radars are facing more and more threats in battlefield, the technology of netted fire-control radar can protect radar from the threats to some extent. In order to simulate the effect of this technology, the interactive simulation method is used to simulate the netted fire-control radar target tracking system. First, the technology of netted fire-control radar is introduced. Then, a simulation method of netted fire-control radar target tracking system is proposed based on High Level Architecture (HLA), and the federate ability, the parameters, and the publish / subscribe relationship of simulation system is given. The main flow chart of simulation system is also given.

**Key words:** netted fire-control radar; High Level Architecture (HLA); federate; publish/subscribe

### 0 引言

科学技术的飞速发展逐渐将现代战争演化为一场电子对抗与电子反对抗的斗争。电子对抗战场环境复杂多变, 装备技术含量高、操作难度大, 电子对抗部队专业训练的重要性愈加彰显。由于电子对抗涉及到多个领域, 包含的子系统较多, 其具有较强的复杂性, 特别是组网火控雷达目标跟踪系统, 涉及到的成员种类多、数量大<sup>[1-3]</sup>。对这种规模较大的系统进行仿真就需要采用更加优化的方法, 同时还要满足实战现场

训练的效果。

基于高层体系结构(High Level Architecture, HLA)的仿真技术已经越来越多地运用于许多大型仿真系统的设计中<sup>[4-7]</sup>, 并取得了较为理想的效果。本文将 HLA 运用于组网火控雷达目标跟踪仿真系统设计开发, 并对仿真系统的结构设计、联邦成员开发和仿真流程进行了研究<sup>[7-8]</sup>。可对组网雷达技术的研究及实战模拟训练提供一定的参考<sup>[5-6, 9-10]</sup>。

### 1 组网火控雷达目标跟踪技术

电子侦察设备对雷达辐射信号存在一个截获概率的问题, 根据文献[11]可知, 降低雷达的辐射时间就可以降低其被截获的概率。采用组网雷达技术实质上是对雷达进行辐射控制, 如图 1 所示, 假设由 3 部火控雷

收稿日期: 2012-03-08 修回日期: 2012-07-19

基金项目: 武器装备预研基金项目(9140C87020211JB34)

作者简介: 杨小龙(1989—), 男, 安徽巢湖人, 硕士生, 助工, 研究方向为雷达组网与雷达信号处理。

达进行组网,对各个雷达的工作时间进行控制。可以看出,在每一个辐射控制周期  $T_j(j=1,2,3)$  内只有一部雷达进行间歇工作,并将得到的采样数据实时处理后传送到其他雷达。当前雷达停止工作后,经过  $T_j$  时长的调整,下部雷达间歇工作以继续跟踪目标,如此循环进行,融合中心将得到完整的目标信息。容易看出,对于系统中的单部雷达而言,其间歇过程不仅包括自身工作时间内的间歇,也包括其他雷达工作时的相对间歇。相对于单部火控雷达间歇工作而言,组网条件下单部雷达能够获得更长的脉冲间隔,得到更高的低截获性能。

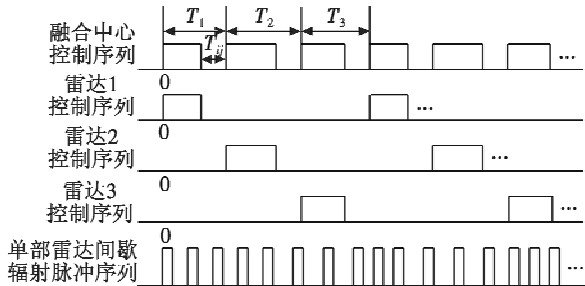


图 1 组网火控雷达间歇工作原理图

Fig.1 Intermittent working principle of netted fire-control radar

## 2 高层体系结构 (HLA)

基于 HLA<sup>[8]</sup> 的分布交互仿真 (DIS) 是系统用来构建大型复杂仿真系统的仿真技术方法,是通过将多个小型仿真系统联合起来构成一个大型复杂仿真系统,利于已有仿真系统的扩展、交互和仿真资源的重用,以实现新的、更复杂的系统仿真技术。HLA 是按照面向对象的思想和方法来构建仿真系统的,它在面向对象分析与设计的基础上划分仿真成员,构建仿真联邦。HLA 主要由 3 部分组成:HLA 规则 (HLA Rules), HLA 接口规范 (HLA Interface Specification) 和 HLA 对象模型模板 (Object Model Template, OMT)。HLA 规则定义了联邦设计阶段必须遵循的基本准则;HLA 接口规范定义了仿真系统运行过程中,支持联邦成员之间的互操作的标准服务;HLA 对象模型模板定义了 HLA 对象模型的部件。在基于 HLA 的仿真系统中,联邦是指达到某一特定仿真目的的分布仿真系统,它由若干相互作用的联邦成员构成。每个联邦成员就是一个小型的仿真系统,各个联邦成员之间进行资源的交互,从而完成整个仿真系统的功能<sup>[4,12]</sup>。

## 3 仿真系统机构设计

### 3.1 仿真系统可行性分析

选用某型时间运行支撑平台 (RTI) 作为该仿真系统的底层通信平台。经程序测试,在此平台上开发的

仿真系统的运行延时时间约为  $X$  ms,可以满足仿真系统的要求。HLA 采用“既时间控制又时间受限”的时间管理策略,逻辑时间的推进采用“基于事件”的时间推进方式。采用上述方式可以保证开发的仿真系统具有很强的逻辑性,以此设计的仿真系统可行性较强。

### 3.2 联邦成员的建立及其所实现的功能

联邦设计的目的是确定联邦中的成员,为每个联邦成员分配功能。根据上述分析,设计了如图 2 所示的仿真系统的联邦结构。

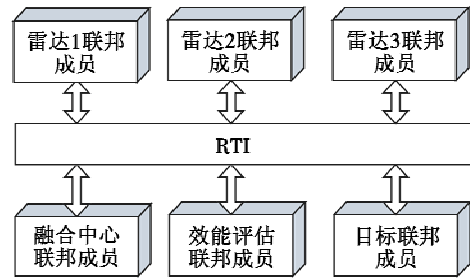


图 2 仿真系统联邦结构

Fig.2 Structure of simulation system federation

从图中可以看出主要有 6 个联邦成员。

#### 1) 目标联邦成员。

主要用来完成目标载机模拟航迹的生成,包括目标载机的初始位置、目标载机的设定轨迹和目标在各个时刻的实时位置的模拟生成,生成信号截获判定信息,包括反辐射侦察接收机的频率参数和对火控雷达信号的截获概率。

#### 2) 雷达(1,2,3)联邦成员。

模拟雷达的实时辐射状态,并对目标进行跟踪,以获得目标的测量数据。

从目标联邦订购过来的目标真实值经过处理产生雷达的测量数据,产生的数据公布给融合中心联邦成员做进一步的数据处理。

#### 3) 融合中心联邦成员。

融合中心联邦成员对组网雷达融合中心的功能进行仿真。订购雷达联邦成员生成的量测数据信息,通过融合处理,生成目标的位置信息和雷达网跟踪精度,并对雷达下一个周期的工作参数进行调整,向雷达成员公布目标位置、脉冲宽度、工作频率、开关机信号、雷达信号形式等。

#### 4) 效能评估联邦成员。

评估联邦成员对系统的评估功能进行仿真。评估联邦成员订购雷达联邦成员生成的量测数据信息、目标联邦成员的目标原始数据信息及截获判定信息和融合中心联邦成员的雷达工作参数信息,对原始航迹和估计航迹进行对比。同时通过订购的截获判定信息和雷达参数信息对截获概率进行计算评估。

### 3.3 联邦成员之间的参数公布/订购

组网火控雷达仿真系统各个联邦的公布/订购参数规定如下。

1) 公布参数。

① 目标联邦成员:斜距真实值 True\_xieju,方位角真实值 True\_fangweijiao,高低角真实值 True\_gaodijiao,初始位置 Position\_X(Y,Z),反辐射导弹频率搜索周期 Search\_period,瞬时频率带宽 Search\_frequency\_width,搜索频率上限 Frequency\_High,搜索频率下限 Frequency\_Low,雷达被截获信息 Intercept\_sign。

② 雷达(1,2,3)联邦成员:斜距测量值 Measure\_xieju(1,2,3),方位角测量值 Measure\_fangweijiao(1,2,3),高低角测量值 Measure\_gaodijiao(1,2,3),雷达脉冲宽度 Pulse\_width(1,2,3)。

③ 融合中心联邦成员:雷达工作选通标志 Working\_radar\_ID(1,2,3),雷达工作时长 t\_long(1,2,3),雷达脉冲重复周期 Pulse\_period,跟踪精度 Track\_precision。

2) 订购参数。

① 雷达联邦成员:斜距真实值 True\_xieju,方位角真实值 True\_fangweijiao,高低角真实值 True\_gaodijiao,雷达脉冲重复周期 Pulse\_period。

② 融合中心联邦成员:斜距测量值 Measure\_xieju,方位角测量值 Measure\_fangweijiao,高低角测量

值 Measure\_gaodijiao,雷达脉冲宽度 Pulse\_width。

③ 效能评估联邦成员:斜距真实值 True\_xieju,方位角真实值 True\_fangweijiao,高低角真实值 True\_gaodijiao,初始位置 Position\_X(Y,Z),斜距测量值 Measure\_xieju(1,2,3),方位角测量值 Measure\_fangweijiao(1,2,3),高低角测量值 Measure\_gaodijiao(1,2,3),雷达被截获信息 Intercept\_sign。

### 3.4 仿真系统联邦 FOM 开发

根据联邦中各成员的公布订购需求和面向对象类的抽象思想,重新建立所有类的层次关系,同时共同确定对对象类/交互类的属性/参数的认识,明确属性/参数的公布订购的匹配关系。开发了仿真系统联邦的 FOM 表,如图 3 所示。

对象类层次0	对象类层次1
Target(PS)	
Radar(1,2,3)(PS)	
Fusion_center(PS)	
Effectiveness_evaluation(PS)	

图 3 FOM 对象类结构表

Fig.3 Object class structure table of FOM FOM 属性表如图 4 所示。

对象	属性	数据类型	粒度	单位	辨	精度	精度条件	更新类型	反射	路由空间	
Target	True_xieju	double	1	m		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	True_fangweijiao	double	1	rad		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	True_gaodijiao	double	1	rad		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Position_X	double	1	m		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Position_Y	double	1	m		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Position_Z	double	1	m		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Search_period	double	1	s		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Search_frequency_width	double	1	Hz		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Frequency_High	double	1	Hz		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
Frequency_Low	double	1	Hz		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A	
Radar(1,2,3)	Intercept_sign	boolean	1			perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Measure_xieju(1,2,3)	double	1	m		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Measure_fangweijiao(1,2,3)	double	1	rad		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Measure_gaodijiao(1,2,3)	double	1	rad		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
Fusion_center	Pulse_width(1,2,3)	double	1	s		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Working_radar_ID(1,2,3)	boolean	1			perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	t_long(1,2,3)	double	1	s		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Pulse_period	double	1	s		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A
	Track_precision	double	1	m		perfect	always	Condi tiona	N	UR	N/A

图 4 FOM 属性表

Fig.4 Attributes table of FOM

### 3.5 联邦系统流程

联邦成员程序与 RTI 接口的工作主要在仿真线程

中进行,其中主要包括创建并加入联邦、声明公布/订购关系、注册对象实例、请求时间推进、更新和反射对

象属性值、发送和接收交互、退出并撤销联邦等,仿真线程推进过程中所调用的函数可参考文献[8]。

在联邦成员加入联邦前,需要初始化成员函数,即创建 RTIambassador 对象和联邦对象,初始化成员的仿真对象。当联邦成员加入联邦后创建仿真线程,具体程序流程如图5所示。

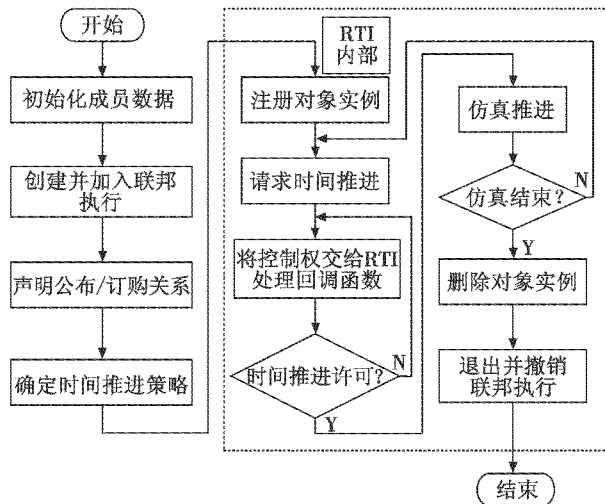


图5 联邦成员程序流程

Fig. 5 Program flow of federates

按照上述程序流程,使用 VC++ 6.0 开发软件可以开发出一套较为完善的组网火控雷达目标跟踪仿真系统。

#### 4 仿真结果分析

运行仿真系统,改变雷达联邦成员的参数或工作方式(如各部雷达的工作时间),可以得到目标对雷达不同的截获结果。通过对仿真结果的分析可以优化组网火控雷达的工作方式,实现火控雷达低截获性的目的。仿真系统实现了对组网火控雷达间歇辐射理论的可行性的验证。效能评估联邦成员的仿真结果可以对雷达的跟踪精度和低截获性能进行评估,达到对整个仿真系统评估的目的。

#### 5 结论

本文提出了基于HLA的组网火控雷达目标跟踪

系统的仿真方法,充分发挥了HLA的技术优势。对组网火控雷达目标跟踪仿真系统进行了结构设计,明确了仿真系统中各个联邦成员的功能和它们之间的公布/订购关系,给出了仿真系统的流程图。本文对组网火控雷达目标跟踪仿真系统的建立、对雷达低截获性研究具有一定的参考价值,下一步主要研究仿真应用程序的开发、联邦成员之间的资源交互和仿真系统的时间管理。

#### 参考文献

- [1] 杨波. 雷达组网的电子对抗[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [2] 王星, 程嗣怡, 刘海彬, 等. 组网电子对抗技术研究[J]. 电子对抗, 2011, 137(2): 1-4.
- [3] 兰俊杰, 陈蓓, 徐廷新. 组网雷达发展现状及其干扰技术[J]. 飞航导弹, 2009, 12: 39-41.
- [4] 曾愿晓, 马建伟, 贾晓洪. HLA在空空导弹协同仿真系统中的应用[J]. 电光与控制, 2010, 17(2): 52-55.
- [5] 孙鹏, 唐宏. HLA的地空导弹模拟训练系统雷达仿真邦元[J]. 火力与指挥控制, 2010, 25(4): 53-57.
- [6] 邱晓刚, 邵卓. 基于HLA的战场攻防仿真系统设计研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(10): 246-249.
- [7] 郝海峰, 吕沧海, 张正娟. 基于HLA标准的分布交互仿真系统开发技术探讨[J]. 导弹试验技术, 2009, 20(4): 21-25.
- [8] 张家祥. HLA仿真技术应用教程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [9] 赵敬东, 陈治平, 何佑明, 等. HLA战场虚拟环境仿真框架研究[J]. 光电技术应用, 2004, 19(3): 15-18.
- [10] LIU Baohong, HUANG Kedi, PENG Chunguang. The study of wargames based on HLA[C]//Asia Simulation Conference, 2008: 536-540.
- [11] 陈振邦. 低截获概率雷达技术研究[J]. 船舶电子对抗, 1997(4): 7-11.
- [12] 蒙洁, 戚宗锋, 汪连栋. 基于HLA雷达信号建模仿真[J]. 电光与控制, 2007, 14(6): 135-147.

欢迎订阅 欢迎登广告