

SystemVue 在雷达组网仿真系统中的应用

尚朝轩, 王品, 韩壮志
(军械工程学院电子与光学工程系, 石家庄 050003)

摘要: 目前,国内外对于 SystemVue 的应用主要集中在通信领域,而在雷达系统仿真中的应用比较少。SystemVue 具有优越的仿真性能,能够满足对雷达组网仿真系统的需求,主要研究了其在雷达组网数据融合系统中的应用。简要介绍了 SystemVue 的基本情况;针对火控雷达组网,结合 Matlab,在 SystemVue 仿真平台中完成了对数据融合系统的设计与构建;验证了利用 SystemVue 实现数据融合系统仿真的可行性,同时展现了 SystemVue 在系统仿真中的直观性和灵活性。SystemVue 仿真软件因独特的优势将在雷达系统仿真领域中具有很好的应用前景。

关键词: 雷达组网; SystemVue; 数据融合; 系统仿真

中图分类号: TN971 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)02-0079-04

Application of SystemVue in Radar Network Simulation System

SHANG Chao-xuan, WANG Pin, HAN Zhuang-zhi
(Department of Electronics and Optics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: At present, application of SystemVue is mainly concentrated on communication field. It is rarely used in the radar system simulation. SystemVue has superior performance in simulation, which can satisfy the needs of simulation system in radar network. This paper is focused on its application in data fusion system of radar network. Firstly, the basic situation of SystemVue is introduced briefly. Then, aiming at fire control radar network and combined with Matlab, the data fusion system construction is completed based on SystemVue simulation platform, thus the feasibility of using SystemVue for simulating data fusion system is verified. And at the same time, the visibility and flexibility of SystemVue in system simulation is proved. For its unique advantages, SystemVue simulation software will have great application prospect in the field of radar system simulation.

Key words: radar network; SystemVue; data fusion; system simulation

0 引言

SystemVue 是美国安捷伦 (Agilent) 公司推出的一种电子系统级仿真工具软件,主要针对通信、雷达、导航和电子战等领域^[1],它可以与 Matlab, C++, ADS 等其他软件协同仿真,同时具有明显的优越性。它支持射频-基带联合仿真;支持数据流仿真;模块齐全,可直接对需要构造的系统平台进行搭建。以上这些优点可基本满足雷达仿真的需求,在雷达系统仿真方面有很好的应用前景。

由于 SystemVue 具有优越的仿真性能和完善的设

计环境,能够适应雷达系统仿真的多样性和复杂性,目前,国内外基于 SystemVue 的雷达系统仿真已经存在^[1],但其针对的是单部雷达,而在雷达组网中的应用还未曾出现。目前,随着电子技术和武器装备的迅猛发展,现代雷达系统面临严峻的考验。依靠单一类型、单部雷达已经难以解决这些问题。而雷达组网既具有单部雷达的特性,又充分发挥了其整体作战效能,是未来雷达的发展方向^[2],所以,雷达组网仿真系统的构建尤为重要。本文基于 SystemVue 对雷达组网仿真系统的构建进行了研究,尤其是组网的核心部分——数据融合系统的构建。数据融合技术已成为雷达组网探测的基础,所以数据融合系统的仿真实现尤为重要^[3-6]。

1 SystemVue 简介

SystemVue 以图符化模块构建理论模型^[7],对电子

系统的实际工作状态进行仿真模拟,完成信号与系统特性的详细分析。其分析窗口可根据仿真系统运行结果实时地自动呈现信号波形图,还可以根据需要改变接收计算器的参数,快速绘制出时域、频域等多种曲线图。SystemVue 可以构造各种复杂的模拟、数字、数模混合系统,支持多速率系统,可以用于各种线性或非线性控制系统的设计和仿真。目前 SystemVue 开发了更高级别的版本,其中的元件库有了重大更新,其资源库更加完善。同时, SystemVue 具有高性能的计算能力:支持多核多线程仿真, GPU 和 FPGA/HIL 的加速仿真及多机集群分布式仿真,为电子系统级的设计和仿真提供了更为方便有效的操作空间和更广阔的发展平台。

2 雷达组网系统构架

以火控雷达组网为例,将各雷达进行适当布站,借助通信手段链接成网,由数据融合中心综合处理来自各雷达及周围环境的数据。图 1 为雷达组网结构示意图。数据融合系统作为整个雷达组网系统的中心节点,掌握了全局的数据、信息和态势^[8]。数据融合系统主要负责两方面的工作:一方面,综合处理目标数据,得到更高质量的融合数据^[9],同时将融合数据共享给各火控雷达节点;另一方面,数据融合系统根据战场的整体态势,综合判断目标企图、重要程度、威胁等级,对有限的火控雷达资源统筹规划。

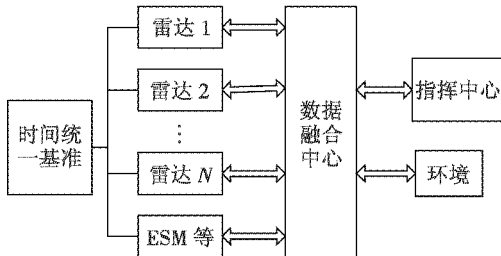


图 1 雷达组网结构示意图

Fig. 1 Schematic of radar network

本文将火控雷达组网中的数据融合系统划分为时间对准、坐标转换、扩展卡尔曼滤波、航迹关联、航迹合成和跟踪精度估计 6 个模块,暂时省略了态势与威胁评估等模块,如图 2 所示。火控雷达组网系统使用统一的时间基准,但每部火控雷达的采样起始时间可能不同,加上不同的通信延迟,测量数据的时间戳可能不一致;对雷达来说,目标的测量数据通常是在以各雷达为原点的空间极坐标系中表示的,而后续的数据处理过程是在以融合中心为原点的直角坐标系中进行的^[10],这时需要进行目标数据的预处理,包括时间对准和坐标转换。扩展卡尔曼滤波实现目标数据的平滑,航迹关联的作用是判断各部火控雷达航迹数据的相关情况,航迹合

成将源于同一目标的多条航迹进行合成。跟踪精度是指目标航迹经过数据融合中心处理得到的精度,用于衡量雷达组网系统对目标的跟踪效果。

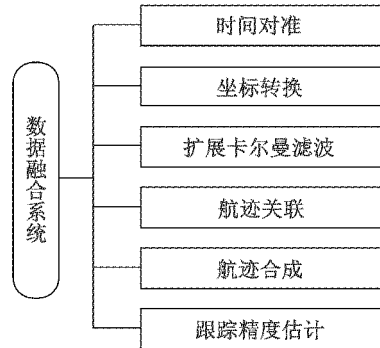


图 2 数据融合系统的组成

Fig. 2 Composition of data fusion system

3 SystemVue 中数据融合系统的搭建

3.1 MathLang 模块的应用

在 SystemVue 建模环境中能够方便地直接调用 Matlab 语言,支持全部 Matlab 语法和功能^[11]。MathLang 数学语言模块在 SystemVue 中很常用。在数据融合系统中,每个模块作为一个独立的模型在 SystemVue 中进行编译和设置。在 MathLang 的 Equations 公式区域中编写 Matlab 程序代码,通过程序代码处理输入数据,并产生输出数据,同时设置参数,完成对每一个仿真模块的设置。默认情况下每个独立模型只有一个输入输出接口,但可以通过 I/O 建立多个输入输出接口,进行多路数据控制,具有高度的灵活性。

3.2 搭建融合系统

假设仿真背景为雷达组网中有 3 部火控雷达跟踪目标。当目标进入火控雷达跟踪范围,火控雷达 1, 2, 3 对目标跟踪测量形成点迹,并上报给数据融合系统。在时间对准模块,考虑到火控雷达数据率高,采用简单且计算量小的线性插值法^[12]。输入数据为 3 部火控雷达的测量数据 $Measu_1, Measu_2, Measu_3$; 输出数据为经校准后的数据 $Measu_t$ 。在坐标转换模块,为了尽量减小坐标转换引入的误差,先将以各火控雷达站为原点的空间极坐标测量值转换到以各雷达站为原点的直角坐标系中,然后变换到地球坐标系中,再从地球坐标系变换到融合中心的直角坐标系中^[12]。输入数据为雷达对目标的测量值 $Measu_t$; 输出数据为转换后的数据 $Measu_c$ 。设置参数:3 部火控雷达的地理坐标为 (j, w, H) , 数据融合的地理坐标为 (j_0, w_0, H_0) 。在扩展卡尔曼滤波模块,平滑局部航迹数据。滤波函数的输入数据为雷达测量值 $Measu_c$; 输出数据为滤波协方差 $fCov$ 及滤波结果 $fRes$, 同时设置滤波参数。在航迹

关联模块,采用序贯航迹关联算法^[5]进行多条航迹的关联,由输入的滤波结果 fRes 和滤波协方差 fCov 得到关联结果 CorRes。航迹合成模块中,采用一种与最优融合算法等价的次优算法^[8],由输入的滤波结果 fRes、滤波协方差 fCov 及关联结果 CorRes,得到航迹融合结果作为输出。在跟踪精度估计时,用滤波误差协方差来描述系统对目标的跟踪精度。 t_k 时刻火控雷达的融合航迹精度为

$$\Phi(k) = \sqrt{\sigma_{\hat{x}(k|k)}^2 + \sigma_{\hat{y}(k|k)}^2 + \sigma_{\hat{z}(k|k)}^2} \quad (1)$$

式中, $\sigma_{\hat{x}(k|k)}^2$, $\sigma_{\hat{y}(k|k)}^2$ 和 $\sigma_{\hat{z}(k|k)}^2$ 分别表示直角坐标系下 x, y 和 z 方向上的状态误差方差,作为该模块的输入。在实际作战过程中,为了达到要求的打击效果,防空武器

系统对雷达的跟踪精度通常会有一个最低标准 m ,只有满足 $C(k) \leq m$,防空武器系统才能对目标进行有效打击^[13],该模块也可加入截获概率估计,进而扩展为评估模块,每个模块通过 Matlab 语言分别在 MathLang 中进行编译。跟踪精度还可以作为反馈信号输入各部雷达,对于不满足跟踪精度的测量,可控制雷达工作参数,进而达到精度要求,从而形成闭环。

3.3 仿真验证

在 SystemVue 中数据融合系统的仿真界面如图 3 所示,模块化地展现了数据融合系统的工作流程。通过以上过程,完成对雷达组网数据融合系统的仿真,得到的仿真结果如图 4、图 5 所示。

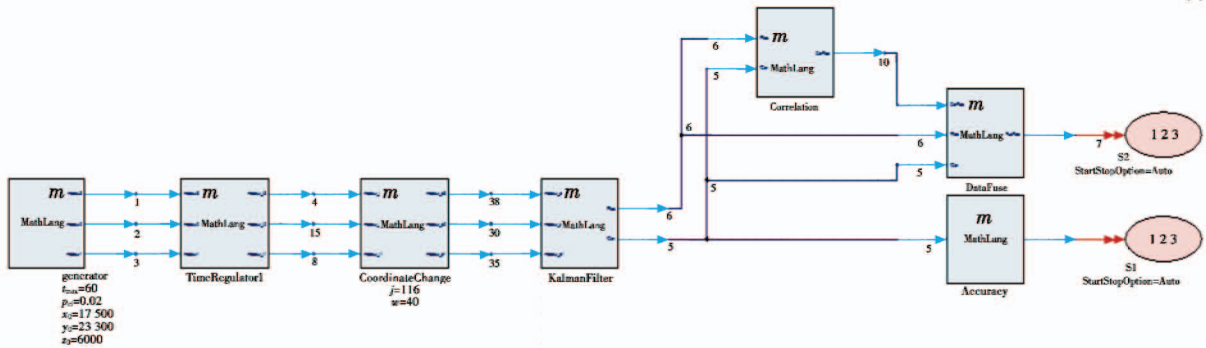


图 3 数据融合系统工作流程

Fig. 3 Workflow of data fusion system

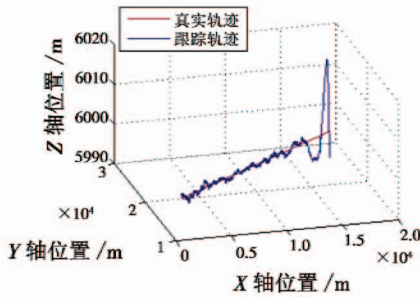


图 4 航迹融合结果

Fig. 4 Results of track fusion

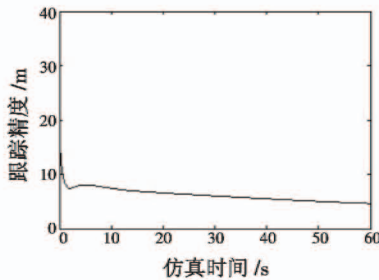


图 5 跟踪精度估计随时间的变化

Fig. 5 Tracking accuracy estimation vs time

目前,大多文献中采用 VisualC++ 与 Matlab 混合编程来开发数据融合仿真平台,如文献[3]。与其相比, SystemVue 模块化的构建模式有很大优势。图 3 这

样的模块化设计使得数据融合系统的仿真具有通用性、灵活性。模块与功能相对应,在搭建其他类型数据融合系统时,该系统中的模块可直接应用;在某个模块的功能需要改变时,可直接更换该模块,而不影响其他组成部分。每个模块搭建完成后相对独立,可组成算法模块的库,根据需要搭建仿真系统,提高了搭建数据融合仿真系统的效率,且具有很强的直观性。

4 结论

本文对火控雷达组网中的数据融合系统进行了程序设计,实现了 SystemVue 对数据融合系统的仿真,验证了其可行性。Matlab 虽然有高度灵活的可编程性,擅长数据分析与处理,在仿真领域有广泛的应用,但它不能直观地体现和分析数据流的工作过程。SystemVue 是以图符化模块构建融合系统,比单纯用 Matlab 进行系统仿真更加形象直观,且具有通用性。SystemVue 与 Matlab 的协同仿真性能可以满足系统仿真的多变性和灵活性,实现复杂电子系统的联合仿真。以后还将继续基于 SystemVue 的仿真优势做雷达组网系统仿真平台方面的工作。

参考文献

[1] 张杰,何强,韩壮志. 基于 SystemVue 的某型雷达发射

- 信号生成[J]. 现代电子技术, 2014, 37(21): 45-48. (ZHANG J, HE Q, HAN Z Z. Generation of signal transmitted by a radar based on SystemVue[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(21): 45-48.)
- [2] 郭冠斌, 方青. 雷达组网技术的现状与发展[J]. 雷达科学与技术, 2005, 3(4): 193-197. (GUO G B, FANG Q. Current status and development of radar netting technique[J]. Radar Science and Technology, 2005, 3(4): 193-197.)
- [3] 吕艳梅, 王洪锋, 孙江生. 一种多传感器数据融合仿真平台设计[J]. 电光与控制, 2004, 11(1): 22-24. (LYU Y M, WANG H F, SUN J S. The design of multisensor data fusion simulation platform[J]. Electronics Optics & Control, 2004, 11(1): 22-24.)
- [4] 齐崇英, 王艺, 韩颖. 数据融合仿真系统通用架构及关键技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(2): 705-710. (QI C Y, WANG Y, HAN Y. Research on common framework and key technology of data fusion simulation system[J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(2): 705-710.)
- [5] LIU H X, PAN Q, LIANG Y. Comments on "A multipath data association tracker for over-the-horizon radar" [J]. IEEE Transactions on AES, 2005, 41(3): 1147-1150.
- [6] THOMAS H, CHRISTOPH L, REKINHARD G. Multi-sensor data fusion in automotive applications[C]//The 3rd International Conference on Sensing Technology, 2008: 206-211.
- [7] 程文清. 基于 SystemVue 的无线通信原理仿真实验教学研究[J]. 中国现代教育装备, 2012(13): 50-54. (CHENG W Q. A study on simulation teaching of wireless communication theory based on SystemVue [J]. China Modern Education Equipment, 2012(13): 50-54.)
- [8] 何友, 王国宏, 关欣, 等. 信息融合理论及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010. (HE Y, WANG G H, GUAN X, et al. Information fusion theory with applications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.)
- [9] 王建斌, 陈瑞源. 防空 C³I 多传感器数据融合仿真系统设计[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(5): 65-69. (WANG J B, CHEN R Y. Design for air defense C³I multisensor data fusion simulation system[J]. Systems Engineering and Electronics, 2001, 23(5): 65-69.)
- [10] 何友, 修建娟, 张晶炜, 等. 雷达数据处理及应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2012. (HE Y, XIU J J, ZHANG J W, et al. Radar data processing with applications[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012.)
- [11] 林森, 高明明. SystemVue 环境下 M-Link 的应用[J]. 中国科技信息, 2008(23): 91-93. (LIN S, GAO M M. SystemVue environment under the application of M-Link [J]. China Science and Technology Information, 2008(23): 91-93.)
- [12] 罗浩. 组网火控雷达融合控制中心仿真系统的研究与设计[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2014. (LUO H. Study on data fusion and control center simulation system of fire control radar network[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College, 2014.)
- [13] 熊久良, 徐宏, 韩壮志, 等. 一种基于跟踪精度控制的组网火控雷达抗 ARM 方法[J]. 电讯技术, 2011, 51(4): 21-25. (XIONG J L, XU H, HAN Z Z, et al. A method for fire-control radar network against ARM based on tracking accuracy control[J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(4): 21-25.)
- [14] SHIMA T, RASMUSSEN S J, SPARKS A G, et al. Multiple task assignments for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms[J]. Computers & Operations Research, 2006, 33(11): 3252-3269.
- [15] 柳鹏, 高杰, 刘扬. 基于拍卖算法的目标分配问题优化[J]. 兵工自动化, 2008, 27(9): 22-24. (LIU P, GAO J, LIU Y. Target distribution optimization based on auction algorithm[J]. Ordnance Industry Automation, 2008, 27(9): 22-24.)
- [16] 费爱国, 张陆游, 丁前军. 基于拍卖算法的多机协同火力分配[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(9): 1829-1833. (FEI A G, ZHANG L Y, DING Q J. Multi-aircraft cooperative fire assignment based on auction algorithm [J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(9): 1829-1833.)

(上接第 15 页)