

数据链组网与数据传输仿真技术

姜思晓¹, 房红征^{2,3}

(1. 中国电子技术标准化研究院, 北京 100007; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041;

3. 北京市高速交通工具智能诊断与健康重点实验室, 北京 100041)

摘要: 研究数据链系统中的组网与数据传输技术, 对于构建自主的数据链系统以及数据链系统的测试、评估极为关键; 同时, 进一步验证所设计的数据链系统的有效性、理解数据链的主要功能与性能参数, 为进一步研究与设计测控数据链技术奠定基础; 对数据链系统及数据链组网与数据传输技术进行了分析, 并简要介绍不同数据链系统的组网与数据传输技术的差别, 在此基础上提出一种数据链组网与数据传输仿真系统方案, 对系统的功能和工作过程进行了分析, 为数据链的构建、测试及评估提供支持; 最后, 对数据链及其测试评估系统构建及发展趋势进行了展望; 该研究在数据链测试仿真评估系统中的验证效果良好, 从而为数据链系统的设计提供了参考和依据。

关键词: 数据链系统; 组网; 数据传输; 仿真

Technology of Data Link Networking and Data Transmission Simulation

Jiang Sixiao¹, Fang Hongzheng^{2,3}

(1. China Electronics Standardization Institute, Beijing 100007, China;

2. Beijing Aerospace Measure & Control Corp. Ltd, Beijing 100041, China; 3. Beijing Key Laboratory of

High-speed Transport Intelligent Diagnostic and Health Management, Beijing 100041, China)

Abstract: The study of the data link system networking and data transmission technology is very important to the build of the independent data link system and the test & evaluation of the data link system. At the same time, it can not only verify the validity of the designed data link system, but also is useful to understand the main functions of the data link and performance parameters, which can lay the foundation for further research and design of measurement and control data link technology. It analyzed the technology of the data link system, data link networking and the data transmission. Then a brief introduction to the difference between the networking and data transmission technology of the data link system is made. Based on this, it proposed a data link networking and data transmission simulation system scheme, and the function of the system working process are analyzed, which provide the test and evaluation support for the construction of data link. Finally, the construction of the data link and test evaluation system and developing trend is prospected. The validation effect of the proposed methods in the data link test simulation and evaluation system is good, thus providing the reference and basis for the design of the data link system.

Keywords: data link system; networking; data transmission; simulation

0 引言

数据链系统组网与数据传输是指将分布在不同空间的各级指挥所、参战部队和武器平台链接起来, 进行信息处理、交换和分发的过程。研究数据链系统中的组网与数据传输技术对于构建自主的数据链系统以及对于数据链系统的测试评估极为关键。同时, 通过对数据链系统组网与数据传输技术的研究, 进一步验证所设计的数据链仿真系统的有效性、理解数据链的主要功能与性能参数, 为进一步研究与设计测控数据链奠定基础。

本文首先对数据链系统及数据链组网与数据传输技术进行了分析, 提出一种数据链组网与数据传输仿真系统方案, 并从数据链的网络构建、数据传输效率以及仿真结果等方面进行了分析。数据链系统组网与数据传输仿真技术的研究, 是数据链向科学型、实用型发展道路上不可或缺的内容, 对于我军保障信息化建设将起到重要作用。

1 数据链系统概述及关键技术分析

数据链系统一般用于专门的军事作战领域, 并且用于特定

部队的指挥与控制。它是一个保密、双向的数字通信系统, 能为不同的作战、保障系统提供高速的、计算机到计算机的数据信息交换。数据链系统中不同通信终端的组网技术、终端武器系统之间以及终端与指控中心的数据传输交互技术、系统抗干扰技术是整个数据链系统发挥其高效作用的关键所在。因此研究数据链系统的发展历程及其关键技术的突破便成为研制我国自主数据链系统的重要问题。

1.1 数据链系统分类

对于应用于舰艇、飞机等作战单元间交互战术信息的通用数据链, 可分为三类^[1-2]:

1) 集合处理情报资料、传递战术数据、共享信息资源为主的数据链。通常用于传输经处理后的传感器数据, 需要较高的传输速率和较低的差错率, 一般用于电子侦察机、预警机、侦察用无人机和水面舰艇上。用于传输影像信息的数据链将需要极高的带宽。

2) 以命令传递、战情回报、请示、勤务通信及空中战术行动的引导指挥为主的数据链。通常用于传输简单的非语音命令数据或战情资料, 所需的传输速率不高, 但须确保数据正确可靠, 一般在战斗机、攻击机、武装直升机上使用。

3) 综合数据链。同时拥有上述两种数据链的功能, 它不仅传输率高, 而且还具有抗干扰和保密的性能, 是当前数据链

收稿日期:2016-04-20; 修回日期:2016-05-07。

作者简介:姜思晓(1980-),男,山东即墨人,工程师,主要从事信息技术和微电子技术方向的研究。

发展的主流。

目前国外较为主流的数据链产品是包括 Link-16、Link-22 等在内的数据链系统。以 Link-16 数据链系统为例,它是具有扩频、跳频抗干扰能力的数据通信链路标准,用于为美军各军种与北约各国提供信息交换的共同传输界面规范。它综合了 Link-4 数据链与 Link-11 数据链的特点,可在网络内用以互相交换敌方目标跟踪数据、己方成员位置、电子侦察/电子战情报、各平台状况、危险警告、导航、控制与引导信息等。

1.2 关键技术分析

1) 数据链系统组网技术。系统组网与同步机制,是保证系统能够采用统一有效的方式完成网络的形成过程,是保证相关协议能够正确运行的基础。在数据链网络中,系统组网和同步问题是介质访问控制 (Medium Access Control, MAC) 协议的一部分,是 MAC 协议实现合理、高效的信道资源分配的保证。Link16 数据链采用 TDMA 方式进行信道共享,网络内各个终端需要保持时间同步,确保终端无冲突的占有 MAC 协议分配信道资源。系统组网和同步主要面临的问题包括:组网发起、节点入网、同步以及同步保持过程。组网发起问题是指在没有网络的时候,系统通过什么样的方式来发起组网,使得节点能够加入网络,在网络形成后,系统又是通过什么样的方式使新节点加入到网络中来;节点入网问题是指节点如何加入一个已经存在的网络;同步问题是指节点采用什么样的方法与一个存在的网络保持精确的时间同步;同步保持是指在节点入网之后,由于节点之间的时钟误差,产生了时间同步的误差,同步保持过程就是要解决在网络运行中进行对同步误差的校正方法。

2) 数据传输技术。以 Link-16 数据链系统为例,其采用时分多址模式 (TDMA)、多种数据交互速率的方式进行数据的传输。采用的时分多址模式分析如下^[3]:

Link16 将 24 h 划分为 112.5 个时元 (12.8 min),单个时元分为 64 个时帧 (12 s),每个时帧包含 1536 个时隙 (7.8125 ms)。每个时元分为三组,编号为:A,B,C,时隙交错排列,分别属于各组 (每时帧每组各含 512 个时隙)。

时隙分配以时隙块的方式进行 (如图 1 所示),时隙块中的时隙数目的对数定义为重复率 (时隙数目指代的是整个时元内的数量,是以 2 为底的对数,时隙出现满足均匀分布)。满足三条性质:

- (1) 不同时隙组中的时隙块是互斥的;
- (2) 重复率相同但索引号不同的时隙块是互斥的;
- (3) 时隙组相同,索引号相同的时隙块,重复率小的是重复率大的子集。

3) 链路、信道抗干扰技术。数据链系统信息传输过程中必然存在相关的干扰情况,因此研究相应的抗干扰技术是保证系统中数据信息准确、有效传递的重要手段。对于实际应用的数据链系统,首先对于应用环境进行相关的模型提取,对于信道环境进行建模仿真,尽可能真实地还原场景。在模型中加载相关的抗干扰编码,例如:RS 编码,通过设置不同的码长 n 、信息位个数 k ,来获得不同码率和纠错能力的编码方法。通过仿真验证后的编码方法再应用到实际的数据链系统运行环境中

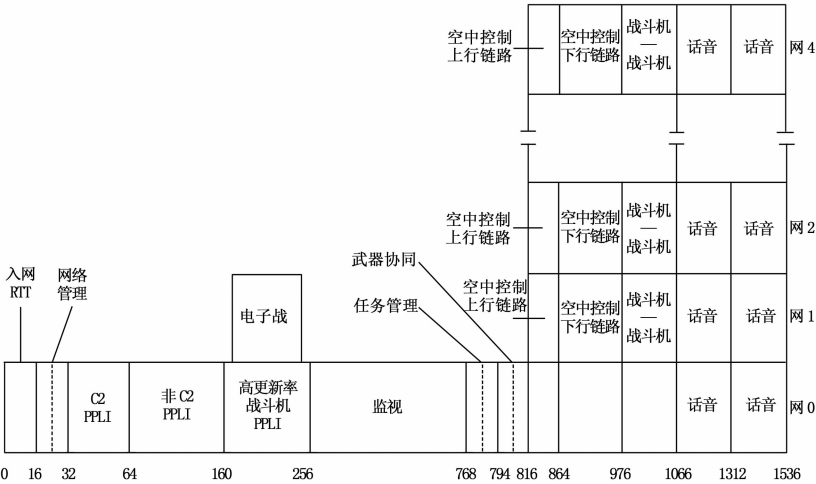


图 1 Link-16 数据链系统时分多址模式时隙分配示意图

去,会得到良好的抗干扰效果,编码方法如表 1 所示。

表 1 RS 编码方法对比表

编码方法	码长	信息位个数	码率	纠错能力
(7,5)	7	5	0.714	1
(15,9)	15	9	0.600	3
(31,15)	31	15	0.484	8

通过对以上数据链系统中关键技术分析,不难发现,只有解决好数据链系统中组网及数据传输技术,才能更好地提升数据链系统信息交互的能力。因此,在没有成熟的数据链系统应用的情况下,构建数据链组网及数据传输仿真平台对于自主数据链的设计构建,以及对将来数据链系统的测试评估工作都具有重要意义。

2 数据链组网及数据传输仿真系统

2.1 体系结构和功能

整个数据链组网及数据传输仿真系统由开发平台和运行平台两大部分组成,分别运行在 6 台计算机上,其中开发平台和运行平台的管理中心运行在同 1 台计算机上,其余 5 台计算机分别生成 5 个运行平台的系统终端。仿真系统的每个节点之间采用计算机局域网进行连接。

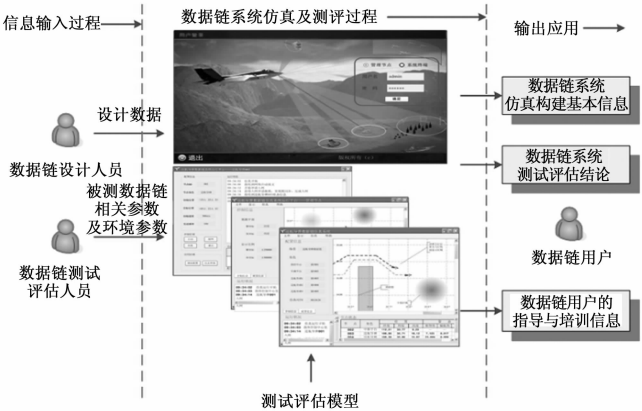


图 2 系统典型应用过程

该系统网络拓扑结构如图 3 所示,每台 PC 机承担系统内

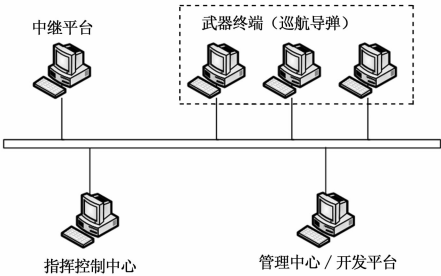


图 3 数据链组网及数据传输仿真系统网络拓扑结构

1 个节点的功能。所有系统终端依靠局域网络完成组网和数据传输仿真。

1) 开发平台：开发平台主要实现仿真系统的先期配置开发，包括完成用户需要仿真场景的选择、设置所选择的场景环境、选择系统内所有节点的角色类型、刻画角色特征及定义每个角色的运行任务，最后形成仿真配置文件，供运行平台在仿真开始前进行调用。

2) 运行平台：运行平台是整个仿真系统实际运行部分，在开发平台形成仿真配置文件后，通过调用此文件，运行平台实现后期的仿真运行及结束后的分析评估。整个运行平台包含 4 种角色：

(1) 管理中心。管理中心提供人机显示界面，用户可以获得整个仿真系统内所有角色运行状态及网络总体运行状况的观测，并能实现在仿真过程中增加额外的人工干预。管理中心执行网络仿真配置发布、终端运行控制和仿真分析评估功能，是整个网络的中心站。

(2) 指挥控制中心。指挥控制中心是执行在数据链通信中的地面指挥站和控制站终端的功能，它维持一整套指令信息，在普通节点运行过程中进行相关的导航和控制功能。

(3) 中继平台。作为整个网络的中继节点，实现系统超视距控制功能，完成导弹终端实时态势信息和地面实时控制信息的下行与上行转发服务。

(4) 武器终端（本文以巡航导弹为例）。导弹终端可以有多个，根据先期航迹规划和任务配置，各巡航导弹在运行过程中实时将自身姿态及状态信息上传到指挥控制中心；同时，通过各导弹之间的协作，仿真模拟协同作战功能。

2.2 开发平台

开发平台是一个完成仿真运行的先期配置软件，主要功能是生成仿真配置文件。其相关界面如图 4~图 7 所示。

1) 首先进行配置文件生成方式的选择，系统提供了“自定义配置文件”和“导入配置文件”两种文件的生成方式。若用户选择“自定义配置文件”方式，则进行场景配置步骤；否则，转步骤 5。

2) 当用户进行自定义配置文件后，第二阶段是进行场景生成方式的选择，系统提供了“典型场景”和“自定义场景”两种方式，选择本次仿真需要模拟的场景（如巡航导弹数据链），然后进行仿真场景所处的区域及地理环境条件的配置，同时进行障碍和干扰情况的配置。

3) 第三个阶段进行仿真角色的配置，包括角色类型的选取、各角色类型节点数量和仿真系统中节点所扮演的角色的确定、各节点随机时延配置及频段和功率配置。同时，在自定义场景中，用户之前还需要进行角色名称和对应节点类型的定义。



图 4 系统开发平台运行界面



图 5 开发平台角色定义界面



图 6 开发平台运行参数配置



图 7 开发平台角色任务规划

4) 第四个阶段进行仿真任务的配置，仿真任务包括各角色信息发送频率、初始目标位置、航迹配置、故障及修复配置。

5) 在完成以上步骤的仿真配置后，将所有配置信息进行整合，生成仿真配置文件，并在生成完毕后进行正确性检测，若发现内容有误，则删除已生成文件，继续进行配置文件生成步骤。

2.3 运行平台

运行平台包括管理中心软件和系统终端软件，分别用于生成仿真管理终端与仿真实际运行的数据链系统终端，两者共同

完成数据链组网和数据传输的运行仿真。

2.3.1 管理中心软件工作流程

管理中心软件用于生成仿真管理终端, 主要进行仿真配置文件的导入和发布, 对整个数据链的组网和数据传输进行显示和控制, 并在仿真结束后进行仿真分析评估。管理中心软件界面如图 8 所示, 工作流程如下:

- 1) 在开发平台完成仿真配置文件生成后, 进行配置文件的导入, 将配置文件的信息存储在管理中心数据库上。
- 2) 确认配置文件导入是否成功, 若是则将配置信息进行发布, 并等待所有待入网节点的确认信息, 进入步骤 3; 否则返回步骤 1。
- 3) 若在既定时间内接收到所有节点的确认回复信息, 则进行仿真启动的信息发布, 进入仿真观测和控制过程; 否则返回步骤 2。
- 4) 在仿真过程中, 进行数据记录, 并将相应的数据转化为信息进行显示。过程中用户可以对界面显示进行设置。当出现节点退网或者系统故障时, 完成相关记录。
- 5) 仿真结束后, 将仿真性能显示给用户, 并形成仿真分析评估报告。

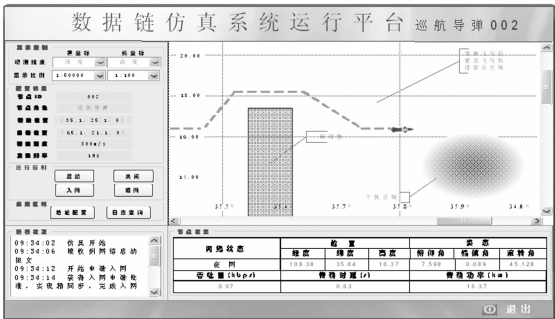


图 8 运行平台管理中心界面

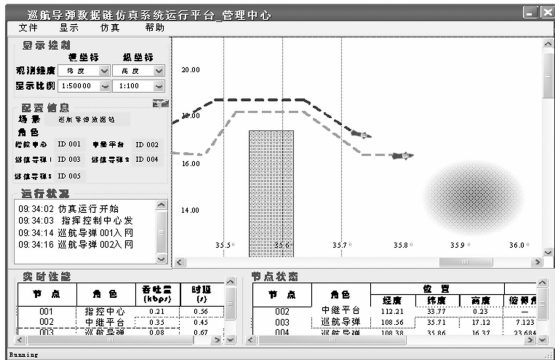


图 9 运行平台系统终端界面

2.3.2 系统终端软件工作流程

系统终端软件用于生成系统实际运行的数据链终端, 以完成在各类场景下角色的扮演。在巡航导弹数据链中, 系统终端角色分为指挥控制中心、中继平台和导弹终端三种类型。系统终端软件界面如图 9 所示, 工作流程如下:

- 1) 在终端启动后, 首先完成每个仿真节点的物理地址配置。
- 2) 各终端接收到配置信息后, 完成本次仿真的场景记录, 并确定自身仿真角色、航迹路线、目标位置和信息发送频率。

3) 指挥控制中心在收到仿真启动命令后, 指定自身为 NTR, 发送网络启动报文, 等待其它系统节点入网。

4) 其余节点在接收入网启动报文后建立粗同步, 发送 RTT 询问消息, 申请入网。

5) 指挥控制中心接收到 RTT 询问消息后, 进行入网节点的合法性检测, 若检测合法则回复 RTT 应答消息; 否则, 返回步骤 3。

6) 系统终端在既定时间内若接收到 RTT 应答消息, 则建立精同步, 完成入网, 并在节点的发送时隙到来时, 进行数据传输, 并在其它时隙进行对应节点的数据接收, 实现数据交互; 否则返回步骤 4。

7) 仿真结束后, 每个终端节点形成自身的仿真日志记录。

3 未来发展方向及目标

本系统面向的用户是数据链的决策者和进行数据链设计、测试的工程技术人员。通过设计、开发的数据链仿真系统框架和对应的模型库建立数据链仿真系统, 展示数据链动态组网与数据传输的过程, 模拟不同业务量规模、密度及不同系统规模等条件下的运行状况, 体现数据链系统高速率、强实时性、鲁棒性、抗干扰及抗损毁的特点, 为数据链的决策者提供概念演示的效果, 使其深入了解数据链系统的体系架构和整体配置。同时, 该系统为数据链设计工程师提供了后期设计的基础。在本系统模块化设计的基础上, 针对未来测控数据链的功能和特点, 设计工程师只需完成相应终端协议模块的开发, 即可初步实现未来测控数据链系统^[4-5]。通过本系统提供的仿真辅助模块和链路仿真模块, 完成测控数据链系统在各类典型信道下的仿真, 了解整体系统和各功能模块的设计性能, 根据仿真分析、评估结果指导设计改进的方向。

本文的研究成果在某数据链测试仿真评估系统中的验证效果良好, 能够提供复杂装备数据链组网及数据传输仿真系统功能, 从而为数据链系统的设计提供了参考和依据。

4 结论

数据链组网及数据传输仿真系统对于数据链系统的研究、设计规划、测试评估等方向的发展提供了必要的研究手段和技术基础。本文介绍了数据链系统的基本内容, 并对其中关键技术进行了分析, 提出了一种数据链组网及数据传输仿真系统的设计方案, 并对未来数据链测试评估技术的研究提出了研究思路和设想。

参考文献:

[1] 孙义明, 等. 信息化战争中的战术数据链 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005.

[2] 孙继银, 等. 战术数据链技术与系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[3] 梅文华, JTIDS/Link16 数据链 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[4] 房红征, 等. 战术数据链系统测试技术研究 [A]. 第十七届全国测试与故障诊断技术研讨会论文集 [C]. 2008.

[5] 周平, 封今朝. 无线电数据链地面测控终端设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (3): 568-570.