文章编号:1671-4598(2019)11-0120-05 DOI:10.16526/j.cnki.11—4762/tp.2019.11.027 中图分类号:TN914 文献标识码:A

装甲装备指挥控制性能自动测试系统设计

张又明[1]，季文龙[1]，刘瑞之[1]，牛建民[1]，张义武[2]
(1. 中国人民解放军 32184 部队，北京 100072；2. 中国电科 28 所，南京 210007)

摘要：指挥控制系统是现代军队的神经中枢和战斗力倍增器，已经成为取得战争胜利的关键因素，性能测试和指标考核对摸清系统性能底数和发现及改进问题非常关键；为了提高装甲装备指挥控制性能试验测试的技术水平，分析了旅（团）及以下指挥控制系统和战术互联网的典型体系结构和信息流程，采用数据包丢失量、报文成功率和端到端平均时延等项目作为主要性能评价指标，提出了一种采集各参试节点信息收发情况，统计计算战术互联网相关性能指标，实现指挥控制性能系统级测试的自动测试方案；采用分布式总体架构，设计了自动测试系统的总体方案，完成试验控制中心、数据采集装置以及通信系统的软硬件设计，实际应用证明自动测试系统方案可行，可显著提高试验测试效率。

关键词：装甲装备；指挥控制系统；自动测试；方案设计

Scheme Design of Automatic Test System for Command & Control Performance of Armored Armament

Zhang Youming[1], Ji Wenlong[1], Liu Ruizhi[1], Niu Jianmin[1], Zhang Yiwu[2]
(1. No. 32184 Unit of PLA, Beijing 100072, China; 2. 28th Institute of CETC, Nanjing 210007, China)

Abstract: Command and control system is the nerve center and combat multiplier of the modern army, which has become the key factor to win the war. It is very important to check the performance basis of the system and find out and fix problems of the system. In order to improve the technical level of the command and control performance test of armored equipment, the typical architecture and information flow of command and control system and tactical Internet are analyzed, the main performance indexes of packet loss, packet success rate and end—to—end average time delay are used, and this paper puts forward an automatic test scheme of collecting receipt and dispatch information of each test node, calculating the related performance index of tactical Internet, and to realize the system level test of command and control performance. Using the distributed master architecture, the overall scheme of the automatic test system is designed, and the hardware and software design of the test control center, the in—vehicle data acquisition device and the communication system are completed. The actual application proves that the automatic test system is effective.

Keywords: armored armament; command & control system; automatic testing; scheme design

0 引言

装甲装备指挥控制系统历经多年建设，目前已由传统的指控通信系统发展成为基于战术互联网的一体化信息系统，主要部署在装甲机械化部队旅（团）及以下部队。系统采用战术互联网与轴线式分层结构相结合的网络架构，支持情报信息、指挥控制信息和战场环境等信息的高效传输，具备指挥控制、情报侦察、网络通信、电子攻防、安全防护等主要功能[1-2]。其中，指挥控制是核心，基于战术互联网的网络通信是纽带，两者紧密耦合，高度融合。指挥控制高度依赖于战术互联网的通信保障，指挥控制性能在某种意义上取决于战术互联网性能。

1 测试需求分析

装甲装备旅（团）及以下指挥控制系统的典型结构和信息流如图 1～2 所示。

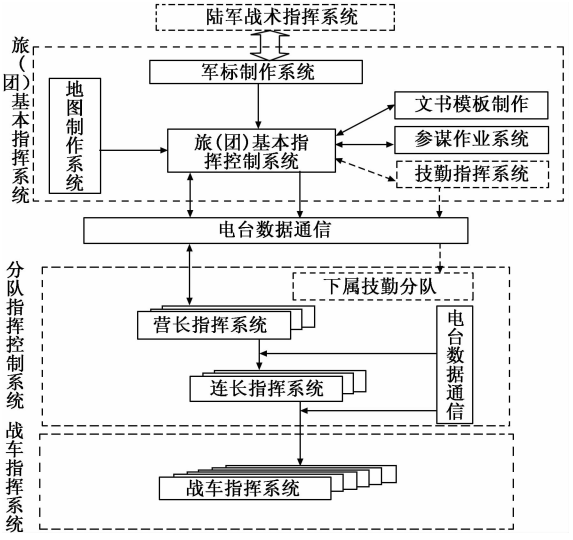

图 1 指挥控制系统的典型结构

旅（团）及以下指挥控制系统的战术互联网网络结构[3]可描述为如图 3～4 所示。

在装甲机械化部队机动作战环境中，由于地形地貌、

收稿日期:2019-04-16； **修回日期**:2019-06-14。

作者简介:张又明(1973-)，男，湖北黄冈人，高级工程师，主要从事装甲装备试验鉴定技术方向的研究。

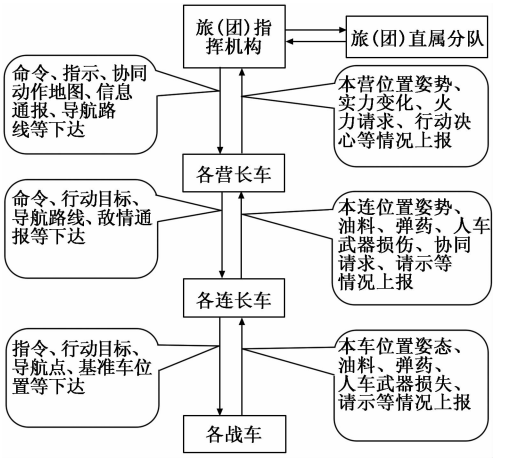

图 2　指挥控制系统的典型信息流

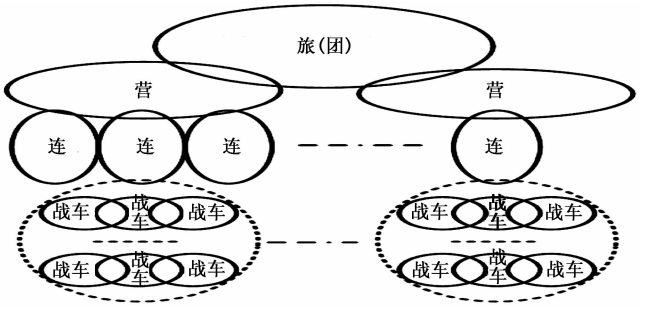

图 3　与部队编制相对应的网络结构

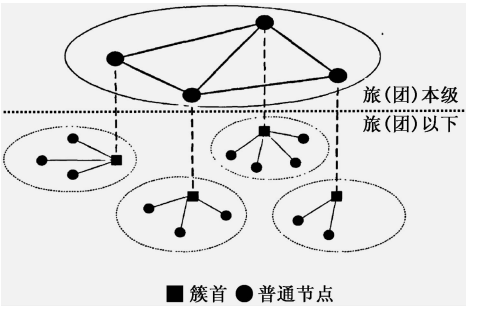

图 4　战术互联网与轴线式分层结构

天线起伏、电磁环境干扰、气象条件以及通信业务增长等原因，战术互联网的运行环境更加复杂，影响指挥控制性能的因素更多，无论是验证网络配置、发现网络问题，还是考核指标、评估性能[4]，都需要采集大量的网络通信数据，进行网络性能测量与评价。装甲装备旅（团）及以下指挥控制性能测量，可以参考民用网络领域的性能测量指标和测量方法。

在互联网领域，IP 网络测量指标框架最早由互联网工程任务组 IETF（Internet Engineering Task Force）的基准方法工作组 BMWG（Benchmarking Methodology Working Group）来定义，在 RFC1242，2285，2432，2647 以及 2762 中定义了网络互联设备、LAN 交换设备、IP Multicast、防火墙和 ATM 测试基准，在 RFC2544，2889，3116 等中定义了相应的基准测量方法。后续 IETF 专门成立 IP 性能指标工作组 IPPM（IP Performance Metrics）继续进行 IP 网络性能指标定义、测量方法等方面的研究，并在 RFC2330 中给出了 IP 性能指标的框架[5]。IP 网络系统指标主要包括连通性、吞吐量、带宽、信道容量、包损失率、传输延时等内容，从协议层上可以分为物理层、数据链路层、网络层（IP 层）、传输层（TCP/UDP 层）和应用层协议指标，从测试范畴上可以分为网络节点指标、网络链路指标、网络路径指标和网络性能指标[6]。

在网络测量方法上，按照测量方式主要有主动测量、被动测量和控制信息监视等三类[7]，按照测试系统所处的位置主要有基于路由器的测试、端到端的测试和路由器协助的测试[8]，按照测试手段，主要有软件测试、专用硬件（仪器）测试和软硬件结合的混合测试 3 种方法[9]。文献[10]介绍了几种常用网络性能测试工具（软件）。

本文结合装甲装备指挥控制性能的总体评价需求，参考 IP 网络性能指标体系[5-10]和战术互联网性能指标体系[11-12]，以端到端节点间的性能指标为主，其它如设备性能、协议性能等不列入评价指标。同时考虑指标的可测试性，综合提出装甲装备指挥控制性能评价指标，主要包括数据包丢失量、报文成功率、端到端平均时延等。

1）数据包丢失量：

该参数统计的是所有目的节点接收到的数据包数量和所有源节点发送数据包数量之差，从这个值中可以看出整个网络的数据成功传递的数量，以及在传递过程中由于链路故障丢失的数据量。引起数据丢包最常见的原因是网络阻塞。

2）报文成功率：

报文成功率是一项使用要求，反映了指挥控制系统成功传递各种报文的程度。它等于“成功接收到的报文总数”与“发送的报文总数”之比值。报文成功率可以按整个网络来统计，也可以按一个发送节点对一个接收节点或一个发送节点对多个接收节点来统计。

3）端到端平均时延：

端到端平均时延是一项使用要求，反映了指挥控制系统成功传递各种报文的时效性。尤其对语音包来说，时延太大会严重影响通信质量。它包括路由查找时延、数据包在接口队列中的等待时延、传输时延及 MAC 层的重传时延等。

端到端平均时延＝Σ（接收到的数据包的时间－发送数据包的时间）/发送数据包个数。

装甲装备旅（团）及以下指挥控制系统的性能评估，一般采用试验测试的方式进行。为摸清系统的性能底数，发现并改进系统问题，需要在典型作战想定驱动下，按照指挥机构和指挥席位实际部署方案，全员全要素共同参与，依据作战指挥流程进行指挥控制、侦察情报、战场态势和综合保障等“真实”作战信息的传输。通过采集各参试节点的信息收发情况，统计计算出战术互联网络的相关性能指标，实现指挥控制性能的系统级测试。显然，这样的测

试需要同时采集所有参试节点的试验数据，靠人工手动记录是无法想象的。同时，每增加一个节点参与试验，由于节点间的网络交互，需要采集的试验数据都会成级数倍地增长，因此必须采用自动测试系统进行试验数据的采集。

2 测试系统架构与主要功能

指挥控制性能自动测试系统主要由分布式数据采集处理单元 DDCPU（Distributed Data Collection and Processing Units）、试验控制中心 TCC（Test Control Center）和通信系统组成，采用分布式测试和集中控制相结合的总体架构[13]，可以适应战术互联网与轴线式分层结构相结合的指挥控制系统，如图 5 所示。

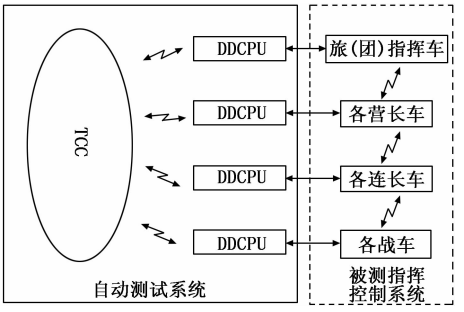

图 5 测试系统的典型架构

系统的主要功能包括：

1）DDCPU 采集并记录被试指挥控制系统参试节点接收和发送的所有数据，过滤无用数据。

2）DDCPU 记录它与 TCC 之间以及 TCC 与被试指挥控制系统之间的交互数据。

3）TCC 控制 DDCPU 的启动与停止、改变其配置并能监视控制其工作状态。必要时 TCC 可对被试指挥控制系统进行一定的控制。

4）TCC 分析处理采集的数据，包括：

（1）数据进行预处理，提取试验评价需要的关键信息，比如数据采集的时间、地点、数据的大小、数据发送/接收时间、数据的源地址、目标地址以及路由等信息。

（2）建立数据库，支持对数据的 SQL 和 HTTP 等方式的查询。

（3）自动计算试验评价所需要的参数，例如数据交换次数、数据包丢失量、报文成功率、端到端平均时延等信息。

（4）自动完成各种格式的图表输出和显示。

5）TCC 监视控制试验整体进程。

根据被试指挥控制系统的具体组成，实际的测试系统会因为参试节点数量变化而稍有差别，比如“旅（团）指挥车”扩大为“旅（团）基本指挥所”且包括旅（团）直属分队时，则需要增加 DDCPU 的数量且相应修改软件的配置，但测试系统的总体架构不用变。

本文以下针对装甲装备旅（团）及以下指挥控制系统的典型情况，介绍自动测试系统设计方案并完成原理样机的实验验证。

3 系统硬件设计

装甲装备指挥控制性能自动测试系统主要由数据采集装置、试验控制中心和通信系统组成，如图 6 所示。

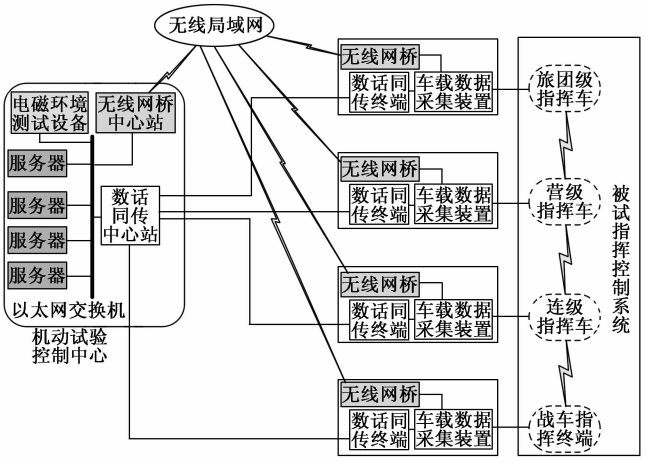

图 6 指挥控制性能自动测试系统组成结构图

3.1 数据采集装置

数据采集装置采用体积小、易于安装、具有一定加固措施的工业级产品实现[14]，以适应装甲装备工作环境，其硬件结构如图 7 所示。装置采用被动工作方式，在不影响被试系统正常运行的状态下实时采集参试节点数据，支持 IP 数据和各种非 IP 数据的收发双向实时采集。

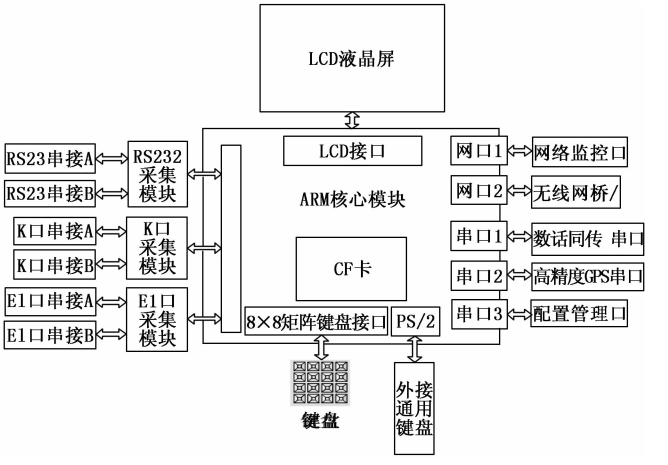

图 7 数据采集装置硬件结构图

数据采集分为广域网采集和以太局域网采集两种情况。在广域网链路上采集时采用串接方式，即在参试通信链路设备和网络控制设备之间串接数据采集装置，如图 8 所示，支持包括 K 接口、RS232 接口、E1 接口等多种类型接口协议。采集以太网数据时，数据采集装置加入本地以太网，接收并记录以太网上的所有数据。采集到的数据先进行预处理，预处理后的数据可以通过通信系统实时传给试验控制中心进行在线分析，也可以先存储在数据采集装置的 CF 卡中，试验后人工将试验数据导出给试验控制中心进行离

线分析。

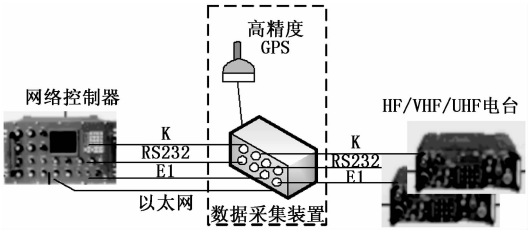

图 8　数据采集装置采集广域链路时的连接图

数据采集装置采用高精度 GPS 与自动测试系统实现时间同步[15]。

3.2　试验控制中心

试验控制中心是系统的核心部分，主要由服务器、通信设备和高精度 GPS 组成，如图 9 所示。

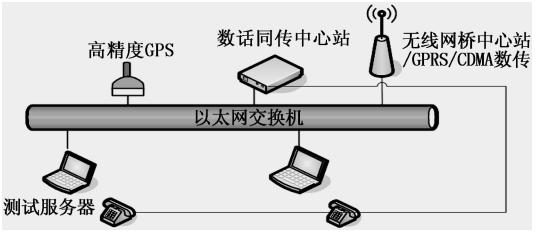

图 9　试验控制中心组成及连接关系图

2 台便携式笔记本作为测试服务器，分别用于指控业务和通信业务统计特性的分析和显示，便于测试人员进行监控和操作。

通信设备主要包括以太网交换机 1 个，数话同传中心站 1 个，无线网桥或 GPRS/CDMA 数传单元中心站 1 台，用于试验数据传输和试验指挥勤务通信保障。

高精度 GPS 用于与自动测试系统的其它部分实现时间同步。

3.3　通信系统

试验控制中心和数据采集装置之间，通过通信系统连接在一起。静止使用时，使用有线数话同传设备，保障试验控制中心到各个数据采集装置之间的话音和数据的通信，便于试验过程的协调与控制。机动使用时，通过无线网桥或 GPRS/CDMA 数传模块，保障试验控制中心到各个数据采集装置之间的数据通信。

有线数话同传网络如图 10 所示。

无线网桥通信组网如图 11 所示。

当试验节点在地域上比较分散，无线网桥的通信距离无法满足需求时，可以采用基于 GPRS/CDMA 网络进行远程采集数据的无线传输，如图 12 所示。

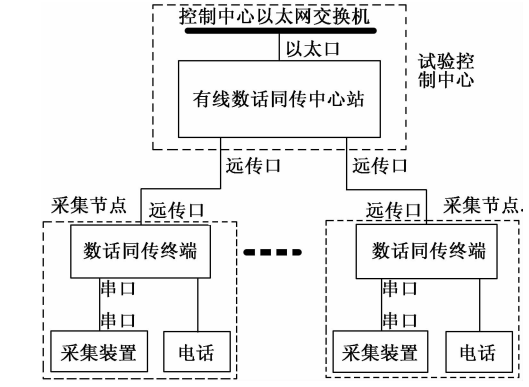

图 10　有线数话同传网络连接关系图

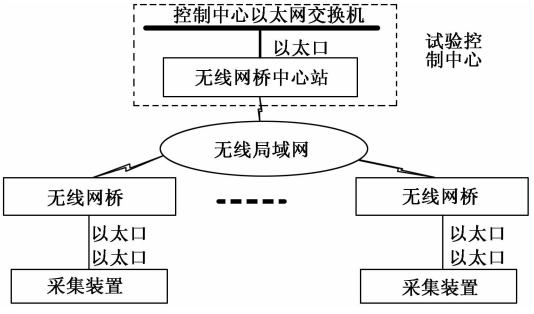

图 11　无线网桥通信组网图

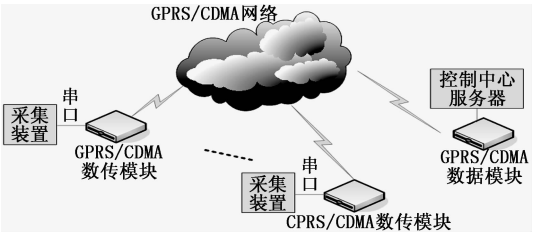

图 12　基于 GPRS/CDMA 网络的远程数据传输图

4　系统软件设计

4.1　数据采集装置软件

数据采集装置软件采集、解析常见的链路层协议（如 PPP、SLIP、802.3 等）数据和战术互联网专用协议数据，运行于 Vxworks 嵌入式平台，其主要功能模块包括：

1）时钟同步模块：接收处理高精度 GPS 的数据，并定期同步本地时钟；

2）数据采集处理模块：实时采集试验数据，进行时间戳添加、数据包源地址和目的地址识别、消息类型区分等预处理。

3）数据存储转发模块：将试验数据存储在本地，或转发到试验控制中心。

4.2　试验控制中心软件

试验控制中心软件部署在 2 台测试服务器上，包含数据采集、数据管理和数据分析显示等 3 个主要模块[16]：

1）数据采集服务模块：负责各个节点采集数据的统一收集、解析和入库；

2）数据库模块：负责数据的存储和共享管理；

3）数据统计分析与显示模块：负责采集数据的关联和统计分析，并以图表的形式显示处理结果。

4.2.1　数据采集服务模块

包括数据接收、数据解析和数据入库存储等。

4.2.2 数据库模块

系统采用 Oracle 数据库，负责存储各个被测节点发送、接收的数据，分别建立发送数据表、接收数据表。同时，建立节点属性表和消息类型表。节点属性表中存储了参与试验的所有节点的名称和 IP 地址等基本信息。消息类型表中存储了 VMF 等消息的消息类型编号、消息类型名称和描述等信息，以便于对消息内容的理解。数据库主要实体关系如图 13 所示。

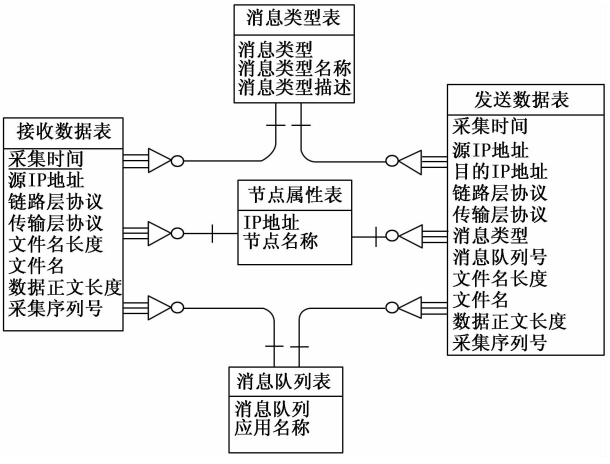

图 13 数据库主要实体关系 E－R 图

4.2.3 数据统计分析与显示模块

根据对采集数据的相关性和统计分析，分别针对通信业务统计特性和指控业务统计特性。

1）通信业务的统计分析项目主要包括：

（1）统计分析任意 2 个通信节点之间的时延；

（2）统计分析任意 2 个通信节点之间的丢包率；

（3）计算 2 个节点间的通信开销和带宽利用率；

（4）统计分析任意某个节点与其它节点之间的通信业务流量（收发双向），并分别计算其比例；

（5）计算任意几个节点之间的收、发通信流量占总流量的比例。

2）指控业务的统计分析项目主要包括：

（1）统计各节点与其它节点之间消息交换的数量（含接收与发送），并按消息类型进行区分；

（2）按消息类型区分，统计节点间的业务流量；

（3）各节点与其它节点消息发送/接收的成功率，并按消息类型进行区分。

所统计的项目通过图或表的形式实时地显示其随时间的分布曲线，也可在一段时间内计算其均值、均方差等参数。

5 实验结果分析

指挥控制性能自动测试系统原理样机实验验证结果表明：测试系统可以采集、解析各参试节点的收、发信息，并按通信业务和指控业务进行统计分析，结果如图 14～18 所示。

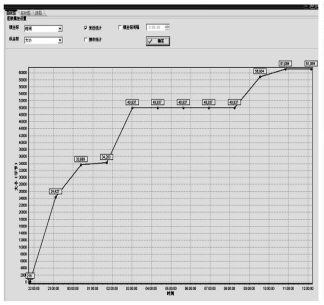

图 14 通信流量随时间分布图

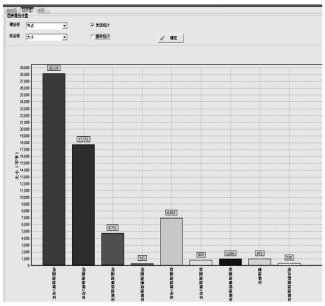

图 15 通信流量随节点分布图

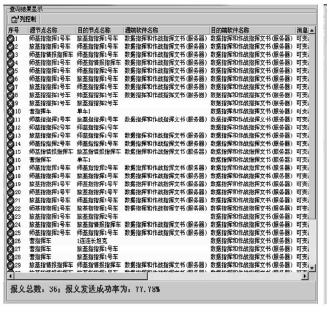

图 16 指控报文收发情况表格图

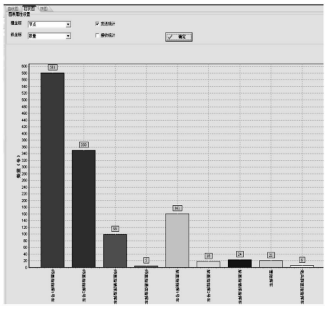

图 17 消息交换数量随节点分布图

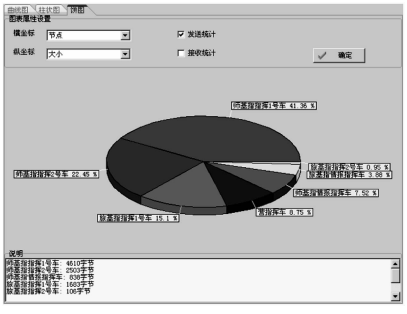

图 18 消息交换大小随节点饼状图

6 结束语

装甲装备指挥控制性能自动测试系统，能够实时记录与解析各级指挥控制系统内、外部交互信息，为综合考核评估指挥控制性能提供了手段支持。尤其是在指挥控制功能失效情况下，通过分析测试系统采集的数据，能够在线或离线准确定位失效原因，起到“黑盒子”的作用。

参考文献：

[1] 唐世庆，焦红革，党朝发，等. 装甲机械化部队信息系统体系结构研究 [J]. 装甲兵工程学院学报，2006，20 (1)：75－79.

[2] 张光宇，胡志刚. 装甲机械化部队指挥控制系统研究与设计 [J]. 指挥控制与仿真，2010，32 (4)：86－89.

[3] 刘传辉，周新力，刘宴涛. 战术互联网络体系结构 [J]. 海军航空工程学院学报，2008，23 (1)：43－48.

[4] 朱畅华. IP 网络测量和业务性能研究 [D]. 西安：西安电子科技大学，2004.

（下转第 139 页）