

doi: 10.7690/bgzdh.2018.01.009

通信装备作战效能数据采集及分析系统

楼 俐, 范建华, 胡永扬, 李 冉

(南京电讯技术研究所第七研究室, 南京 210007)

摘要: 为提高通信装备作战效能数据采集及分析过程的实时性和可靠性, 从现有作战效能数据采集过程中的技术难点出发, 分析系统需求和功能特性, 在此基础上设计一种通信装备作战效能数据采集及分析系统。以通信装备作战效能中的抗干扰效能数据的采集与分析为例, 从数据准备层面明确最能及时准确反映抗干扰效能的主要数据, 从数据处理层面分析了采集数据变化趋势与作战效能变化趋势的关联性。仿真结果表明: 该系统有利于提高数据采集及后续分析过程的效率, 可为进一步分析战场通信装备整体作战效能演变态势、实施评估决策和合理调整任务计划等提供技术支持。

关键词: 通信装备; 作战效能; 数据采集; 数据分析

中图分类号: TJ768.4 **文献标志码:** A

Data Acquisition and Analysis System for Operational Effectiveness of Communication Equipments

Lou Li, Fan Jianhua, Hu Yongyang, Li Ran

(No. 7 Research Lab, Nanjing Telecommunication Technology Institute, Nanjing 210007, China)

Abstract: In order to improve the performance of real-time and reliability of data acquisition and analysis for operational effectiveness of communication equipments, this paper analyzes the system requirements and functional characteristics according to technical difficulties in the current operational effectiveness data acquisition process, based on this, design the data acquisition and analysis system for operational effectiveness of communication equipment. Taking the data acquisition and analysis of anti-jamming effectiveness as an example, this paper indicates the main data for reflecting anti-jamming performance from the aspect of data preparation and analyzes the relationship between the data variation trend and the operational effectiveness from the aspect of data processing. The simulation results show that the system can effectively improve efficiency of data acquisition and follow up analysis process, this proposed scheme also can provide technology support for the further analysis of overall operational effectiveness evolution of communication equipments, decision making and adjustment of mission planning.

Keywords: communication equipments; operational effectiveness; data acquisition; data analysis

0 引言

通信装备作战效能反映了通信装备在作战过程中发挥有效作用的程度^[1]。通信装备作战效能数据采集的对象不仅包括各类遂行作战任务过程中的机动、反应、抗扰、抗毁等效能数据, 还包括与作战效能直接相关的装备基础数据和使用条件数据。通信装备作战效能数据混杂、种类繁多、格式多样, 合理高效的通信装备作战效能数据采集和分析方法在提高整个作战体系优势中可发挥重要作用。近年来, 我国越来越重视装备作战效能数据采集工作, 但由于起步较晚, 尚未形成有效的数据采集、分析机制及配套措施, 缺乏通信装备作战效能数据的自动化采集和分析的手段及工具, 导致数据采集过程中同步、协调困难; 数据采集的完整性较

差, 数据分析的准确性和实时性不高。

世界各国都非常重视各军种装备作战效能数据采集及分析技术的发展, 其中美军在武器装备信息化建设中投入较早, 并且非常注重及时借鉴引入民用领域成熟技术, 目前在武器装备数据采集已经主要依靠自动化采集和检测分析手段。除了在作战系统中设计专门的数据采集和检测子系统, 如宙斯盾作战系统中的 ORTS 系统, 由小型计算机与各作战系统相连, 获取作战系统有关数据, 美军还基于物联网技术和智能软件平台技术开发了一系列用于自动化装备数据采集和保障的终端设备, 将智能操作系统、高性能低功耗处理器、开放式应用软件等技术和理念运用到武器装备数据采集和分析过程中, 并在数据采集终端设备中支持多种网络环境。典型的数据采集和保障装备有军用平板电脑

收稿日期: 2017-10-09; 修回日期: 2017-11-22

基金项目: 总装备部预先研究国防科技重点实验室基金(9140C020301140C02008); 中国博士后科学基金(2014M56 2539)

作者简介: 楼 俐(1982—), 女, 浙江人, 博士, 工程师, 从事通信网络安全、智能信息处理研究。

RF-3590, 可进行采集数据的实时回传及处理; 美军维修保障设备 MSD (maintenance support device) 可直接接入车载电子设备, 获取测试信息, 并可自动记录测试过程和故障处理流程, 获取采集数据的分析结果^[2-3]。但是美军 MSD 设备操作复杂度较高, 对使用人员专业要求较高。由于设备电子维护系统软件 EMS (electronic maintenance system) 升级时和底层数据库支撑软件接口兼容的问题, 尚未形成统一平台^[4-6]。悉尼大学 Anup Kale 等提出的一种混合多模数据采集系统, 给出了一种基于 C# 语言的混合数据采集模型^[7], 适用于捕获不同场景下的混合数据。在国内, 杜鹏等研究了一种动态加载方式的数据采集运行维护方案^[8], 提高了数据采集处理能力, 简化了数据维护流程; 东南大学 Quan Xu 等设计了一种基于 UML 的数据采集模板, 主要提供了一种具有较高适应性的综合数据采集和数据监测系统框架^[9], 但没有对数据采集结果给出具有针对性的分析评价方法。

基于国内外通信装备作战效能数据采集和分析系统的现状, 笔者研究了一种面向通信装备作战效能数据的自动化采集和分析系统。由于通信装备作战效能数据采集的目标是为后期通信装备保持、恢复或者改善其技术状态提供预测和决策依据; 因此, 在体系结构设计时, 将通信装备作战效能数据采集和分析系统作一体化考虑, 更有利于提高通信装备作战效能数据采集和分析过程的自动化程度, 可提高传统通信装备作战效能数据采集及分析系统的通用性、扩展性和便捷性, 使作战效能数据实时准确采集、及时反馈和分析评估成为可能。

1 系统性能需求和功能特性分析

1.1 系统性能需求

通信装备作战效能数据采集及分析系统在整个作战体系中发挥重要支撑作用, 因此, 通信装备作战效能数据采集系统应有利于全面实时自动化地采集作战效能数据, 提高数据获取、分析、评估和检索效率。一体化的通信装备作战效能数据采集和分析系统需要具备如下性能需求: 1) 自治性能需求, 能监控自己的计划任务, 随行变更任务并随时对故障和错误进行纠正; 2) 协作性能需求, 各智能采集终端能相互协作, 完成共同的采集计划和任务; 3) 开放性能需求, 可随时允许新的功能模块加入, 或者更新或删除旧的功能模块。

为达成以上性能需求, 通信装备作战效能数据

自动采集系统应是以智能化分布式的数据采集终端设备为基本处理单元, 各处理单元能分布式处理不同的数据采集任务, 且支持共享和互联, 通过消息通信并协调彼此工作, 在应用层具有高度可扩展能力, 并能支持多种网络环境。

1.2 系统功能特性

通信装备作战效能数据采集和分析系统是多设备互连, 通过消息通信进行协调交互和信息共享的分布式系统, 通过硬件、控制手段和数据 3 个维度, 检验对深层次和全面性数据信息的掌控情况, 是通信装备最大化发挥效能的基础。通过对大量数据进行获取、分析和处理实时监控通信装备系统状态, 定量分析通信系统作战效能, 最终实现关联分析和全面评估通信装备作战系统能力的目的。分布式通信装备作战效能数据采集和分析系统应具有以下功能特性:

1) 数据采集分系统是基于移动终端的整体架构, 具备高度便携性。

2) 便于集成多种测试项目, 可进行几乎所有的常规机动、抗扰、抗毁指标采集, 也便于下载和更新数据采集模板, 实施各类数据采集任务。

3) 数据采集过程自动化程度高, 进行数据采集时, 无需测试人员手动控制数据采集流程, 只需在数据采集前预设数据采集计划。

4) 采集终端集成 GIS 系统。内置了电子地图模块, 配合 GPS 设备, 可直观地了解各数据采集结果在不同地理位置上的分布情况。

5) 部分数据处理和分析过程可在各分布式采集终端完成, 由终端进行数据抽取、数据转化、数据规范化、特征提取和分析的任务, 仅将特征值汇聚到汇聚节点进行特征融合和分析, 无需将所有采集数据不分主次的汇集上传, 从而降低了通信带宽耗费, 减轻了服务器计算负荷。

此外, 在不同地理位置和干扰环境下, 通信装备机动、反应、抗扰、抗毁等作战效能将呈现不同的性能退化趋势。从长期数据采集和检测角度分析, 通信装备机动、抗毁、抗扰效能的退化过程如图 1 所示; 因此, 采用分布式作战效能数据采集更有利于探测局部地区通信装备作战效能变化情况。通过分布式智能终端采集通信装备作战效能数据, 有利于从全局视角分析各个局部地区电磁环境特性, 以及相应通信装备的作战效能变化趋势。

在图 1 中各项指标下降到通信设备性能最低阈值前, 通过实时的数据采集和分析, 探测到性能退

化发生的迹象，预测潜在的性能下降程度。如果通信装备作战效能无法满足期望的性能指标，将及时依据分布式采集的数据进行设备功能失效的估计，及时预警预判装备运行状况，为下一步通信装备状态识别和任务计划的重新规划提供重要决策依据。

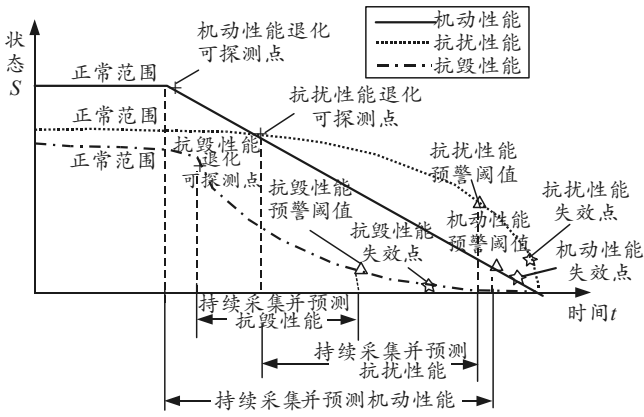


图 1 机动、抗毁、抗扰性能退化过程

2 数据自动采集分析系统设计

2.1 分布式采集及分析系统的一体化总体方案

通信装备作战效能数据采集为后续进行分析

和决策提供依据。基于智能终端的分布式通信装备作战效能数据采集及分析系统一体化方案，包括数据采集、数据处理、状态检测、状态识别、预测和决策分析若干环节，如图 2 所示。

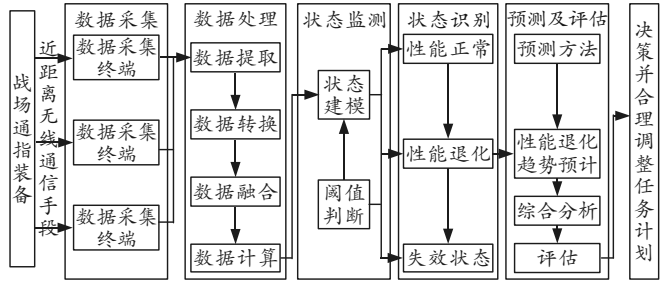


图 2 战场通信装备作战效能数据采集及分析系统总体方案

根据战场通信装备作战效能数据采集及分析系统总体方案，给出具体数据采集和检测的工作流程如图 3 所示，主要分为数据采集与获取，通信装备状态评价和预测评估 3 大阶段，为后续实施决策提供数据依据。由于通信装备作战效能数据类别多样，种类繁多，难以在数据层进行融合；因此，在对采集数据进行特征抽取得到特征矢量后，对特征矢量进行融合，继而进行状态判定。

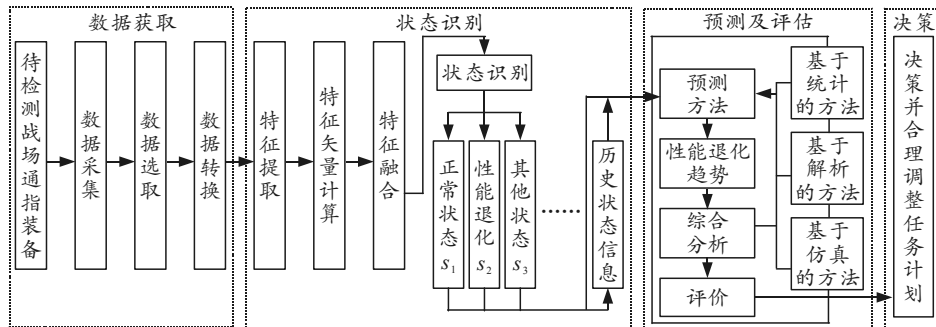


图 3 战场通信装备作战效能数据采集及分析检测的工作流程

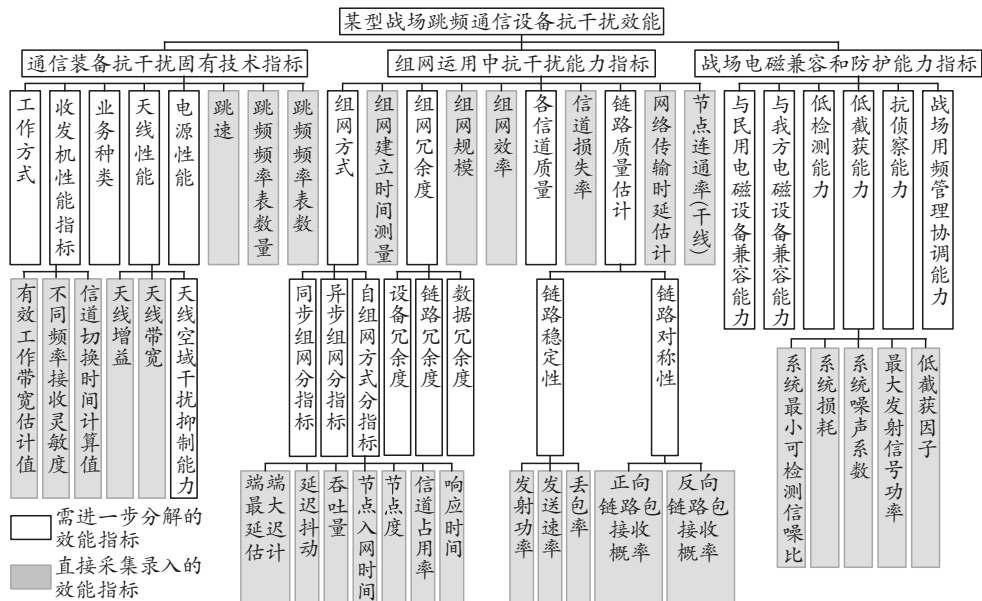


图 4 某型战场通信设备抗干扰效能关键指标采集示意图

2.2 数据采集及分析实施案例

以战场通信装备作战效能中的抗扰效能为例，通信装备抗干扰效能指标分为通信装备抗干扰技术指标、组网运用中抗干扰能力、战场电磁兼容防护能力指标 3 大类，如图 4 所示。图中的通信装备作战效能数据，是对大量可直接获取的原始数据进行筛选、转换后可直接进行存储、提交和计算的元数据。

其中通信装备抗干扰技术指标包括装备固有抗干扰技术性能、组网抗干扰性能等。部分指标可以直接测算，部分指标如低检测能力、低截获能力和抗侦察能力，还需要根据不同的作战环境条件，分析对方电子进攻手段，在估计对方干扰装备、侦察装备的种类和大致位置的基础上，计算己方设备发送信号的低检测概率、低截获概率等性能。

2.3 通信装备作战效能状态分类

战场通信装备作战效能数据种类繁多，数据格式多样，难以在数据层面获得信息融合，而需要经过数据分类选取、特征提取之后，在特征层面进行融合，从而进一步区分其所处状态分类。

笔者采用贝叶斯融合算法对战场通信装备作战效能数据特征进行融合处理，算法步骤如下：

1) 根据实际战场环境下通信装备效能退化情况，选定可能对应的当前状态空间 $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$ 。

2) 根据装备可靠性估计，得到各个状态在通信装备生命期中存在的基本概率 P_i ， $\sum P_i = 1$ ，且由于通信装备至少存在正常和失效 2 个状态，因此 $0 < P_i < 1$ 。每个状态的 P_i 估计需要针对不同类型的通信装备在多次模拟演练中根据经验数据获取。

3) 根据终端采集的各类信息进行数据选取，数据格式转换，进行标准化和归一化处理，提取与状态模式空间同维度的特征数组 arr_i 。

4) 将采集的历史均值特征数组 \overline{arr}_h 与当前采集特征数组 arr_i 进行平滑估计，得到合并的特征数组 E_i 。由于作战效能数据按时间序列采集数据较多，初始值对后期预测值影响较小，因此笔者设定前三期采集数据算术平均值为均值特征数组的初值。

5) 合并特征数组 E_i 是和状态模式空间 S 同维的数组。

6) 选定 E_i ，计算隶属于某状态的可能性函数

$O(i), O(i) = P_i / (1 - P_i)$ ，如前所述可知 $0 < P_i < 1$ 。当 P_i 越大时，根据特征融合值，通信装备当前隶属于状态 s_i 的可能性越大。可针对不同的效能退化状态，向终端发送通信装备当前所处状态提示。

2.4 通信装备抗干扰效能分析评估

采集通信装备作战效能数据的目的是为后续进行数据分析和评估，为下一步作战对策辅助性调整打下基础。笔者以通信装备作战效能中的抗干扰效能数据采集和分析为例，说明战场通信装备高效数据采集和评估的意义。由图 4 明确了决定抗干扰效能的因素是多种多样的，包括本身装备的抗干扰技术指标和组网运用中的抗干扰技术措施，抗敌方干扰的手段。在作战条件下，以上因素是不断动态变化的，需要通过建立抗干扰效能模型，得出实时获取的各指标，才能估计出真正的抗干扰效能指标。为下一步的评估决策做准备。为研究方便，将抗干扰效能中包含的各类指标简化。

根据实际战场环境下通信装备效能退化情况，选定可能的状态模式空间 $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$ ，针对 m 种不同的干扰，建立干扰类型向量 $I = (I_1, I_2, \dots, I_m)$ ， I_1 表示干扰类型，建立通信装备的抗干扰能力的可靠性度量矩阵，

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & c_{n3} & c_{nm} \end{bmatrix}, c_{ij} \text{ 表示通信装备处于状态}$$

s_i 时，能够完成抗 I_j 干扰的概率。建立通信装备组网应用抗干扰性能可用性向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ ， a_i 表示在从开始组网任务开始，通信装备处于状态 s_i 的概率。建立通信状态的固有抗干扰能力矩阵 $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ ， d_i 是通信装备处于状态 s_i 时，依据设备固有抗干扰指标能完成抗干扰能力的概率。

假设通过数据统计或情报分析得出， m 种干扰类型对被测通信装备实施成功干扰的概率为 $P = [p_1, p_2, \dots, p_m]$ ，在 m 种干扰下，被测通信装备分别维持成功通信的概率为 $Q = [q_1, q_2, \dots, q_m]$ 。运用概率分析方法，得出我方在敌方实施干扰条件维持成功通信的各事件概率分布矩阵为 $K = [(1 - p_1)q_1 (1 - q_2)q_2 \dots (1 - q_m)q_m]$ ，其中各事件概率相互独立，存在 $0 < \sum_{i=1}^m (1 - p_i)q_i < 1$ ，由于干扰条件

下我方利用各种抗干扰手段完成通信任务的概率在效能上为并联关系，通信装备对抗 m 种干扰手段成功完成通信任务的概率表示为：

$$F = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - (1 - p_i)q_i] \quad (1)$$

对某些条件进行简化或假设后，在 ADC 模型^[10]基础上，笔者建立抗干扰效能的 ADCF 模型，计算公式如下：

$$E = A \cdot C \cdot D \cdot F \quad (2)$$

如果充分考虑战场电磁环境一些不确定的因素，如自然电磁干扰、战场地形等，通信装备抗干扰效能模型还将更加复杂。

3 仿真分析

对某类被测跳频战场通信装备抗干扰效能模型进行分析，可先采集各类相关参数，再得出结果。在实际作战环境下，经过真实采集数据分类抽取、特征提取之后，在特征层面进行贝叶斯特征融合，可区分设备状态分类。为方便研究，假设根据某通信装备在作战过程中的性能退化情况，可能存在正常、退化、失效 3 种状态，假设设备当前主要面临的干扰类型包括阻塞干扰、跟踪干扰和压制干扰。

设通信装备处于这 3 种状态的概率 $A = [0.6, 0.3, 0.1]$ 。通信装备的固有抗干扰能力矩阵 $D = [0.9, 0.559, 0]$ 。在 3 种状态下，完成阻塞干扰、跟踪干扰、压制干扰下成功通信的概率矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} 0.93 & 0.96 & 0.81 \\ 0.69 & 0.72 & 0.37 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

，装备在 3 种状态下，完成

阻塞干扰、跟踪干扰、压制干扰对该类跳频通信装备实施成功干扰的概率为 $P = [0.46, 0.44, 0.607]$ 。在不同的 3 种干扰下，被测通信装备分别维持成功通信的概率为 $Q = [0.81, 0.84, 0.59]$ ，得出我方在敌方实施干扰条件下维持成功通信的各事件概率分布矩阵为 $K = [0.437, 0.4704, 0.23187]$ ，则根据式(1)最终得出通信装备对抗阻塞、跟踪、压制 3 种干扰手段成功完成通信任务的概率 $F = 0.7711$ ，计算抗干扰效能 $E = A \cdot C \cdot D \cdot F$ ，根据式(2)得到 $E = 0.8725$ 。与以上数据获取和计算过程类似，可通过多次数据采集手段获取的通信装备成功完成通信任务概率变化情况对系统抗干扰效能的影响。由图 5 可见，随着通信装备成功通信概率的提高，通信装备作战中的抗干扰效能随之上升。图 6 为系统抗干扰效能的

相应变化情况，随着对方干扰成功率提高，通信装备作战中的抗干扰效能随之下降。图 7 则显示了系统抗干扰效能与对方干扰成功率以及我方通信设备成功通信概率变化趋势，由图可见，系统抗干扰效能随待测通信装备成功通信概率提高而增长，随干扰对通信装备成功实施概率的提高而减小。

由图 7 可知：在系统抗干扰效能已经达到 0.85~0.97 时，待测战场通信装备成功通信概率是更为关键的指标参数；在抗干扰效能在 0.59~0.82 时，干扰对通信装备实施干扰的概率是更为重要的指标；当抗干扰效能在 0.55 以下时，视为装备不能进行可靠通信，图中不再显示。因此，在实际部署中，对于抗干扰效能要求不高，而更强调通信速率和部署效率的通信场景下，主要要求具备基本物理链路级抗干扰措施，尽量减少协议和配置工作的复杂度，提高通信装备工作效率。而对于抗干扰效能要求极高的关键重要通信装备或者通信场景，除了要提高装备固有软硬件抗干扰性能外，还根据预测和估计干扰环境变化趋势，实时改变装备机动方式、通信隐蔽性，增强设备冗余度、网络冗余度和通信冗余度，通过多种综合策略部署和实施适时改变设备工作方式、工作频率等提高成功通信概率，这是在实战中提高系统抗干扰效能的关键因素。

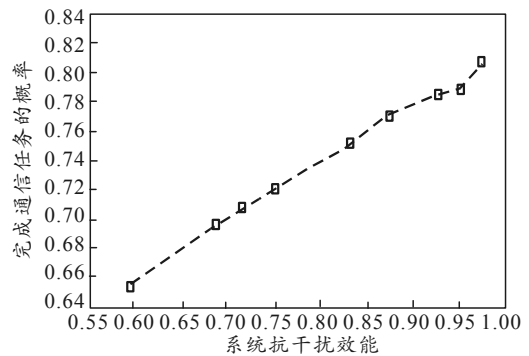


图 5 通信装备成功通信概率对系统抗干扰效能的影响

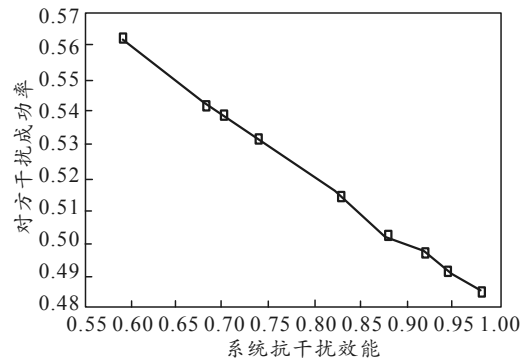


图 6 对方干扰成功影响通信装备通信任务概率对系统抗干扰效能的影响

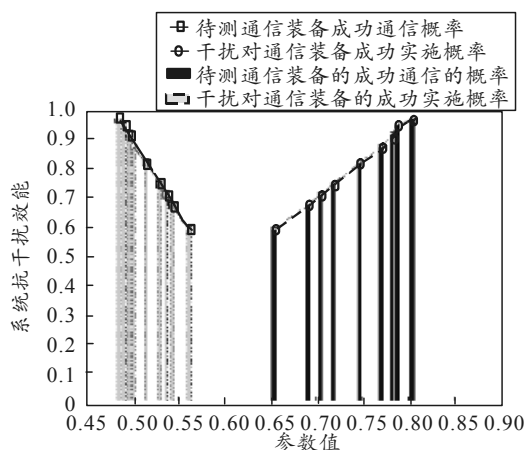


图 7 参数变化对系统抗干扰效能影响比较

由以上分析结果可知：提高通信装备的有效抗干扰措施，防止敌方侦测，消除对方干扰影响，是提高我方通信装备系统抗干扰效能的关键。必须对相应设备固有抗干扰性能指标、作战过程中设备成功通信概率和干扰实施对我通信任务产生影响的发生概率等信息进行长期的数据监测和采集、统计工作，才能准确捕获并分析系统抗干扰效能的变化情况，指导下一步的对策。以上是以通信装备作战效能中的抗干扰效能数据采集和分析为例，分析通信装备抗干扰指标、通信成功概率、干扰成功概率对我方通信装备抗干扰效能的影响。同理，还可对机动效能、反应效能、抗毁效能进行相应理论分析，明确采集哪些主要因素最能反映以上效能，所采集的输入数据的变化趋势直接反映作战效能变化程度。根据各终端局部反馈汇总的通信装备作战效能变化情况，可得出整体作战效能演变态势，有利于评估决策和合理调整任务计划。

4 结论

笔者提出了一种通信装备作战效能数据采集和分析系统，利用该系统能实时、自动化地扫描并连接通信装备，可通过智能采集终端结合电子化数据采集模板实施分布式的数据采集任务，可以满足通信装备数据多样化采集手段发展要求、加强末端实时数据采集的性能。部分数据处理过程可在各分布式采集终端完成，由终端进行数据抽取、数据转化、数据规范化、特征提取的任务，仅将特征值汇聚到汇聚节点进行特征融合和分析，降低了通信带宽耗费，减轻了服务器计算负荷。

实践结果表明：该方案不仅提高了通信装备作战效能数据自动采集的效率和质量，更有利于后期数据的融合、集成和评估。在后续研究中，笔者将继续结合前期装备数据采集工作实践，针对装备数据资源采、管、用的体系建设需求，进一步开展采集末端数据处理技术研究，以便于数据的管理和使用为目标，加强数据自动分类、电子化、格式化、数据快速存储和索引、数据清洗与检测等研究，提高数据处理和数据检索效率，并利用智能数据采集终端开展相关验证工作。

参考文献：

- [1] 全军军事术语管理委员会、军事科学院. 中国人民解放军军语[M]. 北京：军事科学出版社，2011：67.
- [2] VT Miltope. MSD-ICE[R]. [http://www.miltope.com/msd/MSD-ICE - VT Miltope.htm](http://www.miltope.com/msd/MSD-ICE-VT_Miltope.htm). Hope Hull, Alabama: VT Miltope. 2013.
- [3] O'Neil & Associates. EMS Item Solutions[R]. Revolutionizing Documentation. <http://www.oneil.com/military/ems.cfm>. Miamisburg, OH: O'Neil & Associates, 2013.
- [4] Program executive office Command Control Communications Tactical. Connecting Tomorrow's Warriors[R]. [http://PEOC3T.Army. Mil](http://PEOC3T.Army.Mil). 2014 PEOC3T PORTFOLIO, 2014.
- [5] O'Neil & Associates. EMS NG Intrusive Diagnostics[R]. Revolutionizing Documentation. <http://www.oneil.com/military/diagnostics.cfm>. Miamisburg, OH: O'Neil & Associates, 2013.
- [6] O'Neil & Associates. ARMY: EMS NG Electronic Maintenance System-NextGen [R]. Revolutionizing Documentation. Miamisburg,OH: O'Neil & Associates, Inc. 2013.
- [7] KALE A, CHACZKO Z, SLEHAT S. HyMuDS: A Hybrid Multimodal Data Acquisition System[C]. Computer Aided System Engineering. IEEE, 2015: 107-112.
- [8] 杜鹏，陶洪铸，高保成. 面向多应用的通用数据采集技术方案[J]. 电力系统自动化，2015，39(6): 26-29.
- [9] XU Q, LIU J, ZHANG L, LEI Zhang. A Lightweight Framework for Data Acquisition and Quality Monitoring in Power System[C]. Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation. IEEE, 2014: 2956-2960.
- [10] 吕建伟，徐一帆，谢宗仁. 大型复杂武器系统可靠性和维修性指标的总体优化方法[J]. 兵工学报，2016，37(6): 1144-1152.