

Design and Simulation of BEIDOU SMS Based Communication System for Remote Monitoring with Power Grids

Yan Liu¹, Muqing Liang², Xiaoli Liu^{2*}, Shuzhu Shi³, Wei Tian², Xi He³, Tao Li³, Kai Liu¹

¹High Voltage Department, China Electric Power Research Institute, Wuhan

²School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan

³GNSS Center, Wuhan University, Wuhan

Email: *xlliu@whu.edu.cn

Received: Mar. 27th, 2014; revised: Apr. 10th, 2014; accepted: Apr. 18th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The communication with wide power grids for mountainous and remote area is inconvenient, especially when disaster occurs. So a system based on Beidou SMS (Short Message System) was designed to achieve the remote monitoring and communication for power grids. First, the structure of the system was introduced. Then the key technologies for the protocol designing, such as selective transmission, data division and data transmission mode, were analyzed in this paper. In the end, a simulation based on OMNET++ was done to prove the system achievable.

Keywords

Power System Monitoring, Beidou SMS, Communication Protocols, OMNET++

基于北斗短报文通信的电网远程监控通信系统的设计与仿真

刘艳¹, 梁穆清², 刘晓莉^{2*}, 石书祝³, 田薇², 贺喜³, 李陶³, 刘凯¹

¹中国电力科学研究院高电压研究所, 武汉

²武汉大学电气工程学院, 武汉

*通讯作者。

³武汉大学卫星导航定位技术研究中心, 武汉
Email: xliu@whu.edu.cn

收稿日期: 2014年3月27日; 修回日期: 2014年4月10日; 录用日期: 2014年4月18日

摘要

针对广域电网中山区、偏远地区和灾区等地域通信不便的问题, 设计实现了一种利用北斗卫星导航系统的短报文通信功能进行电网信息的远程传输和监控的通信系统。文章首先详细说明了该通信系统的整体架构, 然后从数据选传、数据分包和数据传输模式等方面论述了系统协议设计的关键技术策略, 最后, 运用OMNET++对系统进行了仿真实现, 仿真结果验证了该设计系统的可行性。

关键词

电力监控, 北斗短报文, 通信协议, OMNET++

1. 引言

输变电监测系统完成对输变电线路状态的实时监控, 保证电力传输的良好运行, 是电网安全运行十分重要的组成部分。随着智能电网在我国的不断发展, 对于输变电状态监测系统的要求也越来越高。目前, 电力监测系统中采用的通信方式一般是电力线载波、光纤、GPRS 等[1]。但是在山区、偏远地区, 以及灾区等地方, 这些通信方式多难以保证电网通信的正常运行。例如, 2008年地震冰灾时上述通信方式的瘫痪, 给电网造成了巨大损失[2]; 又如在甘肃天祝等边远地区, 电网公司过去尝试采用了力所能及的电力载波、XDD-915 无线电台、电信公网通信等多种通信方式作为电力专用通信通道, 但效果都不甚理想[3]。另外, 上述地区目前通常采用 VSAT 卫星通信的方式进行日常监控与灾害应急[4], 但该通信方式存在卫星通讯价格昂贵、技术复杂, VSAT 经营企业对国外设备厂商依赖严重等诸多不足。

目前我国自主研发的北斗卫星系统中含有北斗短报文通信方式, 该通信方式由于具有以下特点而非常适合边远地区与灾害地区应急通信:

- (1) 北斗短报文点对点通信延迟为 1~5 s; 短消息通信传输时延约 0.5 s, 具有较快的信息传输速度, 在传输紧急信息时能够快速到达。
- (2) 北斗卫星信息采用 S/L 波段传输与码分多址扩频技术, 具有较强的抗干扰能力。
- (3) 北斗卫星系统信息传输阻塞率 $<10^{-3}$, 数据误码率 $<10^{-5}$, 可靠性高。
- (4) 对于采用短报文通信的用户系统采用一户一密, 能够充分保证电网数据的保密性。
- (5) 北斗卫星系统覆盖范围大, 可以到达其他通信方式不可满足的边远地区[5]。

因此, 结合国家构建坚强智能电网的发展需求和拥有我国自主知识产权的北斗卫星导航系统推广应用的契机, 我们设计了利用北斗短报文通信的电网监控信息传输系统, 该系统一方面可以克服通信不便的山区和高原等地域的影响, 真正实现我国电网广域远程监控, 也可以很好地满足灾区电网实时有效监控的需求。另一方面, 可以使北斗卫星导航终端设备在电网远程监控领域中得到推广应用, 有利于推进北斗卫星系统终端设备民用产业化, 带动国内北斗运营系统、终端设备和服务市场的发展。

2. 系统整体架构

北斗短报文通信系统(以下简称 BDSCS)可分为装置层、接入层和主站层, 如图 1 所示。分层系统结

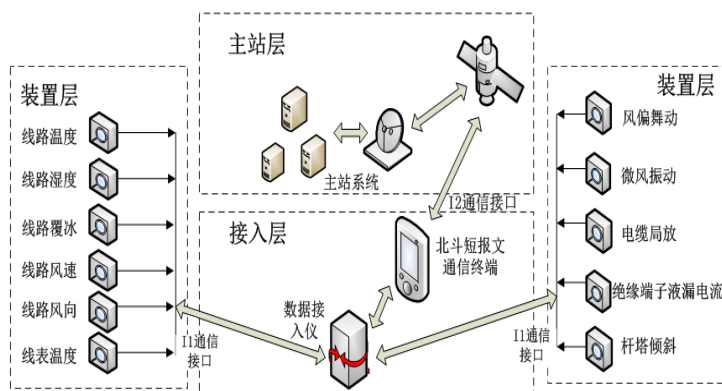


Figure 1. Structure of BDSCS

图 1. 系统结构图

构中存在两个级别的接口，分别是：第 1 级接口 I1 和第 2 级接口 I2。

装置层由输电线上各类状态监测装置组成，负责对输电线运行状态和周围环境进行实时测量。接入层主要是数据接入仪和北斗短报文通信终端，负责与接入层和主站层分别通过 I1, I2 接口进行交互与数据转发。数据采集仪将采集到的监测数据进行格式转换后通过北斗短报文通信终端上传给主站层。主站层由主站系统构成，主站系统负责对数据进行接收校验解析入库并在需要时通过 I2 接口与北斗通信终端交互发出命令。

3. 系统协议设计

3.1. 总体设计思路

由于 BDSCS 不但要保证完成信息的采集，而且要确保数据传输的可靠性，因此在协议设计方面系统既要兼容不同状态监测装置，也要保证系统数据的有效可靠传输。

为简化协议设计的复杂性，同时使协议兼有灵活性和可拓展性，我们在协议设计过程中采用了分层思想：在数据传输与控制领域，系统协议分为通信层与应用层两个层次的协议，如图 2 所示。各层协议既相互独立又协调工作。通信层协议负责系统内不同用户之间的数据传输，而应用层协议则实现系统自定义的功能[6]。

对于处于下层的通信层协议，考虑到国内已经应用到电力系统中的输变电状态监测装置种类较多，BDSCS 必须兼容多厂家的状态监测装置[7]。因此，I1 接口采用开放的、支持多种接口与协议的形式设计，如以太网接口，无线接口(如 wifi, zigbee)等，以满足与各种状态监测装置的通信。I2 接口则采用的是开放的、民用北斗终端协议，以利用北斗短报文通信功能。

对于处于上层的应用层协议，I1 接口采用国家电网公司《输电线路在线监测系统应用层数据传输规约》定义的通信协议[8]。尽管国家电网公司对状态监测数据的应用层传输格式已有规定，但受到北斗短报文通信容量和通信服务频度的限制，直接将其应用于 BDSCS 的 I2 接口是不可行的。一般情况下，北斗短报文通信的民用通信容量大约 100 字节，通信频度在 1 分钟左右。在协议设计时，我们主要采用了数据选传，数据分包和双工作模式等多种策略，兼顾国家电网公司《输电线路在线监测系统应用层数据传输规约》完成了自定义协议设计，保证了 BDSCS 的有效运行。

3.2. 数据选传

由于不同地区对于需要监控的数据类型有不同要求，如寒冷地区主要需要监控覆冰状况，大风地区主要需要监控风偏状态等。因此在系统设计中采用数据选择传输的方式只对有传输要求的数据进行传输。

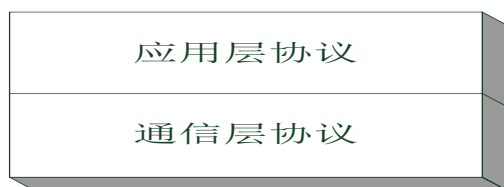


Figure 2. System protocol layers
图 2. 系统协议层次图

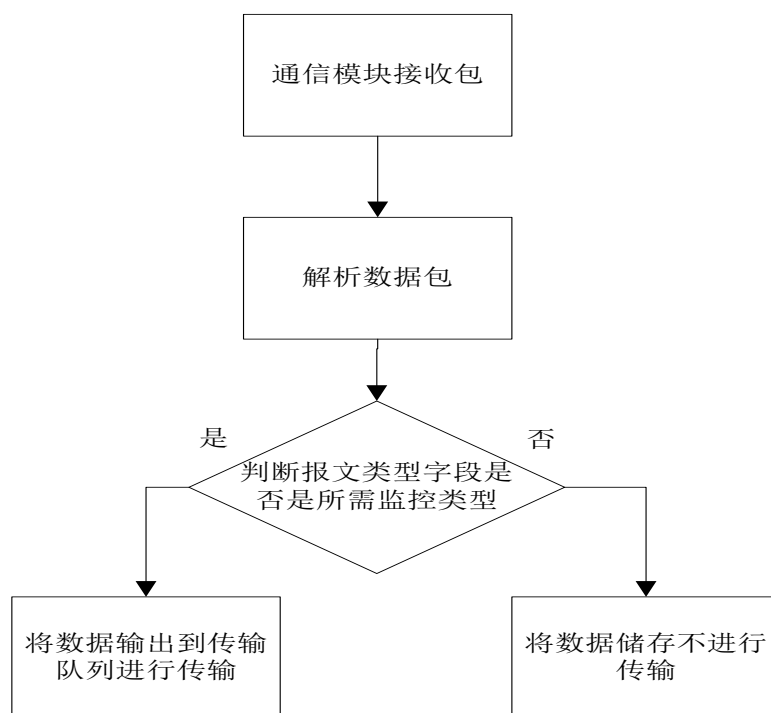


Figure 3. Flow chart of data selective transmission
图 3. 数据选传流程图

具体实施过程如图 3 所示。接入层装置对状态监测装置传来的报文进行分析，若与所需数据类型相同则将数据放入输出队列进行打包传输，不同则不进行传输。

3.3. 数据分包

为了应对北斗短报文通信有数据容量限制的问题，接入层装置对接收到的超过北斗传输限制的报文内容进行分包处理。

在 I2 接口，发送方将待传的超过北斗短报文通信容量与频度的大数据量报文内容，分解成多个小的数据包，加上分包信息，分别进行传输。分包示意如图 4 所示。分包信息为大数据包分包后的总包数、该包在大数据包的位置序列与该分包后数据包的数据长度，正文为原数据进行拆分后的数据。接收端接收到数据包后，依据包头里的信息，通过解包，缓存，重装原始数据包。

图 4 中各部分含义如下：

- A: 总包数：一字节；单个数据从北斗发射时，分包的总包数。
- B: 当前包序列：一字节；当前包在全部数据包中的排位。
- C: 本包数据长度：一字节，无符号数，以字节为单位，表示正文字段所存数据的长度。

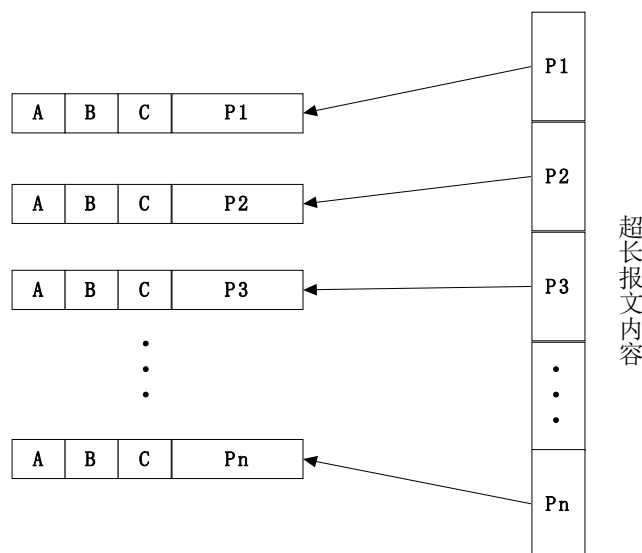


Figure 4. Illustration of data division

图 4. 分包示意图

P: 正文, 由原报文内容分解而成; N 字节。

3.4. 数据传输模式

本系统采用交互查询与自动采集相结合的模式, 一方面满足北斗卫星通信资源紧缺, 且存在频度限制的要求, 另一方面保证系统数据传输灵活性和可靠性。

在交互查询模式通信流程如图 5 所示。主站系统先与北斗终端交互发送命令, 读取配置信息后向指定状态监测装置发送激活命令; 状态监测装置收到该命令后发回激活响应。收到状态监测装置的激活响应后, 北斗通信终端再向状态监测装置发送对时、配置、获取数据等命令, 完成心跳交互、数据交互、读配置交互等过程, 然后北斗通信终端进行信息处理存储, 并与主站交互。

在自动采集模式下, 北斗通信终端每隔一个轮询周期便向状态监测装置发送数据获取命令。如图 6 所示。状态监测装置收到命令后便向北斗终端传输数据。若某一次命令发送后未收到状态监测装置的响应, 则启动重发机制, 直至响应收到再转入下一步命令。最后北斗通信终端收到数据后进行信息处理存储, 并与主站交互。

4. OMNET++仿真实现

为了验证设计系统的可行性, 本文采用 OMNET++对 BDS CS 进行了仿真。

OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++)是一款开源的、学术性的、非营利性、基于离散事件的仿真器。OMNeT++作为一款基于组件的、模块化的、开放的仿真软件, 有很好的 GUI 界面, 并且可以在 GUI 中配置参数。OMNET++使用 NED (Network Description) 语言来定义网络的拓扑结构, 对基本的网络模块元件使用 C++语言来定义其行为[9]。目前 OMNeT++支持两种用户接口, 即 Tkenv 和 Cmdenv。Tkenv 是一个简便易用的图形窗口化的用户接口, Tkenv 支持跟踪, 调试和执行仿真的功能。Cmdenv 是一个简便的小型命令行接口, 执行速度快。它可以在所有操作系统平台上运行。

OMNET++下北斗监控系统的结构通过定义 NED 文件实现, 如图 7 所示。

图 7 中, ethernet, chuankou, wifi, zigbee, rdif 等模块分别代表系统中不同接口的状态监测装置。beidouunit 模块代表接入层装置, 包含 bu1 与 bu2 两个子模块。bu1 与 bu2 分别代表数据接入仪和北斗短报文通信终端, 如图 8 所示。而 center 模块表示主站系统。

在完成系统结构的 NED 文件实现后，需要实现系统具体行为，即对 CPP 文件进行编写。由于本系统含有装置层，接入层，主站层三层结构，故采用了三组.cpp 和.h 实现每层模块的逻辑行为。仿真过程中系统数据传输过程主要由事件驱动产生，即 Message 的传递，其间数据重传主要由 OMNET++中的定时函数实现，如 `scheduleAt (simTime () + 5.0, msg)`，数据传输是否成功随机性主要采用随机函数来表示，如：`if(uniform(0,1)<0.1)` [10]。以下是对两种传输模式仿真过程的说明。

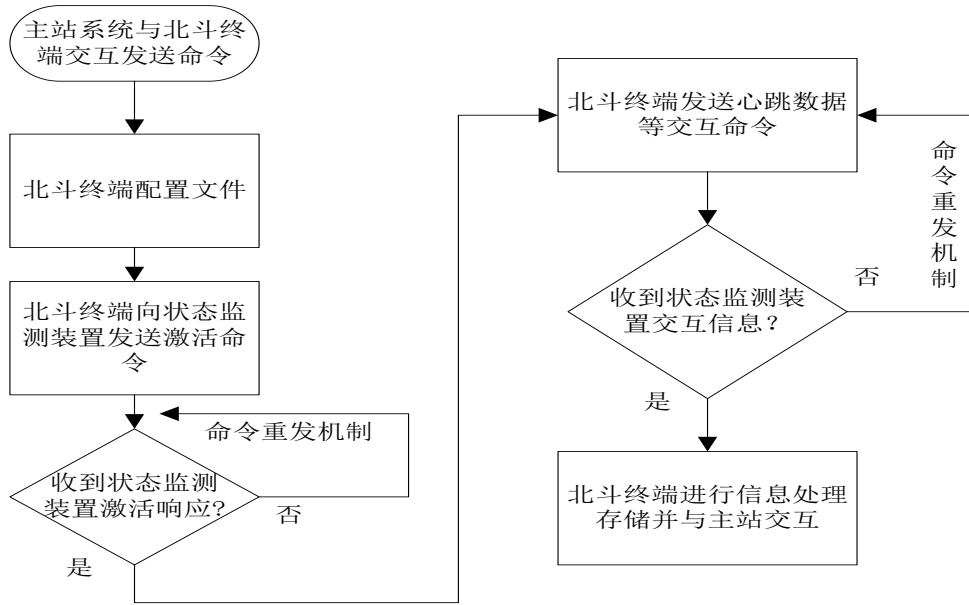


Figure 5. Flow chart of interactive query mode
图 5. 交互查询模式通信流程图

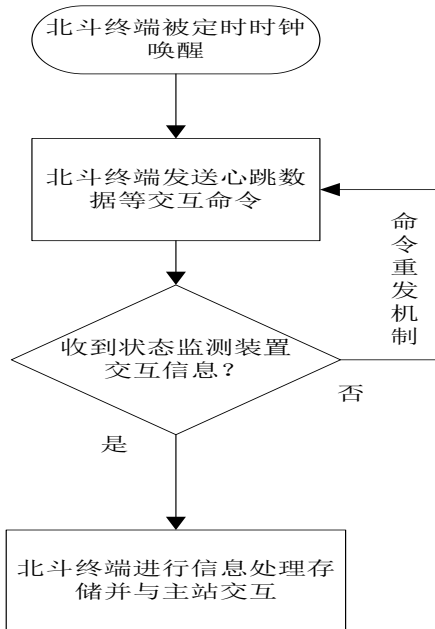


Figure 6. Flow chart of automatic acquisition mode
图 6. 自动采集模式通信流程图

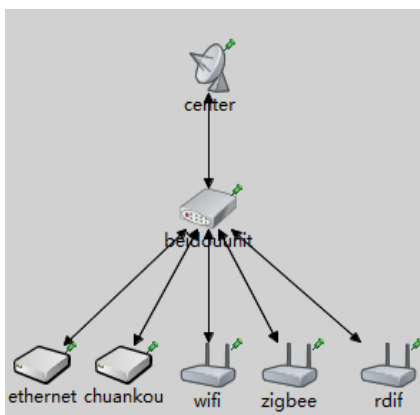


Figure 7. System structure based OMNET++
图 7. OMNET++系统结构图

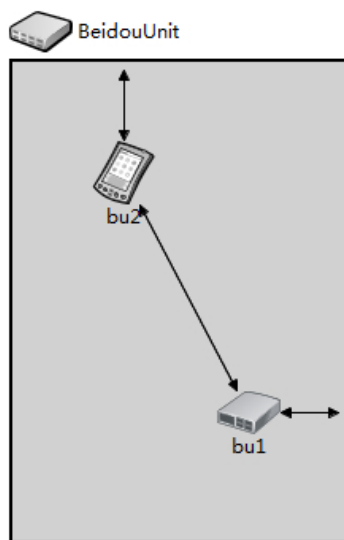


Figure 8. Structure of BeidouUnit
图 8. BeidouUnit 内部图

当采用交互查询模式时，OMNET++中 TKENV 接口下系统传输步骤如表 1 所示，对应的系统传输过程如图 9 所示。

当采用自动采集模式时，OMNET++中 TKENV 接口下系统传输步骤如表 2 所示。对应表 2 的系统传输过程图如图 10 所示。

从图 9 和图 10 可知，通过对系统交互查询与自动采集模式下数据传输的仿真，我们得到了“ack received data sent successfully”的响应。该结果从理论上证明了所设计的基于北斗短报文通信功能的通信系统的可行性。

5. 结论

针对目前广域电网电力监控中高山、边远地区与灾区通信不便的问题，本文利用北斗卫星导航系统传输速度快、可靠性高、保密性强、稳定性好、覆盖范围广等特点，设计了基于北斗短报文通信的电网远程监控系统，并利用 OMNET++软件，对 BDSCS 的自动采集和交互模式进行了仿真，从理论上验证了系统的可行性，为电网监控信息传输提供了新的通信方式。另外，随着基于北斗卫星导航系统的电网远

Table 1. Transmission step in interactive query mode
表 1. 交互查询模式传输步骤

Begin	
1	center 发送命令给 bu2;
2	bu2 收到命令"order"; 转发命令"order"给 bu1;
3	bu1 收到命令"order"; 发送初始化消息"init"给 ethernet;
4	ethernet 收到命令"init"; 发送响应"ack"给 bu1;
5	bu1 收到响应"ack"; 发送数据获取命令"order"给 ethernet;
6	ethernet 收到数据获取命令"order"; 发送监测数据包"data"给 bu1;
7	bu1 收到检测数据包"data"; IF(校验通过) 发送响应"ack"给 ethernet; 将"data"转发给 bu2;
8	ethernet 收到响应"ack";
9	bu2 收到数据包"data"; IF(包长度<100) 不分包, 将数据"data"转发给 center;
10	center 收到数据包"data"; IF(校验通过) 发送响应"ack"给 bu2;
11	bu2 收到响应"ack";
END	

```

center sends order.
** Event #1 T=0 Beidou.beidouunit.bu2 (BU2, id=10), on `order` (Order, id=0)
** Event #2 T=0 Beidou.beidouunit.bu1 (BU, id=9), on `order` (Order, id=0)
sending initial message
** Event #3 T=0 Beidou.ethernet (Unit, id=3), on `init` (cMessage, id=1)
initial message received.
** Event #4 T=0 Beidou.beidouunit.bu1 (BU, id=9), on `ack` (Order, id=3)
ack received, sending orders.
** Event #5 T=0 Beidou.ethernet (Unit, id=3), on `order` (Order, id=2)
Order received, sending data.
** Event #6 T=0 Beidou.beidouunit.bu1 (BU, id=9), on `data` (Order, id=4)
data received, and the type is right.
send ack and send the data out.
** Event #7 T=0 Beidou.ethernet (Unit, id=3), on `ack` (cMessage, id=5)
unit data sent successful!
** Event #8 T=0 Beidou.beidouunit.bu2 (BU2, id=10), on `data` (Order, id=4)
The length is less than 100, sending data to center.
** Event #9 T=0 Beidou.center (Center, id=8), on `data` (Order, id=4)
center received data!
** Event #10 T=0 Beidou.beidouunit.bu2 (BU2, id=10), on `ack` (Order, id=6)
ack received, data sent successful!
    
```

Figure 9. Interactive query mode
图 9. 交互查询模式

Table 2. Transmission step in automatic acquisition mode
表 2. 自动采集模式传输步骤

Begin	
1	bu1 周期性醒来; 发送数据获取命令"order"给 ethernet;
2	ethernet 收到数据获取命令"order"; 发送数据包"data"给 bu1;
3	bu1 收到"data"; IF(校验通过) 将"data"转发给 bu2; 发送响应"ack"给 ethernet;
4	ethernet 收到"ack";
5	bu2 收到数据包"data"; IF("data"的长度>100 字节) 将数据"data"分包为"data1"和"data2"; 发送拆分后的第 1 个数据包"data1"
6	center 收到拆分后的第 1 个数据包"data1"; IF(校验通过) 发送响应"ack1"给 bu2;
7	bu2 收到响应"ack1" 发送拆分后的第 2 个数据包"data2";
8	center 收到拆分后的第 2 个数据包"data2"; 校验通过后发送响应"ack2"给 bu2;
9	bu2 收到响应"ack2";
END	

```

** Event #1 T=0 Beidou.ethernet (Unit, id=3), on `order` (Order, id=0)
bu is awake,sending order.
Order received,sending data.
** Event #2 T=0 Beidou.beidouunit.bu1 (BU, id=9), on `data` (Order, id=1)
data received,and the type is right.
send ack and send the data out.
** Event #3 T=0 Beidou.ethernet (Unit, id=3), on `ack` (cMessage, id=2)
unit data sent successfull
** Event #4 T=0 Beidou.beidouunit.bu2 (BU2, id=10), on `data` (Order, id=1)
The length is more than 100, divide the message.
** Event #5 T=0 Beidou.center (Center, id=8), on `data1` (Order, id=3)
center received data1!
** Event #6 T=0 Beidou.beidouunit.bu2 (BU2, id=10), on `ack1` (Order, id=4)
ack received, data sent successfully!
** Event #7 T=0 Beidou.center (Center, id=8), on `data2` (Order, id=5)
center received data2!
** Event #8 T=0 Beidou.beidouunit.bu2 (BU2, id=10), on `ack2` (Order, id=6)
ack received, data sent successfully!
    
```

Figure 10. Automatic acquisition mode
图 10. 自动采集模式

程监控系统的深入实施，我们将进一步研究北斗短报文通信方式与其他通信方式相结合在电网远程监控通信中的应用，为构建坚强智能电网提供更好的技术支持。

基金项目

本文受到国家电网公司基础性前瞻性科技项目“北斗主导多模系统在输变电设备运行与管理技术领

域应用基础研究” (项目编号: GY71-13-016)的支持。

参考文献 (References)

- [1] 郭经红, 张浩, 刘亚新 (2011) 智能输电网线路状态监测系统数据传输技术研究. *中国电机工程学报*, **S1**, 45-48.
- [2] 邓创, 肖行谕 (2009) 四川省电力公司应急通信建设管理概况及思考. *四川电力技术*, **32**, 55-60.
- [3] 严森 (2008) 卫星通信在天祝电网的应用. *农村电气化*, **4**, 37-38.
- [4] 王连贵 (2000) 利用卫星通信实现电力调度自动化传输. *农村电气化*, **3**, 21-22.
- [5] 康望东, 覃远超, 唐静 (2012) 基于北斗系统的对空情报传送方式. *指挥信息系统与技术*, **3**, 68-71.
- [6] 朱永辉, 白征东, 过静琚 (2010) 基于北斗卫星系统的远程数据传输与控制技术研究. 第一届中国卫星导航学术年会, 北京, 2010年5月19日至21日.
- [7] 李鹏, 黄新波, 赵隆, 等 (2013) 智能输电线路状态监测代理的研究与设计. *中国电机工程学报*, **16**, 153-161.
- [8] 国家电网公司 (2010) Q/GDW 242-2010 输电线路状态监测装置通用技术规范. 中国电力出版社, 北京.
- [9] 夏锋 (2013) OMNET++网络仿真. 清华大学出版社, 北京.
- [10] 杨懋, 杨鹏, 方重良 (2008) 基于 OMNeT++ 的 DMR 高层通信协议仿真. *移动通信*, **14**, 80-83.