

# 一种窄带非对称信道的 RTU 高效数据传输控制方法

金惠英<sup>1</sup> 马金钢<sup>2</sup> 苏勇<sup>1</sup>

(1. 南京金水尚阳信息技术有限公司 南京 210014; 2. 解放军理工大学气象海洋学院 南京 211101)

**摘要:** 针对传统短波、超短波等窄带无线通信上下行信道不对称特点,提出一种水文水资源远程测控终端系统(RTU)高效数据可靠传输控制方法,综合采用“定值存储发送”、“定时存储发送”、“数据自动补传”、“发送完延时等待”等技术,根据实际网络情况,调整数据包尺寸、发送间隔和重发次数,控制发送速率。运用该方法,可在突发报文增多的情况下控制 RTU 成功发送数据的关键因素,增强了 RTU 通信协议的控制能力,为适应物联网应用提供解决方案。

**关键词:** 窄带非对称信道;远程测控终端系统;数据传输单元;控制策略

**中图分类号:** TP274.2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

## Approach to high performance data transmission control of RTU on narrowband asymmetric channel

Jin Huiying<sup>1</sup> Ma Jingang<sup>2</sup> Su Yong<sup>1</sup>

(1. Nanjing Golden-water Shangyang Information Technology Co. Ltd., Nanjing 210014, China;

2. College of Meteorology and Marine, People's Liberation Army University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

**Abstract:** Focusing on the asymmetric feature of uplink and downlink channel in traditional narrowband wireless communication such as short wave and ultra-short wave, this paper proposes a control method of reliable high performance data transmission for RTU in hydrology. It applies technologies including data relay with size reshape, data relay with interval reshape, auto data retransmission, send-out-then-wait and so on. According to actual network status, it can adjust the size of package, transmission time interval, and number of re-transmission, as well as control the transmission rate. By using the proposed method, it is possible to control the key factors of successful data transmission of RTU under the situation of sudden message increase. Therefore, it can strengthen the control ability of RTU communication protocol, and provide solution to adapt IOT applications.

**Keywords:** narrowband asymmetric channel; RTU; DTU; control policy

## 0 引言

由于历史和成本的原因,在水文水资源采集系统存在着大量的非对称性低速信道<sup>[1-3]</sup>,远程测控终端系统(remote terminal unit, RTU)在实际应用中,会出现遥测命令和监测数据通过不同带宽的信道进行传输的现象,即所谓上行信道(往数据中心方向)和下行信道(往遥测站方向)信息量和解析方式的不对称性<sup>[4]</sup>。一般情况下,上行信道的数据传输速率小于 64 Kbps,而且数据传输速率固定不变,不能适应水情变化时的业务规则。例如,当水位、水位变化率、降雨强度超过设定值时,自动加报、响应中心站的召测和查询、编程定时自报、事件自报等。

现代水文水资源遥测系统,需要 RTU 通信模块能够根据现场的通信条件动态调整数据传输控制参数;另一方面,先进的数据采集信息系统采用多功能、智能化的 RTU,增加了下行命令的传输<sup>[4-7]</sup>。因此,如何保证上行数据的准确、可靠和相对实时传输,同时也能安全、可靠、准确的执行下行命令,是一个亟需解决的问题<sup>[8-9]</sup>。本文提出了 RTU 高效数据可靠传输控制方法,综合采用“定值存储发送”、“定时存储发送”、“数据自动补传”、“发送完延时等待”等技术,根据实际网络情况,调整数据包尺寸、发送间隔和重发次数,控制发送速率。该方法能克服实际系统部署的窄带网络通信环境的限制,保证窄带非对称信道的传输效率和可靠性。

## 1 RTU 数据传输基本功能

### 1.1 水文水资源数据采集与传输需求

通常,水文水资源数据遥测终端采用工业级嵌入式实时多任务操作系统来做任务调度和管理,需要支持的遥测方式如下<sup>[10]</sup>:

1)事件自报,增量和告警信息上报。如雨量计分辨率 $为 1\text{ mm}$ ,可实时采集,并加带时标存入数据采集器,当采集到 $N\text{ mm}$ ( $N$ 可根据流域水文特性设定)时才发送至中心。

2)定时自报。设定某个时间间隔各遥测站向中心发送数据采集器的最新数据。

3)自适应上报。当测量值(如水位)在设定范围内变化时,按设定的时间间隔定时发送;当测量值变化超过设定限值,则实时发送数据,此设定限值可在遥测站本地设置或中心进行远程设置和修改。

4)应答方式。RTU 设备可以随时响应中心的各类命令,如召测历史数据、设置参数、校时等。

对于偏远山区的水文水资源组网监测,可利用通信基础设施十分有限,通信组网主要考虑以地级数据遥测中心为核心,各遥测站为节点的星型结构,采用无线短波、GSM/GPRS 无线信道为主通信信道,北斗卫星信道作为辅助信道。这种基于窄带非对称信道的数据通信需要在应用层增加控制机制,以提高数据传输的可靠性和通信资源的利用率<sup>[11]</sup>。

### 1.2 基于物联网的水文水资源数据采集与传输

基于物联网的水文水资源监测系统可由监测站管理中心、应用客户端、监测站点 3 大部分组成<sup>[12-13]</sup>。其中,监测站是由一个基于本地应用及业务展示的智能节点机和若干个基于 M2M 的无线智能传感终端构成的。这种新型智能多要素水文水资源监测站,除具备所有传统 RTU 终端的采集、滤波、存储、上报发送等基本功能外,还提供丰富的本地应用服务及业务展示,如任意多个无线智能传感器的数据接入、基于本站监测区域 GIS 地图实时监测数据展示、各个监测要素的历史数据查询和图表分析展示及其他可定制的本地服务等。

为支持智能节点机的功能,需要增加数据预处理、智能组网、路由、协议组包、传输控制以及本地多点数据汇集的功能。为此,要对传统 RTU 进行改造,如利用 ZigBee 的自由组网和路由功能可以扩展更大范围的智能传感器接入;兼容旧系统传感器直接接入;支持设备状态监控;通信异常情况下,保存重传的数据不低于 1 d;具实时、定时、混合上报方式,适应多种通信方式及协议,包括 GSM/GPRS、PSTN、INMARSAT-C、OmniTRACS、CDMA、VSAT、CDPD、以太网等信道进行灵活组网,根据工程实际选择通信方式,对选定的通信方式的规约、协议进行配置。

为解决向下兼容问题,必须设计窄带非对称信道的 RTU 高效数据传输控制方法。

## 2 RTU-DTU 控制策略

### 2.1 策略驱动的自主控制方法

RTU 中的数据传输单元(DTU),执行数据发送程序和控制策略。通用的数据链路层、网络层和运输层的通信协议只规定数据包(或帧)的协议数据单元的格式(包含数据的最大长度限制)、协议对等方的控制字符(或比特)的含义以及操作等普适规约。但数据长度的具体值、发送间隔等细节需要由用户根据工程实际情况进行优化设置。

为了实现灵活配置和动态更新,采用策略驱动的方式。策略驱动是实现智能控制和自主管理的有效方法之一<sup>[14-15]</sup>,可以通过定义<事件,条件,处理>三元组,并可用“If-事件 AND 条件- Then”的形式描述,然后编写独立的程序代码。根据软硬件环境设置策略执行触发机制,当满足条件的事件发生时,自动启动相应处理程序。

本文基于以下 3 种驱动方式,提出满足水文水资源数据采集要求的 RTU-DTU 数据传输控制策略。

#### 1)数据驱动的数据传输控制策略

实现本文 1.1 节所述的应答方式和自适应上报方式中当测量值变化超过设定限值时的数据发送。此设定限值可在遥测站本地设置或中心进行远程设置和修改。

该策略处理特殊实时数据,属于最高优先级。一旦有此类数据到达,立即启动数据传输进程,适用于水位、水质等敏感数据采集与传输。

#### 2)时间驱动的数据传输控制策略

实现本文 1.1 节所述的定时自报和自适应上报中的当测量值在设定范围内变化时的数据发送,即设定某个时间间隔各遥测站向中心发送数据采集器的最新数据。

该策略处理定时存储数据,支持常规水文水资源测报,包括正点报、半点报、10 min 报和系统自主设定的时间间隔。

#### 3)事件驱动的数据传输控制策略

实现本文 1.1 节所述的事件自报方式,即当测量累积缓存到一定数量启动发送。此设定限值可在遥测站本地设置或中心进行远程设置和修改。

该策略处理定值存储数据,有助于提高通信资源的利用率,适用于雨量、蒸发等时段累积数据和随时间变化不大的数据采集与传输。

基于以上 3 种驱动方式产生的数据将分别采用相应的数据传输控制方式向数据中心传输。

### 2.2 数据传输控制方式描述

#### 1)“定值存储发送”

这里的“值”指水文水资源实测数据的报文个数(记为 $N$ )。水文水资源报文格式参照行业标准,对于多用途 RTU,需要满足多种水文水资源数据同时到达、一起传输的需求。与字符型控制协议保持一致,采用 1 Byte(8 位)作为计数器,有效值为 1~255,具体参数值可根据缓冲区

大小的限制而设置。

2)“定时存储发送”

这里的“时”指水文水资源监测业务要求的实测数据上报时间,如每小时正点报、半点报和加密报(汛期加大测报密集程度,如 10 min)等。与字符型控制协议保持一致,采用 1 Byte(8 位)作为计数器,有效值为 1~255,单位为 s,具体参数值可根据不同业务数据的要求而设置。

3)“特殊实时数据发送”

特殊实时数据是测量值变化超过设定限值时实时采集的数据,这类数据启动优先实时传输方式。

3 NADHC 算法设计

3.1 数据发送控制算法

本文提出适应窄带非对称信道的 RTU 高效数据传输控制算法,简称 NADHC,由数据发送策略配置、数据发送执行、发送状态判定、调整发送完延时等待时间和失败情况下的数据自动补传等部分组成。数据发送控制算法主要实现数据发送策略、数据包长度调整。其中控制策略包括“特殊实时数据发送”、“定时存储数据发送”和“定值存储数据发送”,优先级依次降低,先发生先传输。该算法的控制流程如下。

1)数据发送策略配置模块接收初始化设定的“定值存储发送”计数器的缓冲存储数据报文个数  $N$  和“定时存储发送”的时间值  $T_{per}$ ,并根据系统开机运行指令开始计数/计时,一旦达到阈值发出相应的处理请求;

2)数据发送执行模块负责接收数据发送策略配置模块发出的处理请求信号,并根据预设的优先关系,确定本次发送的数据范围,调用数据发送程序,发送缓冲区数据,并将已发送数据移至补报缓冲区,等待接收方状态反馈;

3)发送完延时等待时间调整模块接收“重新计算发送等待时间  $T_{wai}$ ”指令,进行新值计算,若  $T_{wai}$  达到系统上限,减少“定值存储发送”计数器的缓冲存储数据报文个数  $N$  从而减少一次发送的数据包长度,提高发送成功率;

4)数据自动补传模块接收“重发数据”指令,等待  $T_{wai}$  时长后,调用数据发送程序,重新发送补报缓冲区的数据,一旦正确发送,清除补报缓冲区的数据,否则报错。

NADHC 数据发送控制流程如图 1 所示。

3.2 数据发送延时调整

根据首次发送是否成功,在启动重传前调整发送延时  $T_{wai}$ 。具体方法如下:

1)定义计数器

除了“定时存储发送”时间(记为  $T_{per}$ )外,系统还有两个基本时间阈值:应答超时限制(记为  $T_{out}$ )和发送完等待时间限制(记为  $T_{wai}$ ),初始化时,它们都可以设置默认值,以后根据实际情况调整。

2)测量计算平均应答响应时间

发送完一次数据时,启动应答响应计时器。当时实际

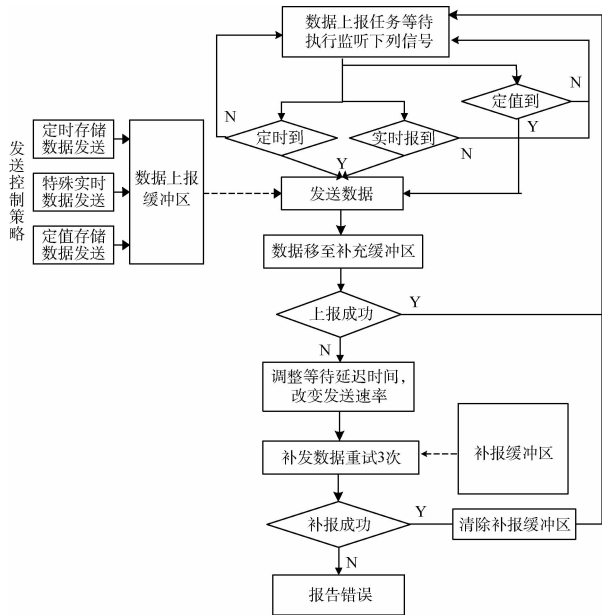


图 1 NADHC 数据发送控制流程

应答时间  $t_r < T_{out}$  时,表示系统正常收到对方反馈的正确确认或错误确认信息;当  $t_r \geq T_{out}$  时,表示应答超时,没有收到对方反馈的任何确认信息。此时,只能默认本次数据发送失败,启动“数据自动补传”。

3)调整发送完延时等待时间

发送完延时等待时间  $T_{wai}$  的计算方法:  $T_{wai} = T_{wai} + 2\alpha T_{out}$ ,  $\alpha$  是调节系数,按下式取值,其中  $k$  表示应答超时引起的重发次数,超过 3 次的按 3 次处理。

$$\alpha = \begin{cases} 0, & t_r < T_{out} \\ e^k, & t_r \geq T_{out}, k = 1, 2, 3 \end{cases}$$

不失一般性,  $T_{wai}$  和  $T_{out}$  是相对时间,以 s 为单位;而  $T_{per}$  是绝对时间,形如 xx 时 xx 分,24 小时制。  $T_{out}$  也可以根据应答信息的情况来调整,采用 TCP 自包含的“时间窗”调整算法。

3.3 数据自动补传算法

一次数据发送完后,若遇到下列两种情况进入“数据自动补传”:

1)收到接收方回答的“NAK”(错误确认信息)

在超时时间到达前收到“NAK”信息时,表示对方检测到数据有传输错误,根据第 3 步调整“发送完延时等待时间”,  $T_{wai}$  到达后,启动重发刚才的数据。

2)超时时间到,未收到任何应答

当到达超时时间未收到“ACK”(正确确认信息)时,默认本次数据发送失败,根据第 3 步调整“发送完延时等待时间”,  $T_{wai}$  到达后,启动重发刚才的数据。

3)重发次数限制

考虑到引起发送失败的原因很多,不是都可以通过重发解决,如信道故障、接收方软件或设备故障等,故设  $T_{wai}$

的调整最多与 3 次重传相关。这意味着不管系统设置多少重传次数,  $T_{\text{wai}}$  的调整有上限, 而且, 建议重传 3 次后, 若仍出错, 可以停止重传, 并发出告警信息。

#### 4) 数据缓冲区清理

一旦完成数据正确传输后, 包括首次传输正确和重传正确, 系统清除缓冲区数据。

## 4 实验与仿真

实验仿真采用南京金水尚阳信息技术有限公司研发的水资源监测 RTU, 系统采集水位、流速、雨量等数据, 实验使用数据模拟机根据历史数据产生业务数据流, 不同参数具有不同的数据帧长度和采集间隔, 其区间为数据帧长度在 8~32 Byte, 采集间隔为 5~80 s。RTU 发送数据速度 9 600 bps, 但信道易受野外复杂环境影响, 为保证数据可靠传输到数据中心, 设备采用上述算法进行传输控制。

定时存储发送策略主要处理每小时正点报、半点报和加密报等, 报文密度较低, 该策略能更大限度的降低设备功耗, 提高电池供电时系统的工作时间。本实验主要仿真定时存储发送策略对系统可靠性的影响。围绕 RTU 的两个设置参数进行: 1) 应答超时限制  $T_{\text{out}}$ ; 2) RTU 数据发送缓冲区大小  $S_{\text{bf}}$ 。利用数据模拟机产生数据通过 RTU 发送到数据中心, 同时记录模拟机产生的数据和数据中心收到的数据进行对比, 每次试验进行 10 h, 每个试验进行 20 次, 统计出报文发送的成功率。

实验 1:  $S_{\text{bf}}=64$  Byte,  $T_{\text{out}}$  变化 (2~8 s), 报文发送成功率统计图见图 2; 实验 2:  $T_{\text{out}}=5$  s,  $S_{\text{bf}}$  变化 (32~128 Byte), 报文发送成功率统计图如图 3 所示。

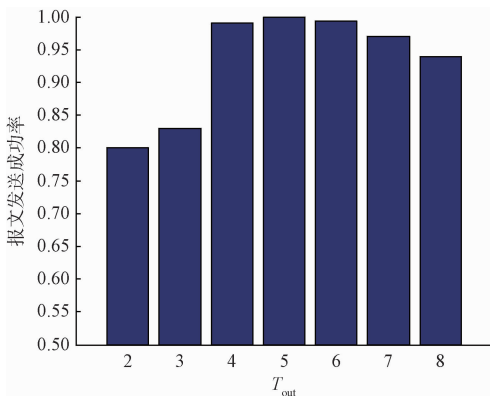


图 2 报文发送成功率统计 ( $S_{\text{bf}}=64$  Byte)

由实验数据可知,  $S_{\text{bf}}$  设定为 64 Byte 时,  $T_{\text{out}}$  为 4、5、6 s 时 RTU 的报文发送成功率较高, 尤其当  $T_{\text{out}}$  为 5 s 时最为理想。统计发现  $T_{\text{out}} < 4$  s 时丢包现象多为 RTU 未收到接收方应答, 且  $T_{\text{out}}=2$  s 时重发的报文数量最多; 当设定  $T_{\text{out}}$  为 5 s 时,  $S_{\text{bf}}$  增大到 64 Byte 时系统极少发生丢包现象, 但 RTU 系统资源有限, 实际应用时应设定  $S_{\text{bf}}$  为 64 Byte, 这样 RTU 可更高效响应其他数据中心发来的其他数据采集

指令。

由此可见, 定值存储发送策略较好的提升了 RTU 在低速窄带信道上的数据传输可考虑。

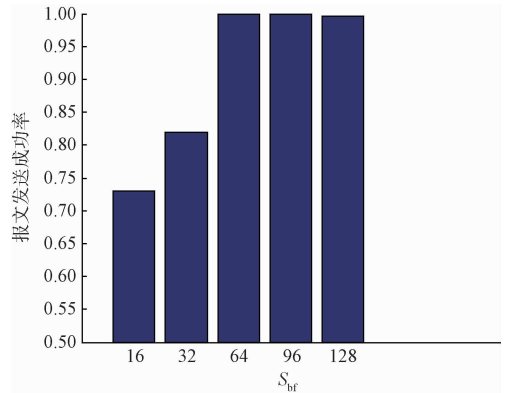


图 3 报文发送成功率统计 ( $T_{\text{out}}=5$  s)

## 5 结论

随着水利电力信息化的深入发展和智慧水务应用的展开, 对于水文水资源数据采集和传输的要求越来越高, 在过渡到物联网技术时, 不仅要运用新的高速无线数据通信技术, 而且要向下兼容窄带非对称信道的技术体制。因此, 支持混合通信体制的 RTU-DTU 需要有效解决低速信道的数据传输控制问题。采用“定值”与“定时”数据发送相配合的方式, 定义发送控制策略, 按照“定值”和“定时”阈值先到先执行的原则启动发送。同时判断信道拥塞情况, 调整发送后等待延迟参数, 可达到提升效率和可靠性的目的。

## 参考文献

- [1] 王莹. 水资源管理信息系统中的信息采集传输技术[J]. 信息化建设, 2015(10):232-232.
- [2] 符伟杰, 冯永勤, 李万祥, 等. 省级水资源管理系统监测数据的传输方案[J]. 水利信息化, 2015(3): 22-25.
- [3] 于海, 赵斌, 樊新建. 互联网+技术的水资源计量综合监控管理系统构架的探讨[J]. 中国计量, 2015(12): 82-84.
- [4] 赵忠彪. DTU 通信协议的一种改进设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014(17): 136-138.
- [5] 何博, 刘雨果. 三维力控组态软件的 RTU 阀室压力曲线在清管监听中的应用[J]. 石化技术, 2017(1): 34-35.
- [6] 李焱. 论铁路电力 RTU 遥测信息传递技术[J]. 计算机光盘软件与应用, 2015(2): 7-8.
- [7] 王前, 杨镜非. RTU 在电力系统中的应用[J]. 科技与企业, 2011(12X):170-171.

- [8] 徐彦军. 多协议转换水利 RTU 中间件开发与应用[D]. 西安:西安工程大学,2012. 558-567.
- [9] 殷梦鑫. 多水站监控系统的应用[D]. 西安:西安科技大学,2013. [15] 陈珍萍,李德权,黄友锐,等. 无线传感器网络混合触发一致性时间同步[J]. 仪器仪表学报,2015,36(10):2193-2199.
- [10] 赵杰,张永征. 深水水文自动采样方法与控制系统研究[J]. 科学家,2016,4(10):84-85.
- [11] 娄柯,张艳,李浩. 移动传感器网络保持网络连通性控制[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(11):1657-1663.
- [12] 陈果. 基于嵌入式的水文水情数据采集系统[J]. 南方农业,2015,9(24):224-225.
- [13] 蒋涛,于平,刘宇,等. 区域自动气象站蓄电池在线监测系统的研究[J]. 国外电子测量技术,2016,35(2):85-89.
- [14] 方如举,王建平,孙伟. 无线传感器网络通信的拥塞控制策略[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(4):

### 作者简介

**金惠英**,高级工程师,水利水电工程专业,主要研究方向为水利电力信息化及自动化。

E-mail:jhy1001@vip.qq.com

**马金钢**,讲师,信号与信息处理专业,主要研究方向为传感器网络数据处理。

E-mail:marvin@sina.com

**苏勇**,工程师,主要研究方向为电网水调自动化及电站水情测报系统。

E-mail:710311235@qq.com