

## 基于北斗短报文的农业环境数据采集通信机制研究\*

杨欣<sup>1,2</sup>, 郑禄<sup>1,2</sup>, 帖军<sup>1,2</sup>, 解伟<sup>1,2</sup>

(1.中南民族大学 计算机科学学院, 湖北 武汉 430076; 2.湖北省制造企业智能管理工程技术研究中心, 湖北 武汉 430076)

**摘要:**为实现偏远地区等通信盲区的农业环境数据采集,提出一种基于北斗短报文通信、物联网、云存储等技术的农业环境数据采集方式。针对北斗短报文通信容量有限的局限性,对农业环境数据进行编码设计,提高数据传输效率;针对北斗短报文通信不可靠的不足,自定义系统通信协议,分别在发送端提出基于概率判断的请求确认机制和在接收端提出动态累积确认机制。通过仿真实验,验证了该通信机制可以有效保证数据的可靠传输。通过在湖北长阳县实地试验,结果表明,在发送端通信成功率随环境变化情况下,数据传输的成功率达到99%以上,且系统运行稳定,能提供可靠的农业环境数据采集服务。

**关键词:** 北斗短报文通信; 物联网; 农业环境数据; 通信机制

中图分类号: TN919.3; TN927.2

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201265

中文引用格式: 杨欣, 郑禄, 帖军, 等. 基于北斗短报文的农业环境数据采集通信机制研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(11): 47-52.

英文引用格式: Yang Xin, Zheng Lu, Tie Jun, et al. Research on the communication mechanism of agricultural environmental data collection based on Beidou short message[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11): 47-52.

## Research on the communication mechanism of agricultural environmental data collection based on Beidou short message

Yang Xin<sup>1,2</sup>, Zheng Lu<sup>1,2</sup>, Tie Jun<sup>1,2</sup>, Xie Wei<sup>1,2</sup>

(1.College of Computer Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430076, China;

2.Hubei Provincial Engineering Research Center for Intelligent Management of Manufacturing Enterprises, Wuhan 430076, China)

**Abstract:** In order to realize the collection of agricultural environmental data in remote areas and other blind areas of communication, a method of agricultural environmental data collection based on Beidou short message communication, Internet of Things, cloud storage and other technologies is proposed. Aiming at the limitation of the limited communication capacity of Beidou short message, the coding design of agricultural environmental data is carried out to improve the efficiency of data. In view of the unreliability of Beidou short message communication, the user-defined system communication protocol proposes a request confirmation mechanism based on probability judgment at the sender and a dynamic cumulative confirmation mechanism at the receiver. The simulation results show that the communication mechanism can effectively ensure the reliable transmission of data. Through the field test in Changyang County, Hubei Province, the results show that the success rate of data transmission reaches more than 99% when the communication success rate of the sender changes with the environment, and the system runs stably, which can provide reliable agricultural environmental data collection service.

**Key words:** Beidou short message communication; agricultural Internet of Things; agricultural environmental data; communication mechanism

## 0 引言

近年来,随着物联网在农业领域的应用,现代农业快速向智慧农业发展<sup>[1]</sup>。在“乡村振兴”战略的推动下,农业物联网将进一步推广到广泛的农村地区,以加快农业的转型升级和高质量发展<sup>[2]</sup>。通过物联网技术获取的

农业环境数据信息是智慧农业的基石,但部分农村地区存在通信问题,如有线网络尚未建设且建设成本大、时间长;移动网络信号不稳定,甚至没有被覆盖,这些情况给数据采集带来极大的不便。

目前,利用常规通信方式实现数据采集方面,许多

\* 基金项目:湖北省技术创新专项重大项目(2019ABA101);武汉市科技计划应用基础前沿项目(2020020601012267);中南民族大学研究生学术创新基金项目(3212020syxj126)

专家学者进行了深入研究,并取得相应的研究成果。文献[3]提出采用以太网进行远程、实时数据采集与传输;文献[4]应用 GPRS 等无线通信方式进行数据的远程传输;文献[5]在采集端结合 ZigBee、LoRa 等 WSN 技术延伸了数据采集的深度。上述研究成果在远程数据采集工作中发挥了重要作用,但无法应用到通信盲区的区域。相比于受地区限制的通信方式,卫星通信的覆盖范围更广,不存在通信盲区。

北斗短报文是北斗卫星导航系统的独特功能,不依靠移动通信信号,利用卫星进行双向通信,能够提供全天候无盲区服务<sup>[6]</sup>,目前已经用于森林防护<sup>[7]</sup>、电力调度<sup>[8]</sup>、应急搜救<sup>[9]</sup>等领域。北斗短报文通信覆盖范围大,不受地理位置限制,是现有通信网络的有益补充;同时,北斗短报文也存在通信容量、频率限制以及不可靠通信三方面的不足。文献[10]结合 ZigBee 与北斗短报文技术,在网关节点上嵌入北斗短报文模块用于数据传输,但没有对北斗短报文通信的不可靠性提出解决方案;文献[11]提出并建立双指挥机架构的自动气象站数据传输系统,针对北斗短报文通信的不可靠问题采用重复发送策略,但没有较好地利用通信资源;文献[12]提出一种分布传输方法提高可靠性,但没有充分利用北斗通信容量,小数据不能填满电文内容,造成传输效率降低;文献[13]提出采用丢包反馈重传机制完善数据传输的可靠性,运用粘包机制提高小数据传输效率,根据分包机制实现大数据的正确传输,但没有考虑多个发送端时接收端的反馈机制。

本文针对北斗短报文通信的特点,提出在发送端基于概率判断的请求确认机制,使得发送端在不同环境中都能可靠传输且最大化传输效率;在接收端采用动态累积确认机制,保证在多对一通信场景下的可靠通信。本设计基于以上机制采用北斗短报文通信实现了偏远地区等通信盲区的农业环境数据采集。

## 1 系统设计

### 1.1 系统结构

系统由多个环境数据监测站(包含北斗通信模块)、数据处理服务器及云数据库构成,如图1所示。系统实现基于北斗短报文的农业环境数据采集。环境数据监测站通过北斗通信模块将数据发出,数据经过卫星的中转

被接收端的北斗通信模块接收,数据解码后存入云数据库,完成数据采集。

### 1.2 系统硬件设计

环境数据监测站由终端控制器、供电系统、传感器组、北斗通信模块构成,如图2所示。

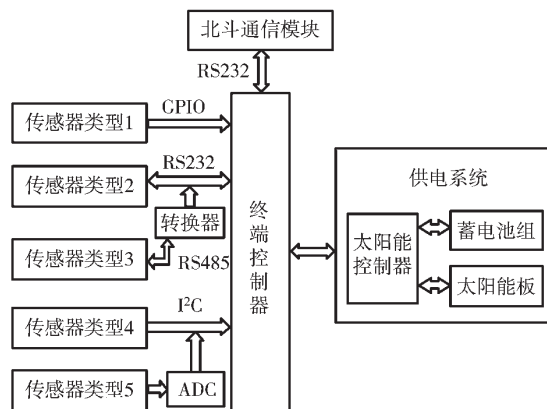


图2 系统硬件结构图

终端控制器是环境数据监测站控制和数据处理的核心,由中央处理器、存储器等构成。同时,为控制器配置 ADC、UART、I<sup>2</sup>C 和 RS485 等多种通信方式的软硬件,可以与多种类型的传感器进行通信。

系统采用太阳能电池板和储能装置为系统供电,提供直流 5 V 和 24 V 电压,其终端控制器的供电电压为 5 V,传感器的供电电压为 5 V 和 24 V 两种。

系统开发与测试中使用的北斗通信模块为 GYT2015C 型北斗短报文一体机。该一体机采用北斗用户数据接口协议 4.0,其通信申请指令为“\$TXSQ”。

## 2 通信协议设计

### 2.1 农业环境数据介绍

农业环境数据是指农作物生长环境中的空气温度、湿度、光照、土壤湿度、土壤 pH 值、二氧化碳含量、风速风向等影响作物生长和农事活动的环境数据。本系统中的环境数据监测站配备了 12 项环境数据传感器,可以满足多种作物的种植需要。

农业种植中,作物的种植周期一般较长,对环境数据的采样频率要求较低,一般为 5 min/次。因此,短报文的 1 min 通信间隔可以满足农业环境数据传输要求。同时,监测站会根据北斗同步的时间为每组环境数据添加时间戳。

### 2.2 北斗短报文通信限制

北斗短报文通信具有全天候、无盲区通信的优势,但在民用领域使用中存在通信容量、频率以及不可靠通信 3 方面的限制<sup>[14]</sup>。具体表现为:

(1)频率限制:同一设备 2 次发送数据之间必须等待一段时间,时间间隔大于等于 1 min,所以通信频率小于等于 1 Hz。

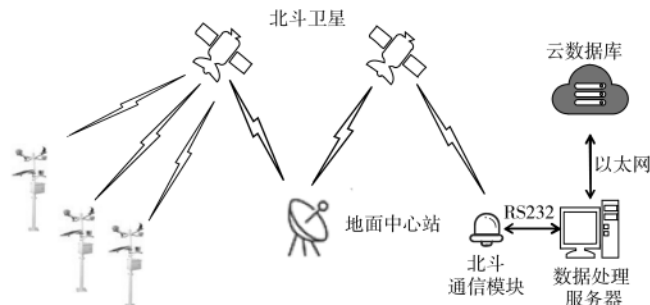


图1 农业环境数据采集系统框架

(2)容量限制:民用终端单次有效通信的内容长度最大为 78 B,因此只能传输较少的信息。

(3)通信不可靠:北斗卫星通信链路不可靠,表现为接收端接收短报文后不发回执信息,发送端无法确定数据是否发送成功。

对于不同的民用 IC 卡,上述的限制条件可能不同。

2.3 系统通信协议设计

为了满足北斗短报文通信容量的要求,需要对北斗数据包的用户数据部分进行协议设计。

2.3.1 发送端协议

环境数据发送端协议分为环境数据部分和标志位部分,协议格式如图 3 所示。

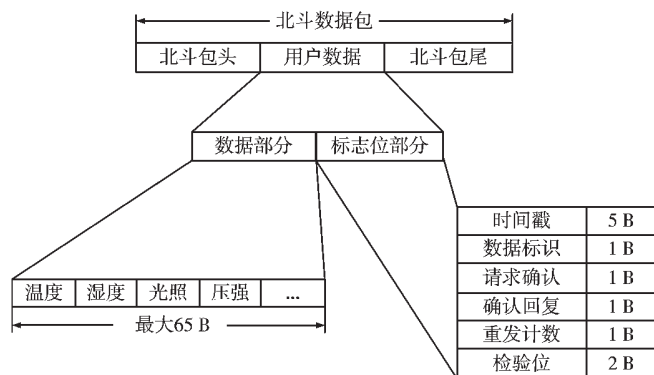


图 3 农业环境数据北斗传输协议封装格式

环境数据部分根据不同数据项的大小分配字节数,在保证不损失数据的情况下,尽可能少地占用通信容量。为了进一步减少数据长度,采用如下规则:

(1)环境数据项的先后次序固定,每个数据项占用固定长度,不使用分隔符区分,接收端按照编码顺序即可对数据进行解码和提取;

(2)每个环境数据项由 2 个整数组成,分别代表实际数据值的整数和小数部分,其中小数部分保留 2 位;

(3)每项环境数据只传输数值,不传输单位,数值为十六进制。

环境数据的字节分配如表 1 所示。

如温度数据用 2 B 表示,第 1 字节最高位为符号位,0 为正,1 为负,其余位表示数值;第 2 字节表示小数部分,-25.25℃对应的编码为 0x99 0x19。

为实现基于北斗短报文的可靠传输,需要在有限的通信容量中拿出一部分用于传递非环境数据,即辅助标志位。标志位部

表 1 环境数据编码格式

数据名称	字节数/B
温度	2
湿度	2
光照	3
压强	3
土壤湿度	2
土壤 pH	2
风速	2
风向	2
降雨量	2
PM2.5	3
氧含量	3
CO <sub>2</sub> 含量	3

分占用一定长度的字节,用来记录数据的检查控制信息,如表 2 所示。

表 2 环境数据发送端标志位编码格式

数据名称	时间戳	数据标识	请求确认	确认回复	重发计数	检验位
字节数/B	5	1	1	1	1	2

2.3.2 接收端协议

接收端主要对发送端进行确认,返回丢失的数据编号、发送端的成功率以及等待回复的最长时间。发送端编码如表 3 所示。

其中丢失编号用不定长度字节表示,表明自上一次确认后丢失的北斗数据包的序号,由用户数据的时间戳来确

认是否丢失,第一个字节表示丢失数据的个数,以后每个字节表示丢失数据的序号,最多记录 60 个丢失序号。

在环境数据发送端,环境数据加上标志位共 43 B,小于 78 B,满足通信容量要求,并且为以后的扩展留有充足的容量。在环境数据接收端,确认数据包最长为 72 B,小于 78 B,也满足通信容量要求。

表 3 环境数据接收端标志位编码格式

数据名称	字节数/B
确认时间戳	5
丢失编号	若干
请求确认	1
重发计数	1
等待时长	1
成功率	1
校验位	2

3 关键通信机制

为解决北斗短报文通信不可靠的问题,在满足通信容量限制的情况下提出一套扩展功能的应用协议。结合北斗短报文通信的特点,本文采用改进的丢失重传机制提高数据传输的可靠性,包括数据发送端基于概率判断的请求确认机制和数据接收端的动态累计确认机制。

3.1 基于概率判断的请求确认机制

在现实场景中,北斗短报文一体机进行通信时会受天气、障碍物、杂波等影响,使其通信成功率在 60%~95% 范围内较大波动<sup>[15]</sup>。本文提出基于概率判断的请求确认机制,依据通信成功率动态地调整请求的频率。

北斗短报文一体机会设置初始的成功率,在通信过程中持续进行成功率统计,并保持对成功率的更新。该功能在接收端实现,再同步到发送端。

设某北斗短报文一体机通信的成功率为  $p$ ,根据发送端本地是否存储历史环境数据,分为 2 种模式。一种是本地未存储数据模式,另一种是本地存储数据模式。

当本地没有存储数据,即所有数据都已发送出去,此时通信次数充足,只要有数据就能立即发送出去。数据采样的时间间隔为 5 min,考虑到通信延迟以及设备处理需要的时间,则在 5 min 内可以进行 4 次通信,1 次用来发送最新产生的数据,3 次用来发送丢失的数据,则满足:

$$n'(1-p) \geq 3 \tag{1}$$

其中, $p$  为通信的成功率, $n'$  为发送端请求确认的间隔。



由于  $n'$  为整数, 对式(1)中  $n'$  向上取整:

$$n' = \left\lceil \frac{3}{1-p} \right\rceil \quad (2)$$

即本地没有存储数据的发送端每发送  $n'$  次数据, 向接收端请求 1 次确认。

当本地存储了若干数据时, 发送端则会以最快的频率(1 min/次)连续地发送数据。此时需要尽快地知道数据丢失的情况, 从而尽快重发, 则满足:

$$n''(1-p) \geq 1 \quad (3)$$

其中,  $n''$  为发送端请求确认的间隔。同样,  $n''$  为整数, 对式(3)中  $n''$  向上取整:

$$n'' = \left\lceil \frac{1}{1-p} \right\rceil \quad (4)$$

即本地存储数据的发送端每发送  $n''$  次数据, 向接收端请求一次确认。

因此, 根据发送端的成功率  $p$ , 可以得出向接收端申请确认的间隔数。  $X$  为本轮发送次数计数, 当  $X < n$  时, 继续发送数据; 当  $X = n$ , 即在本次发送数据时申请确认,  $X$  在发送申请确认后置零。

### 3.2 动态累积确认机制

在接收端, 采用一个短报文一体机接收多个发送端的数据, 并对每个发送端进行确认应答, 因此每个发送端等待接收端确认的时间与发送端的总数量相关。本文提出接收端动态累积确认机制, 根据数据发送端的数量动态调整应答频率, 并将最大等待时间发送给每个发送端, 避免发送端等待超时而重复发送。

若有  $m$  个发送端向 1 个接收端发送数据, 每个发送端的单次通信成功概率为  $p_i$ , 根据每个发送端的发送频率可知其本地是否有存储数据, 通过式(2)或者式(4)可以得出每个发送端的发送间隔  $n$ 。则对于没有存储数据的发送端, 其申请确认的频率为:

$$f_1 = \frac{1}{5n'} \quad (5)$$

其中,  $f_1$  为没有存储数据的发送端申请确认的频率。

对于有存储数据的发送端, 其申请确认的频率为:

$$f_2 = \frac{1}{n''} \quad (6)$$

其中,  $f_2$  为有存储数据的发送端申请确认的频率。

所有的请求都会累积到接收端, 所以接收端的确认频率为:

$$f = \sum_{i=1}^{m_1} \frac{1}{5n_i} + \sum_{j=1}^{m_2} \frac{1}{n_j} \quad (7)$$

其中,  $f$  为接收端的确认频率,  $m_1$  为没有存储数据的发送端数量,  $m_2$  为有存储数据的发送端数量, 且  $m_1 + m_2 = m$ 。

最大等待确认的时间间隔为:

$$T_{\max} = \frac{1}{f} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m_1} \frac{1}{5n_i} + \sum_{j=1}^{m_2} \frac{1}{n_j}} \quad (8)$$

其中,  $T_{\max}$  表示最大等待确认的时间间隔,  $n_i'$  表示没有存储数据的第  $i$  个发送端的请求确认间隔次数,  $n_j''$  表示有存储数据的第  $j$  个发送端的请求确认间隔次数。

接收端在每次向发送端进行确认时, 会将当前实时计算的最大等待时间也一起发送给发送端。当发送端接收到之后立即更新本地最大等待时间。

## 4 实验与结果分析

### 4.1 仿真实验

为验证本文提出的通信机制的有效性, 在网络仿真平台 OMNeT++(Objective Modular Network TestBed in C++) 上进行仿真实验, 通过实际重传率与理论重传率对比来评估改进机制的可行性。在北斗短报文通信中, 北斗短报文一体机发送的数据需要北斗通信卫星转发, 再被接收端接收。

本文仿真实验实验中定义了 BDClient、BDServer 和 BDSatellite 网元模块, 分别表示发送端、接收端和北斗卫星, 其中北斗通信的不可靠特性由 BDSatellite 单元实现。client、server 和 satellite 分别是 3 个网元模块的实例, 构成 BDNNet1 仿真网络, 如图 4、图 5 所示。

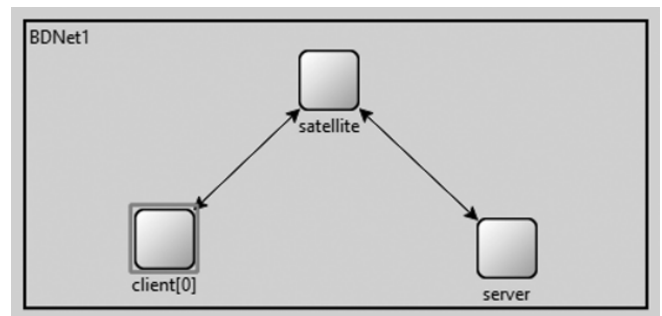


图 4 一对一通信仿真网络

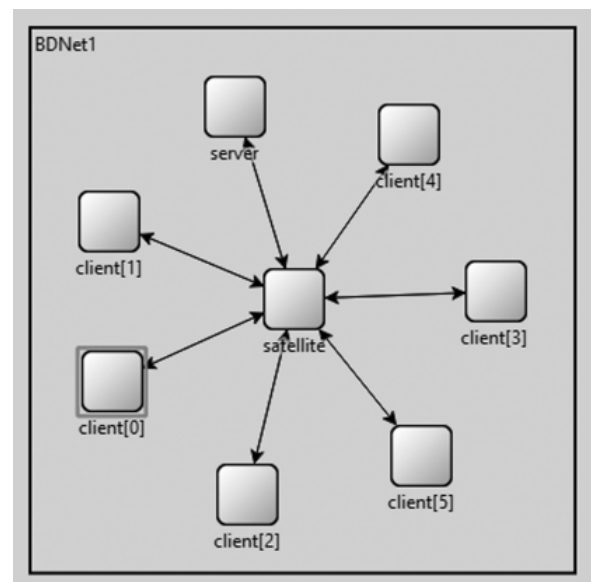


图 5 多对一通信仿真网络

通过实验重传率和理论重传率对比可以验证基于概率判断的请求确认机制。实际重传率为:

$$R_1 = \frac{N_1 - N_2}{N_2} \quad (9)$$

其中,  $R_1$  为时间重传率,  $N_1$  为实验中统计的发送端发送数据包数量,  $N_2$  为接收端接收数据包数量。在传输大量数据包时实际要传输的数据量等于接收端接收数据包数量  $N_2$ 。

在未设定最大重传次数的情况下, 理论重传次数为:

$$\begin{aligned} N_3 &= C(1-q) + C(1-q)^2 + C(1-q)^3 + \cdots \\ &= C((1-q) + (1-q)^2 + (1-q)^3 + \cdots) = C \frac{1-q}{q} \end{aligned} \quad (10)$$

其中,  $N_3$  为理论重传次数,  $C$  为传输的数据包个数,  $q$  ( $0 \leq q \leq 1$ ) 为发送端理论单次通信成功率。

理论重传率为:

$$R_2 = \frac{N_3}{C} = \frac{C \frac{1-q}{q}}{C} = \frac{1-q}{q} \quad (11)$$

其中,  $R_2$  表示理论重传率。

一对一通信仿真实验共进行了 8 次, 每次传输超过 2 000 个的数据包, 单次通信的成功率设置为 60%~95%, 每次递增 5%。实验结果如表 4 所示。

表 4 仿真实验结果

序号	单次 成功率/%	发送 数据量/个	接收 数据量/个	理论 重传率/%	实际 重传率/%
1	60.00	3 064	1 825	66.67	67.89
2	65.00	3 222	2 084	53.85	54.61
3	70.00	3 571	2 481	42.86	43.93
4	75.00	2 989	2 225	33.34	34.34
5	80.00	2 631	2 083	25.00	26.31
6	85.00	2 345	1 979	17.65	18.49
7	90.00	2 341	2 090	11.11	12.01
8	95.00	2 103	1 989	5.26	5.73

一对多通信仿真实验中, 发送端的数量逐渐增加, 当出现某个发送端等待确认的时间大于 10 min 时, 不再增加发送端的数据, 此时发送端的数量即为最大值。实验条件分两种极端情况进行, 最好的情况是每个发送端的通信成功率为 0.95, 且本地未存储环境数据, 此时接收端平均可以与 73 个发送端完成数据传输; 最坏的情况是每个发送端的通信成功率为 0.60, 且本地存储环境数据, 此时接收端平均可以与 12 个发送端完成数据传输。

#### 4.2 结果分析

一对一通信网络仿真实验验证发送端基于概率判断的请求确认机制。在仿真实验开始前, 设置发送端的通信的成功率。实验进行 8 次, 每次传输超过 2 000 个数据包, 单次通信的成功率设为 60%~95%, 每次递增 5%。根据表 4 中的实验结果, 可得到如图 6 实验重传率与理论重传率的对比图。

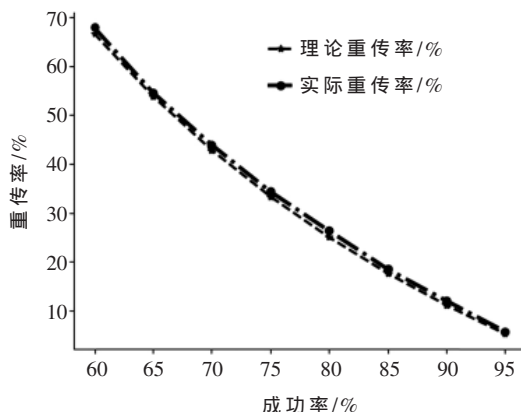


图 6 实验重传率与理论重传率对比图

从图 6 中可以得出, 实际重传率的折线与理论重传率的折线趋势相同, 重传率的平均差为 0.95%。证明了本文提出的数据传输协议能保证北斗短报文通信的可靠性。

多对一通信网络仿真实验验证接收端动态累积确认机制。在最好情况下, 接收端平均可以与 73 个发送端进行数据通信; 在最坏情况下, 接收端平均可以与 12 个发送端进行数据通信。当发送端的情况介于最好和最坏情况之间, 接收端平均可以为 12~73 个发送端提供数据通信服务。

#### 4.3 实地试验

为了进一步验证本文提出的改进机制的有效性, 将基于北斗短报文通信的环境数据监测设备在湖北省宜昌市长阳土家族自治县内 2 个农业种植基地(都镇湾镇茶叶基地和渔峡口桤柑基地)进行部署和测试, 如图 7 所示。



(a) 茶叶基地(设备 A)

(b) 桤柑基地(设备 B)

图 7 湖北长阳种植基地环境数据监测站

由于地处偏僻山区, 设备 A 所处位置移动通信网络信号不稳定, 设备 B 所处位置没有移动通信网络信号。

在测试中, 2 台设备持续运行, 每台设备分别统计 3 个时间段内的数据发送和接收信息, 进而计算出设备的单次通信成功率和数据传输成功率。数据如表 5 所示。

在实地测试中, 不同地点的单次通信成功率受环境

表 5 实际测试结果

设备编号	序号	测量时长/min	实际数据量/个	发送数据量/个	接收数据量/个	单次成功率/%	数据传输成功率/%
设备 A	1	5 062	1 012	1 109	1 009	90.98	99.70
	2	3 908	781	893	776	86.90	99.36
	3	4 457	891	962	885	91.99	99.33
设备 B	1	4 862	972	1 087	967	88.96	99.49
	2	5 538	925	1 107	919	83.02	99.35
	3	3 932	786	956	779	81.49	99.11

影响而不同,同一地点的单次通信成功率不同时间段受环境影响也会不同。如表 5 所示,设备 A 在不同时段的测试下,其多次通信的平均成功率分别为 90.98%、86.90%、91.99%;设备 B 在不同时段的测试下,其多次通信的的平均的成功率分别为 88.96%、83.02%、81.49%。采用改进的通信机制后,其数据传输的成功率均能达到 99% 以上。

5 结论

随着北斗全球卫星导航系统建成,北斗卫星通信将为全球提供定位、导航和通信服务。北斗短报文通信将为偏远地区农业环境数据采集传输提供便捷的低成本通信服务。本文基于北斗短报文的可靠农业环境数据传输机制,针对北斗短报文的通信容量限制,对农业环境数据进行编码节省通信容量;针对北斗短报文的不可靠通信,提出基于概率判断的请求确认机制和动态累积确认机制,并通过仿真实验验证了系统机制的可行性。在湖北长阳县内进行实地试验,使发送端的传输成功率随环境动态变化情况下也能使数据传输的成功率提升至 99% 以上。本文提出的基于北斗短报文的农业环境数据采集机制为偏远地区的农业环境数据采集提供了经济、便捷、可靠的方案,具有一定的应用和推广的价值。

参考文献

[1] 张震宇,余林,黄文庆,等.智慧农业物联网系统[J].物联网技术,2019,9(5):6-8.

[2] 葛文杰,赵春江.农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J].农业机械学报,2014,45(7):222-230,277.

[3] Dai Chengwei, Yang Shuanghua, KNOTT R. Data transfer over the Internet for real time applications[J]. International Journal of Automation and Computing, 2006, 4(1): 414-424.

[4] Chen Siguang, Zhang Shujun, Zheng Xiaoyao, et al. Layered adaptive compression design for efficient data collection in industrial wireless sensor networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2019, 129: 37-45.

[5] FLORIS V D A, HAXHIBEQIRI J, MOERMAN I, et al.

Scalability analysis of large scale LoRa WAN networks in ns-3[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, 4(6): 2186-2198.

[6] 黄颖,唐小明,黄水生,等.林业野外巡护采集信息北斗短报文编码设计及应用[J].中南林业科技大学学报,2014(8):106-110.

[7] 郑一力,赵燕东.基于北斗卫星通信的林区小气候监测系统研究[J].农业机械学报,2018,49(2):217-224.

[8] 谢芝东,赵二保,温全,等.北斗短报文通信技术在电力系统的应用[J].农村电气化,2017(3):5-7.

[9] 王青平,肖健,郑超,等.基于北斗短报文的震源船跟踪系统设计与实现[J].应用海洋学学报,2019,38(1):135-140.

[10] 李邦训,陈崇成,黄正睿,等.基于北斗与 ZigBee 的生态环境参数实时采集系统[J].福州大学学报(自然科学版),2019,47(4):460-466.

[11] 王明辉,雷卫延,黄海,等.基于北斗的自动气象站报文传输方案设计[J].气象科技,2019,47(6):900-904,915.

[12] 于龙洋,王鑫,李署坚.基于北斗短报文的定位数据压缩和可靠传输[J].电子技术应用,2012,38(11):108-111.

[13] 颜晓星,车明,高小娟.基于北斗卫星的可靠远程通信系统设计[J].计算机工程,2017,43(3):62-68.

[14] 高小娟.基于北斗卫星的可靠远程通信系统设计[D].天津:天津大学,2015.

[15] 李伟,坚焦,明辉,等.一种实现北斗短报文可靠传输的方法:中国,CN105611511B[P].2019-03-08.

(收稿日期:2020-12-30)

作者简介:

杨欣(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:物联网、通信技术。

郑禄(1989-),通信作者,男,硕士,讲师,主要研究方向:深度学习、复杂网络, E-mail: lu2008@mail.scuec.edu.cn。

帖军(1976-),男,博士,教授,主要研究方向:物联网、服务计算。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所