

基于 NB - IoT 技术的气象数据 传输控制系统设计

郑文静

(郓城县气象局, 山东 菏泽 274700)

摘要:气象数据具有变化速度快、数据量大等特点,在复杂的通信环境下容易出现数据丢失或错误等问题。为了提高气象数据传输质量和速率,利用 NB - IoT 技术优化设计了气象数据传输控制系统。改装气象数据采集器和传输控制器,加设窄带物联网模块,实现硬件系统的优化。利用 NB - IoT 技术采集气象传输数据,综合考虑气象数据传输量、信道容量等因素选择气象数据传输信道,最终从传输安全和传输速度两方面,实现气象数据的传输控制功能。通过系统测试实验得出结论:与传统控制系统相比,优化设计的控制系统传输气象数据的丢失率和误码率分别降低了约 2.63% 和 0.96%,同时有效缩短了气象数据传输时延。

关键词:NB - IoT 技术;气象数据;数据传输控制

中图分类号:TP301

文章编号:1000 - 0682(2024)05 - 0048 - 07

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.05.010

Design of meteorological data transmission control system based on NB - IoT technology

ZHENG Wenjing

(Yuncheng County Meteorological Bureau, Shandong Heze 274700, China)

Abstract: Meteorological data has the characteristics of rapid change and large data volume. In complex communication environments, data loss or errors are prone to occur. In order to improve the quality and speed of Meteorological data transmission, NB - IoT technology is used to optimize a meteorological data transmission control system. Modify the meteorological data collector and transmission controller, add a narrowband IoT module, and achieve hardware system optimization. The NB - IoT technology is used to collect meteorological transmission data, and the meteorological data transmission channel is selected with comprehensive consideration of meteorological data transmission volume, channel capacity and other factors. Finally, the transmission control function of meteorological data is realized from two aspects: transmission security and transmission speed. Through of the optimized design system, the loss rate and the bit error rate of the transmitted meteorological data are reduced by about 2.63% and 0.96% respectively, and the transmission delay of meteorological data is effectively shortened.

Keywords: NB - IoT technology; meteorological data; data transmission control

0 引言

气象数据指的是能够反映天气情况的一系列数据,可分为气候数据和天气数据两部分,气候数据指的是利用常规气象仪器和专业气象器材所观测到的

各种原始资料,经过加工、整理和整编后所产生的数据;而天气数据指的是一种具有很强实时性的气象数据,它可以为天气分析和预报提供服务。气象数据对于天气预报、气候变化特征规律的识别等工作具有重要的参考价值^[1]。气象数据的共享和应用对于气象服务、决策支持和科学研究具有重要意义。伴随着各种各样的气象探测手段的不断丰富以及预报预测业务的不断发展,在气象通信系统中,气象数据的获取途径和数据类型越来越多样化,参与实时

收稿日期:2024 - 04 - 08

第一作者:郑文静(1988—),女,山东菏泽人,硕士,工程师,研究方向为应用气象服务。E-mail:15053017667@163.com

传输和交换的气象数据的种类和数据量在持续增长,气象数据量越发庞大^[2]。因此,气象数据传输控制方法可以针对不同的传输需求和场景,设计和优化相应的传输方案,满足各类气象数据传输的要求,提供更灵活、高效的数据传输解决方案,实现气象数据的互联互通,促进跨地区、跨系统的数据共享和集成使用,提供更全面、准确的气象信息,推动气象科学和应用的发展^[3]。有效的气象数据传输控制方法可以帮助优化传输协议、数据压缩算法等技术手段,提高数据传输效率,减少传输时间和成本^[4]。但在复杂的通信环境下极易出现气象数据丢失、错误以及泄露等问题。

为此,有该领域的专家学者设计并开发了数据传输控制系统,通过通信线路实现计算机端和数据终端之间的数据传输过程。现阶段发展较为成熟的数据传输控制系统包括:基于深度增强学习与子流耦合感知的数据传输控制系统,基于排队时延主动探测的数据传输控制系统以及基于局部密度预测的数据传输控制系统^[5]。但是上述传输控制系统在实际运行过程中,容易受到周围环境因素的影响,降低数据传输控制的有效性,存在明显的控制效果不佳的问题,主要体现在传输质量和传输速度2个方面,为此该文引入NB-IoT技术。

NB-IoT支持在广域网中的低功耗设备的蜂窝式数据连接,给长待机时间和高网络连通性的设备提供了有效的连接^[6]。可在GSM网、UMTS网或LTE网中直接布线,降低布线成本,实现平稳升级。将NB-IoT技术应用到气象数据传输控制系统的优化设计工作中,以期能够提升系统对气象数据传输任务的控制效果。

1 气象数据传输控制硬件系统设计

该文从硬件和软件2部分对气象数据传输控制系统进行优化设计。硬件部分为软件功能的运行提供支持,为保证气象数据传输控制系统的运行效果,分别对气象数据采集器和控制器进行优化设计,从而提升气象数据的传输质量,为控制指令的生成与执行提供支持;另外,在硬件系统中加设一个窄带物联网,为NB-IoT技术的运行提供条件。

1.1 气象数据采集器

气象数据采集器将风速传感器、风向传感器、温湿度传感器和雨量传感器等多类型传感器相结合,为系统提供传输控制对象^[7]。气象数据采集器的优化设计结构如图1所示。

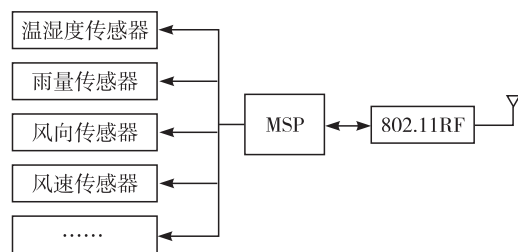


图1 气象数据采集器内部结构图

气象数据采集器中内置的温湿度传感器采用SHT10型号的复合传感器,它拥有两线制串行接口,以及已经校准的数字信号输出,该传感器可以提供表面贴片和4针单排直插式2种封装方式,通过两线串行接口与补偿芯片MSP相连,利用MSP编程来完成非线性补偿和温度补偿计算^[8]。SHT10所使用的串行接口是串行时钟输入线路与串行数据线路,其中串行数据线只在SCK的串行时钟上升沿起作用,而在SCK的串行时钟下降沿不起作用,其输入与输出状态发生变化^[9]。为了防止数据发生冲突,MSP应该将DATA保持在低电平,在构建其周边电路的时候,还需要在其外部连接1个10 k Ω 的上拉电阻器,才能将信号拉高,从而达到MSP430F169的高电平值输出。风速传感器采用EC-XT(1)型的模拟传感器,利用气象数据采集器内部自带的8通道12位A/D转换将模拟电压量转换为数字量。选择CG-04型的翻斗式雨量传感器,每一次脉冲信号雨量为0.5 mm,测量范围不大于4 mm/min^[10]。在气象数据采集电路中添加1个隔离电路和AD转换电路,实现不同类型气象数据的同步采集与输出。

1.2 窄带物联网模块

加设窄带物联网的目的是为NB-IoT技术的运行提供条件。窄带物联网由发送端、通信信道和接收端3部分组成,以优化设计的气象数据采集器作为窄带物联网中的发送端节点,布设收发器作为窄带物联网的接收端节点,要求选择的收发器能够提供物理总线之间的接口^[11]。发送端与接收端之间的链路即为窄带物联网的通信信道。窄带物联网中的通信电路如图2所示。

在窄带物联网的通信电路中接入50 k Ω 的斜率电阻,用于限定窄带物联网的通信速度,在接收端引脚处接入110 Ω 电阻,可以在一定程度上保护窄带物联网中的所有硬件设备免受电流过大而产生的冲击。

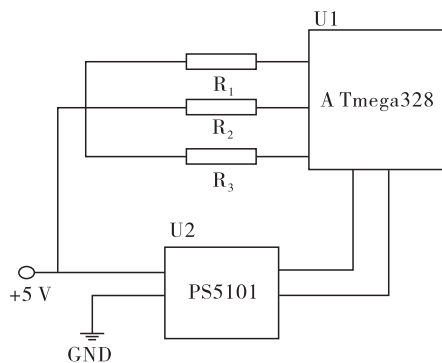


图2 窄带物联网通信电路图

1.3 数据传输控制器

气象数据传输过程中,环境因素如天气和信道状态等常常发生变化。内控制器可以快速响应这些变化,根据实时的环境信息进行调节和优化;而外控制器可以在不同环境条件下综合整体控制策略,适应不同的环境变化,并提供更加稳定的控制效果。内控制器主要针对局部的系统状态进行控制,通过实时监测和调整控制参数来提高系统的响应速度和抗干扰能力。外控制器则负责整体系统的调节和协调,综合考虑多个局部控制器的输出,保持系统稳定运行。内外控制器的结合可以在提高控制精度的同时确保系统的稳定性。因此,为保证气象数据传输进程的控制质量,采用内控制器与外控制器相结合的方式对控制器进行优化,外控制器端口是内控制器内核中仅为用户可见的部分,从控制器端口提供一个线性存储器的空间,外部控制器芯片的接口提供 PC 100 标准定义的信号,这些信号必须通过内控制器芯片上的 I/O 引脚连接到外部控制器芯片^[12]。内外控制器的连接结构如图 3 所示,控制器中的片内锁相环用于调整两控制器芯片之间的时钟相位差^[13]。将优化设计的控制器添加到窄带物联网环境中,并与气象数据采集器连接。

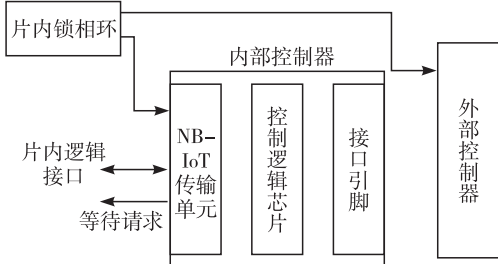


图3 数据传输内外控制器连接结构图

2 气象数据传输控制系统软件功能设计

在硬件系统的支持下,以采集的气象数据作为传输与控制目标,综合考虑数据的传输要求选择合

适的传输信道,并从传输安全以及传输速度等方面实现对传输进程的控制^[14]。

2.1 利用 NB-IoT 技术采集气象传输数据

在窄带物联网环境下,利用 NB-IoT 技术和气象数据采集器获取待传输的气象数据,并将其输入到通信信道的发送端。在 NB-IoT 环境中,设备需要与基站建立连接才能进行通信。初始化处理包括设备与基站之间的握手和认证过程,确保设备能够成功加入到网络中并获得通信权限^[15]。对 NB-IoT 环境进行初始化处理可以用于配置设备的网络参数,包括频率、带宽和传输速率等。通过正确配置这些参数,可以优化设备的通信性能和功耗,提高其工作效率和寿命。并且可以根据设备的需求和网络情况,进行合理的资源分配,确保每个设备都能够获得足够的带宽和传输资源,从而提高整体网络的稳定性和吞吐量^[16]。与此同时,对 NB-IoT 环境进行安全性设置,如密钥协商、安全认证等。这些安全措施可以保护通信过程中的数据隐私和防止恶意攻击,确保通信的安全可靠。完成 NB-IoT 环境初始化处理后,启动预先设置好的气象数据采集器中的风速传感器、风向传感器、温湿度传感器和雨量传感器等设备,输入数据采集参数,并对采集通道进行数据扫描,读取采集的数据^[17]。最后在 NB-IoT 环境下进行数据的传递,将气象数据进行融合与输出,完成 NB-IoT 技术下气象数据的采集过程。NB-IoT 技术下气象数据采集流程如图 4 所示。

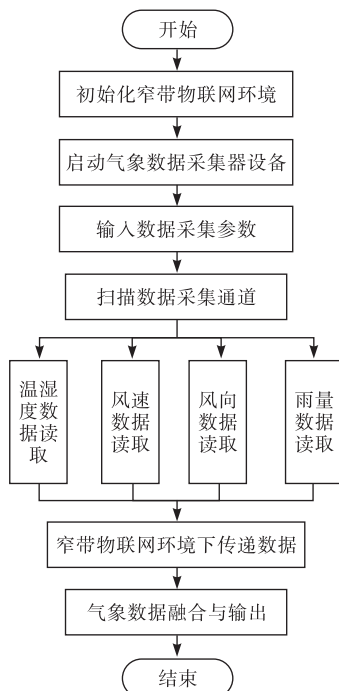


图4 NB-IoT 技术下气象数据采集流程图

根据气象数据采集要求设置并达到观测点位置,结合现场环境配置数据采集器的串口参数和采集参数,在相关参数的驱动下,利用采集器装置得出气象数据的初始采集结果,其中风速和风向数据的初始采集结果为:

$$\begin{cases} x_{\text{wind speed}} = \frac{\sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\Delta t_{\text{wind}}} \\ x_{\text{wind direction}} = \gamma \times \phi \end{cases} \quad (1)$$

式中:变量 W_x 和 W_y 分别为水平和竖直方向上的通风量, Δt_{wind} 为风速数据的采集检测时间, γ 和 ϕ 分别为分辨率和风向格雷码^[18]。

同理可以得出气象数据中温度和湿度数据的初始采集结果为:

$$\begin{cases} x_T = \frac{R - 100}{0.39} \\ x_{\text{humidity}} = \left(\frac{m_{\text{moisture}}}{V} \right) \times 100\% \end{cases} \quad (2)$$

式中: R 为采集器中温度传感器的内部电阻; m_{moisture} 和 V 为环境容积和水汽质量。

同理可以得出雨量气象数据的初始采集结果。在此基础上,利用 NB-IoT 技术将初始采集数据输入到数据处理器中^[19],最终得出的气象数据采集结果为:

$$x = \kappa_{\text{NB-IoT}} (x_{\text{wind speed}} + x_{\text{wind direction}} + x_T + x_{\text{humidity}} + x_{\text{rainfall}}) \quad (3)$$

式中: x_{rainfall} 为雨量气象数据的初始采集结果; $\kappa_{\text{NB-IoT}}$ 为窄带物联网环境下的数据传输系数。

将式(1)和式(2)的计算结果代入到式(3)中,即可得出气象数据的采集结果。

2.2 选择气象数据传输信道

气象数据通常具有一定的数据量,包括实时观测数据、模式预报数据等,考虑到数据传输的稳定和实时性,需要确保传输量不超过信道容量的负载能力,以免导致数据丢失或传输延迟^[20]。信道容量是指信道在单位时间内能够传输的最大数据量,考虑信道容量,即合理利用和分配有限的信道资源,确保数据传输的高效和可靠。而信道运行状态指信道的实时工作状况,包括噪声干扰、多径效应、遮挡等,这些因素会对信号质量造成影响,影响数据传输的可靠性,考虑信道运行状态,可以根据当前环境的信道质量对传输策略进行调整,如动态选择调制解调方式、信道编码等^[21]。因此,在有限的信道资源下,通过合理的数据传输量和信道容量的匹配,结合实时的信道运行状态,优化数据传输效果。避免数据传

输量过大导致拥塞和信号衰减,同时也避免信道容量未得到充分利用而导致带宽浪费。通过综合考虑并动态调整这3个因素,可以实现更高效、可靠的气象数据传输,提高数据传输的成功率和传输速度,从而保证气象信息的及时性和准确性^[22]。

综合考虑气象数据传输量、信道容量以及信道运行状态3个因素,选择当前气象数据的传输信道。气象数据的传输量计算公式如下:

$$N_x = \sum_{i=1}^{n_{\text{observation}}} x(i) \quad (4)$$

式中: $n_{\text{observation}}$ 为窄带物联网环境中装设的观测点数量。

气象数据传输环境中,任意信道 j 的容量值可以表示为:

$$R(j) = \frac{B}{\log_2(1 + \sigma)} \quad (5)$$

式中: B 为信道带宽; σ 为信道中信号与噪声之间的功率比。

在此基础上,通过对信道占用比的度量,判断当前信道的运行状态。信道占用比参数的计算公式为:

$$\lambda_{\text{occupy}}(j) = \frac{N_{\text{occupy}}(j)}{R(j)} \quad (6)$$

式中: $N_{\text{occupy}}(j)$ 为当前信道 j 中的传输数据量,也就是信道占用量。

若式(6)的计算结果高于阈值 λ_0 ,说明当前信道处于高负载状态,否则认为信道处于低负载状态^[23]。选择处于低负载状态的传输信道,计算低负载传输信道的剩余容量,得出气象数据传输信道的最终选择结果,可以量化表示为:

$$l_{\text{select}} = \begin{cases} l(j), R(j)(1 - \lambda_{\text{occupy}}(j)) - N_x > 0 \\ 0, R(j)(1 - \lambda_{\text{occupy}}(j)) - N_x \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

按照式(7)的表示方式,若信道中的剩余容量高于气象数据传输量,则选择该信道作为气象数据的传输信道,否则不选择该信道作为传输信道,重复上述操作,直至找到满足传输条件的信道为止。

2.3 实现气象数据传输控制

2.3.1 气象数据传输安全控制

气象数据传输安全控制就是降低传输环境中其他信号对传输进程产生的干扰,在气象数据传输过程中,传输干扰的抑制过程可以表示为:

$$Y = l_{\text{select}} \times \kappa_{\text{gain}} + b \quad (8)$$

式中: κ_{gain} 为信道增益系数; b 为信道干扰补偿

量,上述变量的具体取值由气象数据传输环境的干扰程度决定^[24]。按照上述方式,实现对选择气象数据传输信道的增益与干扰补偿,从而保证传输进程的运行安全。

2.3.2 气象数据传输速度控制

由于数据传输信道处于动态运行状态,因此气象数据在执行传输任务过程中选择的传输信道可能发生拥塞,降低数据的传输速度,此时需要对气象数据进行调度,数据调度量为:

$$N_{\text{dispatch}} = R(j) \times \delta \quad (9)$$

气象数据的调度目标信道需满足式(7)表示条件,并选择距离当前信道最近的信道作为气象数据的调度目标信道^[25]。将式(9)计算出的数据调度量切换至选择的目标信道中,继续执行传输操作,通过拥塞躲避实现气象数据传输速度的控制。

3 系统测试

为了测试优化设计的基于 NB - IoT 技术的气象数据传输控制系统对气象数据的传输控制效果,采用对比测试的方式设置系统测试实验。此次实验的基本思路为:在配置的实验环境下,以准备的气象数据样本作为控制对象,将其加入到传输环境中。在优化设计系统的控制作用下,对气象数据的传输进程以及传输结果进行监控,并通过相关指标的设定与测定,得出反映系统控制效果的测试结果。实验中设置的实验对比项分别为基于深度增强学习与子流耦合感知的数据传输控制系统和基于排队时延主动探测的数据传输控制系统,在相同的实验环境下,利用相同的开发工具实现对比系统的开发,保证实验变量的唯一性,最终通过不同控制系统下数据传输效果的对比,体现出优化设计系统在控制效果方面的优势。

3.1 准备气象数据样本

将气象数据采集器装设到多个观测点位置上,为保证气象数据之间的差异,要求任意 2 个气象数据采集器之间的距离不低于 50 km。利用气象数据采集器设备得出各个地区在实验时段内的气象数据。图 5 所示为 A 地区气象数据样本的准备情况,从图 5 中可以看出,样本为过去 7 天的气象数据,按照上述方式可以得出其他地区气象数据样本的准备结果,实验中设置的观测点数量为 8,准备的气象数据样本总量共 44 GB,按照气象数据来源将其分为 8 组。

气象数据样本							
A地区							
	07-01 周六	07-02 周日	07-03 周一	07-04 周二	07-05 周三	07-06 周四	07-07 周五
天气	阵雨	阵雨	多云	晴	晴	晴	小雨
风向	西北风	北风	东北风	南风	南风	南风	西北风
风速	4-5级	4-5级	4-5级	1-2级	1-2级	4-5级	2-3级
温度	22-30℃	24-34℃	22-30℃	21-29℃	22-32℃	22-33℃	20-30℃
湿度	62.5%	41.4%	25.2%	48.3%	50.5%	63.3%	68.7%
雨量	14mm	16mm	0mm	0mm	0mm	0mm	27mm

图 5 A 地区气象数据样本示意图

3.2 布设气象数据传输环境

整个气象数据传输与传输控制在无线通信网络中实现,准备多个客户端、ARM9 服务器、网关以及路由器作为通信网络的重要组成部分,设置的客户端均为气象数据的接收端,将气象数据采集器与存储器作为气象数据的发送端。通过通信网络各信道带宽的设置以及通信队列的设置,实现传输通信网络初始状态的设置。通信网络采用的协议为 802.11 g,信道错误模型为随机统一分布,网络中的拥塞链路 R3R4 带宽为 1 Mbps,普通网络信道的带宽为 54 Mbps,其余链路带宽为 20 Mbps,延时为 10 ms,网络中的节点使用 DropTail 进行排队。

3.3 安装并调试控制系统硬件设备

根据气象数据传输控制硬件系统的设计结果,将硬件设备安装到布设气象数据传输环境中,并对各个硬件设备在实验环境中的运行情况进行测试。图 6 为控制系统硬件设备的实际安装情况。



图 6 气象数据传输控制系统硬件设备安装实景图

在硬件设备安装过程中需要提前预留 SPI 接口和电源接口,硬件设备之间通过预留的接口、利用杜邦线进行连接。硬件设备调试的目的是保证设备之间的适配度,并根据控制系统的运行要求完成对设备的初始化操作。

3.4 描述系统测试过程

以 Linux 操作系统 Ubuntu10.04 为主系统,在主系统上进行了应用软件的开发。在 NB - IoT 技

术的基础上,对气象数据传输控制系统进行优化设计,需要有一套完备的开发工具,其中主要有:仿真器、JTAG 调试工具、DNW 串口下载工具及超级终端及交叉编译器等。该交叉编译器是在 Linux 平台上使用的。在嵌入式开发中,需要以主机为开发板,将基础的软件系统构建出来,并将其烧写到设备中。将准备的气象数据样本及数据传输任务逐一代入到开发的传输控制系统中,完成对气象数据传输进程的控制。图 7 为传输控制系统的运行界面。

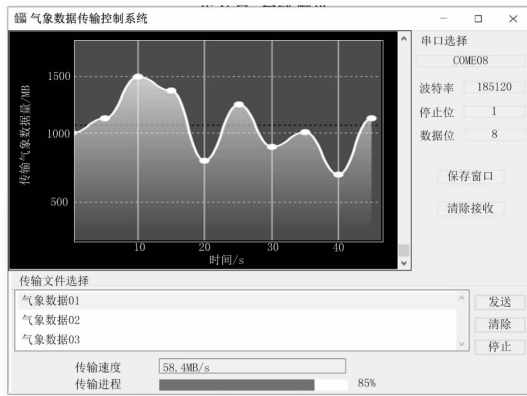


图 7 气象数据传输控制系统运行界面

按照上述方式完成实验中 2 种对比控制系统的开发,并得出对比控制系统作用下气象数据传输进程运行数据结果。

表 1 系统气象数据传输质量控制效果测试数据表

实验组别	传输气象数据量/GB	应用基于深度增强学习与子流耦合感知的数据传输控制系统		应用基于排队时延主动探测的数据传输控制系统		应用基于 NB-IoT 技术的气象数据传输控制系统	
		接收数据量/GB	误码量/GB	接收数据量/GB	误码量/GB	接收数据量/GB	误码量/GB
1	5.14	5.01	0.15	5.10	0.05	5.14	0.01
2	5.28	5.20	0.17	5.24	0.08	5.28	0.01
3	5.93	5.82	0.21	5.88	0.06	5.92	0.01
4	5.55	5.43	0.13	5.51	0.07	5.55	0.02
5	5.31	5.22	0.14	5.26	0.11	5.30	0.01
6	5.71	5.64	0.15	5.67	0.06	5.70	0.01
7	5.44	5.28	0.20	5.37	0.12	5.44	0.02
8	5.64	5.40	0.23	5.58	0.09	5.64	0.01

将表 1 中的数据代入到式(10)中,计算得出 2 种对比控制系统下气象数据传输的平均丢失率分别为 2.27% 和 0.89%,平均误码率分别为 3.13% 和 1.46%,而优化设计的控制系统下气象数据传输丢失率和误码率的平均值分别为 0.07% 和 0.22%。

3.6.2 气象数据传输速度控制效果

通过相关数据的统计以及式(11)的计算,得出反映系统传输速度控制效果的测试结果,如图 8 所示。

3.5 设置系统测试指标

根据气象数据传输控制系统的优化设计目的,分别从传输质量和传输速度 2 个方面进行测试,设置传输数据丢失率和误码率作为传输质量的测试指标,上述指标的数值结果为:

$$\begin{cases} \eta_d = \left(\frac{n_{\text{transmission}} - n_{\text{receive}}}{n_{\text{transmission}}} \right) \times 100\% \\ \eta_w = \left(\frac{n_{\text{Error code}}}{n_{\text{transmission}}} \right) \times 100\% \end{cases} \quad (10)$$

式中: $n_{\text{transmission}}$ 、 n_{receive} 和 $n_{\text{Error code}}$ 分别为传输的气象数据量、实际接收数据量和误码数据量。

最终计算得出的丢失率和误码率越高,说明对应系统的传输速度控制效果越优。设置传输时延作为传输速度控制效果的量化测试指标,该指标的测试结果为:

$$\tau = t_{\text{wait}} + t_{\text{transmission}} \quad (11)$$

式中: t_{wait} 和 $t_{\text{transmission}}$ 分别为气象数据传输的等待时间和传输执行时间。计算得出传输时延取值越大,说明对应系统的传输速度控制效果越优。

3.6 系统测试结果与分析

3.6.1 气象数据传输质量控制效果

在 3 种控制系统作用下,收集气象数据传输任务的运行状态数据,得出反映系统对气象数据传输质量控制效果的测试结果,如表 1 所示。

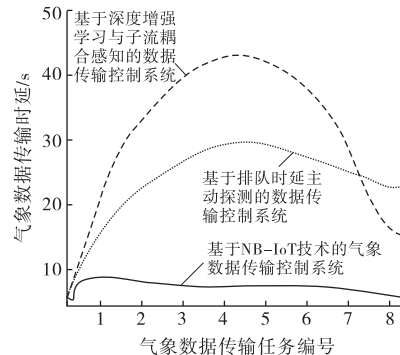


图 8 气象数据传输速度控制效果测试结果

从图 8 中可以直观的看出,与 2 种对比系统相比,在优化设计系统的控制作用下,气象数据的传输时延更小,即传输速度控制效果更优。

4 结语

气象数据对于预测天气具有重要意义,气象数据的准确性和时效性直接影响天气的预测质量,在此次研究中通过 NB-IoT 技术的应用,实现气象数据传输控制系统的优化设计,并取得良好的控制效果。

参考文献:

- [1] 严朝阳,方飞,曹宾,等. 基于 LoRa 的物联网数据传输系统研究与设计[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2021,33(03):354-363.
- [2] 宋树礼,陈冬冬,王柏林. 基于 ZigBee 协议地面气象观测原型站无线传输系统设计[J]. 气象科技,2021,49(01):144-147.
- [3] 秦久人,许长桥,杨树杰,等. 基于深度增强学习与子流耦合感知的多路传输控制机制[J]. 电子学报,2022,50(02):346-357.
- [4] 舒帅,汤宝平,黄艺,等. 机械振动 WSN 大量数据自适应传输控制方法[J]. 振动与冲击,2023,42(04):263-269.
- [5] 刘尚昆. 宽带卫星网络多媒体大容量数据短延传输方法[J]. 电视技术,2022,46(12):146-151.
- [6] 周小玲,付银莲. WSN 中的最大冗余丢弃和覆盖传输拥塞控制[J]. 计算机工程与设计,2021,42(07):1844-1850.
- [7] 赵勇,王瑜,李全景,等. 基于云平台的气象数据智能监控系统设计与应用[J]. 电子设计工程,2023,31(02):77-81.
- [8] 赵静静,衷璐洁. 基于排队时延主动探测的多路传输拥塞控制[J]. 计算机工程与设计,2021,42(03):628-635.
- [9] 乔钰,胡晓辉,曹乐. 基于局部密度预测的传输参数自适应拥塞控制策略[J]. 计算机工程,2021,47(12):185-191+199.
- [10] 赖涵光,李清,江勇. 基于场景变化的传输控制协议拥塞控制切换方案[J]. 计算机应用,2022,42(04):1225-1234.
- [11] 程前,王福平. 基于往返时延梯度的多路径拥塞控制算法[J]. 计算机工程与设计,2023,44(04):1027-1034.
- [12] 王龙翔,董凯,李小轩,等. 面向虚拟数据空间的智能 TCP 拥塞控制算法[J]. 西安交通大学学报,2021,55(05):83-91.
- [13] 罗淦,余华兵,余海瑞,等. 基于无线数传技术的无人船控制系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2023,31(03):134-139.
- [14] 赵静静,田延飞. 基于 NB-IoT 和 OTA 的云上智能井盖监控系统设计[J]. 计算机测量与控制,2023,31(06):123-129.
- [15] 杨少龙,黄金,李伟超,等. 基于北斗压缩编码传输的海气界面监测系统[J]. 中国航海,2023,46(01):66-72.
- [16] 彭铎,牛成群,张腾飞. 基于 WSN 技术的高空数据采集系统的设计[J]. 国外电子测量技术,2022,41(05):159-164.
- [17] 傅桂霞,万隆,宋恺,等. 面向局部定点区域的微型气象监测系统设计与试验研究[J]. 科学技术与工程,2021,21(33):14200-14208.
- [18] 田光普. 自动气象站无线通信技术的应用研究[J]. 电子测量技术,2021,44(07):154-158.
- [19] 成兆金,庄立伟,张媛媛,等. 农业气象测报业务系统上传数据文件格式和传输方式的改进[J]. 中国农业气象,2021,42(03):243-249.
- [20] 廖伟志,张文强,吕清泉,等. 基于 4G 的高分辨率气象监测系统研究与设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2021,44(01):42-46+117.
- [21] 韩琛晔. 基于 STM32 嵌入式微处理器的农业气象物联网数据采集系统设计[J]. 现代电子技术,2020,43(05):10-13+18.
- [22] 王洪辉,卓天祥,魏超宇,等. 地质灾害监测 NB-IoT 数据传输系统研制[J]. 中国测试,2019,45(05):121-127.
- [24] 范继,毋丹芳,刘晓旭. NB-IoT 场景下业务数据碎片化现象研究与优化[J]. 计算机仿真,2020,37(10):286-290+296.
- [25] 聂琿,陈海峰. 基于 NB-IoT 环境监测的多传感器数据融合技术[J]. 传感技术学报,2020,33(01):144-152.