

基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统设计

贾璐

(上海电子信息职业技术学院 世赛学院, 上海 201411)

摘要: 为提高 5G 通信下行信道的传输稳定性, 提升传输控制系统存在的控制效果, 设计并开发了基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统; 改装 DSP 协处理器、通信数据采集器以及信道传输控制器, 完成硬件系统的优化; 根据信道的空间结构和工作原理, 构建通信下行信道模型, 判定通信下行信道实时状态; 在该模型下, 采集通信下行信道的实时传输数据, 根据信道的聚合等级, 分配信道传输资源; 最终从信道增强、发送/接收端、传输干扰、传输速度等方面, 实现系统的传输控制功能; 通过系统测试实验得出结论, 设计系统的传输速率控制误差平均值为 4.6 MB/s、信道传输平均丢包量为 0.024 GB、信道拥塞概率平均值为 30.69%, 均有所降低, 即设计系统在传输控制功能方面更具优势。

关键词: 聚合等级; 5G 通信; 下行信道传输; 传输控制系统

Design of 5G Communication Downlink Channel Transmission Control System Based on Aggregation Level

JIA Lu

(World Skills Competition College, Shanghai Technical Institute of Electronics Information, Shanghai 201411, China)

Abstract: In order to improve the transmission stability of the 5G communication downlink channel and the control effect of the transmission control system, a 5G communication downlink channel transmission control system based on the aggregation level is designed and developed. The DSP co-processor, the communication data collector and the channel transmission controller are modified to complete the optimization of the hardware system. According to the spatial structure and working principle of the channel, the communication downlink channel model is constructed and the real-time status of the communication downlink channel is determined. By using this model, the real-time transmission data of the communication downlink channel is collected, and the channel transmission resources are allocated according to the aggregation level of the channel. Finally, the transmission control function of the system is realized from the aspects of channel enhancement, sending/receiving end, transmission interference and transmission speed. Through the system test experiments, it is concluded that the average transmission rate control error of the designed system is 4.6 MB/s, the average packet loss in the channel transmission is 0.024 GB, and the average channel congestion probability is 30.69%, all of which are reduced. The designed system has more advantages in the transmission control function.

Keyword: polymerization grade; 5G communication; downlink channel transmission; transmission control system

0 引言

5G 技术作为第五代移动通信技术, 具有高速、低时延等特性, 是实现人与人之间的互联互通的新一代移动通信技术。从移动通信发展的规律出发, 5G 技术无论是在传送速度上, 还是在资源使用上, 都要远远超过 4G。同时, 应用 5G 技也将明显提高无线网络的覆盖率、系统的安全性以及用户的使用体验^[1]。根据一些专家和学者的分析, 5G 在无线技术和资源利用方面, 将会比 4G 快十倍。而且, 随着新技术的应用, 通信网络的智能化程度也会提升 25 倍。5G 通信技术在为人们带来便利的同时, 也给通信信道提出了更高的要求。

通信信道是指数据传输的通道, 一般来讲, 通信信道

可以分为上行信道和下行信道, 其中, 下行信道也就是输出信道, 具体包括下行专用物理信道、物理下行共享信道等类型, 不同类型的下行物理通道的作用各不相同, 但是它们之间存在着某种关联, 它们之间的相互协作, 确保了整个系统的正常运行。通过对下行链路的控制, 可以加快用户的数据传递, 为用户提供更好的服务, 满足用户的某些需求。为了提高通信信道的应用效率、为 5G 通信技术提供支持, 设计并开发了 5G 通信下行信道传输控制系统。

当前通信下行信道传输控制系统已经取得了一定的研究成果。文献 [2] 设计了基于云计算的分布式大数据多通道并行控制系统。系统由分布式大数据多路数据存储处理模块同步存储数据单元和数据多路实时处理单元组成; 多

收稿日期: 2022-02-21; 修回日期: 2022-03-29。

作者简介: 贾璐 (1963-), 女, 江苏如皋人, 硕士, 副教授, 主要从事通信技术方向的研究。

引用格式: 贾璐. 基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(8): 90-95, 102.

路并行控制模块主要由多路并行管理单元、多路由状态扫描单元和生成数据流单元组成，实现分布式大数据多通道并行控制。然而通过系统应用反馈发现，现有的传输控制系统存在控制效果不佳的问题，主要体现在传输数据丢失、传输速度控制误差大、通信下行信道传输拥塞事故频发等方面。

针对当前现有 5G 通信下行信道传输控制系统出现控制效果不佳的问题，本文设计了基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统，实现对传输控制系统的优化设计，以期能够提升系统的信道传输控制效果。

1 5G 通信下行信道传输控制硬件系统设计

1.1 DSP 协处理器

DSP 的主要功能模块包括：流量管理模块、PKTDMA 模块和 128 比特数据流交换机，内部具体结构如图 1 所示。

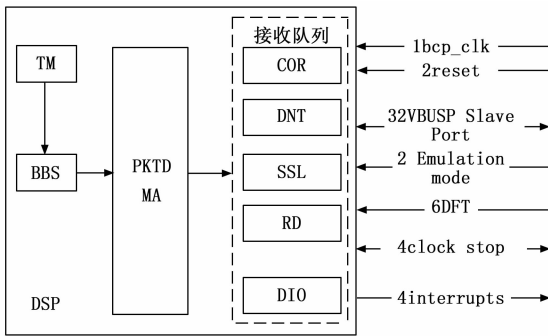


图 1 DSP 协处理器结构框图

在 DSP 协同处理程序中，可以将数据作为数据流或分组传输至 PKTDMA。DSP 的各个功能模块均与数据流交换机连接，DSP 在使用各个功能模块时，先对包头进行配置，再由 TM 模块将包头数据传输到 BSS 模块，BSS 模块按照包头的次序向各个模块发送数据包。然后，当某一子模块完成对该数据的处理后，该包头的相关信息被删除，产生新的数据包，并将其传输给 BSS 模块。在配置信息分析完毕后，BSS 对下一包头的信息进行识别，然后将该信息传递给下一组进行处理。这样，当包头包含的全部模块都对数据进行了处理，最后的数据由 PKTDMA 传送给接收队列，而接收队列则可以利用累积队列来监听生成一个中断，并告知 CPU 的工作内容。

1.2 通信数据采集器

传统 5G 通信下行信道传输控制系统的数据采集器选用的是 4 路采集通道，可以采集电流型和电压型的通信数据。然而由于 5G 通信信道数量较多，使用传统的 4 路采集器会存在采集时间长的问题。因此在现有采集器的基础上，扩大采集通道数量至 8 路，扩展后的通信数据采集通道原理如图 2 所示。

在优化设计的数据采集器中内置一个 TLC2543 芯片，该芯片能够实现多通道数据的整合，并将任意通道的电流信号转换为电压信号，保证数据信号的格式统一。

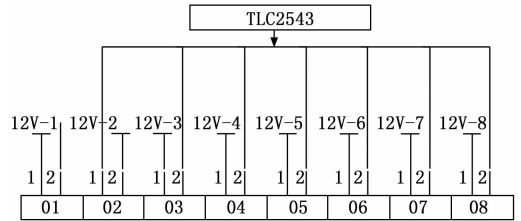


图 2 通信数据采集通道示意图

1.3 信道传输控制器

信道传输控制器是控制系统软件控制程序的主要运行环境，用来产生控制信号并作用在相应信道对象上^[4]。以提高信道传输控制效果为目的，在传统控制器的基础上进行优化，优化后控制器的运行原理如图 3 所示。

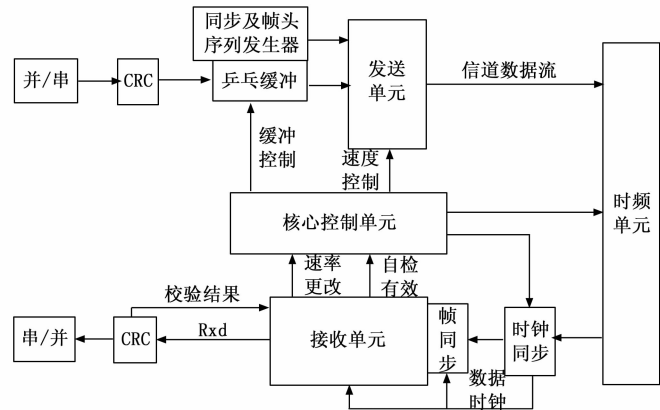


图 3 信道传输控制器运行原理图

接收模块的设计如图 3 所示，其核心是从所接收的数据流中抽取时钟同步，从而确保了数据的恢复。同步模块通过取样的方法来恢复数据时钟，采集到的同步序列片段后，再标注出最优的样本，用于对剩余的数据进行识别，当确定帧标题和校验号正确后，将接收到的指令发送给 DSP 协同处理单元^[5-7]。

2 5G 通信下行信道传输控制系统软件功能设计

2.1 构建通信下行信道模型

根据通信下行信道的空间和运行特点，构建相应的信道模型^[8-9]。物理信道是频分和时分组合，一个信道传输子帧中包含两个连续的时隙，对于子帧 i 来说，时隙的编号是 $2i$ 和 $2i+1$ 。在 5G 通信下行信道空间结构下，可以得出其在工作状态的冲激响应表达式为：

$$\mathbf{H}(\tau, t) = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}} \gamma(t) \delta(\tau) + \sum_{n=1}^N \mathbf{H}_n(t) \delta(t - \tau) \quad (1)$$

式中， t 和 τ 分别为通信时长和时延，变量 $\gamma(t)$ 、 $\delta(\tau)$ 对应的是信道矩阵系数和狄拉克函数，参数 κ 和 N 分别表示莱斯因子和 5G 通信网络中的信道数量，另外 $\mathbf{H}_n(t)$ 代表通信信道天线矩阵，其表达式如下：

$$\mathbf{H}_n(t) = (h_{u,s,n}(t)) \quad (2)$$

其中： $h_{u,s,n}(t)$ 为 5G 通信下行信道的传输信息，角标 u, s 和 n 分别为数据传输方向、相位和占用信道数量^[10]。将

上述信道运行原理与构建的通信下行信道空间结构模型进行融合, 得出最终的通信下行信道模型构建结果。

2.2 判定通信下行信道实时状态

一般来讲通信下行信道的状态可以分为空闲、占用和停用 3 种, 其中空闲表示的是信道当前未执行任务传输任务, 占用指的是信道正处于执行传输任务阶段, 而停用表示的是当前下行信道处于异常状态, 短期时间内不能执行传输任务。通过通信下行信道实时状态的判定, 可以确定系统的传输控制程序的执行范围^[11]。在判定过程中, 假设信道信息都存在于 L_{cp} 中, 采用最小二乘估计方法得到的傅里叶转换到时间域, 在时间域设定合适的门限, 保持比 L_{cp} 长的阈值更高的取样点, 把低于门限的样本归零, 再把它恢复到频率域, 最终得到全通信下行信道的状态信息, 记为 S_i 。然而 5G 通信下行信道的状态会根据传输任务实时发生变化, 因此需要计算信道状态转移概率, 计算公式如下:

$$\begin{cases} P = (p_{i,j})_{m \times m} \\ p_{i,j} = (S_{k+1} = j \mid S_k = i), 1 \leq i, j \leq m \end{cases} \quad (3)$$

式中, 变量 $p_{i,j}$ 为下行信道在时隙 k 处的状态转移概率, P 为状态转移概率矩阵^[12]。综合考虑当前信道状态信息以及转移概率的计算结果, 可以得出通信下行信道任意时刻的状态判定结果。

2.3 采集与处理 5G 通信下行信道传输数据

一个 5G 通信下行信道传输的信号定义为 $X(t)$, 为保证采集到的原始数据信号不失真, 取样频率应严格超过 $2f$ 。信道的数据获取分为两个阶段, 第一阶段是取样, 即把接收到的信号通过取样电路转换成数字信号。第二步是恢复, 即把离散的数字信号恢复为原来的模拟信号。由于初始仿真信号在时间上不断地改变, 因此取样的方法是在时域内以 t 为单位的时间间隔获取原始模拟信号的数值, 设定取样间隔的范围为 $[0.1 \text{ ms}, 1 \text{ ms}]$ 。在对信号进行取样后, 会产生一系列的数值, 每个数值表示在特定的取样时间内信号的量化数值^[13]。如果取样频率足够高, 也就是取样时间 t , 取样值就会含有完整的资料。从这一点出发, 重构信号实际上就是对所获取的数据进行差值运算, 即根据离散的数据 $x[n]$, 通过数学变换来计算出连续的信号 $x(t)$, 具体的差值处理过程如下:

$$x(t) = x(t) + (x(t+1) - x(t)) \times \frac{x[n] - x[n-1]}{x[n+1] - x[n-1]} \quad (4)$$

将所有的离散采样数据代入到公式 (4) 中, 将其转换为连续信号, 并通过与初始采集数据的融合, 完成信道传输数据资源的采集与处理工作。

2.4 根据聚合等级分配信道传输资源

不同类型和大小的传输资源需要选择合适的下行信道, 在剔除停用信道的情况下, 根据信道的聚合等级实现传输资源的分配^[14]。聚合等级主要就是信道中子帧之间的聚合程度等级, 不同等级的信道对应的码率和抗干扰性不同。

将 5G 通信下行信道的聚合程度分为 4 个等级, 具体的等级划分情况及其与子帧、承载量之间的关系, 如表 1 所示。

表 1 通信下行信道聚合等级数据表

信道聚合等级	聚合子帧数量/个	源元素组的数目/个	信道承载数据包数量/个
1	1	9	6
2	2	18	12
4	4	36	24
8	8	72	48

从表 1 中可以看出, 每一条通信下行信道由 1、2、4 或 8 个子帧组成, 每一个子帧中都含有 6 个 REG 捆绑, REG 绑定是指当控制资源集合进行交错时的交错单元, REG 绑定由 6 个 REG 构成, 而 REG 的大小则对应于一个时域的符号, 等于信道承载容量的数值, 也就是在频域中占有 12 个资源单位^[15]。在资源分配之前首先选择合适的信道聚合等级, 即要求选择的信道满足如下关系式:

$$\tilde{\beta}_{j,n} \geq \beta_{\sum j,n}^{\beta} \quad (5)$$

式中, $\tilde{\beta}_{j,n}$ 和 $\beta_{\sum j,n}^{\beta}$ 分别表示选择的信道聚合等级以及聚合等级 $\sum j,n$ 和用户的 DCI 格式对应的误块率及信号与干扰加噪声比^[16]。以采集并处理完成的信道传输数据作为待分配资源, 按照传输数据资源的优先级进行信道分配, 利用哈希函数, 可以求出满足传输资源相应搜索空间中的全部通讯下行链路候选集, 在符合条件的情况下, 将其相应的通道作为资源的发送通道, 如果被占用, 则选择下一个候选集, 直至使用者已成功地指定或遍历空间中的候选集尚未成功时, 资源分配结束。

2.5 实现 5G 通信下行信道传输控制

以分配的传输资源和 5G 通信下行信道作为控制对象, 在控制器设备的支持下, 实现系统的传输控制功能。

2.5.1 信道增强控制

信道增强控制的目的是降低数据资源在传输过程中产生的路径损耗, 最大程度保证数据的传输正确性, 减少数据传输丢失量。在自由空间下, 数据传输产生的路径损耗可以表示为:

$$L_{\text{route}} = P_{\text{send}} - P_{\text{receive}} + G_t + G_r \quad (6)$$

式中, P_{send} 、 P_{receive} 、 G_t 和 G_r 分别为发送功率、接收功率及发送与传输过程中产生的信道增益。采用波束扫描的方式, 对 5G 通信下行信道进行增强控制, 波束扫描采用了模拟波束赋形与数字预编码相结合的方法, 模拟波束赋形使用了二维子阵分割技术, 将一块平板上的天线分成两个方向, 在竖直方向和横向方向上进行波束赋形, 再利用克罗内克积为端口, 将信号从一端到一块板的虚拟矩阵^[17]。而在数字预编码中, 利用奇异值分解技术, 利用选取的模拟接收波束, 进行数字预编码。在各种极化方向土壤、不同的仿真波束、信道信息下, 其奇异值的分解效果各不相同, 因此可以根据公式 (6) 计算出的路损值确定波束扫描强度参数, 保证信道的精准增强效果。

2.5.2 信道数据发送/接收端控制

通信数据的传输主要包括数据发送、信道传输和数据接收 3 个步骤,无控制下的数据发送流程如图 4 所示。

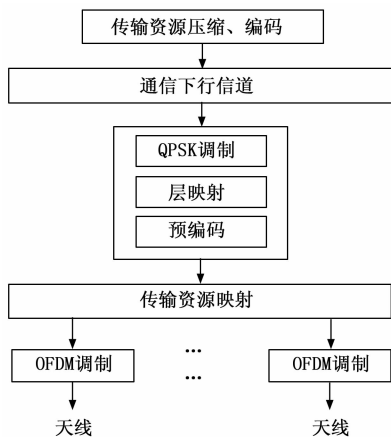


图 4 通信下行信道数据发送流程图

同理可以得出无控制下信道数据接收流程。在此基础上,分别针对发送和接收模块编写控制程序。在传送数据前,由帧同步发生模块所产生的训练代码和帧首数据流传送到射频段,从 SRAM 中读出传送的数据,经过并行一串变换装置,输入到通道控制器,执行 16 比特 CCITT-CRC 的编码,再利用多项式生成序列加扰码,以码率传送到射频单元。整个传输过程都是通过基带处理器控制器来实现的^[18]。由于系统中高速的数据传送速度与无线通道所能承受的较低的速率,因此,需要在一定程度上兼顾调整码率、识别多个用户的能力,并在一定程度上限制了区域和功率消耗。传输缓冲区使用了两个缓冲区来进行乒乓运算,构成码型的调制模块可以按实际需求进行调换。在传输时,由基带控制模块产生训练序列和帧头,并加入验证码。验证码用于对多个使用者之间的数据传输进行区分。另外,为了直接改变编码率调节指令,还要执行传输的数据率控制。而接收模块控制主要就是完成信号的解调工作,具体的信号解调过程可以表示为:

$$r(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot \lambda(y(m))) \quad (7)$$

式中, $y(m)$ 和 $r(m)$ 分别为接收端的实际接收数据和解调处理结果, λ 为解调系数。由此完成对通信信道发送端和接收端的控制。

2.5.3 信道传输干扰控制

受到多个 5G 通信下行信道的相互影响,信道内部可能会出现干扰信号,这也是导致传输数据丢失的关键因素之一。因此在信道执行传输任务过程中,需要检测信道中是否存在干扰,并对干扰信号进行抑制控制。利用周期特性检测方式,即利用信号与噪声的差异性,对其进行了周期平滑分析。在通讯系统中,由于信号的采集、调制等过程会使信号的统计特征发生显著的周期性变化,而噪声是一种稳定的信号,它的统计特征没有周期性,因此可以利用

周期平滑特征对信号进行识别。公式 (8) 表示了 5G 通信下行通道的噪声信号原理。

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{t-T}^{t+T} \frac{1}{T} \left(\int_{t-T}^{t+T} x_i(u) e^{-j2\pi fu} du \right) (t, f) dt \quad (8)$$

式 (8) 中,变量 T 、 f 和 t 分别代表周期、频率和检测时间, $x_i(u)$ 为实时通信信号。最终计算得出 $S(f)$ 的值为 0,表示当前通信下行信道中无噪声信号,否则证明当前信道存在噪声信道,且信号的干扰度可以表示为:

$$\text{Int } \phi(c) = \sum n(c) \times \omega_i(j) \quad (9)$$

其中: $n(c)$ 和 $\omega_i(j)$ 分别为噪声信号及其所在信道的权重值。最终针对存在噪声信号的信道采用前向连续均值消除的方式进行噪声抑制控制,对无干扰信道的干扰功率进行统计,设置控制门限值,之后将信道干扰度与设置门限值进行比较,将低于阈值的信道视为无干扰信道,大于阈值的信道被视为干扰信道,随后未受到干扰的信道干扰度并重新计算门限值重新比较,直到未受到干扰的信道数目固定不变^[19]。

2.5.4 信道传输速率控制

采用多通信信道并行传输的方式,实现 5G 通信下行信道传输速度的控制。将命令发送到分布式大数据多通道数据存储和处理模块中的管理 RF 状态机,读取分布式大数据传送通道中的数据,加快数据的处理和传送,并对数据进行管理,使得数据可以多通道并行传输。在完成了这些数据的处理之后,多通道并行管理单元会再次发出命令,允许通道的正常工作^[20]。在此期间,必须对各通道进行持续的扫描,一旦发现了超负荷的通道,必须马上进行相应的处理,防止对其他分布的大数据通道造成干扰,同时保证多个分布的大数据传输通道可以同时并行,从而避免在大容量分布式数据传输中发生的传输差错和通道冲突,从而间接地控制信道的传输速度。

3 系统测试

以测试设计的基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统的控制效果为目的,设计系统测试实验,采用黑盒测试的方式判断系统的控制功能是否能够正常使用,并通过与传统信道传输控制系统的对比,体现出设计系统在控制功能方面的优势。

3.1 搭建 5G 通信下行信道研究对象

此次系统测试实验选择某市的 5G 通信网络作为研究背景,通信网络采用无线的方式布设全市。选择的 5G 通信网络选择中共包含 3 746 条长短不等的信道,包括下行物理共享信道、广播信道等多种类型,各个信道之间通过交换机连接,实现数据类型的转换,为数据的安全稳定传输提供支持。为了降低系统测试实验的工作量,选择该市某一区域的 20 条通信下行信道作为研究对象,该区域信道的平均带宽和子载波带宽分别为 25 MHz 和 15 MHz,不同位置上的信道带宽会存在细微差异。通信下行信道研究对象的载波频率均为 6 GHz,调制阶数等级为 QPSK,子帧大小均

为 3 RB, 包含 1、2、4 和 8 共 4 种类型的聚合等级信道。

3.2 准备下行信道传输数据样本

收集 2021 年 12 月该市多个通信网络数据库中的数据作为系统测试实验的传输数据样本, 并将其划分成多个下行信道传输任务, 具体的任务设置情况, 如表 2 所示。

表 2 下行信道传输任务设置表

传输任务编号	传输数据来源	传输数据类型	数据包大小/GB
1	ACCESS01	文本	1.92
2	4G database	语音、视频	30.94
3	ACCESS01	数字	2.03
4	4G database	语音、文本	21.36
5	4G database	图像、文本	18.28
6	MOUDLE	图像	16.84
7	ACCESS01	文本、数字	5.75
8	MOUDLE	语音、视频	33.79

将准备的传输数据样本转换成信道可以直接处理的形式, 并将其保存到系统运行环境中。在此基础上根据不同传输数据的特征与需求, 设置其传输数据, 并以此作为系统的传输控制目标。

3.3 设置系统测试指标

此次系统测试实验主要针对系统的传输控制功能进行测试, 设置的测试指标分别为传输速率控制误差、传输数据丢失量、传输拥塞概率。其中传输速率控制误差反映了系统的速率控制效果, 该指标的数值结果为:

$$\epsilon_v = \sum_{i=1}^{num} |v_{control-i} - v_{act-i}| \quad (10)$$

式中, 变量 $v_{control-i}$ 和 v_{act-i} 分别表示通信下行信道 i 的控制目标速率值和实际传输速率值, 可以通过调取系统后台数据直接得出, 参数 num 代表该传输任务需要占用的信道数量。传输数据丢失量用来验证控制系统对 5G 通信下行信道干扰的控制效果, 传输数据的丢失量越大, 证明信道的干扰控制效果越差。传输数据丢失量测试指标的量化结果可以表示为:

$$Loss = \sum_{i=1}^{num} W_{send} - W_{receive} \quad (11)$$

式中, W_{send} 和 $W_{receive}$ 分别对应的是发送端数据量和实际接收数据量。此外, 传输拥塞概率指标反映了系统发送端/接收端以及并行控制效果, 该指标的数值结果表达式如下:

$$\eta_{congestion} = \frac{W_{conflict}}{W_{suc}} \times 100\% \quad (12)$$

其中: $W_{conflict}$ 和 W_{suc} 为单位时间内信道传输发生冲突和正常发送的数据总数。最终计算得出的 ϵ_v 、 $Loss$ 和 $\eta_{congestion}$ 取值越小, 说明对应通信下行信道传输控制系统的控制功能越优。

3.4 描述系统测试过程

按照硬件系统的优化设计结果搭建硬件实验环境, 并通过调试保证所有的硬件设备在实验环境中均能够正常运

行。除了硬件系统设备外, 在实验环境中加设一个代码调试器, 为用户提供 DSP 代码调试的集成开发软件, 该软件具备良好的实时分析和源代码编写等功能。系统的软件部分使用了 c# 开发的 Winform Windows 操作系统。可以完成 16 个串口的测试, 并统计接收的数据统计和正确率。在配置好的实验环境中, 将设计系统的软件功能转换成程序代码, 直接导入到主测计算机中得出系统运行界面。逐一调取准备好的下行信道传输数据样本, 同时启动通信传输与传输控制程序, 由于设计系统应用了聚合等级的概念进行信道选择, 其中编号 1 传输任务的选择结果如图 5 所示。

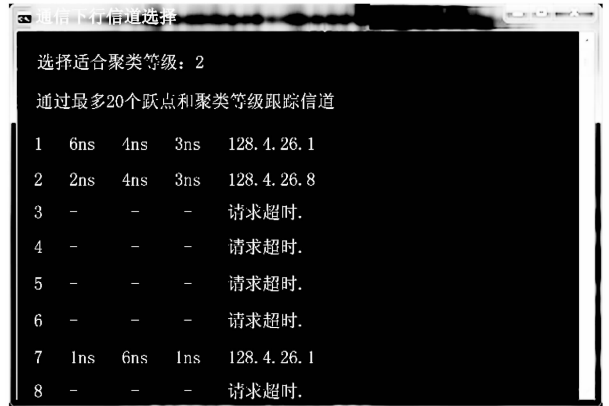
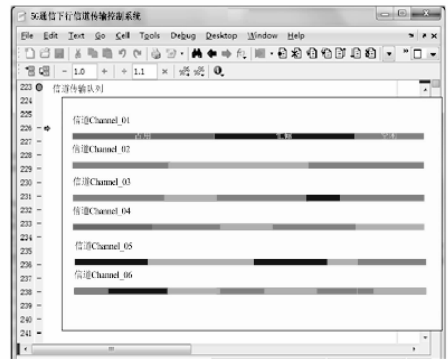


图 5 通信下行传输信道选择结果

同理可以得出其他传输任务的信道传输结果, 进而得出最终的下行信道传输与控制结果, 如图 6 所示。



(a) 信道传输队列



(b) 通信下行信道传输任务执行界面

图 6 5G 通信下行信道传输控制结果示意图

在系统运行过程中记录发送数据量、接收数据量、冲突数据量等参数。为了体现出设计系统的控制功能优势，实验设置文献 [2] 提出的基于 A3C 的信道传输控制系统作为实验的对比系统，按照上述流程执行相应的传输与控制操作，并得出相应的测试结果。在系统的运行测试过程中，需要保证输入的传输任务数据以及通信下行信道研究对象均相同，从而保证系统测试实验变量的唯一性。

3.5 系统测试结果分析

3.5.1 信道传输速率控制效果分析

通过信道传输速率的测定以及数据的可视化转换，对表 2 中的下行信道传输任务进行传输控制，得出反映信道传输速率控制效果的测试结果，并应用公式计算式 (10) 计算传输速率控制误差，如图 7 所示。

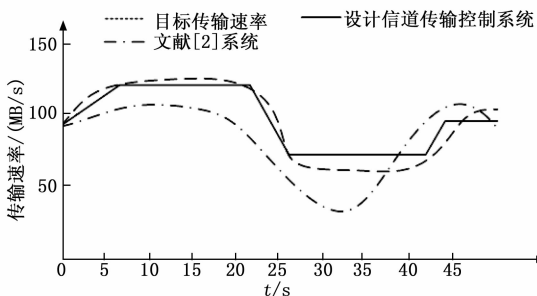


图 7 信道传输速率控制效果测试对比结果

将图 7 中的数据代入到公式 (10) 中，可以计算得出文献 [2] 系统和设计控制系统传输速率控制误差的平均值分别为 15.7 MB/s 和 4.6 MB/s。由此可见，应用设计的信道传输控制系统可大幅降低传输速率控制误差，提升信道传输速率控制效果。

3.5.2 信道传输丢包量统计分析

统计每次传输任务的发送与接收数据量，得出两种控制系统应用下，信道传输丢包量的测试统计结果，如表 3 所示。

表 3 信道传输丢包量统计结果

传输任务编号	发送数据量/GB	文献[2]系统下的接收数据量/GB	设计控制系统下的接收数据量/GB
1	1.92	1.85	1.90
2	30.94	30.84	30.92
3	2.03	1.97	2.01
4	21.36	21.22	21.34
5	18.28	18.19	18.25
6	16.84	16.76	16.82
7	5.75	5.63	5.72
8	33.79	33.71	33.76

3.5.3 信道拥塞概率测试分析

在信道执行传输任务过程中，观察传输数据流的实时状态，统计冲突数据量以及正常传输数据量，得出信道拥塞概率测试结果数据，如表 4 所示。

表 4 信道拥塞概率测试结果数据表

信道编号	文献[2]系统		设计 5G 通信下行信道传输控制系统	
	发生传输冲突数据量/GB	正常传输数据量/GB	发生传输冲突数据量/GB	正常传输数据量/GB
Channel_01	0.28	10.78	0.05	11.01
Channel_02	0.47	18.94	0.13	19.28
Channel_03	0.76	21.44	0.18	22.02
Channel_04	0.93	22.61	0.21	23.33
Channel_05	0.61	15.37	0.14	15.84
Channel_06	0.44	14.85	0.06	15.23

通过公式 (12) 的计算，得出文献 [2] 系统系统和设计控制系统下，信道拥塞概率平均值的测定结果分别为 3.28% 和 0.69%。从上述测试结果数据中可以看出，设计控制系统下信道传输速率控制误差、传输丢包量以及信道拥塞概率均低于对比控制系统，即设计的基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统具有更佳的控制效果。

4 结束语

综上所述，通过聚合等级概念的提出与应用，有效提升了对 5G 通信下行信道传输控制效果，对于 5G 通信技术的推广与全面覆盖提供有效支持。将基于聚合等级的 5G 通信下行信道传输控制系统应用到实际工程中，实现 5G 时代网络信息的快速传输。

参考文献：

- [1] 刘文豪, 王衍文, 刘人境, 等. 5G 移动通信系统的下行控制信道传输 [J]. 电讯技术, 2020, 60 (4): 433-438.
- [2] 李玉亭. 云计算环境下分布式大数据多信道并行控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (10): 116-119, 134.
- [3] 王江汉. 5G 移动通信系统的下行控制信道传输研究 [J]. 科技经济市场, 2021 (8): 32-33, 35.
- [4] 桑 健, 周 婷, 金彦亮. D2D 通信中信道分配的智能优化算法研究 [J]. 工业控制计算机, 2021, 34 (7): 117-119.
- [5] 刘旭阳. 5G 通信信道估计和均衡方法研究 [J]. 通信技术, 2020, 53 (11): 2653-2657.
- [6] 魏贵明, 张 翔, 郭宇航, 等. 5G 信道建模与性能测试方法 [J]. 电信科学, 2021, 37 (2): 15-21.
- [7] 李 欢, 许 越, 孟凡博, 等. 变电站内 5G 终端通信信道建模与分析 [J]. 光通信研究, 2021 (1): 63-66.
- [8] 陈 斐, 赵 强. 基于窄带 PLC 自由通信的信道噪声消除算法 [J]. 自动化技术与应用, 2021, 40 (9): 61-65.
- [9] 王 艳, 薛 晨, 焦彦军. 中压配电网 PLC 信道正反向传输特性分析 [J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35 (3): 127-134.
- [10] 张爱雪. 传输控制技术在计算机无线网络通信中的应用研究 [J]. 数字技术与应用, 2021, 39 (7): 13-15.
- [11] 张士兵, 陈 超, 李 业. 基于能效和时延的多跳中继通信系统功率控制算法 [J]. 南京邮电大学学报 (自然科学版), 2021, 41 (1): 1-8.

(下转第 102 页)