

基于区块链技术的工业大数据时变通信 时延控制系统设计

魏晓艳

(山西工程技术学院 大数据与智能工程系, 山西 阳泉 030002)

摘要: 为解决工业大数据时变通信环境中数据样本通信时延不均的问题, 设计基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统; 在大数据通信体系中, 设置通信状态观测器与时延量化控制器, 完成时变通信时延控制系统的应用单元搭建; 在此基础上, 构建时间序列表达式, 通过处理通信数据样本的方式, 确定时延参数的取值范围, 完成对大数据时变通信时延水平的估计; 按照区块链技术的应用要求, 注册必要区块节点, 再根据链节点信任度量取值条件, 确定通信数据之间的交互关系, 完成对控制行为的编码, 联合相关应用部件, 实现基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统设计; 实验结果表明, 区块链技术作用下, 数据样本通信时延最大值为 3.2 ms, 最小值为 0.6 ms, 有效解决了通信时延不均的问题, 符合构建稳定工业大数据时变通信环境的实际应用需求。

关键词: 区块链技术; 工业大数据; 时变通信; 时延控制; 状态观测器; 量化控制器; 时间序列; 数据交互

Design of Industrial Big Data Time-Varying Communication Delay Control System Based on Blockchain Technology

WEI Xiaoyan

(Department of Big Data and Intelligent Engineering, Shanxi Institute of Technology, Yangquan 030002, China)

Abstract: To solve the problem of uneven communication delay of data samples in the time-varying communication environment of industrial big data, a blockchain technology based industrial big data time-varying communication delay control system is designed. In the big data communication system, communication state observer and delay quantization controller are set to complete the application unit construction of time-varying communication delay control system. On this basis, a time series expression is constructed, and the range of delay parameters is determined by processing communication data samples to estimate the time-varying communication delay level of big data. According to the application requirements of blockchain technology, register necessary block nodes, and then determine the interaction relationship between communication data based on the trust measurement conditions of chain nodes. Complete the coding of control behavior, and collaborate with relevant application components to achieve the design of industrial large data time-varying communication delay control system based on blockchain technology. The experimental results show that under the influence of blockchain technology, the maximum communication delay of the data samples was 3.2 ms and the minimum value was 0.6 ms, effectively solving the problem of uneven communication delay and meeting the practical application requirements of building a stable industrial big data time-varying communication environment.

Keywords: blockchain technology; industrial big data; time-varying communication; delay control; state observer; quantitative controller; time series; data exchange

0 引言

工业大数据是指与工业设备高速运转行为相关的数据样本, 不同时间状态下, 大数据样本所对应的讯息参量也有所不同。工业大数据意味着工业设备所产生的信息参量具有潜在商业价值, 且在互联网技术手段的支持下, 利用原始数据资源定义管理服务决策, 既可以提升主机元件对下级设备元件的服务能力, 也能够精准划分信息参量的传输范围, 从而使得互联网主机能够具有分级调度信息对象的能力^[1]。相较于其他类型的数据样本, 工业大数据具有容量大、关联性强、准确性高等多项应用特征。在单位传

输周期内, 量级水平相同的大数据信息参量所能到达的最远传输距离也基本相同, 这就表示干扰性信息对于大数据样本的影响能力相对较弱, 即便是在数据链条封闭水平较低的情况下, 只要保证转存节点的完整性, 就可以将信息参量传输至其目标存储位置之处。

随着工业大数据累积量的增大, 信息时变通信行为的多样性逐渐表现出来, 这就使得数据样本通信时延表现出了不均匀分布状态, 对通信环境的稳定性造成了严重影响。文献 [2] 提出编解码和时延约束下的网络控制系统。基于频域方法模拟工业大数据信息的传输丢包行为, 在保证信

收稿日期: 2023-05-05; 修回日期: 2023-06-09。

作者简介: 魏晓艳(1981-), 女, 硕士, 讲师。

引用格式: 魏晓艳. 基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(12): 123-129.

道噪声与高斯白噪声水平相等的情况下，确定时延系数的取值区间，再借助单参数补偿器元件，实现对数据样本传输时延的有效控制。文献 [3] 提出状态时延和全状态约束下的多智能体系统。利用性能函数判断工业大数据的传输性能，在满足杨氏不等式消除条件的情况下，既可以促进信息参量的快速传输，也能够确定时变通信时延量的具体数值水平。然而上述两类方法的应用能力有限，并不满足构建稳定工业大数据时变通信环境的实际应用需求。

区块链是一项算力水平较强的应用技术，要求运行设备链条终端的连接必须符合时间顺序条件，由于每一区块链组织中都包含一台独立的运行服务器，所以只要保障链条体系的完整性，区块链组织就可以按照实际需求，完成对信息参量的处理。服务器设备在区块链组织中的应用功能与节点对象类似，在去中心化处理信息参量的过程中，这些节点既可以实现对数据样本的分别存储，也可以连接起来，形成完整的数据传输通路，为数据对象的传输提供稳定的服务环境^[4]。利用区块链技术处理工业大数据，可以最大化保障信息参量的完整性，在不影响数据样本传输行为的情况下，能够对信道组织进行重新分配，从而有效避免了非稳定通信行为的出现。

综合上述研究背景，为解决数据样本通信时延不均的问题，设计基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统。

1 时变通信时延控制系统应用单元搭建

工业大数据时变通信时延控制系统的硬件应用单元以大数据通信体系为基础，联合通信状态观测器、时延量化控制器，对相关数据信息参量传输行为进行控制，本章节针对其具体设计方法展开研究。

1.1 大数据通信体系建立

大数据通信体系是时变通信时延控制系统中权限等级最高的硬件应用单元，同时调节下级通信状态观测器与时延量化控制器元件，由用户终端、区块链终端、设备终端三部分组成。用户终端同时负载通信管理模块、通信请求模块、大数据授予模块与大数据应用模块。其中，通信管理模块为通信状态观测器提供接入节点，可以长期存储工业大数据信息样本^[5]。通信请求模块响应区块链终端的连接请求，负责协调工业大数据信息样本的实时传输方向。大数据授予模块具有承上启下的运行能力，可对区块链终端输出的工业大数据样本进行授权处理，并将授权后的信息参量传输至时延量化控制器单元之中。大数据应用模块不具备更改系统控制权限的能力，只负责传输与通信状态观测器元件相关的信息参量。区块链终端在链码通道完全打开的情况下，为用户终端与设备终端提供 CAN、Peer、Org 三类应用节点，在通信体系中，该类型终端结构对于工业大数据信息的传输能力最强^[6]。设备终端包含一个大数据通信设备和一个区块链传感器设备，负责监测工业大数据时变通信行为的进行状态。完整的大数据通信体系布局形式如图 1 所示。

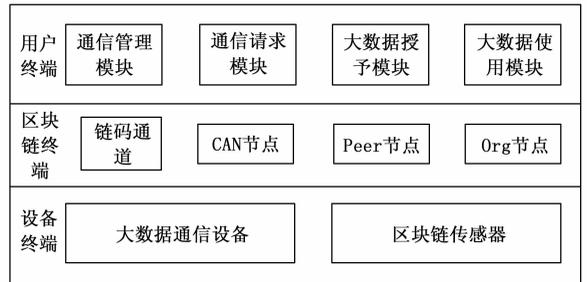


图 1 时延控制系统的大数据通信体系

区块链终端对工业大数据时变通信行为自由度等级的要求相对较高，所以信息参量在大数据通信体系中必须具有自由传输的能力。

1.2 通信状态观测器设计

通信状态观测器将区块链操作部与系统外部控制装置连接起来，可以在处理已输入工业大数据样本的同时，调度时变通信信号的实时响应状态，从而使得系统主机对大数据信息参量保持较强的识别敏感性。观测器主体部分的搭建以数据处理分支部为核心，向上接收区块链操作部输出的工业大数据样本，向下可将这些信息参量按需传输至通信设备与时延检测器设置之中。在处理大数据信息的过程中，区块链操作部不会停止向外输出数据样本，所以数据处理分支部还需具有暂时存储信息参量的能力，以避免在观测工业大数据时变通信状态的过程中，系统主机出现混乱运行的情况^[7]。通信设备、时延检测器作为同一响应级别的应用设备，直接处理时变通信时延控制系统中的工业大数据信息参量，在与时变处理器建立连接关系的同时，借助信道组织，将完成处理的大数据信息反馈至外部控制装置之中。图 2 为通信状态观测器的具体连接结构。

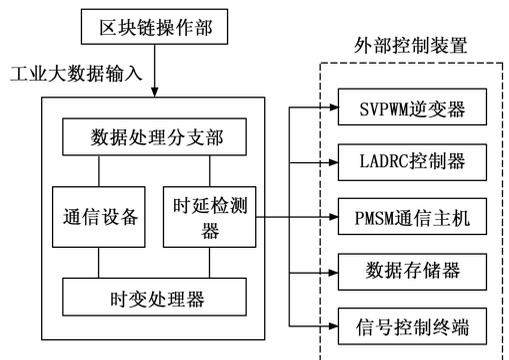


图 2 通信状态观测器结构简图

外部控制装置包括 SVPWM 逆变器、LADRC 控制器、PMSM 通信主机等多个应用设备，既可以响应大数据通信体系的调度行为，也能够向时延量化控制器传输完成处理的通信信息参量。由于外部控制装置的连接形式必须与通信状态观测器主体部分保持匹配状态，所以控制器、通信主机等设备均与时延检测器装置保持同一级别的连接关系^[8]。

1.3 时延量化控制器设计

时延量化控制器的处理结果同时对应多个工业大数据

量化对象，其运行过程中，核心控制器对于工业大数据的处理完全遵循区块链技术方案，且为维持信息参量传输行为的稳定性，区块链设备输出的大数据样本具有区块链连接、通信连接两条传输通路。经由区块链连接通路输出的工业大数据样本由区块链设备反馈至时延量控制元件之中，整个传输过程接受通信状态观测器设备的直接调节，所以控制元件执行结果可以用来描述工业大数据时变通信的时延状态^[9-10]。经由通信连接通路输出的工业大数据样本在经过增益元件的聚合处理后，才会进入可编程逻辑控制器元件之中，与区块链连接行为相同，该条链路的起始传输节点也为区块链设备，所以在时延量化控制器单元中，两条通路组织最终所输出工业大数据量化对象的存储格式完全相同。时延量化控制器元件对于工业大数据信息的处理遵循图 3 所示的原则。

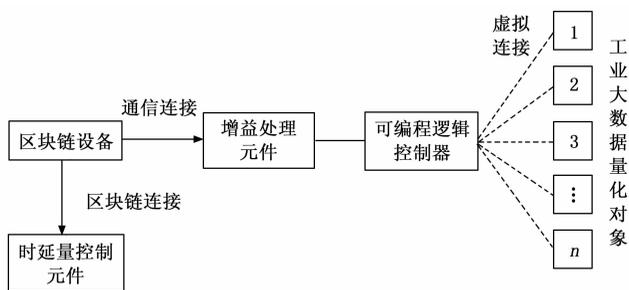


图 3 时延量化控制器设计原则

工业大数据量化对象与可编程逻辑控制器之间保持虚拟连接状态，所以在时延量化控制器元件完全开放的情况下，信息参量也不会出现快速传输的情况，一方面可以保障通信状态观测器与量化控制器主机之间的稳定连接关系，另一方面也能够对数据样本的通信时延进行均衡化处理，从而便于系统主机对工业大数据时变通信时延实施有效控制。

2 大数据时变通信时延计算

对于工业大数据时变通信时延的估计，应在时变通信时延控制系统应用单元运行过程中，构建时间序列表达式，并联合关键参量指标，计算时延参数的具体数值。

2.1 时间序列构建

时间序列是具有随机性的统计模型，在时变通信时延控制系统中，可以用来描述工业大数据样本的排列特征。时变通信时延控制系统的硬件应用单元由大数据通信体系、通信状态观测器、时延量化控制器三部分组成，所以在构建时间序列模型时，必须考虑各级应用部件的实时运行状态^[11]。为保证工业大数据时变通信时延控制系统的运行稳定性，构建时间序列模式时，要求数据信息参量的平均时延水平不得高于控制系统响应周期的最大取值，在信息参量保持无限循环传输行为的情况下，数据对象的顺序、逆序传输行为同时存在，且这些通信行为的连接只针对区块链运行单元而存在^[12]。完整的工业大数据时间序列包含如图 4 所示的组成要素。

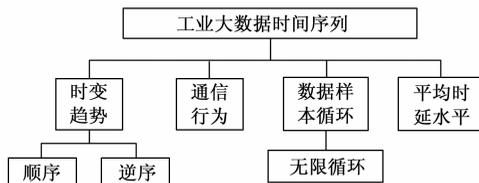


图 4 时间序列组成要素

规定 χ 表示工业大数据信息的随机性取样参数， δ 表示数据样本参量的无限循环系数， \bar{m} 表示区块链运行单元中的工业大数据样本输出均值， α 表示时变通信行为的响应参数， \bar{b} 表示工业大数据通信行为的时变响应特征，联立上述物理量，可将工业大数据的时间序列模型表示为：

$$M = \sum_{\chi=1}^{+\infty} \delta^2 \bar{m}^{-\alpha} (\bar{b}) \Big|_{\delta > 0} \quad (1)$$

$\delta > 0$ 表示在时变通信过程中，工业大数据信息的传输行为不会出现非循环状态，且由于时延参量的取值属于 $(0, +\infty)$ 的数值区间，所以为避免区块链主机出现不及时响应的情况，随着通信数据输出量的增大，时间序列模型对于数据样本通信行为的约束能力也会不断增强。

2.2 通信数据处理

通信数据处理由剔除奇异信息、趋势项提取两个流程组成。

1) 剔除奇异信息：剔除奇异信息就是指去除工业大数据时变通信过程中具有明显奇异值特性的信息参量。为使时延条件得到有效控制，在剔除奇异信息时，还要避免对非关联大数据样本造成影响^[13]。

对于奇异信息剔除的表达式如下：

$$B = \frac{1}{\alpha} v' (\beta - 1) \quad (2)$$

α 表示工业大数据样本中的奇异信息节点排列参数， v' 表示区块链主机对工业大数据样本的识别参数， β 表示数据样本的奇异值特征判别向量。

2) 趋势项提取：趋势项提取是指按照区块链识别标准，将满足时延控制条件的工业大数据样本趋势项参量提取出来。对于不包含奇异信息的大数据对象而言，完成趋势项提取可以使信息参量更满足区块链主机的调度需求^[14]。

对于趋势项提取表达式的求解如下：

$$C = \frac{x!}{\gamma!(\bar{X} - z)!} \quad (3)$$

x 表示工业大数据样本的趋势项标记参数， γ 表示工业大数据样本的实时调度参数， \bar{X} 表示区块链主机对趋势项参量的识别特征， z 表示时变通信行为的稳定性参数。

联立式 (1) ~ (3)，推导工业大数据时变通信的数据处理表达式为：

$$Z = \int_{\epsilon=1}^{+\infty} \left| \frac{\bar{l}}{\varphi} \right|^z \cdot (BM + C) \quad (4)$$

其中： ϵ 表示时变性参数， φ 表示时间序列模型下的工业大数据样本实时排列系数， \bar{l} 表示区块链主机对于工业大数

据样本的处理权限阈值。

此外，由于时间序列模型取值始终保持稳定状态，所以一个数据样本集合所包含的趋势项与奇异信息越少，就表示工业大数据时变通信的稳定程度越高，时延参数的可控性也就越强，区块链主机对通信数据的处理结果也就更加可靠。

2.3 时延参数估计

时延参数决定了工业大数据样本在时变通信过程中的平均时延水平，对于区块链主机而言，其在完成对通信数据的处理之后，只有确定平均时延向量的取值范围，才可以实现对通信延时行为的有效控制。依照时间序列模型，完成通信数据处理后，为实现对时延参数的计算，还应考虑工业大数据传输速率，顺序时变通信参量、逆序时变通信参量^[15]。

工业大数据传输速率描述了数据参量在区块链组织中的实时传输状态，其取值越大就表示数据样本的单位累积量越大。顺序时变通信参量影响工业大数据样本在顺序通信过程中的时延变化行为，受到时变性的影响，该项物理量的取值不会出现无限增大的情况^[16]。逆序时变通信参量的作用能力与顺序时变通信参量相反，但由于区块链主机的主要运行能力是对数据样本进行顺序传输，所以该项物理量的实际取值略小。

设 λ 表示工业大数据传输速率、 φ 表示顺序时变通信参量、 j' 表示逆序时变通信参量，其取值满足式 (5) 所示：

$$\begin{cases} \lambda \neq 0 \\ \varphi > j' \\ \varphi \in [1, +\infty) \end{cases} \quad (5)$$

联立式 (4)，求解时延参数计算结果如式 (6) 所示：

$$k = \sqrt{\lambda(|\varphi Z|^2 + |j' L|^2)} \quad (6)$$

式中， \hat{L} 表示时变通信行为在单位时间周期内的时延性特征。顺序时变通信参量、逆序时变通信参量的取值符号只表示工业大数据时变通信行为的连接方向，在计算时延参数的过程中，这两项物理量都属于矢量性参数。

3 基于区块链技术的工业大数据通信行为控制

根据大数据时变通信时延计算原则，完善区块链技术模型，通过交互处理通信数据的方式，实施对控制行为的编码，再联合相关应用部件，完成基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统设计。

3.1 区块链技术模型完善

3.1.1 区块节点注册

区块节点在加入工业大数据时变通信时延控制系统之前需要进行身份注册，注册过程中，区块链主机根据时延参数的取值，生成注册所需的公私钥密码机制。当新的区块节点加入时延控制系统时，区块链主机提取其身份信息，并将所得大数据对象与公私钥密码对比，从而完成对区块节点的注册^[17]。工业大数据区块节点的注册原理如图 5 所示。

在区块链组织中，创建注册请求、公私钥密码机制指令程序的执行方向均由注册设备端指向区块链节点端，而

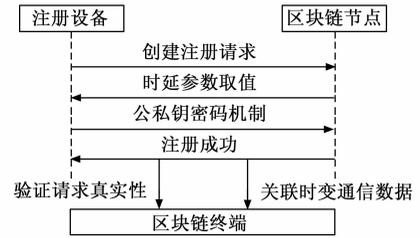


图 5 区块链节点注册原理

时延参数取值、注册成功指令程序的执行方向则刚好与其相反^[18]。这就表示在区块节点注册过程中，注册设备、区块链节点都具有处理工业大数据信息的能力。

设 η 表示工业大数据在注册设备与区块链节点之间的时变通信效率，其取值恒属于 (0,1) 的数值区间， h_1 表示私钥密码认证参数， h_2 表示私钥密码认证参数， ι 表示通信请求注册向量。在上述物理量的支持下，联立式 (6)，可将区块节点注册表达式定义为：

$$J = \frac{1}{2} \cdot \log_k \left(1 + \eta \left| \frac{h_1 \times h_2}{\iota} \right|^2 \right) \quad (7)$$

$k > 0$ 成立时，工业大数据时变通信在区块链主机中保持正向响应状态，当前情况下，信息参量在注册设备与区块链节点之间的传输行为较为频繁，单位时延周期内，能够得到准确注册的区块节点数量也就相对较多。若 $k < 0$ 成立，工业大数据时变通信在区块链主机中保持反向响应状态，此时信息参量在注册设备与区块链节点之间的传输行为虽然也较为频繁，但由于数据传输方向与系统主机认证方向相反，所以单位时延周期内，能够得到准确注册的区块节点数量相对较少。

3.1.2 链节点信任度量

链节点信任度量结果影响区块链技术对工业大数据通信行为的控制能力，对于完成注册的区块节点而言，保证其链节点信任度量值的可信性，是实现时变通信时延有效控制的前提。所谓链节点是指将对应区块节点连接起来的节点对象，在区块链体系中，链节点组织的数量水平相对较少，但其连接能力相对较强，在符合信息注册标准的前提下，一个链节点组织可将多个区块节点串联起来，从而在确定工业大数据时变通信行为时延水平的同时，完成对时延参数取值结果的核准^[19]。

利用式 (7)，推导链节点组织实时连接数量为：

$$H = \frac{\mu + 1}{g + d + 1} \quad (8)$$

其中： μ 表示区块节点串联系数， g 表示工业大数据时变性认证参量， d 表示大数据样本通信时延认证参量。

在式 (8) 的基础上，推导链节点信任度量表达式为：

$$D = \frac{\sum_{-\infty}^{+\infty} J \times H}{f | \vec{G} |} \quad (9)$$

式中， \vec{G} 表示工业大数据样本在区块链组织中的时变通信行为向量， f 表示基于区块链技术所选择的通信时延量控制参

数。在设置区块链单元的过程中，如果完成注册的区块节点数量始终达不到实际需求标准，那么链节点信任度量求解结果有可能无法与工业大数据时变通信行为保持匹配状态^[20]。当前情况下，为保证时延控制指令的有效性，可以适当缩小对时延参数的实际取值，一方面使区块节点的注册完整性得到保障，另一方面也可以构建稳定的工业大数据时变通信环境，解决数据样本通信时延不均的问题。

3.2 通信数据交互

通信数据交互可以理解为对工业大数据时变通信参数的交叉处理。时延控制系统在协调大数据通信行为的过程中，为使区块链单元的运行稳定性得到保障，主机元件需要在单位运行周期内，对大数据信息参量进行多次交互处理^[21]。

在 $(0, +\infty)$ 的大数据赋值区间内，随机选取一个时变通信参量 \dot{s} ，其定义式可以表示为：

$$\dot{s} = \sqrt{(1-\nu) \times D \times F^o} \quad (10)$$

ν 表示基于区块链技术的工业大数据时变通信行为赋值系数， F 表示区块链单元稳定运行等级评定参数， o 表示单位运行周期内的大数据样本核准参数。

随机时变通信参量响应区块节点的直接调度，完成节点注册后，链节点信任度量结果保持定值状态，所以交互处理通信数据的过程中，随机时变通信参量的取值直接影响交互指令的执行能力^[22]。

对于通信数据交互处理条件的求解，满足如下表达式：

$$A = -\frac{\dot{s}}{D+1} \sum_{-\infty}^{+\infty} \vartheta^{(-1/a)} (\tilde{p})^2 \Big|_{a \neq 0} \quad (11)$$

其中： ϑ 表示工业大数据时变通信行为的延时能力定义参数， a 表示时变通信参量的交互表达系数， \tilde{p} 表示时延行为周期内的时变通信行为表达特征。如果区块链主机的运行速率相对较快，工业大数据时变通信的时延参量会出现频繁变化的情况，对于系统控制主机而言，时延参数取值的频繁变化，会增大区块链主机的运行压力，而这种行为有可能导致通信数据的传输目的地发生改变。因此，在交互处理工业大数据时，应尽量保持区块链主机的低速运行状态。

3.3 时延控制行为编码

控制行为编码结果决定了工业大数据时变通信时延控制系统的实时运行能力。确保完成通信数据交互处理后，对于时延控制行为的编码，要求所取样工业大数据样本必须存在于同一通信周期之内^[23-24]。由于交互处理指令行为可以延续多个通信周期，所以时延控制行为编码也不可能在一个周期内完成。设 ω 表示通信时延参量的延续系数， \tilde{R} 表示时延向量的时变可控性特征， ΔT 表示工业大数据的单位时变通信周期， \dot{y} 表示基于区块链技术所选择的时变通信行为时延向量标准控制参数，联立式 (11)，可将时延控制行为编码结果表示为：

$$I = \omega \left(\frac{1}{A} - \frac{\tilde{R}^2}{\dot{y} |\Delta T|} \right) \quad (12)$$

工业大数据时变通信时延控制系统的设计，要求每一个信息参量时延控制行为的编码都必须遵循区块链技术对于数据对象的取样需求，且在大数据参量的单位传输周期

内，默认不存在完全相同的信息对象。

4 实例分析

为了解决工业大数据样本通信时延不均的问题，构建稳定的时变通信环境，设计如下对比实验。

4.1 实验环境设置

选择本文提出的基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统（实验组）、文献 [2] 提出的编解码和时延约束下的网络控制系统（A 对照组）、文献 [3] 提出的状态时延和全状态约束下的多智能体系统（B 对照组）三组不同的方法进行实验。利用光纤线缆将基站设备与时变通信主机连接起来，以便于主机设备能够获取足量的工业大数据参量，如图 6 所示。



图 6 通信网络连接

由于基站设备与时变通信主机之间的距离较远，且光纤线缆在输送通信数据的过程中，会因为负载电压、负载电流较高的问题，而消耗一定的信息参量。因此，为避免光纤线缆消耗过多的工业大数据，在接线过程中，应尽量避免线缆折叠，使其呈现较为流畅的连接状态。

实验过程中，为保证工业大数据时变通信的实时响应效果，设置多个端口组织，借助 awg14 型双绞线将光纤线缆将基站设备、时变通信主机的对应通信接口一一连接起来，为工业大数据提供实时开放的时变通信环境。

分别利用实验组、A 对照组、B 对照组系统控制时变通信主机，记录不同方法作用下，通信时延参量的具体实验数值。

4.2 数据处理

数据样本通信时延的均匀程度决定了工业大数据时变通信环境的稳定性水平。表 1 记录了数据样本通信时延极值差与工业大数据时变通信环境稳定性之间的对应关系。

表 1 时延均值与通信稳定性

通信时延极值差/ms	时变通信环境稳定程度
≤ 3.0	I 级
3.0~4.0	II 级
4.0~5.0	III 级
5.0~6.0	IV 级
6.0~7.0	V 级

图 7 反映了实验组、对照组数据样本通信时延的数值变化情况。

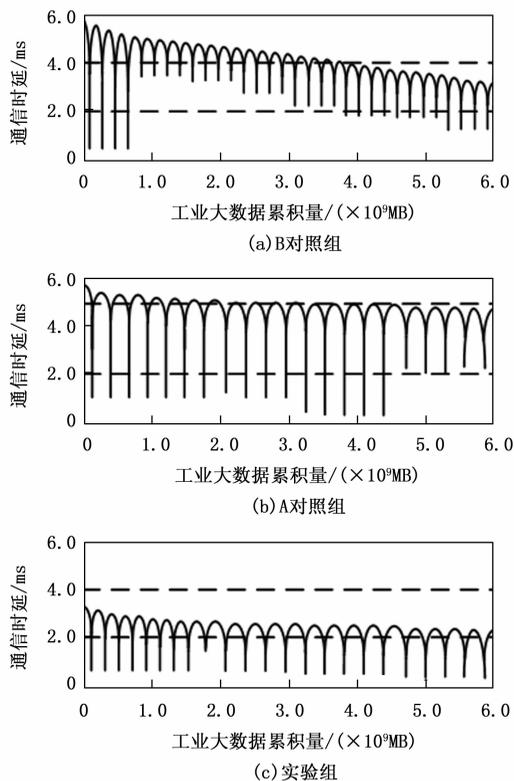


图 7 工业大数据样本的通信时延

分析图 7 可知, 实验过程中, 实验组数据样本通信时延最大值为 3.2 ms、最小值为 0.6 ms; A 对照组数据样本通信时延最大值为 5.7 ms、最小值为 0.4 ms; B 对照组数据样本通信时延最大值为 5.8 ms、最小值为 0.7 ms。

对于工业大数据通信时延极值差的计算式如下:

$$v = v_{\max} - v_{\min} \quad (13)$$

其中: v_{\max} 表示数据样本通信时延最大值, v_{\min} 表示通信时延最小值。

利用上述实验结果, 计算工业大数据通信时延的极值差为:

$$\begin{cases} v_1 = 2.9 \\ v_2 = 5.3 \\ v_3 = 5.1 \end{cases} \quad (\text{ms}) \quad (14)$$

式中, v_1 表示实验组通信时延极值差, v_2 表示 A 对照组极值差, v_3 表示 B 对照组极值差。

分析式 (14) 可知, 实验组通信时延极值差的数值水平最小, 与 A 对照组差值为 2.4 ms, 与 B 对照组差值为 2.2 ms。

4.3 结论

综上所述, 本次实验结论为:

1) 编解码和时延约束下的网络控制系统的应用, 不足以实现对数据样本通信时延水平的有效控制, 故而通信时延极值差求解结果依然相对较大, 因此这两种方法不符合维护数据样本通信时延均匀分布状态的实际应用需求。

2) 状态时延和全状态约束下的多智能体系统的应用能力与编解码和时延约束下的网络控制系统并无明显差异性,

都不足以解决数据样本通信时延不均的问题, 故而在构建稳定工业大数据时变通信环境方面的应用能力也就不满足实际应用需求。

3) 基于区块链技术的工业大数据时变通信时延控制系统的应用, 可以有效控制数据样本的通信时延水平, 使其极值差求解结果保持低数值状态, 能够保障数据样本通信时延的均匀分布行为, 从而较好地解决了工业大数据时变通信环境不稳定的问题。

5 结束语

相较于编解码和时延约束下的网络控制系统、状态时延和全状态约束下的多智能体系统, 新型工业大数据时变通信时延控制系统的设计, 以区块链技术为基础, 在建立大数据通信体系的同时, 设置通信状态观测器与时延量化控制器单元。软件方面, 时变通信时延控制系统按照区块链技术的应用需求, 定义时间序列表达式, 通过交互处理通信数据样本的方式, 确定时延参数的实际取值范围。这种新型时延控制系统的应用, 有效解决了数据样本通信时延不均的问题, 可以构建更加稳定的工业大数据时变通信环境, 与实际设计初衷相符合。

参考文献:

- [1] 张磊, 吴颖, 杨建常. 基于大数据挖掘的电力通信信号异常数据提取方法 [J]. 科技通报, 2022, 38 (6): 35-38.
- [2] 张斌, 姜晓伟, 陈向勇, 等. 编解码和时延约束下的网络控制系统最优跟踪性能 [J]. 控制理论与应用, 2022, 39 (10): 1865-1871.
- [3] 范利蓉, 王芳, 周超, 等. 状态时延和全状态约束下的多智能体系统自适应事件触发控制 [J]. 控制与决策, 2022, 37 (4): 892-902.
- [4] 程明曦, 王冰, 王敏, 等. 基于区块链技术的可控负荷入网优化调度策略 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42 (1): 109-115.
- [5] 晏燕, 丛一鸣, MAHMOOD A, 等. 基于深度学习的位置大数据统计发布与隐私保护方法 [J]. 通信学报, 2022, 43 (1): 203-216.
- [6] 任条娟, 郑佳莹, 陈友荣, 等. 基于区块链的车联网节点数据安全通信模型研究 [J]. 汽车技术, 2021, 548 (5): 30-35.
- [7] 沈伟, 袁小康, 刘明. 基于事件触发和扩展状态观测器的液位位置跟踪系统控制研究 [J]. 机械工程学报, 2022, 58 (8): 274-284.
- [8] 王震宇, 孙伟, 蒋栋. 基于虚拟电压注入的闭环磁链观测器的感应电机无速度传感器矢量控制系统 [J]. 电工技术学报, 2022, 37 (2): 332-343.
- [9] 周颖, 郑颖, 肖敏. 基于量化和攻击下的网络控制系统状态估计控制 [J]. 系统科学与数学, 2022, 42 (7): 1633-1647.
- [10] 杨伊, 李小华, 杨瑞芳. 机械臂系统快速有限时间有界 H_{∞} 量化跟踪控制 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 2022, 46 (2): 61-71.
- [11] 管霖, 周保荣, 文博, 等. 多风电场功率时间序列的时空相关性统计建模和运行模拟方法 [J]. 电网技术, 2021, 45 (1): 30-39.
- [12] 刘斌. 基于 ICA 的垂向 GNSS 坐标时间序列时空分析建模及反演的理论与方法 [J]. 测绘学报, 2022, 51 (5): 783.

- [13] 史传胜, 冯 姣, 司 闯, 等. 大规模 MIMO 通信中基于 Jacobi 预迭代的改进 Gauss-Seide 算法 [J]. 数据采集与处理, 2021, 36 (6): 1167-1175.
- [14] 黄 瑞, 肖 宇, 曾伟杰, 等. Docker 容器下高速总线通信数据实时交互方法 [J]. 沈阳工业大学学报, 2022, 44 (6): 667-671.
- [15] 李雪梅, 王春阳, 刘雪莲, 等. 基于 SESTH 的线性调频连续波激光雷达信号时延估计 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2022, 52 (4): 950-958.
- [16] 翟艺伟, 董瑞芳, 权润爱, 等. 纠缠光子对的级联 Hong-Ou-Mandel 干涉研究及其在延时参数测量中的应用 [J]. 物理学报, 2021, 70 (12): 182-189.
- [17] 田洪亮, 王佳玥, 李晨曦. 基于混合算法区块链和节点身份认证的数据存储方案 [J]. 计算机应用, 2022, 42 (8): 2481-2486.
- [18] 刘 云, 朱鹏俊, 陈路遥, 等. 稳定度激励算法对移动区块链节点的共识优化研究 [J]. 四川大学学报 (自然科学版), 2023, 60 (1): 58-65.
- [19] 姚玉坤, 何 亮, 任 智, 等. LLN 中基于移动节点邻居探测的高效路由寻路算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43 (11): 3390-3398.
- [20] 钟 慧, 邱吕琳, 张志坚, 等. 基于持续同调的在线社交网络关键节点发现方法 [J]. 系统科学与数学, 2022, 42 (8): 2157-2179.
- [21] 张其林, 舒沈睿, 满延磊. 基于工业基础类标准的参数化实体模型数据交互技术 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2021, 49 (2): 195-203.
- [22] 李双明, 关 欣, 衣 晓, 等. 用于异质信息的信任区间交互式多属性识别方法 [J]. 电子与信息学报, 2021, 43 (5): 1282-1288.
- [23] 马云飞, 贾希胜, 胡起伟, 等. 基于小波包频带稀疏编码的非完备信息条件下轴承状态识别 [J]. 振动与冲击, 2021, 40 (23): 288-294.
- [24] 白 迪, 崔勇强, 王晓磊, 等. 基于深度学习的 Wi-Fi 信号编码参数盲识别 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (33): 14188-14192.

(上接第 102 页)

5 结束语

采用 Gm-APD 的单光子探测系统, 由于可以跨数量级的提升探测灵敏度, 并具备体积小、可常温工作、时间分辨率高等优势, 被越来越多地应用于激光三维成像系统。但 Gm-APD 自身雪崩效应带来的探测器死区时间, 会降低系统的探测概率, 并造成图像盲点。本文探索了如何在现有器件水平的条件下, 通过合理的系统和光机设计, 抑制死区时间对系统的不良影响。通过仿真和实验表明, 采用多镜头分集接收和联合信息处理, 可以有效提升系统探测概率, 对由于死区时间限制所导致的成像盲点具有明显抑制效果, 对单光子探测三维成像的图像完整性具有十分重要的意义。本文所采用的方法, 可以广泛应用于空间目标探测、远距离微弱目标预警等激光探测系统。

参考文献:

- [1] LU B, LIU L, SONG J Y, et al. Recent progress on coherent computation based on quantum squeezing [J]. AAPPs Bulletin, 2023, 33 (7): 1-8.
- [2] 于晓辉, 吕衍秋, 孟 超. 激光成像制导探测器研究进展 [J]. 红外, 2014: 8-13.
- [3] 杜乘乘. 光子计数激光脉冲探测应用技术研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2019.
- [4] 戴永江. 激光雷达技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [5] LI Z P, YE J T, HUANG X, et al. Single-photon imaging over 200 km [J]. Optica, 2021, 8 (3): 344-349.
- [6] 赵洪利, 范有臣, 孙华燕, 等. 基于盖革模式 APD 阵列的非扫描激光三维成像雷达研究综述 [J]. 激光与红外, 2013, 43 (10): 1083-1088.
- [7] 张雪皎, 万钧力. 单光子探测器件的发展与应用 [J]. 激光杂志, 2007, 28 (5): 13-15.
- [8] 黄 涛, 胡惠灵, 胡以华, 等. 空间目标识别中的激光探测技术 [J]. 激光与红外, 2010, 40 (7): 685-689.
- [9] PAN D, SONG X T, LONG G L. Free-space quantum secure direct communication: basics, progress, and outlook [J]. Advanced Devices & Instrumentation, 2023, 4 (4): 1-19.
- [10] ZHANG F, XING J, HU X, et al. Coupling-selective quantum optimal control in weak-coupling NV-13 C system [J]. AAPPs Bulletin, 2023, 33 (2): 1-8.
- [11] 梁 创, 廖 静, 梁 冰, 等. 硅雪崩光电二极管单光子探测器 [J]. 光子学报, 2000, 29 (12): 1142.
- [12] 张常年, 张栎存, 康小麓. 基于 APD 线列的单光子探测计数研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (9): 184-187.
- [13] 赵 峰, 郑力明, 廖常俊, 等. 红外单光子探测器暗计数的研究 [J]. 激光与光电子学进展, 2005, 42 (8): 29-32.
- [14] 张玉驰, 王晓勇, 王军民, 等. 计数率和分辨时间对光场统计性质测量的影响 [J]. 物理学报, 2006, 55 (11): 5779-5783.
- [15] 王志豪. 单光子探测技术基础研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [16] 王 旭, 张延坤. 激光探测灵敏度精确测量技术 [J]. 光电技术应用, 2013, 28 (5): 78.
- [17] 王素青, 彭 晨. 提升激光探测灵敏度的设计方法 [J]. 工业控制计算机, 2018, 31 (5): 159-162.
- [18] 韩正甫, 刘 云, 郭光灿. 一种高速单光子探测方法与探测器 [P]. 中国: CN200810020177.2. CN101545810A, 2023-10-31.
- [19] 艾 青, 万钧力. 基于 APD 参数建模的单光子探测研究 [J]. 量子电子学报, 2013, 30 (2): 219-224.
- [20] SUN J, MENG J W, TANG S J, et al. An encapsulated optical microsphere sensor for ultrasound detection and photoacoustic imaging [J]. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2022, 65 (2): 44-49.
- [21] 赵桂芬, 邓甲昊. 一种激光目标探测系统的模型仿真 [J]. 科技导报, 2006, 24 (12): 31-33.
- [22] 韩 威, 闫瑞涛, 杨 旭. 基于多重频率解模糊的光子远程探测 [J]. 无线电工程, 2020, 50 (8): 700-710.
- [23] 徐乐凤, 孙 彬, 徐鲁波, 等. 基于改进高速单光子探测器的复合跟踪控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (3): 155-161.