

# 自动化控制系统中的通信延时问题及对策研究

李岩

辽宁红沿河核电有限公司，辽宁 大连 116000

**摘要：**自动化控制系统是通过自动化技术实现对设备和工艺过程的控制和管理，具有提高生产效率和产品质量，降低成本和风险的重要作用。然而，在控制信号和反馈信号通过网络进行传输时，通信延时问题不可避免，可能导致系统不稳定、控制精度下降。通信延时问题的衡量和分析可以通过网络分析和仿真来评估，解决策略包括延时补偿技术、基于网络的控制策略和高级控制理论等，通过预测控制、状态估计、鲁棒控制等技术来处理延时问题，提高系统的稳定性和控制精度。

**关键词：**自动化控制；通信延时；问题；对策

## Research On The Communication Delay Problem And Countermeasures In The Automatic Control System

Li Yan

Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., Ltd, Liaoning, Dalian 116000

**Abstract :** Automatic control system is the control and management of equipment and process through automation technology, which plays an important role in improving production efficiency and product quality and reducing cost and risk. However, when the control signals and feedback signals are transmitted through the network, the communication delay problem is inevitable, which may lead to system instability and decreased control accuracy.

The measurement and analysis of communication delay problems can be evaluated through network analysis and simulation. The solution strategies include delay compensation technology, network-based control strategy and advanced control theory, and handle the delay problems through predictive control, state estimation control, robust control and other technologies, so as to improve the stability and control accuracy of the system.

**Key words :** automatic control; communication delay; problems; countermeasures

## 引言

自动化控制系统中的通信延时是一个重要的技术问题。由于现代控制系统中存在着多个子系统和控制节点，这些节点之间需要进行实时通信以协同工作。然而，由于通信介质和网络拓扑的限制，通信延时可能会导致控制系统的性能下降，甚至会引起系统失控。针对这个问题，工程师们提出了多种解决方案，包括改进网络拓扑、优化通信协议、使用实时操作系统等。在实际应用中，不同的方案适用于不同的系统和应用场景，需要根据具体情况选择最佳方案。本文将探讨自动化控制系统中通信延时问题的原因及对策，并分析不同方案的优缺点，以期为工程师提供一些参考和帮助。

## 一、自动化控制系统的定义和重要性

自动化控制系统（Automation Control System, ACS）是一种将机械、电子、计算机等技术相结合，实现自动化控制的系统。它是一种能够对工业过程进行控制、监测和调节的技术手段，广泛应用于制造业、交通运输、能源、航空航天等领域。自动化控制系统的目的是提高生产效率、降低成本、提高产品质量

和安全性。一是提高生产效率，自动化控制系统可以实现生产过程的全自动化，消除了许多人力和物力的浪费，提高了生产效率，降低了生产成本。二是提高产品质量，自动化控制系统可以对生产过程进行实时监控和调节，确保产品质量的稳定性和一致性，从而提高了产品质量和客户满意度。三是提高生产安全性，自动化控制系统可以监测生产过程中的各种参数，对异常情况进行实时报警和处理，提高了生产安全性，减少了事故发生的

可能性。四是支持生产过程数字化转型，随着数字化技术的不断发展，自动化控制系统已经成为数字化转型的必要手段，可以将生产过程数字化，并通过数据分析和优化来提高生产效率和产品质量。

自动化控制系统的基本组成部分包括传感器、执行器、控制器、通信网络等。传感器用于采集生产过程中的各种参数，执行器用于控制生产过程中的各种操作，控制器用于对传感器和执行器进行控制和调节，通信网络用于实现各个组成部分之间的数据传输和协调。随着自动化控制技术的不断发展，自动化控制系统已经成为现代工业生产不可或缺的一部分。对于企业来说，引入自动化控制系统可以提高企业的生产效率和竞争力，降低企业的生产成本和风险，实现可持续发展。

## 二、通信延时问题的提出及其在自动化控制系统中的影响

通信延时是指在自动化控制系统中，由于各种因素（如网络拓扑、通信协议、通信介质等）导致数据在传输过程中存在一定的延迟时间。通信延时问题可能会导致控制系统的性能下降，甚至会引起系统失控，因此在自动化控制系统中，通信延时问题是一个非常重要的技术问题。自动化控制系统需要对工业过程进行实时监控和调节，以确保生产过程的稳定性和一致性。但是，如果通信延时较大，就会导致监控数据的实时性下降，影响系统的响应速度和控制精度。在自动化控制系统中，各个子系统之间需要进行实时的数据交互和协同工作。如果通信延时较大，就会导致系统性能下降，降低系统的可靠性和稳定性。自动化控制系统涉及的生产过程和设备通常具有一定的危险性，如果通信延时较大，就会增加事故的发生概率，降低系统的安全性。针对通信延时问题，工程师们提出了多种解决方案。一是改进网络拓扑，通过改变网络拓扑结构，可以减少通信延时。例如，使用环形网络或星形网络可以减少数据在传输过程中地跳数，从而减小通信延时。二是优化通信协议，通过优化通信协议，可以减少通信延时。例如，使用 UDP 协议而不是 TCP 协议可以减少数据包在传输过程中的等待时间，从而减小通信延时。三是使用实时操作系统，实时操作系统具有更快的响应速度和更高的可靠性，可以减少通信延时，提高系统性能和安全性。

需要注意的是，不同的解决方案适用于不同的系统和应用场景，需要根据具体情况选择最佳方案。此外，为了减少通信延时问题的出现，还应该注意选择适当的通信介质和控制器，以及进行合理的系统设计和调试。

## 三、通信延时问题的衡量与分析

在通信网络中，延时是衡量其性能的关键因素之一。通信延时指的是信息从源点到目标点的传输时间，这个时间通常包括信息的发送时间、传播时间、接收时间以及可能的等待时间。让我们一起来深入探讨一下延时的测量和建模方法，延时的统计特性

及其影响因素，以及延时对系统稳定性和性能的定量影响。

### （一）延时的测量和建模方法

在网络通信中，延时是一个重要的性能指标，它直接影响到网络的可靠性和用户的体验。为了测量网络延时，通常采用端到端延时的方法，这种方法可以全面地考虑信息从发送到接收的整个过程。具体而言，端到端延时测量的过程包括：发送端发送数据包、网络中传输数据包、接收端接收数据包，并回传确认信息。通过测量发送和接收之间的时间间隔，可以计算出端到端延时。为了更好的理解网络延时的特性，需要建立一个延时的模型。通常，延时的建模方法分为随机过程和确定性方法。随机过程方法基于统计理论，考虑了网络延时的随机性和不确定性，可以用于分析网络延时的分布和统计特性。在这种方法中，通常假设网络的延时服从一定的概率分布，比如指数分布、正态分布等，然后通过对概率分布函数进行分析，得出延时的均值、方差等统计特性。

另一种建模方法是确定性方法，它通常假设所有的网络参数都是已知的，比如网络拓扑、链路带宽、传输速率等。在这种方法中，可以通过建立数学模型，计算出网络中每个节点和链路的传输延时，从而得出端到端延时的上界。这种方法可以用于网络设计和优化，但在实际应用中往往不太适用，因为网络的参数往往是动态变化的，而且难以准确预测。

实际上，在网络延时的建模中，往往采用混合的方法，结合了随机过程和确定性方法。这种方法可以更好地捕捉网络延时的特性。比如，在设计网络协议时，可以利用确定性方法来计算最坏情况的延时上界，并在协议中增加一些机制来控制网络延时的波动。同时，也可以利用随机过程方法来分析网络延时的分布和统计特性，从而更好地评估网络性能和优化网络设计。<sup>[1]</sup>

### （二）延时的统计特性及其影响因素

通信延时的统计特性通常体现在其分布上，比如平均延时、最大延时、延时的方差等。影响通信延时的因素有很多，包括网络的拥塞程度、路由策略、网络设备的性能等。拥塞会导致数据包的等待时间增加，进而增加通信延时。路由策略也会影响延时，因为不同的路由会导致数据包走不同的路径，从而产生不同的延时。此外，网络设备的性能也是一个重要因素，因为设备性能的好坏会影响到数据包的处理速度。通信延时的统计特性反映了通信过程中延时的分布情况，包括平均延时、最大延时、延时的方差等。平均延时通常是一个比较重要的指标，它反映了网络的传输效率。最大延时则反映了网络的最差情况，它会对实时性要求较高的应用产生较大的影响。延时的方差则反映了延时的波动情况，它对应用的稳定性和可靠性也有一定的影响。<sup>[2]</sup>

### （三）延时对系统稳定性和性能的定量影响

首先，延时会直接影响到系统的响应时间，对于需要实时反馈的系统，例如无人驾驶，游戏等，高延时会严重影响用户体验。其次，延时还会影响到系统的稳定性，例如在控制系统中，高延时可能会导致控制命令滞后，从而使系统失稳。因此，对于这些系统，我们需要通过设计合理的控制策略和优化网络配置，以降低延时，提高系统的稳定性和性能。通信延时是一个重要的

性能指标，它直接影响到系统的稳定性和性能。对于需要实时反馈的系统，例如无人驾驶、游戏等，高延时会严重影响用户体验。在无人驾驶系统中，高延时可能会导致车辆控制命令滞后，从而产生安全风险。在游戏中，高延时会导致画面卡顿、操作反应迟钝等问题，影响到游戏体验和游戏竞争力。因此，降低通信延时是这些系统优化的重要目标之一。同时，延时还会影响到系统的稳定性。在控制系统中，高延时可能会导致控制命令滞后，从而使系统失稳。例如，对于一个机器人控制系统，高延时可能会导致机器人的运动不稳定，从而使其无法完成预定的任务。在金融交易中，高延时也可能会导致交易系统的不稳定，从而产生金融风险。<sup>[3]</sup>

## 四、通信延时问题的解决策略

在现代通信系统中，延时问题是一项挑战，尤其是在实时或近实时的应用中，如在线游戏、视频通话、遥感系统等。延时是从发送数据到接收数据的时间间隔，它可能会影响系统的性能和用户体验。因此，解决通信延时问题是非常重要的。在这篇文章中，我们将介绍三种主要的延时问题解决策略，包括延时补偿技术，基于网络的控制策略，以及高级控制理论在延时问题解决中的应用。

### (一) 延时补偿技术

延时补偿技术是一种解决控制系统中延时问题的有效方法。它可以通过使用预测控制和状态估计来帮助系统在延时情况下维持稳定和可控。预测控制策略使用模型来预测未来的系统状态，并根据这些预测来确定控制输入。这种方法可以补偿由于延时引起的误差，从而使系统更加准确地跟踪期望输出。另一方面，状态估计通过估计系统的当前状态来提供必要的控制输入。即使存在延时，系统也能够通过这种方法来保持稳定和可控。这种技术在很多应用中都非常有用，例如控制机器人、汽车和飞行器等系统。通过使用延时补偿技术，这些系统可以更加可靠和准确地执行任务，从而提高效率和安全性。<sup>[4]</sup>

### (二) 基于网络的控制策略

基于网络的控制策略是指在网络通信中使用的一系列控制技术和策略，旨在提高网络的性能和稳定性。除了QoS保证和网络调度外，还有一些其他的基于网络的控制策略，例如拥塞控制、流量控制等。拥塞控制是一种通过动态调整发送速率来控制网络拥塞的策略，它可以避免网络过载，从而降低延时和丢包率。流

量控制是一种通过限制发送端的数据流量来控制网络拥塞的策略，它可以有效地控制网络传输速度，从而提高网络的稳定性和可靠性。

这些基于网络的控制策略在现代网络通信中非常重要，尤其是在需要低延时和高可靠性的应用中。例如，视频会议、在线游戏和实时控制等应用需要保证低延时和高带宽，以确保良好的用户体验和系统性能。通过使用QoS保证、网络调度、拥塞控制和流量控制等策略，这些应用可以更好地满足用户需求，提高服务质量和服务满意度。因此，基于网络的控制策略对于现代网络通信的发展和应用具有重要的意义。

### (三) 高级控制理论

高级控制理论是一种控制技术，它可以在复杂系统中实现更高级别的控制功能，例如优化控制、鲁棒控制和自适应控制等。其中，鲁棒控制是一种能够保持系统稳定性的控制策略，在存在参数不确定性或干扰情况下依然可以保持系统的稳定性。通过使用鲁棒控制，我们可以设计出对延时不敏感的控制器，从而减轻延时对系统稳定性和控制精度的影响。另外，模型预测控制也是一种基于模型的控制策略，它通过预测未来的系统状态来决定控制输入，从而实现对系统的控制。这种方法可以有效地处理延时问题，因为它可以预测并补偿由于延时而引起的误差。这样，控制器可以更加准确地跟踪期望输出，从而提高系统的稳定性和控制精度。这种技术在很多领域都有应用，例如机器人控制、自动驾驶等方面。高级控制理论是一种非常重要的控制技术，它可以在复杂系统中实现更高级别的控制功能，并且具有更好的鲁棒性和适应性。这些技术在现代工业控制和自动化领域中广泛应用，可以帮助人们更好地控制和管理复杂的系统，从而提高效率和降低成本。

## 五、结语

在今天的数字化时代，自动化控制系统已经成为各个领域中不可或缺的重要组成部分。为了更好地应对通信延时问题，我们需要不断的改进和创新自己的技术和方法，以确保系统的稳定性和可靠性。同时，我们也需要加强多领域的合作和交流，促进自动化控制系统的发展和进步，以应对未来的挑战和机遇。通信延时问题是自动化控制系统中不可忽视的一个问题。我们需要通过不断创新和研究，不断提高技术水平和解决能力，以确保系统的稳定性和可靠性，为实际应用带来更好的效果和贡献。

## 参考文献：

- [1] 徐晓林, 秦宗光, 赵毅栋. 无人机 AVB 通信及降低通信时延方法研究 [J]. 自动化仪表, 2022, 43(12): 38–43.
- [2] 李志军, 张军发, 张家安. 考虑延时的孤岛微电网频率协同控制策略稳定性分析及改进 [J]. 天津大学学报 (自然科学与工程技术版), 2022, 55(10): 1061–1070.
- [3] 田彬, 姚柯, 王彦健, 谷淦, 徐志刚, 赵祥模, 景峻. 基于模型预测控制的 CACC 系统通信延时补偿方法 [J]. 交通运输工程学报, 2022, 22(04): 361–381.
- [4] 丁安邦. 面向 CPSS 的园区微电网系统协调控制方法研究 [D]. 兰州理工大学, 2022.