

过程 TPN 模拟方法用于两种现场总线网络的性能比较研究¹⁾

赵海 王光兴

(东北大学计算机系 沈阳 110006)

摘 要

以具有过程说明的 TPN 为工具,对两种不同类型的 Fieldbus 网络性能进行了研究、分析和比较。在轮询协议中,采用了 P/C 通信模型,由主节点管理轮询队列;在令牌协议中,分别采用循环令牌和授权令牌来满足周期性和突发性通信需要,其中对网络响应时间、吞吐量和振荡等性能进行了重点讨论,给出了它们的性能差异和响应界限。

关键词: 现场总线, TPN, 轮询协议, 令牌协议, 工业自动化和过程控制。

1 引言

工业制造系统和控制过程这样一类控制应用系统构成了至关重要的实时应用族。这一族应用必须通过现场设备与外部物理过程不断地交换信息,其主要的活动是“读”(传感器)、“计算”(可编程序控制器)和“写”(执行器)。这种系统的响应时间极短(毫秒级),所以又称为时间敏感系统^[1]。

现场总线 (Fieldbus) 的目的是借助于计算机局域网技术实时地将现场设备互联起来,它是面向过程控制解决上述问题的未来工业通信标准^[1,2]。

2 建模技术

本文使用的建模技术是一种具有过程说明的 TPN (Timed Petri Net) 类的混合方法,它含类 C 语言过程的变迁,用下面六元组表示:

$$\text{TPN} = \langle P, T, I, O, M, D \rangle. \quad (1)$$

P 和 T 分别表示库所和变迁的节点集。流关系包含于 $P \times T \cup T \times P$ 之中,根据输入函数和输出函数(即 $I: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ 和 $O: T \times P \rightarrow \{0, 1\}$),不同种类的节点用有向弧连接起来,将变迁影射到输入和输出库所集。函数 $M: P \rightarrow \{0, 1\}$ 给出了标识分布,它

1) 863 计划 CIMS 主题“新型低成本 CIMS 网络技术的研究”。

本文于 1994 年 4 月 11 日收到

节点在处理一个旧变量时接收到一个新 ID 帧,两个轮询请求将发生重叠,这种情况只能发生在下列两种情态中,但可根据限定条件被避免。

情态 1. 一个消费节点接收到一个新 ID 帧并且它是新变量的生产节点。

☆①和⑨不能同时满足;

对于所有 TPN 的标识: $M(P_1) \wedge M(P_9) = 0$ 。

情态 2. 一个消费节点接收到一个新的 ID 帧并且它是新变量的消费节点。

☆③中的标识数始终小于 2;

对于所有 TPN 的标识: $M(P_3) \leq 0$ 。

☆③和⑨不能同时满足。

对于所有 TPN 的标识, $M(P_3) \wedge M(P_9) = 0$ 。

FIP 协议的 TPN 模型中的相关过程用类 C 语言描述如下:

过程 1: {

```
receive_ID_frame;
if producer_receive_buffer = ID_frame;
    mark_place1;
if master_receive_buffer = ID_frame;
    mark_place2;
if consumer_receive_buffer = ID_frame;
    mark_place3;}
```

过程 2: {

```
receive_VAR_frame;
if producer_receive_buffer = VAR_frame;
    mark_place4;
if master_receive_buffer = VAR_frame;
    mark_place5;
if consumer_receive_buffer = VAR_frame;
    mark_place6;}
```

3.2 SP50 协议模型

在 SP50 协议模型中,使用了循环令牌(T_c)和授权令牌(T_a)来满足周期性和时间确定性两种通信需求。 T_c 的目的是在由使能器(S_s)设定的预建立周期内,将初始化任务由当前主节点传递至下一主节点,而在预建立周期内令牌必须返回使能器。 T_a 的目的是在一个预设定周期内由使能器至主节点传递一次执行任务的权力。在 T_a 返回之前,它仅能由一个主节点使用,并且不允许构成逻辑环^[6]。

根据 SP50 建议的要求,使用 TPN 来模拟其协议运作的模型如图 2 所示。⑧表示 S_s 的初始化状态, S_s 发放令牌激活 T1。当主节点接受服务时(即①), T2 发生。当从节点接收到来自主节点的数据时(即⑤), T5 发生。如果循环令牌到达最后一站(即②) T3 发生。⑦是令牌传递,④是从节点空闲。初始标识为 $M(P_8) = 1$ 。

t_5 和 t_6 是两个相关使能器的时间,它们与使能器传送的两种令牌长度有关。在顺序

方式或者重发序列中,如果有必要建立周期服务时间表,那么在随机序列和突发事件时,则有必要建立非期服务时间表.模型中有三个相关主节点的变迁时间,即 t_1, t_2 和 t_3 ,分别是服务和两种令牌的处理时间.根据相关服务的信息签收,从节点向主节点发送所需要的数据或者应答,所以相关于每一从节点的时间有一个 t_4 .

SP50 协议 TPN 模型中的相关过程用类 C 语言描述如下:

```

过程 1: {
    read_token_buffer;
    read_private_queue;
    if  $t_{HT} \neq 0$ ;
        {if service_type = send_data;
            mark_place1;
            update_timer;}
    reset_timer;
    if token_type = Td;
        mark_place2;
    if token_tyep = Tc;
        mark_place3;}
过程 2: {
    mark_place5;
    write_service_to_transmission_
buffer;}
过程 3: {
    ifcurrent_master = last_Tc;
    mark_place8;
    mark_place7;}

```

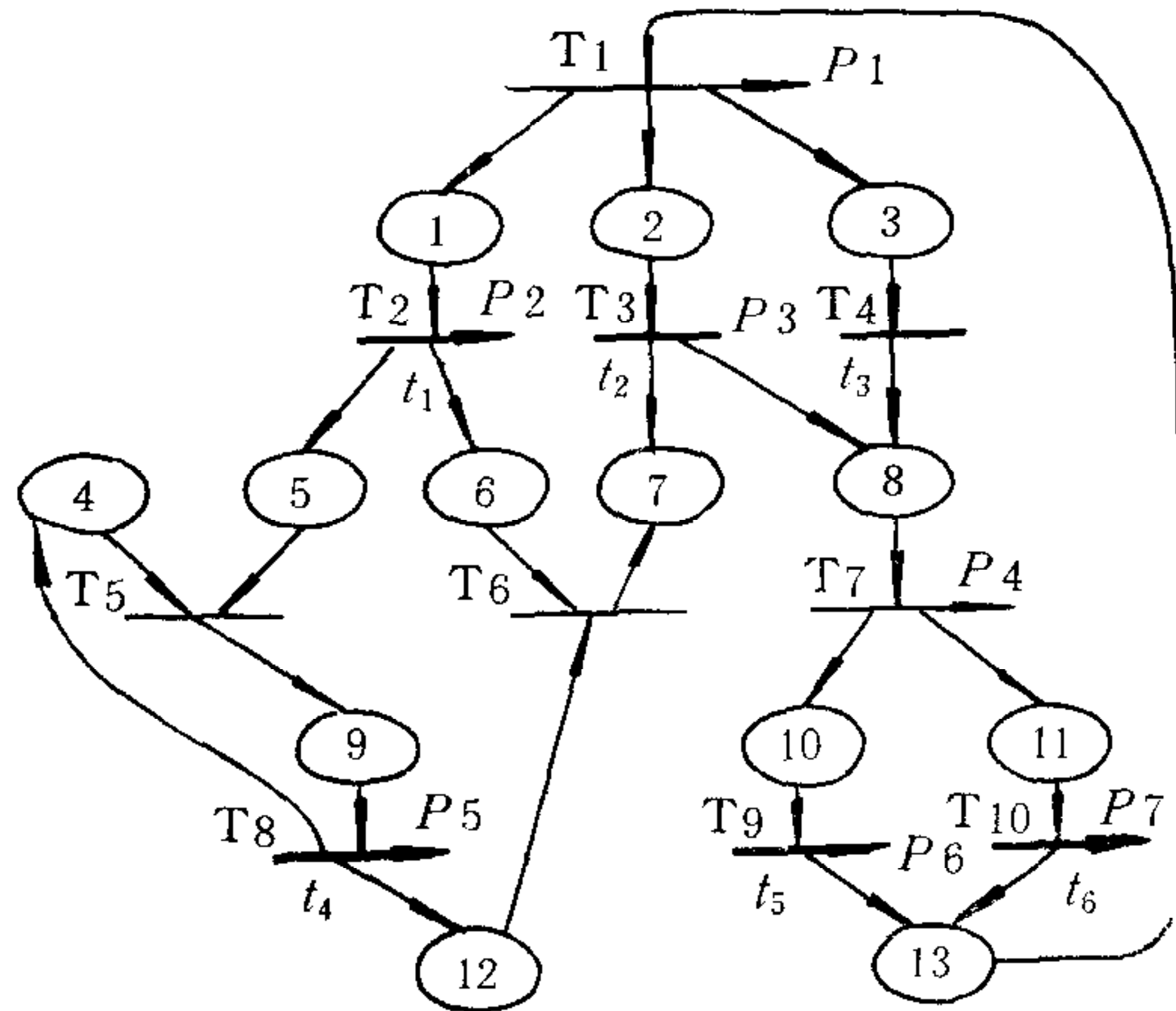


图 2 SP50 协议 TPN 模型

```

过程 4: {
    choose_token_type;
    choose_destination_master;
    if token_type = Td;
        mark_place10;
    if token_type = Tc;
        mark_place11;}
过程 5: {
    read_service_from_transmission_buffer;
    ACK_response;
    if mark_place12;
        mark_place4;}
过程 6,7: {
    mark_place13;
    write_token_to_transmission_buffer;}

```

本文的目的是通过模拟两类现场总线网络送取体制的演变研究其性能规律, 因此仅定义了现场总线网络的规范化模型. 模型视图只说明这种手段是派生出网络送取特性参数有效的方法. 由于差错恢复和检错属于小概率事件, 所以包含有这类事件的库所被忽略掉并不会影响基本协议性能, 否则将增大模拟复杂性.

4 性能比较

本节在上一节基础之上对人们最为关心的响应时间、吞吐量和振颤等网络参数进行了模拟研究. 根据现场总线网络的特点, 对应答帧进行了特殊的规定, 并将平均标准化响应时间定义为

$$\bar{t} = \left[\frac{t_{ai} - t_{gi}}{t_{ii}} \right]. \quad (2)$$

其中, t_{ai} 是确认第 i 帧的应答结束的时间, t_{gi} 是产生第 i 帧的时间, t_{ii} 是发送第 i 帧所需要的时间. 如图 3 和图 4 所示, 无论是轮询协议还是令牌协议, 吞吐量都随响应时间的增加而增加, 即随着生产节点或主节点运行时间的增加而增加. 如果考虑当响应时间增加时, 由于时间槽消失, 而使生产节点或主节点空闲时间减少这一事实, 该结论就很容易解释.

下面的比较是以轮询协议为参考的. 首先, 讨论仅有 T_d 时的令牌协议的性能 (即时间确定性通信). 如图 3 所示, T_d 在每一主节点都被保持一段时间 (即令牌保持时间 t_{HT}). 在 t_{HT} 内, 持牌主节点完成一定量的信息交换, 然后立即释放 T_d 或者在剩余时间不足完成一个特定服务时提前释放 T_d . 这时使能器在已建立的 t_{HT} 消逝之前必须自己掌握令牌. 值得注意的是 SP50 模型的模拟是在有界振颤条件下面向最大吞吐量而进行的. 而轮询协议中的 ID 帧由主节点以广播方式发出, VAR 帧由生产节点以广播方式发至主节点和所有消费节点, 所以在相同响应时间下 (见图 3) 轮循协议比令牌协议表现出较高的吞吐量.

对于周期性通信需求而言, 为了建立 t_{RT} (Target-token Rotation time), T_c 必须能够根据一个固定的序列在主节点间传递. 当主节点接收到令牌时, 则试图完成缓冲区中所有服务并随下列事件的发生而立即释放令牌.

- 如果返回 S_a 的令牌的固定 t_{HT} 已经消失, 那么主节点返回令牌.
- 如果主节点已耗尽了其缓冲区中的服务, 或者它的 t_{HT} 超界并确认剩余的时间槽足够

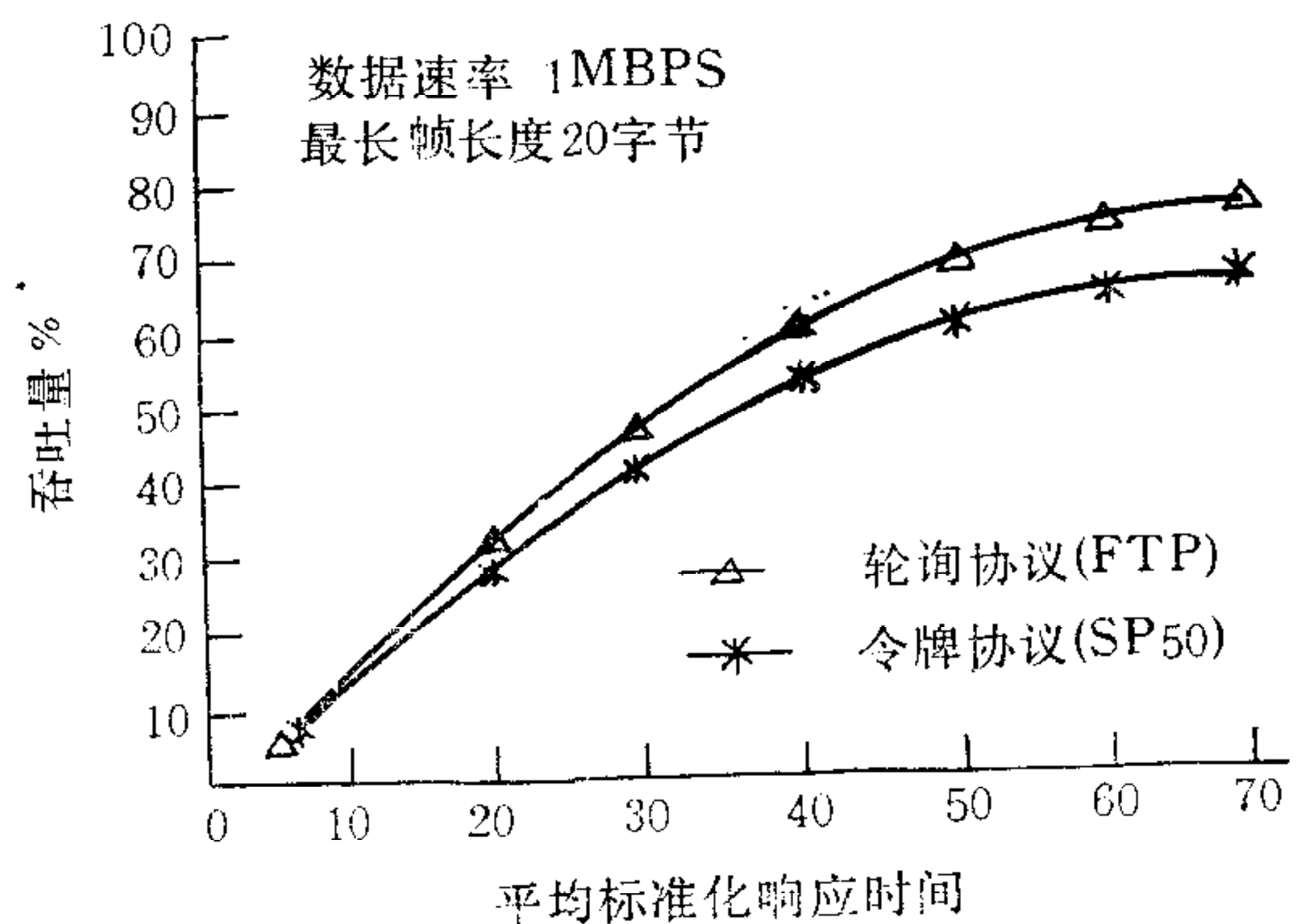


图3 FIELDBUS 网络吞吐量与平均标准化响应时间关系曲线 [令牌协议考虑仅有授权令牌情况]

FIP: 主节点: 1、生产节点: 10、消费节点: 20.

SP50: 使能器: 1、主节点: 10、从节点: 20.

为下一主节点至少完成一个服务,那么主节点将令牌传递至后继主节点。

- 如果主节点已耗尽了其缓冲区中的服务,但确认剩余时间槽不足以为下一主节点至少完成一个服务,那么主节点将令牌返回 S_a 。

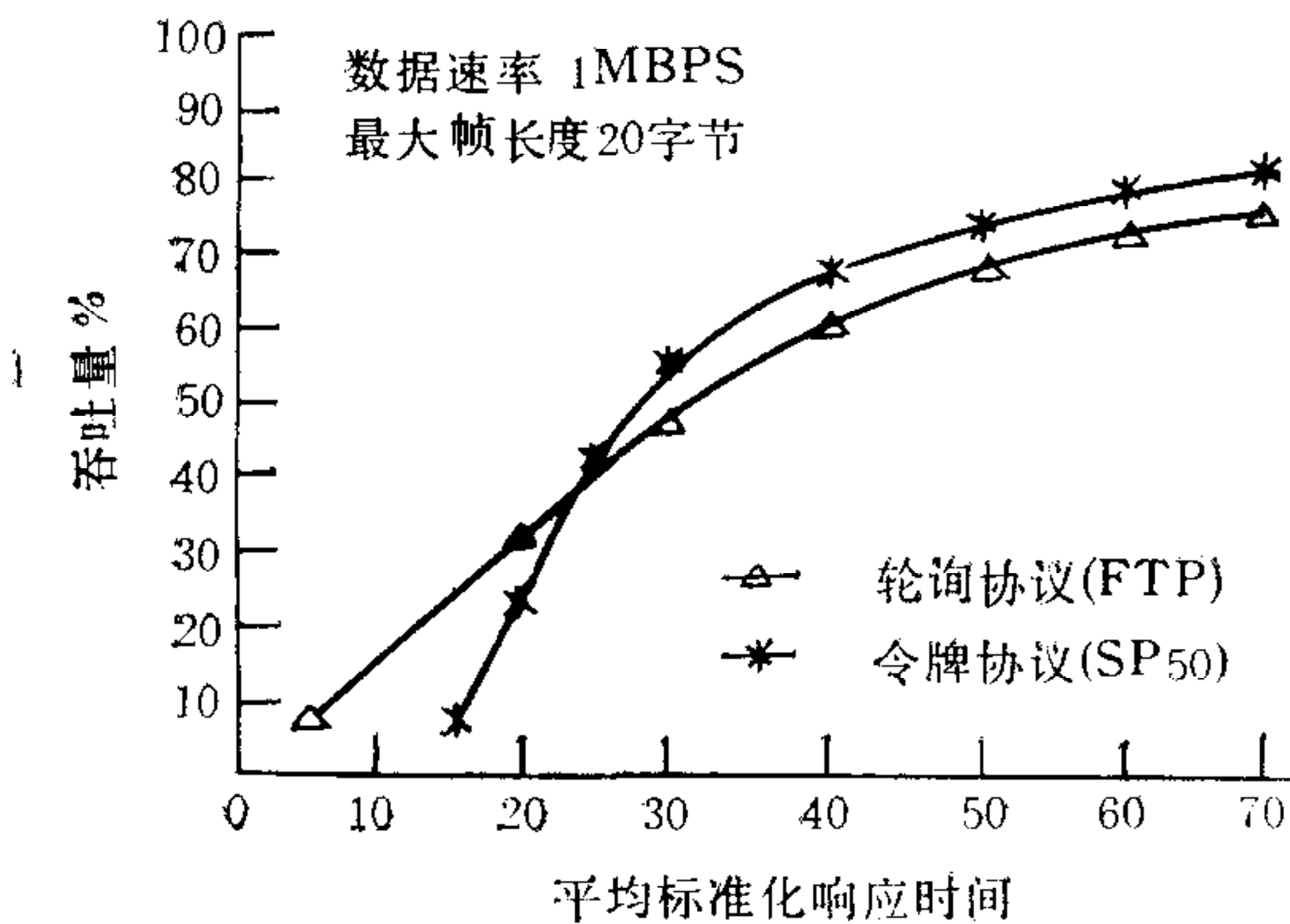


图 4 FIELDBUS 网络吞吐量与平均标准化响应时间关系曲线[令牌协议考虑仅有循环令牌情况]

FIP: 主节点: 1、生产节点: 10、消费节点: 20。
 SP50: 使能器: 1、主节点: 10、从节点: 20。

当 t_{RT} 增加时, S_a 必须管理的令牌数量减少,但是采样时间的增加还与平均令牌延时的增加有关。另外,非周期服务的平均延时和 t_{RT} 取决于发生服务的数量。图 4 的模拟结果表明,使用循环令牌时,SP50 协议的吞吐量在某一门限响应时间(约为 2.4 个平均标准化响应时间)之上要高于 FIP 协议的吞吐量。

振颤是协议在执行过程中的非确定部分,这种非确定性是由时钟的偏差所引起的。由于协议采用了本地时钟,所以协议产生振颤。

设 ρ_i 表示第 i 个节点的时钟偏移率,

则

$$\forall i \in [0, n]: \rho_i \in \mathcal{R}. \tag{3}$$

如果所有的本地时钟绝对准确,并且具有相同的精度,那么

$$\rho \in \mathcal{R}, \rho = 0. \tag{4}$$

根据(3)和(4)可得

$$\forall i \in [0, n]: \rho_i = \rho. \tag{5}$$

就 FIP 协议而言,协议处于空闲状态时的最大振颤为零。但是,由于时钟的偏差,超时不可能在同时刻发生,所以时钟的偏差构成了振颤的界。在这种意义上,振颤又被定义为当不同超时发生时的时间差值。

在 SP50 协议中,振颤被定义为获取令牌的理论时间(仅基于周期服务)和获取令牌的实际时间(在这个时间上,与考虑的非周期服务理论时间相比存在一个延时)之差。如图 5 所示,这里定义的振颤在模拟中仅给出了振颤绝对值和其无规律变化趋势。

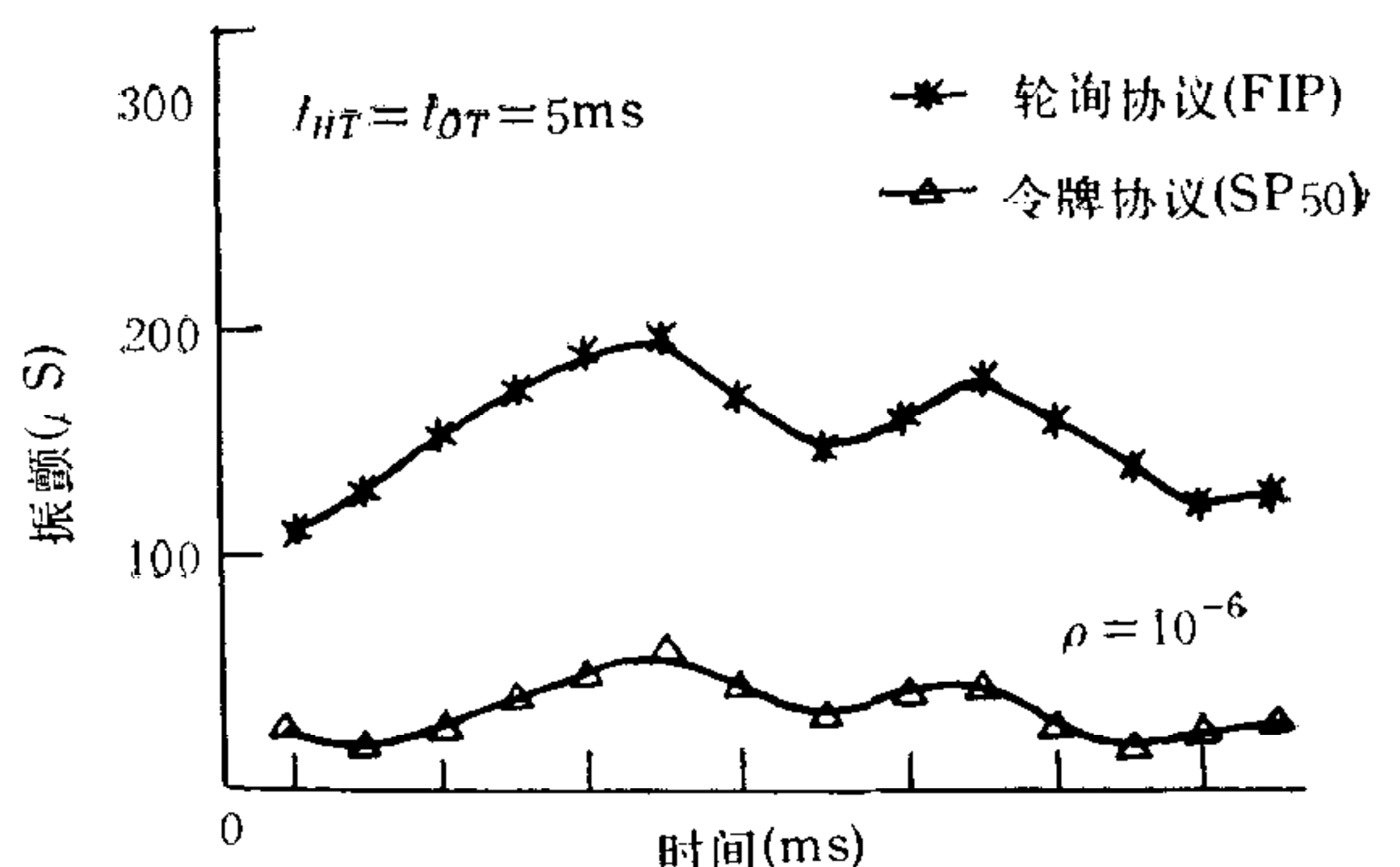


图 5 两种 Fieldbus 网络中振颤随时间变化曲线

由于 SP50 协议考虑了 T_c 的影响,所以振颤远大于 FIP 协议。见图 5,振颤明显地依赖于发生非周期服务的数量并随时间无规律振荡。在图 4 的模拟中, S_a 始终以同频发放和收回令牌,故 t_{RT} 保持常数,所使用的通道带宽明显地减少。由于在每一令牌巡回开始处失步消失,所以振颤值也减少。

5 结论

本文研究了两种现场总线的网络性能, 对其模拟的结果表明: FIP 协议对周期性通信需求在时间敏感范围内(响应时间在十毫秒以下)表现出良好的吞吐性能。但对混合性通信需求而言, SP50 协议在某一门限响应时间以上其吞吐性能明显地优于 FIP 协议。然而, 后者的优越性恰是牺牲其振颤性能而获得的。如果说前者恰是解决连续过程控制系统中通信问题的最佳方法, 那么后者更适用于解决离散过程控制甚至是混合过程控制系统中的通信问题。现场总线网络的设计者们可根据本文的结论进行自己的选择, 作出适合不同工业环境同时满足其不同通信需求的有效设计。

参 考 文 献

- [1] Zhao Hai, Wang Guangxing. A fieldbus in ironworks in China. *control eng. Practice*, 1993, 1(3):463—468.
- [2] Plienevaux P. time critical network: fieldbus. *IEEE Network*, 1988, 2 (3):157—161.
- [3] Felger M, Pesse M. High level timed petri net as a kernel for executable specifications. *Real Time System*, 1993, 5 (4):235—248.
- [4] Wolfgang R. petri nets. New York; Springer-Verlag, 1982.
- [5] Phinney T. Some Remarks on fieldbus token passing mechanisms. ISA/SP50, 1990—356.
- [6] Raja P, Ulloa G. Priority polling and dynamic time windows mechanism in a multicycle fieldbus. COMPEURO' 93 Paris, 1993, 121—129.

STUDY AND COMPARISON OF TWO TYPES OF FIELDBUS NETWORK WITH TPN

ZHAO HAI WANG GUANGXING

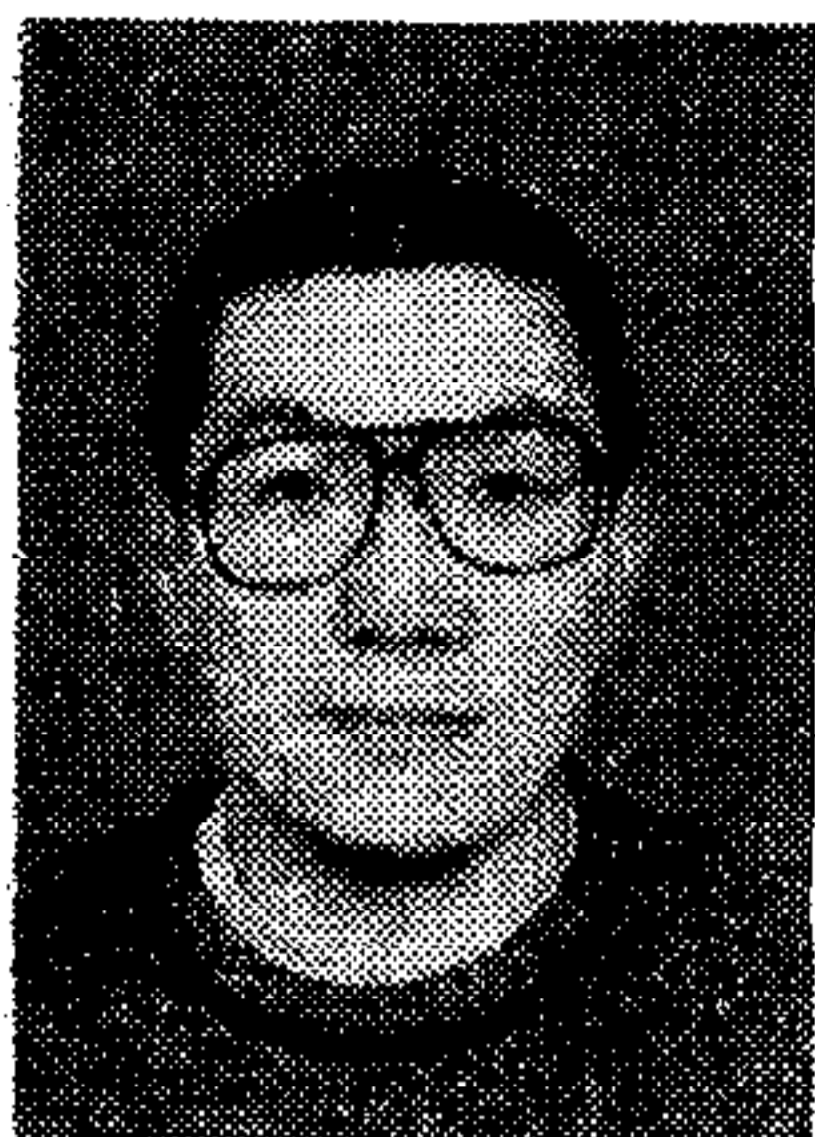
(Dept. of Computer Science and Engineering Northeastern
University Shenyang, P. R. China 110006)

ABSTRACT

Two efficient fieldbus protocol are studied, analyzed and compared based on Timed Petri Net with procedures, in which transitions are described in high level program Language. In the polling scheme, the producer/consumer communication model is used. Polling queues are managed by the master node. The polling request message is broadcasted to all nodes and the poll response message is broadcasted by the producer. In the token-passing scheme, the circulated token and the delegated token allow very different communication requires to be met respectively. They are managed by the arbitrator. Operations of two types of the fieldbus network models are simulated in the paper. The performances of response time, throughput and jitters are discussed in details. The differences of performances and the threshold of the response time with the limited jitters are given. The result show that: when the response time is greater than the threshold, the polling protocol in the fieldbus has a intrinsic rhythm and is very useful for the communication problems in continuous.

process control, the token passing protocol in the fieldbus just breaks the intrinsic rhythm and is better in discrete and hybrid process control.

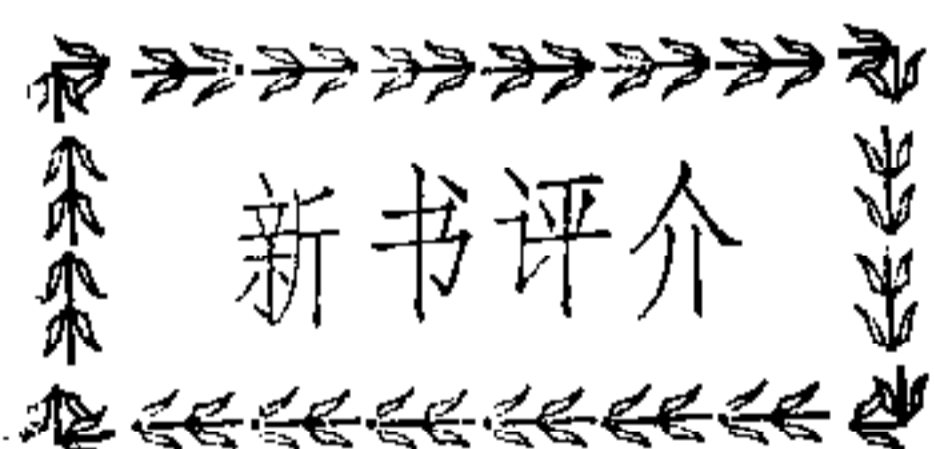
Key words: Fieldbus, timed petri net, polling protocol, token passing protocol, factory automation and process control.



赵海 1982年于大连海事大学电子工程系获学士学位,1995年于东北大学计算机科学与工程系获博士学位,1995年晋升为教授,从事通信理论、多媒体计算机通信网络、工业自动化通信和控制、CIMS网络技术和FCS的研究。



王光兴 1962年毕业于东北大学自动控制系,1986年晋升为东北大学教授,1990年为东北大学计算机科学与工程系博士生导师,1992年为国务院学位委员会学科评议组(计算机科学与技术)成员,现从事计算机通信和CIMS中的计算机网络研究。



智能自动化丛书(第一册)问世

目前,国内外科技界已逐渐形成了一种共识:采用人工智能原理和方法研究智能系统,以使具有50年左右发展历史的传统自动化走向智能自动化,是当今自动化科学技术发展的必然趋势。

1996年初,智能自动化丛书已开始面世,这套丛书是由国家科委主任、中国科学院院士宋健担任名誉主编,中国科学院院士戴汝为任主编,由26位学者组成编委会,其中8位为院士,其余编委也均为我国自动化界、人工智能、系统科学等学科有造诣的专家学者。

这套丛书由《智能系统的综合集成》、《开放复杂巨系统》、《人工神经网络原理及应用》、《智能控制》、《智能信息处理》及《汉字识别》等专著组成,由李衍达、张钹、戴汝为等院士及有关学者撰写。

《智能系统的综合集成》是这套丛书的第一册(浙江科学技术出版社出版)。该书共分十一章,约25万字,内容包括:人机结合的大成智慧,人工智能历史的回顾与分析,综合集成方法的概述,混合专家系统的原理与应用,以神经网络为基础的智能控制,可视知识概论,机器人智能视觉系统,图形表示,基于形象思维(直感)的手写汉字识别,巨型智能系

(下转第427页)