

文章编号: 1001-0920(2005)03-0337-04

Profibus-DP 网络的FDL 时态特性分析

胡立坤, 王庆超

(哈尔滨工业大学 航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 介绍了非立即无数量约束低优先级报文传送模式在持有令牌时间内的处理流程。基于报文周期时间对 Profibus-DP 的时态特性进行分析, 讨论了不同数据传输率下的标准周期和非周期报文对标准周期的影响, 进一步确定了目标令牌循环时间的下界, 并给出了设置方法。

关键词: Profibus-DP; 令牌总线; 令牌循环时间

中图分类号: TP393

文献标识码: A

FDL temporal characteristic analysis of Profibus-DP

HU Li-kun, WANG Qing-chao

(School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China Correspondent: HU Li-kun, E-mail: hlk3email@163.com)

Abstract: The FDL access mechanism and the message handling flow diagram of the unimmediate unconstrained low-priority traffic profile are analyzed. Based on several time conceptions, the temporal characteristics of Profibus-DP are discussed. The model of the standard real token rotation time without acyclic information is established. Impact on the standard token rotation time, which is deduced from acyclic information including diagnostic informations and acyclic read/write informations, is presented under different baudrates. Lower bound of target token rotation time in Profibus-DP is given as well as the setup method of target token rotation time.

Key words: Profibus-DP; token bus; token rotation time

1 引言

在基于工业网络的测控系统中, 数据分为4种: 严格实时数据, 硬实时数据, 软实时数据^[1]和非实时数据。它们的传输调度策略是不同的。为方便起见, 将其归结为两类: 前两种为一类, 它们有严格的时间限制, 超出这个限制后是无效的; 后两种为一类, 它们对通信延迟放宽了要求, 时间超限后数据在一定程度上仍是有效的。根据数据周期性, 第1类在实际网络中表现为周期实时数据和非周期实时数据, 对于该类数据不仅要求传输正确, 而且应满足截止期^[2]的要求; 对于第2类数据, 一般只要保证传输正确即可。

Profibus-DP 实现的是设备级时间的应用, 为

满足以上的实时性需要, 对于基于令牌的网络, 有的文献研究了基于截止期的 Profibus MAC 预运行期调度方法^[3], 并分析了 Profibus 周期时间特性, 考虑了最坏情况下的参数设置方法^[4]; 也有文献研究了 IEC 61158 网络报文调度特性^[5]以及 WorldFIP 和 FF 的实时能力^[6]。本文分析 Profibus-DP FDL 的工作机制, 考虑最小从站访问间隔时间的非立即无数量约束低优先级报文传送模式的报文处理流程。考虑到端到端的延迟^[7]对网络传输的影响, 这里基于各类报文周期访问时间, 分析 Profibus-DP 网络的时态特性。Profibus 通信是基于共享介质的, 且在 FDL 层对选定的目标令牌循环时间变化是敏感的^[8]。本文分析了 Profibus-DP 中 T_{TR} 的选取问题。

收稿日期: 2004-06-14; 修回日期: 2004-09-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(60274002)。

作者简介: 胡立坤(1977—), 男, 湖北襄樊人, 博士生, 从事航天器动力学与控制、工业测控网络的研究; 王庆超(1950—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 从事复杂大系统控制、智能控制等研究。

2 FDL 工作机制与报文调度流程

Profibus-DP 的协议是一种EPA 三层结构^[9]。其中FDL 层对网络访问进行控制,并为应用层提供服务,它的实现影响报文调度的时态特性。FDL 包括媒体访问控制(MAC)和逻辑链路控制(LLC)。在MAC 层将报文分成高低两级优先级,对应的报文分别在两个独立的队列中被调度。MAC 控制主站之间的令牌传递和主从站之间的主从方式交换数据,避免冲突。令牌的传递是基于逻辑环按地址升序在各主站依次传递,得到令牌的主站在令牌占有期内,可向其他主站发送数据,也可与从站交换数据。LLC 主要负责建立和终止逻辑通信链路,为DP 提供服务访问点(SAP)。Profibus-DP 使用第2 层LLC 的SAP 提供的SDN 和SRD 两类服务^[12],SDN 完成某主站到其他站的定点、多播和广播信息,SRD 按轮询列表完成周期轮询与从站交换数据、诊断、参数化及非周期读/写。

在Profibus-DP 主站得到令牌后,如果没有高优先级报文传送,则不传送低优先级报文;只有存在高优先级报文时,在其传送完后才能传送低优先级报文,并且不限制低优先级报文传送的数量。这是一种非立即无数量约束低优先级报文传送模式,它可

能影响后继主站高优先级报文的传送。这种非立即无数量约束低优先级报文传送模式报文处理的流程如图1 所示。图中报文高低优先级是通过数据交换函数实现的,可根据网络的特定要求为相应报文分配优先级。前后两次连续对从站访问应满足最小从站访问间隔 T_{MSI} ,该参数依赖于从站的硬件特性。

3 Profibus-DP FDL 时态特性分析

3.1 几个重要概念

不失一般性,以位时间(t_{BIT})为单位衡量与时间相关的量^[9]。下面界定几个重要的时间量。

定义1 一次令牌传递时间 T_{TC} :主传递令牌所用时间,表达式为 $T_{TC} = T_{TF} + T_{TD} + T_D$ 。

定义2 报文周期时间 T_{MC} :主站发送一个请求或用户数据主动帧的时间与相应响应站立即发送一个确认或应答的被动帧时间之和。该时间是站与站间的报文交互在时间上的体现。

定义3 目标令牌循环时间 T_{TR} :由网络设计者指定的令牌在逻辑环上的循环时间。一般该时间在所有主站上设置是一致的。

定义4 实际令牌循环时间 T_{RR} :令牌的动态实际循环时间,其计算方法为:在某主站收到令牌后, T_{RR} 开始加计数或减计数,直到令牌再次到达该主站为止。计算这一时间时,需要考虑从站诊断报文、主从间的非周期数据交换、高优先级报文、逻辑令牌环动态变化等情况下的动态令牌循环时间。

定义5 主站持有令牌时间 T_{TH} :某主站收到令牌到该主站将令牌传送到下一主站的目标时间。其表达式为 $T_{TH} = T_{TR} - T_{RR}$ 。

定义6 主站实际令牌持有时间 T_{RTH} :某主站收到令牌到该主站将令牌传送到下一主站的实际时间。该值比 T_{TH} 可能大也可能小。

3.2 Profibus-DP 网络的时态特性

一个报文周期是原子操作^[9],即使 T_{TH} 过期或溢出,该报文周期传送完成后才能将令牌传递给下一主站,这样造成的后果是传递给下一站的令牌可能延迟,如果下一主站高优先级队列不空,则即使 $T_{TH} < 0$,也要执行一个高优先级报文周期,这更增加了令牌到达主站的延迟。当令牌在限制期内到达时, $T_{TH} > 0$,主站可传送更多的高优先级报文,甚至是低优先级报文。由此可知,优先级机制至少为高优先级报文分配一定的时间,在没有高优先级报文周期时,不调度低优先级报文周期,但在持有令牌 T_{TH} 时间较长时,低优先级报文也能被大量调度。这将推延令牌的循环,使随后的站可能仅发送一个高优先级报文。

T_{TR} 一经设定便不能动态修改,而 T_{RR} 直接受网

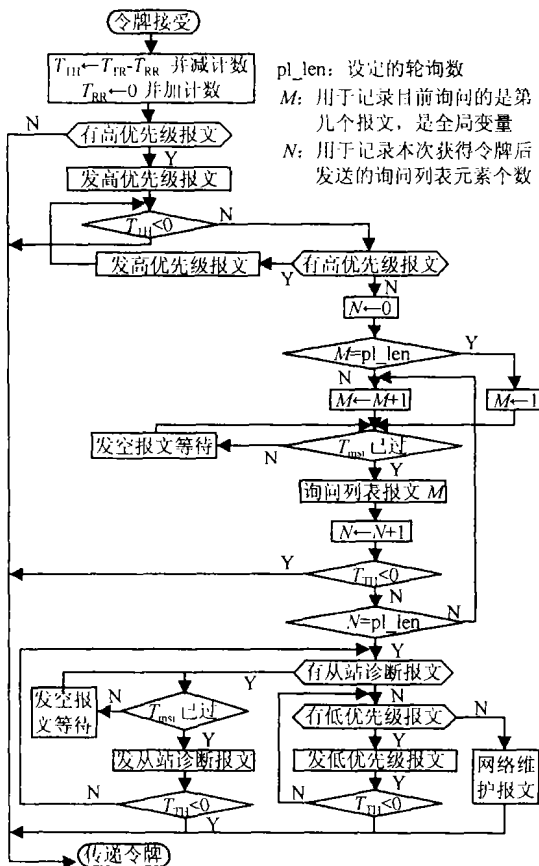


图1 非立即无数量约束低优先级模式处理流程

络通信量负荷的影响 网络通信量负荷增加, T_{RR} 也相应增加 对于一个负荷平稳的网络, 将 T_{TR} 设置得大些, T_{TH} 值也大些, 主站传送的报文便多些; 但 T_{TR} 也不能设置得过大, 以免对各主站的高优先级报文的实时性造成影响 如何设置尽可能短的目标令牌循环时间, T_{TR} 是高效调度高低优先级的发送队列报文并获得网络性能的关键

Profibus-DP 主要在高数据速率下周期性地读取从设备的输入信息, 周期性地向从设备输出信息, 并在既定的网络间隙维护时间询问相应站的 FDL 状态 这里假定网络是可靠的, 不存在象数据帧混乱、令牌丢失等通信错误; 网络节点一定, 在通信过程中不改变; 每个主站有足够的缓冲区存放报文 无非周期报文下标准令牌循环时间为

$$T_{RR}^{std} = T_{poll} + T_{GAP} + T_{TK} \quad (1)$$

假设有 n_M 个主站, 每个主站又分别有 $n_S(k)$ ($k = 1, 2, \dots, n_M$) 个从站, 则

$$T_{poll} = \sum_{k=1}^{n_M} \sum_{j=1}^{n_S(k)} T_{ps}^k(j) \quad (2)$$

其中 $T_{ps}^k(j)$ 表示主站 k 与从站 j 完成报文周期所用时间, 这种操作通过 SRD 服务完成 由报文格式知, $T_{ps}^k(j)$ 由固定开销和可变部分组成, 即

$$T_{ps}^k(j) = T_{fix} + L_{ps}^k(j) \times 11 \quad (3)$$

其中: $T_{fix} = 331$, $L_{ps}^k(j)$ 表示主站 k 与从站 j 的报文周期交换的总字节数 于是式(2)可改写成

$$T_{poll} = \sum_{k=1}^{n_M} n_S(k) \times T_{fix} + \sum_{k=1}^{n_M} \sum_{j=1}^{n_S(k)} L_{ps}^k(j) \times 11 \quad (4)$$

考虑到 T_{MSI} 的影响, 图 2 实线部分给出了单主站和从站分别有 4 字节 I/O 数据时, 4 种数据传输速率下的标准周期 这里 $T_{TK} = 66$, $T_{GAP} = 215$, $T_{MSI} = 200 \mu s$ 比特对应关系如表 1 所示 由图 2 可知, 当数据传输率较大(如 12 M bps) 而从站较少时, 都有一

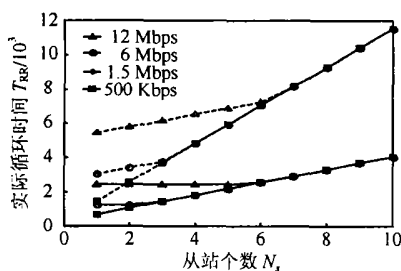


图 2 DP 单主站标准访问周期及非周期报文的影响

表 1 200 μs 的比特对应关系

T_{MSI}	12 M bps	6 M bps	1.5 M bps	500 Kbps
200 μs	2 400	1 200	300	100

个水平线, 这是由 $T_{RR}^{std} < T_{MSI}$ 造成的

如果存在诊断报文和非周期读写报文的情况, 则实际的令牌循环时间变为

$$T_{RR} = T_{RR}^{std} + T_{dg} + T_{ac} \quad (5)$$

假设每个主站分别可从集合 $m_S(k)$ ($k = 1, 2, \dots, n_M$) 中的从站读取诊断信息, 并且主站 k 从其从站 j 读取诊断信息时间为 $T_{dg}^k(j)$, 则

$$T_{dg} = \sum_{k=1}^{n_M} \sum_{j=m_S(k)} T_{dg}^k(j) \quad (6)$$

同式(4), 式(6)可改写成

$$T_{dg} = \sum_{k=1}^{n_M} \text{card}(m_S(k)) \times T_{fix} + \sum_{k=1}^{n_M} \sum_{j=m_S(k)} L_{dg}^k(j) \times 11 \quad (7)$$

由式(7)可知

$$\max T_{dg} = \sum_{k=1}^{n_M} n_S(k) \times T_{fix} + \sum_{k=1}^{n_M} \sum_{j=1}^{n_S(k)} L_{dg}^k(j) \times 11 \quad (8)$$

同理可得

$$T_{ac} = N_{ac} \times T_{fix} + L_{ac} \times 11 \quad (9)$$

其中: N_{ac} 是非周期读写报文数, L_{ac} 是交换数据总字节数

在诊断信息交换的情况下, 图 3 给出了单主站与 5 个从站分别有一个 6 字节的实际令牌循环时间 当数据传输速率较大时(12 M bps), 诊断报文出现的顺序对实际令牌循环时间有一定的影响; 当数据传输速率较小时(1.5 M bps), 诊断报文出现的顺序不会影响实际令牌循环时间 这是因为与从站交换的数据过少, 在高数据传输速率下, 轮询时间比从站最小访问间隔短, 因而 T_{MSI} 起了一定的作用 图 4 是图 3 的诊断报文按从站地址顺序出现时多主站的情况

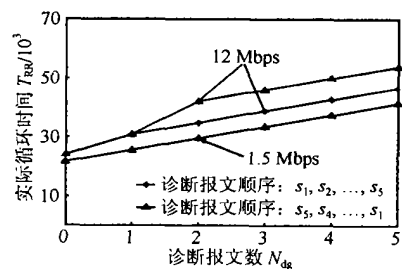


图 3 DP 单主站与 5 从站存在诊断信息交换

考虑有 6 个字节的从站诊断和 2 个字节的非周期读写的情况, DP 单主站实际令牌循环的影响如图 2 中虚线所示 由于存在非周期报文, 高数据传输率

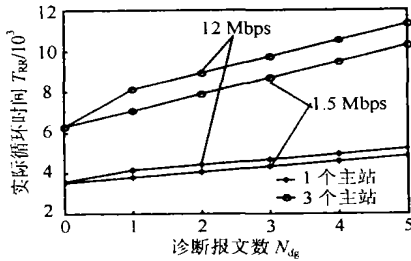


图4 DP单/多主站与5从站存在诊断信息交换的比较下也不存在水平线,而在一次获得令牌时间内可能出现多次访问同一个从站的情况,当从站数较少时,实际令牌循环时间变化较小

为满足DP从站的轮询数据应用,主站 k 的令牌持有时间应满足 $T_{TH}^k - T_{poll}^k$ 由定义5得 $T_{TR} - T_{RR}^k - T_{poll}^k$,所以 T_{TR} 的设定值在DP中满足

$$\inf T_{TR} = \max_k T_{RR}^k + \max_k T_{poll}^k \quad (10)$$

在已选定 T_{TR} 的情况下,各主站的实际令牌持有时间有两种情况: $T_{RTH}^k - T_{TH}^k, T_{RTH}^k > T_{TH}^k$ 前一种情况不会造成后继主站的令牌迟到;后一种情况则会造成后继主站的令牌迟到,更严重的是后继的所有主站令牌到达时间都迟到。为避免上述情况的发生,在式(10)的基础上适当放宽限制,以使非周期出现的高优先级报文能及时传送,也使低优先级的报文有传送的机会

3.3 实例分析

假设系统中有两个主站,主站1有10个从站,主站2有12个从站,主站与从站有4个浮点数(4×4 字节)的周期数据,采用SRD服务。根据上述分析, $T_{poll}^1 = 5.070$, $T_{poll}^2 = 6.084$, $T_{RR}^1 = T_{RR}^2 = 11.501$

为满足DP从站的轮询数据应用, $\inf T_{TR} = 17.584$,此值在12Mbps相当于1.465ms。考虑到存在高优先级报文和非周期或诊断报文,再增加20%,为1.758ms,可以满足实时应用

4 结论

Profibus是现场总线中执行方式和性能折衷的典型代表,对其FDL进行系统分析具有实际意义。本文介绍了非立即无数量约束低优先级报文传送模式调度流程,分析了Profibus-DP的时态特性,讨论

了不同数据传输率下的标准周期和非周期报文对标准周期的影响,进一步确定了目标令牌循环时间的下界,并给出了设置方法。实际上,Profibus的报文调度顺序除有高低优先级之分外,还与用户对优先级队列的排队策略有关,不同的排队策略得到的调度结果是不同的,需要进一步研究

参考文献(References)

- [1] 王智,王天然, Song Y Q, 等. 工业实时通讯网络(现场总线)的基础理论与现状(上)[J]. 信息与控制, 2002, 31(2): 146-152
(Wang Z, Wang T R, Song Y Q, et al. Survey of real-time schedule theory and the state-of-the-art of ITS application in industrial real-time communication system (Part one) [J]. Information and Control, 2002, 31(2): 146-152)
- [2] Burns A. Scheduling hard real-time systems: A review [J]. Software Engineering J, 1991, 6(3): 116-128
- [3] Tovar E, Vasques F. Real-time fieldbus communications using profibus networks [J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 1999, 46(6): 1241-1251.
- [4] Tovar E, Vasques F. Cycle time properties of the profibus timed token protocol [J]. Elsevier Science on Computer Communication, 1999, 22(13): 1206-1216
- [5] Vitturi S. Some features of two fieldbuses of the IEC 61158 standard [J]. Computer Standards and Interfaces, 2000, 22: 203-215
- [6] 王智. 工业实时通讯网络(现场总线)的基础理论与现状(下)[J]. 信息与控制, 2002, 31(3): 241-249
(Wang Z. Survey of real-time schedule theory and the state-of-the-art of ITS application in industrial real-time communication system (Part two) [J]. Information and Control, 2002, 31(3): 241-249)
- [7] Tindell K, Burns A, Wellings A J. Analysis of hard real-time communications [J]. Real-time System, 1995, 9(2): 147-173
- [8] Seung Ho Hong. Experimental performance evaluation of profibus-FMS [J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2000, 12: 64-72
- [9] Robert Partzke. Fieldbus basics [J]. Computer Standards and Interfaces, 1998, 19: 275-293