

PROFIBUS 通信性能测试与参数设置分析^①

王元月¹, 赖其涛²

¹(绍兴职业技术学院 机电工程学院, 绍兴 312000)

²(绍兴职业技术学院 信息工程学院, 绍兴 312000)

摘要: PROFIBUS 现场总线协议的实时性是评价其性能的关键因素, 因此, 如何研究和计算实时性能参数显得尤为重要. 针对这一问题, 在对 PROFIBUS 总线存取协议深入分析的基础上, 设计了基于 PROFIBUS-DP 通信性能测试平台. 通过测试平台分析和计算了包信息率、传输效率、网络平均利用率、网络吞吐量、传输延迟和令牌循环时间等实时性能参数, 并给出了总线循环时间与主站个数及报文数量之间的关系, 从而定性定量分析了 PROFIBUS-DP 现场总线的实时性能.

关键词: 现场总线; 实时性; 介质访问控制; 令牌循环时间; 总线存取效率

Performance Test and Parameter Setting Analysis of PROFIBUS Communication Protocol

WANG Yuan-Yue¹, LAI Qi-Tao²

¹(Mechanical&Electrical Engineering College, Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing 312000, China)

²(College of Information Engineering, Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing 312000, China)

Abstract: The real-time parameter is a key point in PROFIBUS field bus protocol's performance evaluation, so how to analyze and count its communication parameter is of great importance. According to the problem, based on the detailed analysis of PROFIBUS field bus access protocol, a type of testing platform for PROFIBUS-DP communication performance is designed. Through this testing platform, these real-time performance parameters are analyzed including bag information rate, transmission efficiency, network average utilization, network throughput, transmission delay, token rotation time etc., and the relationship between bus cycle time and master station or packets number are also given out. So, the real-time performance of PROFIBUS-DP is quantitatively analyzed.

Key words: fieldbus; real-time performance; media access control; token circle time; bus store efficiency

1 引言

PROFIBUS 现场总线是一种开放式的现场总线标准, 它由 PROFIBUS-FMS、PROFIBUS-DP 和 PROFIBUS-PA 组成. PROFIBUS-DP 主要适用于以逻辑顺序控制为主的制造业领域, 是占据绝对市场份额的车间级总线技术^[1-4]. 目前, PROFIBUS 总线被广泛应用于制造业自动化、流程工业自动化、楼宇、交通电力等其他领域自动化.

在 PROFIBUS 现场总线控制系统中, 实时性将直接影响着整个现场总线系统的性能. PROFIBUS 总线的实时性主要体现在总线存取协议(MAC, Media Access Control)效率上. 近些年, 有不少国内外学者对

PROFIBUS 系统实时性进行了系统的研究. 国外学者研究了 PROFIBUS 总线存取协议的运行期调度方法及周期特性, 而国内学者具体研究了令牌循环时间对 PROFIBUS 周期性的影响^[5,6], 还有学者基于随机 Petri 网模型, 或高优先级报文的排队延时模型, 研究了 PROFIBUS 系统的实时性能^[7,8]. 上述研究方法主要探讨目标轮转时间对现场总线实时性的影响, 但是, 对于现场总线系统主站和从站的各个参数对系统稳定性的影响研究的比较少^[9-13].

笔者在详细分析 PROFIBUS-DP 现场总线存取协议运行机理的基础上, 设计出了 PROFIBUS-DP 多主站系统的通信性能测试平台, 以此推导和计算出各种影

① 收稿时间:2015-12-24;收到修改稿时间:2016-03-22 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005402]

响总线通讯稳定性的实时性能指标大小,并剖析了多主站令牌目标循环时间对高优先级报文排队延时的影响,从而为实际的现场总线应用提供有一定的理论参考。

2 Profibus-DP的MAC层协议

2.1 协议机制

PROFIBUS 的协议结构以 ISO/OSI 为参考模型,使用了物理层、数据链路层、应用层,另外加一个用户层,这样大大简化了协议结构,提高了数据传输效率,从而以适应工业自动化的实时性要求。数据链路层定义了总线存取协议,具体包含报文的结构描述、安全机制设置以及服务等。PROFIBUS 总线存取协议主要有主站之间的令牌传递方式、主站与从站之间的主从方式,以及混合式配置等三种方式。

PROFIBUS-DP 设备分为第一类主站、第二类主站和从站,网络结构可以是单主站或多主站结构,具体如图 1 所示。多主站系统中,主站之间采用令牌交换规则,主站形成的集合称作令牌环。令牌相当于一种权利,谁握有令牌,谁就对总线使用权利,没有令牌的一方只有等待,令牌在各个主站点间轮转^[9-13]。当某个主站拥有令牌后,它既可与其控制的从站进行通信,也可与所有主站通信;当前主站发完数据或规定的时间到,再把令牌按预先设定的顺序传递给下一主站。主从方式的通信总是由持有令牌的主站发起,从站只能被动地接受主站请求而产生响应,但它不能向主站提出请求^[14,15]。由于同一时间只有一个主站拥有令牌,这避免了各主站同时发布命令而造成的混乱,解决了各节点的网络使用权竞争问题;同时,令牌循环一周的时间是事先规定好的,又保证通信的实时性。

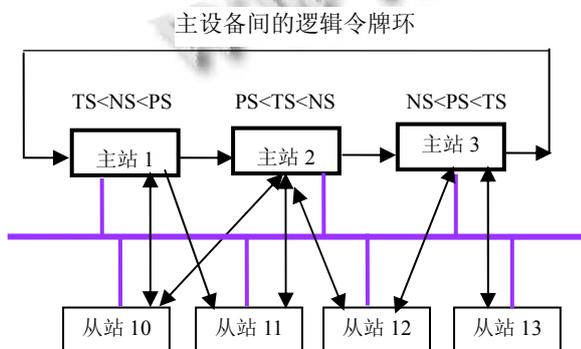


图 1 PROFIBUS 总线存取协议过程

PROFIBUS^[11]提供的传输服务有四种方式:SDA

(发送数据需确认)、SDN(发送数据无确认)、SRD(发送和请求数据需回答)、CSR(循环发送和请求数据需回答)。PROFIBUS-DP 只能使用 SRD 和 SDN 服务,这两种服务方式,能最大程度地保证 PROFIBUS-DP 的实时性。

2.2 MAC 层运行机理分析

PROFIBUS 协议报文有高、低两种优先级,并有各自的发送缓冲区和接收缓冲区。如果缓冲区中存在高优先级报文,主站将首先处理完高优先级报文,然后根据具体情况再处理低优先级报文。数据存取协议报文处理流程如图 2 所示。

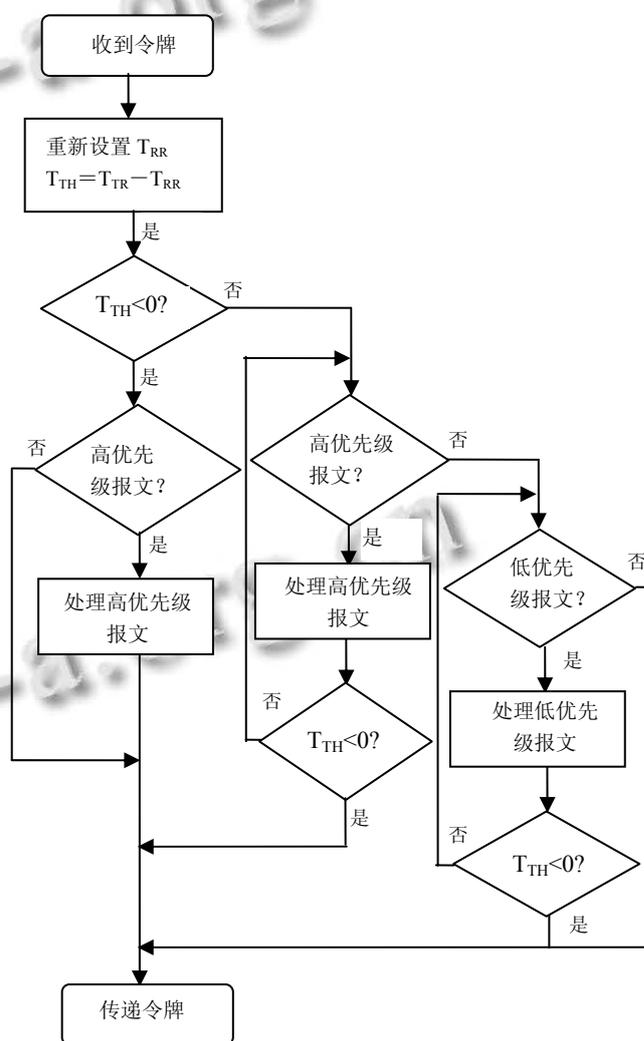


图 2 PROFIBUS 的 MAC 层报文处理算法

现场总线系统建立时,数据链路层首先对主站进行逻辑分配以建立令牌环。系统运行过程中,若有断电或损坏的主站就必须从令牌环中移除掉,若有新加

入的主站则需将其添加到令牌环中。数据链路层的主要功能之一就是调整令牌目标循环时间，从而保证每个主站有充足的时间完成规定的任务。令牌实际循环时间 T_{RR} 是主站从获得令牌时刻开始，到重新获得令牌间隔长度，另外令牌设定循环时间为 T_{TR} 。令牌保持时间 $T_{TH} = T_{TR} - T_{RR}$ 。 T_{TH} 的值在每一次报文循环开始时计算，一旦本次报文循环开始， T_{TH} 的值就确定下来不再改变。若令牌保持时间大于零，说明令牌循环正常，拥有令牌的主站在允许时间内先处理高优先级报文，再处理低优先级报文；若令牌保持时间小于零，说明令牌循环延误，拥有令牌的主站只发送一条高优先级报文，接下来立即传递令牌。这也表明，即使在最坏情况下，高优先级报文也可以实时发送。低优先级报文发送的前提是令牌循环时间大于零，并且缓冲区内没有高优先级报文需要发送处理。

3 应用举例

3.1 硬件组态

PROFIBUS-DP 多主站现场总线通信性能测试平台结构具体如图 3 所示。该现场总线系统网络中，CPU315-2DP 作为一类主站，插有 CP5611 现场总线适配卡的上位机作为二类主站，WAGO 750-833、BECKHOFF BK3120、HOLLIAS LM3107、SIEMENS ET200M，以及 ifm AC1305 等作为从站。通过 PROFIBUS 电缆和总线连接器将网络连成多主站网络结构。

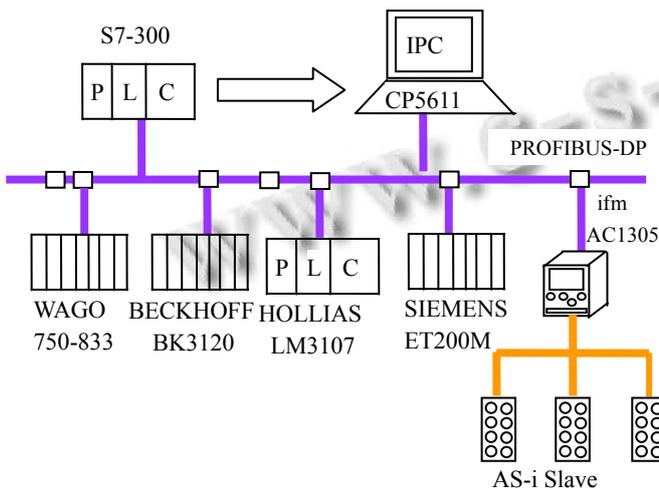


图 3 实际网络组态图

测试平台具体的硬件和软件配置如图 4 所示。上位机装有 ProfiTrace 现场总线诊断软件，可查看

PROFIBUS-DP 各种报文、参数信息，以及奇偶校验或校验和错误等统计信息，从而完成网络组态、现场监控和分析诊断等功能。测试平台将 ProfiCore 硬件接入 PROFIBUS-DP 系统中，再配以双通道数字示波器，即可触发并显示各个设备的信号波形，以便于对系统进一步地进行分析和诊断。除此之外，ifm AC1305 也被接入 PROFIBUS-DP 总线网络中，可用示波器来测试 AS-i 网络的相位调制波形。测试平台可用来模拟和仿真诸如终端电阻接入不正确、未使用标准电缆、传输速率过高与距离过远、未屏蔽或接地、电缆布线不规范，以及系统配置及参数设定等各种因素影响 PROFIBUS-DP 通信性能的具体程度，从而为现场总线控制系统的实际工程应用提供一定的理论参考。

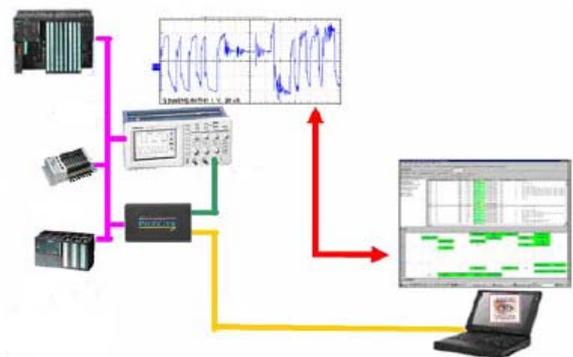


图 4 PROFIBUS-DP 通信性能测试平台

3.2 令牌设定循环时间设置

将 PROFIBUS-DP 的传输速率设置为 1.5Mbit/s，令牌目标循环时间 TTR 参数配置为 256，人为地使令牌循环时间超出合理的范围。图 5 所示的 ProfiTrace 监控状态显示可看出，现场总线系统通信中断，站点处于没有准备好的状态，各从站仍在等待参数化和组态。

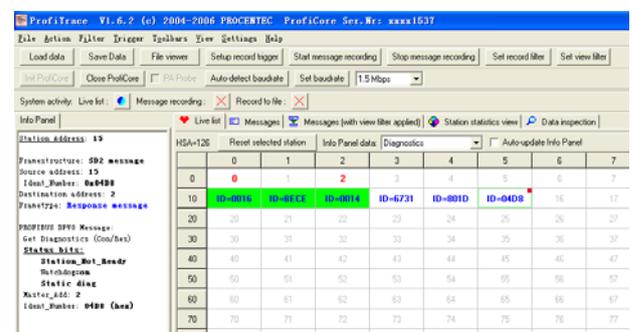


图 5 TTR 超出了合理范围造成通信故障

分析: PROFIBUS-DP 的每个主站在获取令牌后通

过 T_{TR} 来计算它可拥有的令牌的时间,进而在规定的令牌时间内进行报文处理.为了能在规定系统反应时间内完成任务,应该考虑多方面情况以设定合理的 T_{TR} 值.一个系统的最小令牌循环时间取决于主站的个数,从而取决于令牌传送周期和高优先级报文传送周期时间.此外, T_{TR} 还应包括有足够的时间安全余量,以用于低优先级报文传送和用于可能的重新发送报文. T_{TR} 选择一个合理的范围,而不能随意选取,否则会导致一部分消息将不能被正确调度,从而导致系统可靠性大大降低.

4 实时性能指标分析

① 编码效率 它是指数据报文中有效数据位数与包括有效数据位、地址位、奇偶校验位等整个数据位数的比值. PROFIBUS-DP 物理层采用不归零码,数据帧不包含时钟信息,另需添加起止位、奇偶校验码等以保证同步及传输可靠性,每个 8 位二进制按 11 位的顺序被传输,因此编码率 $E_{CE}=8/11=72.7\%$.

② 传输效率 传输效率是指报文中数据长度与总报文长度之比.因此, PROFIBUS-DP 报文的的服务类型不同,报文格式也不同,当然其传输效率也不同.表 1 所示的是 SD1~SD3 三种报文的传输效率.

表 1 各种报文的传输效率

报文类型	数据长度	报文长度	传输效率(%)
SD1	3	6	50
SD2	Data_len	Data_len+6	最大 97.6
SD3	3	6	50

③ 网络平均利用率 网络平均利用率是指发送数据的时间占总时间的比例. PROFIBUS-DP 采用令牌传递技术,如果 T_{TR} 的设定约等于令牌的平均周转时间, τ 为令牌的传递时间,则计算出 PROFIBUS-DP 的网络平均利用率为:

$$\bar{U} = \frac{T_{TR} - \tau}{T_{TR}} * 100\% \quad (1)$$

一般的应用中,网络平均利用率为 10%,从而防止网络堵塞.

④ 网络吞吐量 网络吞吐量是指单位时间内系统成功发送信息数量的均值,即

$$T_H = E_{CE} * \bar{U} * R = 72.7\% * \frac{T_{TR} - \tau}{T_{TR}} * R \quad (2)$$

在最坏的情形下,令牌传递时间 τ 相对 T_{TR} 可忽

略不计.由公式(2)可知,传输速率 R 为 1.5Mbit/s 的情况下, PROFIBUS-DP 的网络吞吐量约为 1.09 Mbit/s.

⑤ 传输延迟 PROFIBUS-DP 高优先级报文的延迟时间由主站数目、高低优先级报文长度决定.假设系统有 5 个主站,每个高优先级报文大小为 20 字节,每隔 10ms 发送一次,低优先级报文大小为 50 字节,每隔 100ms 发送一次.

PROFIBUS-DP 在总线上传输的高优先级报文大小为 $20 * 8 / E_{CE} = 220\text{bits}$,低优先级报文大小为 $50 * 8 / E_{CE} = 550\text{bit/s}$,传输速度为 1.5Mbps,则有 $T_{bit} = 0.67\text{ns}$, $T_{TR} = 5 * (33 + 220 + 550 * 0.1) + 110 = 1650 T_{bit}$.

⑥ 令牌循环时间 PROFIBUS 多主站系统中,基本负载是指由介质访问控制而不是由报文传送周期所引起的总线负载,它由令牌循环时间 T_{TR} 决定. T_{TR} 由令牌保持时间 T_{TH} 、传输延迟时间 T_{TD} 和空闲时间 T_{IDL} 组成.设 $T_{TD} = N T_{SD}$, T_{SD} 为发送令牌需要的时间;高优先级报文的传送时间为 T_{HS} ,报文数量为 M ;设高优先级报文的传送时间为 T_{LS} ,报文数量为 N ,将 T_{TH} 代入即可得:

$$T_{TR} = N * (M * T_{HS} + N * T_{LS}) + N * T_{SD} + T_{IDL} \quad (3)$$

公式(3)中, T_{SD} 的经验值取 $66 T_{bit}$,考虑最坏情况下 T_{HS} 和 T_{LS} 的最长报文长度为 128 字和 244 字,令牌维护时间取 $365 T_{bit}$,即可得:

$$T_{TR} = [(M * 2048 + L * 3904N + 66) * N + 365] T_{bit} \quad (4)$$

⑦ 总线循环时间仿真

总线循环时间与当前活动主站数目,以及报文数量之间的关系具体如图 6 所示.从图中我们可以得到如下结论:总线循环时间和主站数目关系近似于线性,若站点数量和报文数量都不变时,总线循环时间也近似为固定值,而且高优先级报文的发送将更快一些.若报文数量增加,总线循环时间也会明显增大,为了保证所有低优先级报文的发送, $N * (M + L)$ 是必须传送报文的的最大数量,可见报文数量会影响到整个系统的实时性能.

5 结语

PROFIBUS-DP 通讯速率较高,编码规则简便,适合工业现场设备短小数据的频繁周期通信应用场合.在现场总线控制系统中,令牌循环时间和总线存取效率作为网络整体性能的参考指标,可较好地反映系统

的实时性能. 为了满足实时通信的基本要求, 必须对令牌循环时间进行精确的计算, 以对令牌循环时间进行合理的设置, 提高现场总线系统的实时性能.

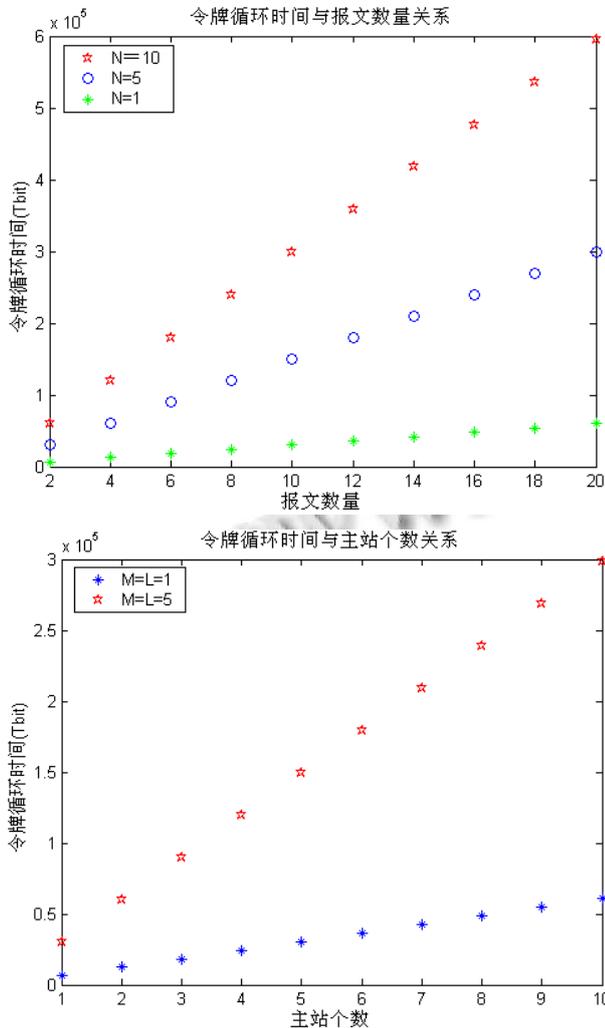


图6 总线循环时间与主站个数或报文数量之间的关系

参考文献

1 黄杰, 武林俊. Profibus-DP 现场总线实时性的研究. 自动化

- 与仪器仪表, 2009, (1): 105-107.
- 2 高巍, 孟晓风, 董登峰. 基于 PROFIBUS-DP 总线的主从网络通讯平台的设计. 现代电子技术, 2012, 35(2): 43-46.
- 3 孙东辉, 韦雪洁, 赵秀芬等. 多主站 PROFIBUS-DP 通信协议实时性能分析. 计算机工程与设计, 2009, 30(10): 2368-2370.
- 4 侯维岩, 张海峰, 费敏锐. 现场总线 PROFIBUS 系统的实时性能分析. 电子测量与仪器学报, 2004, 18(2): 56-60.
- 5 侯维岩, 费敏锐, 阳宪惠. 令牌目的循环时间 TTR 对现场总线 Profibus 测控周期的影响. 仪器仪表学报, 2005, 26(4): 399-402.
- 6 茹锋, 贾立新, 薛钧义. Profibus 协议的实时性能参数分析. 小型微型计算机系统, 2003, 25(5): 933-936.
- 7 范兴刚, 王智, 王天然. 一种增强 PROFIBUS 总线实时通信能力的综合方法. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 790-796.
- 8 张玉萍, 佟为明, 李辰. Profibus 单主站系统实时性研究. 低压电器, 2008, (3): 32-35.
- 9 茹锋, 薛钧义. PROFIBUS 协议实时性能的仿真计算. 系统仿真学报, 2002, 14(6): 789-792.
- 10 杨继东, 付豪. Profibus 的通讯能力改进与实时性建模. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2012, 26(9): 69-74.
- 11 刘良文, 董鸣, 赵红洲. PROFIBUS 现场总线性能分析. 微计算机信息, 2006, 22(1): 46-48.
- 12 周侗, 胡静涛, 杨志家. PROFIBUS 协议分析软件的设计与实现. 化工自动化及仪表, 2012, 39(10): 1300-1303.
- 13 崔俊锋, 马振球. 一种车载 Profibus 总线系统的实时性分析. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11(5): 4-7.
- 14 何建浩, 周侗, 王欣. PROFIBUS-DP 主站协议研究与实现. 计算机应用与软件, 2014, 31(9): 317-321.
- 15 王永华, 何胜科. FCS 诊断技术发展概述. 中国仪器仪表, 2011, (8): 46-49.