维普资讯 http://www.cqvip.com

计算机科学1999Vol.26№.7

1553B 实时网络流控问题的研究*)

On the Flow Control Problem of 1553B Real-Time Network

王志平　熊光泽　刘锦德

(电子科技大学计算机科学与工程学院　成都 610054)

Abstract　This paper analyses the communication mechanism of 1553B bus system deeply. Then it discusses the problem of 1553B's flow control and provides a kind of approach to deal with it.

Keywords　1553B, Real-time network, Flow control

复杂的实时系统往往由多台计算机组成，在构造多机实时系统时，网络数据实时传输是整个系统正常可靠运转的关键，也一直是个难题。所谓网络数据实时传输就是指网络上各结点间的数据传输时间是确定的，即可预测的。也就是说我们可以判定最坏情况下数据从一个结点传送到另一个结点所需的时间。而具有这一特性的网络我们称之为实时网络。实时网络是多机实时系统的重要组成部分。

实时网络中最著名的是美国国防部颁布的MIL-STD-1553标准。MIL-STD-1553标准的全称是"飞机内部时分制命令/响应式多路传输数据总线"。MIL-STD-1553B 是 MIL-STD-1553的一个扩充标准，简称1553B 总线。1553B 总线具有良好的实时性和高可靠性。许多实时系统都采用了1553B 总线。但用1553B 连接的系统并不等于就组成了一个实时系统。在实现过程中还需解决许多问题，如1553B 中存在的流控问题。

一、1553B 总线结构组成及通信机制

1553B 总线由总线控制器(BC)、远程终端(RT)、子系统和总线传输介质组成，其结构如图1所示。

BC 和 RT 统称终端，是数据总线与子系统的接口(因此又叫多路总线接口，MBI)，其作用相当于我们通常所说的网卡。BC 还用于启动消息传输和管理总线事务；子系统是从数据总线接收数据传输服务的装置或功能单元。通常是一台嵌入式计算机；总线传输介质指为数据传输提供单一通路的媒介，包括双绞线、屏蔽电缆、数据总线耦合器及短截线等。

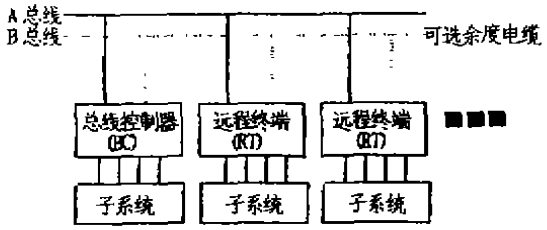

图1　1553B 总线结构组成

1553B 数据传输率为1Mbps，采用冗余的总线型结构，最多可连接30个终端，其中一个是 BC，其余为 RT。

在1553B 中，消息是总线传输的基本单位，一条消息的传输表明总线上一次完整的数据传输过程。1553B 通信机制包括消息传输格式和字格式。消息传输包括 BC→RT 传输、RT→BC 传输、RT↔RT 传输和方式命令等格式，它们又可分为点到点和广播方式两种。每种消息的传输格式都由命令字、数据字和状态字组成，每个字的长度为20位(bits)。

消息在总线上的传输是 BC 通过执行总线表指令控制完成的。总线表只在 BC 上装有。总线表由一组优化的通信指令块及相关信息组成，每一指令块定义了数据传送的源、目的终端号、终端子地址、指令执行的最大时延以及其它相关控制信息。同一条指令可以在总线表中出现多次。BC 顺序执行总线表中的每一条指令，每执行一条指令对应一条消息的传输。BC 循环执行总线表中的指令。而每一次循环

*)得到国家"九五"攻关项目资助。王志平　博士生。熊光泽　教授，博士导师。刘锦德　教授，博士导师。

维普资讯 http://www.cqvip.com

所有消息得到至少一次传输机会，这就保证了消息在总线上的实时传输。

二、1553B 总线系统中的流控问题

为研究问题方便，我们建立了一个由1553B 总线连接的多机实时系统模型，如图2所示。模型分 MBI 层和子系统层。MBI 层包括 MBI 板和连接 MBI 板的总线传输介质。子系统层为嵌入式计算机，计算机上面运行有实时多任务操作系统。

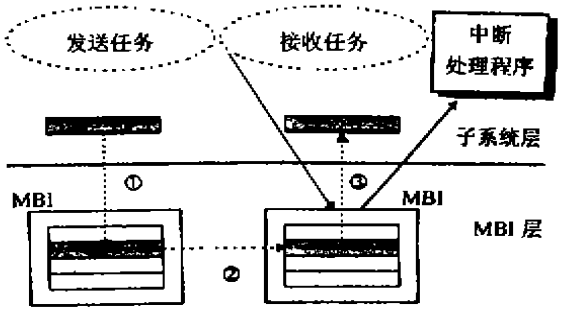

图2　1553B 总线连接的多机实时系统模型

数据的传输过程如图2所示。整个传输过程分三步：①发送端主机将数据写入 MBI 缓冲；②发送端 MBI 通过总线将数据传送到接收端的 MBI 缓冲；③接收端主机分两种情况将数据从 MBI 缓冲中取走。如果接收端 MBI 收到的是紧急数据，则立即向接收端主机发中断信号，主机响应中断，并由中断处理程序将数据从 MBI 缓冲取走；如果收到的是一般数据，接收端主机由接收任务将数据从 MBI 缓冲取走。

数据在传输过程中，有两个地方可能会发生数据覆盖。情况①、发送端主机往 MBI 发送缓冲写数据，而该发送缓冲中旧数据还未发走，此时可能会发生数据覆盖；情况②，数据从发送端的 MBI 发送缓冲通过总线发往接收端的 MBI 接收缓冲，而此时如果接收端的 MBI 接收缓冲中旧数据还未被取走，也会发生数据覆盖。情况②中的数据指的是一般数据，紧急数据一般不会遇到这种问题，因为它会被中断处理程序及时取走。对于情况①，发送端主机可以通过查寻 MBI 内的发送状态字判断旧数据是否被发走，来避免写覆盖；而对于情况②，1553B 并没有提供相应的解决办法。

之所以发生接收端数据覆盖，是因为发送端发送数据过快而接收端没有及时将数据取走。具体讲是发送端的 MBI 向接收端 MBI 发送数据的速率比接收端主机从接收端 MBI 取走数据的速率快时，接收端 MBI 中的数据就会被覆盖。

解决数据覆盖一般是引入流量控制来限制发送方所发出的数据块流量，使其发送速率不要超过接收方的接收速率。一种方法是接收方需要采取某种反馈机制，使发送方了解接收方是否能够跟得上。我们熟知的等-停协议、滑动窗口协议都属于这一类。这类方法解决非实时网络流控问题被证明是很有效的，但对于实时网络则不适用，因为它们不能保证网络数据实时传输。

另一种方法是接收端按一固定的速率接收数据；而发送端直接控制发送速率，使其始终不超过接收速率。这样既解决了流控问题，又保证了数据的实时传输。由于这种方法没有采用反馈机制，我们称它为无反馈流控法。这种方法很容易理解，不足之处是实现起来要困难一些，需要通盘考虑，要在满足整个系统的实时性前提下，对收发速率精确计算、设置。下面就这一方法进行论述。

三、无反馈流控法

我们首先定义1553B 总线系统中与时间有关的几个重要概念。

通道访问延迟（Tca）：指一条消息从写入发送端的 MBI 缓冲区时起，到开始发往接收端 MBI 缓冲区的时间间隔。实时网络与非实时网络的区别就在于实时网络的通道访问延迟是确定的，即可预测的，而非实时网络则不是。

消息传输时间（Tmt）：即消息在总线上实际传输的时间。消息传输时间和通道访问延迟之间的关系如图3：

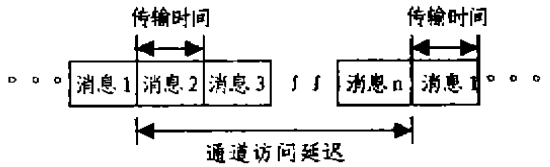

图3　消息传输时间和通道访问延迟

消息刷新周期（Tmr）：指消息内容更新的周期。对于周期性消息，刷新时间是固定的。对于非周期性消息，刷新时间是不确定的，一般用最短刷新周期作为其刷新周期。

消息又可分为紧急消息和一般消息，接收端主机对紧急消息通常采用中断方式来接收数据；对一般消息通常采用查询方式接收数据，具体方法是：在

维普资讯 http://www.cqvip.com

接收端主机安排一个监听任务(图2中的接收任务)，监听任务按一定的时间间隔周期性地查询MBI内的接收状态字。如发现有新数据来，监听任务就将数据从MBI接收缓冲搬到主机的内存中。我们把监听任务查询接收状态字的时间间隔叫做消息监听周期(Tmm)。

下面我们研究Tca、Tmt、Tmr和Tmm这几个时间参数的关系。设T为某条消息从发送任务开始发送，到接收任务收到为止的时延。则有

$$T_i = Twr + Tca_i + Tmt + Tmm_i + Trd \quad (1)$$

式(1)中i表示该消息第i次传输。Twr为发送端主机将数据写入MBI缓冲的时间，Trd为接收端主机从MBI缓冲读取数据的时间。就某一消息而言，Twr、Tmt和Trd是确定的，与i无关；Tca和Tmm则随i不同而变化，Tmm_i在这里表示数据从到达接收端MBI缓冲，到监听任务查询到有新数据来并开始将其取走的时间间隔。

另设该消息刷新周期为Tmr，则消息传输过程中各时间参数间的关系如图4所示：

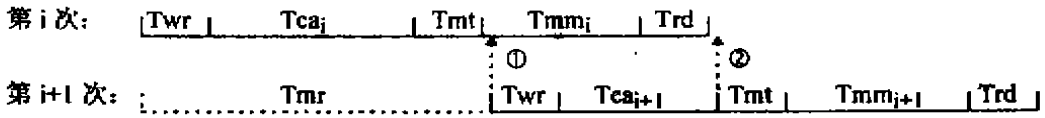

图4 消息传输过程中各时间参数间的关系

图4中箭头①处表示发送端MBI已将第i次数据发出去，发送端主机开始向MBI缓冲区写第i+1次数据。箭头②表示接收端主机已将第i次数据从MBI缓冲区取走，接收端MBI开始接收第i+1次数据。如果箭头①落到第i次Tmt间或之前，第i+1次消息在发送端会产生拥塞或覆盖；如果箭头②落到第i次Trd间或之前，则第i+1次消息在接收端会发生覆盖，即图2中的情况②。因此，为避免数据传输中发生覆盖，保证网络数据传输的实时性，需满足下面两个条件：

$$Tmr > Twr + Tca_i + Tmt \quad (2)$$

$$Tmr + Twr + Tca_{i+1} > Twr + Tca_i + Tmt + Tmm_i + Trd$$

即

$$Tmr + Tca_{i+1} > Tca_i + Tmt + Tmm_i + Trd \quad (3)$$

条件(2)保证了数据在发送端的MBI缓冲中不发生覆盖或拥塞；条件(3)保证了数据在接收端的MBI缓冲中不发生覆盖。

实际应用中，Tmt和Trd一般为微秒级或纳秒级，而Tmr、Tca和Tmm通常为毫秒级。因此式(1)、条件(2)和(3)又可以简化为：

$$T_i = Tca_i + Tmm_i \quad (1')$$

$$Tmr > Tca_i \quad (2')$$

$$Tmr + Tca_{i+1} > Tca_i + Tmm_i \quad (3')$$

令 $Tca_{max} = MAX(Tca_i)$，$Tmm_{max} = MAX(Tmm_i)$，则由(2')、(3')可以推出

$$Tmr > Tca_{max} \quad (4)$$

$$Tmr + Tca_{i+1} > Tca_i + Tmm_{max} \quad (5)$$

Tmr是在系统设计时根据应用需求确定的，而Tca则是由总线表确定的。因此，问题归结为对Tmm_{max}的求解。在整个网络系统中，Tmm_{max}的选取至关重要。Tmm_{max}如果选大了，不满足条件(5)，则消息传输过程中可能会发生覆盖；Tmm_{max}如果选得太小，监听任务频繁查询接收状态字，造成CPU资源的浪费。

对于周期性消息，由于条件(5)中的$Tca_{i+1} = Tca_i$，则Tmm_{max}满足条件(6)即可：

$$Tmm_{max} < Tmr \quad (6)$$

但是从图3可以看出，如果消息1为非周期性消息，且消息2、消息3等中有非周期性消息，则消息1的Tca是变化的，最小可以接近0。因此由条件(5)推出：

$$Tmm_{max} < Tmr - Tca_{max} \quad (7)$$

由于$Tmm_{max} > 0$，因此条件(7)实际上包含了条件(2)。

以上是对某一条消息进行的分析，而接收端监听任务的Tmm应是所有消息Tmm_{max}的最小值，即：

$$Tmm = MIN(\text{所有消息的 } Tmm_{max}) \quad (8)$$

求出Tmm后，我们还可根据式(1')得出消息从发送任务开始发送，到接收任务收到为止的最大时延T_{max}：

$$T_{max} = Tca_{max} + Tmm \quad (9)$$

其中$T_{max} = MAX(T_i)$。

结束语 实时网络近年来发展很快，应用范围也越来越广泛。本文在深入研究1553B通信机制的

(下转第70页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

对不同的应用情况，对它进行扩展。

1. 服务器的组织。P-flood 的一个弱点是对网络随机使用，并不考虑底层的物理网络。它以两种方式选择消息的传播路径：非概率的（直接后继）和概率的（随机选取其它服务器）。随机性的大小由 P 参数控制。对于一个恰当的 P 值，大多数的流量在服务器所组成的静态环中流动，环中服务器的巧妙组织将大大减少网络开销和延迟，而且还保留着随机选择 flood 路径所带来的快速性和健壮性。

使用实际的带宽来衡量和计算最优环路比较困难。可以采用一种启发式的方法：根据 Internet 域名排序，从最后一个字母开始。这样，地点相近的服务器相互连接，节省传输开销。

2. 服务器的添加和删除。当添加或删除一个服务器时，P-flood 以高优先级通知所有的服务器。它们修改相应的服务器列表。当然要用旧的列表进行发布，直到收到后继的响应。

3. 毁灭性事件的恢复。在服务器中，有可能发生服务器毁损的现象。这时，要从信息库中恢复备份。如果备份是 i 天以前的，那么服务器就会失去 i 天以来的修改。

但是，其它服务器有可能有该服务器的表面镜像。在 i 天以内，这个服务器建立了一个指向其它服务器的新文档。现在，文档不存在了，链接也应该删除，以保持一致性状态。换句话说，其它的服务器也得返回到 i 天前的状态。

在这种情况下，该服务器发送一个特殊的消息，它包括自己的所有表面信息，请求其它服务器按照该消息修改有关自己的信息。

4. 修改不一致性，在某些情况下还有可能发生不一致。例如：需要添加一个链接从服务器 A 的文档指向服务器 B 的一个文档，但 B 上的文档以前不是在表面上的，而在添加该链接的消息到达 B 之前，服务器 B 删除了该文档。这样，当来自 A 的消息到达后，B 检测到了不一致，它将把删除的内部文档看作是表面文档，发送一个“文档移走”的消息给服务器 A。

也可以让所有的服务器定期地发送它们的表面信息，这样就可以处理各种不一致的错误。由于这些消息比较长，所以可以用低优先级发送。

总结 本文介绍了超媒体系统中一种可扩缩的体系结构和发布修改信息的 P-flood 算法。P-flood 算法的仿真表明该算法是可扩缩的、快速的，能够处理服务器和网络的暂时和永久错误。它适用于多数的超媒体系统，且已在 Hyper-G 系统中实现。

参 考 文 献

1 Kappe F. A Scalable Architecture for Maintaining Referential Integrity in Distributed Information Systems. Journal of Universal Computer Science, 1995, 1(2)

2 Lee Y_J, et al. A Systematic Approach to Design the Network-based Learning Environment for Home and Office. [Technical report Learn Tech_LCN. ps]. Department of Computer Science in University of Minnesota

3 Danzig P B, et al. Massively Replicating Services in Wide-Area Internetworks: [Technical report]. Computer Science Department, University of Southern California, 1994

4 Andrews K, et al The Hyper-G Network Information System. Journal of Universal Computer Science, 1995, 1(4)

（上接第82页）

基础上，分析了其流控问题以及产生的原因，并提出一种解决方法——无反馈流控法，这种方法既解决了网络流控问题，同时又保证了网络数据实时传输。无反馈流控法已成功地用于一国家重点工程中，并取得了满意的效果。由于1553B 是实时网络的典型代表，因此该文提出的解决1553B 实时网络流控问题的方法对其它实时网络也有很高的参考价值。

参 考 文 献

1 刘松强. 实时计算机系统. 北京：学苑出版社，1994

2 MIL-STD-1553 DESIGNER'S GUIDE. FORTH EDITION ILC DATA DEVICE CORPORATION.

3 Tanenbaum A S. Computer Networks Prentice Hall, 1996

4 Tanenbaum A S. Distributed Operating Systems. Prentice Hall, 1995

5 杨春. 嵌入式实时网络通信管理技术：[学位论文]. 成都：电子科技大学，1996

6 王志平. CRTOS/386R 实时网络软件的研究与实现：[学位论文]. 成都. 电子科技大学，1997