

文章编号 1004-924X(2010)03-0732-09

# 1553B 总线上消息的实时调度

赵昶宇<sup>1,2</sup>, 颜昌翔<sup>1</sup>, 于平<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 为了优化 1553B 总线传输性能, 降低总线上消息传输的延迟时间, 讨论了周期消息和非周期消息混合传输情况下总线上的消息调度策略。首先, 借鉴周期任务的调度模型对周期消息进行建模, 提出了改进的速率单调消息调度算法。然后, 利用排队论建立非周期消息的 M/M/1 排队模型, 定量分析了 1553B 总线的平均响应时间和总线利用率等时间性能参数, 并对非周期消息的延迟时间进行优化, 推导出总线最优服务率和最小平均延迟时间的计算公式, 给出了非周期消息的调度算法。最后, 对上述算法在消息混合传输下的可调度性进行了验证。实验结果表明, 在总线利用率达 96% 时, 混合消息的平均响应时间为 0.713 ms。在消息混合传输的情况下, 非周期消息的平均响应时间和 M/M/1 排队模型下理想的非周期响应时间偏差不超过 10%。上述算法时间响应特性良好, 能够保证周期消息和非周期消息的实时调度。

**关键词:** 1553B 总线; 实时调度; 周期消息; 非周期消息; 排队论; 速率单调调度; M/M/1 模型

**中图分类号:** TP336 **文献标识码:** A

## Real time scheduling of messages on 1553B bus

ZHAO Chang-yu<sup>1,2</sup>, YAN Chang-xiang<sup>1</sup>, YU Ping<sup>1</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

**Abstract:** In order to optimize the transmission performance of 1553B bus and to reduce the transmission delay time of messages on the bus, a scheduling strategy for the mixed periodic and aperiodic messages on the bus was proposed. Firstly, a model for the periodic messages was established according to the scheduling model of periodic tasks, and an improved rate-monotonic scheduling algorithm was presented. Then, the M/M/1 queuing model for aperiodic messages was established based on the queue theory, and the time performance parameters of the 1553B bus were quantitatively analyzed, including average response time, bus utilization, and so on. Furthermore, the delay time for aperiodic messages was optimized. The formulas for optimal bus service rate and minimal average delay time were derived; and the scheduling algorithm of aperiodic messages was presented. Finally, the scheduling characteristic of the mixed messages for above algorithm was validated. The experimental results indicate that the average response time of the mixed messages is only 0.713 ms when the utilization of

收稿日期: 2009-04-22; 修订日期: 2009-07-07.

基金项目: 国防预研基金资助项目 (No. O5001SA050)

1553B bus is up to 96%. The deviation of the average response time between aperiodic messages and M/M/1 queuing model is less than 10% under the condition of transmitting mixed messages. Obtained results show that the algorithm has good response characteristics, and can ensure the real-time scheduling of the periodic and aperiodic messages on the 1553B bus.

**Key words:** 1553B bus; real time scheduling; periodic message; aperiodic message; queue theory; rate-monotonic scheduling; M/M/1 model

## 1 引言

1553B总线是在20世纪70年代末为适应飞机的发展由美国提出的飞机内部电子系统联网的标准,由于它的高可靠性和灵活性,使其在航空航天以及军事工业中得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。但1553B总线的传输速率只有1 Mbps,在信息化高度发展的今天,其系统性能显得捉襟见肘。1553B总线上消息传输的速率和周期各不相同,如何兼顾1553B总线系统的实时性和可靠性,如何合理地调度1553B总线上的各种消息,尽量发挥1553B总线系统的性能已成为当前研究的热点。

由于消息调度和任务调度都可以看作是对某一独占资源进行合理划分,以满足多个获取资源的要求,并尽可能提高资源的利用率,因此对1553B总线上消息的调度可以借鉴任务调度算法,但是需要针对数据包在总线上传输时不可中断的特点,对现有的任务调度算法加以改进。

迄今为止,很多学者从不同研究角度提出了一些关于消息和任务的调度和优化方法<sup>[2-5]</sup>。童小念等人<sup>[2]</sup>提出了一种基于任务计算量向量、任务通信量矩阵的静态负载均衡启发式优化算法LBHOA,该算法降低了资源最优分配中的计算复杂度,取得了较高的系统资源利用率,但是却没有分析动态负载均衡和任务调度的相关问题;沈卓峰<sup>[3]</sup>提出一种长释放时间间隔优先的混合任务实时调度算法LRIF,对周期性硬实时任务和释放时间间隔较大的软实时作业提供了很好的调度保证,但是不能保证突发的软实时作业能在截止期前执行完成;廖义林等人<sup>[4]</sup>的HTSF算法对任务的重要程度进行了划分,提高了任务实例的接收率,但是却没有考虑同一时刻有多个任务实例到达的情况;郭泽仁<sup>[5]</sup>提出了优化1553B总线消息的动态完整性分配方法,使得各个小周期上消

息的时间长度最大可能的接近,避免了总线上消息饱和或者堵塞的现象,但是当总线上连续短间隔地发送实时性高的非周期消息时,每一条非周期消息可能被安排在不同的小周期内,可能会导致部分非周期消息的丢弃,降低了消息传输的实时性。

本文通过借鉴周期任务调度的速率单调调度(RMS)算法,提出一种改进的RMS算法,用于优化周期消息和非周期消息的传输;以排队论为理论依据,对非周期消息的传输过程进行建模,并对总线的时间性能指标进行了定量分析和研究,提出了降低非周期消息平均延迟时间的一种思路。实验证明,在周期消息和非周期消息混合传输的情况下,上述算法具有实时性好,可靠性高,异步事件处理能力强等特点。

## 2 1553B总线的结构及工作原理

1553B总线是时分指令/响应多路传输数据的总线,该总线系统由4部分组成:传输介质、总线控制器(Bus Control, BC)、远程终端(Remote Terminal, RT)和总线监视器(Bus Monitor, BM),1553B总线系统的结构如图1所示。

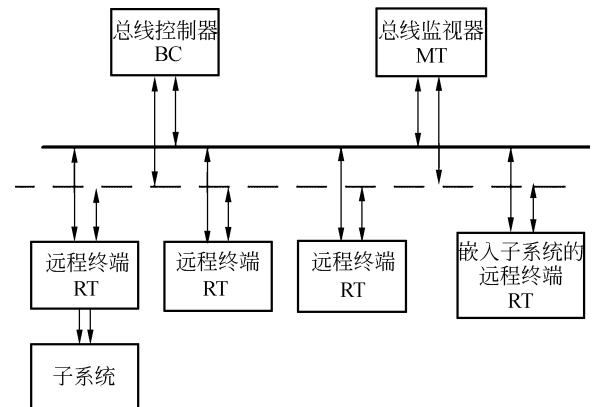


图1 1553B总线的结构

Fig. 1 Frame of 1553B bus

1553B 总线标准定义了 3 种字类型:命令字,数据字和状态字。每类字的一个字长为 20 位,有效信息是 16 位,每个字的前 3 位为单字的同步字头。在这 3 种类型的字中,命令字位于每条消息的起始部分,所以命令字最为重要,命令字的内容规定了该次传输的具体要求。状态字只能由 RT 发出,它的内容代表了 RT 对 BC 发出的有效命令的反馈,BC 与 RT 的分工决定了状态字与命令字的区别,BC 可以根据状态字的内容来决定下一步采取什么样的操作。数据字前 3 位是同步字段,第 4 位到第 9 位是数据字段,最后一位是奇校验。

一条 1553B 消息由 3 部分组成:命令字、状态字和数据字。对于不带数据字的方式指令仅有命令字和状态字组成。每类消息赋予一个子地址,消息数据长度不超过 32 个字,每个 RT 最多可以响应 32 条接收消息和 32 条发送消息。如果需要完成一定的功能,就要将多个消息组织起来,形成一个新的结构叫做帧。

1553B 总线的典型数据传输的过程是:总线控制器发出传输命令帧,启动消息传输过程;远程终端接收到总线控制器的命令,传输消息;远程终端返回状态字,消息传输完毕。

典型的总线传输过程如图 2 所示,其中“\*”表示消息响应时间,“#”表示消息间隔。

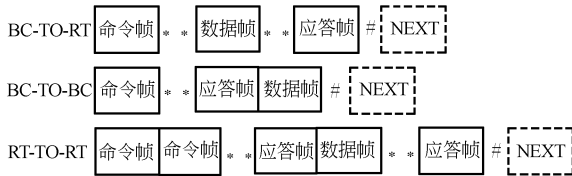


图 2 1553B 总线传输过程

Fig. 2 Transmission of 1553B bus

### 3 1553B 总线的消息调度

#### 3.1 周期消息的数学模型和调度算法

所谓周期消息,亦即同步消息,是指 1553B 总线上以固定的顺序、周期和相位出现的消息。对周期消息的调度和对周期任务的调度有很多相似之处:

(1) 消息和任务被调度的周期是固定的,被调度的时间是已知的,明确的;

(2) 多条消息不能同时在同一总线上传输,

多个任务不能同时占用同一个处理器;

(3) 消息占用网络带宽资源,任务占用处理器时间资源。

因此,本文借鉴单处理器上周期任务的调度方法来处理 1553B 总线上的周期消息。

C. L. Liu 和 J. Layland 于 1973 年提出的速率单调调度(RMS)算法在可预测性比较好的周期任务调度方面得到了广泛的应用,并已被证明是最优的静态优先级调度算法<sup>[6]</sup>。RMS 的核心思想是根据任务的周期来设置任务的优先级。周期越小,其优先级越高。先对周期任务进行建模:

设有一个周期任务集

$$v = Tp_1, Tp_2, \dots, Tp_s, \quad (1)$$

每个周期任务  $Tp_i$  可用式(2)所示的四元式表示:

$$Tp_i = (Cp_i, Pp_i, Rp_i, Dp_i), \quad (2)$$

其中,  $Cp_i$  为任务的最大计算时间,  $Pp_i$  为任务周期,  $Rp_i$  为任务执行时刻,  $Dp_i$  为任务时限。

若任务的时限等于任务的周期,则使用 RMS 算法任务可调度的充分条件为

$$\sum_{i=1}^s \leq s(2^{1/s} - 1), \quad (3)$$

其中,  $s$  为任务总数,  $U_i = Cp_i/Pp_i$  为任务对 CPU 的利用率,而  $\sum_{i=1}^s U_i$  即为系统中所有任务对 CPU 的总利用率。

由于在 RMS 调度算法中,任务是可以被抢占的,而在消息调度中,消息是不能被抢占的,否则,被破坏的消息无法从中断处恢复传输,从而破坏了消息数据的完整性,导致消息重传或者丢弃。因此,需要针对总线消息传输的特点改进现有的 RMS 算法,保证消息传输的完整性。

为保证 1553B 总线上周期消息实时完整的传输,在传输消息之前,首先按照每条消息的序号建立消息帧,并设定消息主帧的周期。消息主帧的周期等于所有消息中周期最小的消息的周期,其余周期消息的次帧周期设置为消息主帧周期的  $2^h$  倍( $h$  为正整数)。安排消息时,在消息块中按 1553B 消息格式填写 BC 消息块,这包括被主处理器加载的被 BC 协议逻辑从 1553B 仿真板卡 RAM 中读出的控制字、命令字和传输数据的位置。此外,后续邻近地址必须为接收返回地址、RT 状态和数据字的存储分配位置。BC 消息块

中第一个字是 BC 控制字,用来选择活动总线、消息格式、离线自检允许和指定“广播命令接收 RT 状态位”的预期值。

由于 RMS 调度算法是基于优先级的静态调度算法,时间抢占点一般发生在高优先级消息到达后,抢占低优先级消息时。而 1553B 总线上消息传输的最长时间  $T = T_c + T_s + T_r + T_g + h * T_d$ 。其中  $T_c$  为指令字传输时间;  $T_s$  为状态字传输时间;  $T_r$  为响应时间;  $T_g$  为消息间隔时间;  $T_d$  为数据字传输时间,每条消息的传输时间完全取决于数据字的传输时间。消息在 1553B 总线上传输时被分割成较小的分片(最长传输时间为  $T$ ),若总线控制权抢占点发生在各分片传输的间歇,则不会打断数据包的传输,把所有周期消息采用如下方式分片传输(以消息  $r$  为例):设 1553B 总线上传输的各条消息长度分别为  $M_1 \sim M_r$ ,每次消息传输时数据字的长度为定值  $L$ ,消息  $r$  分解为  $[M_r/L] + 1$  ( $[x]$  为小于或等于  $x$  的最大整数)块,每次传输长度为  $L$  的数据包,最后一组长度为  $M_r - [M_r/L] * L$ ;所有数据包的传输时刻以  $T$  为周期;最后将所有周期消息的周期设为不大于原值且最接近  $T$  的整数倍的值。对周期消息采用上述处理方式后,再在此消息集上应用 RMS 算法。由于所有的消息都以  $L$  为基准,因此所有的抢占点都发生在  $lT$  ( $l$  为正整数)处,而各消息在每次传输  $L$  个字后主动将总线访问权交给下一个数据包,这样任何一个数据包都不会在传输的过程中被高优先级消息的数据包打断,所以不会因为消息抢占总线访问权而影响各条周期消息的传输。

### 3.2 非周期消息的数学模型和优化策略

1553B 总线上非周期消息的传输过程可以看作是一种单服务员单队列的排队系统<sup>[7]</sup>。总线上的每一条消息指令为等待服务的顾客,总线为提供数据传输的服务员,服务时间为消息传输时间。以下给出该排队系统的排队规则:

- (1) 消息的相继到达时间间隔独立,假设到达时间服从泊松分布;
- (2) 排队队列的长度为无限长,服务方式服从先来先服务。

因此,该模型为一个 M/M/1 排队模型。 $N(t)$  表示  $t$  时刻总线上的非周期消息数目。该排队系统的模型发生率图如图 3 所示,其中圆圈中

的数字代表系统的状态,则可知  $\{N(t)\}$  为一个齐次马尔可夫链的生灭过程<sup>[8]</sup>。

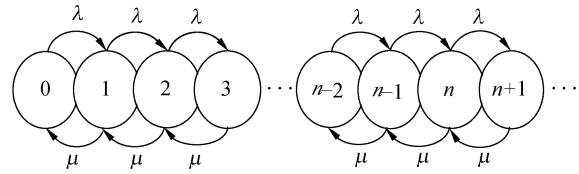


图 3 M/M/1 模型发生率图  
Fig. 3 Incidence of M/M/1 model

在图 3 中,  $\lambda$  为消息的平均到达率,  $\mu$  为总线的平均服务率,因此  $1/\lambda$  为消息的平均时间间隔,  $1/\mu$  为消息的平均传输时间<sup>[9]</sup>。

设  $p_i$  为排队系统在状态  $i$  处的概率,  $\rho$  为总线利用率,建立生灭过程的状态平衡方程:

$$\begin{cases} \text{状态 } 0: \lambda p_0 = \mu p_1, p_1 = \rho p_0 \\ \text{状态 } 1: \lambda p_1 = \mu p_2, p_2 = \rho^2 p_0 \\ \dots\dots \\ \text{状态 } k: \lambda p_k = \mu p_{k+1}, p_{k+1} = \rho^{k+1} p_0 \end{cases}, \quad (4)$$

假设消息的平均时间间隔大于消息的平均传输时间,即  $\rho < 1$ ,则下列级数

$$\sum_{k=0}^{\infty} p_k = p_0 (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^k + \dots) = \frac{p_0}{1 - \rho} = 1 \text{ 收敛}. \quad (5)$$

由此得出系统在不同状态下的概率分别为:

$$\begin{cases} p_0 = 1 - \rho \\ p_1 = \rho(1 - \rho) \\ \dots\dots \\ p_k = \rho^k (1 - \rho) \\ \dots\dots \end{cases}, \quad (6)$$

总线利用率为

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (7)$$

系统内消息的平均数为

$$\begin{aligned} C &= \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = \sum_{k=1}^{\infty} k \rho^k (1 - \rho) = \\ &= \rho(1 - \rho)(1 + 2\rho + 3\rho^2 + \dots) = \\ &= \rho \frac{1}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \end{aligned} \quad (8)$$

若系统内有  $k$  条消息,其中  $k-1$  条消息在排队等候,则排队等候的消息平均数为

$$C_q = \sum_{k=1}^{\infty} (k-1)p_k = \sum_{k=1}^{\infty} kp_k - \sum_{k=1}^{\infty} p_k = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - (1 - p_0) = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}, \quad (9)$$

消息传输花费的时间为

$$W = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k+1}{\mu} p_k = \frac{1}{\mu} \left( \sum_{k=1}^{\infty} kp_k - \sum_{k=1}^{\infty} p_k \right) = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\lambda}{\mu - \lambda} + 1 \right) = \frac{1}{\mu - \lambda}. \quad (10)$$

消息排队等候所花费时间的平均值为

$$W_q = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k}{\mu} p_k = \frac{1}{\mu} \sum_{k=1}^{\infty} kp_k = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \quad (11)$$

1553B 总线传输系统的平均延迟时间为消息传输时间和消息排队等候时间之和。对总线上非周期消息传输进行优化的目标是使平均延迟时间最小,并确定达到最优目标值的最优的总线平均服务率  $\mu^*$ 。

取目标函数  $z$  为消息传输时间与消息在系统中排队等候时间之和的期望值,即

$$z = c_s \mu + c_w C, \quad (12)$$

其中,  $c_s$  为当  $\mu = 1$  时总线消息传输所花费的时间,  $c_w$  为每条消息在总线中排队等候所花费的时间。将  $C = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$  代入上式,可得

$$z = c_s \mu + c_w \cdot \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \quad (13)$$

为求  $z$  的极小值,先求  $\frac{dz}{d\mu}$ , 然后令它为 0, 即:

$$\frac{dz}{d\mu} = c_s - c_w \lambda \cdot \frac{1}{(\mu - \lambda)^2} = 0, \quad (14)$$

求出最优服务率为

$$\mu^* = \lambda + \sqrt{\frac{c_w}{c_s} \lambda}, \quad (15)$$

根号前取“+”号是为了保证  $\rho < 1$ , 只有这样系统才会达到稳态。

于是,最小平均延迟时间为

$$z^* = c_s \lambda + 2\sqrt{c_s c_w \lambda}. \quad (16)$$

平均延迟时间是 1553B 总线最重要的性能指标参数之一,由此可见,只要能够保证最优服务率  $\mu^*$ , 即可保证系统总线上非周期消息的平均延迟时间最小,从而提高总线上消息传输的实时性和可靠性。而影响最优服务率  $\mu^*$  的关键元素为非周期消息的平均到达率  $\lambda$ , 亦即总线上非周期消息传输的强度。

由于  $1/\lambda$  为非周期消息的平均时间间隔,亦即非周期消息的平均周期,因此,对非周期消息的调度可以采取将非周期消息转化成周期消息,然后应用上文中改进的 RMS 调度算法对其进行合理的调度。

## 4 实验与结果

为了验证上述算法的可调度性,基于 LabVIEW 和 C 语言设计了一种光电检测仿真设备。该设备模拟地面有效载荷处理单元(总线控制器),向某型号超光谱成像仪上的有效载荷(远程终端)发送控制命令和参数,接收有效载荷返回的各种工作参数,并对有效载荷的工作过程进行监控和检测。在 1553B 通讯过程中实时监视总线上的消息,捕捉总线异常消息并进行报警。1553B 总线上发送和接收的各种消息的名称、长度、周期、类型如表 1 所示。

表 1 发送/接收消息格式

Tab. 1 Format for send/receive messages

消息名称	消息长度	消息周期	消息类型
	/byte	/ms	
时间码	6	512	BC→RT
GPS 参数	64	512	BC→RT
控制命令	4	1 024	BC→RT
长抱环测试	1	1 024	BC→RT
方式指令	-	32	Mode Code
工程参数	64	512	RT→BC
系统状态	6	非周期	BC→RT

上文中应用排队论对非周期消息传输进行分析的前提是假设非周期消息的到达服从泊松分布。表 1 中的系统状态消息是以突发方式发送的,经观察该消息的发送符合以下几个条件:

(1) 平稳性。事件 A 在任意时间区间  $(a, a + \Delta t]$  上出现  $m(m \geq 0$  是任意的)次的概率只与时间的长度  $\Delta t$  有关而不依赖于观察开始的时刻  $a$ ;

(2) 稀有性。在长为  $\Delta t$  的时间内,事件 A 出现两次或者两次以上的概率当  $\Delta t \rightarrow 0$  时是  $\Delta t$  的高阶无穷小;

(3) 无后效性。对于任意  $a < b \leq c < d$ , 事件 A 在  $(a, b]$  上出现的次数不影响它在  $(c, d]$  上出现的次数;或者说, A 在  $(c, d]$  上出现的次数不影响它在  $(a, b]$  上出现的次数;

(4) 非平凡性。这个条件是排除在某一时间区间内事件  $A$  一定出现或一定不出现两种极端情形。

根据随机过程理论可知,上述系统状态消息的到达服从参数为  $\lambda$  的泊松分布,其中参数  $\lambda$  即是单位时间内系统状态消息的平均发生率,而  $1/\lambda$  则为系统状态消息的平均周期。为证明系统状态消息属于泊松事件流,设  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T$  是从总体  $X$  中抽取的简单随机样本,定义原假设  $H_0$  和备选假设  $H_1, H_0$ :非周期消息在单位时间内发生的次数服从泊松分布; $H_1$ :非周期消息在单位时间内发生的次数不服从泊松分布。若原假设  $H_0$  为真,则皮尔逊统计量

$$\chi^2_n = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - np_{i0})^2}{np_{i0}}, \quad (17)$$

渐进于自由度为  $m - q - 1$  的  $\chi^2$  分布 ( $\chi^2_n \leq \chi^2_{\alpha}$  ( $m - q - 1$ ))<sup>[10]</sup>。其中,  $n_i$  表示样本  $X_i$  落在区间  $i$  的频率次数;  $m$  表示划分的区间数;  $q$  表示泊松分布函数中未知参数的个数;  $n$  表示样本总量,亦即试验总次数;  $p_{i0}$  表示若  $H_0$  为真,样本  $X_i$  落在区间  $i$  的理论概率。

为检验  $H_0$  是否为真,通过 100 次独立试验 ( $n=100$ ),统计 24 h 内非周期消息出现的次数。24 h 内非周期消息可能出现的次数为  $i$ ,实际频数记为  $n_i$ 。取  $\alpha=0.05$ ,检验假设  $H_0: P\{X=i\} = \frac{\lambda^i e^{-\lambda}}{i!}, i=0,1,2,\dots$ 。其中  $\lambda$  为未知数,由最大似然估计法得

$$\hat{\lambda} = \bar{x} = \frac{1}{100} \sum_{i=0}^n in_i = 9, \quad (18)$$

将 24 h 内非周期消息的出现次数  $i$  划分为 4 个区间 ( $m=4$ ),泊松分布函数中未知参数的个数为 1,因此  $q=1$ ,使用上述皮尔逊检验法得到的计算结果如表 2 所示。

表 2 皮尔逊检验计算结果

Tab. 2 Test results by Pearson

$i$	$n_i$	$p_{i0}$	$\frac{(n_i \cdot np_{i0})^2}{np_{i0}}$
0~5	23	0.191	0.796
6~10	54	0.625	1.156
11~15	21	0.176	0.657
>16	2	0.008	1.8
$\Sigma$	100	1	4.409

由表 2 中的数据和  $\chi^2$  的计算公式可得,  $\chi^2_n = 4.409 < \chi^2_{0.05}(2) = 5.99$ ,所以原假设  $H_0$  为真,认为上述系统状态消息在单位时间内出现的次数服从泊松分布<sup>[11]</sup>。

由于消息传输时间是由消息的长度决定,因此影响 1553B 总线传输性能的最主要因素是消息排队等候时间,即消息的响应时间。表 3 中列出的是在周期消息和非周期消息混合传输的情况下,对应于总线利用率的消息平均响应时间(排队等候花费时间的平均值),图 4 中给出了总线利用率和平均响应时间之间的对应关系图。

表 3 总线利用率和平均响应时间

Tab. 3 Bus utilization and average response time

总线利用率/%	平均响应时间/ms
0.119 999	0.128 571
0.239 999	0.173 076
0.359 999	0.264 704
0.479 999	0.423 181
0.629 999	0.517 364
0.759 999	0.591 822
0.869 999	0.657 319
0.959 999	0.713 249

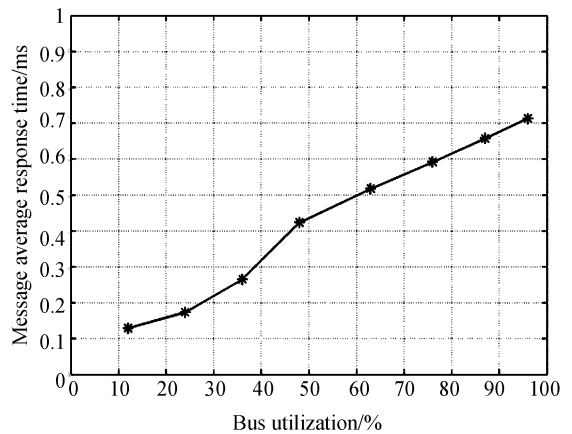


图 4 总线利用率和平均响应时间关系图

Fig. 4 Diagram of bus utilization and average response time

从图 4 中可以看出,本文采用的 1553B 混合消息调度算法在总线利用率接近 100% 时,实验中得到的消息平均响应时间最大为 0.713 ms。而 1553B 总线上相邻两条消息的发送间隔下限为 0.8 ms,因此本算法在极端情况下能够保证总

线上消息传输的实时性和完整性。

为了验证在 1553B 总线上混合消息传输的情况下非周期消息的响应性能,通过实验比较了混合消息传输情况下非周期消息的平均响应时间和基于 M/M/1 模型并且仅传输非周期消息的情况下消息的平均响应时间。由于总线上周期消息的到达时间是固定的,也就是认为周期消息的平均到达率  $\lambda$  是定值,因此实验中通过改变非周期消息的平均到达率来测试其响应性能。

根据上述分析可知,消息的平均响应时间主要取决于平均到达率  $\lambda$ ,亦即消息的强度。图 5~7 中分别给出了非周期消息的平均到达时间为 1 000、100 和 10 ms 时,M/M/1 模型和本文算法的平均非周期响应时间与总线利用率的关系图。

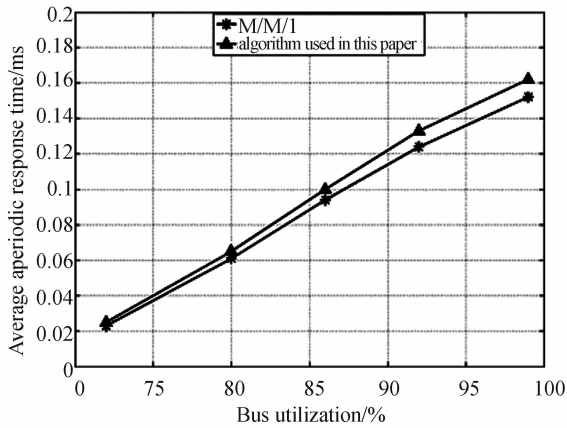


图 5 非周期消息的平均到达时间为 1 000 ms 时的总线利用率和平均响应时间关系图

Fig. 5 Diagram of bus utilization and average response time when average aperiodic response time is 1 000 ms

从图 5~7 中可以看出,本文采用的改进的 RMS 算法应用于混合消息传输的情况下,不仅能够保证周期消息的合理调度,而且降低了非周期消息的响应时间。实验结果表明,在周期消息的传输强度基本不变,而非周期消息的传输强度由低向高变化时,非周期消息的平均响应时间曲线趋近于 M/M/1 模型下理想的非周期响应时间曲线,且响应时间偏差不超过 10%。

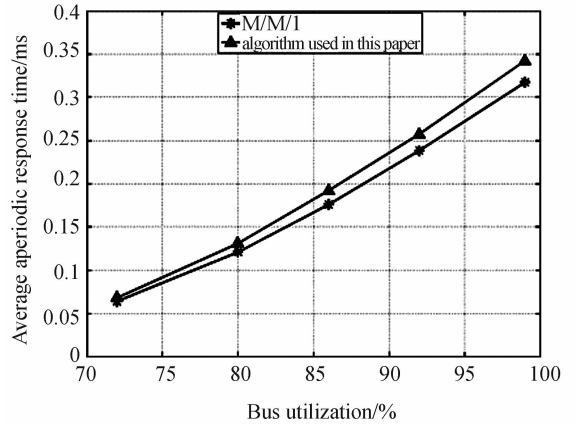


图 6 非周期消息的平均到达时间为 100 ms 时的总线利用率和平均响应时间关系图

Fig. 6 Diagram of bus utilization and average response time when average aperiodic response time is 100 ms

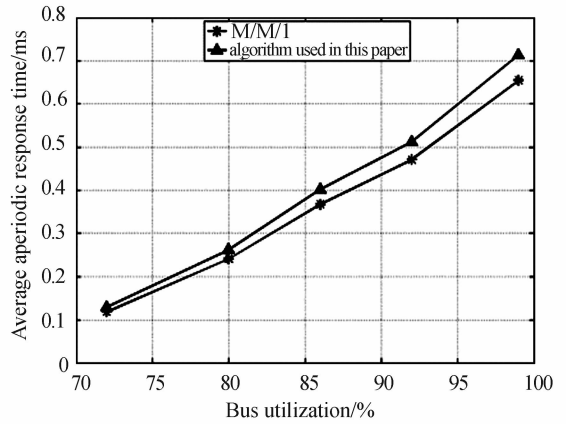


图 7 非周期消息的平均到达时间为 10 ms 时的总线利用率和平均响应时间关系图

Fig. 7 Diagram of bus utilization and average response time when average aperiodic response time is 10 ms

## 5 结 论

为了提高 1553B 总线上消息传输的实时性和可靠性,本文阐述了 1553B 总线的结构和工作原理,讨论了总线上周期消息和非周期消息的调度模型,分析了总线上非周期消息的时间性能指标参数,提出了优化 1553B 总线上周期消息和非周期消息传输的方法。实验结果表明:在总线利用率高达 96% 时,混合消息的平均响应时间仅为

0.713 ms;在周期消息和非周期消息混合传输的情况下,非周期消息的平均响应时间和 M/M/1

模型下理想的非周期响应时间偏差不超过 10%,上述方法时间性能较优,满足系统实时性要求。

### 参考文献:

- [1] 高志强,苗克坚,张雯璐. 弹载计算机 1553B 总线测试模块设计[J]. 计算机测量与控制,2008,16(9):1280-1283.  
GAO ZH Q, MIAO K J, ZHANG W L. Testing module design of 1553B bus in missile borne computer [J]. *Computer Measurement & Control*, 2008,16(9):1280-1283. (in Chinese)
- [2] 童小念,舒万能,李子茂. 异构多处理机系统的负载均衡与任务调度[J]. 光学精密工程,2007,15(12):1969-1973.  
TONG X N, SHU W N, LI Z M. Load balancing and task scheduling of heterogeneous multiprocessor system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(12):1969-1973. (in Chinese)
- [3] 沈卓炜. 长释放时间间隔优先的混合任务调度算法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(5):3-6.  
SHEN ZH W. Long-release-interval-first scheduling algorithm for hybrid real-time systems [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(5):3-6. (in Chinese)
- [4] 廖义林,吕英,沈崧. 基于(m,k)-firm 约束规范的混合任务调度算法研究[J]. 计算机工程与设计,2008,29(19):4894-4897,4902.  
LIAO Y L, LV Y, SHEN S. Scheduling algorithm for hybrid sets of tasks based on(m,k)-firm [J]. *Computer Engineering and Design*, 2008,29(19):4894-4897,4902. (in Chinese)
- [5] 郭泽仁. 1553B 总线系统优化及可靠性设计[J]. 山东理工大学学报(自然科学版),2008,22(1):67-70.  
GUO Z R. The optimization and reliability design for 1553B data bus[J]. *Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition)*, 2008,22(1):67-70. (in Chinese)
- [6] LIU SH, RAJKUMAR R, SATHAGE S S. Generalized rate-monotonic scheduling : a framework for developing real-time system [J]. *IEEE*, 1994, 82(1):68-81.
- [7] 任培,周经伦,罗鹏程,等. 基于排队论的数据链系统信息传输时间延迟分析[J]. 计算机科学,2008,35(8):93-94,128.  
REN P, ZHOU J L, LUO P CH, *et al.*. Time delay analysis of data-link system message transmission based on queue theory [J]. *Computer Science*, 2008,35(8):93-94,128. (in Chinese)
- [8] SHANTHIKUMAR J G, DING SH W, ZHANG M T. Queuing theory for semiconductor manufacturing systems: a survey and open problems [J]. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2007,4(4):513-522.
- [9] 牛云,谢拴勤,戴冠中,等. 基于排队论和时间需求分析法的实时系统时间行为分析[J]. 计算机应用研究,2007,24(12):106-109.  
NIU Y, XIE SH Q, DAI G ZH, *et al.*. Real-time system temporal parameters analysis via queuing theory and time-demand analysis method [J]. *Application Research of Computers*, 2007, 24(12):106-109. (in Chinese)
- [10] 胡文敏,何婷婷,张勇. 基于卡方检验的汉语术语抽取[J]. 计算机应用,2007,27(12):3019-3020,3025.  
HU W M, HE T T, ZHANG Y. Extraction of Chinese term based on chi-square test [J]. *Journal of Computer Applications*, 2007, 27(12):3019-3020,3025. (in Chinese)
- [11] 谢拴勤,牛云,林文. 基于 RMS 调度周期、非周期混合任务集的一种新方法[J]. 计算机应用研究,2006(8):76-79.  
XIE SH Q, NIU Y, LIN W. New method of scheduling periodic and aperiodic tasks via RMS [J]. *Application Research of Computers*, 2006(8):76-79. (in Chinese)

## 作者简介:



赵昶宇(1982—),男,陕西汉中,助理研究员,2004年于吉林大学获得学士学位,主要从事嵌入式系统软件设计和虚拟仪器方面的研究。E-mail: zcyscg\_cn@sina.com.cn



于平(1963—),男,吉林长春人,研究员,硕士生导师,1985年于长春光机学院获得学士学位,主要从事嵌入式系统方面的研究。E-mail: yuping0203@163.com



颜昌翔(1973—),男,湖北洪湖人,博士后,研究员,硕士生导师,1995年于长春光机学院获得学士学位,1998年于浙江大学获得硕士学位,2001年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,2003年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士后出站,主要从事空间光学遥感仪器的光机电一体化技术和超光谱空间遥感成像方面的研究。E-mail: yancx@ciomp.ac.cn

## ● 下期预告

## 卧式板型直线超声电机的微型化

李朝东,何晓菁

(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

研制了一种卧式板型微型直线超声电机。该电机是在 L1B4 板型直线超声电机研究基础上做的微型化设计,其外型尺寸为  $36\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 。论述了电机的工作原理和运行机理,使用解析法和有限元分析的方法进行了微型化结构设计,分析了定子的振动模态,并实现了频率简并。通过模拟压电激励的动态频率响应分析,对比了样机的 5 片压电陶瓷和通常的两片压电陶瓷布置方案的共振位移响应曲线,证实了采用 5 片压电陶瓷的布置增大了输出端点处产生的振动位移。通过样机特性测试实验测得,当激励信号电压为  $150\text{ V}$ ,频率为  $62\text{ kHz}$  时,电机最大速度为  $183.7\text{ mm/s}$ ,输出推力为  $50\text{ mN}$ 。预期该电机可以用于电机安置空间比较狭窄且需要一定动力的直线驱动场合。