

# 改进型 EDF 调度算法的研究与实现

萧 伟, 冯治宝, 应启夏

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

**摘要:** 分析实时系统 EDF 调度算法的优缺点, 为优化报文调度, 提出基于 EDF 的相对价值可提升的且相对价值最大的任务最优先调度算法, 采用多个参数计算报文的优先级。实验结果表明, 与传统 EDF 调度算法相比, 改进型算法能充分利用总线带宽, 对总线报文进行最优化调度。

**关键词:** EDF 调度算法; 截止期; 相对价值

## Research and Implementation of Improved Earliest Deadline First Schedule Algorithm

XIAO Wei, FENG Zhi-bao, YING Qi-jia

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

**【Abstract】** The advantages and disadvantages of Earliest Deadline First(EDF) schedule algorithm for real-time system are analyzed. To optimize the schedule of messages, the thought of relative-value and the schedule algorithm of maximal relative-value first with promotable relative-value are presented. This algorithm adopts multi-parameters to calculate the priority of messages. Experimental results prove that compared with traditional EDF algorithm, the improved algorithm fully makes use of bandwidth of the bus and optimizes the schedule of messages.

**【Key words】** EDF schedule algorithm; deadline; relative-value

### 1 概述

调度算法指在系统运行时, 决定某时刻执行哪个调度对象的方法, 主要分为 4 类: 静态表驱动算法(static table driven algorithm), 优先级驱动算法(priority driven algorithm), 基于动态计划的算法(dynamic planning based algorithm), 动态最大努力算法(dynamic best effort algorithm)。当前流行的几种实时调度算法主要是基于优先级驱动的抢先式调度, 具体描述如下:

(1) 比率单调调度(Rate Monotonic Scheduling, RMS)算法。该算法主要针对周期任务的优先级调度算法, 任务调度的优先级由任务周期确定, 周期越短的任务, 优先级越高; 周期越长的任务, 优先级越低。周期任务应在下一个周期到来之前完成当前这个周期, 否则就会错过时限, 较短周期的任务应该尽量先调度先完成, 以免错过任务时限。其主要优缺点为: 不同任务组采用 RMS 调度算法, 处理器利用率不同, 调度可行性也不同。在采用该调度算法时, 任务要进行调度可行性检查, 检查 RMS 调度算法能否对这种任务组产生合理的调度。RMS 调度算法在任务周期等于时限的同步实时任务系统中是最佳算法<sup>[1]</sup>。

(2) 截止期最早的任务优先调度(Earliest Deadline First, EDF)算法。该算法规定任务的截止期限越小, 优先级越高。理论上每个时刻都要计算处于等待调度状态的任务调度优先级, 工作量比较大, 系统下个时刻调度的任务是不确定的, 与系统中其他任务有关系。其主要优缺点为: 任务的优先级能够根据需要动态改变, 使得系统适应性比较好。在软实时消息的调度上要优于静态调度算法, 但是单纯地采用 EDF 调度算法, 非常容易引起优先级倒置的现象。

(3) 剩余时间最少的任务最先调度(Least Laxity First, LLF)算法, 即具有最下松弛度的任务优先调度。LLF 算法和 EDF 算法可以看作是同类型的调度算法, LLF 只是多减掉 1 个执行时间参数, 但 LLF 的运行过程却比 EDF 复杂。其主要优缺点为: 与 EDF 算法一样, 任务的优先级能够根据需要动态地改变, 使得系统的适应性比较好。但是调度过程复杂, 系统开销较大, 在网络负载较大时, 调度性能会急剧下降。

### 2 改进型 EDF 调度算法

#### 2.1 算法的提出与描述

在工业现场总线的应用中, EDF 调度算法对任务重要性的衡量标准仅是报文本身的截止期这一个参数, 根据截止期的大小映射出对应的报文优先级。因此, 优先级的大小是截止期的一元函数<sup>[2]</sup>, 其他因素不作考虑。这种方法在特定的实施条件下很有意义, 操作简单且容易实现, 方便了处理器的运算和判断。但是在当今现场总线系统中, 信息的传输量大, 不同请求对应了不同类型的报文, 报文本身还有许多其他的特性需要考虑, 如请求的重要程度、紧迫程度、剩余时间、请求出现的顺序等。单单一个截止期已经不足以描述这些复杂性, 这就需要在充分考虑截止期的基础上, 尽可能地体现出报文的其他特性和其他方面, 达到全面、系统地描述不同类型请求的特性。

实时请求通常具有以下几个方面的特性:

**基金项目:** 上海市自然科学基金资助项目“实时控制系统中的柔性时间触发数据传送机制研究”(05EZ37)

**作者简介:** 萧 伟(1981 - ), 男, 硕士研究生, 主研方向: 检测技术, 自动化装置; 冯治宝, 硕士研究生; 应启夏, 教授

**收稿日期:** 2008-12-20 E-mail: xiaowei19811005@yahoo.com.cn

(1)时间特性：对一个实时请求重要程度的衡量可以定义绝对价值作为比较的标准。在传统的 EDF 调度算法中，这个绝对价值指的就是对应报文的截止期，它是从时间特性方面抽象出来的一个参数。除了截止期，剩余时间也可以作为辅助参数一起刻画绝对价值。

(2)顺序特性：不同的请求不可能严格地在同一时刻到达，在一个微小的时间段内，这些请求总是存在到来的顺序。只是当这个采样的时间段很小时，可以近似地认为是同时到达。因此，顺序也可以作为辅助参数一起刻画绝对价值。

(3)重要程度：不同的请求代表了工业现场的不同传输要求，这些要求有些非常紧迫，如报警信息、掉电信息；有些比较紧迫，如传输一个控制指令、执行某一项操作；有些是常规的数据记录，如当前的状态信息和一些非实时性的信息。因此，重要程度也可以作为辅助参数一起刻画绝对价值。

对传统 EDF 调度算法的改进关键是要合理地衡量、选择参数，并分配一定的权重将这些影响报文重要程度的参数加入到传统 EDF 的调度中，产生一个更合理、综合、有效的报文调度算法。综上所述，现在引入相对价值作为确定报文优先级的衡量标准。它的一般形式表示为

$$\text{相对价值} = \text{重要程度} / (\text{剩余时间} \times \text{顺序} \times \text{截止期})$$

报文的优先级可以根据相对价值来确定，它是相对价值的一次函数。报文的重要程度越高，相对价值越大，剩余时间越少，请求越早产生，截止期越早，优先级越高，反之亦然。这样做的优点是全面考虑了任务本身的多方面属性，并且由多个参数体现在相对价值中。依据相对价值选择的报文，每消逝掉一个单位时间，尽可能地让价值增加最大。在有限的时间窗口中，可以使报文传输的总价值最大，从而弥补了原始 EDF 算法仅考虑截止期带来的不足。

当在 FTTCAN 的架构下对同步时间窗口的报文应用本算法时，时间窗口的时长是有限的，存在最大报文数或最大工作时间的限制<sup>[3-4]</sup>。在实际应用时，本算法引入一个灵活的修正机制，即相对价值可提升、相对价值最大的任务最优先调度算法(指数规律提升)。具体的修正如下：当时间窗口已经排满待传输的报文，此时如果存在被淘汰的报文且它的截止期又比较长，那么就将这个报文的优先级提升，并提交给异步窗口，参与异步窗口中报文的仲裁。

## 2.2 算法的软件实现

首先将当前所有的任务请求序列  $D$  按照相对价值从大到小进行排列。然后根据截止期将符合要求的报文加入待发送序列  $J$ ，将淘汰的报文加入淘汰序列  $T$ ，依次循环，流程见图 1。

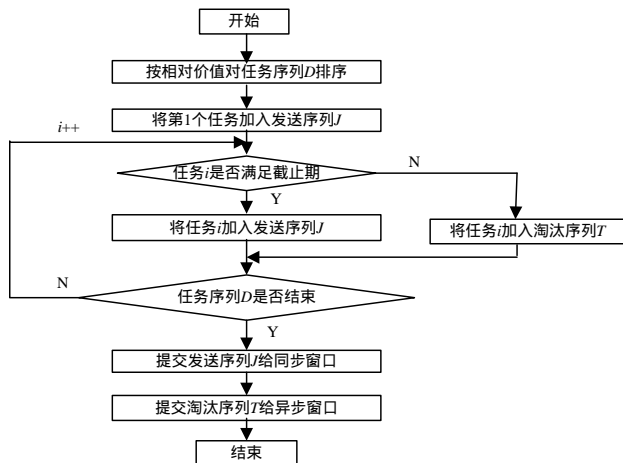


图 1 改进型 EDF 调度算法流程

## 3 改进型 EDF 调度算法的硬件实现与数据分析

改进型 EDF 调度算法在硬件实验平台上对 CAN 报文进行实际调度，并将数据结果与 EDF 调度算法的数据进行比较和分析。实验平台的 CAN 协议处理器采用 ATMEL 公司生产的 AT89C51CC03 高性能单片机。该处理器完全支持 CAN2.0A 协议、CAN2.0B 协议。

### 3.1 硬件平台设计

CAN 网络中的每个节点从功能上看，分为 4 个部分：CAN 传输部分，ISP 下载部分，电源部分，复位部分。CAN 节点框图如图 2 所示。

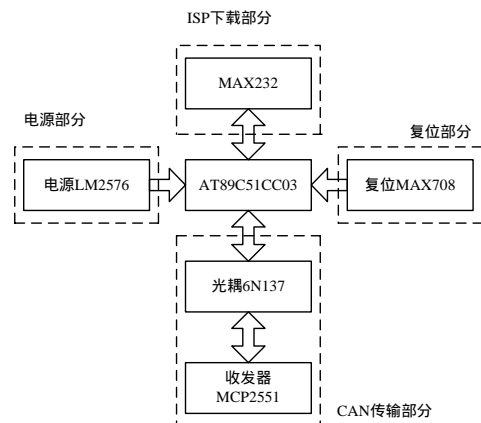


图 2 CAN 节点框图

设计的关键是 CAN 传输部分。微控制器与 CAN 网络连接的桥梁 MCP2551 是一个可容错的高速 CAN 总线收发器，可作为 CAN 协议控制器和物理总线接口。MCP2551 可为 CAN 协议控制器提供差分收发能力，完全符合 ISO-11898 标准，包括能满足 24 V 电压要求，工作速率高达 1 Mb/s，传输部分原理示意图如图 3 所示。

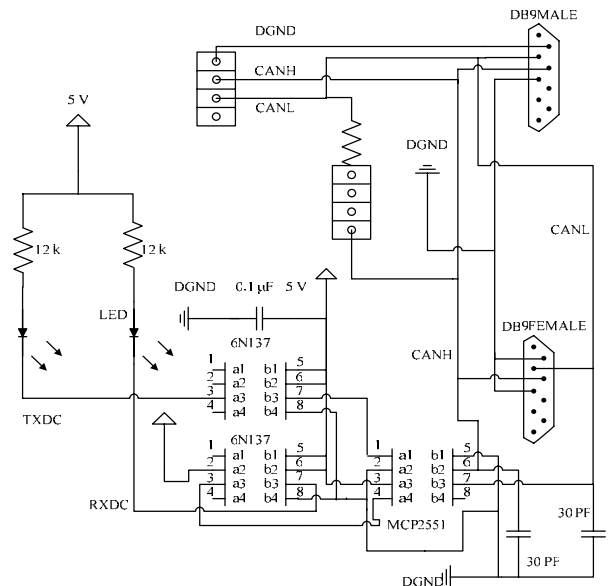


图 3 CAN 传输部分原理示意图

实验数据的采集选用周立功的 CANalsyt 分析仪。它是一个用来安装、开发、测试、维护、管理 CAN 总线网络的软件工具。CANalsyt 分析软件能同时捕捉和处理 11 bit 标志符模式(CAN2.0A 协议)和 29 bit 标志符模式(CAN2.0B 协议)的 CAN 报文。

### 3.2 实验设计

实验设置 15 个源报文, 每个报文的标识符均为 11 bit。当 AT89C51CC03 的中断引脚 INT0 产生中断时, 程序调用随机数发生函数产生一个伪随机数, 用以模拟表示此时 15 个报文中的哪些将被选中作为备选序列发送。11 bit 标识符范围为: 0X6F8, 0X6F9, 0X6FA, 0X6FB, 0X6FC, 0X6FD, 0X6FE, 0X6FF, 0X7F8, 0X7F9, 0X7FA, 0X7FB, 0X7FC, 0X7FD, 0X7FE, 0X7FF。截止期依次为: 3, 3, 3, 1, 4, 2, 3, 2, 5, 4, 6, 5, 7, 6, 6, 5。绝对值依次为: 48, 15, 14, 12, 48, 22, 30, 18, 40, 28, 36, 25, 28, 18, 12, 5。相对值依次为: 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1。

假定在采样点, 要传输报文的请求都同时发生, 则剩余时间等于截止期, 顺序这个参数在相对价值中所占的比重忽略不记。那么相对价值的计算公式简化为

$$\text{相对价值} = \text{绝对价值} / (\text{剩余时间} \times \text{截止期})$$

这样处理是为了实验计算方便, 在实际应用中, 报文传输请求不可能同时产生, 采样点也不是一个时刻, 而是一段的时间。

### 3.3 实验数据分析

实验产生的随机数为 0XF15F, 16 个二进制位对应于 16 个报文是否被选中, 对应位为 1 即代表有传输请求, 为 0 即代表没有传输请求。那么该随机数对应的有请求的报文编号为: 1, 5, 6, 7, 8, 9, B, D, E, F, G。由调度算法对该组报文进行可调度分析, 得到 8, E, F, G 这 4 个报文因不满足截止期将被排除, 最终得到的可传输报文序列依次为: 6, 1, 7, 5, 9, B, D。

实验仿真结果如图 4 所示。

No	States	ID	dir	Ch	Len	Data
0	13354	6F0	Xmit	2	8	99 99 99 99 99 99 99 99
1	175025324	6F8	Xmit	1	8	01 01 01 01 01 01 01 01
2	175026201	6F9	Xmit	1	8	02 02 02 02 02 02 02 02
3	175027078	6FE	Xmit	1	8	07 07 07 07 07 07 07 07
4	175027955	6FC	Xmit	1	8	05 05 05 05 05 05 05 05
5	175028832	7F9	Xmit	1	8	08 08 08 08 08 08 08 08
6	175029709	7FA	Xmit	1	8	08 08 08 08 08 08 08 08
7	175030586	7FC	Xmit	1	8	0D 0D 0D 0D 0D 0D 0D 0D
8	2748239515	6F0	Xmit	1	8	06 06 06 06 06 06 06 06
9	2748240392	6F8	Xmit	1	8	01 01 01 01 01 01 01 01
10	2748241269	6FE	Xmit	1	8	07 07 07 07 07 07 07 07
11	2748242146	6FC	Xmit	1	8	05 05 05 05 05 05 05 05
12	2748243023	7F9	Xmit	1	8	08 08 08 08 08 08 08 08
13	2748243900	7FA	Xmit	1	8	08 08 08 08 08 08 08 08
14	2748244777	7FC	Xmit	1	8	0D 0D 0D 0D 0D 0D 0D 0D

图 4 实验仿真结果

设定通道 1 传输一组固定报文, 标识符为 6F0, 数据域全为 9, 表明此时程序已经正常进行了初始化, 且进入 while 无限循环中, 等待任务请求发生, 一旦请求发生, 就立即进入算法函数进行任务组的可调度分析, 将分析整理后得到的发送序列 J 由通道 1 依次传输。此时通道在有限时间窗口中传输的总价值为

$$22 + 48 + 30 + 48 + 40 + 36 + 28 = 252$$

如果采用 EDF 调度算法对该组报文进行可调度分析, 得到的发送序列是 6, 8, 1, 5, 9, B, D, 且在有限时间窗口中传输的总价值为

$$22 + 18 + 48 + 48 + 40 + 36 + 28 = 240$$

EDF 调度算法的总价值比改进型算法少 12, 这是由于改进型算法综合考虑了剩余时间、顺序、截止期这 3 个参数, 而 EDF 算法仅仅考虑了截止期这 1 个参数, 比较单一, 没有全面体现报文的特性。因此, EDF 算法没有完成对报文的优化处理, 而新算法依据相对价值选择的报文, 每消滅掉一个单位时间, 尽可能地让价值增加最大。在有限的时间窗口中, 使报文传输的总价值最大, 从而弥补了原始 EDF 算法仅考虑截止期带来的不足。

## 4 结束语

本文对 EDF 调度算法进行改进, 设计了实验平台, 分析了改进算法的优势。改进算法结合 CAN 总线数据链路层的机制, 可在同步时间窗口中发挥优势, 提高高层协议的整体性能。改进算法与实验平台为进一步研究 TTCAN, FTTCAN 等高层协议提供了有力支持。

## 参考文献

- [1] Liu C L, Layland J. Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard Real-time Environment[J]. Journal of the ACM, 1973, 20(1): 46-61.
- [2] Pedreiras P, Almeida L. EDF Message Scheduling on Controller Area Network[J]. Computing and Control Engineering Journal, 2002, 13(4): 163-170.
- [3] Almeida L. The FTT-CAN Protocol: Why and How[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2002, 49(6): 63-71.
- [4] Dana M, Pascale M, Laurent G. Analysis of Deadline Assignment Methods in Distributed Real-time Systems[J]. Computer Communications, 2004, 27(15): 1412-1423.

编辑 顾姣健

(上接第 223 页)

- [3] Wiegand T, Sullivan G J, Bjntegaard G, et al. Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 560-576.
- [4] Paxson V. End-to-End Internet Packet Dynamics[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 27(4): 277-292.
- [5] Frossard P, Verscheure O. Joint Source/FEC Rate Selection for Quality-optimal MPEG2 Video Delivery[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(12): 1815-1825.
- [6] Yang Xiaokang, Zhu Ce, Li Zhengguo, et al. An Unequal Packet Loss Resilience Scheme for Video over the Internet[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 7(4): 753-765.

- [7] Xiong Hongkai, Sun Jun, Yu Songyu, et al. Rate Control for Real-time Video Network Transmission on End-to-End Rate-distortion and Application-oriented QoS[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2005, 51(1): 122-132.
- [8] Zhang Rui, Regunathan S L, Rose K. Video Coding with Optimal Inter/Intra Mode Switching for Packet Loss Resilience[J]. IEEE J. on Select. Areas Comm., 2000, 18(6): 966-976.
- [9] NS Workgroup. NS2 Network Simulation Tools[Z]. [2009-02-11]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [10] AVC Workgroup. H.264/AVC Codec Software Archive[EB/OL]. [2009-02-11]. <http://iphone.hhi.de/suehring/tml/>.

编辑 陈 晖