



通信网络精品图书

实时传输网络FlexRay 原理与范例

● 张凤登 付敬奇 著



中国工信出版集团



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

通信网络精品图书

实时传输网络 FlexRay 原理与范例

张凤登 付敬奇 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

实时多路传输网络是在嵌入式系统和自动控制系统高度发展的基础上形成的一个新主题,其主要目标在于探索具有速度快、实时性强、容错、操作灵活、智能分布的安全网络系统,至今仍处于发展过程中。本书以清晰、合适的方式,系统地描述了实时传输网络 FlexRay 的产生背景、协议、理论与技术基础,重点探讨了与 FlexRay 的形成及应用密切相关的全局时间同步和任务实时调度原理,并结合辅助开发工具介绍了 FlexRay 总线系统的开发、集成、分析和测试方法。全书共分为 10 章,每章配有习题。

本书在编写过程中广泛吸取了实时传输网络方面的最新成果,全书内容自成体系,结构紧凑,前后呼应,具有一定的先进性、系统性和实用性。

本书可作为高等院校汽车电子、自动化、测控技术、信息工程、微电子、计算机、电气工程和机电一体化等专业高年级本科生、研究生的教材,也可作为从事实时传输网络、嵌入式系统、电子控制单元、自动化仪表研究及应用的科技人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

实时传输网络 FlexRay 原理与范例/张凤登,付敬奇著. —北京:电子工业出版社,2017.4
(通信网络精品图书)

ISBN 978-7-121-31300-4

I. ①实… II. ①张… ②付… III. ①多路通信系统—研究 IV. ①TN914.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 071347 号

策划编辑:宋 梅

责任编辑:底 波

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20 字数:512 千字

版 次:2017 年 4 月第 1 版

印 次:2017 年 4 月第 1 次印刷

印 数:2 000 册 定价:59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: mariams@phei.com.cn。

前 言

实时系统的目的是监视和驱动被控对象的动态过程，通常需要以“实时”方式运行，它的正确性不仅取决于任务所执行计算的逻辑结果，而且取决于这些结果的产生时刻。实时系统分为强实时系统、弱实时系统和关键实时系统三类，其中关键实时系统受到可靠性的制约，涉及运行安全性和容错问题。在关键实时系统中，如果响应时间延迟所导致的结果是错误的，并且失效所产生的后果超过系统的附加值，那么系统的所有运行情况必须进行确认，研究难度较大。因此，这类系统的发展一直滞后于前两类系统。

FlexRay 作为汽车行业最新推出的实时传输网络系统，它既考虑了时间同步、通信调度和容错机制，又考虑了传输速度、安全性、操作灵活性、实时、分布式智能、网络拓扑等，对于关键实时系统的发展将会起到极大的推动作用。但是，FlexRay 将许多概念交集在一起，深奥难懂，给人们学习和掌握这一新型网络带来很大困难。本书作者期望通过编写本书，系统、清晰、深入地介绍实时传输网络 FlexRay 的产生背景、理论与技术基础，反映实时传输网络的最新发展状况，并结合辅助开发工具介绍 FlexRay 总线系统的开发、集成、分析和测试方法。

为避免读者失去试图了解这一主题的信心，作者在组织和编写过程中认真考虑了教学和自学的需要。第 1 章简要介绍实时系统的一些基本概念，分析进行实时传输网络研究的目的和必要性；第 2 章介绍与网络媒体访问密切相关的全局时间同步原理；第 3 章描述实时调度原理，为探讨通信报文调度奠定基础；第 4 章从通信循环、段和帧的角度描述 FlexRay 协议；第 5~8 章深入探讨 FlexRay 协议的媒体访问控制、物理层、时间同步、网络唤醒、网络启动和错误管理等核心内容；第 9~10 章重点讨论节点的结构、FlexRay 网络组件和 AUTOSAR，并介绍 FlexRay 实时传输网络系统的开发、集成、分析和测试方法。全书共分 10 章，每章配有习题。

本书的编写得到了资深学者、同事和电子工业出版社的大力支持。应启夏、吴勤勤教授为本书的组织结构和新术语的定义提出了很多宝贵建议；单冰华、魏志强、屠雨、李莎、张宇惠、车蕊、刘鲁平、邵文学、郭超、杨涛远等仔细阅读了部分或全部书稿，并提出了许多改进建议；电子工业出版社的宋梅编审在本书的体例

格式和易读性方面给予作者许多帮助。在此谨向他们以及本书中引用的参考文献的作者们致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者
2017 年 1 月 1 日

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 实时系统中的问题	2
1.1.1 信息技术系统	2
1.1.2 实时系统及其分类	2
1.1.3 分布式实时系统的复杂性	4
1.1.4 “时间触发”和“事件触发”互动范式	5
1.1.5 数字总线系统	6
1.2 现有嵌入式系统多路传输网络的局限性	7
1.2.1 CAN 的发展历程	7
1.2.2 CAN 的局限性	8
1.2.3 CAN 在概率特征和确定性方面的解决方案	9
1.2.4 TTCAN 协议	11
1.3 线控系统的兴起	15
1.3.1 X-by-Wire	15
1.3.2 高级应用需求	16
1.3.3 高级功能需求	18
1.4 FlexRay 的起源及发展历史	20
1.4.1 FlexRay 联盟的成立	20
1.4.2 FlexRay 的目标	22
1.4.3 FlexRay 的发展历史	25
1.5 FlexRay 操作梗概及特点	26
1.5.1 FlexRay 协议的基本操作原理	26
1.5.2 FlexRay 通信的层次和整体形式	28
1.5.3 FlexRay 的主要特点	31
1.6 FlexRay 的应用前景分析与展望	31
1.6.1 FlexRay 与 ISO	32
1.6.2 FlexRay 的用途	32
1.6.3 其他行业中的 FlexRay	33
习题	34
第 2 章 全局时间同步	35
2.1 时间与时间标准	35
2.1.1 顺序及其分类	36
2.1.2 时间标准	37

2.2	时钟	39
2.2.1	数字物理时钟	39
2.2.2	参考时钟	41
2.2.3	时钟漂移	41
2.2.4	时钟的失效模式	42
2.2.5	时钟精密度与准确度	42
2.2.6	实际应用中的时钟微节拍	43
2.3	全局时间及其测量	44
2.3.1	全局时间的概念	45
2.3.2	时间间隔测量	47
2.3.3	π/Δ -领先	47
2.3.4	时间测量的基本限制	48
2.4	密集时基与稀疏时基	49
2.4.1	密集时基	49
2.4.2	稀疏时基	50
2.4.3	时空点阵	51
2.4.4	时间的循环表示形式	51
2.5	内部时钟同步	52
2.5.1	同步条件	52
2.5.2	中央主节点同步算法	54
2.5.3	分布式容错同步算法	55
2.5.4	状态修正与速率修正	59
2.6	外部时钟同步	59
2.6.1	运行原理	59
2.6.2	时间格式	60
2.6.3	时间网关	61
	习题	61
第3章	实时系统调度	63
3.1	实时调度问题	63
3.1.1	任务模型	64
3.1.2	时间约束	65
3.1.3	调度算法的分类	66
3.1.4	可调度性分析	70
3.2	最坏情况执行时间	76
3.2.1	任务的分类	77
3.2.2	任务的最坏情况执行时间	78
3.3	静态调度	82
3.3.1	时间在静态调度中的作用	83

3.3.2	搜索树在静态调度中的应用	83
3.3.3	静态调度表灵活性的增强方法	84
3.4	动态调度	86
3.4.1	独立任务的调度	86
3.4.2	非独立任务的调度	89
3.5	其他可供选择的调度策略	94
3.5.1	分布式系统的调度	94
3.5.2	反馈调度	95
	习题	95
第 4 章	FlexRay 协议	97
4.1	通道与循环	97
4.1.1	通信通道	97
4.1.2	通信循环	98
4.2	段与时隙	99
4.2.1	采用静态段和动态段的理念	100
4.2.2	时隙和微时隙	100
4.2.3	静态段与时隙	104
4.2.4	动态段与微时隙	105
4.3	通信帧	107
4.3.1	通信帧格式	108
4.3.2	在时隙和微时隙中逻辑数据帧的封装和编码	111
4.3.3	帧在静态段和动态段的传输	113
4.4	符号窗	122
4.5	网络空闲时间	123
	习题	124
第 5 章	FlexRay 协议的媒体访问控制	125
5.1	分布式系统中的通信调度	126
5.1.1	分布式系统中的任务分配问题	126
5.1.2	通信调度	126
5.1.3	时钟驱动通信法	127
5.1.4	基于固定优先级的通信法	130
5.2	FlexRay 中的通信调度	131
5.2.1	优先级分配策略	132
5.2.2	调度问题的分类	133
5.2.3	调度算法	134
5.3	任务的定义	135
5.4	通信循环的执行	138
5.4.1	帧 ID 的含义	138

5.4.2 仲裁网格层	139
5.5 传输和媒体访问条件	141
5.5.1 静态段期间的传输和媒体访问条件	141
5.5.2 动态段期间的传输和媒体访问条件	141
5.5.3 动态段和 CAN 协议在媒体访问方面的相似性	145
5.5.4 关于双通道应用的补充说明	146
5.6 应用实例	147
5.6.1 宝马 X5 中的自适应驱动系统	148
5.6.2 FlexRay 系统的参数	149
5.6.3 已实施的选择	150
5.6.4 本地参数和网络参数小结	153
习题	154
第 6 章 FlexRay 物理层	155
6.1 FlexRay 信号的创建和发送	155
6.1.1 信号的创建	156
6.1.2 线路驱动器及其发送输出电路	158
6.2 媒体与 FlexRay 信号传输	161
6.2.1 媒体	161
6.2.2 信号传播	162
6.2.3 与信号传播有关的影响	163
6.3 拓扑结构及其对网络性能的影响	165
6.3.1 拓扑结构的应用理念	165
6.3.2 网络拓扑结构参数	165
6.3.3 信号完整性	166
6.3.4 单通道和双通道型结构的特点	167
6.4 FlexRay 的拓扑结构	169
6.4.1 点对点连接	169
6.4.2 无源线性总线连接	169
6.4.3 带支线无源线性总线连接	170
6.4.4 无源星连接	171
6.4.5 有源星连接	172
6.4.6 拓扑结构应用实例	174
6.5 FlexRay 信号的接收	177
6.5.1 不对称效应	177
6.5.2 在帧发送和帧接收开始时的特殊影响	179
6.5.3 完整发送接收链的截短效应小结	180
6.6 通信控制器对收到信号的处理	182
6.6.1 二进制流的采集	183

6.6.2	干扰或噪声的抑制	183
6.6.3	二进制匹配	184
6.7	误码率	184
6.7.1	眼图	184
6.7.2	信号完整性、眼图和 BER 之间的关系	189
6.8	网络性能的建模与仿真	193
6.8.1	网络元素的建模	193
6.8.2	仿真	196
	习题	198
第 7 章	FlexRay 时间同步	200
7.1	全局时间概念在 FlexRay 中的应用	200
7.1.1	网络启动阶段	201
7.1.2	位时间	202
7.1.3	FlexRay 的时间层次	203
7.1.4	全局时间与本地时间	206
7.2	FlexRay-TDMA 型网络中的同步	206
7.2.1	问题的提出	206
7.2.2	网络时间同步方面的要求	208
7.3	节点间同步问题的解决方案	210
7.3.1	确保网络节点时间同步的方法	210
7.3.2	时间偏差测量	212
7.3.3	持续时间测量	214
7.3.4	“多合一”测量	215
7.3.5	偏差和速率修正值计算	216
7.4	修正值的应用和实现	219
7.4.1	偏差与偏差修正	219
7.4.2	速率与速率修正	220
7.4.3	何处、何时及如何应用修正	220
7.4.4	时间层级的补充说明	223
	习题	224
第 8 章	网络唤醒、启动和错误管理	226
8.1	网络唤醒	226
8.1.1	节点唤醒过程	226
8.1.2	唤醒模式	227
8.2	网络启动	228
8.2.1	常规网络启动	228
8.2.2	TT-E 和 TT-L 同步模式	232

8.3	错误管理	234
8.3.1	错误管理的理念	234
8.3.2	降级模式	234
8.3.3	协议的状态转换	235
8.3.4	通道和通信帧上的错误	236
	习题	236
第 9 章	典型节点结构与网络电子组件	238
9.1	FlexRay 节点结构	238
9.1.1	节点的主要组成部分	238
9.1.2	处理器和协议管理器的架构	240
9.2	网络的电子组件	242
9.2.1	FlexRay 协议管理器	243
9.2.2	线路驱动器	246
9.2.3	有源星	251
9.3	电磁兼容性及其测量	255
9.3.1	电缆端接	256
9.3.2	端接方法比较	257
9.4	静电放电保护	258
9.4.1	测试的严酷度要求	258
9.4.2	静电放电测试设备	258
9.4.3	静电放电抗扰性测试设备的主要性能要求	259
9.4.4	测试方法	259
9.5	一致性测试	260
9.6	总线监控器	261
9.6.1	初级集中式总线监控器规范	261
9.6.2	初级节点总线监控器规范	262
	习题	263
第 10 章	FlexRay 系统的开发、集成、分析和测试	264
10.1	V 模式开发流程	264
10.1.1	V 模式	264
10.1.2	汽车行业 V 模式开发流程	265
10.1.3	车载总线系统开发流程的分级	267
10.2	FlexRay 总线仿真与测试工具	268
10.2.1	网络设计工具	269
10.2.2	仿真验证工具	272
10.2.3	通信分析工具	274
10.2.4	测试与诊断工具	275
10.2.5	通信网络错误仿真工具	275

10.2.6 ECU 内部参数标定和测量工具	276
10.3 CANoe 的 FlexRay 协议特征	277
10.3.1 仿真平台的时间同步	277
10.3.2 其他语言程序的应用	279
10.3.3 CANoe 中的实时	280
10.4 FlexRay 通信在汽车逻辑控制器中的实现	281
10.4.1 AUTOSAR 联盟	282
10.4.2 AUTOSAR 系统中的功能分析、虚拟功能总线	282
10.4.3 虚拟到现实的转变	284
10.4.4 AUTOSAR 的 FlexRay 通信栈	285
习题	287
附录 A FlexRay 协议官方文件	288
附录 B FlexRay 协议主要参数	290
附录 C CAN 和 FlexRay 的差异	298
附录 D 缩写语	301
参考文献	304

第1章 概 述

随着汽车电子技术的快速发展,车辆上的电子控制单元(Electronic Control Unit, ECU)数量不断增多,功能也越来越复杂,过去采用的点对点通信方式,已经对汽车的功能扩展和成本控制产生严重限制。使用早已应用于电话通信和电视信号传播的多路传输技术,将众多的电子控制单元连成网络,通过串行总线形式传输信号,已经成为解决汽车电子化中所出现问题的重要途径。由此产生的汽车网络技术已经成为汽车工业发展的重要主题之一,它不仅可以通过其通信实现信息资源共享,而且能够提高汽车的操控性、舒适性、动力性、可靠性、安全性和经济性。

时至今日,用于汽车领域的几种多路传输网络协议已经比较成熟了,如控制器局域网(Controller Area Network, CAN)^[1-4]、局域互联网(Local Interconnect Network, LIN)^[5]和汽车多媒体网络(Media Oriented System Transport, MOST)^[6]等。然而,现今的汽车电子系统发展趋势对网络功能又提出了更高的要求,如通信系统的实时性和安全性等,上述网络难以满足这些要求。本书讲述的 FlexRay 协议就是为满足日益增长的需求而开发的一种数字总线,其目的在于设计出一个可与物理层的物理性能直接相关的通信协议结构,从而改进通信的速度、安全性和实时性,提升操作的灵活性、网络拓扑结构的多样性和分布式系统的智能性等。

FlexRay 协议使用了多种概念,这些概念交织在一起,相互碰撞,不仅使得 FlexRay 协议深奥难懂,而且难以找到它的一个合适描述方案。为了避免读者失去了解 FlexRay 的信心,让读者正确理解 FlexRay 协议的技术原理和运行方法,在描述 FlexRay 协议之前,本章首先介绍一些分布式实时系统方面的术语和概念,指出现有嵌入式系统多路传输网络的局限性,讨论未来汽车网络的高级应用和功能需求,然后描述这一协议的产生和发展历程。另外,为使本书适合教学应用及其规律,本章结尾部分还以较小篇幅简要说明 FlexRay 操作原理要点和整体形式,读者可由此建立起对 FlexRay 协议的初步认识,然后进一步展开后续各章的深入学习。

1.1 实时系统中的问题

FlexRay 作为分布式实时系统的重要组成部分，它与实时系统及其特定环境密切相关。虽然实时系统方面的概念在一定程度上超出了本书的范围，但为了方便读者理解 FlexRay 的构成原理，本节将简单地介绍一些这方面的基础知识，读者可将它作为踏入这个领域的第一步。

1.1.1 信息技术系统

一般情况下，信息技术（Information Technology, IT）系统分为 3 类。

① 转换系统（Transformational System）。这类系统用于将数据转换成相应的结果，并且这些结果只取决于输入数据，如科学计算程序。

② 互动系统（Interactive System）。这类系统与其环境进行互动，将处理操作与它们收到的事件相联系。大多数情况下，其环境的主角是人类用户，如办公自动化程序。

③ 反应系统（Reactive System）。这类系统对来源于环境的激励做出相应的反应。与互动系统不同，反应系统的环境演变独立于系统。尽管环境是激励的发出方，但它不会等待激励所引起的处理过程结束，如指挥和控制系统。反应系统与其所控制的环境集成在一起，两者受到的物理约束（温度、压力和磁场等）是相同的。通常，人们将反应系统称为实时系统。

1.1.2 实时系统及其分类

许多车载系统的目的是为了监视和驱动动态过程，它们通常需要以“实时（Real Time）”方式运行，因此也被认为是实时系统。“实时”是一个不太容易理解的术语，许多人想当然地认为实时就是快。实际上，“实时”表示在给定的时间周期内，对某个事件做出可靠、准确响应的能力。简单地说，实时是用来描述实际应用的定时要求的形容词。系统是指由相互制约的若干部分所构成的具有特定功能的整体。系统的状态由描述系统行为特征的变量来表示。随着时间的推移，系统会不断地演化。外部环境的影响、内部组成的相互作用及人为的控制作用等，是导致系统状态和演化进程发生变化的主要因素。

很多文献给出了实时系统的定义，然而不同文献给出的定义彼此不尽相同，至今也没有一个被人们广泛接受的定义。一个较为合理的定义是^[7]：“系统行为的正确性不仅取决于任务所执行计算的逻辑结果，而且取决于这些结果的产生时刻，这类系统称为实时系统”。其中，系统行为表示系统随时间推移的输出序列。

按照上述定义, 在所有情况下, 实时系统的全部时间约束都必须得到遵守, 否则系统是有缺陷的。实时系统要在有限的时间间隔内执行大量的任务, 单靠提高软件执行速度并不能保证系统的有效性。根据违反时间约束后可能造成的后果, 实时系统可分为如下3类^[8]。

1. 强实时系统

系统受到严格的时间约束(即必须不惜一切代价遵守时间约束), 违反这些约束可能对被控环境造成灾难性后果, 这类系统称为强实时系统(Hard Real Time System), 如核工业系统。这类系统又可进一步划分成安全关键系统(Safety-Critical System)和任务关键系统(Mission-Critical System), 前者会因为失效而导致人员伤亡, 后者会因为失效而产生经济损失和环境破坏。

2. 关键实时系统

如果延迟所产生的结果是错误的, 并且失效的后果超过了系统的附加值, 那么系统的所有运行情况(包括最坏情况)必须进行确认, 具有这种特征的系统称为关键实时系统(Critical Real Time System)。这类系统受到可靠性的约束, 涉及运行安全性(Operational Safety)和容错(Fault Tolerance)问题。几年前人们提出了一个参考实例, 这个例子描述了车载系统失效发生概率的估计方法, 以及如何在顾及这个估计值的情况下遵守运行安全方面的需求。这个例子建议, 在估计控制系统能容忍的最坏情况指令到达延迟时, 必须同时考虑车辆和运行架构的动态特性。然而, 这种方法仅限于转向系统(Steering System)的研究, 并且是将电磁干扰作为瞬间故障源。瞬间故障虽然持续时间有限, 但可能改变系统, 其产生原因取决于环境。

为了能够支持关键性应用, 关键实时系统必须具备以下特点。

① 确定性。确定性包括数值确定性和时间确定性两个方面, 两者之间是有区别的: 数值确定性意味着相同的输入序列总是产生相同的输出序列; 时间确定性意味着输出始终保持其时间特征。

② 可预测性。为保证足够的性能水平, 对于所采取的任何调度决策, 系统必须能够预测其结果。如果无法保证符合某个任务的时间约束, 那么系统必须提前考虑这种风险, 预先规划好替代动作, 以应对此事件。

③ 容错。硬件或软件故障不得造成整个系统失效。因此, 系统中所使用的硬件和软件组件必须容忍这些故障。

④ 耐繁重工作负载。在带负载运行的情况下, 实时系统必须是稳健的(Robust)。因此, 它们必须能够预测所有的运行情形。

⑤ 可维护性。为便于修改，实时系统的架构必须是模块化的。

3. 弱实时系统

若系统包含的设备在遵守时间约束方面的要求较低，则称该类系统为弱实时系统。对于导致性能（服务质量）降低的时间故障（即必须尽可能地遵守的时间约束），这类系统可以容忍其某个阈值。这类系统通过定义度量指标来定量分析所提供服务的品质。度量指标可以根据系统复杂程度，通过分析（通常是统计）或估计（通常是仿真）来获得。最常见的度量指标包括：遵守约束的比率、使用的阈值和系统成本等。

1.1.3 分布式实时系统的复杂性

电子领域在鲁棒性、稳定性、抗电磁场变化等方面的技术进步，零部件价格的不断降低，极大地促进了机载实时系统在工业中的发展，尤其是在汽车领域，许多机械系统不可能实现的功能，现在已经能够做到了，如辅助制动（Assisted Braking）、电子制动力分配（Electronic Braking Distribution）和助力转向（Assisted Steering）等。这里，我们将重点关注分布式架构的优势，以及它们的使用问题。

1. 分布式系统的特征及优势

分布式系统由硬件组件（既不共享物理内存，也不共享物理时钟的多台计算机）和软件组件（在不同计算机上执行的算法）构成，各个组件通过报文进行通信和动作协调。

分布式系统的重要性主要体现在如下几个方面：被监视和/或控制过程的复杂性；被处理数据和事件的数量；被控系统硬件组件的地理分布；通信协议的出现。这种架构使得克服集中式系统的局限性成为可能。实际上，分布式任务执行的处理速度（并行处理）快于单处理器系统（顺序处理）。此外，在有必要确保系统容错的安全性系统中，分布式架构使得在硬件和软件中使用冗余成为可能。

2. 分布式实时系统的异质性

分布式实时系统的管理十分复杂，造成这种情况的主要原因在于其组件的异质性（Heterogeneity）：

- ① 各种计算机和微处理器存在技术差异；
- ② 强时间约束和弱时间约束可能在同一系统共存；
- ③ 模拟和数字组件共存；

④ “事件触发 (Event-Triggered)” 和 “时间触发 (Time-Triggered)” 范式可能并存。

1.1.4 “时间触发” 和 “事件触发” 互动范式

触发是导致某些动作 (如执行任务、发送报文) 启动的事件。实时系统与其环境之间的互动通常分成 “时间触发 (Time-Triggered)” 和 “事件触发 (Event-Triggered)” 两种范式 (Paradigm)。时间触发模型和事件触发模型如图 1-1 所示。

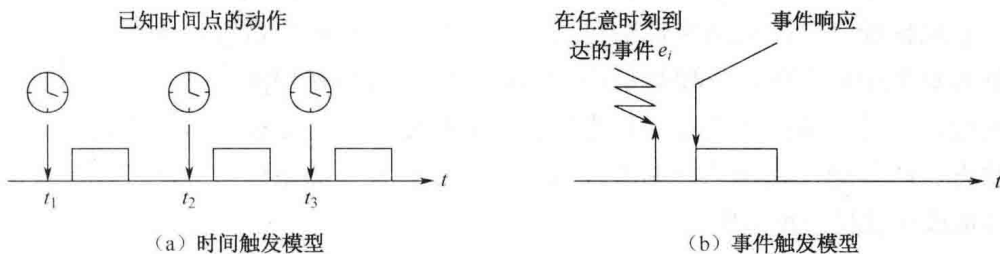


图 1-1 时间触发模型和事件触发模型

在实时系统中, 根据每个节点用于启动通信和处理动作的触发机制, 可将实时计算机所应用的控制机制设计方法分成截然不同的两种类型^[1]: 时间触发控制和事件触发控制。

1. 时间触发控制

在时间触发控制中, 所有活动是由行进中的时间启动的。在分布式时间触发系统中, 所有节点的时钟通过同步形成一个全局时间 (Global Time), 每个节点只有一个中断, 即周期性的实时时钟中断。系统中的每个通信和处理活动是在周期性出现的预定时钟节拍上启动的, 被控对象的观测采用全局时间来加盖时间戳 (Time-Stamp)。在选择全局时间的粒度 (Granularity) 时, 必须满足这样的条件: 无论何处产生的两个观测, 它们的时间顺序可以根据其时间戳建立起来^[9]。

简单地讲, 时间触发系统通过时间来设定系统的节奏, 所有活动都在预定的时刻执行。

2. 事件触发控制

在事件触发控制中, 通信和处理活动是在无规律性重要事件发生时启动的。在事件触发系统中, 中断机制被用于实现重要事件信号到计算机 CPU 的传递。为激活服务于这种重要事件的软件任务, 事件触发系统通常需要有动态调度策略。

事件触发系统通过中断机制实现新事件的通知, 能够尽可能快地对激励做出