

# 实时控制系统软件设计原理及应用

张云生 编著

## Principle and Application for Real-time Control System Software Design



国防工业出版社

# 实时控制系统软件 设计原理及应用

## Principle and Application for Real-time Control System Software Design

张云生 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

JS146/Q3

图书在版编目(CIP)数据

实时控制系统软件设计原理及应用/张云生编著. —北京:国防工业出版社,1998.12

ISBN 7-118-01888-0

I. 实… II. 张… III. 实时控制-实时操作系统-基本知识 N. TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 03492 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 9 $\frac{3}{4}$  245 千字

1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月北京第 1 次印刷

印数:1-2000 册 定价:19.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

## 致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金  
评审委员会

# 国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

|           |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|
| 名誉主任委员    | 怀国模 |     |     |
| 主任委员      | 黄 宁 |     |     |
| 副主任委员     | 殷鹤龄 | 高景德 | 陈芳允 |
|           | 曾 铎 |     |     |
| 秘 书 长     | 崔士义 |     |     |
| 委 员       | 于景元 | 王小谟 | 尤子平 |
| (以姓氏笔划为序) | 冯允成 | 刘 仁 | 朱森元 |
|           | 朵英贤 | 宋家树 | 杨星豪 |
|           | 吴有生 | 何庆芝 | 何国伟 |
|           | 何新贵 | 张立同 | 张汝果 |
|           | 张均武 | 张涵信 | 陈火旺 |
|           | 范学虹 | 柯有安 | 侯正明 |
|           | 莫梧生 | 崔尔杰 |     |

## 前 言

随着微电子技术的长足发展,计算机实时控制系统在我国得到广泛应用。本书从工业生产自动化和自动控制的设计和实现出发,介绍实时系统的操作原理、设计方法、编程技巧和应用技术。目的在于帮助从事自动控制系统研究的读者越过计算机理论到实践的障碍,结合所研究的控制对象和外围设备装置,研制开发计算机控制系统。帮助从事计算机软件系统研究的读者了解实时系统的特征和应用对象,设计开发面向实时任务目标的系统软件和应用软件。

实时控制是计算机应用的一个重要而极富潜力的方面。本书从简单的实时控制问题开始提出适于计算机处理的控制方法和软件结构。通过实例说明程序设计的基本要求,介绍实时控制系统中两个最重要的性能:实时性和多任务性。实时性指在控制系统中,“时间”是最宝贵的资源,控制行为必须在指定的时间内开始和完成,信号要求按时序发送,计算机推理和计算的正确不仅依赖于逻辑的正确而且依赖于结果产生的时间。多任务性指系统中有多个独立和/或半独立的任务,同时分别执行对不同信号的处理和对不同设备、不同过程的控制。由此,本书详细介绍了如何在计算机上实时完成多个任务的调度逻辑、通信机制、资源共享和互斥、中断处理、事件驱动响应以及面向动态对象的编程原理。

本书的主要内容是实时控制系统中的同步程序设计原理、异步信号处理方法、控制系统的程序结构和操作界面的接口技术。书中重点介绍了实时程序的调度和核心调度程序的工作原理和开发技术。最后介绍了几个应用开放式实时软件设计原理开发的实际应用程序,并讨论了开发过程中的关键问题。

为了让读者更容易理解实时软件的基本概念和内层设计原理,本书配备了一定的实用和仿真程序。结合源程序实例,剖析实时并行处理技术的原理和具体的编程技巧,供读者作为参考。本书叙述的很多原理,对于采用高级语言编程的人来说是不可见的。但是了解这些程序的生成原理,对编制高质量、实用可靠的应用程序无疑是有帮助的。因此希望通过这些例程,在阐述基本原理时尽量避免艰深的计算机理论,迅速掌握设计实时控制系统软件的经验。这些例程基本上用 C 语言编写,少部分接口程序用汇编语言编写,可让读者直接修改移植到自己的应用程序中。

本书的读者对象是从事实时控制系统应用研究和实时软件开发的工程技术人员;学习自动控制、计算机应用及相关专业的大学高年级学生和研究生。

在本书编写过程中得到中国科学院自动化研究所戴汝为院士,清华大学自动化系吴澄院士和吴年宇研究员的热情关心和支持。昆明理工大学廖伯瑜教授、缪尔康教授、金以城教授给予了具体的指导,我的同事们也给予了诸多帮助,在此表示衷心感谢。

限于本人知识浅陋,所从事的研究工作范围不宽,对日新月异地发展的计算机控制技术了解不全面,书中有不妥之处,敬请读者指正。

张云生

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 实时计算机控制系统概论·····  | 1  |
| 1.1 计算机控制系统的硬件组成····· | 2  |
| 1.2 计算机控制系统的软件结构····· | 4  |
| 1.3 计算机控制系统的应用软件····· | 6  |
| 1.4 实时应用软件设计·····     | 9  |
| 第二章 同步程序设计·····       | 12 |
| 2.1 电机调速系统同步编程实例····· | 12 |
| 2.1.1 控制算法·····       | 12 |
| 2.1.2 控制程序·····       | 13 |
| 2.1.3 程序的仿真调试·····    | 15 |
| 2.2 实时程序的特点·····      | 16 |
| 2.2.1 数据表示·····       | 17 |
| 2.2.2 硬件设备·····       | 18 |
| 2.2.3 编程要点·····       | 19 |
| 2.3 实时同步程序设计·····     | 21 |
| 2.3.1 主程序模块·····      | 22 |
| 2.3.2 控制程序模块·····     | 23 |
| 2.3.3 实际对象仿真程序模块····· | 24 |
| 2.3.4 输入输出程序模块·····   | 26 |
| 2.4 关于时间问题·····       | 27 |
| 2.4.1 实时控制算法·····     | 27 |
| 2.4.2 计时模型·····       | 27 |
| 2.4.3 计时过程·····       | 28 |
| 2.4.4 并行控制·····       | 29 |
| 2.5 中断机制·····         | 31 |
| 2.5.1 硬件中断控制·····     | 31 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 2.5.2 软件中断控制 .....       | 32        |
| 2.5.3 计时器中断 .....        | 33        |
| <b>第三章 异步信号处理 .....</b>  | <b>34</b> |
| 3.1 电机脉宽调制系统的异步程序 .....  | 34        |
| 3.1.1 脉宽调制控制 .....       | 34        |
| 3.1.2 脉宽调制程序 .....       | 36        |
| 3.1.3 计时精度问题 .....       | 37        |
| 3.1.4 计时器在测速中的应用 .....   | 38        |
| 3.2 位置控制的异步程序 .....      | 42        |
| 3.2.1 控制算法 .....         | 42        |
| 3.2.2 程序的文件结构 .....      | 44        |
| 3.2.3 计时器的处理 .....       | 45        |
| 3.2.4 计时器中断服务例程 .....    | 47        |
| 3.2.5 计算机并行口的应用 .....    | 48        |
| 3.3 脉宽调制程序 .....         | 49        |
| 3.3.1 初始化 .....          | 50        |
| 3.3.2 脉宽调制 .....         | 50        |
| 3.3.3 脉冲频率 .....         | 50        |
| 3.3.4 工作周期 .....         | 51        |
| 3.4 脉冲频率调节程序 .....       | 51        |
| 3.4.1 初始化 .....          | 51        |
| 3.4.2 脉冲输入 .....         | 52        |
| 3.4.3 速度计算 .....         | 52        |
| 3.4.4 脉冲组的分配 .....       | 52        |
| 3.5 正交译码程序 .....         | 53        |
| 3.5.1 正交测量算法 .....       | 54        |
| 3.5.2 初始化 .....          | 55        |
| 3.5.3 状态译码 .....         | 56        |
| 3.5.4 速度计算问题 .....       | 57        |
| <b>第四章 多任务程序结构 .....</b> | <b>58</b> |
| 4.1 数据组织方法 .....         | 58        |
| 4.1.1 数据结构 .....         | 59        |
| 4.1.2 数据结构的指针运算 .....    | 60        |
| 4.1.3 链接表 .....          | 60        |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 4.1.4 通用数据结构 .....     | 62 |
| 4.1.5 表结构 .....        | 63 |
| 4.2 内存分配和管理 .....      | 65 |
| 4.2.1 动态内存分配 .....     | 65 |
| 4.2.2 存储管理 .....       | 66 |
| 4.3 串联控制中的表结构 .....    | 67 |
| 4.3.1 链接表 .....        | 67 |
| 4.3.2 控制命令的表结构 .....   | 70 |
| 4.3.3 命令译码 .....       | 71 |
| 4.3.4 命令输入查询 .....     | 72 |
| 4.4 多个独立的控制过程 .....    | 73 |
| 4.4.1 多控制环的数据结构 .....  | 73 |
| 4.4.2 控制算法的实现 .....    | 74 |
| 4.4.3 控制精度问题 .....     | 75 |
| 4.5 任务调度 .....         | 76 |
| 4.5.1 调度程序 .....       | 76 |
| 4.5.2 后台调度程序 .....     | 78 |
| 4.5.3 实时控制过程仿真 .....   | 82 |
| 第五章 实时控制系统接口设计 .....   | 83 |
| 5.1 操作台 .....          | 83 |
| 5.1.1 操作台设备 .....      | 83 |
| 5.1.2 串行接口 .....       | 85 |
| 5.1.3 异步中断处理 .....     | 86 |
| 5.2 应答及信号交换 .....      | 88 |
| 5.2.1 应答的执行过程 .....    | 89 |
| 5.2.2 信号交换 .....       | 89 |
| 5.2.3 缓冲器的控制过程 .....   | 90 |
| 5.3 消息的编码和译码 .....     | 92 |
| 5.3.1 与操作人员通信的工具 ..... | 92 |
| 5.3.2 控制多台电机的问题 .....  | 93 |
| 5.3.3 操作台的屏幕界面 .....   | 95 |
| 5.3.4 屏幕的后台和嵌套 .....   | 98 |
| 5.4 一个操作台界面的设计例子 ..... | 99 |
| 5.4.1 程序文件 .....       | 99 |

|                        |            |            |
|------------------------|------------|------------|
| 5.4.2                  | 应用程序的界面    | 99         |
| 5.4.3                  | 缓冲器        | 100        |
| 5.4.4                  | 终端控制       | 101        |
| <b>第六章 实时控制多任务调度原理</b> |            | <b>105</b> |
| 6.1                    | 优先级调度问题    | 105        |
| 6.1.1                  | 前台和后台      | 105        |
| 6.1.2                  | 后台优先级      | 106        |
| 6.1.3                  | 前台调度       | 107        |
| 6.2                    | 控制任务的调度    | 108        |
| 6.2.1                  | 任务的结构      | 108        |
| 6.2.2                  | 定时优先级调度    | 110        |
| 6.2.3                  | 任务悬挂       | 112        |
| 6.3                    | 控制任务的堆栈分配  | 112        |
| 6.3.1                  | 堆栈         | 112        |
| 6.3.2                  | 变元参数和局部变量  | 114        |
| 6.3.3                  | 任务的私有堆栈    | 115        |
| 6.3.4                  | 任务的控制结构    | 116        |
| 6.4                    | 事件驱动调度程序   | 117        |
| 6.4.1                  | 任务的控制方式    | 117        |
| 6.4.2                  | 定义事件       | 118        |
| 6.4.3                  | 任务悬挂       | 119        |
| 6.4.4                  | 事件发生的信号    | 119        |
| 6.5                    | 事件驱动任务的结构  | 120        |
| 6.5.1                  | 结构描述       | 120        |
| 6.5.2                  | 多任务系统      | 121        |
| 6.5.3                  | 互斥关系       | 122        |
| 6.5.4                  | 事件驱动调度的例子  | 125        |
| <b>第七章 实时多任务程序核</b>    |            | <b>127</b> |
| 7.1                    | 实时核概述      | 127        |
| 7.1.1                  | 实时核的基本特征   | 127        |
| 7.1.2                  | 硬件和软件的前提条件 | 128        |
| 7.1.3                  | 基本原理及应用    | 128        |
| 7.2                    | 任务调度       | 129        |
| 7.2.1                  | 任务交换       | 129        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 7.2.2 核心任务和进程 .....        | 130 |
| 7.2.3 任务间的通信和任务重入 .....    | 131 |
| 7.3 核函数模块 .....            | 132 |
| 7.3.1 类型、常数和变量 .....       | 132 |
| 7.3.2 任务管理函数 .....         | 133 |
| 7.3.3 任务查询函数 .....         | 135 |
| 7.3.4 时间函数 .....           | 137 |
| 7.3.5 信号交换函数 .....         | 138 |
| 7.4 程序调度 .....             | 145 |
| 7.4.1 DOS 任务调用 .....       | 145 |
| 7.4.2 让 DOS 过程并行运行 .....   | 147 |
| 7.4.3 程序调度核 .....          | 149 |
| 7.4.4 实时多任务核的其他功能 .....    | 150 |
| 7.4.5 堆 .....              | 152 |
| 7.5 中断处理 .....             | 153 |
| 7.5.1 中断处理器的结构 .....       | 153 |
| 7.5.2 中断处理的程序规则 .....      | 154 |
| 7.5.3 在其他程序中的中断处理 .....    | 155 |
| 第八章 实时的 WINDOWS 操作系统 ..... | 157 |
| 8.1 进程和线程 .....            | 157 |
| 8.1.1 进程任务和线程任务 .....      | 157 |
| 8.1.2 使用多任务 .....          | 158 |
| 8.1.3 任务调度 .....           | 159 |
| 8.1.4 进程处理 .....           | 160 |
| 8.1.5 线程处理 .....           | 161 |
| 8.2 进程和线程的应用 .....         | 163 |
| 8.2.1 使用多线程的多文档程序 .....    | 164 |
| 8.2.2 使用重定向输入和输出的子进程 ..... | 164 |
| 8.3 多线程的同步 .....           | 165 |
| 8.3.1 同步对象 .....           | 165 |
| 8.3.2 进程间同步 .....          | 166 |
| 8.3.3 重叠异步操作 .....         | 166 |
| 8.4 WINDOWS 下的操作台 .....    | 168 |
| 8.4.1 创建操作台 .....          | 168 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 8.4.2 操作台输入缓冲器 .....           | 169        |
| 8.4.3 操作台输出缓冲器 .....           | 170        |
| 8.4.4 操作台输入输出 .....            | 170        |
| 8.5 通信 .....                   | 172        |
| 8.5.1 通信资源句柄 .....             | 172        |
| 8.5.2 通信操作 .....               | 173        |
| 8.5.3 通信事件 .....               | 174        |
| 8.5.4 通信应用例程 .....             | 174        |
| <b>第九章 实时控制系统应用实例</b> .....    | <b>177</b> |
| 9.1 控制系统应用实例一——温度、液面控制系统 ..... | 177        |
| 9.1.1 过程和它的模型 .....            | 178        |
| 9.1.2 控制器的结构 .....             | 179        |
| 9.1.3 任务结构 .....               | 179        |
| 9.1.4 报警任务 .....               | 180        |
| 9.1.5 任务间通信 .....              | 181        |
| 9.1.6 实时仿真中的动态调试 .....         | 182        |
| 9.1.7 并行处理 .....               | 186        |
| 9.1.8 控制系统的调度过程 .....          | 187        |
| 9.1.9 控制系统的一般调度程序 .....        | 188        |
| 9.2 控制系统应用实例二——连铸生产线控制系统 ..... | 189        |
| 9.2.1 系统的结构和配置 .....           | 189        |
| 9.2.2 系统的任务和调度 .....           | 190        |
| 9.2.3 多媒体程序的嵌入问题 .....         | 192        |
| 9.2.4 使任务并行 .....              | 194        |
| 附录 1 第二程序文件 .....              | 196        |
| 附录 2 第三程序文件 .....              | 221        |
| 附录 3 第四程序文件 .....              | 243        |
| 附录 4 第五程序文件 .....              | 263        |
| 参考文献 .....                     | 290        |

# Contents

|           |                                                 |    |
|-----------|-------------------------------------------------|----|
| Chapter 1 | Introduction for Real-time Computer             |    |
|           | Control System                                  | 1  |
| 1.1       | Hardware Composition of Computer Control System | 2  |
| 1.2       | Software Structure of Computer Control System   | 4  |
| 1.3       | Applied Software of Computer Control System     | 6  |
| 1.4       | Design for Real-time Applied Software           | 9  |
| Chapter 2 | Synchronous Programming                         | 12 |
| 2.1       | Programmed Example for Motor Velocity Control   | 12 |
| 2.1.1     | The Control Algorithm                           | 12 |
| 2.1.2     | The Control Program                             | 13 |
| 2.1.3     | Simulating Debug of Control Program             | 15 |
| 2.2       | Feature of Real-time Program                    | 16 |
| 2.2.1     | Data Express                                    | 17 |
| 2.2.2     | Hardware Device                                 | 18 |
| 2.2.3     | Programming Require                             | 19 |
| 2.3       | Real-time Synchronous Programming               | 21 |
| 2.3.1     | Main Module                                     | 22 |
| 2.3.2     | Control Module                                  | 23 |
| 2.3.3     | Simulation Module                               | 24 |
| 2.3.4     | Input and Output Module                         | 26 |
| 2.4       | About Time                                      | 27 |
| 2.4.1     | Real-time Control Algorithm                     | 27 |
| 2.4.2     | Timing Module                                   | 27 |
| 2.4.3     | Timing Process                                  | 28 |
| 2.4.4     | The Parallel Control                            | 29 |
| 2.5       | Interrupt Function                              | 31 |
| 2.5.1     | Control of Hardware Interrupt                   | 31 |
| 2.5.2     | Control of Software Interrupt                   | 32 |

|                                                     |                                                             |    |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.3                                               | Timer Interrupt .....                                       | 33 |
| Chapter 3 Asynchronous Signal Processing .....      |                                                             | 34 |
| 3.1                                                 | Asynchronous Program for Motor Pulse-width Modulation ..... | 34 |
| 3.1.1                                               | Control of Pulse-width Modulation .....                     | 34 |
| 3.1.2                                               | Program of Pulse-width Modulation .....                     | 36 |
| 3.1.3                                               | Timing Precision .....                                      | 37 |
| 3.1.4                                               | Application of Timing in Velocity Measurement .....         | 38 |
| 3.2                                                 | Asynchronous Program for Position Control .....             | 42 |
| 3.2.1                                               | The Control Algorithm .....                                 | 42 |
| 3.2.2                                               | File Configuration for Program .....                        | 44 |
| 3.2.3                                               | Timer Processing .....                                      | 45 |
| 3.2.4                                               | Timing Interrupt Service Routine .....                      | 47 |
| 3.2.5                                               | Application of Parallel Port .....                          | 48 |
| 3.3                                                 | Program of Pulse-width Modulation .....                     | 49 |
| 3.3.1                                               | Initialization .....                                        | 50 |
| 3.3.2                                               | Pulse-width Modulation .....                                | 50 |
| 3.3.3                                               | Pulse Frequency .....                                       | 50 |
| 3.3.4                                               | Work Cycle .....                                            | 51 |
| 3.4                                                 | Program of Pulse-Frequency Modulation .....                 | 51 |
| 3.4.1                                               | Initialization .....                                        | 51 |
| 3.4.2                                               | Pulse Input .....                                           | 52 |
| 3.4.3                                               | Calculating Velocity .....                                  | 52 |
| 3.4.4                                               | Adaptive Group Size .....                                   | 52 |
| 3.5                                                 | Program for Quadrature Decoding .....                       | 53 |
| 3.5.1                                               | Quadrature Measurement Algorithm .....                      | 54 |
| 3.5.2                                               | Initialization .....                                        | 55 |
| 3.5.3                                               | State Decoding .....                                        | 56 |
| 3.5.4                                               | Calculating Velocity .....                                  | 57 |
| Chapter 4 Multi-tasking Program Configuration ..... |                                                             | 58 |
| 4.1                                                 | Data Organizations .....                                    | 58 |
| 4.1.1                                               | Data Structures .....                                       | 59 |
| 4.1.2                                               | Pointer Arithmetic of Data Structures .....                 | 60 |
| 4.1.3                                               | Linked Lists .....                                          | 60 |
| 4.1.4                                               | General Data Structures .....                               | 62 |

|                                                  |                                                  |    |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----|
| 4.1.5                                            | Table Structures .....                           | 63 |
| 4.2                                              | Allocation and Management of Memory .....        | 65 |
| 4.2.1                                            | Dynamics Memory Allocation .....                 | 65 |
| ... 4.2.2                                        | Storage Management .....                         | 66 |
| 4.3                                              | Table Structures in Cascade Control .....        | 67 |
| 4.3.1                                            | Linked Lists .....                               | 67 |
| 4.3.2                                            | Table Structures of Control Command .....        | 70 |
| 4.3.3                                            | Command Decoding .....                           | 71 |
| 4.3.4                                            | Command Input Inquisition .....                  | 72 |
| 4.4                                              | Multiple Independent Control Processes .....     | 73 |
| 4.4.1                                            | Data Structure for Multiple Control Loop .....   | 73 |
| 4.4.2                                            | Control Algorithm Implementation .....           | 74 |
| 4.4.3                                            | Control Precision .....                          | 75 |
| 4.5                                              | Task Scheduling .....                            | 76 |
| 4.5.1                                            | Scheduling Program .....                         | 76 |
| 4.5.2                                            | Background Scheduling .....                      | 78 |
| 4.5.3                                            | Real-time Control Process Simulation .....       | 82 |
| Chapter 5 Interface Design for Real-time Control |                                                  |    |
|                                                  | System .....                                     | 83 |
| 5.1                                              | Console .....                                    | 83 |
| 5.1.1                                            | Console Device .....                             | 83 |
| 5.1.2                                            | The Serial Interface .....                       | 85 |
| 5.1.3                                            | Asynchronous Interrupt Processing .....          | 86 |
| 5.2                                              | Echoes and Signals Exchange .....                | 88 |
| 5.2.1                                            | Implementing the Echo .....                      | 89 |
| 5.2.2                                            | Signals Exchange .....                           | 89 |
| 5.2.3                                            | Implementation with Buffer Control .....         | 90 |
| 5.3                                              | Message Encoding and Decoding .....              | 92 |
| 5.3.1                                            | The Tools for Communication with Operators ..... | 92 |
| 5.3.2                                            | The Function for Multi-motor Control .....       | 93 |
| 5.3.3                                            | Screen Operator Interfaces .....                 | 95 |
| 5.3.4                                            | Screen Background and Nesting .....              | 98 |
| 5.4                                              | Operator Console Examples .....                  | 99 |
| 5.4.1                                            | Program Files .....                              | 99 |