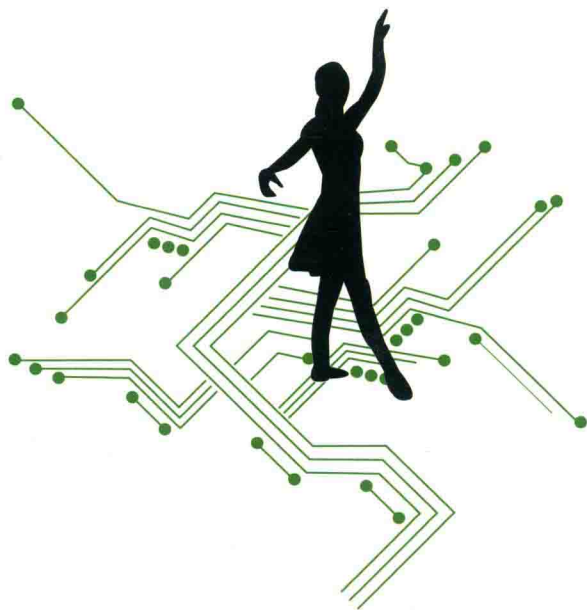


著名的嵌入式系统专家执笔，多年教学与项目开发经验的系统总结！全面论述  
Cortex-M3的体系架构、程序设计及项目实战的经典著作！

书中完全公开7个实际项目，并提供全部源代码、设计图纸及演示视频



开发者书库



The Architecture and Programming of ARM Cortex-M3  
Second Edition

# ARM Cortex-M3 体系结构与编程

(第2版)

冯新宇◎编著

Feng Xinyu

清华大学出版社



▼  
开发者书库



The Architecture and Programming of ARM Cortex-M3  
Second Edition

# ARM Cortex-M3 体系结构与编程

(第2版)

冯新宇◎编著  
Feng Xinyu

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书从 Cortex-M3 处理器入手,详细阐述了 STM32 微控制器的用法。本书从编程软件的使用、STM32 的 IO 口配置讲起,深入浅出地介绍了该处理器的重要内容,主要包括基本 IO 接口、中断、ADC、定时器等。最后几章给出了多个案例,有的来源于学生的电子设计大赛作品,有的来源于科研课题,如平衡车设计、井下通信分站设计、四旋翼飞行器设计等,都较好地诠释了 STM32 的典型应用,可以帮助读者快速地入门并且上手操作。最后一章给出几个设计案例思路,读者在综合前面的学习后,可以自行设计作品,达到活学活用的目的。

本书配套全部设计电路图、源代码和 PPT 素材以及在线答疑等,方便读者学习。本书可作为电子、通信及控制等相关专业的参考书,也可以作为相关技术人员的技术参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

ARM Cortex-M3 体系结构与编程/冯新宇编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2017  
(清华开发者书库)  
ISBN 978-7-302-47332-9

I. ①A… II. ①冯… III. ①微处理器—系统设计 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 124179 号

责任编辑:盛东亮  
封面设计:李召霞  
责任校对:梁毅  
责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:186mm×240mm 印 张:25

字 数:576 千字

版 次:2016 年 2 月第 1 版 2017 年 8 月第 2 版

印 次:2017 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:69.00 元

产品编号:075320-01

# 第2版前言

PREFACE

---

《ARM Cortex-M3 体系结构与编程》一书在 2016 年出版以来,收到很多高校授课教师和广大读者的意见反馈,在此首先感谢这些读者给本书提出的宝贵意见,针对书中出现的问题和不足,在第 2 版中进行了修订和完善。

主要修订内容如下:

第 1 版书稿中有多处文字错误,有些原理表述不清,对此进行了修订;完善每章课后习题内容,使之更适合教学和强化训练。

第 2 版增加了 3 章内容,涉及两个综合案例(第 15 章和第 16 章)和一章设计内容(第 17 章)。两个综合案例为无线电功率传输系统的设计和四旋翼飞行器设计,论述较为详细,是两个完整的设计案例。为了保证设计的完整性,部分设计内容和第 10 章以及第 14 章有少量重复,读者在进行案例内容学习时,可以根据自身需要,不按章节顺序学习。第 17 章给出了几个设计思路,读者可以根据设计要求自行设计,所有设计经过实际验证,软件代码会通过网络发布。

本书涉及的最小系统、显示电路、键盘模块、巡线模块、各种驱动电源模块,都已经做成了标准的 PCB。所有工程案例的源代码、书稿 PPT 等内容读者均可获取,这些案例在实际教学中都得到了验证,方便读者修改制作。第 1 版的 QQ 群号继续使用,方便读者交流学习;185156135。

本书第 2 版得到了教育部高等教育司 2016 年第二批产学合作协同育人项目 ARM 公司的支持,感谢陈炜先生!

感谢我的同事范红刚老师,我们一起合作多年,感谢他的无私帮助!

我的学生张凯、李民杰、张成照、梁亮、宋熠林、张学飞、秦云辉等完成了所有代码的编写验证工作,感谢他们的辛苦工作。

作 者

2017 年 5 月

# 第1版前言

## PREFACE

本书的名称为《ARM Cortex-M3 体系结构与编程》，更多讲解的是编程及应用开发，结构方面涉及较少。作为 Cortex-M3 重要的一员，STM32 是现在应用较多的一款芯片，从应用的角度出发，这本书实际是在讲 STM32 的应用，这个先和读者交代一下。

从 51 单片机的简单应用，演变到嵌入式、物联网、云计算、框计算等，越来越多的“概念”呈现在我们眼前，电子技术的日新月异，推动着相关行业的发展，改变着我们的生活。现在已经习惯把单片机相关的开发，统称为嵌入式开发。高校的授课主要以 51 单片机为主，有个别专业开始开设 M3 的选修课，STM32 作为其重要家族成员，正慢慢地被越来越多的学生学习。

2012 年，开始研发井下小型的通信基站，想选一款合适的芯片，后来选中了一款基于 STM32 的工业核心开发板作为主控制器，该项目已经实际运行使用，读者可以作为蓝本，在此基础上进一步开发、学习。该项目作为一个案例，出现在本书的最后一章。当真正开始着手写本书时，发现无从下手，一拖再拖，因为 STM32 的内容真的很多，资料短时间内整理起来又很困难，从一本书的角度很难说得透彻、清晰，所以有些概念的理解还是希望读者有一点 51 单片机和 C 语言的基础。本书所列出的章节都是学生日常参加电子设计大赛、毕业设计用的一些内容，STM32 本身很多重要的应用并未列入其中。同时，互联网上有很多优秀的电子资源，比较适合作为初学者学习的素材，例如“野火”“战舰”“原子”等，本书很多想法和内容也来自它们。很多学生大二开始学习 STM32，从流水灯开始，做普通的巡线小车、小平衡车到最后做出能载 100 多公斤并自由行进的大平衡车，整个学习过程不到一年，但他们收获了很多知识。STM32 入门相对 51 单片机复杂一些，但是 STM32 的使用要比 51 单片机更容易和便捷，书中的很多例子来源于笔者指导的毕业设计和电子设计大赛，后面章节特别涉及最小系统设计、电源设计、电机驱动设计，从全书看是有一些重复的，但是作为独立的设计，这种重复还是必要的，希望读者理解。书中涉及最小系统、数码管显示电路、键盘模块、巡线模块、各种驱动电源模块，都已经做成了标准的 PCB，在实际教学实验中使用，读者可以方便修改制作。这本书完成匆忙，很多东西加工得不是很细致，留个 QQ 群号 185156135，方便读者交流学习。

# 学习说明

STUDY SHOWS

---

## 本书工程文件下载地址

本书配套资源可加入下方学习交流 QQ 群获取, 仅限购买本书的读者个人学习使用, 不得以任何方式传播!

## 本书学习交流联络方式

(1) 微信公众号: 嵌入式系统设计(emsyde)

(2) QQ 群号: 185156135

(3) 作者电子邮件: 88574099@163.com

(4) 嵌入式开发硬件资源: [https://shop58461739.taobao.com/?spm=alzl0.1-c.0.](https://shop58461739.taobao.com/?spm=alzl0.1-c.0.0.N63Uxr)

0. N63Uxr



# 目录

## CONTENTS

---

第 2 版前言 .....	I
第 1 版前言 .....	III
学习说明 .....	V
第 1 章 ARM Cortex-M3 核介绍 .....	1
1.1 Cortex-M3 主要特性 .....	1
1.2 典型 M3 核处理器特性 .....	3
1.2.1 命名规则 .....	4
1.2.2 产品功能和外设配置 .....	4
习题 .....	5
第 2 章 开发环境搭建 .....	6
2.1 MDK 安装 .....	6
2.2 新建工程 .....	9
2.3 采用 ST-Link 调试仿真代码 .....	15
习题 .....	19
第 3 章 基本 I/O 端口控制 .....	20
3.1 MDK 新建工程 .....	20
3.2 MDK 工程配置 .....	27
3.3 寄存器法操作代码分析 .....	30
3.4 时钟配置 .....	30
3.4.1 时钟树 .....	31
3.4.2 时钟源 .....	32
3.4.3 APB2 外设时钟使能寄存器(RCC_APB2ENR) .....	33
3.5 I/O 端口配置 .....	34
3.5.1 I/O 基本情况 .....	34

3.5.2	GPIO 配置寄存器描述 .....	35
3.5.3	端口输出数据寄存器 .....	37
3.6	用库函数操作流水灯 .....	37
3.6.1	GPIO_Init 函数 .....	39
3.6.2	RCC_APB2PeriphClockCmd .....	41
3.6.3	控制 I/O 输出电平 .....	42
3.6.4	LED.h 文件 .....	43
3.6.5	软件调试易现问题 .....	44
3.7	使用库函数法控制数码管 .....	46
3.7.1	数码管基础知识 .....	46
3.7.2	硬件电路设计 .....	47
3.7.3	软件说明 .....	47
3.8	简单按键输入 .....	50
	习题 .....	52
<b>第 4 章</b>	<b>中断 .....</b>	<b>53</b>
4.1	STM32 中断和异常 .....	53
4.2	STM32 中断相关的基本概念 .....	55
4.2.1	优先级 .....	55
4.2.2	中断控制器 NVIC .....	56
4.2.3	NVIC 的优先级组 .....	58
4.3	外部中断 .....	58
4.3.1	外部中断基本情况 .....	59
4.3.2	使用外部中断的基本步骤 .....	60
	习题 .....	64
<b>第 5 章</b>	<b>串口通信 .....</b>	<b>65</b>
5.1	串口通信基础 .....	65
5.1.1	基本概念 .....	65
5.1.2	常用的串行通信接口 .....	66
5.1.3	应用串行通信的数据采集结构 .....	70
5.2	STM32 串口操作 .....	71
5.2.1	寄存器方式操作串口 .....	72
5.2.2	库函数方式操作串口 .....	77
	习题 .....	82



第 6 章 直接寄存器访问 .....	83
6.1 DMA 基础知识 .....	83
6.2 STM32 的 DMA 操作 .....	85
6.2.1 寄存器方式操作 DMA .....	85
6.2.2 库函数方式操作 DMA .....	90
6.2.3 DMA 操作实例 .....	93
习题 .....	96
第 7 章 模拟/数字转换器 .....	97
7.1 ADC 基础知识 .....	97
7.1.1 ADC 主要特性 .....	97
7.1.2 ADC 框图及引脚分布 .....	98
7.1.3 通道选择 .....	99
7.1.4 ADC 的转换模式 .....	99
7.1.5 ADC 寄存器和固件库函数列表 .....	100
7.2 STM32ADC 操作 .....	102
7.2.1 寄存器方式操作 ADC .....	102
7.2.2 库函数方式操作 ADC .....	111
7.2.3 ADC 操作实例 .....	115
习题 .....	118
第 8 章 定时器 .....	119
8.1 定时器基础知识 .....	119
8.1.1 高级定时器 .....	119
8.1.2 基本定时器 .....	120
8.1.3 通用定时器 .....	120
8.2 STM32 定时器操作 .....	121
8.2.1 寄存器方式操作定时器 .....	121
8.2.2 库函数方式操作定时器 .....	127
8.2.3 定时器操作实例 .....	130
习题 .....	131
第 9 章 CAN 总线设计 .....	132
9.1 CAN 总线基本工作原理 .....	132
9.2 CAN 协议的特点 .....	133

9.3	CAN 协议通信过程	134
9.4	CAN 的报文格式	135
9.4.1	数据帧	136
9.4.2	遥控帧	137
9.4.3	错误帧	138
9.4.4	过载帧	139
9.4.5	帧间隔	140
9.4.6	优先级的决定	141
9.5	CAN 总线错误处理机制	141
9.5.1	错误状态	142
9.5.2	错误检测	143
9.6	同步	144
9.6.1	同步类型	144
9.6.2	同步原则	144
9.7	CAN 总线拓扑结构	145
9.7.1	STM32 的 CAN 通信模块	145
9.7.2	CAN 控制器 MCP2515 介绍	146
9.8	CAN 通信的软件设计	148
9.8.1	系统程序流程	148
9.8.2	系统接收发送中断处理	149
9.8.3	CAN 总线初始化配置	149
9.8.4	报文的发送	151
9.8.5	报文的接收	152
9.9	CAN 通信示例	153
	习题	157
<b>第 10 章</b>	<b>倒立摆设计</b>	<b>158</b>
10.1	设计内容与实现指标	158
10.1.1	倒立摆的选择	158
10.1.2	系统设计指标	159
10.2	系统方案确定	160
10.2.1	系统结构组成	160
10.2.2	系统模型分析	160
10.2.3	系统控制方案确定	164
10.3	系统硬件设计	165
10.4	电机的选择及驱动电路的设计	166

10.4.1	电机的选择 .....	166
10.4.2	电机驱动电路的设计 .....	166
10.5	测量电路设计 .....	169
10.5.1	摆杆角度测量电路的设计 .....	169
10.5.2	旋臂位置测量电路的设计 .....	170
10.6	通信电路的设计 .....	172
10.6.1	上位机通信电路的设计 .....	172
10.6.2	无线传输电路的设计 .....	174
10.7	辅助电路设计 .....	175
10.7.1	语音提示电路的设计 .....	175
10.7.2	电源电路的设计 .....	177
10.8	系统软件设计 .....	181
10.8.1	系统控制程序设计 .....	181
10.8.2	起摆程序设计 .....	182
10.8.3	PID 控制程序设计 .....	183
10.8.4	电机驱动程序设计 .....	185
10.8.5	上位机通信程序设计 .....	186
10.8.6	无线通信程序设计 .....	188
10.9	作品的制作与调试 .....	189
10.9.1	倒立摆机械结构的制作问题 .....	189
10.9.2	PCB 设计应注意的问题 .....	189
10.9.3	电路板的制作问题 .....	190
10.10	PID 参数的整定 .....	190
10.10.1	比例参数整定 .....	191
10.10.2	积分参数整定 .....	191
10.10.3	微分参数整定 .....	191
	习题 .....	192
<b>第 11 章</b>	<b>智能小车设计 .....</b>	<b>193</b>
11.1	硬件电路设计 .....	193
11.1.1	硬件系统方案设计 .....	193
11.1.2	最小系统电路设计 .....	194
11.1.3	电源电路设计 .....	195
11.1.4	电机驱动电路设计 .....	197
11.1.5	环境检测传感器电路设计 .....	199
11.2	人机交互电路设计 .....	201

11.2.1	OLED 显示电路设计 .....	201
11.2.2	红外遥控电路设计 .....	201
11.2.3	蜂鸣器提示电路设计 .....	202
11.3	总体软件设计 .....	202
11.3.1	道路基准采集模式软件 .....	202
11.3.2	PID 寻迹模式软件 .....	203
11.3.3	迷宫模式软件 .....	203
11.3.4	OLED 显示软件设计 .....	204
11.4	PID 控制软件设计 .....	205
11.4.1	PID 介绍 .....	205
11.4.2	比例(P)控制器 .....	206
11.4.3	比例积分(PD)控制器 .....	206
11.4.4	比例微分(PD)控制器 .....	207
11.4.5	比例积分微分(PID)控制器 .....	207
11.4.6	PID 寻迹 .....	208
11.5	迷宫算法设计 .....	210
11.5.1	左手法 .....	210
11.5.2	迷宫搜索 .....	211
11.5.3	迷宫最短路径算法 .....	211
11.6	设计测量方法与数据处理 .....	212
11.6.1	传感器分布 .....	212
11.6.2	五路模拟传感器数据测量 .....	212
11.7	传感器软件滤波 .....	214
11.7.1	软件滤波处理介绍 .....	214
11.7.2	软件滤波的方法 .....	214
11.8	调试方法 .....	215
11.8.1	PID 参数调试 .....	215
11.8.2	迷宫模式调试 .....	216
习题	.....	217
<b>第 12 章</b>	<b>平衡车设计 .....</b>	<b>218</b>
12.1	硬件电路设计 .....	218
12.1.1	硬件系统方案设计 .....	218
12.1.2	环境检测传感器电路设计 .....	219
12.2	人机交互电路设计 .....	220
12.3	MPU-6050 使用方法 .....	222

12.3.1	引脚说明	222
12.3.2	SMPRT_DIV 寄存器	222
12.3.3	CONFIG 寄存器	223
12.3.4	GYRO_CONFIG 寄存器	224
12.3.5	ACCEL_CONFIG 寄存器	224
12.3.6	加速度计测量寄存器	225
12.3.7	TEMP_OUT_H 和 TEMP_OUT_L 寄存器	226
12.3.8	陀螺仪测量寄存器	226
12.3.9	PWR_MGMT_1 寄存器	227
12.3.10	WHO_AM_I 寄存器	228
12.4	总体软件设计	228
12.4.1	车身状态采集模式软件	228
12.4.2	PID 车身保持模式软件	231
12.4.3	人机交互模式软件设计	234
12.4.4	卡尔曼滤波算法	237
	习题	239
<b>第 13 章</b>	<b>电子秤设计</b>	<b>240</b>
13.1	设计指标	240
13.2	设计方案	240
13.3	硬件电路设计说明	241
13.3.1	主控制器相关电路	241
13.3.2	TFT 液晶屏相关电路设计	242
13.3.3	AD 芯片 HX711 相关电路设计	243
13.3.4	WT588D 语音模块相关电路设计	244
13.3.5	称重传感器相关电路设计	246
13.4	软件设计思路及代码分析	247
13.4.1	TFT 触控液晶模块部分	247
13.4.2	WT588D 语音模块部分	248
13.4.3	HX711 芯片部分	249
13.4.4	DS18B20 芯片部分	251
13.4.5	数据计算部分	254
	习题	255
<b>第 14 章</b>	<b>井下通信分站设计</b>	<b>256</b>
14.1	硬件电路设计	256

14.1.1	监控分站主要设计目标及参数	256
14.1.2	硬件电路设计方案	257
14.2	软件方案设计	260
14.2.1	软件总体程序的思路	260
14.2.2	RS485 接口的使用及程序流程	264
14.2.3	CAN 数据传输	267
14.2.4	OLED 显示	270
14.2.5	键盘输入	273
	习题	275
<b>第 15 章</b>	<b>无线电能功率传输系统的设计</b>	<b>276</b>
15.1	设计内容与实现指标	276
15.1.1	设计内容	276
15.1.2	系统设计指标	277
15.2	无线电能传输的基本原理分析	277
15.2.1	无线电能传输的耦合方式	277
15.2.2	磁谐振耦合式无线电能传输的基本原理	279
15.2.3	磁场谐振式无线电能传输系统的组成	280
15.2.4	实现传输的关键装置	281
15.3	无线电能传输的特性	282
15.3.1	频率特性对无线电能传输系统的影响	282
15.3.2	能量发射线圈设计对无线电能传输系统的影响	284
15.3.3	电容补偿对无线能量传输系统性能的影响	287
15.4	系统方案确定及电路设计	288
15.4.1	系统结构组成	288
15.4.2	主要拓扑电路的选择与设计	289
15.4.3	MOS 管驱动设计	291
15.4.4	线圈和电容的设计	293
15.4.5	接收端高频整流的设计	294
15.4.6	控制电路的设计	295
15.4.7	程序的设计	295
15.5	调试与验证	298
15.5.1	系统的调试	298
15.5.2	测量结果与结论分析	298
	习题	300

第 16 章 四旋翼飞行器设计 .....	301
16.1 四旋翼飞行器的结构 .....	301
16.2 四旋翼飞行器的运动控制方法 .....	301
16.3 四旋翼飞行器各部分的工作原理 .....	302
16.3.1 飞行姿态与升力关系 .....	302
16.3.2 飞行姿态的测量 .....	304
16.3.3 加速度传感器工作原理及角度测量 .....	304
16.3.4 陀螺仪传感器工作原理及角度测量 .....	305
16.3.5 磁力计传感器工作原理及测量方法 .....	305
16.4 硬件设计 .....	306
16.4.1 总体设计 .....	306
16.4.2 飞行器主控电路最小系统设计 .....	308
16.4.3 姿态传感器模块 .....	310
16.4.4 无线通信模块 .....	313
16.4.5 定高模块 .....	315
16.4.6 电机及驱动模块 .....	319
16.4.7 遥控器模块 .....	321
16.4.8 电源模块选择 .....	326
16.4.9 四轴飞行器的组装 .....	326
16.5 软件设计 .....	328
16.5.1 软件预备知识 .....	328
16.5.2 主控程序初始化设置及说明 .....	336
16.5.3 姿态传感器软件设计 .....	343
16.5.4 气压计软件设计 .....	354
16.5.5 遥控器软件设计 .....	364
16.6 调试、问题解析及改进方向随想 .....	375
习题 .....	375
第 17 章 案例设计 .....	376
17.1 STM32 的无线传输系统 .....	376
17.1.1 设计任务 .....	376
17.1.2 系统结构组成 .....	376
17.1.3 主要设计思路 .....	377
17.2 风力摆控制系统设计 .....	377

17.2.1 设计任务 .....	378
17.2.2 系统结构组成 .....	378
17.2.3 主要设计思路 .....	379
习题 .....	380
参考文献 .....	381



# ARM Cortex-M3 核介绍

Cortex-M3 采用 ARM V7 构架,不仅支持 Thumb-2 指令集,而且拥有很多新特性。较之 ARM7 TDMI,Cortex-M3 拥有更优的性能、更高的代码密度、可嵌套中断、低成本、低功耗等众多优势。

国内 Cortex-M3 市场,ST(意法半导体)公司的 STM32 无疑是最大赢家,ST 无论市场占有率,还是技术支持方面,都远超竞争对手。Cortex-M3 在芯片的选择上,STM32 无疑是大家的首选,而且可以比较方便地购买。目前,Cortex-M3 在以下领域有较广泛的应用:

- (1) 医疗和手持设备;
- (2) PC 游戏机外设和 GPS 平台;
- (3) 工业应用中可编程控制器(PLC)、变频器、打印机和扫描仪等;
- (4) 警报系统、视频对讲和暖气通风空调系统等。

## 1.1 Cortex-M3 主要特性

Cortex-M3 是 ARM 公司基于 ARM V7 架构的基础上设计出来的一款新型的芯片内核。相对于其他 ARM 系列的微控制器,Cortex-M3 内核拥有以下优势和特点:

### 1. 三级流水线和分支预测

现代处理器中,大多数都采用了指令预存及流水线技术,来提高处理器的指令运行速度。执行指令的过程中,如果遇到了分支指令,由于执行的顺序也许会发生改变,指令预取队列和流水线中的一些指令就可能作废,需要重新取相应的地址,这样会使得流水线出现“断流现象”,处理器的性能会受到影响。尤其在 C 语言程序中,分支指令的比例能达到 10%~20%,这对于处理器来说无疑是一件很恐怖的事情。因此,现代高性能的流水线处理器都会就一些分支预测的部件,在处理器从存储器预取指令的过程中,当遇到分支指令时,处理器就能自动预测跳转是否会发生,然后才从预测的方向进行相应的取值,从而让流水线能连续地执行指令,保证它的性能。

### 2. 哈佛结构

哈佛结构式的处理器采用独立的数据总线和指令总线,处理器可以同时进行对指令和