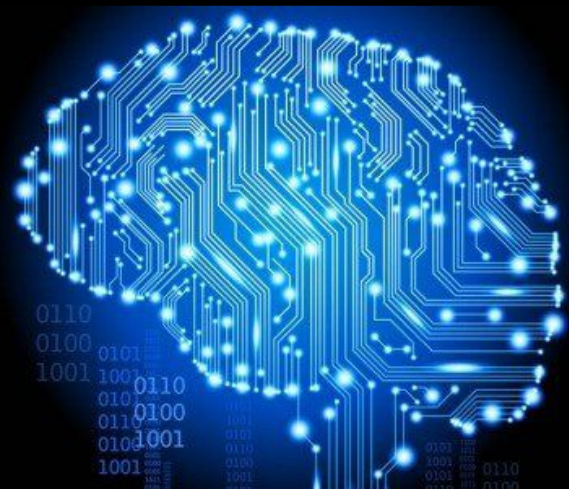


控制器设计

大连理工大学 赖晓晨



组合逻辑控制器设计流程

大连理工大学 赖晓晨

75亿枚芯片的制造者——高通

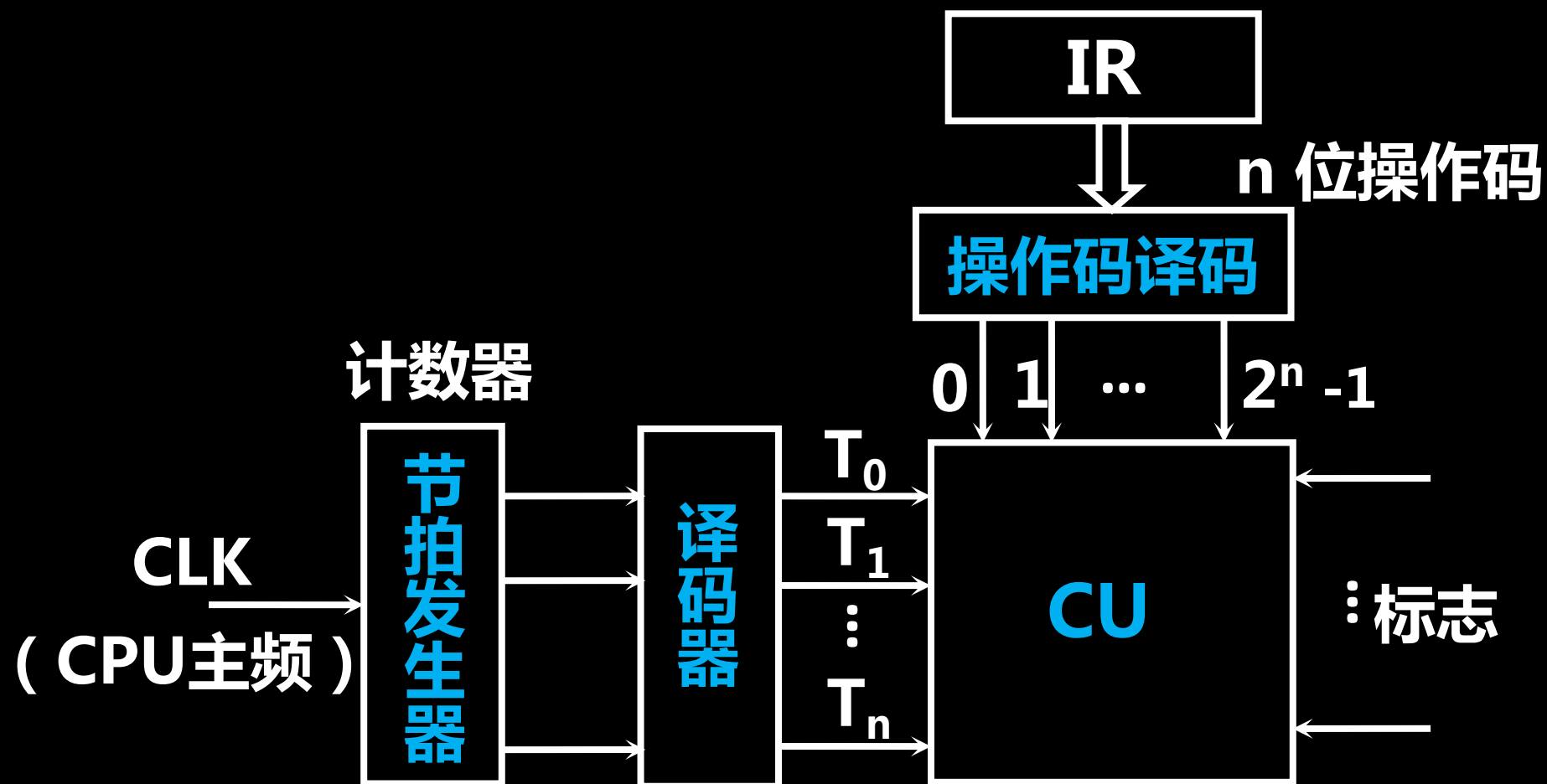
- 厄文·马克·雅克布和安德鲁·维特比1985年创立高通；
- 控制全球移动网络格局，手握大量标准和专利；
- 市值与英特尔相当；
- 是CDMA网络的创造者，LTE网络的指挥官；
- 制造了超过75亿枚的芯片；



始终领先一步

一、操作码译码

CU外特性



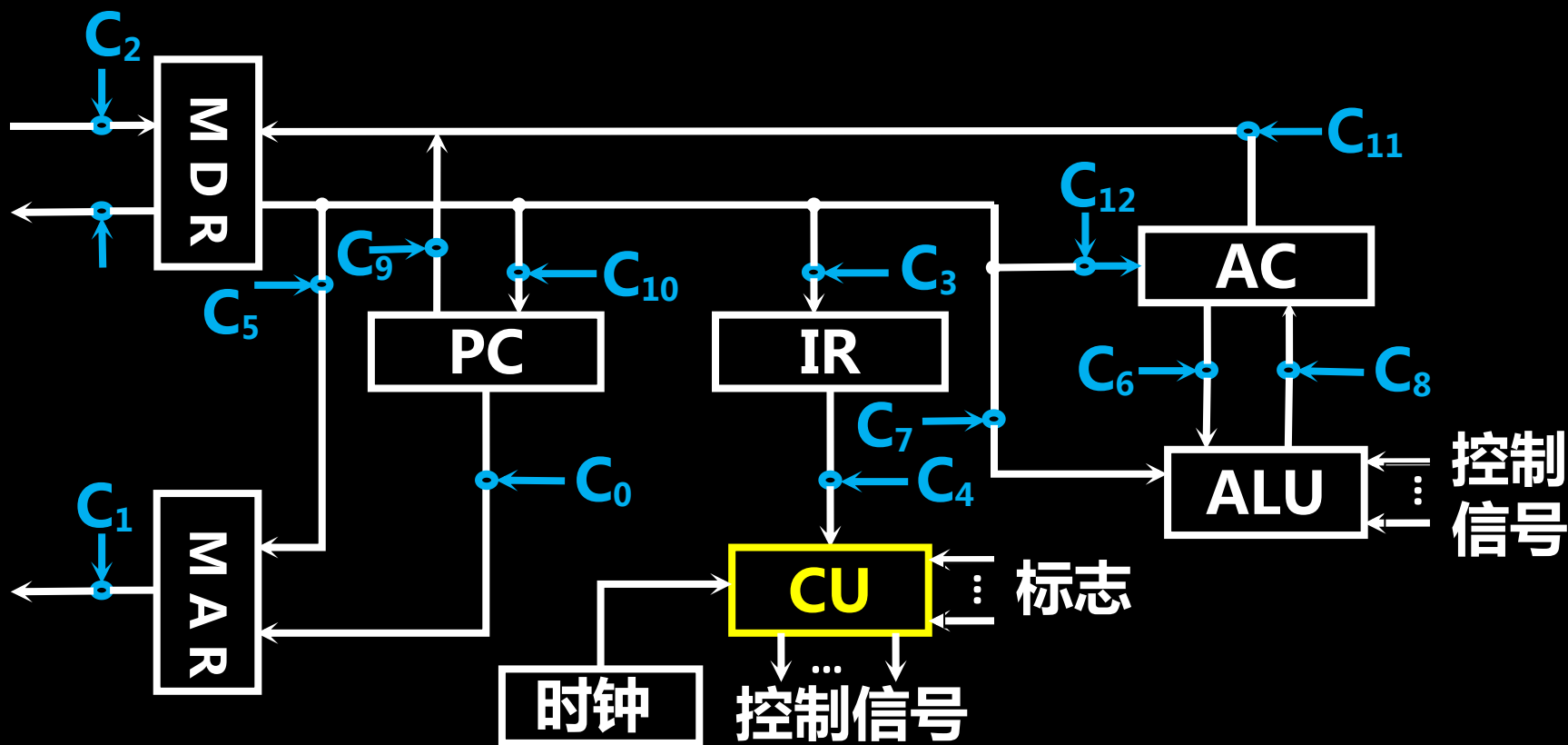
二、微操作的节拍安排

- 控制器工作的实质
- 需要安排都有哪些控制信号，以及安排到哪个机器周期的哪个节拍。

二、微操作的节拍安排

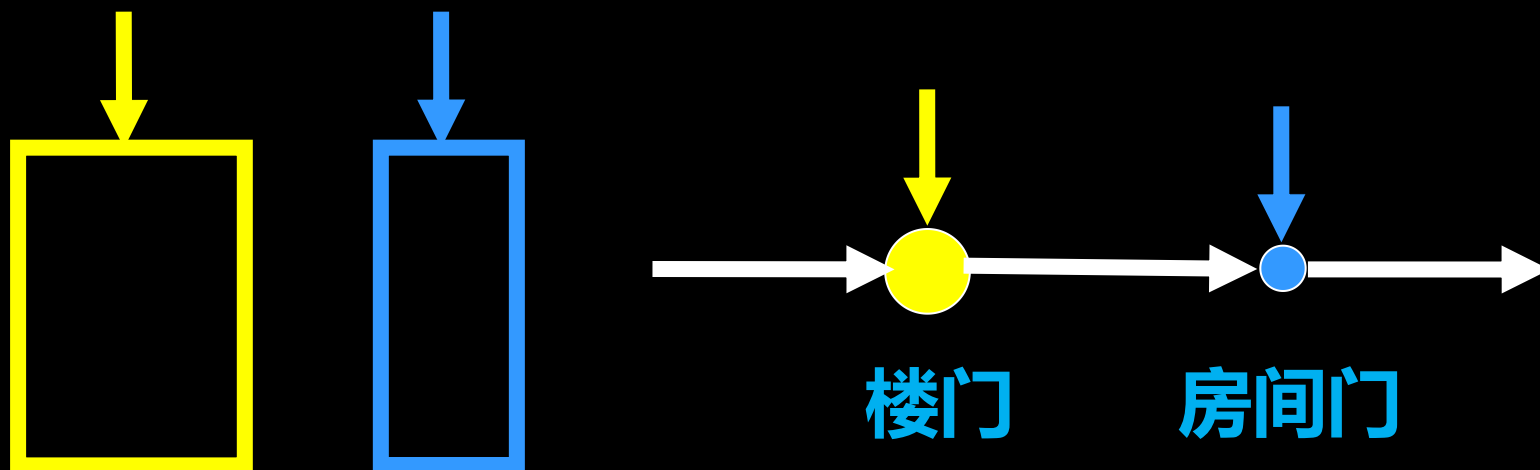
- 采用同步控制方式。
- 一个机器周期内有3个节拍（时钟周期）。
- CPU内部结构采用非总线方式。

假设



安排微操作时序的原则

原则一 微操作的**先后顺序**一般不得随意更改。



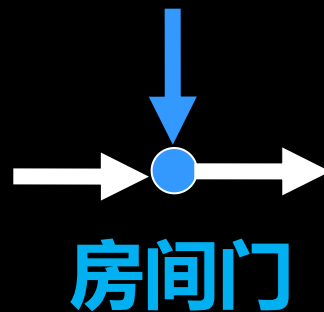
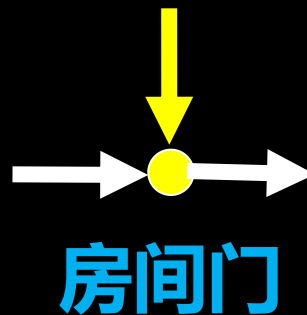
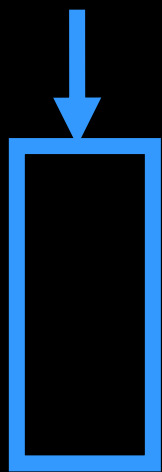
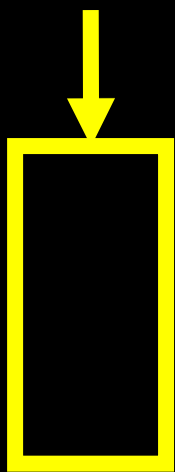
一个人先进楼门，再进房间门

安排微操作时序的原则

原则一 微操作的先后顺序一般不得随意更改。

原则二 被控对象不同的微操作。

尽量安排在一个节拍内完成。



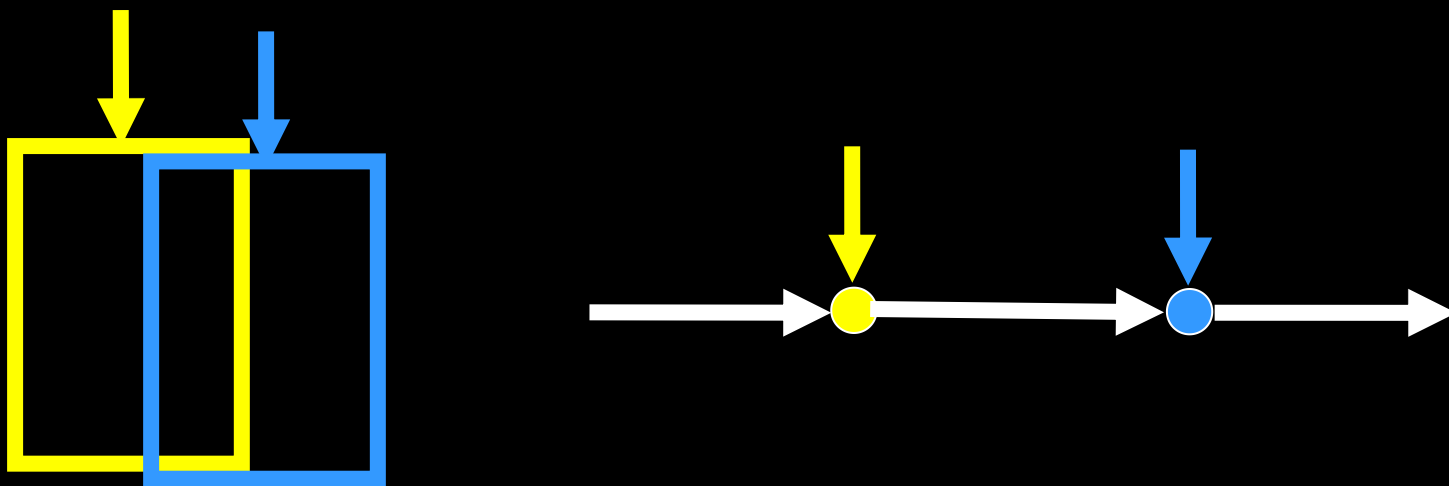
2个人分别进入两个房间

安排微操作时序的原则

原则三 占用**时间较短**的微操作。

尽量安排在一个**节拍**内完成。

并允许有**先后顺序**。



一个人穿过一个房间，进入另一个房间

三、组合逻辑控制器设计流程

1. 指令周期的微操作节拍安排
2. 绘制操作时间表
3. 设计微操作命令的最简逻辑表达式
4. 设计微操作命令的逻辑电路图
5. 综合优化

组合逻辑控制器又称为硬布线控制器

1. 指令周期微操作节拍安排

(1) 取指周期微操作的节拍安排

T_0 $PC \longrightarrow MAR$ 原则二
 $1 \longrightarrow R$

T_1 $M(MAR) \longrightarrow MDR$ 原则二
 $(PC) + 1 \longrightarrow PC$

T_2 $MDR \longrightarrow IR$ 原则三
 $OP(IR) \longrightarrow ID$

1. 指令周期微操作节拍安排

(2) 间址周期微操作的节拍安排

T_0 $Ad(IR) \rightarrow MAR$
 $1 \rightarrow R$

T_1 $M(MAR) \rightarrow MDR$

T_2 $MDR \rightarrow Ad(IR)$

1. 指令周期微操作节拍安排

(3) 执行周期微操作的节拍安排

(a) CLA T_0
 T_1
 T_2 $0 \rightarrow AC$

1. 指令周期微操作节拍安排

(3) 执行周期微操作的节拍安排

(a) CLA T_0
 T_1
 T_2 $0 \longrightarrow AC$

(b) COM T_0
 T_1
 T_2 $\overline{AC} \longrightarrow AC$

1. 指令周期微操作节拍安排

(3) 执行周期微操作的节拍安排

(a) CLA T_0

T_1

T_2

$0 \rightarrow AC$

(b) COM T_0

T_1

T_2

$\overline{AC} \rightarrow AC$

(c) SHR T_0

T_1

T_2

$L(AC) \rightarrow R(AC)$

$AC_0 \rightarrow AC_0$

1. 指令周期微操作节拍安排

(d) CSL

T_0

T_1

T_2

$R(AC) \rightarrow L(AC) \quad AC_0 \rightarrow AC_n$

1. 指令周期微操作节拍安排

(d) CSL

T_0

T_1

T_2

$R(AC) \rightarrow L(AC) \quad AC_0 \rightarrow AC_n$

(e) STP

T_0

T_1

T_2

$0 \rightarrow G$

1. 指令周期微操作节拍安排

(d) CSL	T_0	
	T_1	
	T_2	$R(AC) \rightarrow L(AC) \quad AC_0 \rightarrow AC_n$
(e) STP	T_0	
	T_1	
	T_2	$0 \rightarrow G$
(f) ADD X	T_0	$Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$
	T_1	$M(MAR) \rightarrow MDR$
	T_2	$(AC) + (MDR) \rightarrow AC$

1. 指令周期微操作节拍安排

(d) CSL		T_0	
		T_1	
		T_2	$R(AC) \rightarrow L(AC) \quad AC_0 \rightarrow AC_n$
(e) STP		T_0	
		T_1	
		T_2	$0 \rightarrow G$
(f) ADD	X	T_0	$Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$
		T_1	$M(MAR) \rightarrow MDR$
		T_2	$(AC) + (MDR) \rightarrow AC$
(g) STA	X	T_0	$Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow W$
		T_1	$AC \rightarrow MDR$
		T_2	$MDR \rightarrow M(MAR)$

1. 指令周期微操作节拍安排

(h) LDA X T_0 $Ad(IR) \rightarrow MAR$ $1 \rightarrow R$
 T_1 $M(MAR) \rightarrow MDR$
 T_2 $MDR \rightarrow AC$

1. 指令周期微操作节拍安排

(h) LDA X	T_0	$Ad(IR) \rightarrow MAR$	$1 \rightarrow R$
	T_1	$M(MAR) \rightarrow MDR$	
	T_2	$MDR \rightarrow AC$	
(i) JMP X	T_0		
	T_1		
	T_2	$Ad(IR) \rightarrow PC$	

1. 指令周期微操作节拍安排

(h) LDA X	T_0	$Ad(IR) \rightarrow MAR$	$1 \rightarrow R$
	T_1	$M(MAR) \rightarrow MDR$	
	T_2	$MDR \rightarrow AC$	
(i) JMP X	T_0		
	T_1		
	T_2	$Ad(IR) \rightarrow PC$	
(j) BAN X	T_0		
	T_1		
	T_2	$A_0 \cdot Ad(IR) + \bar{A}_0(PC) \rightarrow PC$	

1. 指令周期微操作节拍安排

(4) 中断周期微操作的节拍安排

T_0 0 \rightarrow MAR 1 \rightarrow W

硬件关中断

T_1 PC \rightarrow MDR

T_2 MDR \rightarrow M (MAR) 向量地址 \rightarrow PC

中断隐指令完成

2. 绘制操作时间表

(1) 取指周期操作时间表

[illegible]

2. 绘制操作时间表

(2) 间址周期操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CL	ACOM	SHR	CSL	STP	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
IND 间址	T ₀		Ad (IR) → MAR						1	1	1	1	1
			I → R						1	1	1	1	1
	T ₁		M(MAR)→MDR						1	1	1	1	1
	T ₂		MDR → Ad (IR)						1	1	1	1	1
		$\overline{\text{IND}}$	I → EX						1	1	1	1	1

2. 绘制操作时间表

(3) 执行周期操作时间表

[illegible]

2. 绘制操作时间表

(3) 执行周期操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CL	ACOM	SHR	CSL	STP	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
EX 执行	T ₂		$\overline{AC} \rightarrow AC$		1								
			$L(AC) \rightarrow R(AC), AC_0 \text{ 不变}$			1							
			$P-1(AC)$				1						
			$Ad(IR) \rightarrow PC$									1	
		A ₀	$Ad(IR) \rightarrow PC$										1
			$0 \rightarrow G$					1					

3. 设计微操作命令的最简逻辑表达式

例如，根据表可写出 $M(MAR) \rightarrow MDR$ 微操作命令的逻辑表达式：

$$\begin{aligned} & M(MAR) \rightarrow MDR \\ & = FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1 (ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ & \quad + EX \cdot T_1 (ADD + LDA) \end{aligned}$$

2. 绘制操作时间表

(3) 执行周期操作时间表

[illegible]

3. 设计微操作命令的最简逻辑表达式

例如，根据表可写出 $M(MAR) \rightarrow MDR$ 微操作命令的逻辑表达式：

$$\begin{aligned} & M(MAR) \rightarrow MDR \\ & = FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1 (ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ & \quad + EX \cdot T_1 (ADD + LDA) \end{aligned}$$

2. 绘制操作时间表

(2) 间址周期操作时间表

工作 周期 标记	节 拍	状态 条件	微操作命令信号	CLAC	COM	SHR	CSL	STP	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
IND 间址	T ₀		Ad (IR) → MAR						1	1	1	1	1
			I → R						1	1	1	1	1
	T ₁		M(MAR)→MDR						1	1	1	1	1
	T ₂		MDR → Ad (IR)						1	1	1	1	1
		$\overline{\text{IND}}$	I → EX						1	1	1	1	1

3. 设计微操作命令的最简逻辑表达式

例如，根据表可写出 $M(MAR) \rightarrow MDR$ 微操作命令的逻辑表达式：

$$\begin{aligned} & M(MAR) \rightarrow MDR \\ & = \underline{FE \cdot T_1} + IND \cdot T_1(ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ & \quad + EX \cdot T_1(ADD + LDA) \end{aligned}$$

2. 绘制操作时间表

(1) 取指周期操作时间表

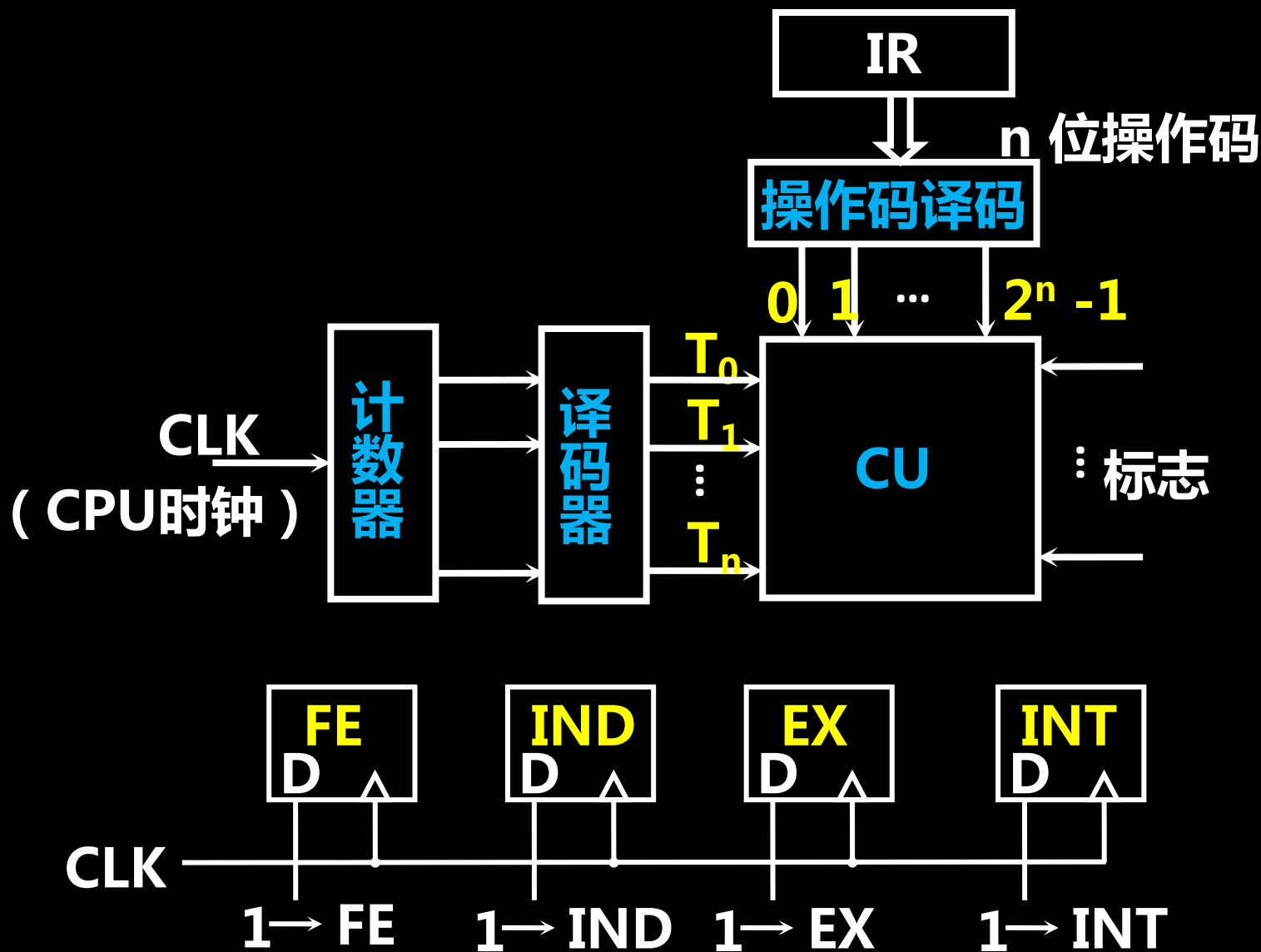
[illegible]

3. 设计微操作命令的最简逻辑表达式

化简逻辑表达式：

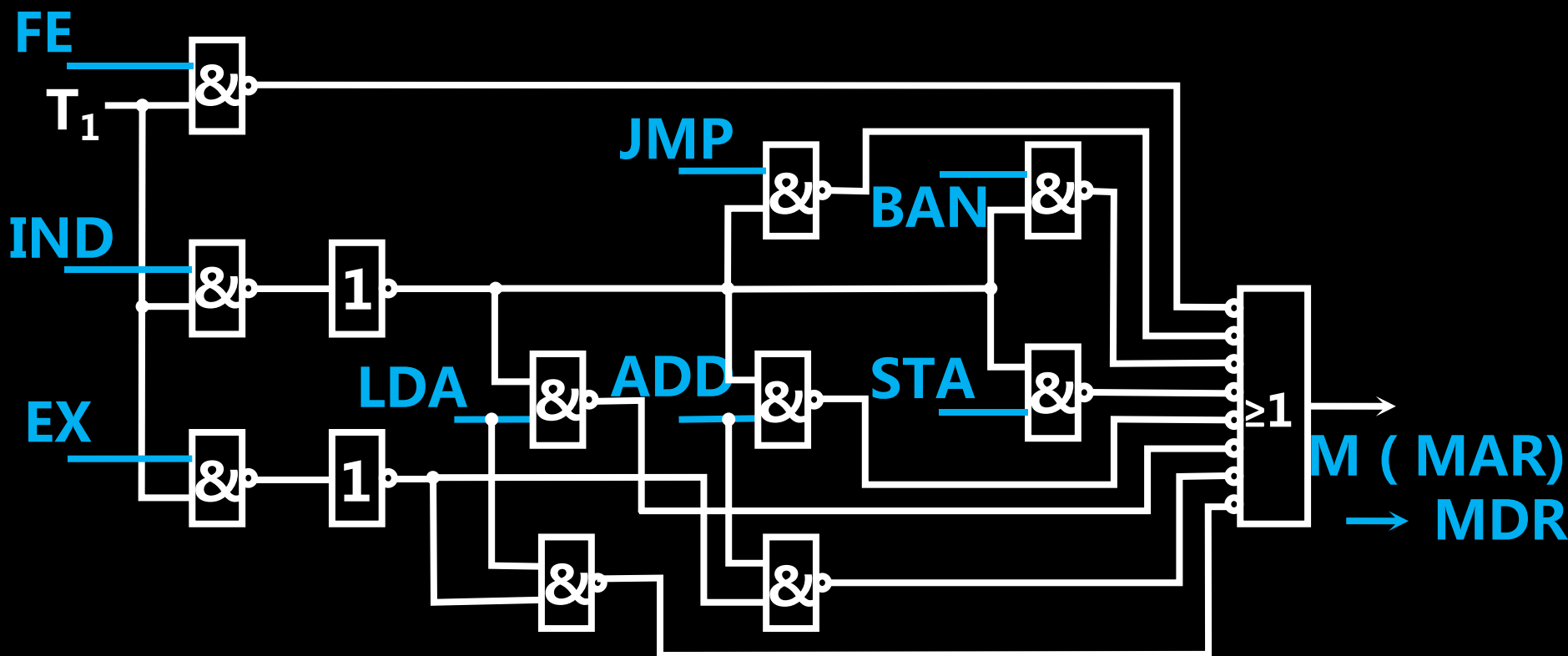
$$\begin{aligned} & M(MAR) \rightarrow MDR \\ &= FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1(ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ &\quad + EX \cdot T_1(ADD + LDA) \\ &= T_1\{FE + IND(ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ &\quad + EX(ADD + LDA)\} \end{aligned}$$

已知条件



4. 设计微操作命令的逻辑图

对应每一个微操作命令的逻辑表达式都可画出一个逻辑图。例如 $M(MAR) \rightarrow MDR$ 的逻辑表达式所对应的逻辑图：



5. 综合优化

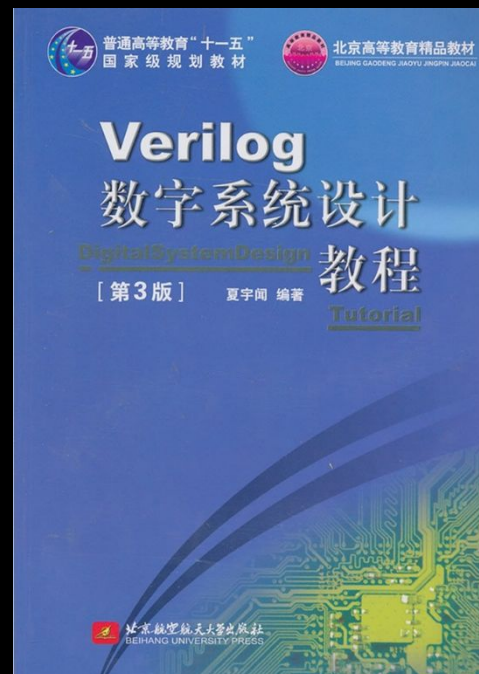
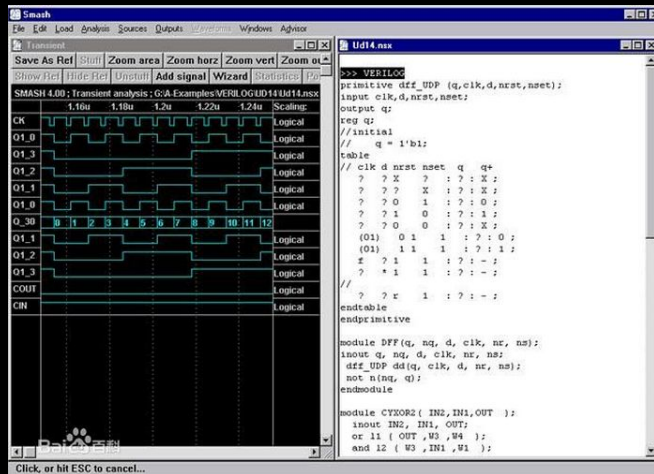
将全部微操作命令的逻辑图综合起来，并进行优化工作。

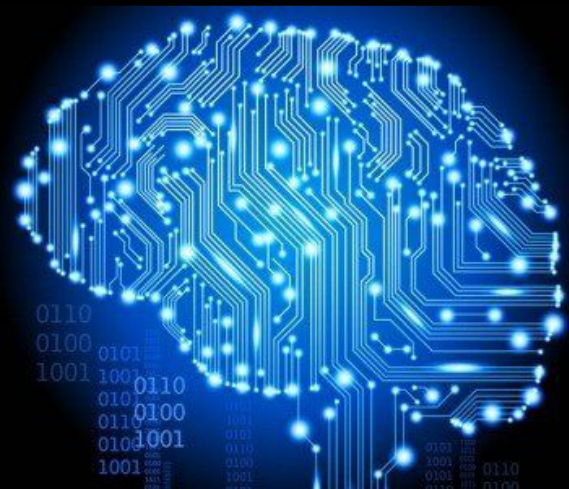
四、组合逻辑电路控制器设计的特点

1. 思路清晰，简单明了。
2. 电路庞杂，调试难，修改难，升级维护难
3. 速度快
4. RISC处理器采用

推荐阅读：Verilog HDL简介

- 硬件描述语言，以文本形式来描述数字系统硬件的结构和行为的语言
- 可以表示逻辑电路图、逻辑表达式，还可以表示数字逻辑系统所完成的逻辑功能
- 为IEEE标准，语法与C相近
- 与VHDL的区别





4. 微程序控制器工作原理

大连理工大学 赖晓晨

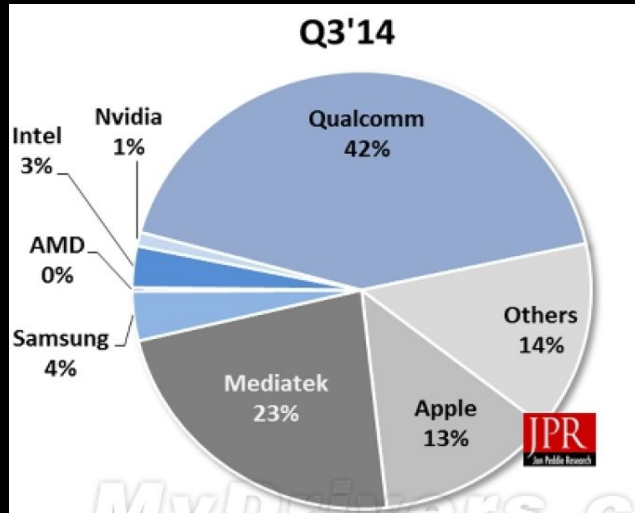
高通反垄断案

高通公司的两项业务范围

- 专利许可
- 芯片销售

高通公司的经营特点

- 捆绑搭售：芯片&专利、交叉许可、下游收费
- 歧视性定价

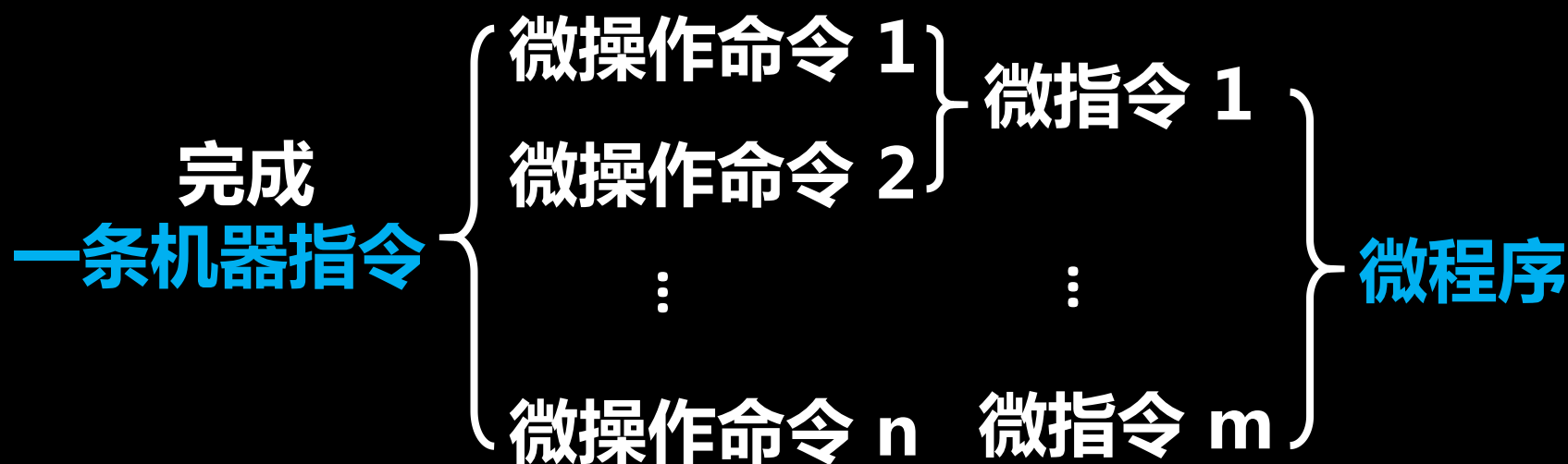


2009年，韩国公平贸易委员对高通处以2.087亿美元罚款

2015年，国家发改委针对高通垄断罚款9.75亿美元

一、微程序设计思想的产生

1951年英国剑桥大学教授Wilkes



一条机器指令对应一个微程序 存入 ROM

控制存储器

微程序与硬布线设计方式的联系

微程序

微指令

小段微程序

大段微程序

硬布线

时钟周期 (发出一个或几个微操作)

机器周期

指令周期

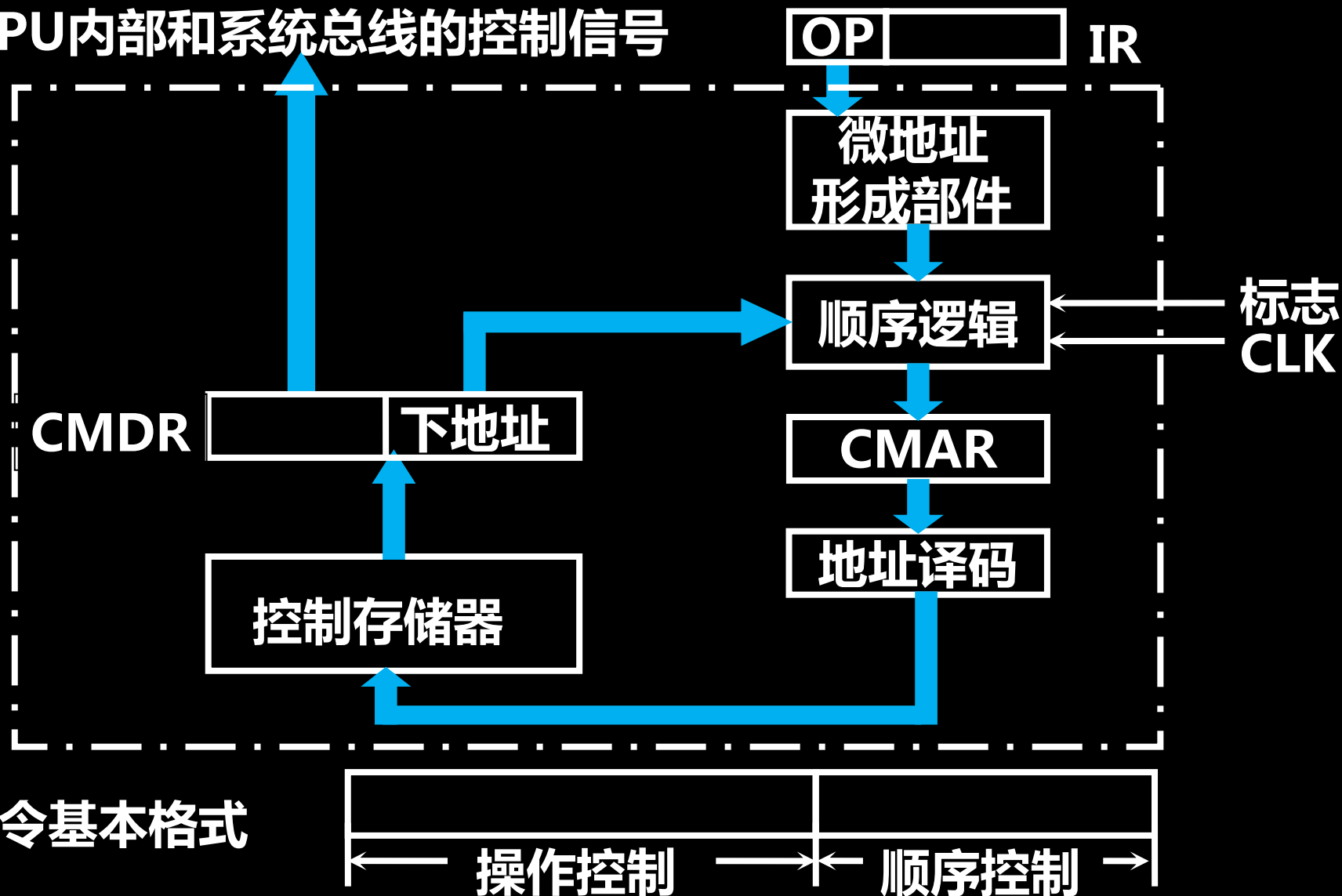
二、微程序控制单元工作原理

1. 机器指令对应的微程序



2. 微程序控制单元的基本框图

至CPU内部和系统总线的控制信号



3. 微程序的存储结构

控存

主存

用户程序

LDA X
ADD Y
STA Z
STP

M
M+1
M+2

	M+1
	M+2
	xxx

取指周期
微程序

P
P+1
P+2

	P+1
	P+2
	M

对应LDA操作
的微程序

Q
Q+1
Q+2

	Q+1
	Q+2
	M

对应ADD操作
的微程序

K
K+1
K+2

	K+1
	K+2
	M

对应STA操作
的微程序

微程序控制器工作原理

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

$M \rightarrow CMAR$

执行取指微程序

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

M

1	0	0	...	0	0	1
---	---	---	-----	---	---	---

 $M+1$

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

M

1	0	0	...	0	0	1
---	---	---	-----	---	---	---

 $M+1$

微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

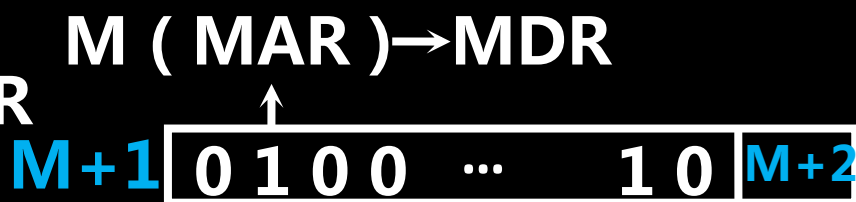
由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 2$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 2$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 2$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 2$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$



$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 2$



$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(1) 取指阶段

执行取指微程序

$M \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 1$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

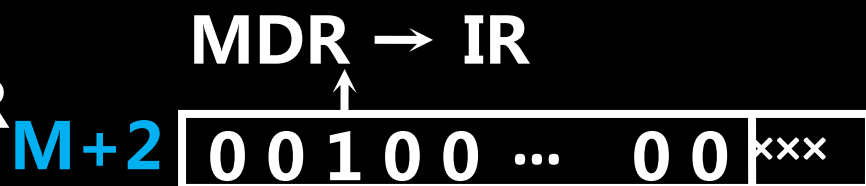
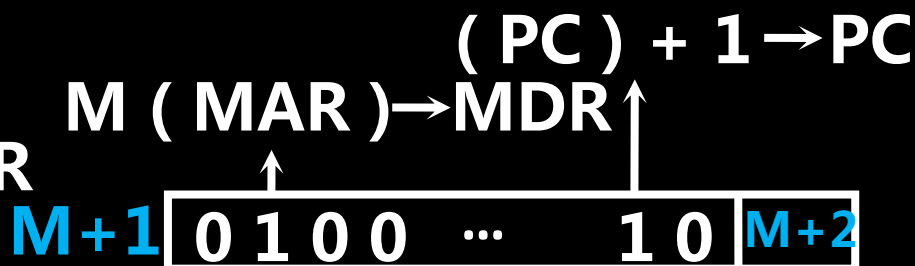
由 CMDR 发命令

形成下条微指令地址 $M + 2$

$\text{Ad}(\text{CMDR}) \rightarrow \text{CMAR}$

$\text{CM}(\text{CMAR}) \rightarrow \text{CMDR}$

由 CMDR 发命令



微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段

执行LDA微程序

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

OP (IR) → 微地址形成部件 → CMAR

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

P

0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR \quad Ad(IR) \rightarrow MAR$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR \quad Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR \quad Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

形成下条微指令地址 $P + 1$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR \quad Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$ $Ad(IR) \rightarrow MAR$ $1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$ $Ad(IR) \rightarrow MAR$ $1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

$P+1 \quad \boxed{0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad \dots \quad 0} \quad P+2$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$ $Ad(IR) \rightarrow MAR$ $1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$P+1 \quad \boxed{0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad \dots \quad 0} \quad P+2$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow MDR$

$P+1 \quad \boxed{0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad \dots \quad 0} \quad P+2$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$ $Ad(IR) \rightarrow MAR$ $1 \rightarrow R$

由 CMDR 发命令

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow MDR$

$P+1 \quad \boxed{0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad \dots \quad 0} \quad P+2$

形成下条微指令地址 $P + 2$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 $\rightarrow CMAR$ ($P \rightarrow CMAR$)

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$Ad(IR) \rightarrow MAR$ $1 \rightarrow R$
 P

0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow MDR$
 $P+1$

0	1	0	0	...	0	$P+2$
---	---	---	---	-----	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow \text{微地址形成部件} \rightarrow CMAR \quad (P \rightarrow CMAR)$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$Ad(IR) \rightarrow MAR \quad 1 \rightarrow R$

$P \quad \boxed{0 \ 0 \ 0 \ 1 \quad \dots \quad 0 \ 0 \ 1} \quad P+1$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow MDR$

$P+1 \quad \boxed{0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad \dots \quad 0} \quad P+2$

$Ad(CMDR) \rightarrow CMAR$

$CM(CMAR) \rightarrow CMDR$

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 \rightarrow CMAR ($P \rightarrow$ CMAR)

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR $Ad(IR) \rightarrow$ MAR $1 \rightarrow R$
由 CMDR 发命令

P	0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
-----	---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR $M(MAR) \rightarrow$ MDR
 $CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR
由 CMDR 发命令

$P+1$	0	1	0	0	...	0	$P+2$
-------	---	---	---	---	-----	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR
 $CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

$P+2$	0	0	0	0	0	0	1	...	0	M
-------	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	-----

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 \rightarrow CMAR ($P \rightarrow$ CMAR)

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR $Ad(IR) \rightarrow$ MAR $1 \rightarrow R$
由 CMDR 发命令

P	0	0	0	1	...	0	0	1	P+1
---	---	---	---	---	-----	---	---	---	-----

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR $M(MAR) \rightarrow$ MDR
 $CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR
由 CMDR 发命令

P+1	0	1	0	0	...	0	P+2
-----	---	---	---	---	-----	---	-----

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR
 $CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR
由 CMDR 发命令

P+2	0	0	0	0	0	0	1	...	0	M
-----	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 \rightarrow CMAR ($P \rightarrow$ CMAR)

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$Ad(IR) \rightarrow$ MAR $1 \rightarrow R$
 P

0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow$ MDR
 $P+1$

0	1	0	0	...	0	$P+2$
---	---	---	---	-----	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$MDR \rightarrow$ AC
 $P+2$

0	0	0	0	0	0	1	...	0	M
---	---	---	---	---	---	---	-----	---	-----

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 \rightarrow CMAR ($P \rightarrow$ CMAR)

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$Ad(IR) \rightarrow$ MAR $1 \rightarrow R$
 P

0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow$ MDR
 $P+1$

0	1	0	0	...	0	$P+2$
---	---	---	---	-----	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$MDR \rightarrow$ AC
 $P+2$

0	0	0	0	0	0	1	...	0	M
---	---	---	---	---	---	---	-----	---	-----

形成下条微指令地址 M

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 \rightarrow CMAR ($P \rightarrow$ CMAR)

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$Ad(IR) \rightarrow$ MAR $1 \rightarrow R$
 P

0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow$ MDR
 $P+1$

0	1	0	0	...	0	$P+2$
---	---	---	---	-----	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR

由 CMDR 发命令

$MDR \rightarrow$ AC
 $P+2$

0	0	0	0	0	0	1	...	0	M
---	---	---	---	---	---	---	-----	---	-----

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR

微程序控制器工作原理

(2) 执行阶段 执行LDA微程序

$OP(IR) \rightarrow$ 微地址形成部件 \rightarrow CMAR ($P \rightarrow$ CMAR)

$CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR $Ad(IR) \rightarrow$ MAR $1 \rightarrow R$
由 CMDR 发命令

P	0	0	0	1	...	0	0	1	$P+1$
-----	---	---	---	---	-----	---	---	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR
 $CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR
由 CMDR 发命令

$M(MAR) \rightarrow$ MDR

$P+1$	0	1	0	0	...	0	$P+2$
-------	---	---	---	---	-----	---	-------

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR
 $CM(CMAR) \rightarrow$ CMDR
由 CMDR 发命令

$MDR \rightarrow$ AC

$P+2$	0	0	0	0	0	0	1	...	0	M
-------	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	-----

$Ad(CMDR) \rightarrow$ CMAR ($M \rightarrow$ CMAR)

(3) 微程序分析

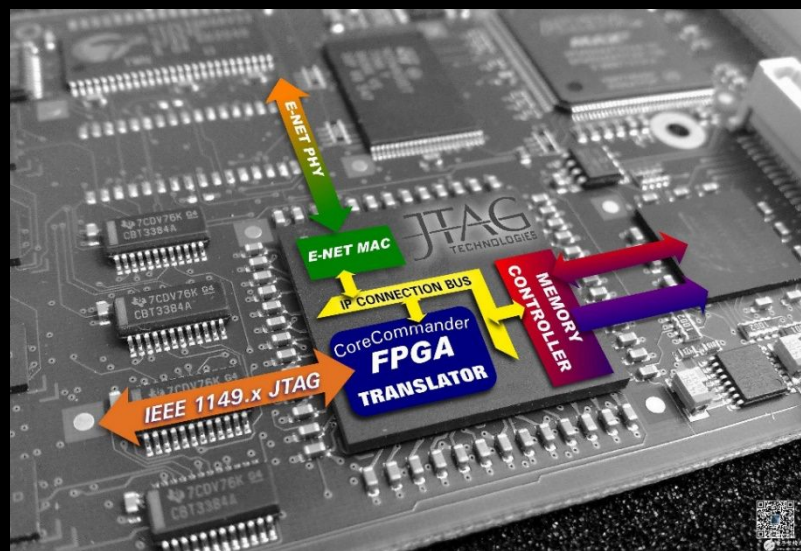
- 指令执行的每个阶段都是一段微程序，共同组成完成指令的微程序。

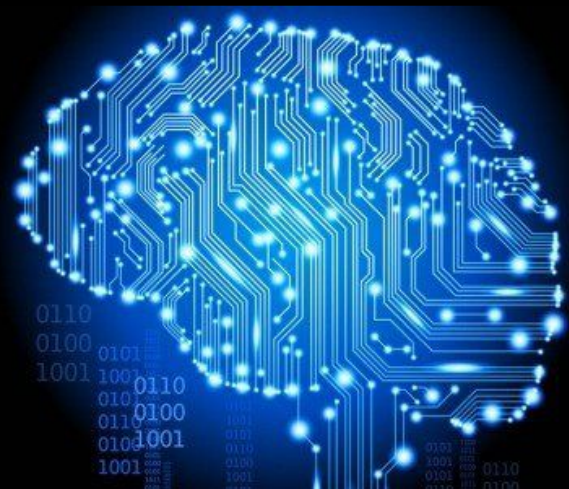


- 全部微指令存在CM中，程序执行过程中只需读出。
- 关键：
 - 微指令的操作控制字段如何形成微操作命令。
 - 微指令的后续地址如何形成。

推荐阅读：FPGA及主要应用

- 现场可编程门阵列，以并行运算为主，以硬件描述语言（Verilog或VHDL）完成电路设计。
- 应用领域：
 - 医疗领域
 - 汽车电子领域
 - 军事领域
 - 测试测量
 - 消费产品领域
 - 数据采集和接口逻辑领域
 - 高性能数字信号处理领域



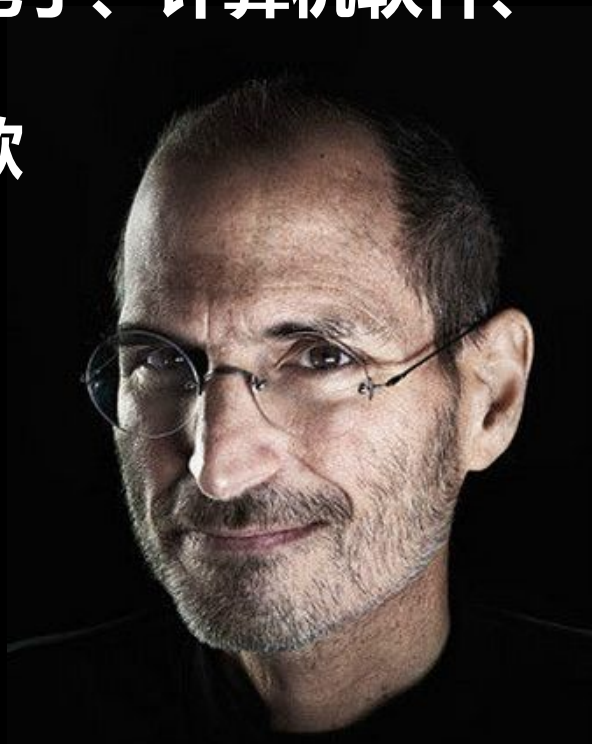


微程序控制器设计方法

大连理工大学 赖晓晨

苹果公司介绍

- 史蒂夫·乔布斯、斯蒂夫·沃兹尼亚克和罗·韦恩(Ron Wayne)等三人于1976年4月1日创立；
- 创立之初，主要开发和销售的个人电脑，截至2014年致力于设计、开发和销售消费电子、计算机软件、在线服务和个人计算；
- 苹果公司先后超过可口可乐、谷歌成为世界最有价值品牌；
- 2015年调研，苹果公司14年第四季度首次成为中国智能手机市场最大厂商。



在线商店

Mac

iPad

iPhone

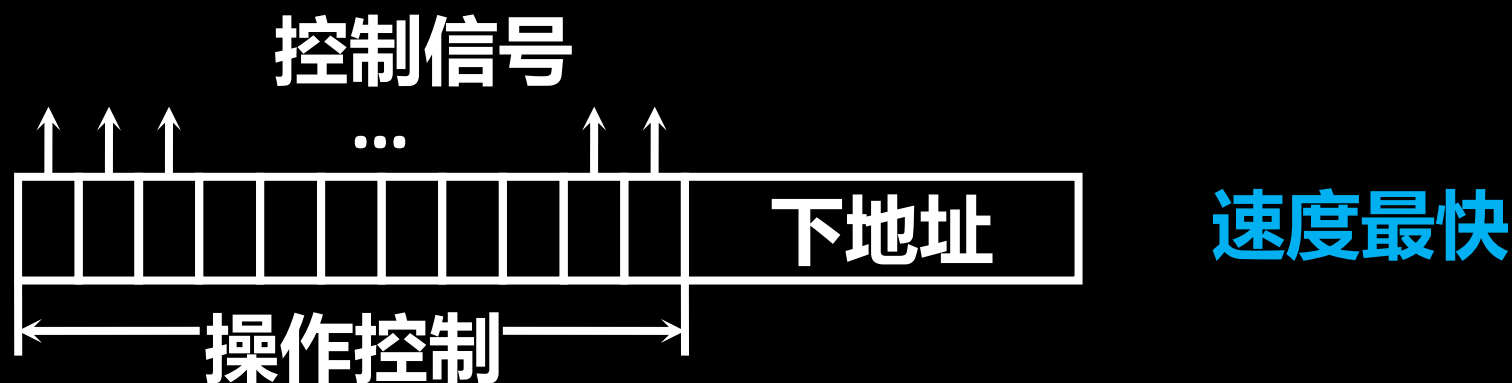
Watch

Music

一、微指令的编码方式

1. 直接控制方式

在微指令的操作控制字段中，**每一位代表一个微操作命令。**

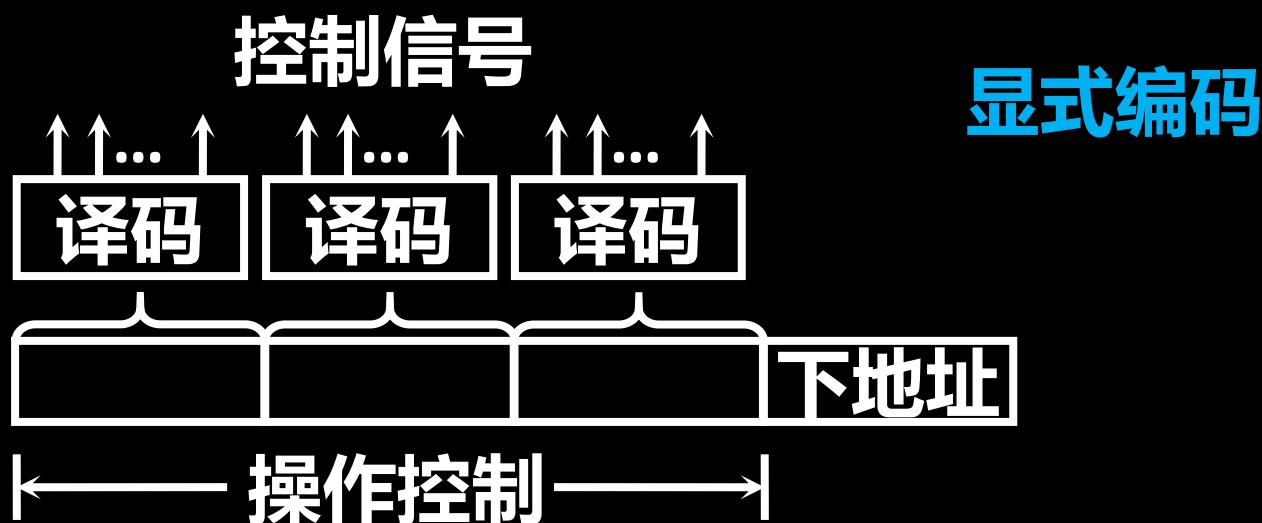


某位为“**1**”表示该控制信号有效。

一、微指令的编码方式

2. 字段直接编码方式

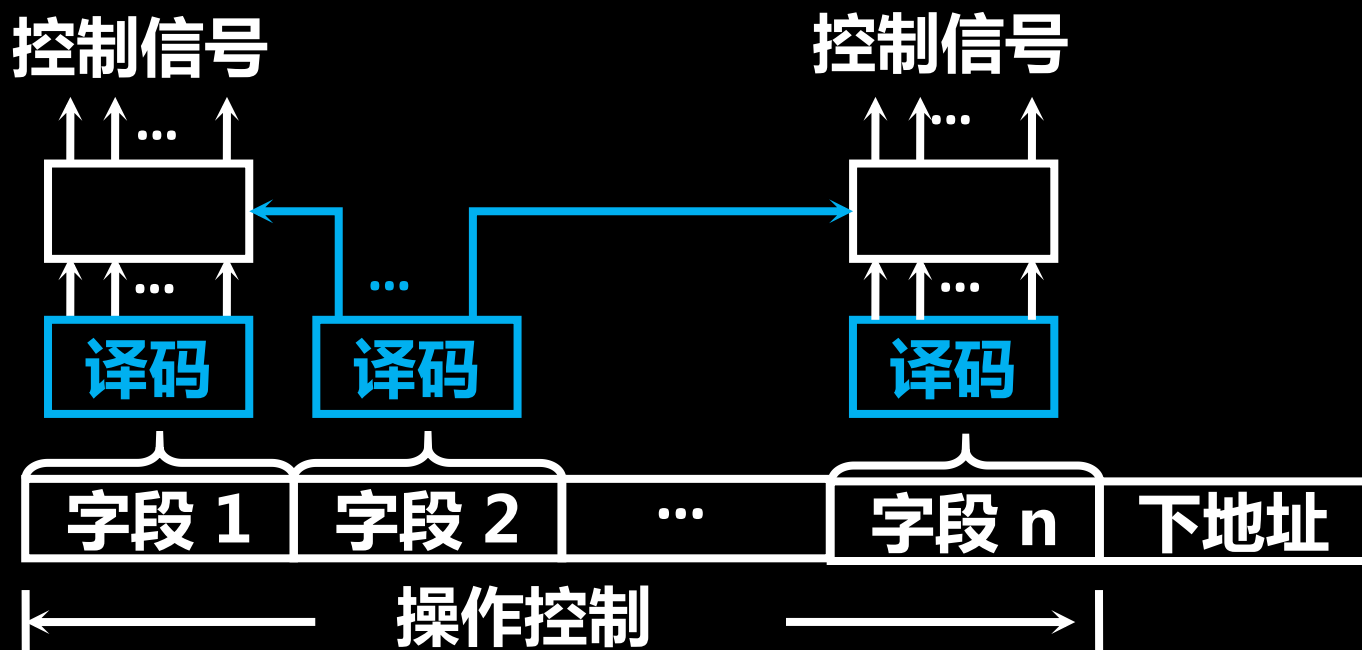
将互斥的微操作经编码合在一起作为一个“段”，每段经译码后发出控制信号。



缩短了微指令字长，增加了译码时间，执行较慢。

一、微指令的编码方式

3. 字段间接编码方式



4. 混合编码

直接编码和字段编码（直接和间接）混合使用。

5. 其他

二、微指令序列地址的形成

1. 微指令的**下地址**字段指出
2. 根据机器指令的**操作码**形成
3. **增量计数器**

$$(CMAR) + 1 \rightarrow CMAR$$

4. **分支转移**

操作控制字段	转移方式	转移地址
--------	------	------

转移方式

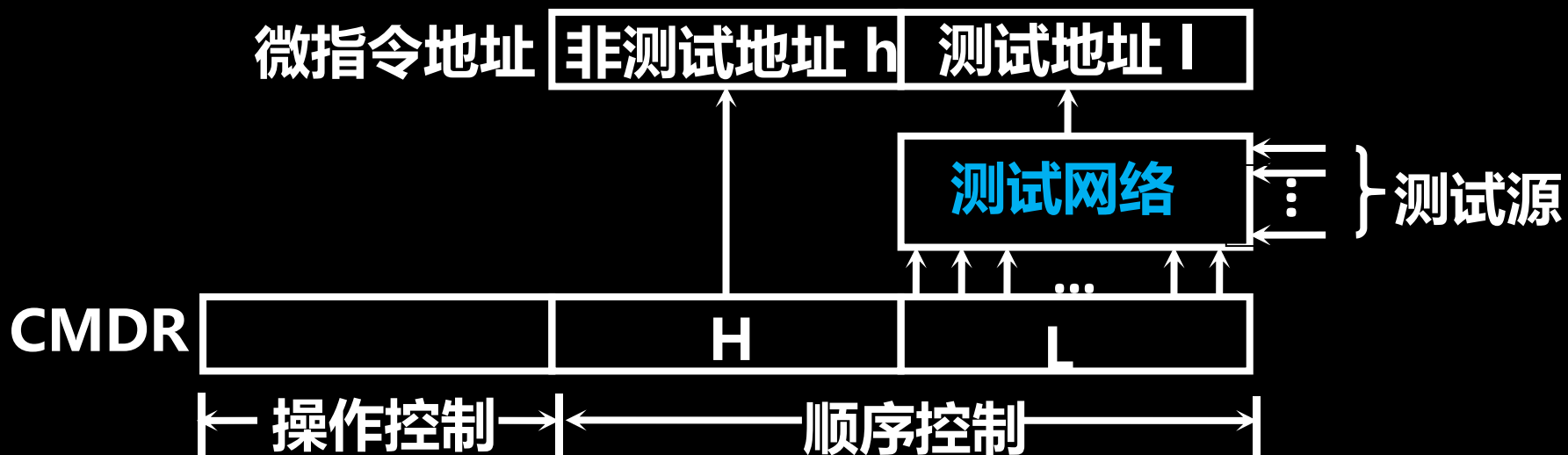
指明判别条件

转移地址

指明转移成功后的去向

二、微指令序列地址的形成

5. 通过测试网络



6. 由硬件产生微程序入口地址

第一条微指令地址 由专门硬件产生

中断周期 由硬件产生**中断周期微程序首地址**

后续微指令地址形成方式原理图

OP IR

微地址
形成部件

多路选择

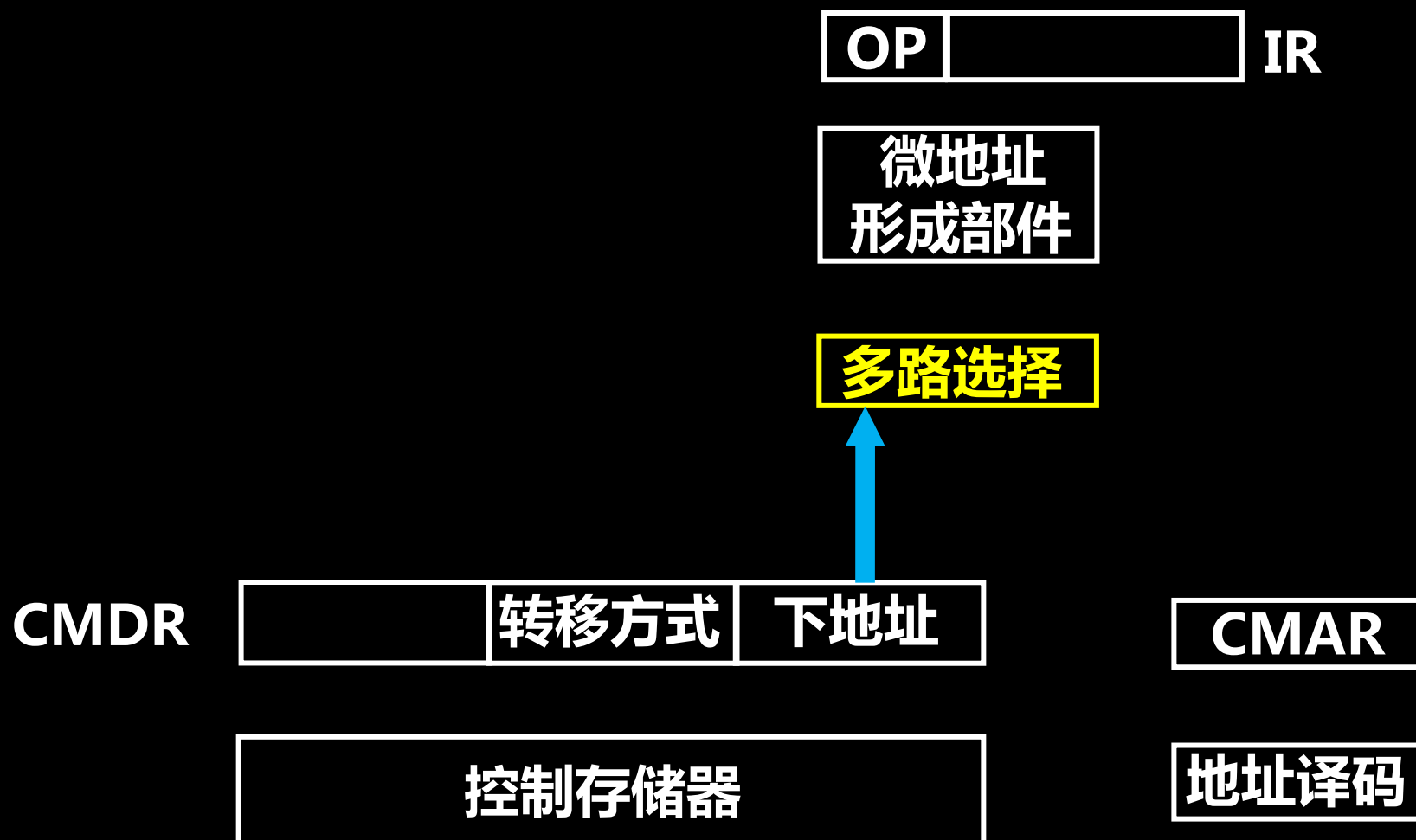
CMDR 转移方式 下地址

CMAR

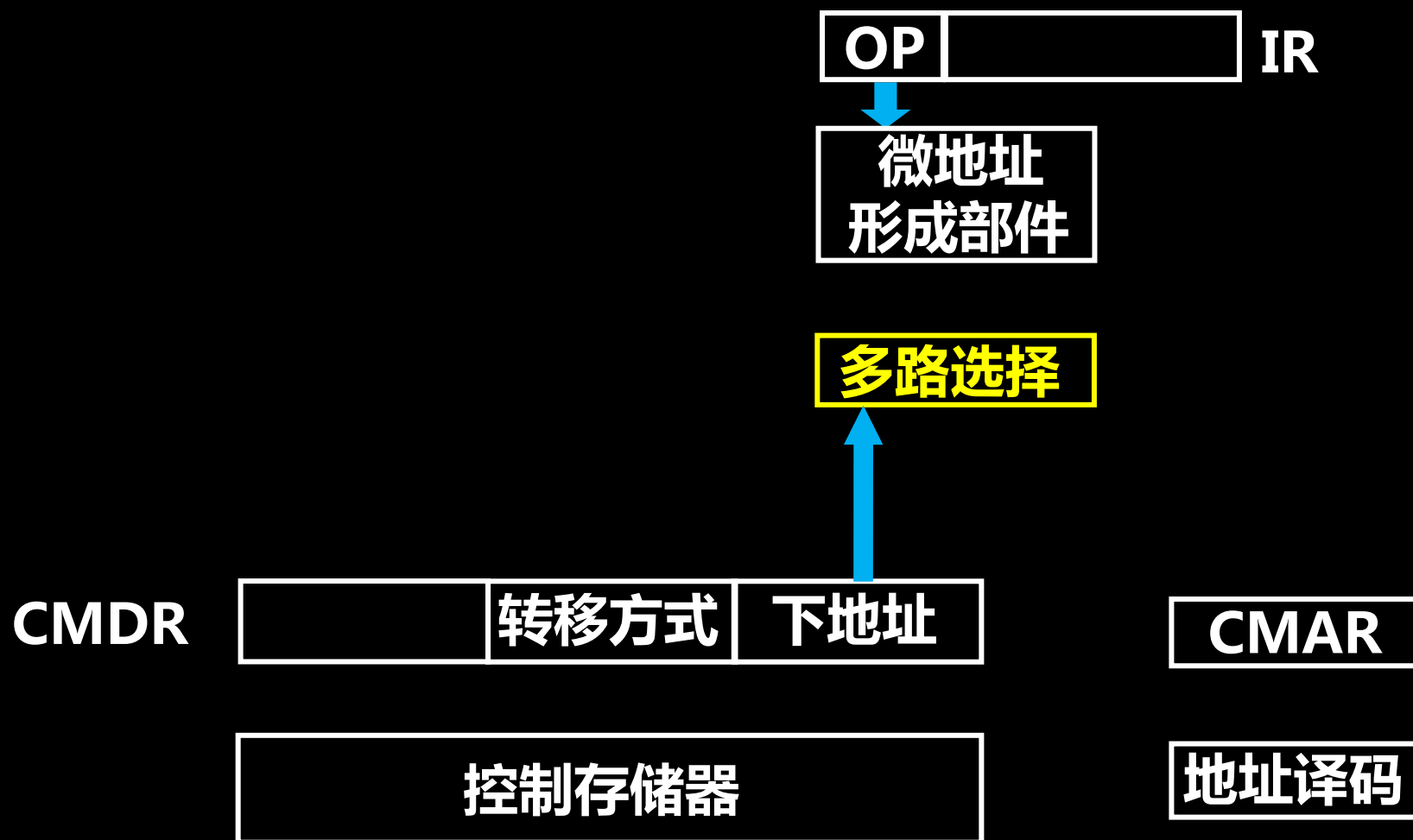
控制存储器

地址译码

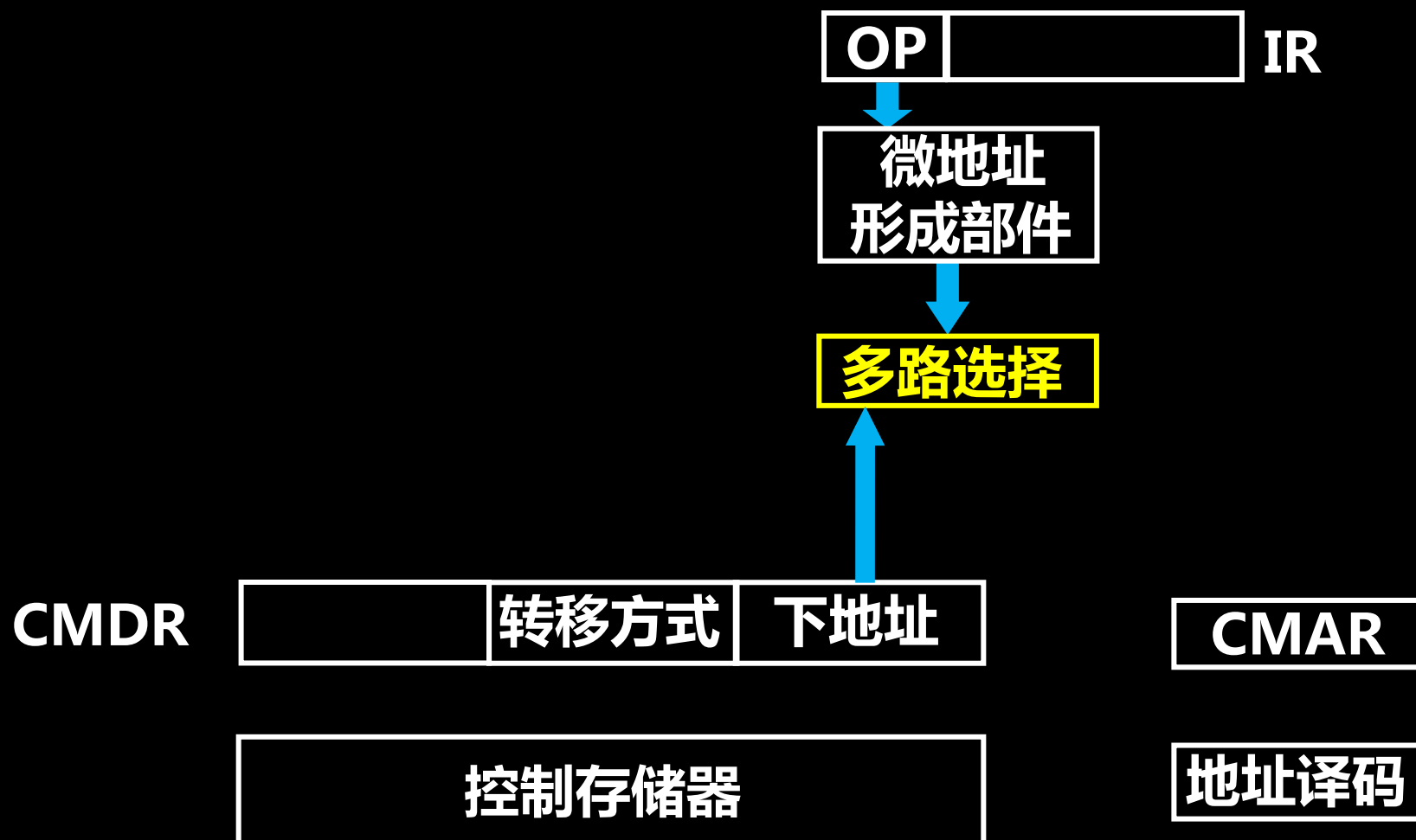
后续微指令地址形成方式原理图



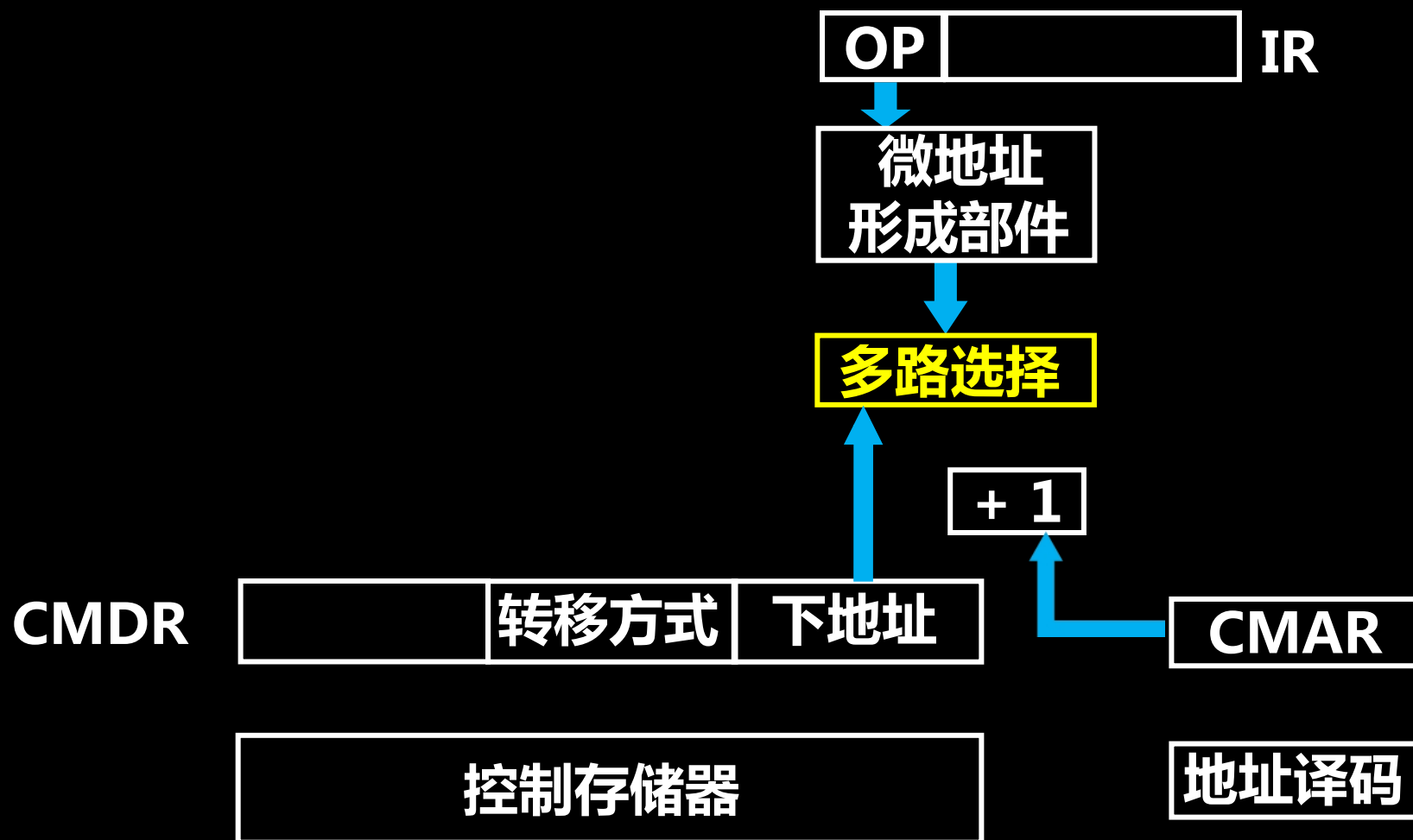
后续微指令地址形成方式原理图



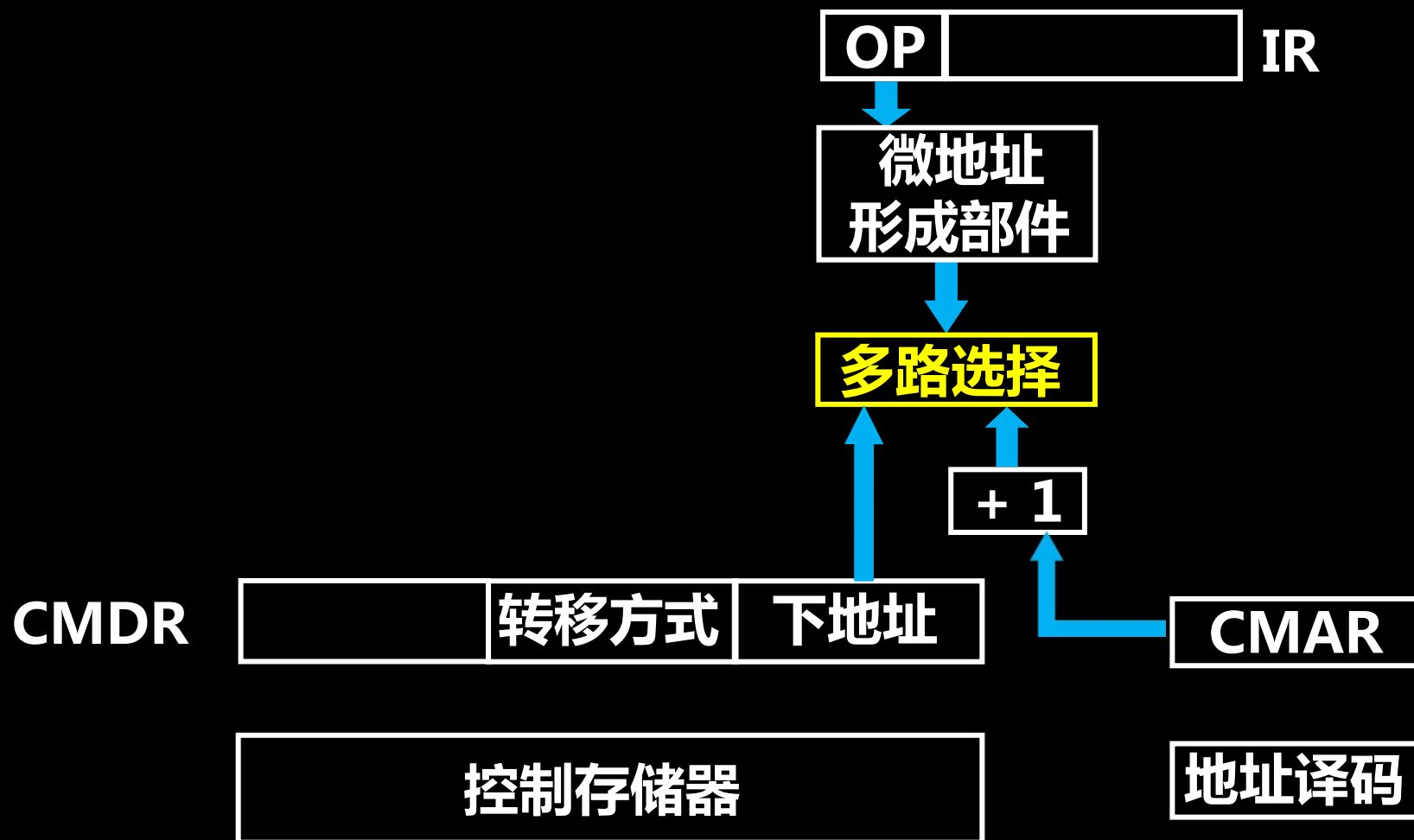
后续微指令地址形成方式原理图



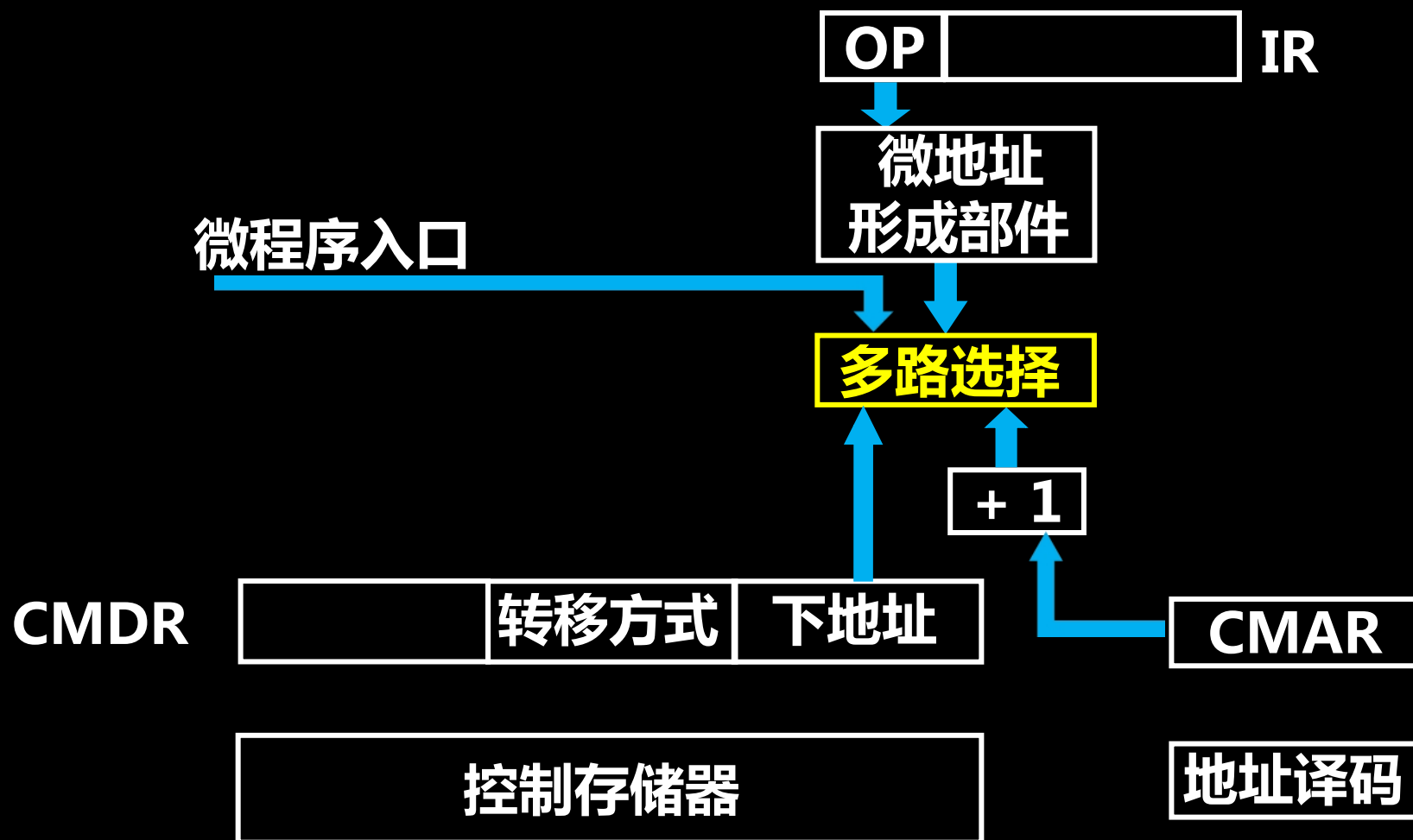
后续微指令地址形成方式原理图



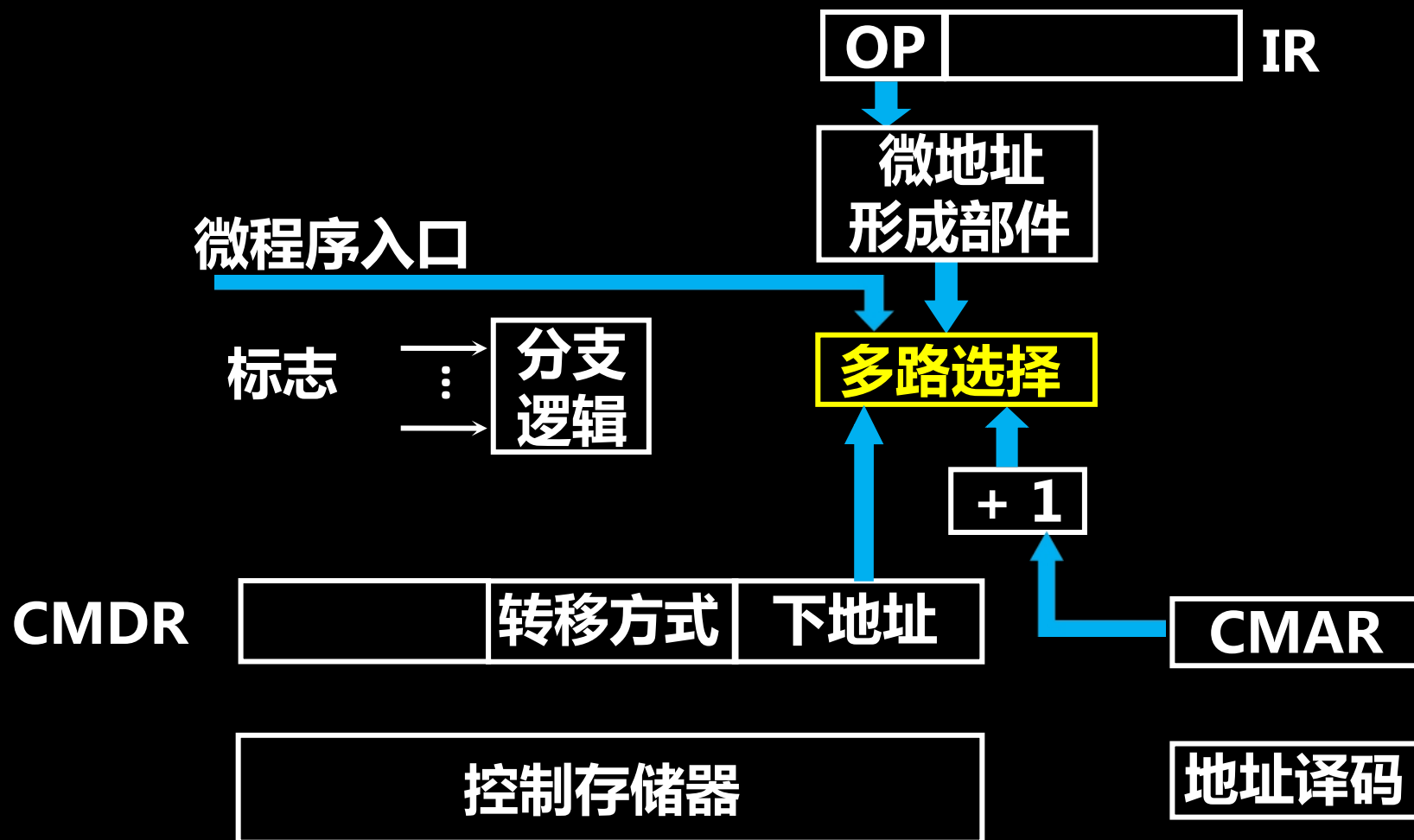
后续微指令地址形成方式原理图



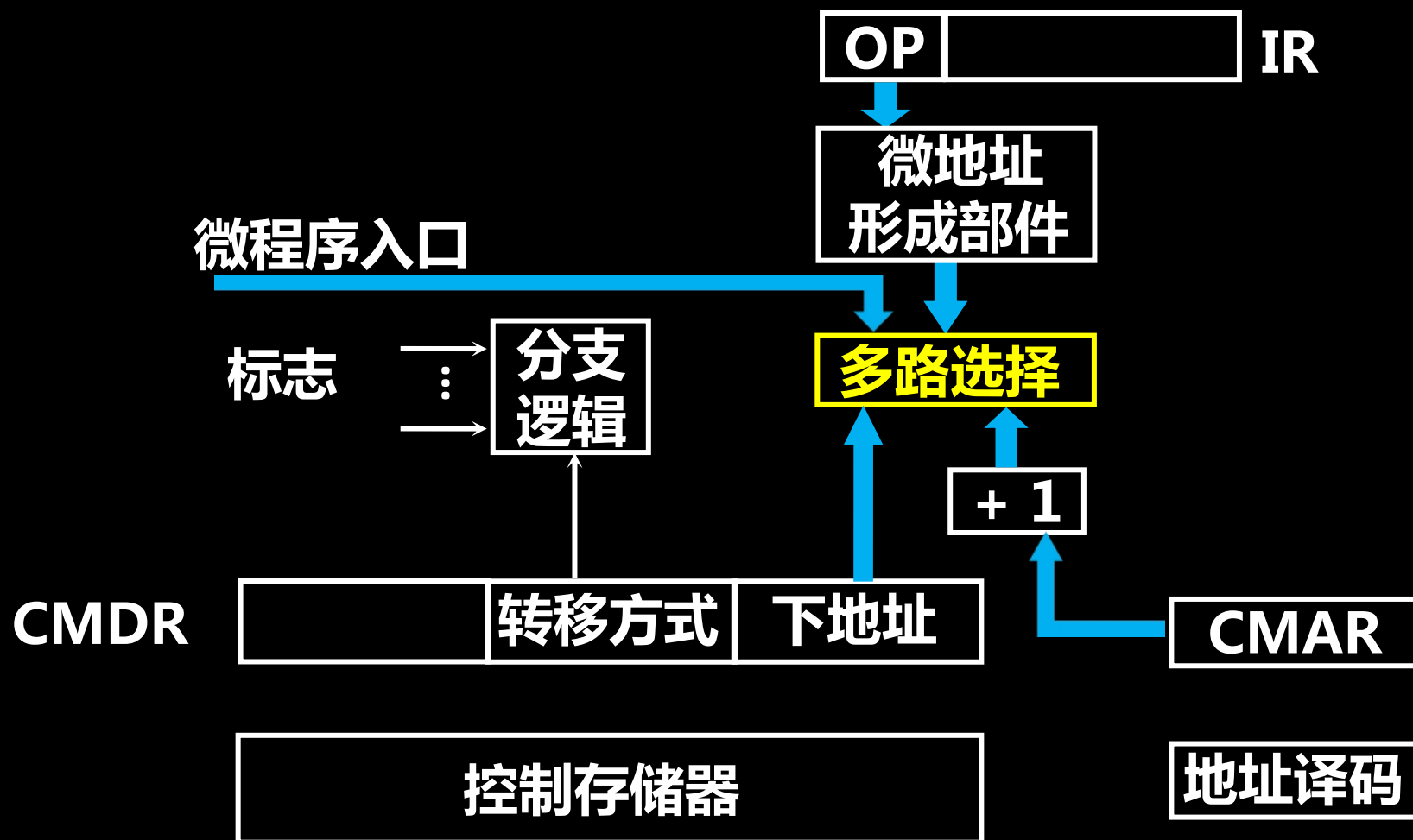
后续微指令地址形成方式原理图



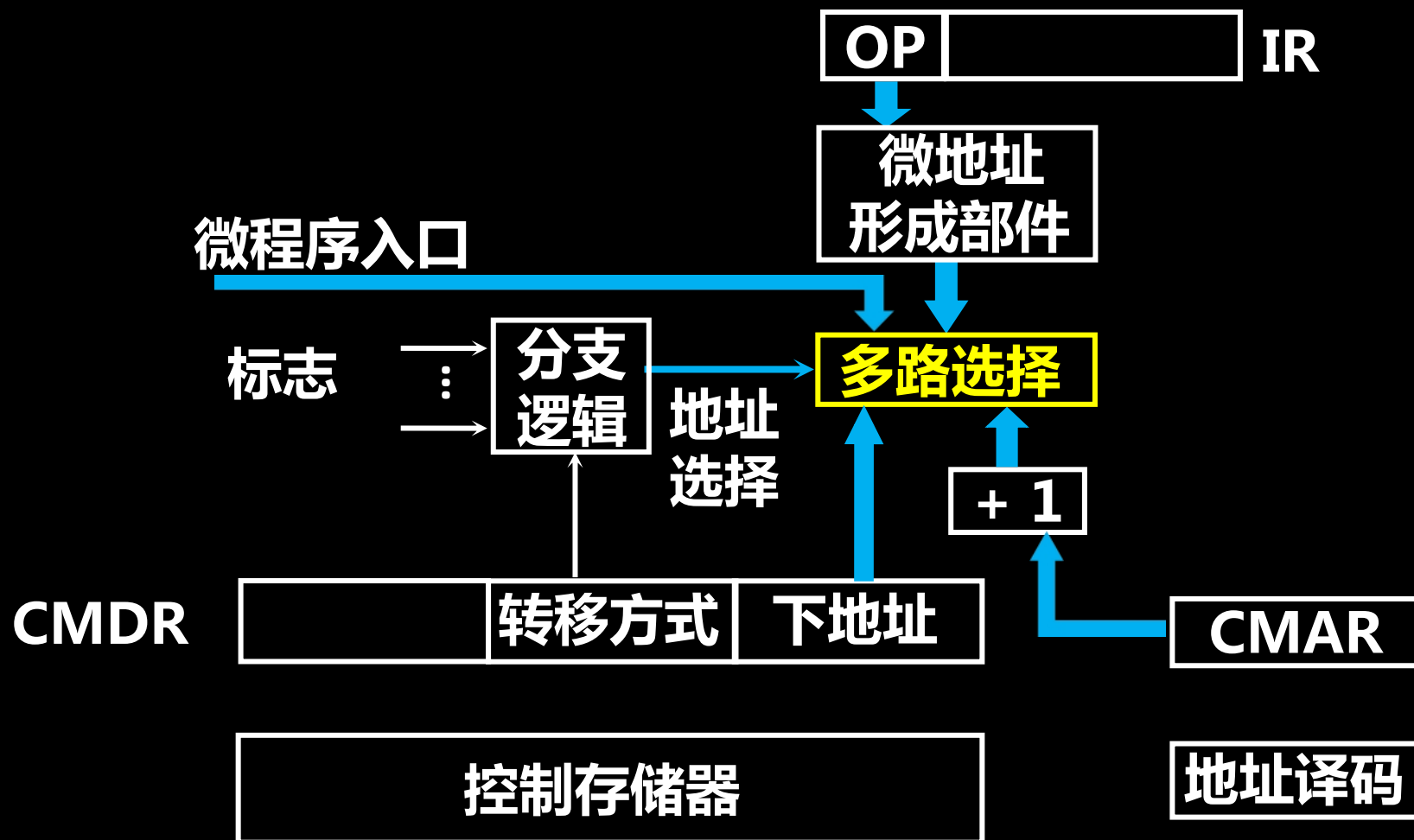
后续微指令地址形成方式原理图



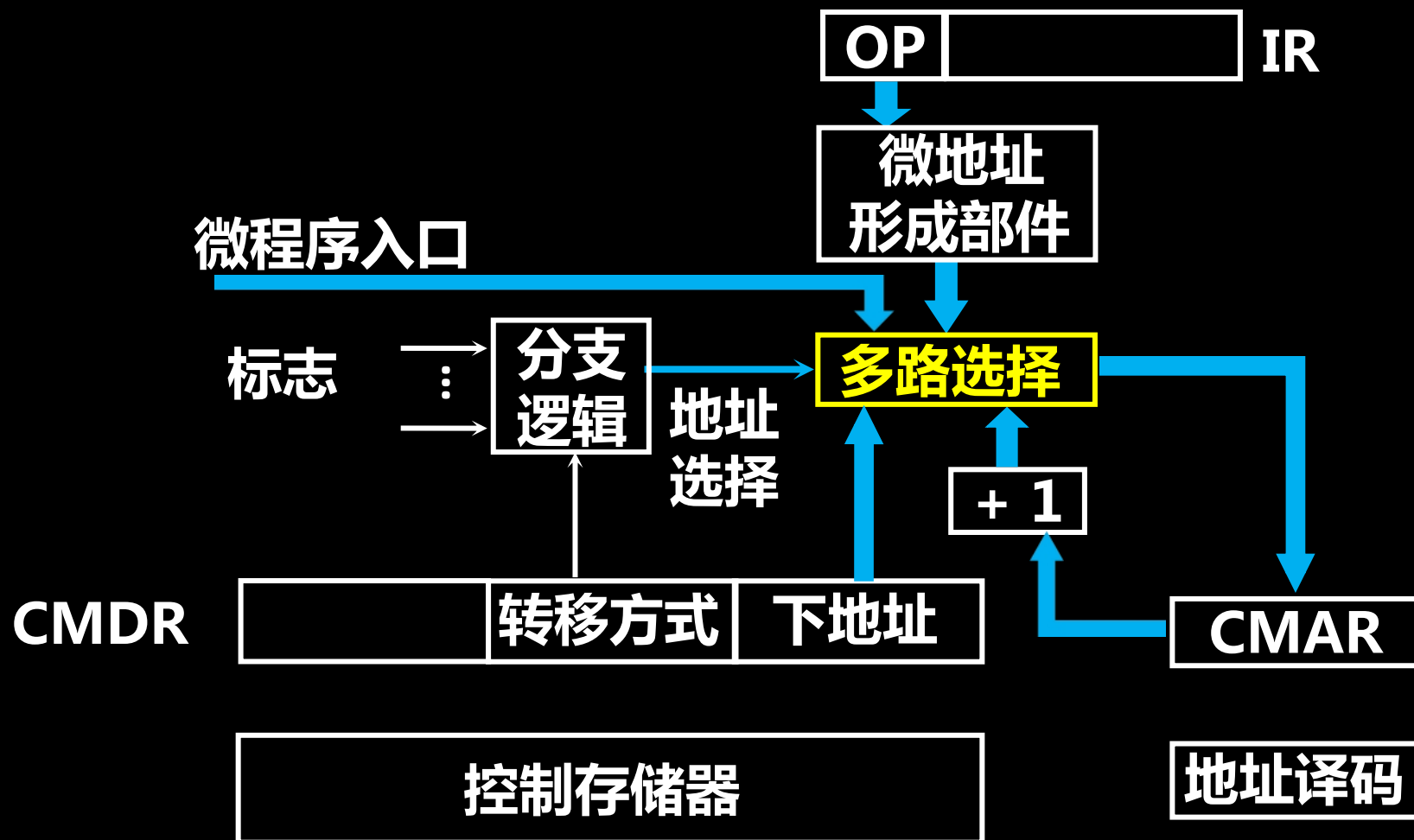
后续微指令地址形成方式原理图



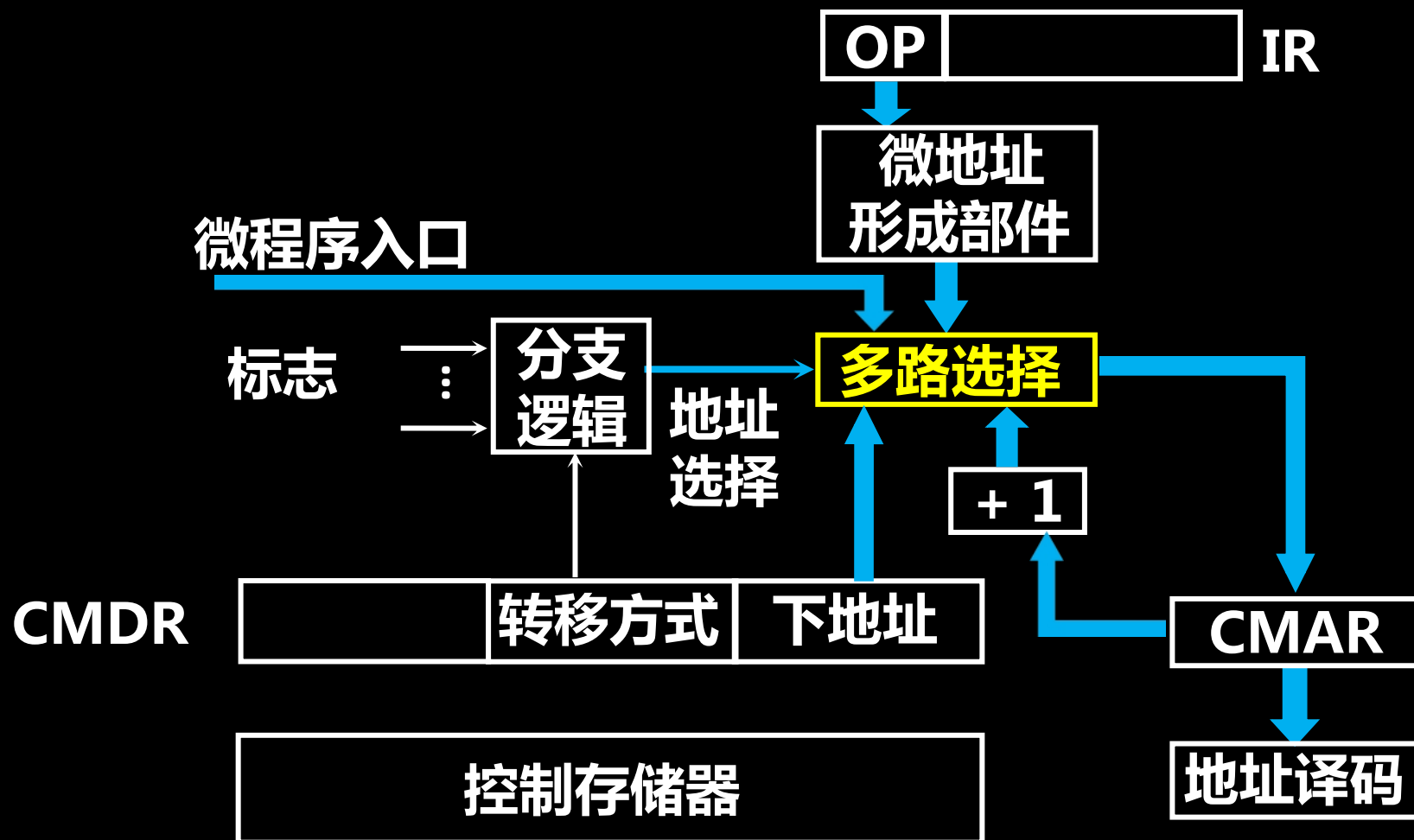
后续微指令地址形成方式原理图



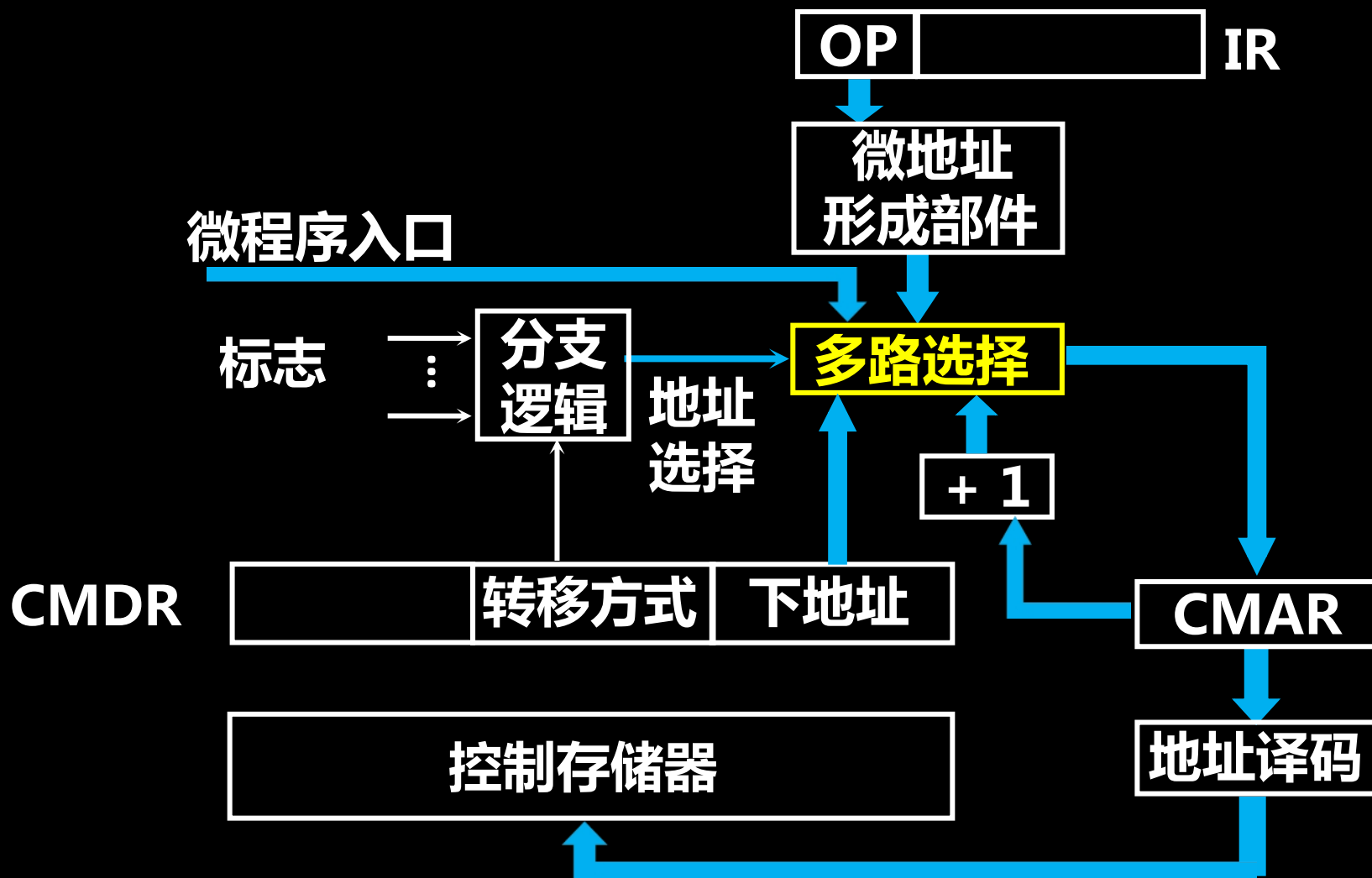
后续微指令地址形成方式原理图



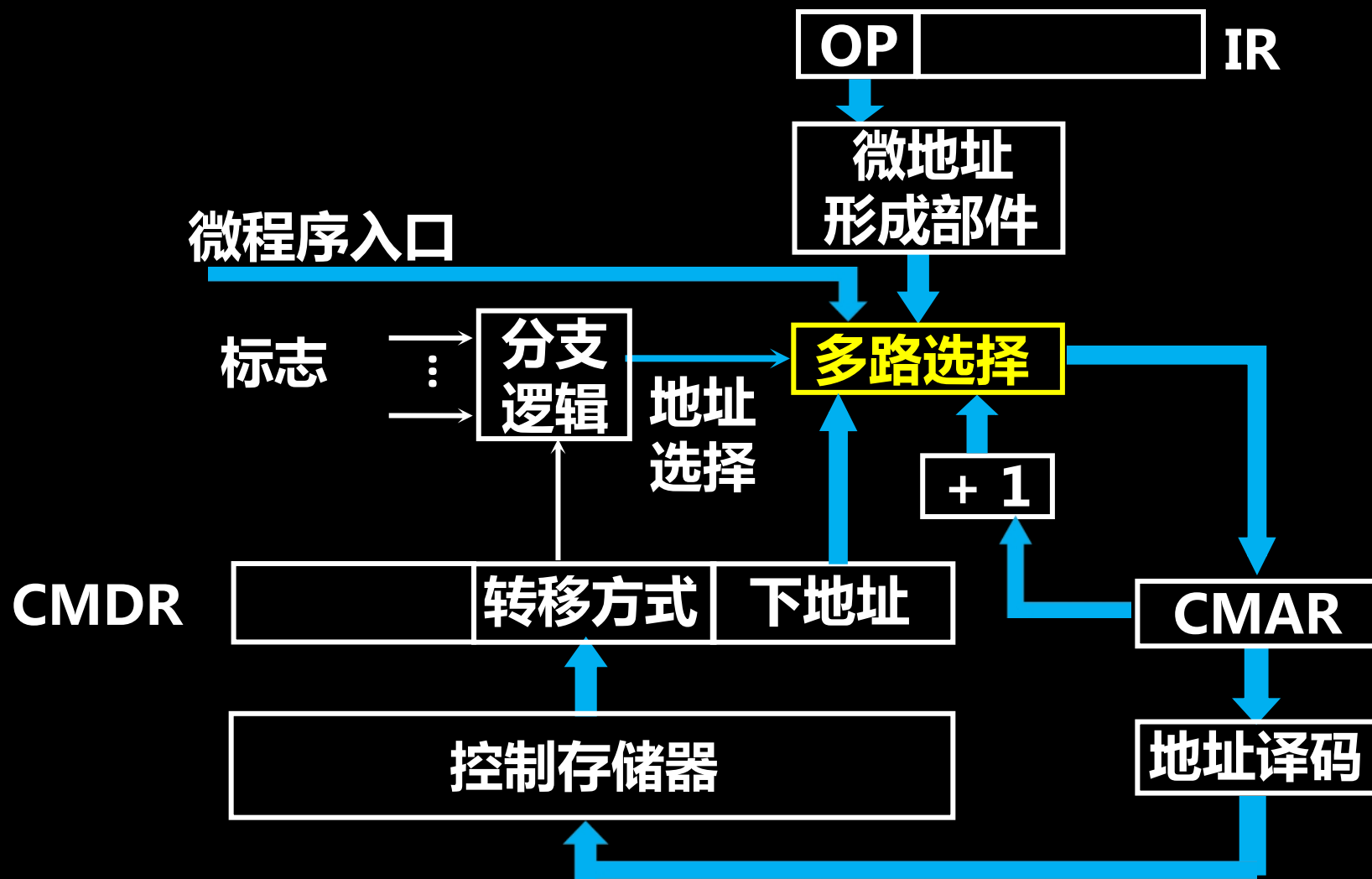
后续微指令地址形成方式原理图



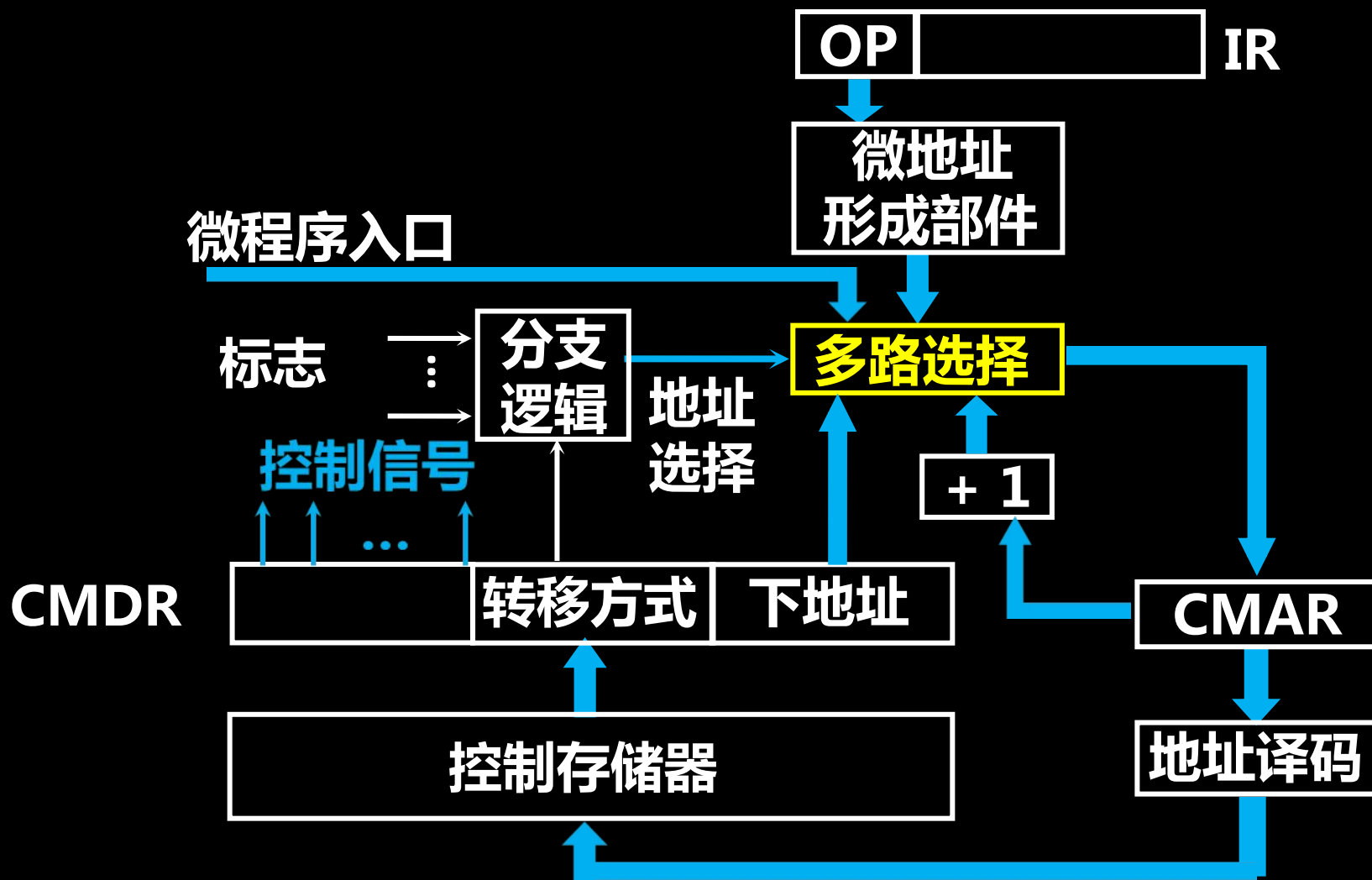
后续微指令地址形成方式原理图



后续微指令地址形成方式原理图



后续微指令地址形成方式原理图



三、微指令格式

1. 水平型微指令

一次能定义并执行多个并行操作。

如直接编码、字段直接编码、字段间接编码、直接和字段混合编码。

2. 垂直型微指令

由微操作码字段规定微指令的功能。

3. 微指令格式比较

- (1) 水平型微指令比垂直型微指令**并行操作能力强，灵活性强。**
- (2) 水平型微指令执行一条机器指令所要的微指令**数目少，速度快。**
- (3) 水平型微指令用**较长的微指令结构**换取较短的**微程序结构。**
- (4) 水平型微指令与机器指令**差别大。**

四、静态微程序设计和动态微程序设计

- **静态**：微程序无须改变，采用**ROM**。
- **动态**：通过**改变微指令**和**微程序**改变机器指令，有利于仿真，采用**EPROM**。

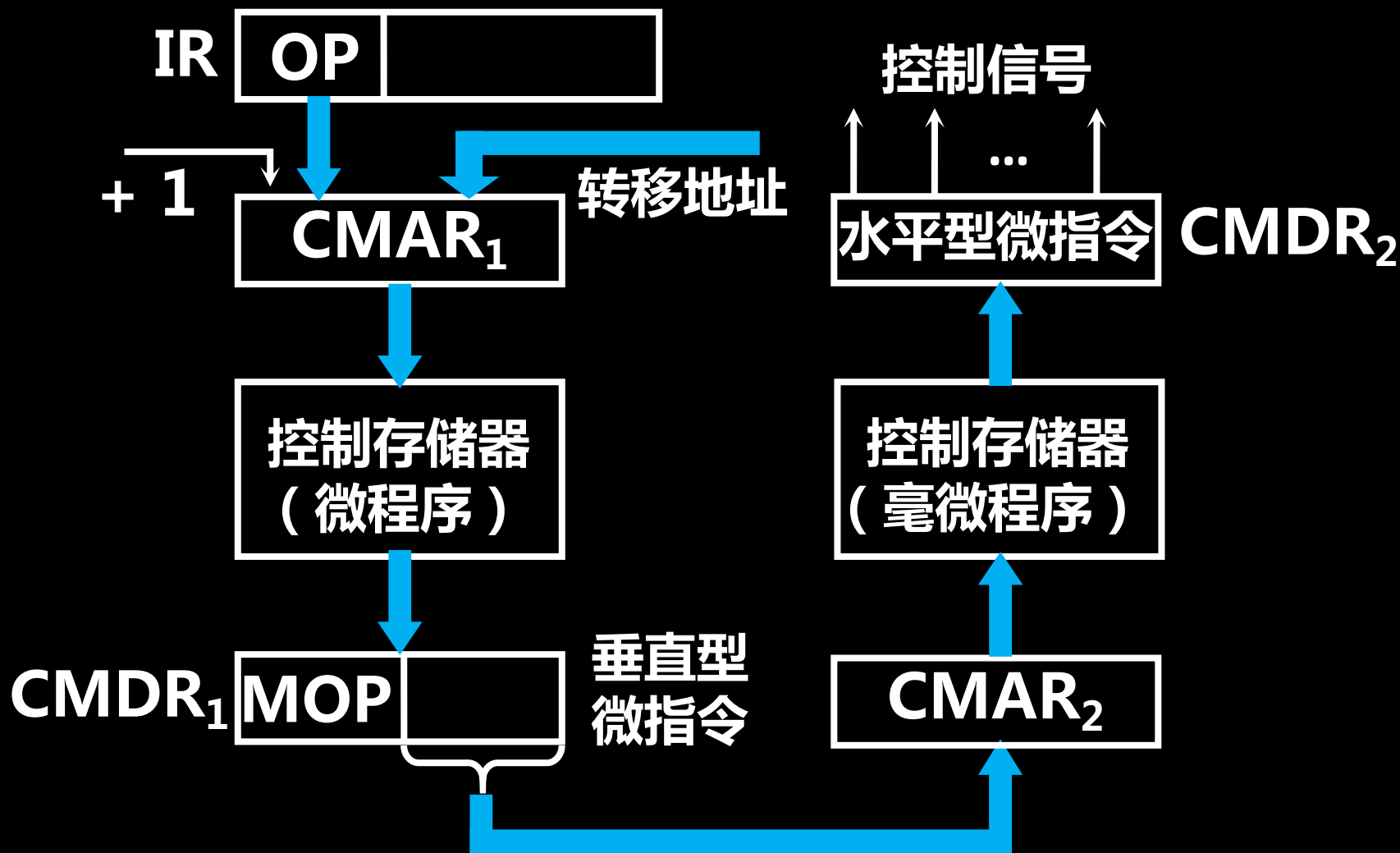
五、毫微程序设计

1. 毫微程序设计的基本概念

- 微程序设计，用微程序解释机器指令。
- 毫微程序设计，用毫微程序解释微程序。
- 毫微指令与微指令的关系好比微指令与机器指令的关系。

五、毫微程序设计

2. 毫微程序控制存储器的基本组成



六、串行微程序控制和并行微程序控制

串行微程序控制

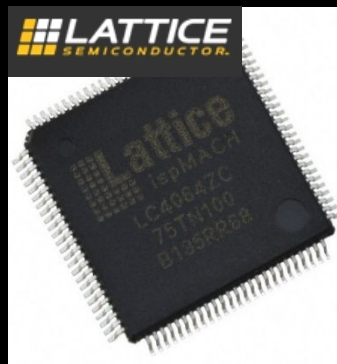


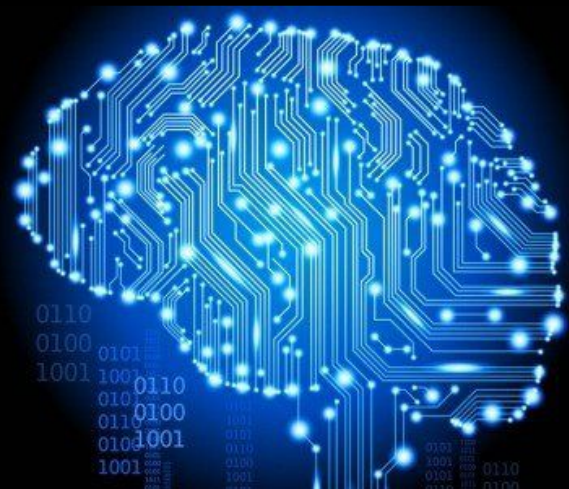
并行微程序控制



推荐阅读：CPLD及主要应用

- 复杂可编程逻辑器件，相对而言规模大，结构复杂，属于大规模电路范围；
- 相较于FPGA，CPLD使用更方便，时间预估性较容易，保密性好，但集成度较差，功耗大；
- 应用范围遍及航空航天、医疗、通讯、安防、广播、汽车电子、工业、消费类市场、测量测试等；
- Altera、Lattice、Xilinx世界三大权威公司的产品。





计算机组织与结构

大连理工大学 赖晓晨