

计算机组成原理与系统结构

第六章 指令系统

<http://jpkc.hdu.edu.cn/computer/zcyl/dzkjdx/>





第六章 指令系统

6.1

指令格式

6.2

寻址方式

6.3

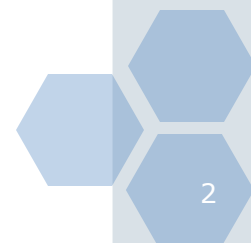
指令类型

6.4

指令系统

本章小结

练习





6.4 指令系统的设计技术



指令系统的要求



指令系统的发展



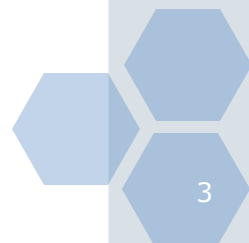
CISC的特点



RISC的特点



指令系统举例





一、指令系统的要求

1. **完备性：**指指令系统直接提供的指令足够使用，而不必用软件来实现。
2. **有效性：**是指利用该指令系统所编写的程序能够高效地运行。程序占据存储空间小、执行速度快。
3. **规整性：**
 - 对称性：所有的指令都可使用各种寻址方式；
 - 匀齐性：指令可以支持各种数据类型；
 - 指令格式和数据格式的一致性：指令长度和数据长度有一定的关系，以方便处理和存取。
4. **兼容性：**“向上兼容”，即低档机上运行的软件可以在高档机上运行。





二、指令系统的发展

1. “复杂指令系统计算机”，简称

CISC (Complex Instruction Set Computer)

- 指令格式不固定，寻址方式丰富，功能复杂
- 一些比较简单的指令，在程序中仅占指令系统中指令总数的 20%，但出现的频率却占 80%；占指令总数 20% 的最复杂的指令，却占用了控制存储器容量的 80%，且使用频率却不高。

2. 精简指令系统计算机 (Reduced Instruction

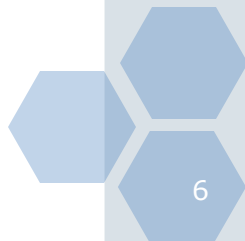
Set Computer, 简称 RISC)



二、指令系统的发展

2. RISC 体系结构的芯片经历了三代：

- 第一代以 32 位数据通路为代表，支持 Cache，软件支持较少，性能与 CISC 体系结构的产品相当，如 RISC I、MIPS、IBM801 等。
- 第二代产品提高了集成度，增加了对多处理机系统的支持，提高了时钟频率，建立了完善的存储管理体系，软件支持系统也逐渐完善。它们已具有单指令流水线，可同时执行多条指令。
- 第三代 RISC 产品为 64 位微处理器，采用了超级流水线技术和超标量技术，提高了指令级的并行处理能力，使 RISC 处理器的整体性能更好。如 MIPS 的 R4000 处理器。

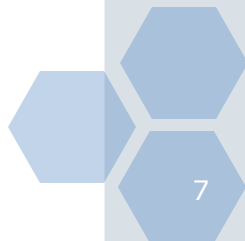




三、CISC 的特点

1. 早期 CISC 指令系统的主要特点是：

- 指令系统复杂。具体表现为指令条数多、寻址方式多、指令格式多。指令串行执行，大多数指令需要多个时钟周期完成。
- 采用微程序控制，因为微程序控制器适合于实现 CISC 指令执行过程的控制。
- 有较多的专用寄存器，大部分运算所需的数据均需访问存储器获取。
- 编译程序难以用优化措施生成高效的目标代码程序。

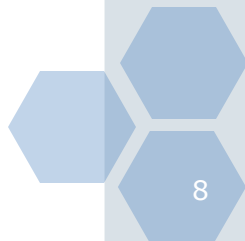




三、CISC 的特点

2. CISC 主要在以下方面来对增强指令的功能

- 面向目标程序增强指令功能具体方法有：
 - ① 提高运算类指令的功能
 - ② 提高传送类指令的功能
 - ③ 增强程序控制指令功能
- 面向编译程序目标代码生成优化的改进
- 提供面向操作系统优化的指令

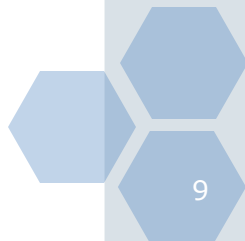




四、RISC 的特点

1. 大部分 RISC 机具有以下特点：

- （1） 指令系统设计时选择一些使用频率较高的简单指令，
且选择一些很有用但不复杂的指令。
- （2） 指令长度固定，指令格式种类少，寻址方式种类少。
- （3） 只有取数 / 存数指令访问存储器，其余指令的操作都
在寄存器之间进行。





四、RISC 的特点

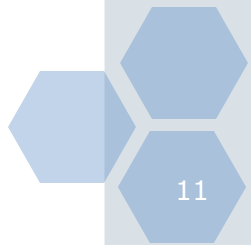
- (4) 采用流水线技术。超级标量及超级流水线技术，增加了指令执行的并行度，使得一条指令的平均指令执行时间小于一个机器周期。
- (5) CPU 中通用寄存器数量相当多，可以减少访存次数。
- (6) 以硬布线控制逻辑为主，不用或少用微码控制。
- (7) 采用优化的编译程序，力求有效地支持高级语言程



四、RISC 的特点

2. 同 CISC 比较，RISC 的优点

- 可以充分利用 VLSI 芯片面积
- 可以提高计算机运算速度
 - ①指令数、寻址方式和指令格式的种类都较少，且指令的编码很有规律，使指令译码加快。
 - ②在简化指令的情况下，硬布线连接比微程序控制的延迟小，可缩短 CPU 的周期。
 - ③CPU 的通用寄存器多，减少了访存次数，加快了速度。

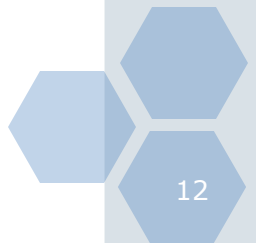




四、RISC 的特点

2. 同 CISC 比较，RISC 的优点

- 可以充分利用 VLSI 芯片面积
- 可以提高计算机运算速度
 - ④大部分指令能在一个周期内完成，特别适合于流水线工作。
 - ⑤有的 RISC 机采用寄存器窗口重叠技术，程序嵌套时不必将寄存器内容保存到存储器中，加快了速度。
- 设计容易，可降低成本，提高可靠性。





四、RISC 的特点

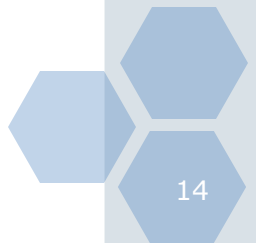
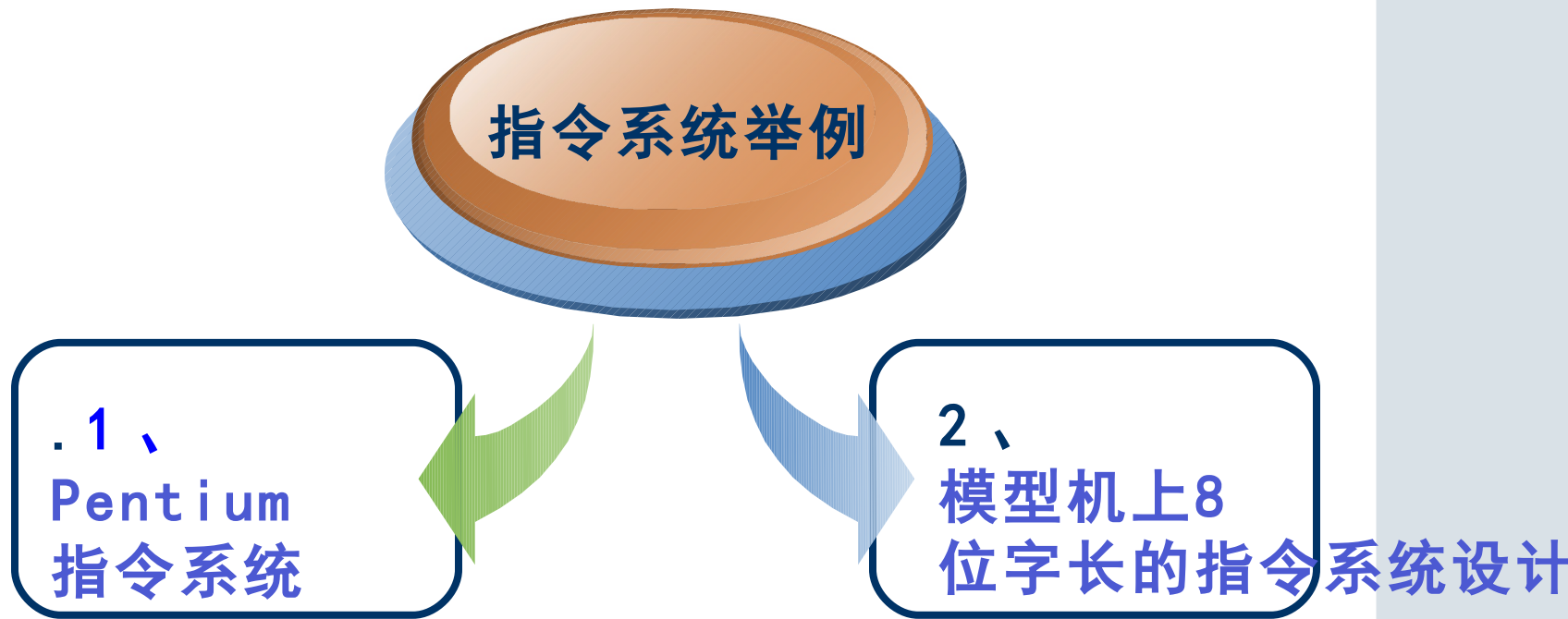
■ 能有效支持高级语言程序

- ① **RISC** 靠编译程序的优化来支持高级语言程序。
- ② 指令少，寻址方式少，反而使编译程序容易选择更有效的指令和寻址方式。
- ③ **通用寄存器多**，可尽量安排快速的寄存器操作，使编译程序的代码优化效率较高。
- ④ 有的 RISC 机采用寄存器窗口重叠技术，使过程间的参数传送快，且**不必保存与恢复现场**，因而能直接支持调用**子程序和过程的高级语言程序**。
- ⑤ 在编译时尽量做好程序优化工作，而减少程序执行时间。





五、指令系统举例



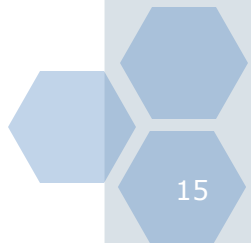


1、Pentium 指令系统

- 指令类型

- ① 算术逻辑操作指令
- ② 串操作 / 转移控制指令
- ③ 标志控制 / 高级语言支持指令
- ④ 数据传送指令
- ⑤ 系统控制 / 段寄存器操作指令
- ⑥ 保护 / CACHE 管理指令

- Pentium 的指令格式





1、Pentium 指令系统

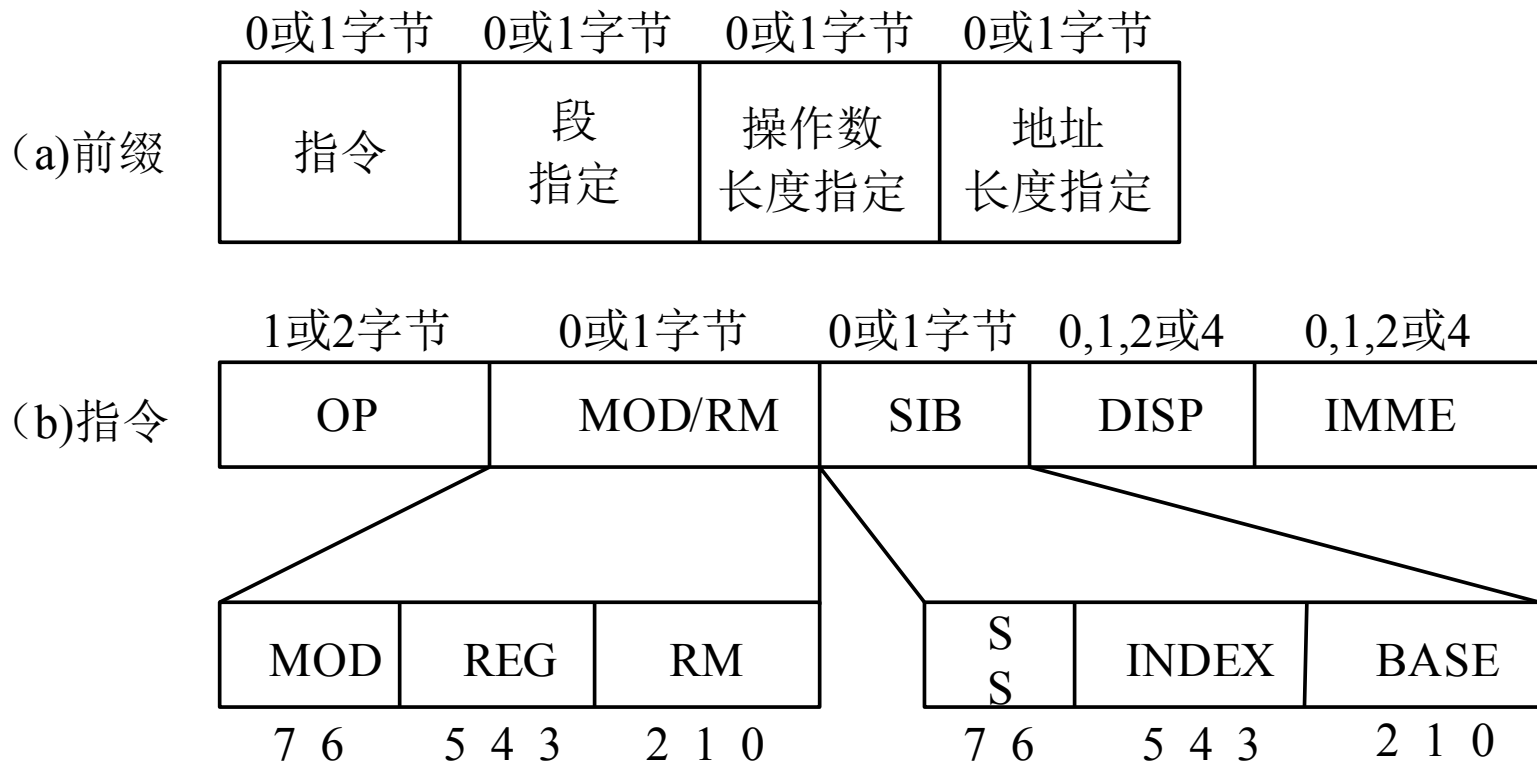


图6—15 Pentium 指令格式

主要由两部分组成：指令前缀，指令本身。

指令前缀为可选。





2、模型机上 8 位字长的指令系统设



模型机指令格式模型机寻址方式模型机指令系统设





① 模型机指令格式

❖ 格式 1：一般指令格式

17 16 15 14 13 12 11 10

OP：指令操作码，4 位，用于对 16 条机器指令进行编码，是识别指令的标志。

OP	SR	DR
DATA/ADDR/DISP/X		

SR：源寄存器号，2 位，用于对 4 个通用寄存器 R0、R1、R2、R3 的选择，其内容送总线，作为源操作数之一。

DR：目的寄存器号，2 位，用于对 4 个通用寄存器 R0、R1、R2、R3 的选择，其内容可送总线，也可以从总线上接收数据，通常作为目的操作数。

DATA/ADDR/DISP/X：指令的第二个字，可有可无，其含义也可以由用户自定义，可以是立即数，可以是直接 / 间接地址，也可以是其它寻址方式用到的地址信息，如相对偏移量、形式地址等等。



格式 2：带寻址方式码的指令格

OP1：第一指令操作码，
2 位，是带寻址方式码
的指令（4 条）的特征位。

17 16 15 14 13 12 11 10

OP1	MOD	OP2	DR
ADDR/DISP/X			

MOD：寻址方式码，2 位，用于对 4 种寻址方式的编码，至于 4 种寻址方式的定义，可以自行设计，例如：可设计为直接、间接、变址、相对寻址。

OP2：第二指令操作码，2 位，是 4 条带寻址方式码的指令本身的编码。

DR：同格式一。

ADDR/DISP/X：指令的第二个字，为寻址方式中所用到的直接 / 间接地址 ADDR，或者是相对寻址的偏移量 DISP，或者是变址寻址的形式地址 X



格式 3：三字指令

17 16 15 14 13 12 11 10 17 16 15 14 13 12 11 10

OP	SR	DR
ADDR/DISP/X1		
DATA/ADDR/DISP/X2		

OP1	MOD	OP2	DR
ADDR/DISP/X1			
DATA/ADDR/DISP/X2			

❖ 指令包含三字：

- 指令第一字：包含操作码、寻址方式、寄存器号
- 指令第二，三字：为寻址方式中所用到的直接/间接地址 ADDR，或者是相对寻址的偏移量 DISP，或者是变址寻址的形式地址 X，也可以是立即数 DATA

❖ 双存储器操作数的指令：既指令的两个操作数均在存储器



格式 3：操作码扩展指令格式

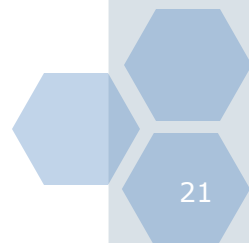
OP——指令操作码，4 位，是单寄存器地址指令（16 条）的操作码，可通过 I_7 I_6 为 11 方式实现散转。

17 16 15 14 13 12 11 10



SR/DR 同上。

ADDR/DISP/X——指令的第二个字，为寻址方式中所用到的立即数 DATA、直接 / 间接地址 ADDR，或者是相对寻址的偏移量 DISP，或者是变址寻址的形式地址 X。





② 模型机寻址方式

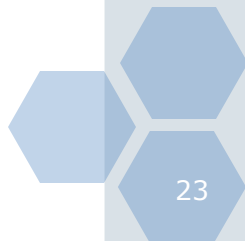
- 模型机的指令系统，可实现：寄存器直接、寄存器间接、直接、间接、相对、变址、立即数 **7 种基本寻址方式**。
- 对于其中相对复杂的寻址方式（直接、间接、相对、变址），可以由指令中的 MOD 字段来定义。
- 简单的寻址方式可以直接由指令操作码指定。
- 注意：任何一种寻址方式，均可以直接由指令操作码隐含指定。
- 用户也可以根据需要，**自行设计**一些特殊的寻址方式，例如相对 SR 的偏移量寻址方法，即 $EA = (SR) + A_{DDR}$ 。



带寻址方式 MOD 的指令格式（格

❖ 对于指令格式 2，假设定义：

- MOD=00：直接寻址，则有效地址 $EA=ADDR$ ，操作数 = $(ADDR)$ ；
- MOD=01：间接寻址，则有效地址 $EA=(ADDR)$ ，操作数 = $((ADDR))$ ；
- MOD=10：变址寻址，则有效地址 $EA=(SI)+X$ ，操作数 = $((SI)+X)$ ；其中 SI 为变址寄存器，隐含为 R2；
- MOD=11：相对寻址，则有效地址 $EA=(PC)+DISP$ ，操作数 = $((PC)+DISP)$ ；





③ 模型机指令系统设计

■ 指令设计原则

- ①指令的格式必须按照规定的格式设计，即**操作码 OP**、**源寄存器号 SR**、**目的寄存器号 DR**必须按格式规定固定长度和位置，若按照格式 2 设计指令，则操作码 OP 分为两段。
- ②寻址方式的设计，可以根据需要，或由 MOD 字段定义，或由操作码隐含指定。
- ③指令类型及功能的设计，只需满足程序设计的要求和需求即可。
- ④指令操作码的分配设计，要注意规整性。

■ 模型机指令设计举例 1

■ 模型机指令设计举例 2





指令系统 1 举例

- ❖ 不用专门的 MOD 字段指出寻址方式，寻址方式由指令码定义。

1. MOV1 #DATA, Rd;
DATA → Rd

0000	**	Rd
DATA		

2. MOV2 Rs, [Addr];
(Rs) → Addr

0001	Rs	**
Addr		

3. ADD [Addr], Rd;
(Addr) + (Rd) → Rd

0100	**	Rd
Addr		

返回

4. IN Rd,[Addr];
(Port Addr)→Rd

11	0000	Rd
Port Addr		

5. OUT [Addr],Rs;
(Rs)→ Port Addr

11	0001	Rs
Port Addr		

6. Jmp [Addr];
(Addr)→ PC

11	0010	**
Addr		

7. HLT

11	0011	**
----	------	----

8. DEC Rd ; (Rd)-1 →Rd

11	0100	Rd
----	------	----

9. INC Rd ; (Rd)+1 →Rd

11	0101	Rd
----	------	----

10. JZ Addr ; FZ=1, 则 Addr
r→PC; 否则结束

11	0110	**
Addr		

返回

程序

功能

汇编结果
(M 地址 : 机器指令)

MOV1 #04H, R1



04H→R1

MOV2 R1, [11H]



(R1) →11H

IN [01H], R1



(INPUT DEVICE) →R1

MOV2 R1, [10H]

(R1) →10H

IN [01H], R1

(INPUT DEVICE) → (R1)

ADD [10H], R1



(10H) + (R1) →R1

OUT R1, [02H]



(R1) →OUTPUT DEVICE

JMP [11H]



(11H) →PC

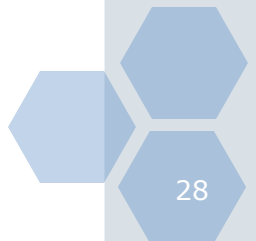




指令系统 2 举例

共有 12 条指令，分为：

1. 5条双寄存器算术逻辑运算类指令
2. 3条单寄存器指令
3. 4条存储器访问类指令
4. 2条I/O指令
5. 2条过程控制类指令
6. 程序设计





5 条双寄存器算术逻辑运算类指令

格式：

17 16 15 14 13 12 11 10

操作码及功能：

OP	SR	DR
----	----	----

助记符	操作码 OP	功能
MOV DR , SR	0000	$(SR) \rightarrow DR$
ADD DR , SR	0001	$(SR) + (DR) \rightarrow DR$
SUB DR , SR	0010	$(DR) - (SR) \rightarrow DR$
AND DR , SR	0011	$(SR) \wedge (DR) \rightarrow DR$
RRC DR , SR	0100	(SR) 进行带进位循环右移 $\rightarrow DR$





3 条单寄存器指令

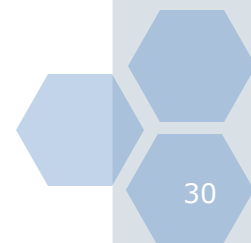
格式:

17 16 15 14 13 12 11 10

操作码及功能:

11	OP	DR/SR
----	----	-------

助记符	操作码 OP	功能
INC DR	1101	$(DR)+1 \rightarrow DR$
DEC DR	1110	$(DR)-1 \rightarrow DR$
CLR DR	1111	$0 \rightarrow DR$





4 条存储器访问类指令

格式:

操作码及功能:

SI 隐含为 R2

17 16 15 14 13 12 11 10

10	MOD	OP2	DR
ADDR/DISP/X			

MOD	寻址方式	EA	助记符	OP ₂	功能
00	直接寻址	ADDR	LDA	00	[EA]→DR
01	间接寻址	[ADDR]	STA	01	(DR) → EA
10	变址寻址	(SI) + X	JMP	10	EA→PC
11	相对寻址	(PC) + DISP	JZC	11	若 FC+FZ=1 , 则 EA→ PC , 否则 , 结束指令





2 条 I/O 指令

格式:

17 16 15 14 13 12 11 10

操作码及功能:

11	OP	DR
PORTAR		

助记符	操作码 OP	功能
IN DR , [PORT AR]	0000	(PORTAR)→DR
OUT DR , [PO RTAR]	0001	(DR)→ PORTAR





2 条过程控制类指令

格式：

式：

■ CALL ADDR

■ (PC) → (SP),

■ (SP) - 1 → SP

DDR → PC

1716151413121110

110010××

ADDR

格式：

式：

■ RET

(SP) + 1 → SP ,

((SP)) → PC

1716151413121110

110011××



地址	机器码	助记符	备注
00H	?	CLR R ₀	R ₀ 当作累加器。
01H	?	LDA R ₂ , [2BH]	R ₂ 当作计数器 / 变址寄存器；其初值 0AH 存放在单元 2BH 中。
02H	?	直接地址 2BH	
03H	?	L1 : LDA R ₁ , [SI	取出需要累加的数据；采用变址寻址方式；第 1 次地址 =29H 。
04H	?	+1FH]	
05H	?	ADD R ₀ , R ₁	累加。
06H	?	DEC R ₂	计数器递减；并影响标志 FZ、FC
07H	?	JZC L2	FC+FZ=1 循环，FC+FZ=0（无借位不为 0）退出循环。
08H	?	相对位移 03H	
09H	?	STA [2AH],R ₀	存储累加和；采用直接寻址方式。
0AH	?	直接地址 2AH	
0BH	?	JMP L1	无条件转移；采用直接寻址方式。
0CH	?	直接地址 03H	
0DH	?	L2: JMP [00H]	转移至 00H 单元。

地址	机器码	助记符	备注
...		
20H	?	N1	数据 1
21H	?	N2	数据 2
...		
29H	?	N10	数据 10
2AH	?	N1+N2+.....+N10	累加和
2BH	?	计数值 0AH	

作业：请仿照前例，写出例 2 给出的程序中每条机器指令对应的二进制代码（用**存储器地址：机器语言程序的形式**写出来）