ЛЕКЦИЯ 6
ВИДОВЕ ОПЕРАЦИИ

- Формат на инструкциите
- Регистър на условията
- Пренос на данни
- Аритметични операции
- Операции с един операнд
- Логически операции
- Изместванията и ротации
- Управление на програмата

ФОРМАТ НА МИ

Операциите, които реализират ЦП, имат **много общи черти**.

Това е **резултат от исторически и** преди всичко от **практически причини**.

Операциите се **класифицират по броя** на техните **операнди**: с един и с два операнда.

МИ с **1 операнд** имат следния формат:

ОП ***приемник*** и реализират $пр := f(пр)$.

За целта става **четене на** $пр$, използване на **АЛУ за** извършване **пресмятане**то и **запис** на резултата **в** ***приемника***.

МИ С ДВА ОПЕРАНДА

МИ с **2 операнда** имат следния формат:

ОП ***приемник***, ***източник.***

Тези МИ реализират $пр := f(пр, изт)$.

За целта става **четене на** $пр$, **четене на** $изт$, използване на **АЛУ за** извършване на **пресмятане**то и **запис** на резултата **в** $пр$.

В някои ЦП **редът е обратен**: **ОП** $изт, пр$.

При **акумулаторен ЦП** обикновено имаме:

ОП $изт$ $acc := f(acc, изт)$ 1-адресни.

При **ЦП с РОП** обикновено имаме:

ОП $рег, изт$ $рег := f(рег, изт)$ 1½-адресни.

ДВА ОПЕРАНДА (прод.)

При повечето РОП има и **инверсна форма**:

ОП $пр, рег$ $пр := f(пр, рег)$ 1½-адресни.

При **2-адресни МИ** може да бъде разрешено и двата операнда да бъдат в ОП и такива МИ реализират действия от типа **памет – памет**.

В повечето случаи (I80x86) **единият** операнд задължително се задава **само с регистрова адресация** и няма действия памет – памет.

Дължината на двата операнда трябва да бъде **една и съща**. Тя **се определя от КОП** на МИ.

Последна редакция 10 Септември 2005 г.

РЕГИСТЪР НА УСЛОВИЯТА

В реалните машинни програми МИ за разклонение (условен преход) обикновено са значителната част (до 20%) от всички МИ.

При ЕП условният оператор има вида If <условие> Then като условието най-често изисква сравняване на две величини.

Аналогичната МИ трябва да бъде 3-адресна, което не е рационално, защото a ? b е еквивалентно на $a-b$? 0, а често са необходими и други оценки на резултата.

За пренос на подобни сведения между 2 МИ се използва регистър, наречен на условията.

ИЗРАБОТКА НА РУ

Регистърът на Условията (РУ) – Condition Code Register (CCR), може да бъде изработен по два начина:

1. n бита с 2^n стойности като всяка от тях посочва едно от взаимно изключващите се условия;
2. съвкупност от n бита като всеки регистрира наличие или отсъствие на определено условие, което е независимо от останалите условия.

Примери:

1. IBM 360 2-битов с 4 стойности: 0 означава резултат =0, 1 – <0, 2 – >0, а 3 е препълване.
2. при съвременните микропроцесори.

ОСНОВНИ УСЛОВИЯ

Броят, названието и предназначението на разрядите за условия са различни, но най-разпространени са следните флагове за условия (PDP–11, M68000, I80x86 и др.):

1. нулев резултат (Zero, ZFlag): 1 ↔ =0, 0 ↔ ≠0;
2. знак, отрицателен резултат (Sign, Negative, SF);
3. препълване (oVerflow, OF) при числа със знак;
4. пренос (Carry, CF) = препълване без знак.

Установяването на флаговете се съобразява с размера на данните: при байтове N е 7-ият бит на резултата, при двойки байтове – 15-ият бит, а при четворки байтове – 31-ят бит.

ДОПЪЛНИТЕЛНИ УСЛОВИЯ

Регистрите на ЦП, вкл. РУ, рядко са 4-битови.

Допълнителните битове на РУ регистрират нови условия или управляват ЦП. Такива са:

5. четност (Parity, PF) на единиците в резултата;
6. разширение (eXtension) като C, но не винаги;
7. полупренос (Half carry) между 3-ти и 4-ти бит;
8. десетична аритметика (Decimal) при 6502;
9. посока (Direction) при I80x86 напред или назад;
10. последна операция (Decimal correction) + или –.

РАБОТА С РУ

Често възниква необходимост за **записване на** определена **стойност в** някой от **флаговете** на РУ. За целта има **специални МИ**:

CLRC C:=0; **CLRV V:=0**; **CLRN N:=0**; **CLRZ Z:=0**;
SETC C:=1; **SETV V:=1**; **SETN N:=1**; **SETZ Z:=1**;

Понякога има **МИ за работа с РУ** като цяло:

ANDCC – **логическо И** с РУ (нулиране);
ORCC – **логическо ИЛИ** с РУ (запис единици);
PUSHCC – **запис** на РУ **в стека**;
PULLCC – **четене** на РУ **от стека**.

КА-06 9/31

МАШИНЕН ЕЗИК

От съществено значение при създаване на МЕ е **правилното кодиране** на операциите.

За тази цел се използват сведения за това **кои операции се използват по-често при писането** на програми.

Такива операции се реализират **с по-богат набор от адресации** на операндите.

За **оптимизиране** на изработката **на ЦП** са полезни и сведения за това **кои операции се изпълняват по-често** от него.

КА-06 10/31

ПРЕНОС НА ДАННИ

Това е **най-често използваната група** при създаване на машинни програми.

Тази група предизвиква и **най-големите спорове** по отношение на **РУ**: за Z и N почти няма спор, но за **C и V** се прилагат различни схеми – **нулиране** или **без промяна**.

Обичайните **названия** са:

LD (**LoaD**) зареждане на **регистър от ОП**;
ST (**STore**) запис на **регистър в ОП**;
MOV (**MOVe**) **пренос**: при **I80x86 единият** операнд **е регистър**, при **PDP–11 и M6800** са допустими и **преноси памет–памет**.

КА-06 11/31

СПЕЦИАЛНИ ПРЕНОСИ

За работа със **стек**:

PDP–11, **M6809**, **M68000** – **ST –(R)** и **LD (R)+**;
Z8000 – специални МИ с **всеки регистър**;
I80x86 – специални МИ, но **само** спрямо **SP**;
M6809 – **PSHS** и **PULS няколко регистъра**;
M68000 – **LDM** и **STM няколко регистъра**.

Регистър – регистър:

TFR (**TransFeR**) и **XCH** (**eXCHange**) – размяна;
SWAP – **размяна на части** от регистър.

Масов обмен на **регистри с ОП**: **LDM** и **STM**.

Блок памет: **I80x86** (**през A**) и др.

КА-06 12/31

АРИТМЕТИЧНИ ОПЕРАЦИИ

Стандартна аритметика:

Събиране – **ADD** пр,изт пр:=∑(пр,изт,0);

Изваждане – **SUB** пр,изт пр:=∑(пр,¬ изт,1) (**SUBtract**);

Сравняване – **CMP** пр,изт ∑(пр,¬ изт,1) (**CoMPare**).

Аритметика **с повишена точност**:

Събиране с пренос – **ADC** пр:=пр + изт + C;

Изваждане със заем – **SBC** пр:=пр – изт – C (**ADd/SuBtract with Carry**).

Размножаване на знак – **SXT** (**Sign eXTend**).

УМНОЖЕНИЕ И ДЕЛЕНЕ

Повечето процесори днес имат и инструкции за **умножение и деление** на числа **със знак**, **без знак** или **и** за **двата вида** числа.

Особеното при тези операции е, че **произведението**, а от там **и делимото**, ще бъде **с удвоена точност** (брой бита).

MUL R_n,изт $R_n,R_{n+1} := R_n \times$ изт (**MULtiply**);

$X.Y = (X_{МЛ} + 2^8.X_{СТ}).(Y_{МЛ} + 2^8.Y_{СТ}) =$ {**дв. точност**}
$= X_{МЛ}.Y_{МЛ} + 2^8.(X_{МЛ}.Y_{СТ} + X_{СТ}.Y_{МЛ}) + 2^{16}.X_{СТ}.Y_{СТ}$

DIV R_n,изт $R_{n+1} := R_n,R_{n+1} /$ изт (**частно**)
(**DIVide**) $R_n := R_n,R_{n+1}$ **mod** изт (**остатък**).

ДЕСЕТИЧНИ ЧИСЛА

Има **няколко системи** за реализиране на работата с опаковани **ДКД числа**:

❶ **IBM–360**: задаване на **броя** на **цифрите** и **знака** в пълен **набор от** аритметични **МИ**.

❷ **6502**: **два режима** на работа **на АЛУ** – двоичен и десетичен, **за ADD и SUB**.

❸ **I80x86** и др.: набор от **МИ за** десетична **корекция след** 8-битова **двоична операция** – **DAA**, **DAS**, **DAM** и **DAD** (**Decimal Adjust**) при опаковани числа, **AAA**, **AAS**, **AAM** и **AAD** (**ASCII Adjust**) при неопаковани.

ПЛАВАЩА ЗАПЕТАЯ

В миналото (**IBM–360** и др.) добавката към ЦП (АЛУ и регистри) за **плаваща запетая се купува допълнително**.

При **първите МП** интеграцията позволява **АЛУ само с 8-битово** събиране и изваждане.

Ако се **оперира УУ на ЦП** на кристала **остава място** за реализиране на разширено АЛУ с ПЗ: +, –, ×, :, e^x, $\ln x$, $\sin x$ и $arctg\ x$.

Тази ИС получава название **математически съпроцесор** (**копроцесор**). **Днес** той **е част от кристала на ЦП**.

ЕДИН ОПЕРАНД

Тъй като при тях адресното **поле за** другия **операнд** (регистър) **е свободно** и обикновено **всички операции** имат **еднакъв КОП**, а **това поле доуточнява** действието им (**икономия**).

Увеличаване с 1 – **INC** пр пр:= пр + 1 (**INCrement**);

Намаляване с 1 – **DEC** пр пр:= пр – 1 (**DECrement**);

Нулиране – **CLR** пр пр := 0 (**CLeaR**);

Допълнение до 1 – **COM** пр пр:=¬ пр (**COMplement**);

Допълнение до 2 – **NEG** пр пр:=¬ пр + 1 (**NEGate**);

Проверка – **TST** пр пр **?** 0 (**TeST**).

КА-06 17/31

INC/DEC И ADD/SUB #1

За какво е необходима **INC пр? ADD пр,#1?**

Двете МИ **не са еднакви за РУ**: **ADD изменя** бит **C**, а **INC запазва** стойността на **този бит**.

INC и **DEC** възникват в **PDP–11/20** за управление на **цикли с преброяване**:

```
REPEAT                      LOOP: …
  . . .                           . . .
  cnt := cnt - 1;                 DEC CNT
UNTIL cnt=0                       BNE LOOP
```

При операции с двойна точност **стойността на бит C** трябва да се пренесе **от края на** едната итерация **в следващата**.

В **PDP–11/45** се появява **SOB** = **DEC + BNE**.

КА-06 18/31

ЛОГИЧЕСКИ ОПЕРАЦИИ

Аритметичните операции третират своите **операнди** като **единно цяло** (01+01=**1**0).

Логическите операции третират операндите си като **масив от битове**: **всеки бит** се определя чрез **операция към съответните му**.

Основните логически операции **са**:

Конюнкция **AND** пр,изт пр := пр ∧ изт;

Дизюнкция **OR** пр,изт пр := пр ∨ изт;

Сума по модул 2 **XOR** пр,изт пр := пр ⊕ изт;

Проверка **BIT** пр,изт пр ∧ изт;

Нулиране (**PDP–11**) **BIC** пр,изт пр:=пр ∧ ¬ изт.

КА-06 19/31

РАБОТА С ЕДИНИЧЕН БИТ

Използването на **логическите** операции **с подходящ непосредствен операнд** може да осигури **работа с единичен бит**.

Някои ЦП имат алтернативни **МИ за работа с единичен бит чрез** посочване на **номера** му:

Нулиране **BCLR** пр,n пр[n] := **0**;

Включване **BSET** пр,n пр[n] := **1**;

Промяна **BCHG** пр,n пр[n] := ¬ пр[n] (**CHanGe**);

Проверка **BTST** пр,n **Z** := пр[n].

Номерът на бита може да се задава **статично с неп. операнд** или **динамично в регистър**.

КА-06 20/31

ИЗМЕСТВАНИЯ

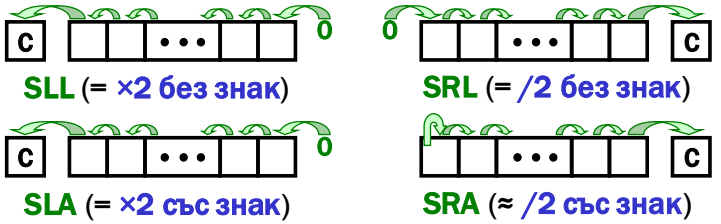
Логическите операции установяват **правилно Z и N**, **нулират V** и **запазват C**.

Основното им **предназначение** е **опаковане и разопаковане** на данни, за което трябва да се допълнят **с измествания** на битовете.

Изместванията (**Shift**) биват **в ляво** (**Left**) и **в дясно** (**Right**), **логически** (**Logical**) и **аритметически** (**Arithmetic**).

Обикновено изместването е **на 1 бит**, но някои ЦП имат **МИ със статично или динамично задаване на броя** на битовете.

ПРИМЕР: ИЗМЕСТВАНЕ



SLL установява **V=0**, а **SLA** – **по промяната на знаковия бит** до и след изместването.

В ляво ≡ **умножение**, **в дясно** ≡ **деление**.

SRA не е точно **делене на 2** поради **различие в окръгляването** при двете МИ.

Логическо ≡ **без** знак, **аритметично** ≡ **със**.

РОТАЦИИ

Ротациите (**Rotation**) са **разширение на измествания**та за увеличаване на размера.

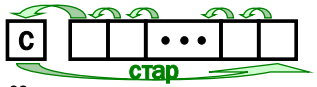
Те биват **със и без** участие на **бит C**.

Установяването на **бит V** в РУ **зависи** от проектанта: в **0 или запазване**.

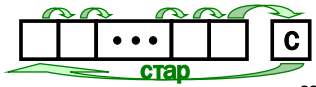
RL (в ляво **без C**)

RR (в дясно **без C**)

RLC (в ляво **със C**)



RRC (в дясно **със C**)



УПРАВЛЯВАЩИ МИ

Те са **изключително важни**, защото са най-елегантният начин за използване на **условни действия** и **повторения в** програми на **МЕ**.

Целта на управляващите МИ е **да се наруши естественият ред за изпълнение**.

Затова се наричат и **инструкции за преход**.

Действието на тези МИ се състои в **замяна на ПБ с** изчисления от адресното поле **ЕА**.

Преходите не променят РУ и могат да бъдат **без** или **със** проверка на някакво **условие** в РУ, **без** или **със възможност за възврат**.

БЕЗУСЛОВЕН ПРЕХОД

Основната МИ за преход е без да се **проверява** каквото и да е **условие** (**винаги**):

JMP пр ПБ := ЕА(пр) (**JuMP**)

Старата стойност на **ПБ се губи**.

Безсмислени (и **забранени**) са **регистрова**та адресация и **непосредствен операнд**.

Всички други обикновено са **разрешени за** да се осигури **гъвкавост** на разклоненията.

Запазването на ПБ осигурява **възможност за възврат** – МИ за **преход към подпрограма**:

CALL пр **Запомни** ПБ, ПБ := ЕА(пр)

КА-06 25/31

ПРЕХОД КЪМ ПОДПРОГРАМА

Съществен елемент на тази МИ е **запазването на** старата стойност на **ПБ** за:

❶ **възстановяване** на прекъснатия естествен ред на изпълнение (възврат);

❷ установяване на **местоположението в ОП**.

Запазване на ПБ **и възврат** (**RETurn**):

❶ **IBM–360 в регистър** (**BAL** R,Адрес; **BALR** R,R_1);

❷ **PDP–8 в Адр** и преход **към Адр+1** (**JMS** Адрес);

❸ **днес в системния стек** (Push(ПБ)); **RET** ПБ:=Pop.

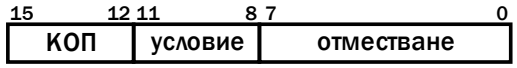
КА-06 26/31

УСЛОВЕН ПРЕХОД

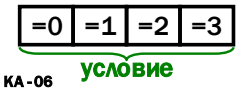
Тези МИ проверяват определено условие и **променят ПБ само при наличието му**.

Обикновено **адресът на прехода** се задава с **относителна адресация**, защото е **наблизо**.

Условието обикновено **се кодира в 4-бита**, **които** при другите МИ **кодират регистър**.



При **монолитен РУ бит 1** посочва **стойност**, **при която** ще се извърши **преход**.



Задаване на условия в **IBM–360** (**B** и **BR**).

КА-06 27/31

ПРОВЕРКА НА БИТОВЕ

При РУ с **независими битове** се кодират следните **16 проверки** (**Branch**):

❶ **без проверка** на условие:

BRA винаги (**Always**) **BRN** никога (**Never**)

❷ проверка на **1 бит**:

BCS при **C=1** (**Set**) **BCC** при **C=0** (**Clear**)

BVS при **V=1** **BVC** при **V=0**

BMI при **N=1** (**MInus**) **BPL** при **N=0** (**PLus**)

BEQ при **Z=1** (**EQual**) **BNE** при **Z=0** (**Not Eq**)

КА-06 28/31

БИТОВЕ В РУ (прод.)

❸ проверка на 2 бита:

BLT: N⊕V=1 (< със зн) BGE: N⊕V=0 (≥ със зн)

BLS: C∨Z=1 (≤ без зн) BHI: C∨Z=0 (> без зн)

❹ проверка на 3 бита:

BLE при (N⊕V)∨Z=1 (≤ със знак)

BGT при (N⊕V)∨Z=0 (> със знак)

❺ Често има и алтернативни названия:

BZ = BEQ Z=1 (Zero) BNZ = BNE Z=0 (Not Z)

BLO = BCS (< без зн) BHS = BCC (≥ без зн)

КА-06 29/31

ДОПЪЛНИТЕЛНИ МИ

За по-голямо удобство при програмирането в групата на управляващите МИ често има и допълнителни МИ, комбиниращи две други:

PDP–11: SOB (Subtract One and Branch);

Z8000: DJNZ (Decrement and Jump if Not Zero);

I80x86: LOOP (брояч е CX или CL).

В съвременните ЦП се наблюдава явна тенденция за включване на допълнителни специализирани МИ, чиято цел е да се улесни преводът от ЕПВР на МЕ.

КА-06 30/31

БЛАГОДАРЯ ВИ ЗА ВНИМАНИЕТО!

БЪДЕТЕ С МЕН И В СЛЕДВАЩАТА ЛЕКЦИЯ, КОЯТО ЩЕ НИ ОТВЕДЕ В НЕВЕРОЯТНИЯ СВЯТ НА ПОДПРОГРАМИТЕ И ПАРАМЕТРИТЕ