B35APO: Architektury počítačů

Lekce 11. Architektura x86

Petr Štěpán
stepan@fel.cvut.cz

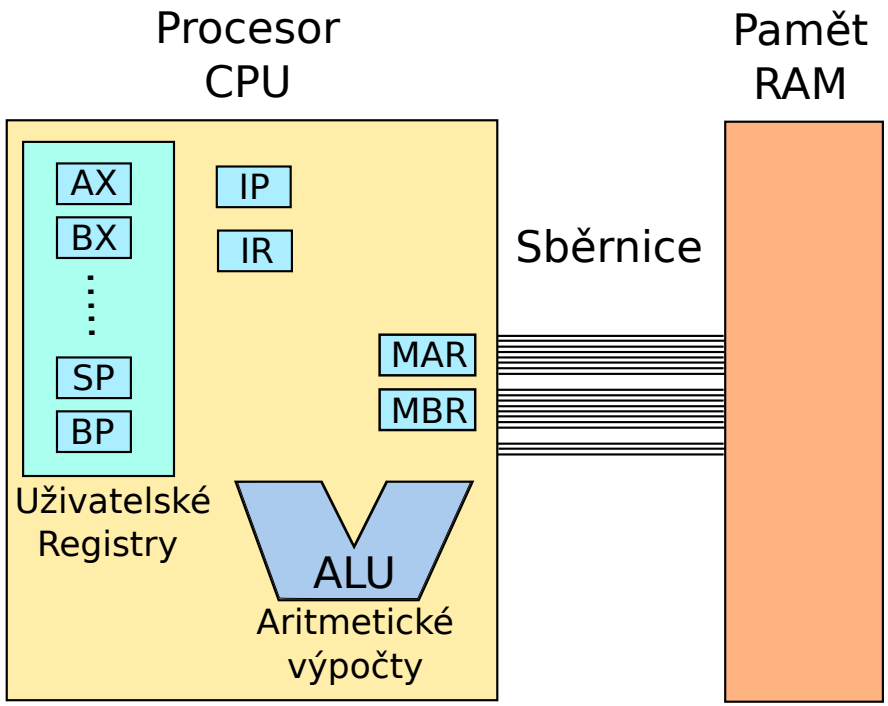
9. května, 2023

Obsah

Procesor – CPU

Základní vlastnosti:

- šířka datové a adresové sběrnice
- počet a velikost vnitřních registrů
- rychlost řídicího signálu – frekvence
- instrukční sada



Historie – x86/AMD64

- x86 - rodina procesorů, x je zkratka pro hodnoty x - 0,1,2,3,4,5,6

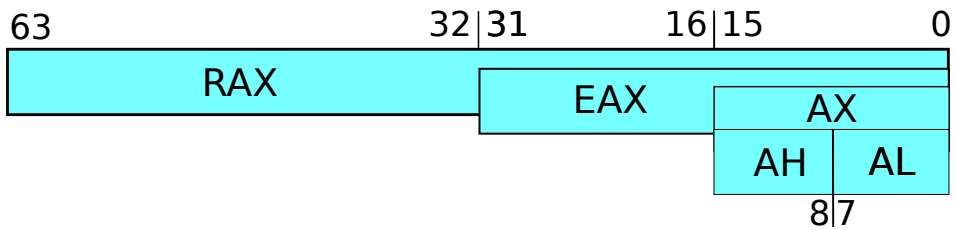
8086 – R16 A20 (1978) první IBM PC (8088 - 1979)
80286 – R16 A24 (1982) protected mode
80386 – R32 A32 (1985) stránkování
80486 – R32 A32 (1989) pipelining, FPU, cache
80586 – R32 A32 (1993) Pentium superscalar
80686 – R32 A36 (1995) Pentium Pro PAE, L2 cache, out-of-order & speculative exec
IA-64 – R64 A52 (2001) Itanium 64-bitová verze
AMD64 – R64 A40 (2003) Athlonn 64-bitová verze od AMD
Core2 – R64 A36 (2006) Intel 64 EM64T, SSSE3, μop, virtualization

- Přehledný popis – `https://en.wikibooks.org/wiki/X86_Assembly`

Registry – x86/AMD64

Uživatelské registry

- Všechny registry vzhledem ke zpětné kompatibilitě jsou 64/32/16/8 bitové
- obecné registry pro ukládání hodnot programu `eax`, `ebx`, `ecx`, `edx`
- registry specializované jako ukazatel do paměti `esi`, `edi`, `ebp`
- `esp` – stack pointer – ukazatel zásobníku - detailněji dále
- AMD64/EM64T přidává 8 dalších registrů `r8`-`r15`,ve formě `r8b` nejnižší bajt, `r8w` nejnižší slovo (16 bitů), `r8d` – nižších 32 bitů, `r8` – 64 bitový registr

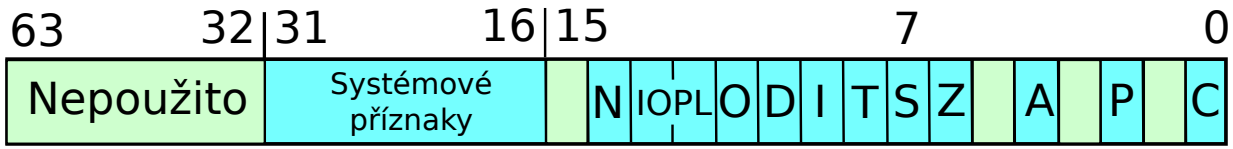


Řídicí a stavové registry

- `IP/EIP/RIP` – instruction pointer – adresa zpracovávané instrukce
- `FLAGS/EFLAGS/RFLAGS` – stav procesoru

Registr FLAGS

RFLAGS registr



C – Carry flag
P – Parity flag
Z – Zero flag
S – Sign flag
O – Overflow flag
A – Auxiliary flag (BCD)

I – Interrupt enable
T – Trap flag
IOPL – I/O privilege level
Systémové příznaky:

- VM – Virtual 8086 Mode
- VIF – Virtual Interrupt Flag
- VIP – Virtual Interrupt Pending

Režimy práce procesoru

FLAGS registr

- Dva režimy práce procesoru IOPL – základ hardwarových ochran
  - CPL0[1] = privilegovaný (systémový) režim
    - procesor může vše, čeho je schopen
  - CPL3 = uživatelský (aplikační) režim
    - privilegované operace jsou zakázány
- Privilegované operace
  - ovlivnění stavu celého systému (halt, reset, Interrupt Enable/Disable, modifikace Flags, modifikace registrů MMU)
  - instrukce pro vstup/výstup (in, out)
- Přechody mezi režimy
  - Po zapnutí stroje systémový režim
  - Přechod do uživatelského – modifikace Flags (popf nebo reti)
  - Přechod do systémového – pouze přerušení vč. programového

[1] Current privilege level

Obsah

Instrukce – x86/AMD64

Instrukce "ulož hodnotu"
(běžně se používají dvě různé syntaxe pro zápis assembleru)

AT&T	**Intel**
`movq` zdroj 64b, cíl	`mov` cíl, zdroj
`movl` zdroj 32b, cíl	
`movw` zdroj 16b, cíl	
`movb` zdroj 8b, cíl	
registry se značí	
`%ax`	pouze `ax`
hodnoty `$`, hex `0x`	číslo, hex postfix `h`
`movl $0xff, %ebx`	`mov ebx, 0ffh`

Pokud je zdroj menší než cíl, existují dvě verze:

- movsX – sign extension, na nejvyšší bity zopakuj znaménko
- movzX – zero extension, nejvyšší bity vynuluj

Instrukce – x86/AMD64

Načti hodnotu z adresy (odkaz do paměti)

AT&T	Intel
`movl (%ecx),%eax`	`mov eax, [ecx]`
`movl 3(%ebx), %eax`	`mov eax, [ebx+3]`
`movl (%ebx, %ecx, 0x2), %eax`	`mov eax, [ebx+ecx*2h]`
`movl -0x20(%ebx, %ecx, 0x4), %eax`	`mov eax, [ebx+ecx*4h-20h]`

- odkaz má 4 složky: *základ+index*měřítko+posun*
- *měřítko* může nabývat hodnot 1,2,4,8
- lze implementovat přístup do pole struktur: *základ* je ukazatel na první prvek, *index*měřítko* říká, který prvek chceme a *posun*, kterou položku uvnitř struktury potřebujeme.
- není potřeba použít všechny 4 složky

Instrukce opakování – x86/AMD64

Instrukce pro řetězce - `REP` opakování pro pole hodnot

- opakuj dokud `ecx>0`:
  - `operace (%esi), (%edi)`
  - `esi += d*operand_size`
  - `edi += d*operand_size`
  - `ecx - -`
- operace může být `movs, cmps, lods, stos, scas, ins, outs`
- `d` - určuje směr a je buď $+1$, nebo -1
- `REP` opakování podle hodnoty `ecx`
- `REPE/REPNE` opakování podle hodnoty `ecx` a podle porovnání
  - operace `cmps` se navíc zastaví, pokud je/není rozdíl mezi `(edi)` a `(esi)`
  - operace `scas` se navíc zastaví, pokud je/není rozdíl mezi `(edi)` a hodnotou v registru `eax`

Instrukce opakování – x86/AMD64

Příklad nastav pole na hodnotu -1:

```
int array[128];
for (int i=0; i<128; i++) {
  array[i]=-1;
}
```

přeloženo:

```
mov   array, %edi   ; Nastav do edi ukazatel na začátek pole
mov   $128,  %ecx   ; Nastav počet opakování
mov   $-1,   %eax   ; Nastav hodnotu pro uložení
rep stosd           ; Vyplň celé pole
```

Instrukce opakování – x86/AMD64

Najdi konec řetězce:

```
char str[128];
int i;
for (i=0; i<128; i++) {
  if (str[i]==0)
    break;
}
```

přeloženo:

```
mov   str,  %edi   ; Nastav do EDI začátek pole
mov   $128, %ecx   ; Nastav počet opakování
mov   $0,   %eax   ; Nastav hodnotu konce řetězce
rep scasb          ; Projdi str a najdi hodnotu 0
```

Instrukce – x86/AMD64

Aritmetika – AT&T syntax

následující instrukce mají argumenty typu X – b, w, l, q

operace co, k čemu	
`addq $0x05,%rax`	rax = rax + 5
`subl -4(%ebp), %eax`	eax = eax – mem(ebp-4)
`subl %eax, -4(%ebp)`	mem(ebp-4) = mem(ebp-4)-eax
`andX` co , k čemu	bitový and
`orX` co , k čemu	bitový or
`xorX` co , k čemu	bitový xor (nejrychlejší vynulování registru)
`mulX` čím	násobení eax číslem bez znamének
`divX` čím	dělení edx:eax číslem bez znamének
`imulX` čím	násobení eax číslem se znaménky
`idivX` čím	dělení edx:eax číslem se znaménky

Instrukce – x86/AMD64

Aritmetika s jedním operandem – AT&T syntax

operace s cim

`incl %eax`	eax = eax + 1
`decw (%ebx)`	mem(ebx) = mem(ebx)-1
`shlb $3, %al`	al = al<<3
`shrb $1, %bl`	bl=11000000, po bl=01100000
`sarb $1, %bl`	bl=11000000, po bl=11100000
`rorX, rolX`	bitová rotace doprava a doleva
`rcrX, rclX`	bitova rotace přes C – carry flag

Instrukce – x86/AMD64

Podmíněné skoky

`test a1, a2`	tmp = a1 AND a2, Z tmp=0, C tmp<0
`cmp a1, a2`	tmp = a1-a2, Z tmp=0, C tmp<0

pak lze použít následující skoky

`jmp kam`	nepodmíněný skok, vlastně `%eip=kam`
`je kam`	jmp equal – skoč při rovnosti
`jne kam`	jmp not equal – skoč při nerovnosti
`jg/ja kam`	jmp greater – skoč pokud je a1 > a2 (sign/unsig)
`jge/jae kam`	skoč pokud je a1 >= a2 (sign/unsig)
`jl/jb kam`	jmp less – skoč pokud je a1 < a2 (sign/unsig)
`jle/jbe kam`	skoč pokud je a1 <= a2 (sign/unsig)
`jz/jnz kam`	skoč pokud je Z=1/0
`jo/jno kam`	skoč pokud je O (overflow) = 1/0

Quiz

Liší se velikost programů pro CISC (x86) a RISC (RISC V)?

A neliší, je přibližně stejná

B programy pro CISC jsou delší

C programy pro RISC jsou delší

Porovnání CISC vs. RISC

CISC programy jsou většinou kratší:

```
incl 10(%ecx)    -        lw   t2, 10(t1)
                          addi t2, t2, 1
                          sw   t2, 10(t1)

rep movs         - l1:    lw   t3, 0(t1)
                          sw   t3, 0(t2)
                          addi t1, t1, 4
                          addi t2, t2, 4
                          addi t4, t4, -1
                          jne  t4, zero, l1
```

Quiz

Jsou programy pro CISC (x86) rychlejší než pro RISC (RISC V)?

A Ano

B Ne

C Jak kdy, záleží na procesoru

Zásobník

Zásobník:

- datová struktura LIFO

Implemetace:

- implementace registrem *SP* - ukazuje na vrchol zásobníku
- konvence - při každém pop se zvětšuje registr *SP* o velikost operandu, při push se *SP* zmenšuje.

`pushl %eax`	ulož eax na zásobník
`popw %bx`	vyber ze zásobníku 2 bajty do *bx*
`pushf/popf`	ulož/vyber register EFLAGS
`pusha/popa`	ulož/vyber všechny uživatelské registry

- operace push vloží data do zásobníku
  - `sub $size, sp`
  - `mov %eax, 0(sp)`
- operace pop vybere data ze zásobníku
  - `mov 0(sp), %eax`
  - `add $size, sp`
- lze k zásobníku přistupovat podobně, jako v RISC-V:
  - `sub $16, sp`
  - `mov %eax, 0(sp)`
  - `mov %ebx, 4(sp)`
  - `mov %ecx, 8(sp)`
  - `mov %edx, 12(sp)`

Kvíz

Který program provede superskalární architektura rychleji:

A

```
push %eax
push %ebx
push %ecx
push %edx
```

B

```
sub $16, sp
mov %eax, 0(sp)
mov %ebx, 4(sp)
mov %ecx, 8(sp)
mov %edx, 12(sp)
```

A Oba přibližně stejně

B A rychleji než B

C B rychleji než A

D Nelze určit

Volání funkce – x86 cdecl

- Volající uloží na zásobník všechny parametry
- Pořadí ukládání na zásobník je od posledního parametru k prvnímu

Volání funkce

`call adr` vlastně `push %eip`, `jmp adr`

Návrat z funkce

`ret` vlastně `pop %eip`

- Návratová hodnota funkce bude uložena v registru eax.
- Registry ebp, ebx, esi, edi nesmí funkce změnit. Pokud je chce funkce využít musí být uložena původní hodnota na zásobník.

Volání funkce – x86 – rámec funkce

Registr ebp ukazuje na zásobník, kam byla uložena stará hodnota rámce předchozí funkce

Úvod funkce – příklad implementace

```
push   %ebp          ; Uložíme hodnotu EBP do zasobníku
mov    %esp, %ebp    ; Nastav EBP na současnou hodnotu zasobníku
sub    $12, %esp     ; Připrav místo na zasobníku pro 12 bajtů
                     ; lokálních proměnných
```

První proměnná bude na adrese `-4(%ebp)`, druha `-8(%ebp)`

První parametr bude na adrese `8(%ebp)`, další `12(%ebp)`

Ukončení funkce:

```
mov    %ebp, %esp    ; Vrať stav zásobníku na původní pozici.
pop    %ebp          ; Obnov puvodní hodnotu registru EBP
ret                  ; Návrat z funkce
```

Speciální instrukce pro návrat z funkce: `leave` vlastně:

```
mov    %ebp, %esp
pop    %ebp
```

Volání funkce – x86 – příklad

Volání funkce:

```
t = secti(1, 2, 3, 4);
```

Překlad do x86

```
push $4
push $3
push $2
push $1
call 10e2 <secti>
add $0x10, %esp
```

Začátek funkce

```
push %ebp
mov  %esp, %ebp
push %ebx
sub  $0x10, %esp
```

Lokální proměnné

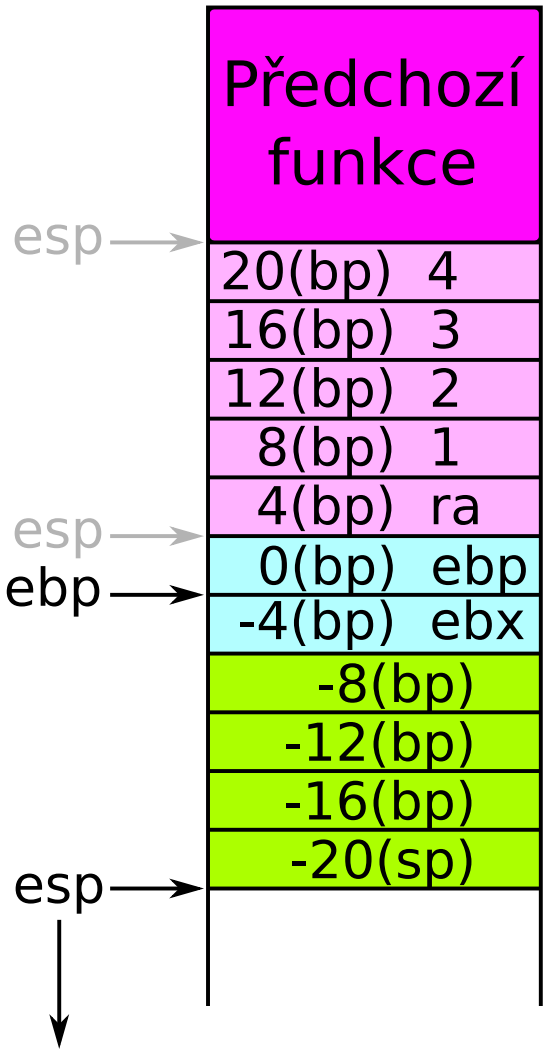
```
mov %eax, -4(ebp)
```

První a druhý parametr:

```
mov 0x8(ebp), %edx
mov 0xc(ebp), %eax
```

Zakončení funkce:

```
leave
ret
```



Volání funkce – AMD64 Linux

- Volající uloží do registrů rdi, rsi, rdx, rcx, r8, r9, zmm0-7 prvních 6 parametrů celočíselných, nebo 8 parametrů reálných čísel
- Ostatní parametry na zásobník

- Návratová hodnota funkce bude uložena v registru rax a rdx.
- Registry rbp, rbx, r12-r15 nesmí funkce změnit. Pokud je chce funkce využít musí být uložena původní hodnota na zásobník.
- Red Zone – zóna 128 bajtů od pointeru rsp, kterou nesmí měnit obsluha přerušení. Tato zóna umožňuje využívat tuto paměť pro dočasné proměnné bez posunování rsp ukazatele. Samozřejmě volání funkce tuto zónu mění.

Funkce zásobníku

Zásobník:

- parametry pro funkci
- kam se vrátit po ukončení funkce, místo odkud program volal funkci
- lokální proměnné funkce
  - zásobník je vetšinou malý
  - omezená velikost lokálních proměnných
  - pozor při rekurzi - lépe se rekurzi vyhnout

Quiz

Mějme program:

```
int factorial (int x) {
  int y;
  if (x<=1) {
    return 1;
  } else {
    y = factorial (x-1)
    return y*x;
  }
}
```

```
int i;
int main() {
  i=10;
  i=factorial (i);
  return i;
}
```

Kde se bude nacházet proměnná i?

A Pro RISC V i pro x86 na zásobníku.
B Pro RISC V dynamicky alokovaná, pro x86 na zásobníku.
C Pro RISC V i pro x86 na místě v paměti určeném při překladu.
D Pro RISC V i pro x86 pouze v registru.

Quiz

Mějme program:

```
int factorial (int x) {
  int y;
  if (x<=1) {
    return 1;
  } else {
    y = factorial (x-1)
    return y*x;
  }
}
```

```
int i;
int main() {
  i=10;
  i=factorial (i);
  return i;
}
```

Kde se bude nacházet proměnná y při překladu bez optimalizace?

A Pro RISC V i pro x86 na zásobníku nebo v registru
B Pro RISC V i pro x86 dynamicky alokovaná
C Pro RISC V i pro x86 na místě v paměti určeném při překladu
D Pro RISC V i pro x86 nelze určit

Quiz

Mějme program:

```
int factorial (int x) {
  int y;
  if (x<=1) {
    return 1;
  } else {
    y = factorial (x-1)
    return y*x;
  }
}
```

```
int i;
int main() {
  i=10;
  i=factorial (i);
  return i;
}
```

Kde se bude nacházet proměnná x při překladu bez optimalizace?

A Pro RISC V i pro x86 na zásobníku
B Pro RISC V v registru, pro x86 na zásobníku
C Pro RISC V v registru a následně bude uložena na zásobník, pro x86 na zásobníku
D Pro RISC V na zásobníku, pro x86 v registru
E Pro RISC V na zásobníku, pro x86 v registru a následně na zásobníku

Quiz

Mějme program:

```
int factorial (int x) {
  int y;
  if (x<=1) {
    return 1;
  } else {
    y = factorial (x-1)
    return y*x;
  }
}
```

```
int i;
int main() {
  i=10;
  i=factorial (i);
  return i;
}
```

Kde se bude nacházet návratová adresa z funkce factorial?

A Pro RISC V i pro x86 na zásobníku
B Pro RISC V v registru, pro x86 na zásobníku
C Pro RISC V v registru a následně bude uložena na zásobník, pro x86 na zásobníku
D Pro RISC V na zásobníku, pro x86 v registru
E Pro RISC V na zásobníku, pro x86 v registru a následně na zásobníku

Instrukce – x86/AMD64

Složitost assembleru

- Algoritmus se dá přeložit různými způsoby do assembleru
- Strojový překlad je někdy hodně kostrbatý
  - např. `mov 0x12345, %esi; mov %esi, %ebx` místo `mov 0x12345, %ebx`
- Různé způsoby pracují různě rychle a jsou rozdílně dlouhé a rozdílně přehledné
  - `xor %ebx, %ebx` je to samé jako `mov $0, %ebx`
  - `lea` adresa, registr – load effective address – nastaví hodnotu ukazatele do zadaného registru
  - `lea -12(%esp), %esp` je to samé jako `sub $12, %esp`
  - lea je výhodnější vzhledem k předzpracování instrukcí, nezatěžuje ALU jednotku (ovšem třeba Atom má zpracování adr. pomalejší než ALU).

Obsah

FPU coprocesor – x87

Speciální součást procesoru pro práci s reálnými čísly

- Podporuje single-32, double-64, extended-80 i exotické formáty BCD
- Obsahuje vlastních 8 registrů o 80 bitech
- Registry jsou organizovány v zásobníku (push, pop), ale umožňují i přímý přístup (0-7)
- Každá operace pracuje s vrcholem zásobníku a jedním dalším registrem, nebo hodnotou
- Původně oddělený procesor, od 486 on-die – na jednom čipu
- Podporuje všechny IEEE-754 operace:
  - fadd, fsub, fmul, fdiv, fsqrt, fcmp, fsin, ...

Způsob práce FPU

Základní operace slouží pro uložení reálného čísla z/do registrů:

- fld - uloží hodnotu z paměti na zásobník registrů – push
- fst - uloží hodnotu z registru do paměti bez pop
- fstp - uloží hodnotu z registru do paměti a udělá pop

Základní operace pro uložení celého čísla (integer) z/do registrů:

- fild - uloží celé číslo z paměti na zásobník registrů – push
- fist - uloží celé číslo z registru do paměti bez pop
- fistp - uloží celé číslo z registru do paměti a udělá pop
- fisttp - uloží zaokrouhlené celé číslo z registru do paměti a udělá pop

Operace FPU

Práci základních operací si ukážeme na sčítání (ostatní operace mají shodný tvar, ST(0) je vrchol zásobníku, ST(1) hodnota pod ním, atd.):

- fadd float/double - přičti obsah paměti k ST(0) a výsledek ulož do ST(0)
- fiadd short/int - přičti celé číslo z paměti k ST(0) a výsledek ulož do ST(0)
- fadd ST(0), ST(i) - sečti obsah ST(0) a ST(i) a výsledek ulož do ST(0)
- fadd ST(i), ST(0) - sečti obsah ST(i) a ST(0) a výsledek ulož do ST(i)
- faddp ST(i), ST(0) - sečti obsah ST(i) a ST(0) a výsledek ulož do ST(i) a udělej pop operaci (zruš hodnotu ST(0))
- faddp - sečti obsah ST(1) a ST(0) a výsledek ulož do ST(1) a udělej pop operaci (zruš hodnotu ST(0))

Operace FPU

Operace SUB a DIV mají navíc i reverzní formu, tedy otočení pořadí operandů (ve všech verzích, jak s pamětí, tak s registry):

- fsub ST(0), ST(i) - výsledek ST(0) - ST(i) ulož do ST(0)
- fsubr ST(0), ST(i) - výsledek ST(i) - ST(0) ulož do ST(0)

Unární funkce sin, cos:

- fsin/fcos - ST(0) nahraď hodnotou sin/cos(ST(0))

Logaritmus - výpočet $y \cdot \log_2 x$:

- fyl2x - ST(1) nahraď hodnotou ST(1)*(log_2 ST(0)) a udělej pop

Načtení konstant:

- fldz/fld1 - uloží 0.0/1.0 na zásobník
- fldpi/fldl2e - uloží $\pi/\log_2 e$ na zásobník

Příklad programu s FPU

Příklad výpočtu 1.1*2.2+sin(3.3):

```
fldl    adr_1.1   ; Nacteme prvni operand
fmull   adr_2.2   ; Vynasobime prvni op druhym op
fldl    adr_3.3   ; Nacteme treti operand
fsinl             ; Spocti sin tretiho operandu
faddp             ; Secti dve cisla a ponech jen soucet
fstp    adr_vysl  ; Uloz vysledek do pameti
```

FPU pro RISC V

- Dvě rozšíření RV64F – float, RV64D – double
- 32 interních registrů, buď o velikosti 32 bitů pro float, nebo o velikosti 64 bitů pro double
- Nové instrukce pro načtení load a store – flw, fsw (fld, fsd)
- Nové instrukce pro operace:
  - fadd.s, fsub.s, fmul.s, fdiv.s (*.d pro double)
  - fadd.s F[rd]=F[rs1]+F[rs2]
  - fsqrt.s – square root – odmocnina F[rd] = sqrt(F[rs1])
  - fmadd.s – násob a sečti, F[rd]=F[rs1]*F[rs2]+F[rs3]
  - fmsub.s – násob a odečti, F[rd]=F[rs1]*F[rs2]-F[rs3]
  - fmin.s – F[rd] = (F[rs1]<F[rs2]) ? F[rs1] : F[rs2]
  - převody mezi float, double a celými čísly

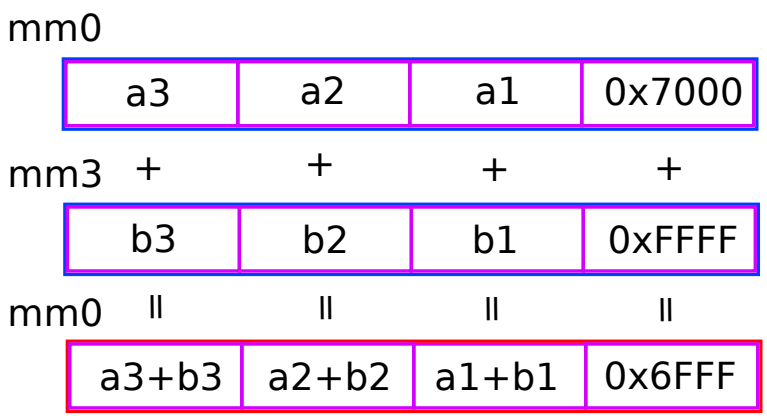
Obsah

SIMD - MMX

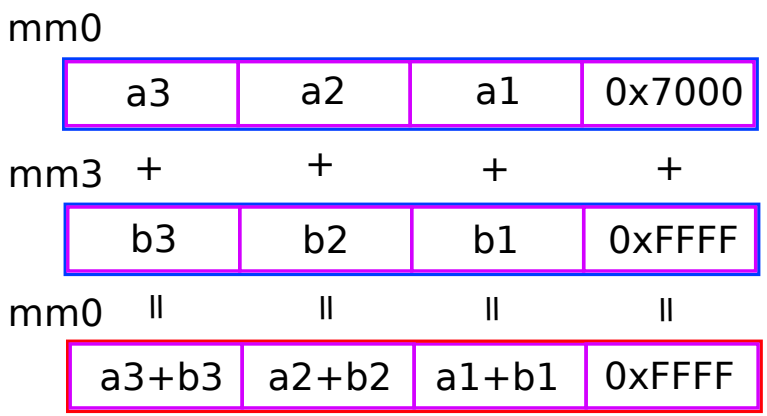
- SIMD - Single Instruction Multiple Data - provedení jednoho typu instrukce na více datech najednou
- MMX - MultiMedia eXtension (někdy se vysvětluje jako Multiple Math eXtension)
- Využívají stejné registry jako FPU x87, nelze je tedy používat současně
- 64-bitový registr může fungovat v následujících módech:
  - B - 8× bajt
  - W - 4× short int
  - D - 2× int
- Operace:
  - Aritmetické - sčítání, odčítání, násobení
  - Logické - and, or, rotace, porovnání
  - Konverze - pack, přesuny mezi registry

MMX operace

`PADDW` - součet po částech (packed)

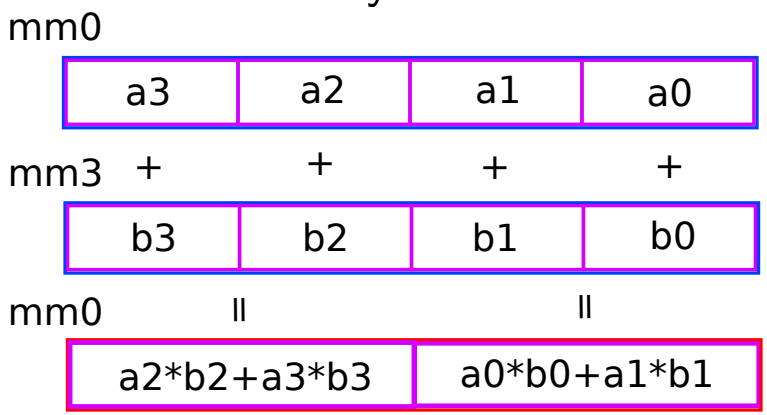


`PADDUSW` - součet saturovaný (bez přetečení)

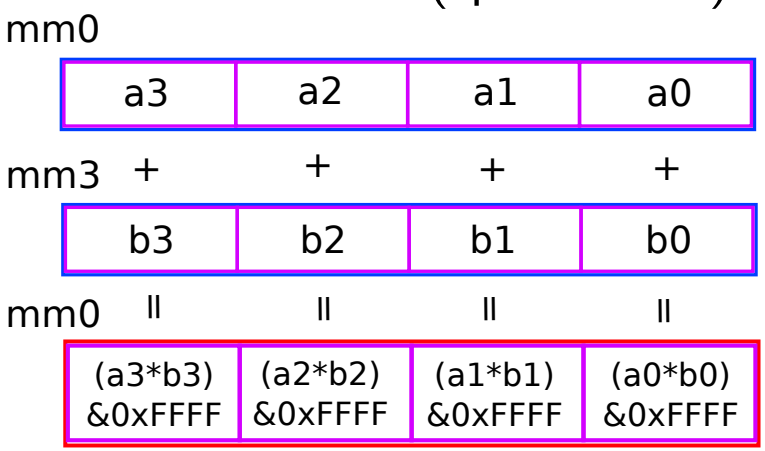


MMX operace

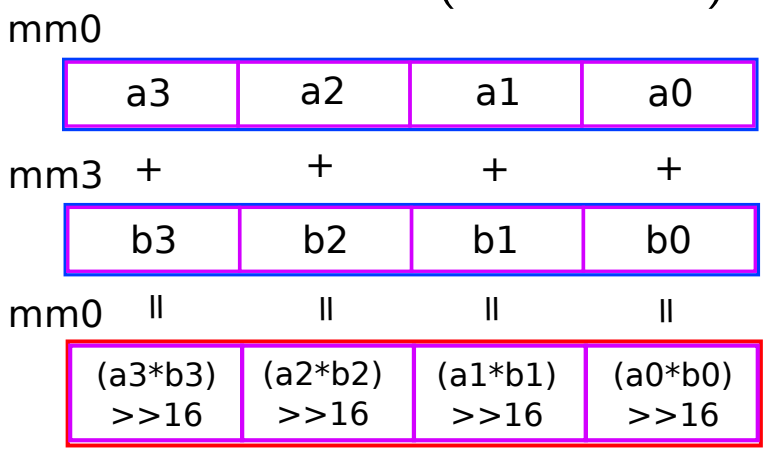
PMADDWD - vynásob a sečti



PMULLW - součin (spodní část)



PMULHW - součin (vrchní část)



MMX příklad

Maskování obrazu v obraze:

```
unsigned char mask[size],
 obr1[size ],  obr2[size ];
if  (mask[i]==0) {
   new_img[i] = obr1[i];
} else  {
   new_img[i] = obr2[i];
}
```

MMX implementace 8 pixelů najednou

```
movq    mask_ptr, %mm0
pcmpeqb %mm0, 0
movq    %mm0, %mm1
pand    %mm1, obr1_ptr
pandn   %mm0, obr2_ptr
por     %mm0, %mm1
movq    %mm0, new_img_ptr
```

3Dnow! rozšíření MMX

- Rozšíření 3Dnow! přidalo ve stávajících registrech `mm0-mm7` práci s reálnými čísly.
- Umožňuje pouze dělení registru na dvě reálná čísla po 32bitech
- Přidává konverzi celých čísel na reálná čísla a zpět, také pomocí průměrování 8-bitových a 16-bitových celých čísel
- Sčítání, odčítání, násobení, dělení reálných čísel po složkách
- Porovnávání reálných čísel a nalezení minim a maxim

Obsah

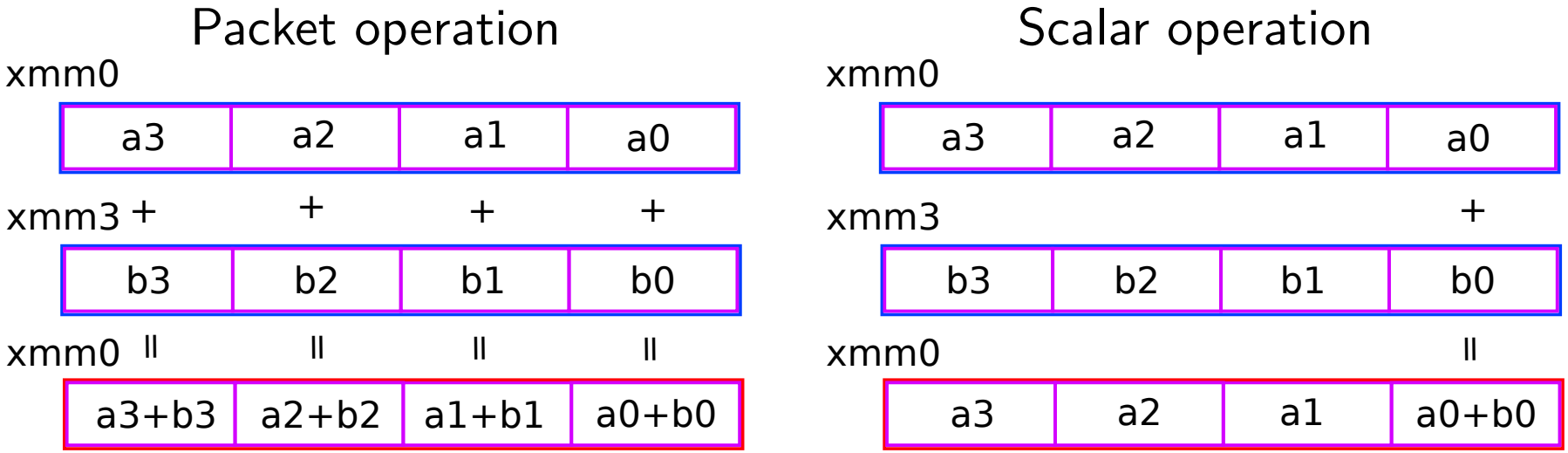
SSE další SIMD

- SSE - Streaming SIMD Extension
- nové registry xmm0-xmm7
- každý registr 128-bitů, možné dělení
- 4× float - 32-bitové reálné číslo
- 2× double - 64-bitové reálné číslo
- rozšíření celočíselných operací MMX na 128-bitové registry

Instrukce SSE

- Operace: packet suffix -ps, scalar suffix -ss
- Uložit z/do paměti: mov
- Aritmetické operace float: add, sub, mul, div, rcp, sqrt, max, min, rsqrt
- Logické operace: and, or, xor, andn
- Porovnání: cmp, comi, ucomi
- Scalar operation: addss, subss, mulss, divss

Packet SSE


Packet operation
xmm0
a3
a2
a1
a0
xmm3
+
+
+
+
b3
b2
b1
b0
xmm0
=
=
=
=
a3+b3
a2+b2
a1+b1
a0+b0
Scalar operation
xmm0
a3
a2
a1
a0
xmm3
+
b3
b2
b1
b0
xmm0
=
a3
a2
a1
a0+b0

Rozšíření SSE

Další rozšíření:

- SSE2 - přidala dalších 144 nových instrukcí
- SSE3 - dalších 13 instrukcí
- SSSE3 - dalších 16 instrukcí
- SSE4 - dalších 47 nových instrukcí
- SSE4.2 - dalších 170 nových instrukcí