Operační systémy 1

Řízení výpočtu a přístup k paměti

Petr Krajča

Katedra informatiky
Univerzita Palackého v Olomouci

Adresace paměti

- lineární struktura s pevnou délkou a náhodným přístupem
- přímá adresa – ukazuje na pevně dané místo v paměti
- nepřímá adresa – před přečtením hodnoty se vypočítá z hodnot registrů podle vzorce:

$$adresa = posunuti + baze + index \times factor$$

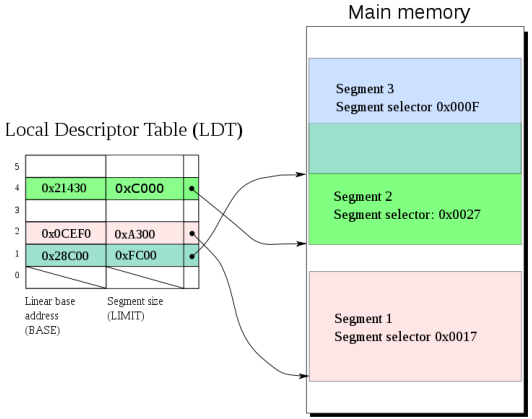
- posunutí je konstanta
- báze a index jsou registry
- factor je číslo 1, 2, 4, nebo 8
- kteroukoliv část vzorce lze vypustit

Adresace paměti v assembleru x86

- v assembleru se čtení/zápis do paměti zapisuje ve tvaru:
  `velikost PTR [ ... ]`
- kde *velikost* může být (podle velikosti): `BYTE`, `WORD`, `DWORD`
  ```
  mov dword ptr [ebx], eax
  add ax, word ptr [ebx + esi * 2 + 10]
  ```
- pokud lze odvodit velikost dat z použitých registrů, je možné vypustit `velikost PTR`
  ```
  mov [eax], ebx
  add ax, [ebx + esi * 2 + 10]
  ```
- **Pozor!!!** `mov` **word ptr** `[eax + esi * 2 + 100], 42`
- při přístupu k proměnným ve VS jsou adresy doplněny automaticky
- `mov eax,` a je ve skutečnosti:
  `mov eax, dword ptr [ebp -` *n*`]`

Segmentace x86

- i386 má ve skutečnosti 48bitové adresy: selector (16 b) + offset (32 b)
- selector je určen pomocí segmentových registrů (CS, DS, SS, ES, FS, GS)
- segmentový registr většinou určen implicitně $\Longrightarrow$ pracuje se jen s offsetem
- lineární adresa = DT[selector] + offset (kde DT je LDT nebo GDT)



Vztah adresace paměti procesoru a jazyka C (1/2)

Dereference

```
mov eax, dword ptr [ebx]          ;; eax := *ebx
```

Pole

```
short *a = malloc(sizeof(short) * 10);
_asm {
    mov ebx, a
    mov ax, [ebx + esi * 2]       ;; ax := a[esi]
}
```

Vztah adresace paměti procesoru a jazyka C (2/2)

Strukturované hodnoty

```
struct foo { int x; int y; int z[10]; };
struct foo *a = malloc(sizeof(struct foo));
_asm {

    mov ebx, a
    mov [ebx], ecx                ;; a->x := ecx
    mov [ebx + 4], ecx            ;; a->y := ecx
    mov [ebx + esi * 4 + 8], ecx ;; a->z[esi] := ecx

}
```

Zarovnání hodnot (1/2)

- adresa paměti `mem` je zarovnaná na `n` bytů, pokud je `mem` násobkem `n`
- z paměti procesor čte celé slovo (např. 32 bitů) $\Longrightarrow$ vhodné, aby čtená hodnota ležela na zarovnané paměti (rychlejší přístup, snažší implementace CPU)
- některé CPU neumožňují číst data z nezarovnané adresy (RISC), jiné penalizují zpomalením výpočtu
- hodnoty jsou zarovnávány na svou velikost, např.
  - `char` na 1B,
  - `short` na 2B,
  - `int` na 4B, atd.
- tzn. hodnoty typu short jsou v paměti vždy na adresách, které jsou násobky 2, hodnoty int na násobcích 4, atd.
- velikost struktur se obvykle zakrouhluje na 4 nebo 8B (směrem nahoru)

Zarovnání hodnot (2/2)

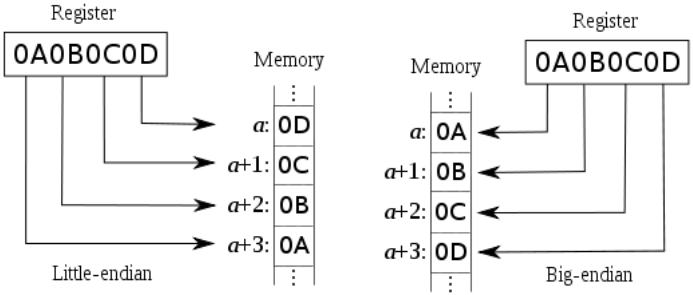
- Příklad:

```
struct foo {
    char a;
    /* mezera 3B */
    int b;
    char c;
    /* mezera 1B */
    short d;
};
```

- toto je chování překladače; lze jej změnit (je-li to nutné)

Uložení vícebytových hodnot: endianita

- liší se mezi procesory $\Longrightarrow$ potřeba brát v úvahu při návrhu datových formátů a protokolů
- **little-endian**: hodnoty jsou zapisovány od nejméně významného bytu (x86, Amd64, Alpha, ...)
- **big-endian**: hodnoty jsou zapisovány od nejvýznamějšího bytu (SPARC, IBM POWER, Motorola 68000, ...
- **bi-endian**: ARM, PowerPC, SparcV9, IA-64, ... (za určitých okolností lze přepínat)



Reprezentace hodnot

- čísla jsou v doplňkovém kódu (zápornou hodnotu dostaneme tak, že provedeme inverzi bitů a přičteme 1) $\Longrightarrow$ snadná manipulace
- znaménkové a neznaménkové typy (`unsigned int` vs. `int`)!!!
- pokud se hodnota nevejde do rozsahu typu $\Longrightarrow$ přetečení/podtečení

```
char a = 127 + 1;           // => -128
unsigned char c = 255 + 1;  // => 0
char b = -10 - 120;         // => 126
```

BCD (Binary Coded Decimal)

- čísla v desítkové soustavě 4b na cifru

Řetězce (1/2)

ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

- způsob kódování znaků
- původně použité 7bitové hodnoty (později rozšířeny na 8 bitů)
- řídící znaky (CR, LF, BELL, TAB, backspace, atd.)
- národní abecedy – horní polovina tabulky, kódování ISO-8859-X, Windows-125X, atd.

Unicode

- znaková sada (definuje vazbu číslo $\Leftrightarrow$ znak)
- několik tzv. *rovin* po 65535 znacích (v současnosti 110.000+ znaků)
- první rovina se nazývá základní (Basic Multilingual Plane, BMP) – znaky západních jazyků

UCS (Universal Character Set)

- způsob kódování znaků Unicode
- pevně daná velikost
- UCS-2 – 16 bitů na znak, odpovídá základní rovině UNICODE
- UCS-4 – 32 bitů na znak, všechny znaky UNICODE

Řetězce (2/2)

UTF-8 (Unicode Transformation Format)

- kódování znaků s proměnlivou délkou
- zpětně kompatibilní s ASCII

bity	rozsah UNICODE	byte 1	byte 2	byte 3	byte 4	byte 5	byte 6
7	0000–007f	0xxxxxxx					
11	0080–07ff	110xxxxx	10xxxxxx				
16	0800–ffff	1110xxxx	10xxxxxx	10xxxxxx			
21	10000–1fffff	11110xxx	10xxxxxx	10xxxxxx	10xxxxxx		
26	200000–3ffffff	111110xx	10xxxxxx	10xxxxxx	10xxxxxx	10xxxxxx	
31	4000000–7fffffff	1111110x	10xxxxxx	10xxxxxx	10xxxxxx	10xxxxxx	10xxxxxx

UTF-16

- proměnlivá délka kódování
- rozšiřuje UCS-2
- varianty UTF-16BE or UTF-16LE
- Byte Order Mark (BOM) – umožňuje určit typ kódování (0xffef nebo 0xfeff)

Intel x86: Příznaky

- jednotlivé operace nastavují hodnoty bitů v registru EF
- záleží na operaci, které příznaky nastavuje
- **příznaky pro řízení výpočtu**
  - SF (sign flag) – podle toho, jestli výsledek je nezáporný (0) nebo záporný (1)
  - ZF (zero flag) – výsledek byl nula
  - CF (carry flag) – výsledek je větší nebo menší než největší/nejmenší možné číslo
  - OF (overflow flag) – příznak přetečení znaménkové hodnoty mimo daný rozsah
- **další příznaky**
  - AF (auxiliary carry flag) – přenos ze čtvrtého do pátého bitu (BCD čísla)
  - PF (parity flag) – nastaven na jedna při sudé paritě (pouze dolních 8 bitů)
- **řídící příznaky**
  - TF (trap flag) – slouží ke krokování
  - DF (direction flag) – ovlivňuje chování instrukcí blokového přesunu
  - IOPL (I/O privilege level) – úroveň oprávnění (2 bity, pouze jádro)
  - IF (Interrupt enable flag) – možnost zablokovat některá přerušení (pouze jádro)

Intel x86: Běh programu a podmíněné skoky

- program zpracovává jednu instrukci za druhou (pokud není uvedeno jinak) $\Longrightarrow$ skok
- nepodmíněný skok
  - operace `JMP r/m/i` – ekvivalent GOTO (použití při implementaci smyček)
- není přítomná operace ekvivalentní `if`
- podmíněný skok je operace ve tvaru Jcc, provede skok na místo v programu, pokud jsou nastaveny příslušné příznaky
- např. `JZ i` (provede skok, pokud výsledek předchozí operace byl nula), dál `JNZ`, `JS`, `JNS`, ...

Porovnávání čísel

- srovnání čísel jako rozdíl (operace `CMP r/m, r/m/i`, je jako `SUB`, ale neprovádí přiřazení
- `JE` skok při rovnosti, `JNE`, při nerovnosti (v podstatě operace `JZ` a `JNZ`)
- a další operace

Výpočet faktoriálu: Intel x86

```
00000000 <main>:
 0:   8b 4c 24 04             mov    ecx,DWORD PTR [esp+0x4]
 4:   b8 01 00 00 00          mov    eax,0x1
 9:   83 f9 00                cmp    ecx,0x0
 c:   0f 8e 0a 00 00 00       jle    1c <main+0x1c>
12:   f7 e9                   imul   ecx
14:   83 e9 01                sub    ecx,0x1
17:   e9 ed ff ff ff          jmp    9 <main+0x9>
1c:   c3                      ret
```

Intel x86: Podmíněné skoky a porovnán

- příklad použití
- podmíněné skoky po porovnání neznaménkových hodnot

instrukce	alt. jméno	příznaky	podmínka
JA	JNBE	(CF and ZF) = 0	$A > B$
JAE	JNB	CF = 0	$A \geq B$
JB	JNAE	CF = 1	$A < B$
JBE	JNA	(CF or ZF) = 1	$A \leq B$

- podmíněné skoky po porovnání znaménkových hodnot

instrukce	alt. jméno	příznaky	podmínka
JG	JNLE	(SF = OF) & ZF = 0	$A > B$
JGE	JNL	(SF = OF)	$A \geq B$
JL	JNLE	(SF $\neq$ OF)	$A < B$
JLE	JNL	(SF $\neq$ OF) nebo ZF = 1	$A \leq B$

Smyčky

- pro snadnější implementaci cyklů byly zavedeny speciální operace
- `JECXZ`, `JCXZ` – provede skok pokud registr ECX/CX je nulový (není potřeba explicitně testovat ECX)
- `LOOP` – odečte jedničku od ECX a pokud v registru ECX není nula provede skok

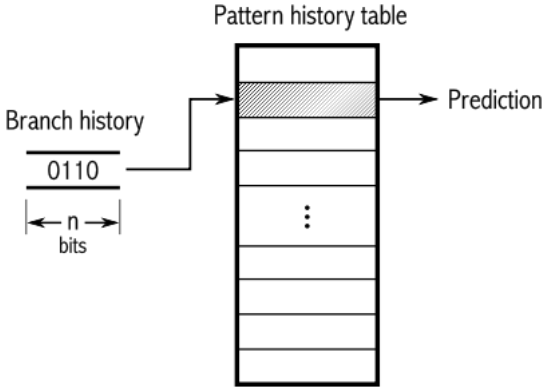
Poznámky

- uvádí se, že složené operace jsou pomalejší než jednotlivé kroky
- (obecně) podmíněné skoky zpomalují běh programu $\Longrightarrow$ zrušení výpočtu v pipeline
- procesory implementují různé heuristiky pro odhad jestli daný skok bude proveden
  - statický přístup (např. u skoků zpět se předpokládá, že budou provedeny)
  - dynamický přístup (na základě historie skoků se rozhodne)
  - nápověda poskytnutá programátorem (příznak v kódu)

Odhad skoků (Branch Prediction)

- procesory používají kombinace výše zmíněných metod (hlavně dynamický odhad); různé metody
- čtyřstavové počítadlo:
- při každém průchodu procesor ukládá do Branch Prediction Buffer (2b příznak jestli byl skok proveden nebo ne) a postupně přechází mezi čtyřmi stavy:
  - 11 – strongly taken
  - 10 – weakly taken
  - 01 – weakly not taken
  - 00 – strongly not taken
- až na stav 00 předpokládá, že skok bude proveden
- velikost BPB a počáteční stav počítadla se mezi procesory liší
- problém: pravidelné střídání úspěšnosti $\Longrightarrow$ dvouúrovňový odhad (vzor chování)

Two-level adaptive predictor



- pro každý vzor existuje odhad založený na výše zmíněném přístupu
- velikost vzoru zavisí na procesoru
- globální vs. lokální tabulka

Zásobník

- procesor má vyčleněný úsek paměti pro zásobník (LIFO) $\Longrightarrow$ mezivýpočty, návratové adresy, lokální proměnné, ...
- procesory i386 mají jeden zásobník, který roste shora dolů
- registr ESP ukazuje na vrchol zásobníku (`mov eax, [esp]` načte hodnotu na vrcholu zásobníku)
- uložení/odebrání hodnot pomocí operací:

```
PUSH r/m/i          ;; sub esp, 4
                    ;; mov [esp], op1

POP r/m             ;; mov op, [esp]
                    ;; add esp, 4
```

Volání podprogramů/funkcí

- k volání podprogramu se používá operace `CALL r/m/i` $\Longrightarrow$ uloží na zásobník hodnotu registru IP a provede skok

```
push eip            ;; tato operace neexistuje
jmp <addr>
```

- k návratu z funkce se používá operace `RET` $\Longrightarrow$ odebere hodnotu ze zásobníku a provede skok na adresu danou touto hodnotou
- použití zásobníku umožňuje rekurzi

Volání funkcí

- předání parametrů
- vytvoření lokálních proměnných
- provedení funkce
- odstranění informací ze zásobníku
- návrat z funkce, předání výsledku

Konvence volání funkcí (1/2)

- způsob jakým jsou předávány argumenty funkcím jsou jen konvence (specifické pro překladač, i když často součástí specifikace ABI OS)
- předávání pomocí registrů (dohodnou se urč. registry), příp. zbývající argumenty se uloží na zásobník
- předávání argumentů čistě přes zásobník
- kdo odstraní předané argumenty ze zásobníku? (volaná funkce nebo volající?)
- Konvence C (cdecl)
  - argumenty jsou předané čistě přes zásobník
  - zprava doleva
  - argumenty ze zásobníku odstraňuje volající
  - umožňuje funkce s proměnlivým počtem parametrů
- Konvence Pascal (pascal)
  - argumenty jsou předané čistě přes zásobník
  - zleva doprava
  - argumenty ze zásobníku odstraňuje volaný
  - neumožňuje funkce s proměnlivým počtem parametrů

Konvence volání funkcí (2/2)

- Konvence fastcall (fastcall, msfastcall)
  - první dva parametry jsou předány pomocí ECX, EDX
  - zbylé argumenty jsou na zásobníku zprava doleva
  - argumenty ze zásobníku odstraňuje volaný
  - mírně komplikuje funkce s proměnlivým počtem parametrů
  - pod tímto jménem mohou existovat různé konvence
- návratová hodnota se na i386 obvykle předává pomocí registru EAX, příp. EDX:EAX