B4B35OSY: Operační systémy

Lekce 8: Bezpečnost (security)

Michal Sojka
michal.sojka@cvut.cz

26. listopadu, 2018

Osnova

Obsah

Co je to bezpečnost?

- Pro každého něco jiného

Počítačová (kybernetická) bezpečnost

Information security

- Ochrana **mých zájmů** (počítačem ovlivnitelných) před nepřátelskými hrozbami
- Velmi individuální a subjektivní
  - Různí lidé mají různé zájmy
  - Různí lidé čelí různým hrozbám
- Neexistují univerzální řešení
  - Je počítač s Windows dostačující k uložení přísně tajných informací?

Počítačová (kybernetická) bezpečnost

Information security

- Ochrana **mých zájmů** (počítačem ovlivnitelných) před nepřátelskými hrozbami
- Velmi individuální a subjektivní
  - Různí lidé mají různé zájmy
  - Různí lidé čelí různým hrozbám
- Neexistují univerzální řešení
  - Je počítač s Windows dostačující k uložení přísně tajných informací?
    - Je připojen k internetu? Kdo k němu má přístup – fyzicky i vzdáleně?
  - Tvrzení, že systém je bezpečný má smysl jen vzhledem k dobře definovaným cílům zabezpečení, které definují
    - hrozby (tj. proti čemu jsme systém zabezpečili – např. napadení známým virem) a
    - bezpečné stavy systému (tj. za jakých podmínek se systém považován za bezpečný – např. antivirus a firewall jsou zapnuty)

Současný stav zabezpečení OS

- Historicky:
  - Zaostával za vývojem potřeb uživatelů
    - Např.: Bezpečnostní řešení byla zaměřena na firemní („enterprise“) zákazníky
  - Zaostával za objevujícími se hrozbami
    - Zaměření na ochranu uživatelů mezi sebou (práva k souborům na disku), ne na ochranu uživatelů před nedůvěryhodnými aplikacemi
- V některých ohledech se zlepšuje:
  - Např. OS chytrých telefonů používají důkladnější zabezpečení než desktopy
  - Méně kritické bezpečnostní díry v běžných OS
- V jiných se zhoršuje:
  - Velikost, funkcionalita a složitost OS stále roste
  - Jen málo lidí skutečné ví, jak psát bezpečný kód
  - Stále více lidí umí na systémy útočit

Bezpečnost operačních systémů

- Co by mělo být cílem OS v oblasti bezpečnosti?
- Minimálně:
  - poskytovat mechanismy umožňující tvorbu bezpečných systémů,
  - které jsou být schopny bezpečně implementovat uživatelem či administrátorem nastavenou politiku
  - a to tak, aby tyto mechanismy nebylo možné obejít.
- Bezpečnost systému je tak silná, jak silný je nejslabší článek.
  - Ďábel je skryt v detailech
  - . . . i proto vás učíme assembler :-)

Dobré mechanismy zabezpečení

- Jsou široce použitelné
- Podporují obecné principy bezpečnosti (viz příští slide)
- Je snadné je správně a bezpečně použít
- Nejsou v rozporu s jinými (nebezpečnostními) prioritami – např. s produktivitou práce.
- Dají se snadno správně implementovat i verifikovat

Zásady bezpečnostního designu

Saltzer & Schroeder [SOSP ’73, CACM ’74]

- **Úspornost mechanismů** – keep it stupid simple (KISS)
- **Bezpečné výchozí nastavení** – vždy dobrá inženýrská praxe
- **Kompletní zprostředkování** – ničemu, co jde “z venku” nevěřit, vše kontrolovat
- **Otevřený návrh** – ne „security by obscurity“
- **Oddělení pravomocí** – možnost dál uživatelům jen ta práva která potřebují (ne, jen běžný uživatel, který nemůže “nic” a root/admin, který může vše)
- **Nejmenší pravomoci** – uživatelé nemají žádná oprávnění, která nepotřebují
- **Co nejméně společných mechanismů** – minimalizace sdílení dat
- **Psychologická přijatelnost** – pokud se to těžce používá, nikdo to používat nebude
  - např. ve starších Windows měl většinou každý uživatel přiřazeny administrátorská práva, protože nebyl jednoduchý způsob, jak tato práva získat jen pro jednu operaci. Škodlivý program je tím pádem mohl automaticky zneužít.

Běžné mechanismy zabezpečení v OS

- Systémy pro kontrolu přístupu
  - kontrola, k čemu může daný proces přistupovat
- Autentizační systémy
  - potvrzení identity toho, jehož „jménem“ proces běží
- Logování
  - Kvůli auditům, detekci útoků, vyšetřování a obnovu
- Šifrování souborových systémů
  - HW lze šifrovat celý disk, SW jen souborový systém (nelze šifrovat partition table)
- Správa pověření (credentials)
- Automatické aktualizace

Bezpečnost je „prorostlá“ celým systémem.

Bezpečnostní politiky

- Definují co má být chráněno a proti komu
- Před nasazením každého systému se nad tím aspoň zamyslete!
- Často se vyjadřují pomocí cílů zabezpečení (CIA vlastnosti):
  - **Důvěrnost** (Confidentiality)
    - X se nesmí dozvědět o Y
  - **Integrita**
    - X nesmí narušit Y
  - **Dostupnost** (Availability)
    - X nesmí způsobit nedostupnost Y pro Z

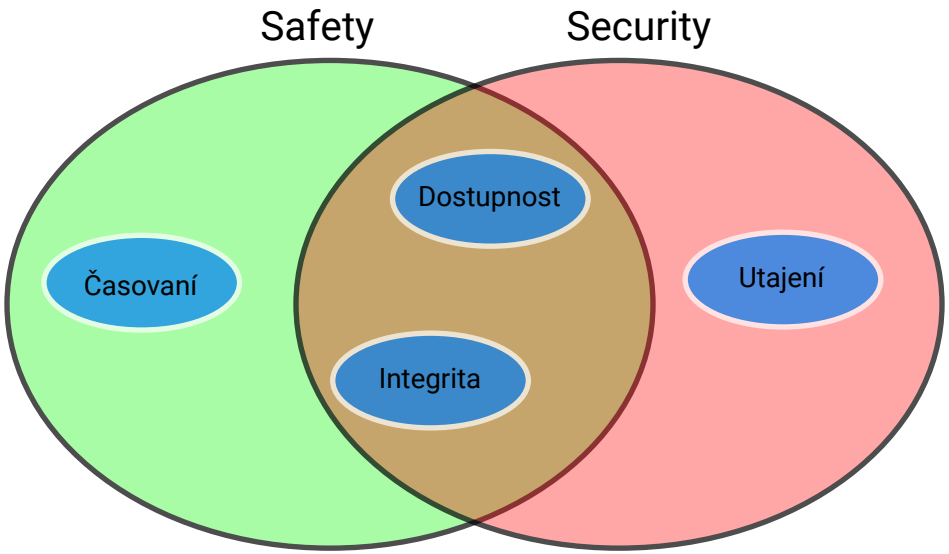
Jeep hack

Miler & Valasek, 2015

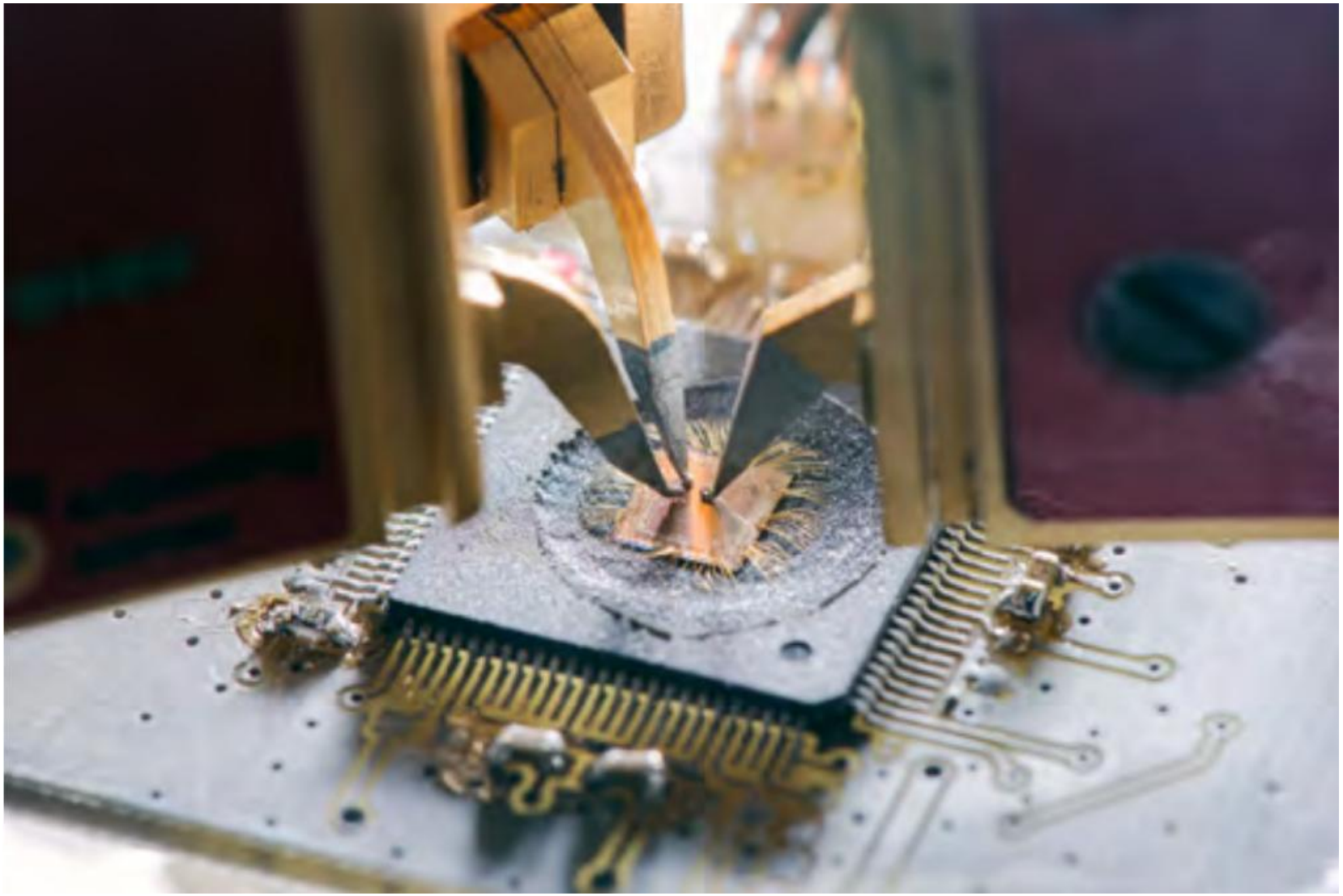
- Služba v „infotainment“ jednotce byla přes DBUS omylem dostupná z internetu
- Nahráli SSH klíč, spustili SSH server, přeprogramovali řadič sběrnice CAN, aby šel ovládat přes sériovou linku z infotainment jednotky, . . .

Více druhů bezpečnosti

- Angličtina rozlišuje dva termíny „safety“ a „security“, které se do češtiny (i jiných jazyků) překládají oba jako bezpečnost.
- **Safety** – ochrana okolí před systémem
  - letadlo nezpůsobí škody v okolí (smrt lidí, škody na majetku)
- **Security** – ochrana systému před okolím
  - hacker neovládne vaše auto
  - teroristé nezpůsobí pád letadla, srážku vlaků
- Vztah cílů zabezpečení k safety a security (výjimky existují):



Útoky jsou sofistikované



Využití postranních kanálů – zde se hledají šifrovací klíče pomocí měření elektromagnetického pole v okolí čipu

Rozdíl mezi politikou a mechanismem

- Politiky doprovázejí mechanismy
  - Politika **řízení přístupu** (access control)
    - kdo má přístup k čemu?
  - Politika **autentizace**
    - je heslo o 5 znacích dostatečné pro přístup do KOSu?
- Politika často omezuje použitelné mechanismy
  - Nestačí heslo, je potřeba se prokázat certifikátem
- Co někdo považuje za politiku, ostatní za mechanismus :-)

Důvěra

- Všechny systémy obsahují entity, kterým se **věří**
  - pokud selžou, systém nemusí být bezpečný
  - hardware, OS, administrátor serveru, . . .
- **Trusted Computing Base** (TCB):
  - množina všech takových entit
  - Co je součást TCB při práci s internetovým bankovnictvím?
- Bezpečné systémy musí mít **důvěryhodné** TCB
  - minimalizace TCB je klíčem k důvěryhodnosti.

Souhrn

- Bezpečnost je velmi subjektivní, jsou potřeba dobře definované cíle zabezpečení
- Bezpečný OS by měl poskytovat:
  - dobré bezpečnostní **mechanismy**
  - podporující různé uživatelské **politiky**.
- Bezpečnost je daná **důvěryhodností** klíčových entit
  - **TCB**: množina všech klíčových entit
  - OS je nezbytně součástí TCB

Obsah

Mechanismy a politiky pro řízení přístupu

- Politika
  - Specifikuje, kdo má povolen přístup k čemu
  - a jak se to může měnit v čase
- Mechanismus
  - Implementuje politiky (viz dále)
- Některé mechanismy nabádají k některým politikám
  - Některé politiky nejdou vyjádřit pomocí mechanismů ve vašem OS

Základní princip

Matice řízení přístupu [Lampson'71] definuje **stav ochrany** v daném čase

- Objekty jsou např. soubory
- Subjekt je např. uživatel
- Subjekty mohou být zároveň objekty

	Obj1	**Obj2**	**Obj3**	**Subj2**
Subj1	R	RW		send
Subj2		RX		control
Subj3	RW		RWX	recv

Ukládání stavu ochrany

- Typicky ne jako matice
  - moc „řídké“, neefektivní, dynamické
- Dvě zřejmé volby:
  1. Ukládání jednotlivých sloupců dohromady s objektem
     - Každý sloupec je nazýván „seznam pro řízení přístupu“ (**access control list**, ACL) daného objektu
  2. Ukládání jednotlivých řádků dohromady se subjektem
     - Definuje objekty, ke kterým má daný subjekt přístup – doména ochrany (**protection domain**) daného subjektu
     - Každý takový řádek je nazýván „seznam schopností“ (**capability list**)

Seznamy pro řízení přístupu (ACL)

- Subjekty jsou obvykle sloučeny do tříd
  - např. v UNIXu: majitel, skupina, ostatní

    ```
    $ ls -ld /var/spool/cups
    drwx--x--- 1 root lp 6754 Nov 22 00:00 /var/spool/cups
    ```

  - obecnější seznamy ve Windows či v současném Linuxu (příkazy `get/setfacl`)
  - mohou obsahovat „negativní“ oprávnění – např. pro vyloučení přístupu několika uživatelů ze skupiny
- Meta-oprávnění
  - řízení členství ve třídách
  - dovolují modifikaci ACL
- Implementováno skoro ve všech komerčních OS

Obj1

Subj1	R
Subj2	
Subj3	RW

Schopnosti (capabilities)

- **Schopnost** [Dennis & Van Horn, 1966] je prvek seznamu schopností

Subj1

Obj1	**Obj2**	**Obj3**	**Subj2**
R	RW		send

  - **Pojmenovává** objekt (aby s ním program mohl zacházet)
  - **Uděluje** k objektu práva
- Všichni, kdo vlastní „schopnost“ mají právo s objektem pracovat
- Použití
  - Méně časté v komerčních systémech
  - KeyKOS (VISA transaction processing) [Bomberger et al, 1992]
  - Capsicum capabilities (FreeBSD)
  - Častěji ve výzkumných OS: NOVA, EROS, L4Re kernel

ACL vs. schopnosti

Seznamy řízení přístupu (ACL)

- Proces musí být schopen **zjistit jaké objekty existují** (pojmenování) a pak teprve je může používat (a nebo mu je k nim přístup odepřen)
- Typicky to řeší tzv. **ambientní autorita** – tj. každý proces má všechna práva uživatele, který ho spustil (např. „vidí“ celý souborový systém a může zjistit, kteří další uživatelé jsou v systému.
  - Pokud program spouští jiný program, potomkovi nelze jednoduše práva omezit.
  - V Linuxu se dnes tento problém řeší pomocí „jmenných prostorů“ (**namespaces**), ale není to elegantní a trpí to některými nedostatky

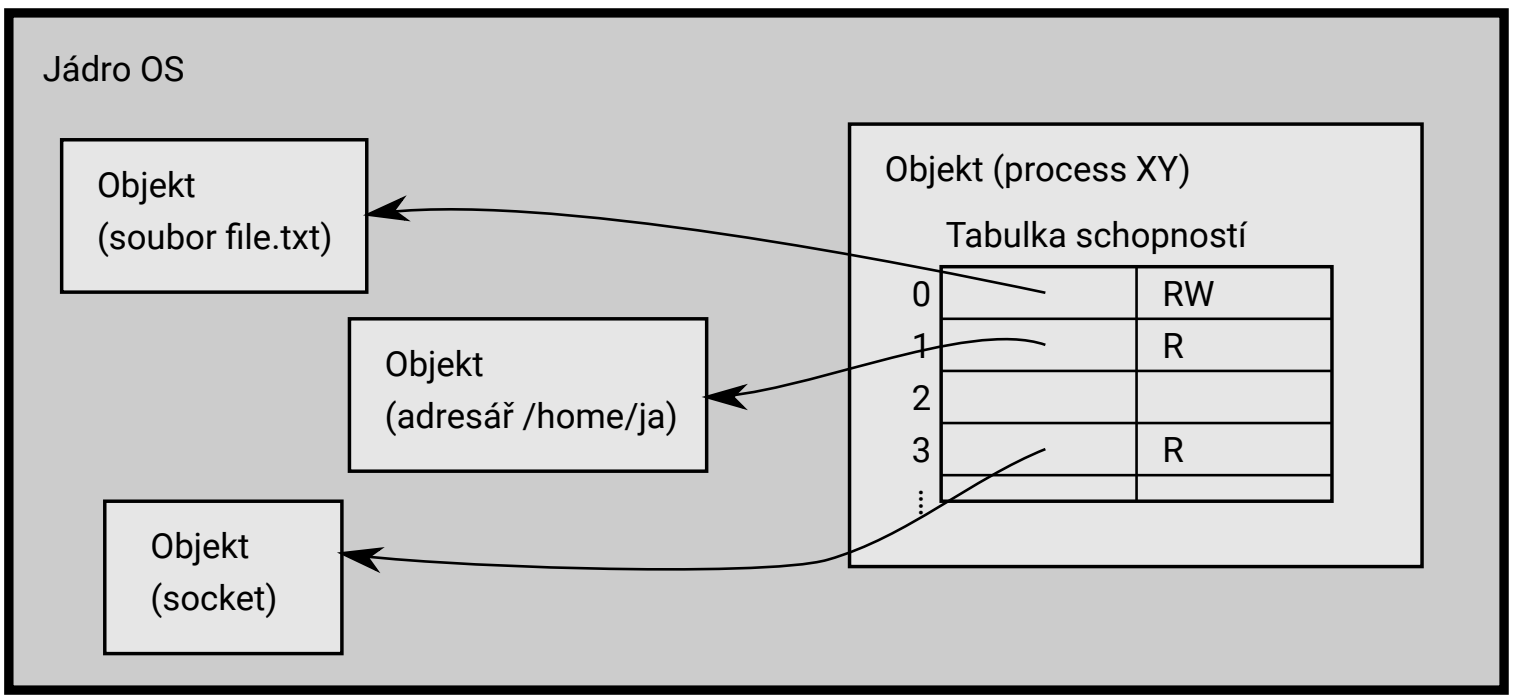
Schopnosti

- Neexistuje ambientní autorita, každému procesu jsou delegovány jen ty **schopnosti**, které potřebuje.
- Např. proces nevidí všechny soubory, ale jen soubory (či celé adresářové stromy), které mu rodič „delegoval“.
- Nikdo nemůže delegovat schopnosti, které sám nemá.

Možná implementace a použití schopností

Uživatelský proces XY

```
write(0, "Hello");
int program;
while ((program = readdir(1)) != -1) {
   if (getname(program) == "myprog.exe") {
      // spusť /home/ja/myprog.exe a deleguj mu objekt socket na indexu 2
      child = create_process(program, capabilities=[-1, -1, 3]);
   }
   revoke(program);
}
```



Povinné vs. nezávazné řízení přístupu

Mandatory vs. Discretionary Access Control

Bezpečnostní mechanismy pro řízení přístupu se dají rozdělit do dvou skupin:

- Nezávazné řízení přístupu (DAC):
  - Uživatelé mohou sami rozhodovat o přístupu
  - Mohou delegovat svá přístupová práva ostatním uživatelům
- Povinné řízení přístupu (MAC)
  - Je vynucována administrátorem definovaná politika
  - Uživatelé ji nemohou měnit (pokud to politika explicitně nepovoluje)
  - Může zabránit nedůvěryhodným aplikacím běžícím s právy uživatele v páchání škody.

Obsah

Přetečení bufferu (buffer overflow)

- Jedna z nejčastějších chyb programátorů v C
- Skoro vždy se dá nějak zneužít
- Hodně zajímavé (z hlediska útočníků) je přetečení bufferu na zásobníku (lokální proměnná)
  - Tzv. stack smashing attack
  - Zneužitelnost chyby je dnes na velkých systémech (servery, PC) částečně eliminována (viz dále)
  - Problém je ale...

IoT

IoT

Internet of Things

IoT

~~Internet~~ of Things

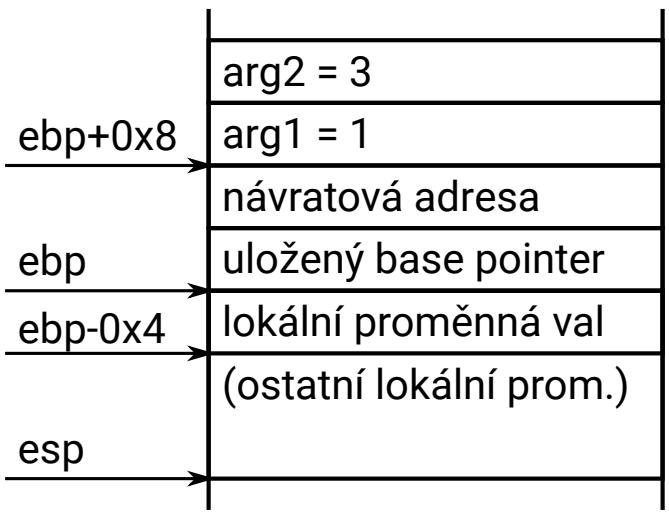
Insecurity

Zásobník

```
int func(int arg1, int arg2)
{
  volatile int val=arg1+arg2;
  return val;
}

void main()
{
  func(1, 3);
}
```

Zásobník



S ukazatelem rámce (gcc -fno-omit-frame-pointer)

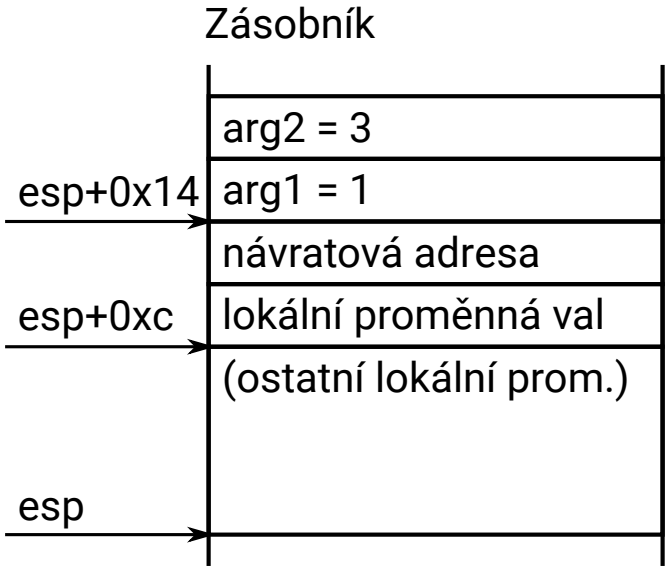
```
main:
    push   %ebp
    mov    %esp,%ebp
    push   $0x3                ; ulož parametry funkce
    push   $0x1                ; ... na zásobník
    call   500 <func>          ; zavolej func
    pop    %eax
    pop    %edx
    leave
    ret

func:
    push   %ebp                ; ulož bp na zásobník
    mov    %esp,%ebp           ; nastav ebp jako na obr.
    sub    $0x10,%esp          ; nastav esp jako na obr.
    mov    0xc(%ebp),%eax      ; načti arg2
    add    0x8(%ebp),%eax      ; přičti k arg1
    mov    %eax,-0x4(%ebp)     ; ulož do prom val
    mov    -0x4(%ebp),%eax     ; zkopíruj val do eax
    leave                      ; obnov ebp
    ret                        ; vrať se do main
```

Zásobník

```
int func(int arg1, int arg2)
{
  volatile int val=arg1+arg2;
  return val;
}

void main()
{
  func(1, 3);
}
```



Bez ukazatele rámce (gcc -fomit-frame-pointer)

```
main:
    push   $0x3              ; ulož parametry funkce
    push   $0x1              ; ... na zásobník
    call   500 <func>        ; zavolej func
    pop    %eax
    pop    %edx
    ret
```

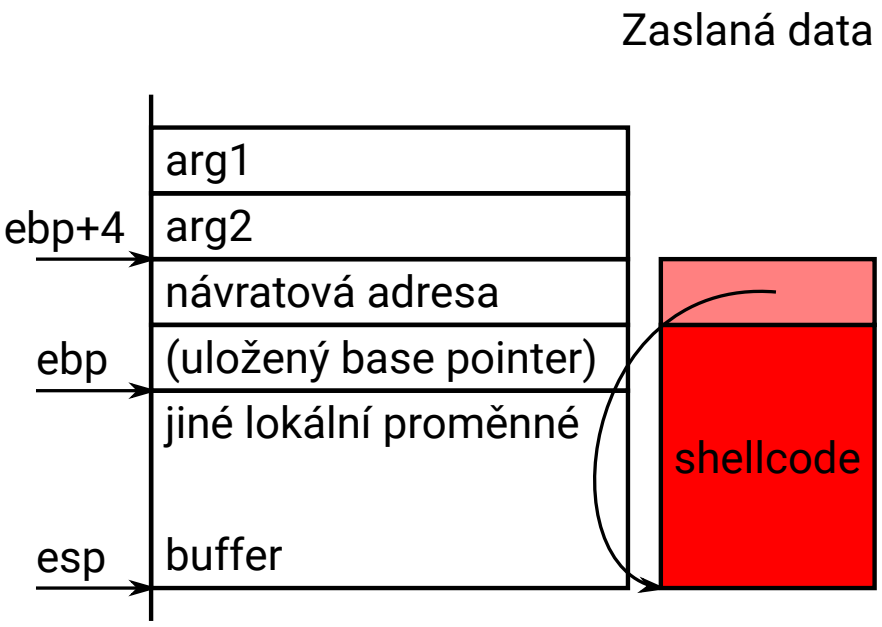
```
func:
    sub    $0x10,%esp        ; nastav esp jako na obr.
    mov    0x18(%esp),%eax   ; načti arg2
    add    0x14(%esp),%eax   ; přičti k arg1
    mov    %eax,0xc(%esp)    ; ulož do prom. val
    mov    0xc(%esp),%eax    ; zkopíruj val do eax
    add    $0x10,%esp        ; posuň esp k návr. adr.
    ret                      ; vrať se do main
```

Přetečení zásobníku

- Programátor zapomene zkontrolovat velikost proměnných na zásobníku
- Uživatel může zapsat víc dat, než je velikost proměnné na zásobníku
- To může způsobit přepsání dalších lokálních proměnných, návratové adresy, parametrů, ...
- Program pak většinou “spadne” (segmentation fault)
- Nebo toho můžeme zneužít a donutit program, aby dělal to, co chceme my.

Zneužití přetečení zásobníku

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    char buffer[10];
    strcpy(buffer, argv[1]);
    return 0;
}
```



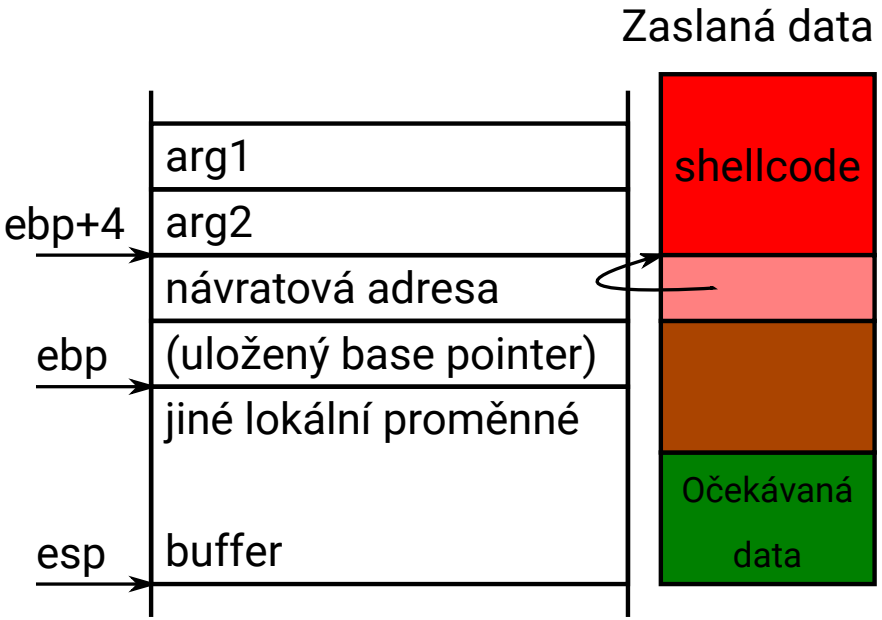
Shellcode

- Typickým cílem útočníka je spuštění shellu
- Kód většinou nesmí obsahovat binární nuly, protože funkce jako strcpy předpokládají řetězec ukončený nulou
- Příklad: Instrukce `mov $1,%eax` ukládá do eax hodnotu 1. Ve svém kódování má 3 nulové byty, protože 32bitová hodnota 1 tj. 0x00000001 je součást instrukce. Tuto instrukci můžeme nahradit vynulováním instrukcí xor a zvětšením o jedna:

```
B8 01000000 mov $1,%eax
            // nahradit za
33C0        xor %eax,%eax
40          inc %eax
```

Zneužití přetečení zásobníku

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    char buffer[10];
    strcpy(buffer, argv[1]);
    return 0;
}
```



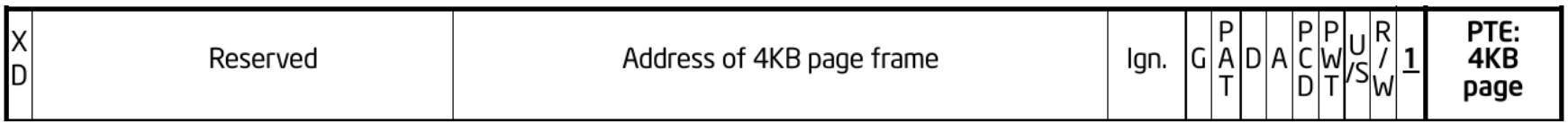
Shellcode

- Typickým cílem útočníka je spuštění shellu
- Kód většinou nesmí obsahovat binární nuly, protože funkce jako strcpy předpokládají řetězec ukončený nulou
- Příklad: Instrukce `mov $1,%eax` ukládá do eax hodnotu 1. Ve svém kódování má 3 nulové byty, protože 32bitová hodnota 1 tj. 0x00000001 je součást instrukce. Tuto instrukci můžeme nahradit vynulováním instrukcí xor a zvětšením o jedna:

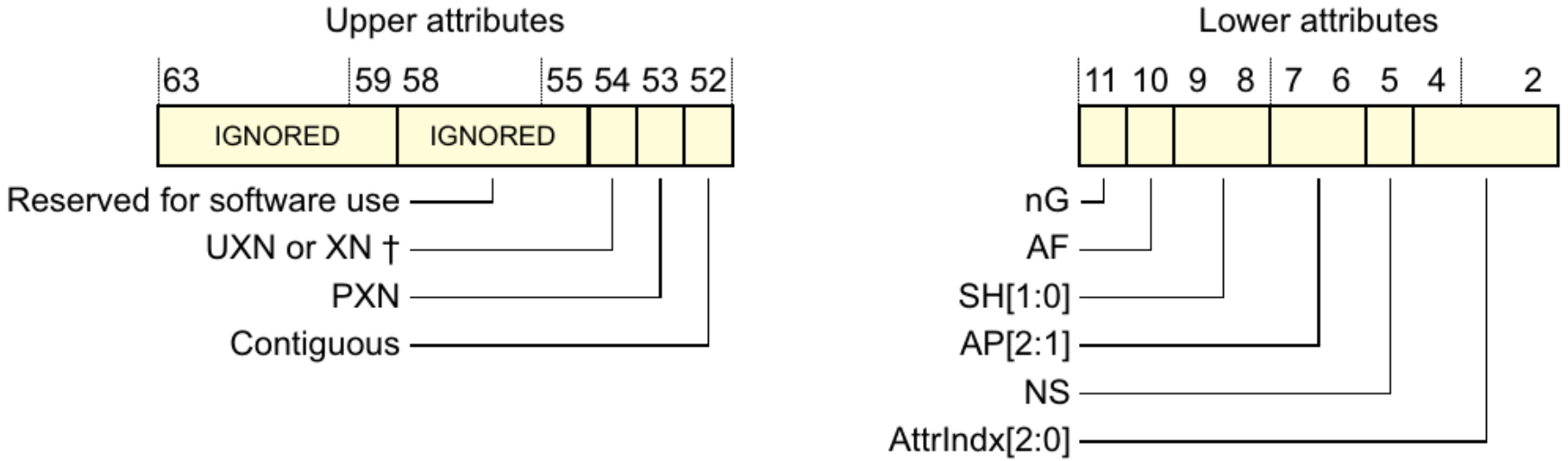
```
B8 01000000 mov $1,%eax
            // nahradit za
33C0        xor %eax,%eax
40          inc %eax
```

Nespustitelný zásobník

- Intel zavedl od PAE stránkování (PAE a x86_64) XD bit (eXecute-Disable)
  - Při pokusu o vykonání kódu ze stránky s XD=1 dojde k výjimce.
  - Paměť pro zásobník se alokuje s XD=0.

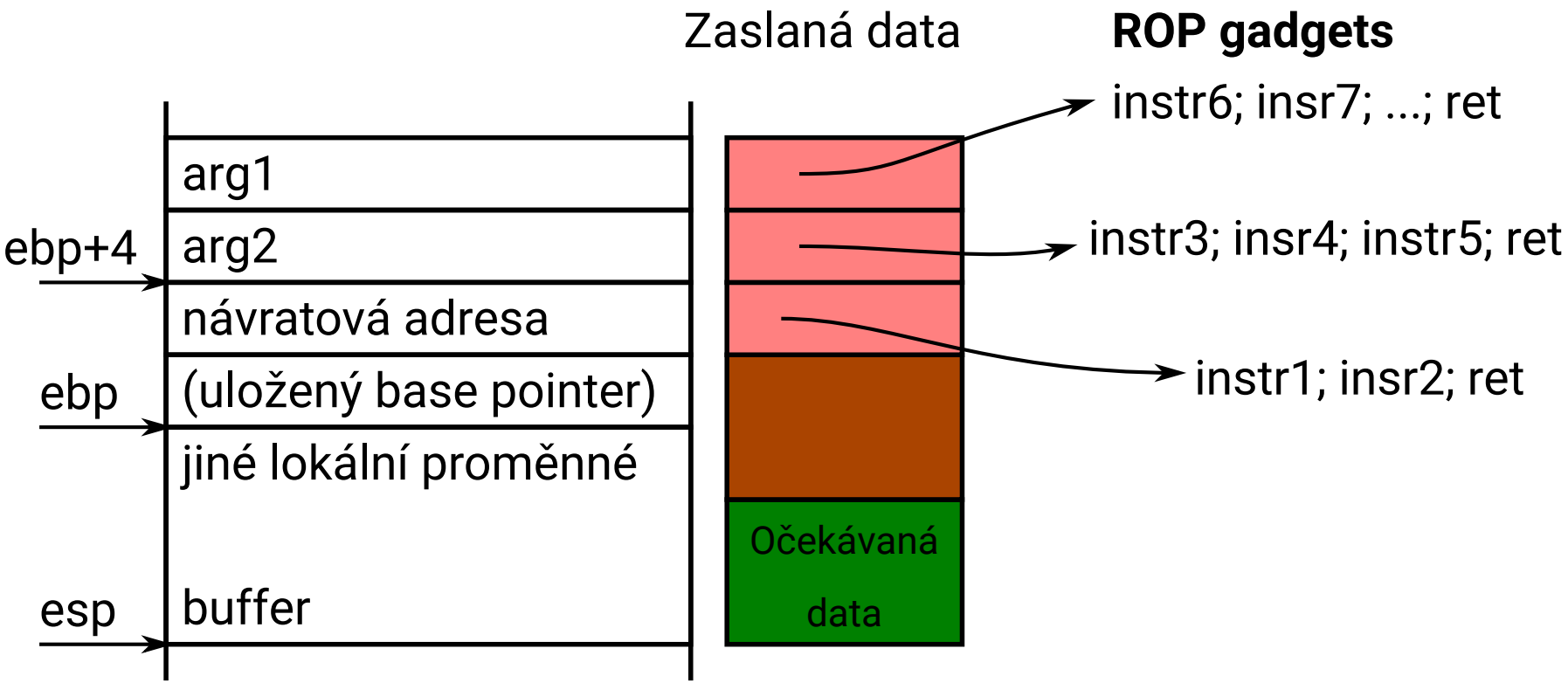


- ARM používá UXN/XN bit (Unprivileged eXecute Never)



Return-oriented programming (ROP)

- Na zásobníku kód spustit nejde, ale v každém programu je spousta jiného kódu, který spustit lze.
- Že by se v programu nacházel přesně ten kód, který útočník potřebuje, je nepravděpodobné.
- Jinde je ale spousta „zajímavého“ kódu – např. v knihovně `libc` najdeme kód, který vyvolává všechna možná systémová volání.



ROP – pokračování

- Existují ROP překladače
  - Předloží se jimi program a knihovny, na které chceme útočit (např. webový server a knihovny z populární Linuxové distribuce)
  - kompilátor přeloží zdrojový kód v C do ROP programu (sekvence návratových adres, které je potřeba uložit na zásobník).

Náhodné rozložení adresního prostoru

Address space layout randomization (ASLR)

- Pro většinu typů útoků se zásobníkem je potřeba znát adresy, na které lze „skákat“ instrukcí ret.
- Pokud útočník neumí adresy zjistit, jsou útoky těžké či nemožné.
- Sdílené knihovny jsou zkompilovány tak, že je lze nahrát a spustit z libovolné adresy (position independent code – PIC)
  - Linkování se provádí až při spuštění, takže je možné je umístit při každém startu na jinou adresu.
- I program lze přeložit jako PIC a zásobník také nemusí být na pevné adrese.
- Zkuste si v GNU/Linuxu spustit: `watch -d cat /proc/self/maps`. Uvidíte, že při každém spuštění příkazu cat jsou adresy jiné.

Když ASLR nestačí

- Jádra OS nemohou používat tak intenzivní ASLR.
- Linux používá náhodnou adresu zásobníků v jádře, ale adresa kódu se zvolí náhodně jen při bootu, pak zůstává stejná.
- Řešení: stack protector, stack canary, RETGUARD (OpenBSD)
- RETGUARD
  - Při vstupu do funkce zakóduje návratovou adresu
  - ESP se dá považovat za náhodné – je těžké ho uhádnout
  - Před návratem se návratová adresa obnoví XORem
  - Pokud útočník přepsal návratovou adresu, obnovou se jeho adresa znehodnotí ⇒ systém „spadne“

```
main:
    push   $0x3
    push   $0x1
    call   500 <func>
    pop    %eax
    pop    %edx
    ret

func:
    xor    (%esp),%esp   ; zakoduj
    sub    $0x10,%esp
    mov    0x18(%esp),%eax
    add    0x14(%esp),%eax
    mov    %eax,0xc(%esp)
    mov    0xc(%esp),%eax
    add    $0x10,%esp
    xor    (%esp),%esp   ; obnov
    ret
```

Závěr

- Bezpečnost je důležitým aspektem každého počítačového systému
- V budoucnosti bude její důležitost narůstat
- Systémy (nejen operační) jsou tak bezpečné, jak bezpečný je nejslabší článek
  - I ta nejméně důležitá knihovna používaná vaším programem může obsahovat kritickou zranitelnost
  - I operační systém obsahuje mnoho komponent, které nepoužíváte, ale útočníkům pomohou
- Útočníci jsou velmi kreativní a vynalézaví lidé
- Pokud se jim chcete bránit, musíte umět myslet jako oni

Reference

- Využili jsme některé materiály licencované pod CC BY 3.0 „Courtesy of Gernot Heiser, UNSW Sydney“.