

B4B350SY: Operační systémy

Lekce 8: Bezpečnost (security)

Michal Sojka

michal.sojka@cvut.cz



November 2, 2023

1 Základní koncepty kybernetické bezpečnosti

- Co je to bezpečnost?
- Cíle zabezpečení
- Zabezpečení OS
- Mechanismy a politiky
- Další pojmy, příklady

2 Řízení přístupu

3 Stack overflow

- Co je přetečení zásobníku?
- Útoky a ochrany proti nim

- Vysvětlit vám základní koncepty používané v kybernetické bezpečnosti
- Předat znalosti potřebné pro vyřešení (nepovinné) úlohy – útok pomocí přetečení zásobníku

Co je to bezpečnost?

- Pro každého něco jiného



I stalk



Počítačová (kybernetická) bezpečnost

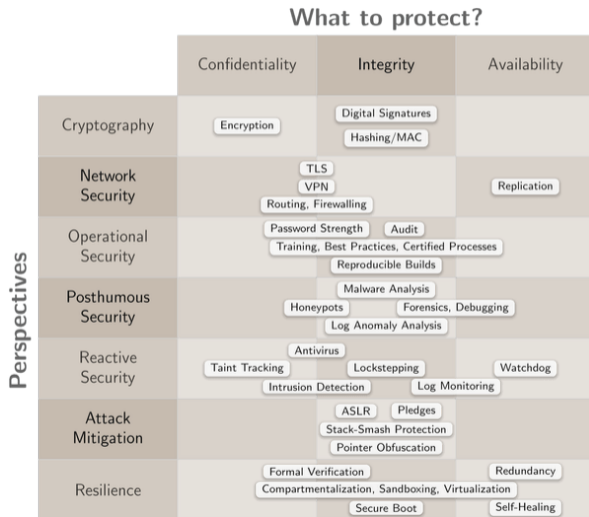
Information security

- 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 je systém považován za bezpečný – např. antivirus a firewall jsou zapnuty)

Cíle zabezpečení

- Definují **co** má být chráněno, **proti komu** a za jakých **podmínek**.
- Před nasazením každého systému se nad tím aspoň zamyslete!
 - Často je potřeba to mít sepsané a schválené (od zákazníka, šéfa, ...).
- **Co** má být chráněno se často vyjadřuje pomocí tzv **CIA** vlastností:
 - **Důvěrnost** (Confidentiality)
 - X se nesmí dozvědět o Y
 - Příklad: Franta se nesmí dozvědět administrátorské heslo.
 - **Integrita**
 - X nesmí narušit Y
 - Příklad: Karel nesmí měnit libovolné záznamy v databázi uživatelů.
 - **Dostupnost** (Availability)
 - X nesmí způsobit nedostupnost Y pro Z
 - Příklad: Žádný uživatel nesmí způsobit pád web serveru.

Typické prostředky pro zajištění CIA vlastností



Source: <https://genodians.org/nfeske/2019-07-11-security>

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
- Objevuje se méně kritických bezpečnostních děr v běžných OS

■ V jiných se zhoršuje:

- Velikost, funkcionalita a složitost OS stále roste
- Jen málo lidí skutečně 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 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
- Je snadné je správně a bezpečně použít
- Dají se snadno správně implementovat i verifikovat
- Nejsou v rozporu s jinými (nebezpečnostními) prioritami – např. s produktivitou práce.
- Podporují obecné principy bezpečnosti (viz slide 19)

Běžné mechanismy zabezpečení v OS

- **Systémy pro kontrolu přístupu** – kontrola, k čemu může daný proces přistupovat (např. práva k souborům)
- **Autentizační systémy** – potvrzení identity toho, jehož „jménem“ proces běží (login name, heslo, ...)
- **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. Neexistuje jen jedna komponenta zodpovědná za bezpečnost.

Rozdíl mezi politikou a mechanismem

- Politiky doprovázejí mechanismy
 - Politika **řízení přístupu** (access control)
 - Určuje, k čemu mají přístup sekretářky a k čemu vývojáři.
 - Politika **autentizace**
 - Určuje, jestli 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 :-)

Zásady bezpečnostního designu

Saltzer & Schroeder [SOSP '73, CACM '74] [link]

- **Úspornost (jednoduchost) mechanismů** – keep it stupid simple (KISS)
- **Bezpečné výchozí nastavení** – nikomu se nechce trávit čas nastavováním (vždy dobrá inženýrská praxe)
- **Kompletní zprostředkování** – kontrola, že každý přístup k datům/prostředkům je autorizovaný.
- **Otevřený návrh** – ne „security by obscurity“
- **Oddělení pravomocí** – možnost dát 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, minimalizace závislostí (knihoven, balíčků)
- **Psychologická přijatelnost** – pokud se to těžce používá, nikdo to používat nebude
 - např. ve starších Windows měl většinou každý uživatel přiřazenou administrátorská práva, protože nebyl jednoduchý způsob, jak tato práva získat jen pro jednu operaci. Škodlivý program je tím pádem mohl automaticky zneužít.
- **“Nevěřit” slepě vstupům od uživatele** – důsledná kontrola dat předávaných z „venku“ do vnitřních částí systému
 - SQL injection, Cross-site Scripting (XSS), ...

Jeep hack

Miler & Valasek, 2015

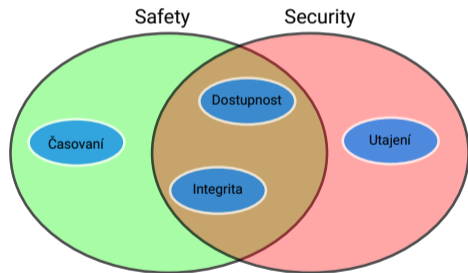


- Služba v „infotainment“ jednotce byla přes D-Bus omylem dostupná z internetu
- Útočníci nahráli SSH klíč, spustili SSH server, přeprogramovali řadič sběrnice CAN, aby šel ovládat přes sériovou linku z infotainment jednotky, ...
- <https://www.wired.com/2015/07/hackers-remotely-kill-jeep-highway/>

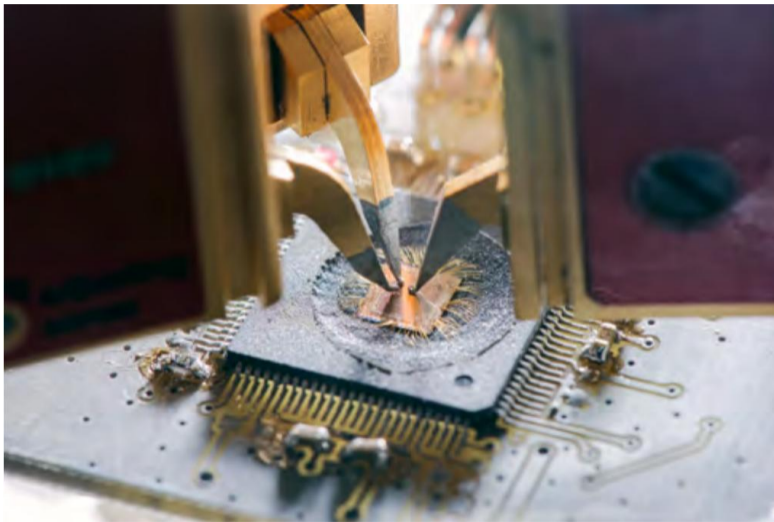
Více druhů bezpečnosti

- 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

Důvěra & Trusted Computing Base

- Všechny systémy obsahují entity, kterým se **věří**
 - pokud selžou, systém nemusí být systém bezpečný
 - hardware, OS, administrátor serveru, ...
- **Trusted Computing Base (TCB):**
 - množina všech takových entit
 - Co je součástí TCB při práci s internetovým bankovníctvím?
- 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
 - Jádro OS je nezbytně součástí TCB

Mechanismy a politiky pro řízení přístupu

Podrobnější pohled na jeden z aspektů zabezpečení OS.

- **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

Matrice 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 (alice) | R | RW | | send |
| Subj2 (bob) | | RX | | control |
| Subj3 (root) | 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)

- Implementováno skoro ve všech běžných OS
- 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

Obj1

| | |
|--------------|----|
| Subj1 | R |
| Subj2 | |
| Subj3 | RW |

Schopnosti (capabilities)

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

| | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Subj1 (alice) | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Subj2 |
| | R | RW | | send |

- **Pojmenovává** objekt, aby s ním program mohl zacházet (Obj2)
- **Uděluje** k objektu práva (RW)
- Všichni, kdo vlastní „schopnost“ mají právo s objektem pracovat
- Použití
 - Méně časté v běžných systémech (ale pomalu se to mění)
 - KeyKOS (VISA transaction processing) [Bomberger et al, 1992]
 - Capsicum capabilities (FreeBSD)
 - Častěji ve výzkumných OS: NOVA, EROS, L4Re kernel
 - Mnohé z těchto systému se nyní začínají prosazovat i v komerční oblasti

ACL vs. schopnosti

Seznamy řízení přístupu (ACL)

- Tradiční, všeobecně známé, ale...
- 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

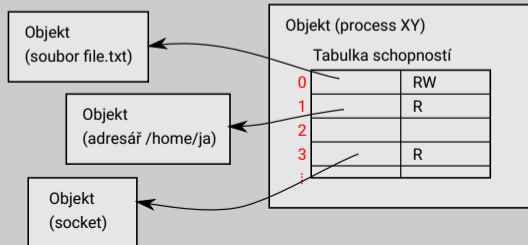
- Lepší vlastnosti z pohledu bezpečnosti.
- Neexistuje ambientní autorita, každému procesu jsou **delegovány** jen ty **schopnosti**, které potřebuje (zásada nejmenší pravomoci).
- Např. proces nevidí všechny soubory, ale jen soubory (či celé adresářové stromy), které mu rodič nebo nějaká služba „delegoval(a)“.
- 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") {
        // spust /home/ja/myprog.exe a deleguj mu objekt socket na indexu 2
        child = create_process(program, capabilities=[-1, -1, 3]);
    }
    revoke(program);
}
```

Jádro OS



- Schopnosti jsou podobné jako „file descriptor“ v UNIXových OS.
- Program identifikuje schopnosti číslem.
- Schopnosti jdou získat jen tak, že nám je někdo deleguje. Např.:
 - Rodič při vytváření potomka
 - Služba souborového systému jako odpověď na požadavek otevření souboru.

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 (např. měnit práva ostatních uživatelů ke svým souborům)
- 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 páčání škody.

Přetečení bufferu (buffer overflow)

- Jedna z nejčastějších chyb programátorů v C, často i 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

~~Internet~~ of Things
Insecurity

Co je to “frame pointer”?

- A) Ukazatel na začátek stránky paměti, do které se přistupuje
- B) Ukazatel na začátek (konec) lokálních proměnných právě vykonávané funkce
- C) Ukazatel na začátek kódového segmentu aktuálního programu

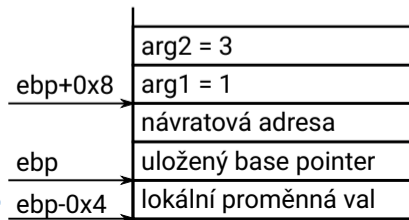
Zásobník – jak tam jsou uložena data?

Záleží, jestli je kód přeložen s nebo bez „frame pointeru“

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

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

Zásobník uvnitř func()



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

```
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
```

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

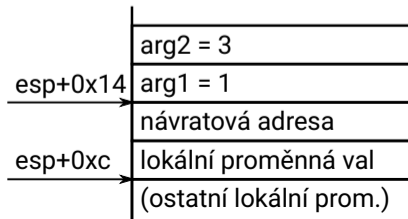
Zásobník – jak tam jsou uložena data?

Záleží, jestli je kód přeložen s nebo bez „frame pointeru“

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

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

Zásobník uvnitř func()



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

```
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
```

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

Přetečení zásobníku

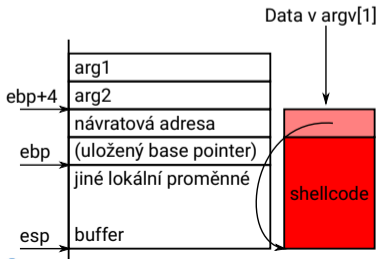
- Programátor zapomene zkontrolovat velikost proměnných na zásobníku
- Uživatel může předat programu víc dat, než je velikost proměnné na zásobníku
- To může způsobit přepsání dalších lokálních proměnných, návratové adresy, parametrů, ...
- Program pak většinou „spadne“ (segmentation fault)
- Nebo toho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

Zneužití přetečení zásobníku

Chceme, aby cizí program dělal to, co chceme my a ne to, co chtěl jeho autor.

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

Spuštění: `./prog "$(cat shellcode)"`



Shellcode

- Typickým cílem útočníka je spuštění shellu, tj. chtěl by spustit následující kód:

```
dup2(socket, 0);
dup2(socket, 1);
execve("/bin/sh", NULL, NULL);
```

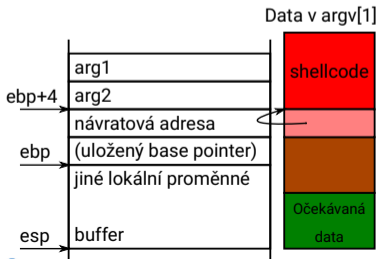
- Shellcode nemusí jen spouštět shell, celý útok (změna obrázku na serveru :-)) může být součástí zasláného kódu.
- Když se shellcode nevejde do proměnné `buffer`, je možné přepsat i rámce volajících funkcí – tam může být víc místa.
- To samé se může hodit, pokud kód kontroluje, že se v `bufferu` objeví "očekávaná data".

Zneužití přetečení zásobníku

Chceme, aby cizí program dělal to, co chceme my a ne to, co chtěl jeho autor.

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

Spuštění: `./prog "$ (cat shellcode) "`



Shellcode

- Typickým cílem útočníka je spuštění shellu, tj. chtěl by spustit následující kód:

```
dup2(socket, 0);
dup2(socket, 1);
execve("/bin/sh", NULL, NULL);
```

- Shellcode nemusí jen spouštět shell, celý útok (změna obrázku na serveru :-)) může být součástí zasláného kódu.
- Když se shellcode nevejde do proměnné `buffer`, je možné přepsat i rámce volajících funkcí – tam může být víc místa.
- To samé se může hodit, pokud kód kontroluje, že se v `bufferu` objeví "očekávaná data".

Omezení shellcode

- Strojový kód většinou nesmí obsahovat binární nuly, protože funkce jako `strcpy` předpokládají řetězec ukončený nulou a nezpracovaly by všechna data.
- **Příklad:** Instrukce `mov $1,%eax` ukládá do `eax` hodnotu 1. Ve svém kódování má 3 nulové byty, protože 32bitová hodnota 1 tj. `0x00000001` je součástí instrukce. Tuto instrukci můžeme nahradit vynulováním instrukcí `xor` a zvětšením o jedna:

```
B8 01000000 mov $1,%eax
```

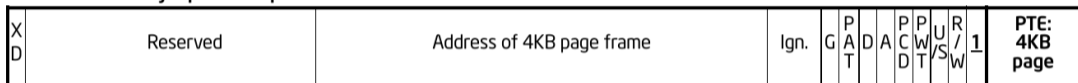
nahradit za

```
33C0      xor %eax,%eax
```

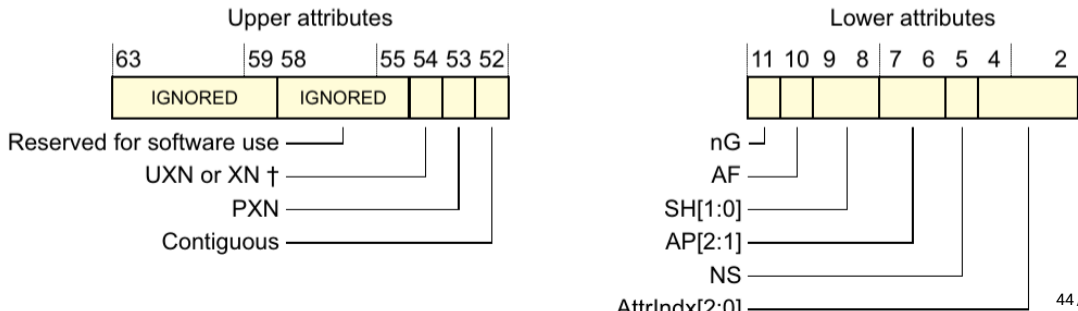
```
40        inc %eax
```

Nespustitelný zásobník

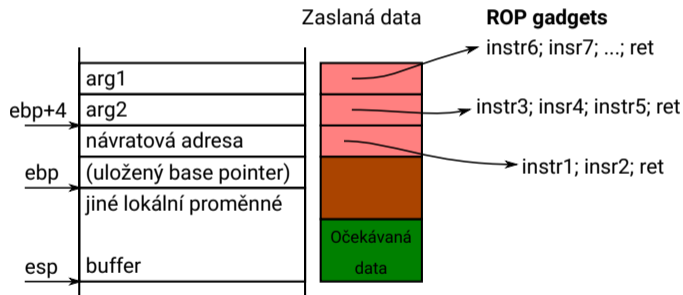
- Intel zavedl od PAE stránkování (PAE a x86_64) XD bit (eXecute-Disable)
 - Při pokusu o vykonání kódu ze stránky s XD=1 dojde k výjimce, která způsobí, že OS daný proce ukončí (segfault).
 - OS alokuje paměť pro zásobník s XD=1.



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



Return-oriented programming (ROP)



- Když nejde spustit (shell) kód na zásobníku, může se útočník pokusit spustit kód, který už v programu je.
- 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 = Útočník neposílá přímo shellcode, ale sekvenci návratových adres, které způsobí postupné vykonání kousků kódu (ROP gadgets), který se nachází v jiných částech programu.

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 zkompileovány 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 (značí se PIE – position independent executable) 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 jako uživatelský prostor.
- Linux používá náhodnou adresu zásobníků v jádře, ale adresa kódu se zvolí náhodně jen při bootu, pak zůstává stejná.
- Možná 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“

Retguard – příklad:

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“.