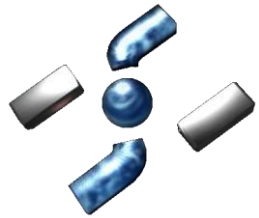
x86 vs x64 – architektura procesora a exploitacja w systemie Windows

Mateusz „j00ru” Jurczyk

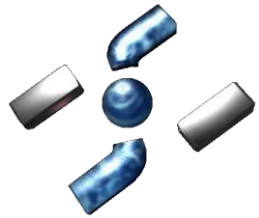
SecDay, Wrocław 2010

O mnie



- Reverse engineer @ **Hispasec**
- Vulnerability researcher
- **Vexillium** (http://vexillium.org)
- Autor bloga **http://j00ru.vexillium.org/**

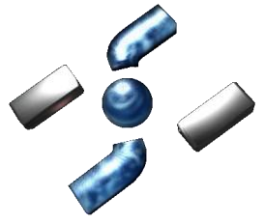
O czym dzisiaj



- x86-64 – z czym mamy do czynienia?
- Podstawowe zmiany architektury
- Exploitacja user-mode
  - Obsługa wyjątków a x64
  - DEP, ASLR
  - ROP
- Różności
- Pytania

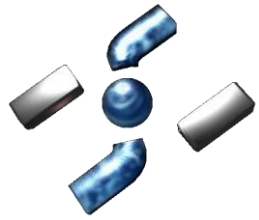
SŁÓW KILKA O X86-64

x86-64 – o czym mowa



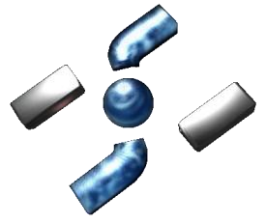
- „Nowa” architektura procesorów ☺
- Rozszerzenie starszych, 32-bitowych procesorów x86
  - Zapewniona wsteczna kompatybilność (tryby *real*, *protected*, *long*)
- Podstawowa jednostka danych: 64 bity / 8 bajtów

x86-64 – o czym mowa



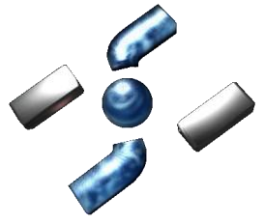
- Od kilku lat produkowane na szeroką skalę
  - Lata 2001 – 2003: pierwsze 64-bitowe procesory Intela i AMD wchodzą na rynek
- Najpopularniejsze systemy operacyjne są portowane na platformę x64
  - W tym Windows – poczynając od Windows XP / 2003 (NT 5.2)

x86-64 – dobry cel badań?



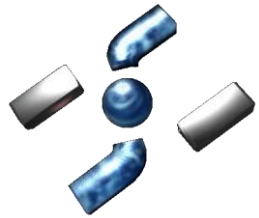
- „Młoda” architektura, nie zawsze poprawnie rozumiana przez developerów
- Błędy powstałe w toku portowania aplikacji
- Jądro Windows działające wyłącznie w 64-bit
  - Kernel to bardzo dobry cel ☺
- Aplikacje codziennej ~~exploitacji~~ użytku przenoszone na nową platformę

X86-64 – dobry cel badań?



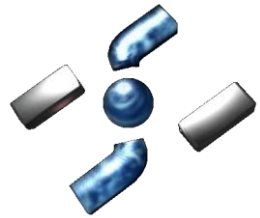
- x64-specific vulnerabilities
  - **CVE-2007-4573**: Linux kernel IA32 System Call Emulation Vulnerability
  - **CVE-2009-0029**: Linux Kernel 64 Bit ABI System Call Parameter Privilege Escalation Vulnerability
  - **CVE-2010-0010**: Apache 1.3 mod_proxy HTTP Chunked Encoding Integer Overflow Vulnerability
  - Maaaaaasa innych błędów…

x86-64 – dobry cel badań?



- Możliwość omijania mechanizmów charakterystycznych dla x64
  - ***Driver Signing Enforcement*** a słynny *pagefile attack* (Joanna Rutkowska, 2006)
  - Zabawy z ***PatchGuard*** (Uninformed 3, 6, 8)

x86-64 – dobry cel badań?



64-bity to przyszłość ☺

X86 A X86-64 – ZMIANY ARCHITEKTURALNE

Podstawowe zmiany architektury

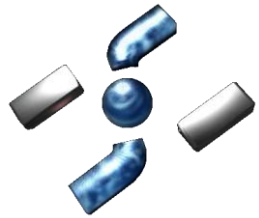
- Rozszerzenie rozmiaru istniejących rejestrów bazowych

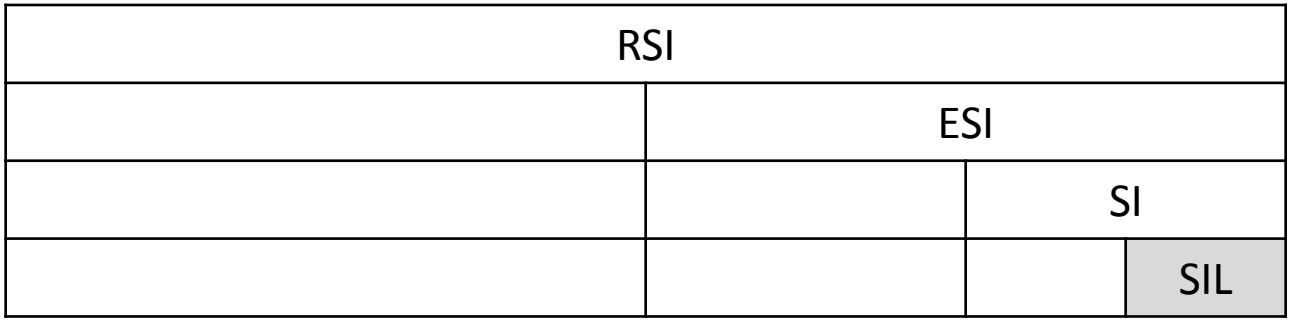
  EAX (32) → RAX(64)
  EFLAGS(32) → RFLAGS(64)
  EIP(32) → RIP(64)

<table>
<tr><td colspan="4">RAX</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">EAX</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">AX</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>AH</td><td>AL</td></tr>
</table>

Zmiany architektury

- Nowe stare rejestry
  - BPL, SPL, SIL, DIL





Podstawowe zmiany architektury

- Wprowadzenie ośmiu nowych rejestrów bazowych R8 – R15

<table>
<tr><td colspan="4">R8</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">R8D</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">R8W</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>?</td><td>R8B</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">R15</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">R15D</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">R15W</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>?</td><td>R15B</td></tr>
</table>

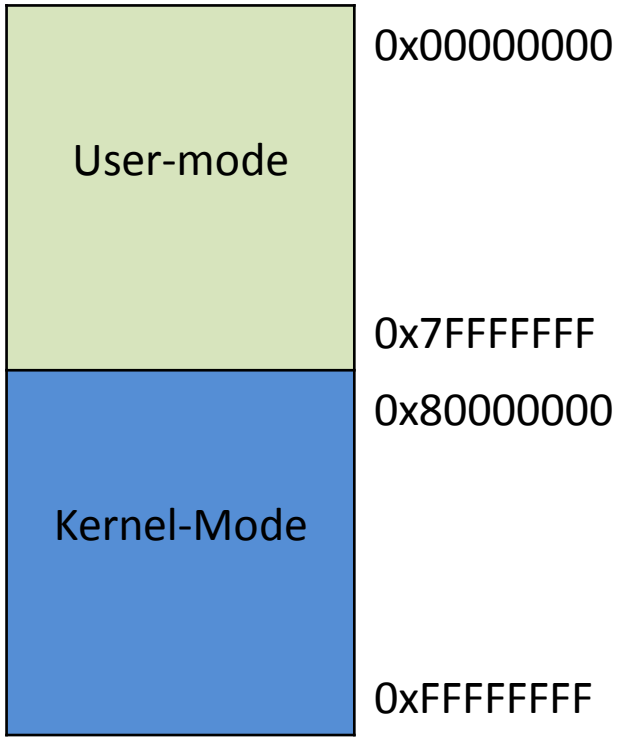
Podstawowe zmiany architektury

- Adresowanie pamięci wirtualnej
  - Teoretycznie: 2^{64} bajtów adresowalnej pamięci (16 eksabajtów)
  - Praktycznie: wykorzystuje się dolne 48 bitów (256 terabajtów)
    - Pozostała część to *sign-extend* właściwego adresu

Podstawowe zmiany architektury

Adresowanie pamięci wirtualnej – tryb chroniony (32bit)

- Ciągły model pamięci
- Przestrzeń użytkownika – niskie obszary (2GB)
- Przestrzeń jądra – wysokie obszary (2GB)



Podstawowe zmiany architektury

Adresowanie pamięci wirtualnej – *long mode* (64-bit)

- Kanoniczny zapis adresów
  - 6 młodszych bajtów (48 bitów) przeznaczone dla efektywnego adresu
  - Pozostała część **musi** być równa najstarszemu bitowi ($address_{47}$)

Podstawowe zmiany architektury

Adresowanie pamięci wirtualnej – *long mode*

1111111111111111	1	00000000000010010000000011010111011000000000000

16 bitów dopełnienia — 48 bitów - właściwy adres wirtualny

Przykładowy adres trybu jądra

0000000000000000	0	11111111000001000011100001010010110001010101000 0

16 bitów dopełnienia — 48 bitów - właściwy adres wirtualny

Przykładowy adres trybu użytkownika

Podstawowe zmiany architektury

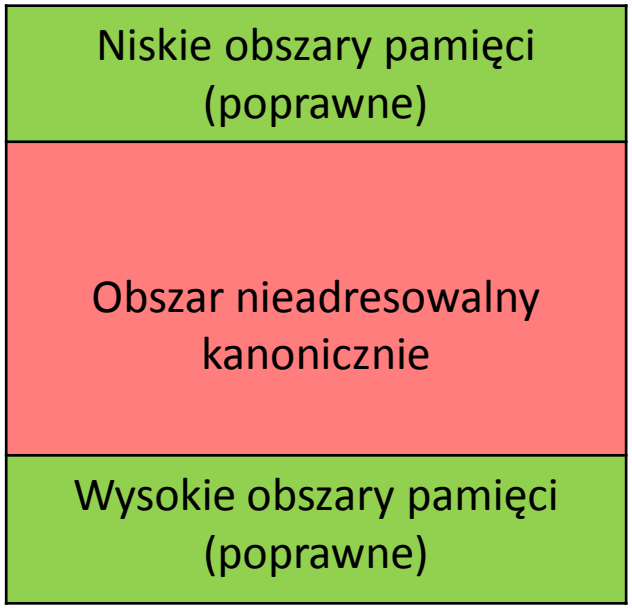
Adresowanie pamięci wirtualnej – *long mode*

0010100100000101	1	00000000000010010000000011010111011000000000000

Błędny zapis adresu wirtualnego

Podstawowe zmiany architektury

Adresowanie pamięci wirtualnej – *long mode*



Podział przestrzeni pamięci adresowalnej, w trybie 64-bit

Podstawowe zmiany architektury

- Możliwość odwoływania się do rejestru RIP (wskaźnik instrukcji)
  - Wcześniej wyłącznie pośrednio; głównie przy użyciu instrukcji CALL

Podstawowe zmiany architektury

Przykład – pobranie adresu aktualnie wykonywanej instrukcji

EAX ← EIP (x86)	RAX ← RIP (x86-64)

`call @f`
`@@:`
`pop eax`
…
…
	`lea rax, [rel 0]`
	…
	…

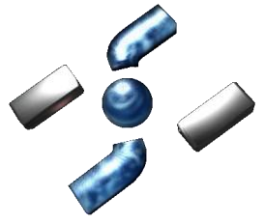
Podstawowe zmiany architektury

Przykład – pobranie adresu ciągu tekstowego, znajdującego się w dowolnym miejscu w pamięci

EAX ← string address (x86)	RAX ← string address (x86-64)

`  jmp @1`
`@2:`
`  pop eax`
`  …`
`  …`
 	
`@1:`
`  call @2`
`  db ‘exemplary text’,0`
	`  lea rax, [rel text_label]`
	`  …`
	`  …`
	
	`text_label:`
	`  db ‘exemplary text’,0`

Zmiany architektury



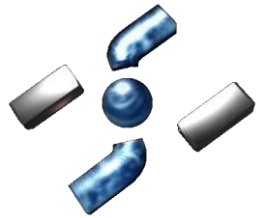
Rejestry segmentowe

CS, SS, ES, DS → Ø

FS, GS → TIB, KPCR

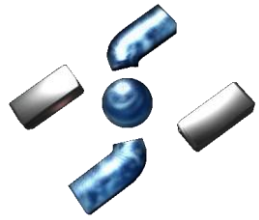
USER-MODE EXPLOITATION

User-mode exploitation

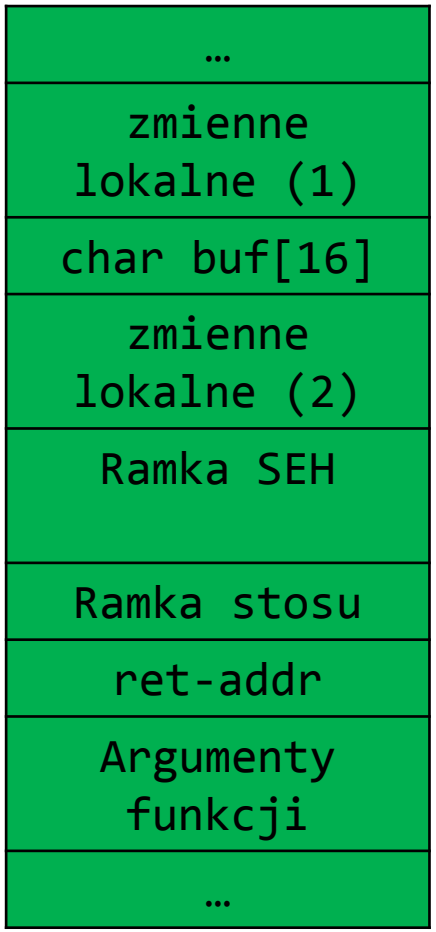


- Przepełnienia stosu – pamiętamy, co to?

User-mode exploitation



- Przepełnienia stosowe – pamiętamy, co to?

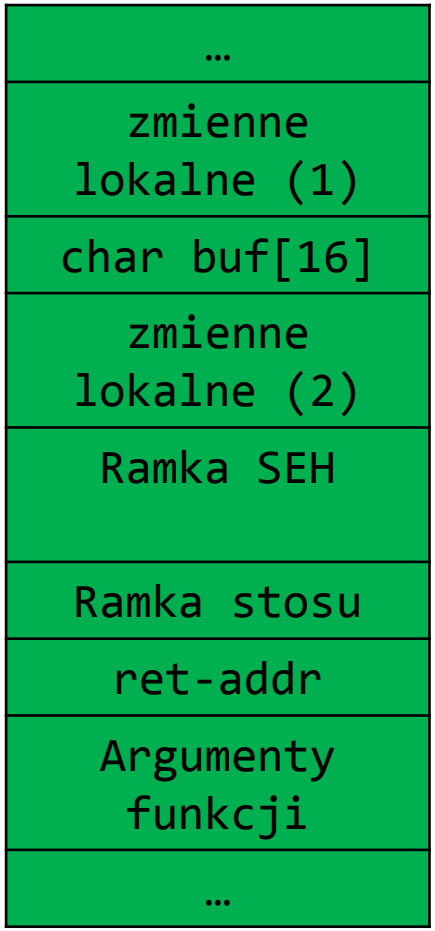



```
void func(char* str)
{
  int a,b;
  char buf[16];

  try
  {
    …
```

User-mode exploitation

- Przepełnienia stosowe – pamiętamy, co to?

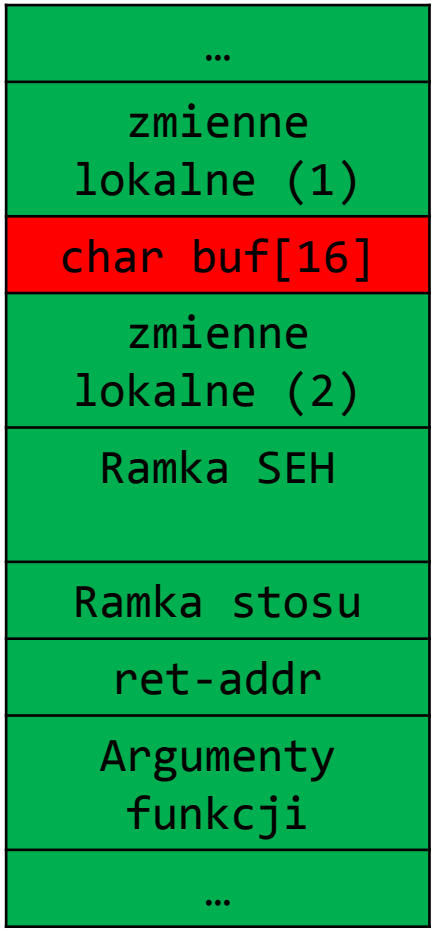



```
void func(char* str)
{
  int a,b;
  char buf[16];

  try
  {
    strcpy(buf,str);
    …
```

User-mode exploitation

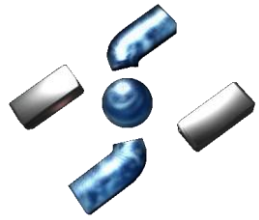
- Przepełnienia stosowe – pamiętamy, co to?




```
void func(char* str)
{
  int a,b;
  char buf[16];

  try
  {
    strcpy(buf,str);
    …
```

User-mode exploitation



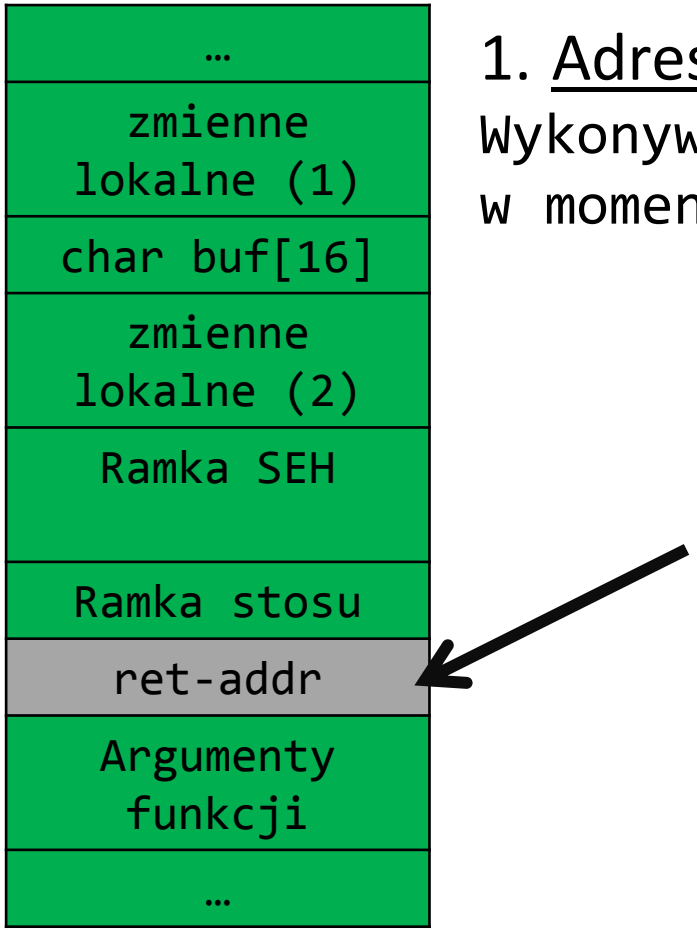
- Przepełnienia stosowe – pamiętamy, co to?


```
void func(char* str)
{
  int a,b;
  char buf[16];

  try
  {
    strcpy(buf,str);
    …
```

User-mode exploitation

- Możliwości wykonania payloadu

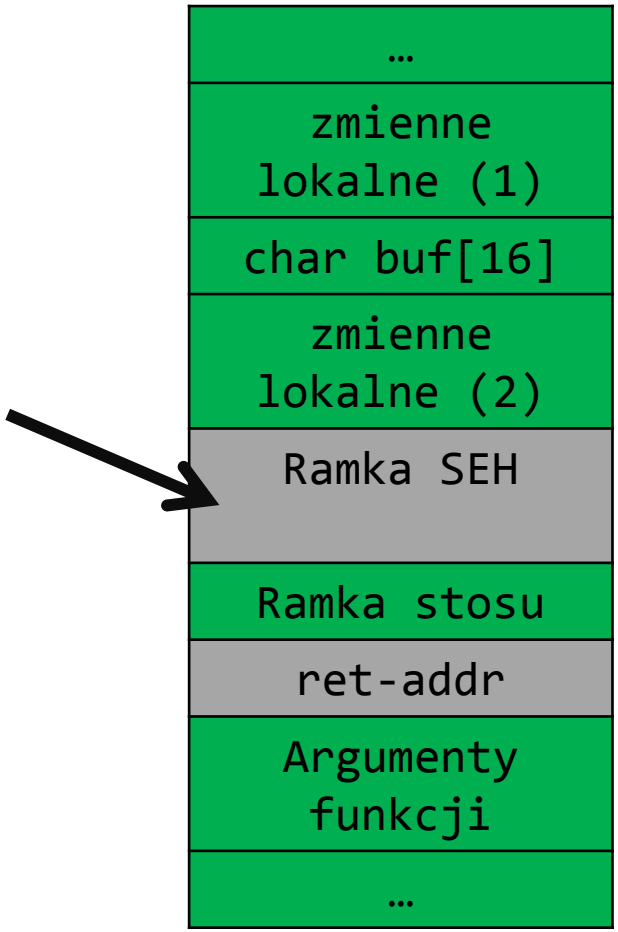


1. Adres powrotu funkcji (ret-addr)

Wykonywanie przenoszone do payload'u w momencie wykonania instrukcji **RET**

User-mode exploitation

- Możliwości wykonania payloadu

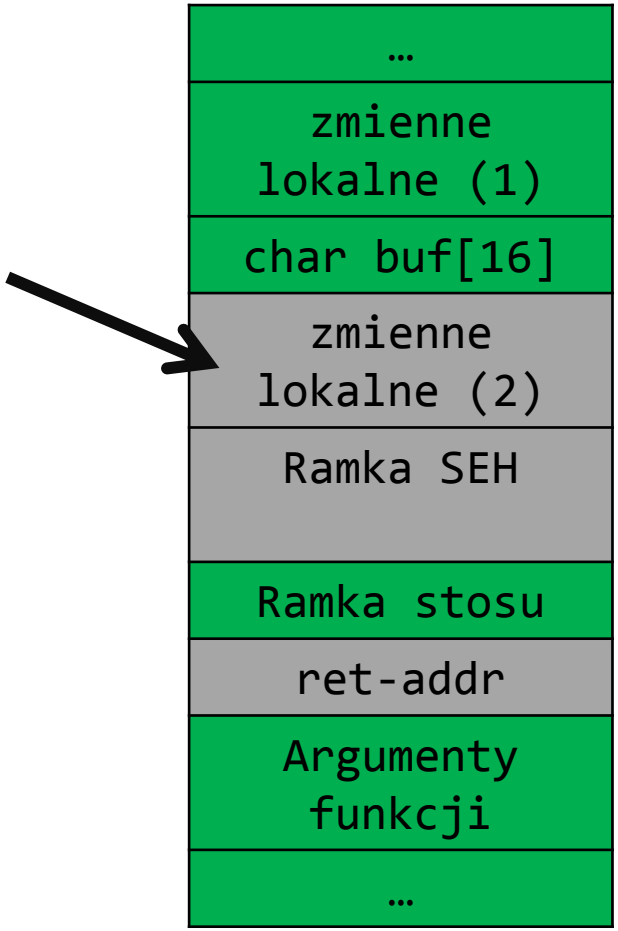


1. Adres powrotu funkcji (ret-addr)
2. Ramka obsługi wyjątków (SEH)

Wykonywanie przenoszone do payload'u w momencie zaistnienia wyjątku w obrębie aktualnego wątku

User-mode exploitation

- Możliwości wykonania payloadu

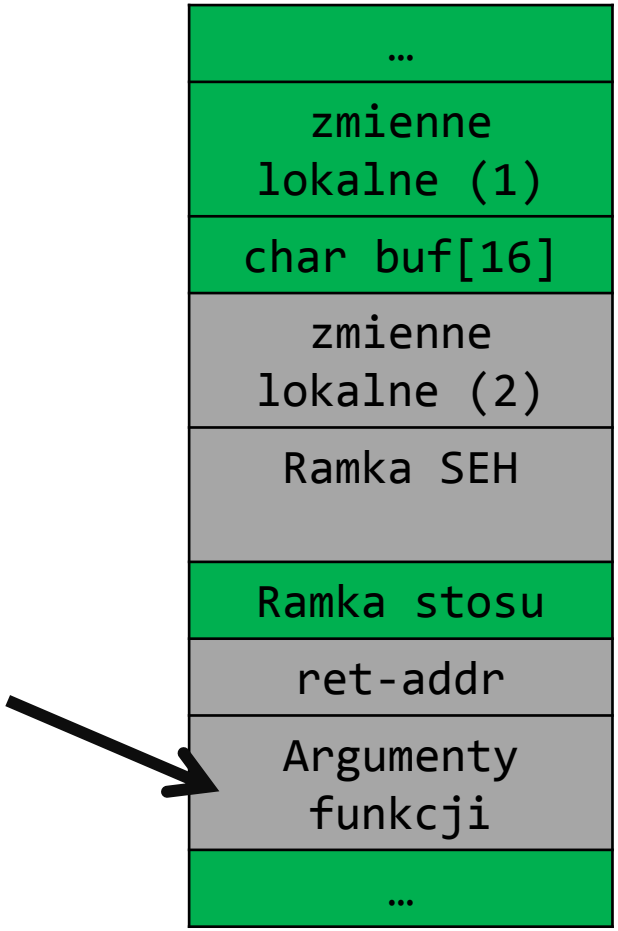


1. Adres powrotu funkcji (ret-addr)
2. Ramka obsługi wyjątków (SEH)
3. Potencjalnie – wskaźniki znajdujące się wśród lokalnych zmiennych

Wykonywanie przenoszone do payload'u w momencie wywołania nadpisanego wskaźnika

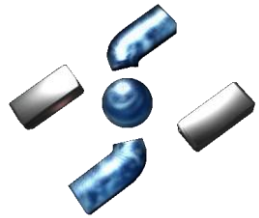
User-mode exploitation

- Możliwości wykonania payloadu



1. Adres powrotu funkcji (ret-addr)
2. Ramka obsługi wyjątków (SEH)
3. Potencjalnie – wskaźniki znajdujące się wśród lokalnych zmiennych
4. Potencjalnie – wskaźniki wśród argumentów funkcji

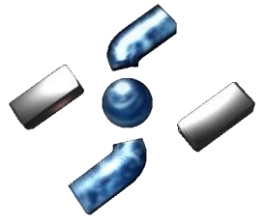
User-mode exploitation



Zabezpieczenia?

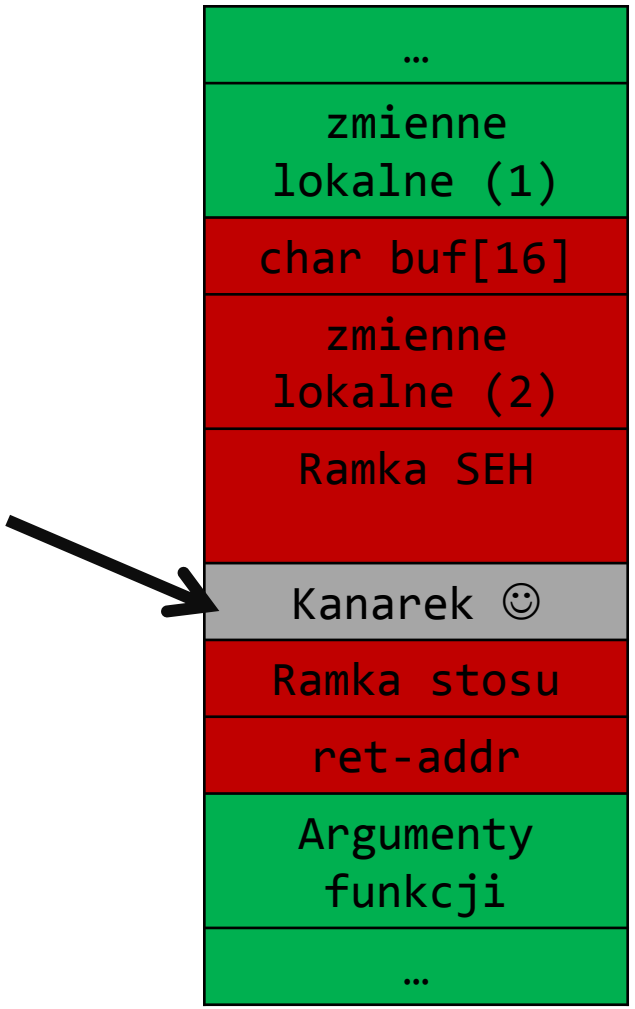
User-mode exploitation

Zabezpieczenia

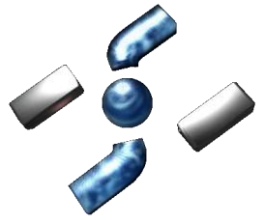


- Nadpisanie adresu powrotu
  - Ochrona stosu `/GS cookie protection` stosowana przez kompilatory Microsoft
  - Inne odmiany kanarków (ProPolice, itd.)

User-mode exploitation



User-mode exploitation

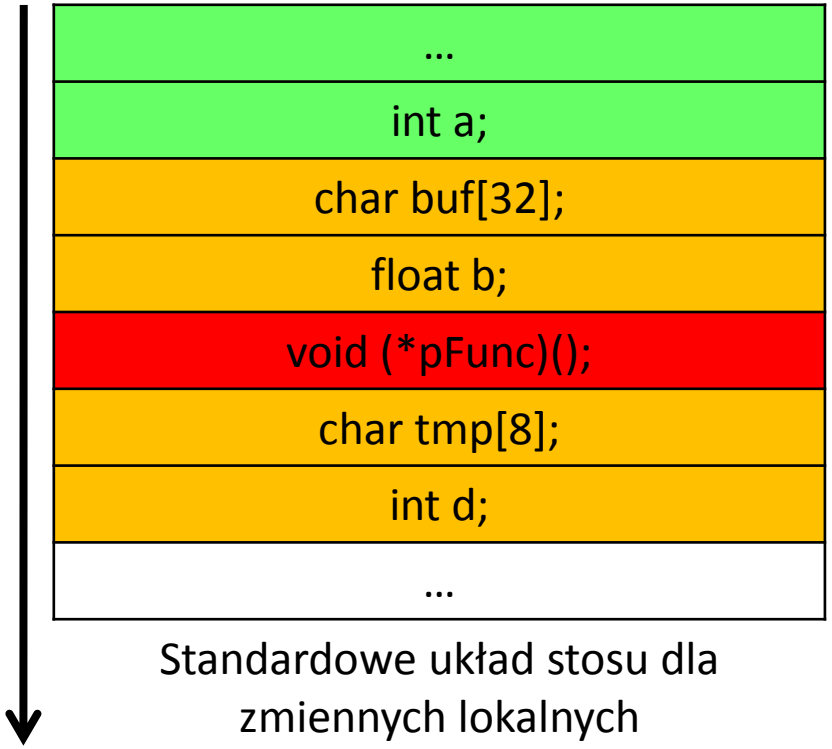


Zabezpieczenia

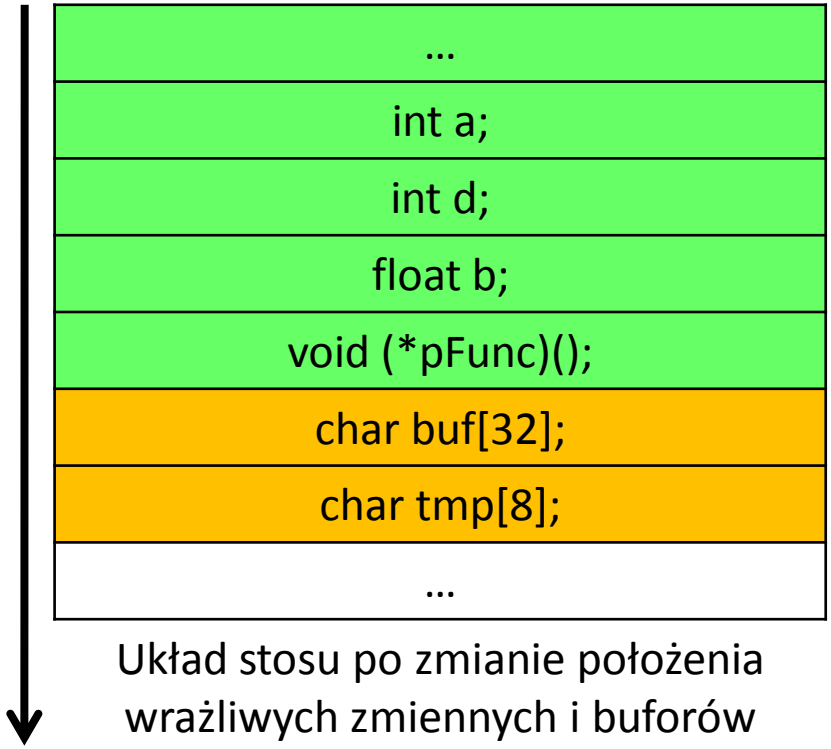
- Nadpisanie zmiennej lokalnej – wskaźnika funkcji
  - *Stack re-ordering* – układ zmiennych, uniemożliwiający nadpisanie wrażliwych wartości (wskaźników)

User-mode exploitation

Stack re-ordering - przykład

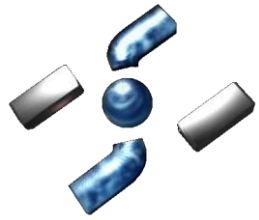


Standardowe układ stosu dla zmiennych lokalnych



Układ stosu po zmianie położenia wrażliwych zmiennych i buforów

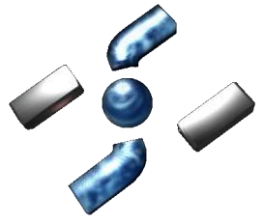
User-mode exploitation



Zabezpieczenia

- Nadpisanie argumentów funkcji, będących wskaźnikami
  - Kopiowanie wartości wszystkich argumentów funkcji na stos, *przed* niebezpiecznymi buforami

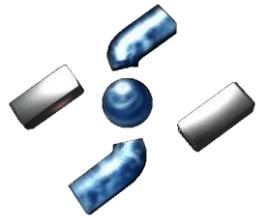
User-mode exploitation



A co z SEH? ☺

- Również kontrowane przez rozmaite zabezpieczenia
  - SafeSEH
  - SEHOP

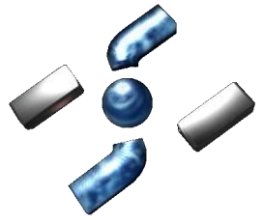
User-mode exploitation



A co z SEH? ☺

- Exploity wciąż korzystają z obsługi wyjątków
  - SnackAmp 3.1.3B Malicious SMP Buffer Overflow Vulnerability (SEH)
  - MP3 Workstation Version 9.2.1.1.2 SEH exploit (MSF)
  - AoA Audio Extractor Remote ActiveX SEH JIT Spray Exploit (ASLR+DEP Bypass)
  - Wiele innych

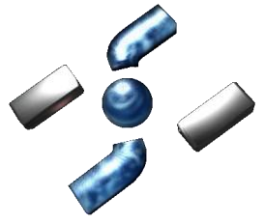
User-mode exploitation



Obsługa wyjątków a x86-64

- Brak mechanizmu SEH
- Statyczna lista handlerów
  - Znajduje się w nagłówkach pliku PE32+
  - Rozszerzalne za pomocą API: *RtlAddFunctionTable*, *RtlInstallFunctionTableCallback*

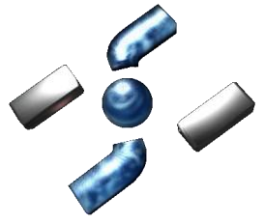
User-mode exploitation



Wnioski?

… trudniej … ☺

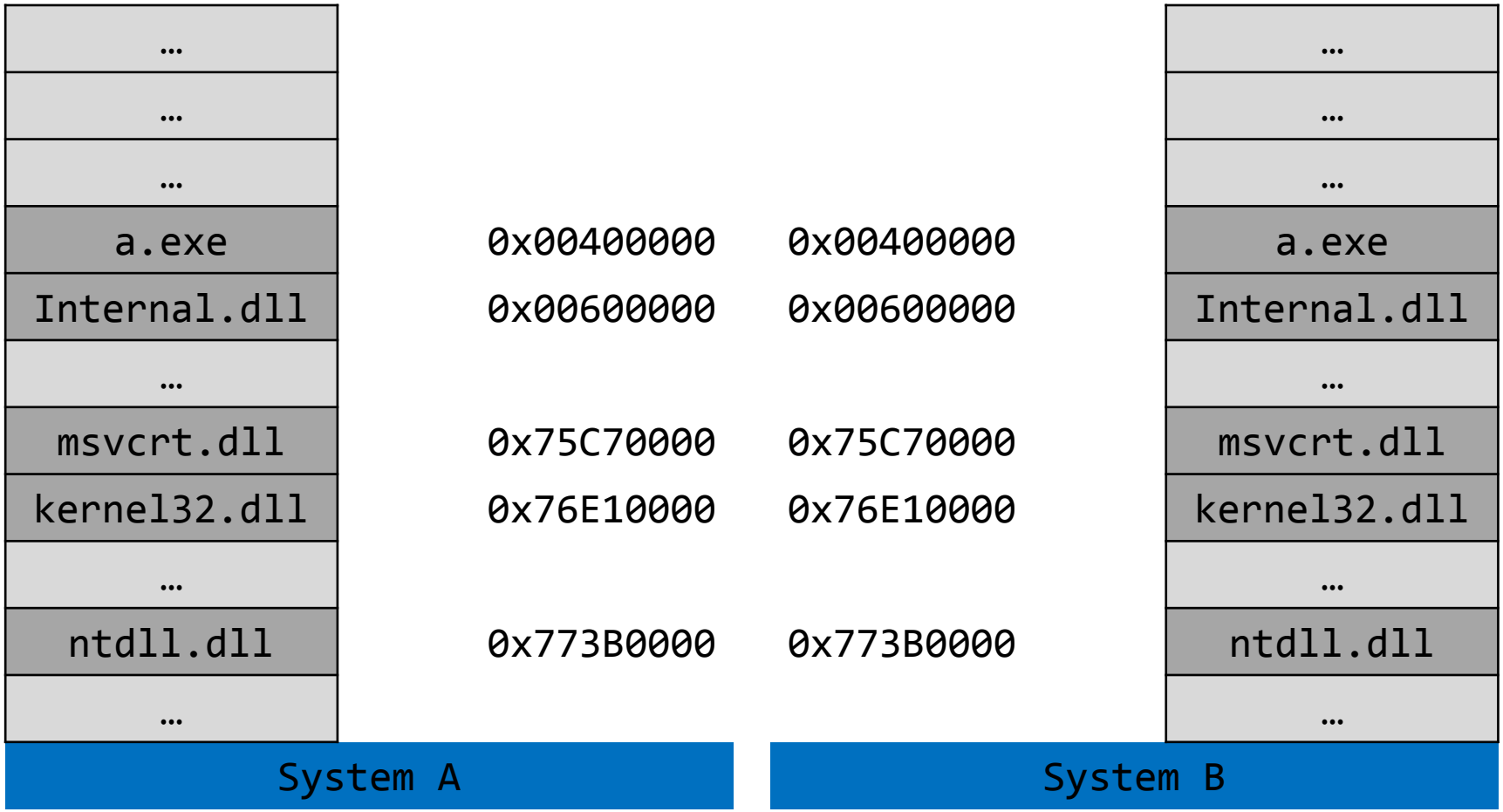
User-mode exploitation



- ALSR
  - Klasyczne zabezpieczenie przeciwko ROP
  - Obecny na systemach od Windows Vista wzwyż
  - Obrazy wykonywalne muszą mieć ustawioną flagę kompatybilności (w trakcie kompilacji)
  - Internet Explorer działa w trybie randomizacji adresów od wersji 8

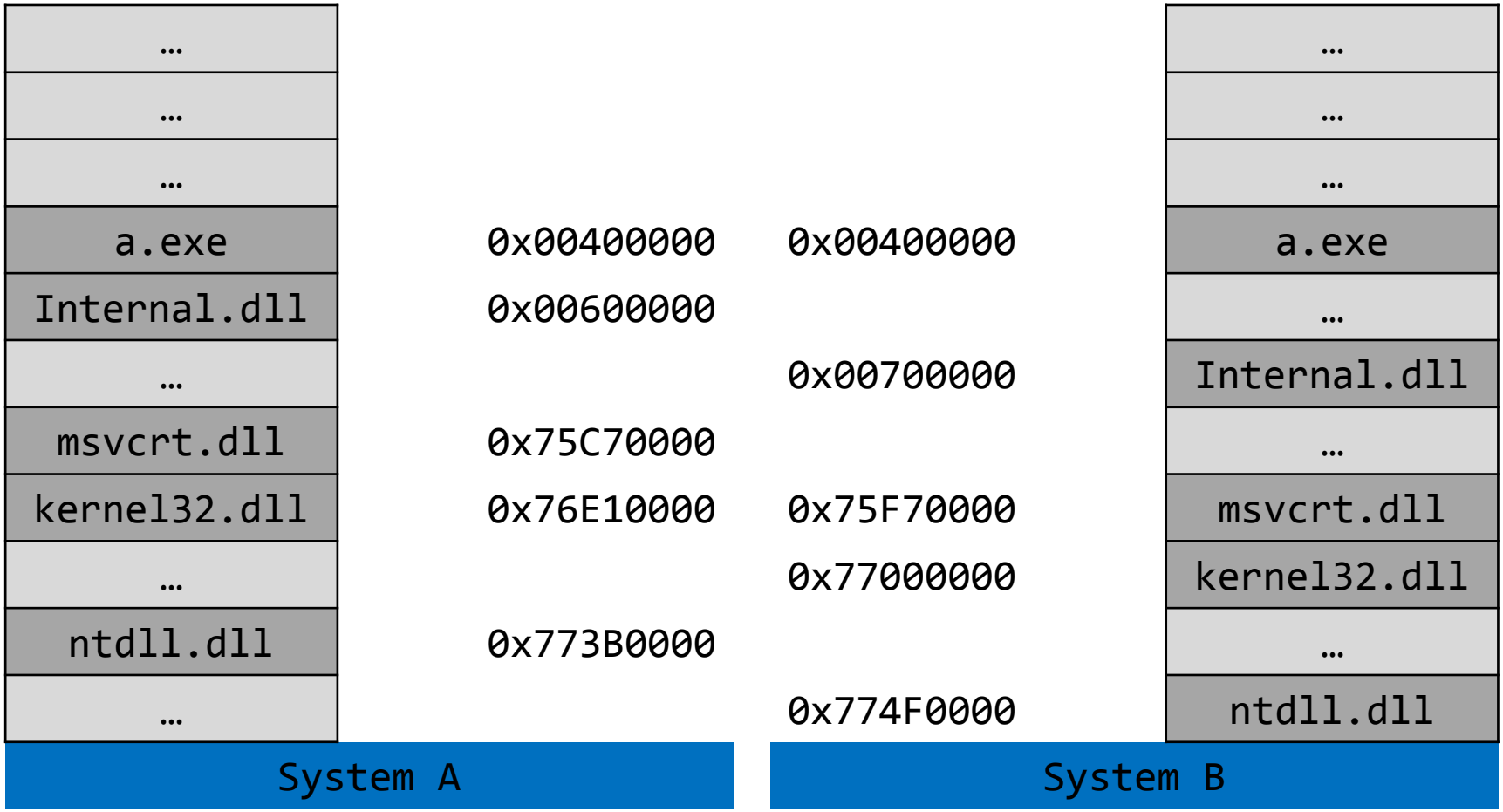
User-mode exploitation

- Układ pamięci wirtualnej procesu **wczoraj**

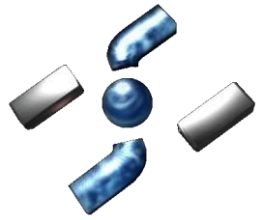


User-mode exploitation

- Układ pamięci wirtualnej procesu **dziś**

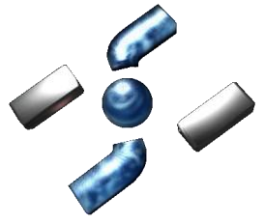


User-mode exploitation



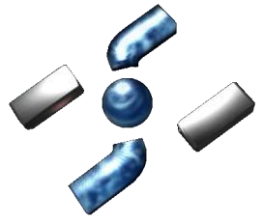
- Omijanie ASLR
  - Wyciek adresu
  - Memory spraying (*heap spraying*, *JIT spraying*)
  - Odszukanie niekompatybilnego modułu

User-mode exploitation



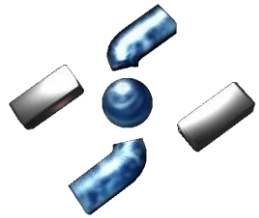
- DEP
  - Ochrona niewykonywalnych obszarów pamięci
  - Domyślnie włączony dla wszystkich 64-bitowych aplikacji
  - Działa również w trybie jądra
    - … gdzie wszystkie moduły są 64-bitowe

User-mode exploitation



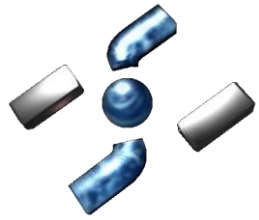
- Omijanie DEP
  - Najczęściej – *Return-Oriented Programming*
  - Rzadziej – JIT spraying (nowa technika)

User-mode exploitation



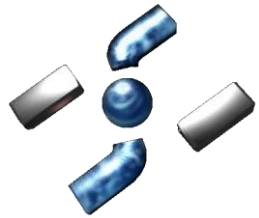
ROP?

User-mode exploitation



- ROP (Return-Oriented Programming)
  - Znane od kilkunastu(dziesięciu?) lat
  - Wcześniej pod nazwą *ret2anything* (libc)
  - Lub „recykling kodu” ☺
  - Szczególnie użyteczne po wprowadzeniu DEP (*Data Execution Prevention*)

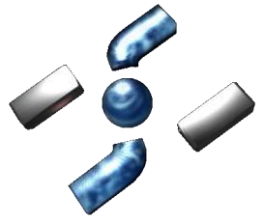
User-mode exploitation



ROP – na czym to polega?

Wcześniej: uruchamiamy *payload*, umieszczony w pamięci (np. na stosie)

Obecnie: uruchamiamy *payload*, korzystając z gadżetów



User-mode exploitation

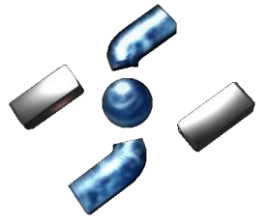
WTF Gadżety???

Gadżet: *krótki* kod maszynowy, zakończony instrukcją skoku (najczęściej powrotu)

```
…
0x0C0C0C0C: POP EAX
0x0C0C0C0D: POP EBX
0x0C0C0C0E: POP ECX
0x0C0C0C0F: LEAVE
0x0C0C0C10: RET
…
```

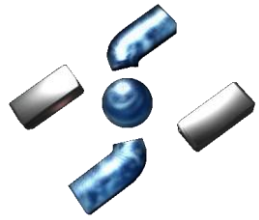
Przykład gadżetu

User-mode exploitation



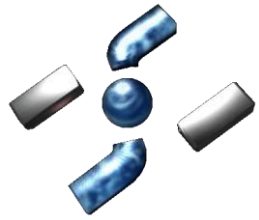
„Komponowanie” payloadu, poprzez tworzenie ciągu *gadżetów*, składającego się w poprawny *shellcode*

User-mode exploitation

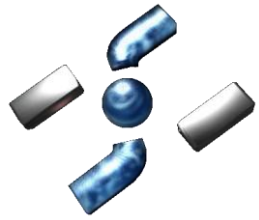


- Wystarczy, żeby zaalokować pamięć wykonywalną i skopiować tam pozostałą część *payloadu*
- Jedno ale – potrzebna znajomość adresów obrazów wykonywalnych

User-mode exploitation



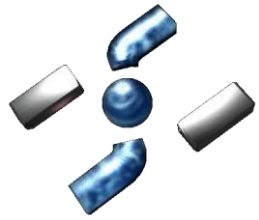
ASLR FTW ☺



User-mode exploitation

Różnice pomiędzy x86 a x64 ROP

1. Konwencja wywołań WINAPI
   - 32-bit: **STDCALL**
     - Wszystkie argumenty kładzione na stos
     - Wartość zwracana = EAX
     - Funkcja wywoływana przywraca stan stosu

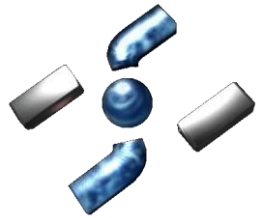


User-mode exploitation

Różnice pomiędzy x86 a x64 ROP

1. Konwencja wywołań WINAPI
   - 64-bit: **~FASTCALL**
     - Pierwsze cztery argumenty w RCX, RDX, R8, R9; kolejne na stosie
     - Rezerwacja miejsca na stosie, dla argumentów przekazanych przez rejestry

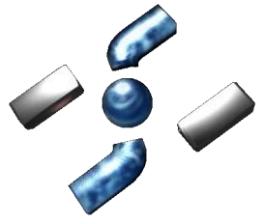
User-mode exploitation



Wnioski?

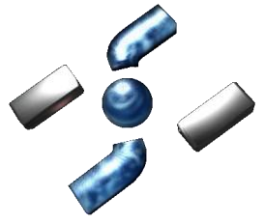
… trudniej … ☺

User-mode exploitation

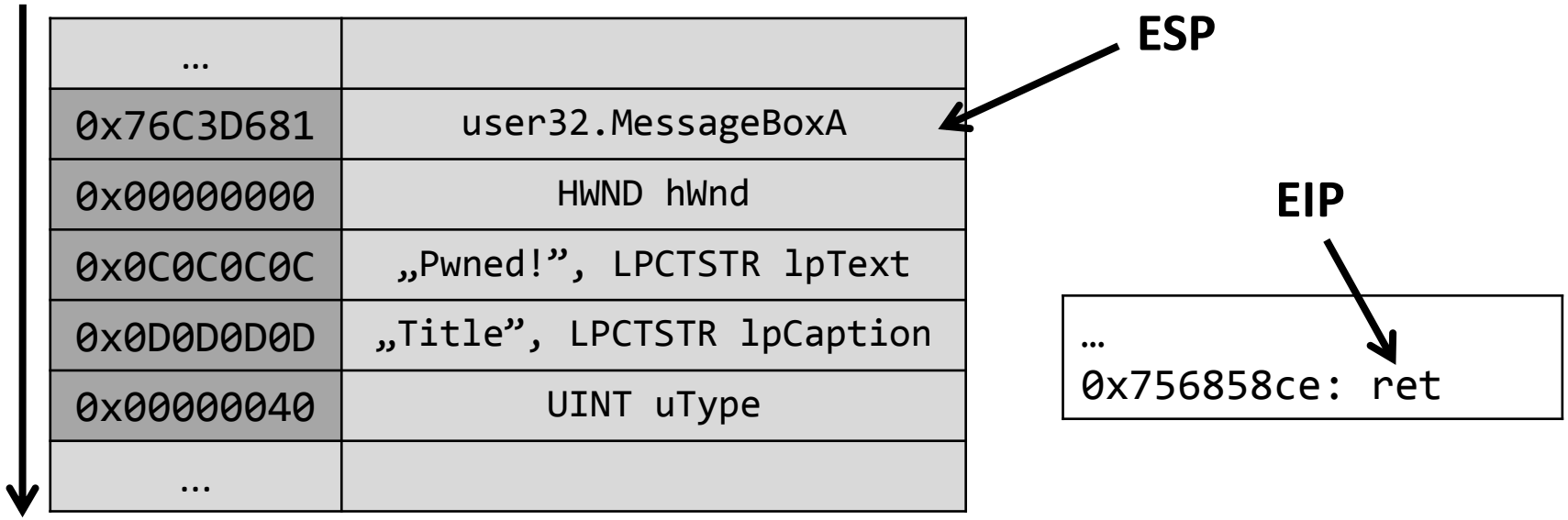


Przykład: wywołanie funkcji *MessageBoxA*,
z kontrolowanymi argumentami

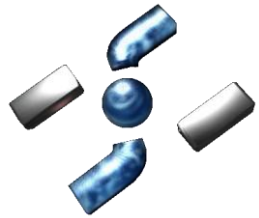
User-mode exploitation



- 32-bit:



User-mode exploitation



64-bit:

RSP

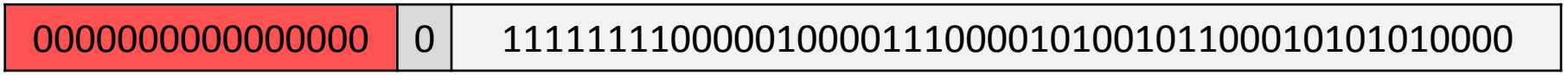
RIP

```
…
0x756858ce: ret
```

…	
0x00000000`75BA1083	XOR RCX, RCX RET
0x00000000`76E1122D	POP RDX RET
0x00000000`0C0C0C0C	„Pwned!”, LPCTSTR lpText
0x00000000`773BA12E	POP R8 POP R9 RET
0x00000000`0D0D0D0D	„Title”, LPCTSTR lpCaption
0x00000000`00000040	UINT uType
0x00000000`76C3D681	user32.MessageBoxA
0x20 * ‘\0’	Stack padding
…	

User-mode exploitation

ROP a kanoniczny zapis adresów wirtualnych

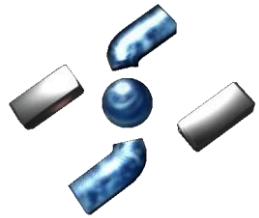


16 bitów dopełnienia 48 bitów - właściwy adres wirtualny

- W każdym adresie trybu użytkownika pojawiają się dwa zera
  - Terminator dla ciągów tekstowych ANSI i UNICODE
  - Problem w przypadku tekstowego przepełnienia na stosie

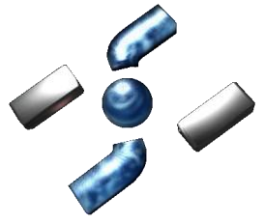
PRZEMYŚLENIA RÓŻNE

Random stuff



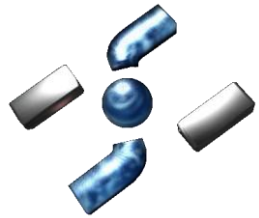
- Większy rozmiar wskaźników → większe struktury wewnętrzne (nagłówki sterty itd.)
  - HEAP_ENTRY
  - POOL_ENTRY

Random stuff



- DWORD * DWORD ≠ Integer Overflow anymore ☺

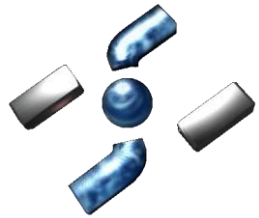
Random stuff



- Błędne założenia dot. rozmiaru typów
  - SIZE_T
  - Wskaźniki

```
SIZE_T values[10];
memset(values,0,4*10);
```

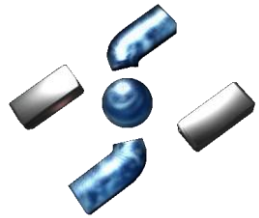
Random stuff



- Klasa błędów *Integer Wrap*
  - QWORD value = 0x12345678AB;

    użycie (DWORD)value → utrata górnych bitów, możliwy buffer overflow

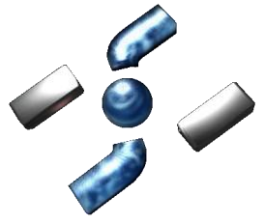
x64 exploitation tools



- Windbg + 64-bit guest
  - VMWare
  - VirtualBox
- WinAppDbg
- MOSDEF x64
- IDA64, IDAPython64

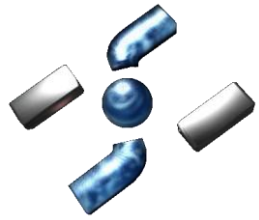
PODSUMOWANIE

Podsumowując…

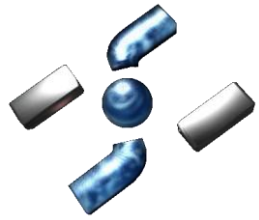


- x86-64 architekturą przyszłości
- Niezbyt dobrze zbadana
  - „*First rootkit targeting 64-bit Windows spotted in the wild*” Posted on **27.08.2010**… WHAT?
- Otwiera spore możliwości

Podsumowując



- Poczekajmy na nowe, charakterystyczne dla x64 klasy błędów ☺
  - *CVE-2009-2847: Linux Kernel <= 2.6.31-rc5 sigtalstack 4-Byte Stack Disclosure* (padding attack)



Pytania

Dziękuję za uwagę!

Q & A

E-mail: **j00ru.vx@gmail.com**

Blog: **http://j00ru.vexillium.org/**

Twitter: **http://twitter.com/j00ru**