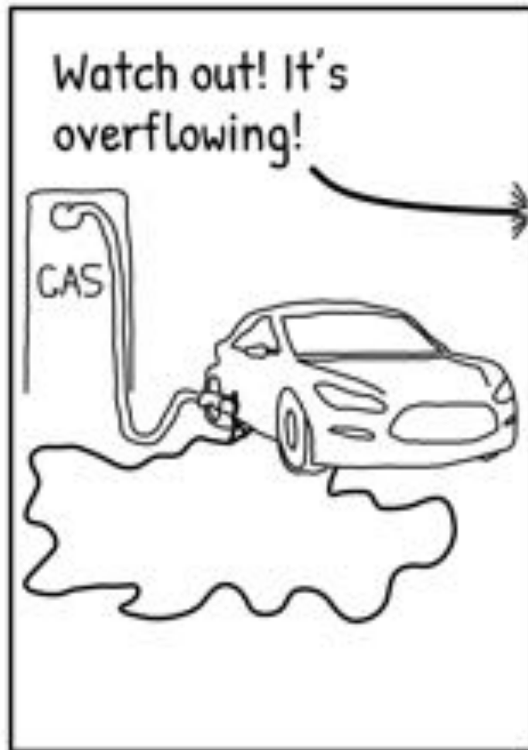
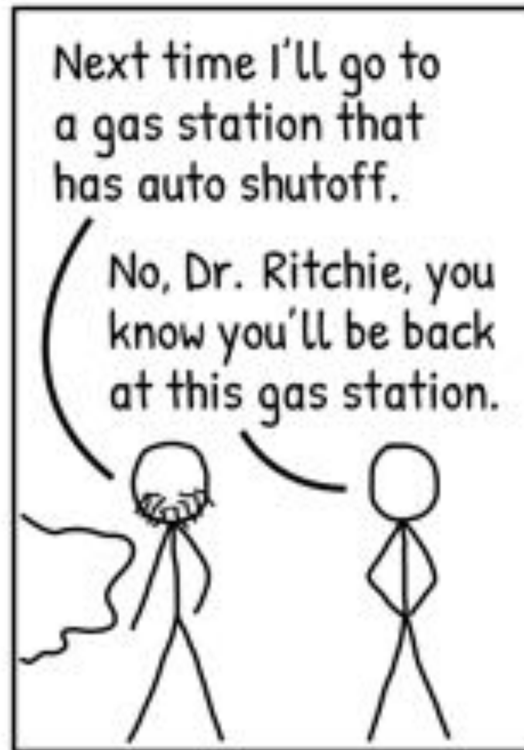
Bevezetés a memória korrupciós hibákba

VIHIBB01 – Kódolás és IT biztonság (2020)

Gazdag András

CrySyS Lab, BME
agazdag@crysys.hu





Buffer Overflow.

icanbarelydraw.com CC BY-NC-ND 3.0

MEMÓRIA KORRUPCIÓ

Memória korrupció

- Akkor történik, ha a memória egy része véletlenül vagy szándékosan módosul egy programozási hiba miatt
  - Támadások sem mindig tudják vagy akarják célzottan módosítani a memóriát
  - A módosulás maga is elég lehet a támadónak
- Ha a módosított memória tartalmat a program később felhasználja, akkor ez összeomláshoz vagy véletlen viselkedéshez vezethet
- Példák memória korrupcióra:
  - Buffer overflow (puffer túlcsordulás) a stacken vagy a heapen
  - Integer overflow (integer túlcsordulás)
  - NULL pointer hibák vagy dangling (lógó) pointer hibák
- Memória korrupcióhoz vezető hibákat tipikusan nehéz megtalálni egy forráskódban (nagyrészt emiatt marad sok ilyen hiba a kész termékekben)

Memória korrupció

Error

Access violation at address 00629008 in module 'TabbedApplication.exe'. Read of address 000003D9.

OK

Microsoft Visual Studio

Unhandled exception at 0x52740ccf in guikeyboard_test_developer.exe: 0xC0000005: Access violation reading location 0x0000000000000000.

Ignore

Satellite

ss violation at address
dress 00000004

```
tomer@ubuntu: ~/ti/simplelink_cc13x0_sdk_1_30_00_06/kernel/tirtos/builds/CC1310_L
tomer@ubuntu:~/ti/simplelink_cc13x0_sdk_1_30_00_06/kernel/tirtos/builds/CC1310_L
AUNCHXL/debug/gcc$ make
Segmentation fault (core dumped)
makefile:39: recipe for target 'all' failed
make: *** [all] Error 139
tomer@ubuntu:~/ti/simplelink_cc13x0_sdk_1_30_00_06/kernel/tirtos/builds,
AUNCHXL/debug/gcc$
```

Crash info

Unhandled exception

Program: ...e\Steam\steamapps\common\Take On Mars\TKOM.exe
Reason: Access violation. Illegal read by ce3bce0 at 0

[QueryOglResource]: ??? addr:0x0ce3bce0
[QueryOglResource]: ??? addr:0x0ce3bce0

(Press Retry to debug the application - JIT must be enabled)

Abbrechen | Wiederholen | Ignorieren

Buffer overflow

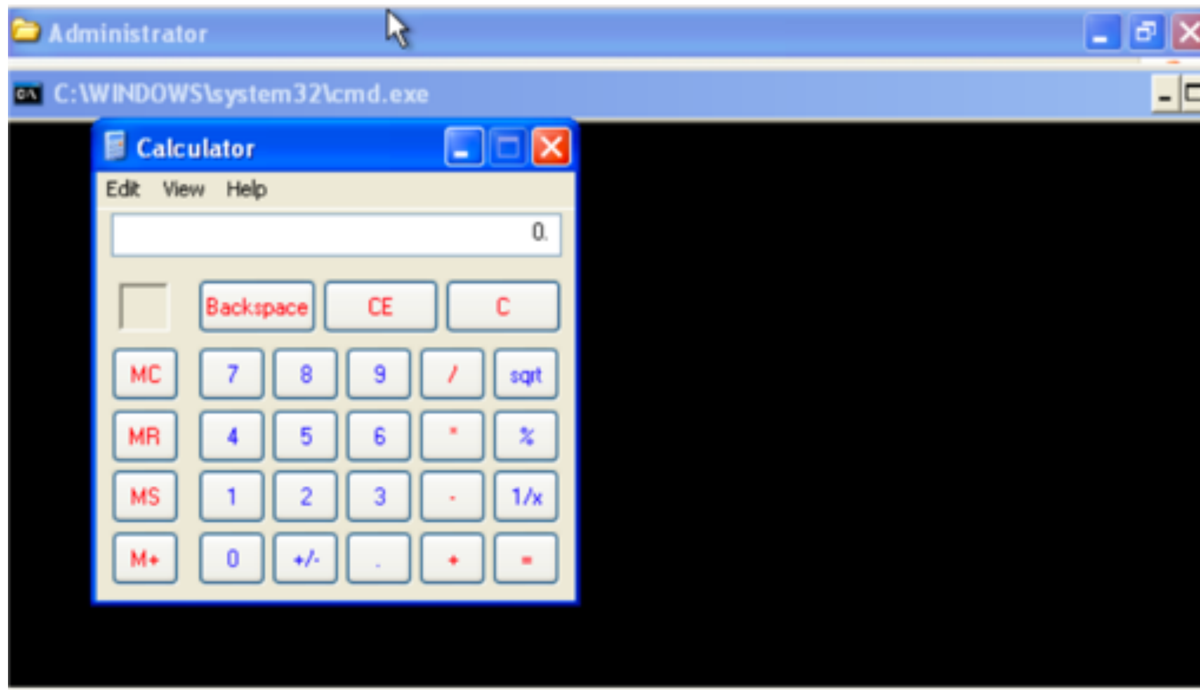
- Akkor történik, ha egy buffer tartalma túllépi a számára foglalt memória területet
- Általában a program ilyenkor összeomlik
  - Szegmentációs hibával Linux környezetben
  - Access violation hibával Windowson
- Támadó kihasználhatja a sérülékenységet úgy, hogy értékes területeket (visszatérési cím, pointerek) átír egy támadás során
- Kényszeríteni lehet vele egy programot arra, hogy változzon a végrehajtási útvonala így
  - Legrosszabb esetben a memóriába bejuttatott tartalmat kezdheti futtatni

Stack overflow

- Speciális alesete a buffer overflownak
- Akkor fordulhat elő, ha egy függvény egy kívülről érkező tartalmat egy lokális bufferébe másolja méret ellenőrzés nélkül
- Így egy kívülről érkező adat felülírhat más értékeket a stacken, akár a visszatérési címet is
  - Amikor a függvény végrehajtás végén a program visszatérne a függvényből, nem oda fog ugrani, ahova kellene
  - Így lehetséges átvenni az irányítást a végrehajtási útvonal felett
- Ha a módosított cím egy támadó által kontrollált tartalomra mutat, akkor az ilyenkor végrehajtásra kerül
  - Így lehetséges módosítani a végrehajtandó kódot

Nagyobb overflow támadások

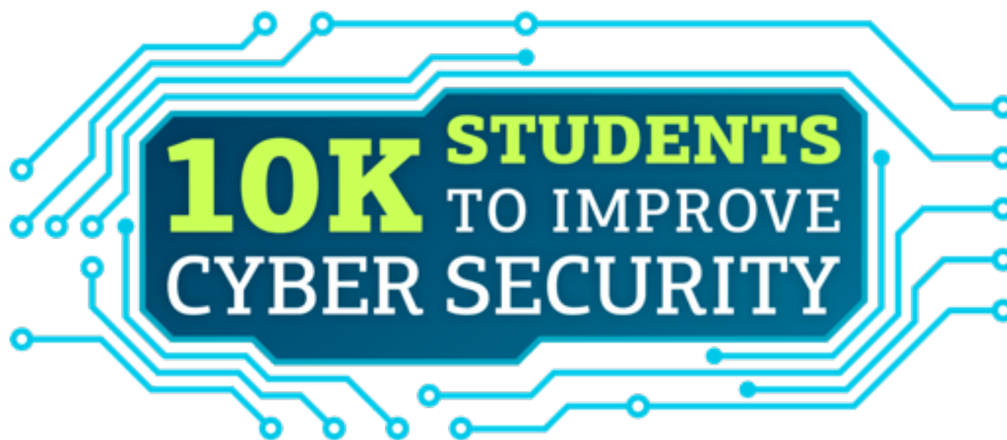
- Morris worm (1988): overflow a fingerd programban
  - 6000 fertőződött meg (10% az Internetnek)
- CodeRed (2001): overflow a Microsoft IIS szerverben
  - 300 000 fertőződött meg 14 óra alatt
- SQL Slammer (2003): overflow a MS-SQL szerverben
  - 75 000 gép fertőződött meg (90%-a az összes sérülékeny gépnek az interneten) 10 perc alatt
- 2006 és 2008 között az újonnan talált sérülékenységek több mint fele buffer overflow hiba volt
- Manapság a webes támadások száma nagyobb, ugyanakkor a buffer overflow alapú támadások még mindig széles körben kerülnek kihasználásra
  - Az IoT és az Industry 4.0 terjedése sokat ront ezen a helyzeten



A STACK OVERFLOW TÁMADÁS

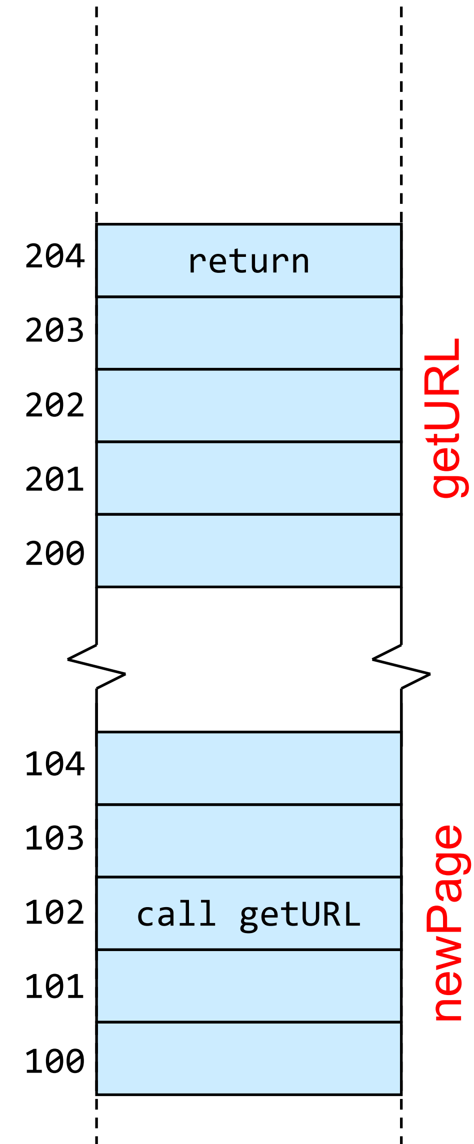
Kredit

Az itt bemutatott diák részben Prof. Herbert Bos (VU Amsterdam) munkáján alapulnak, amit a SysSec Network of Excellece keretében publikált a 10K students to improve cyber security kezdeményezés részként.



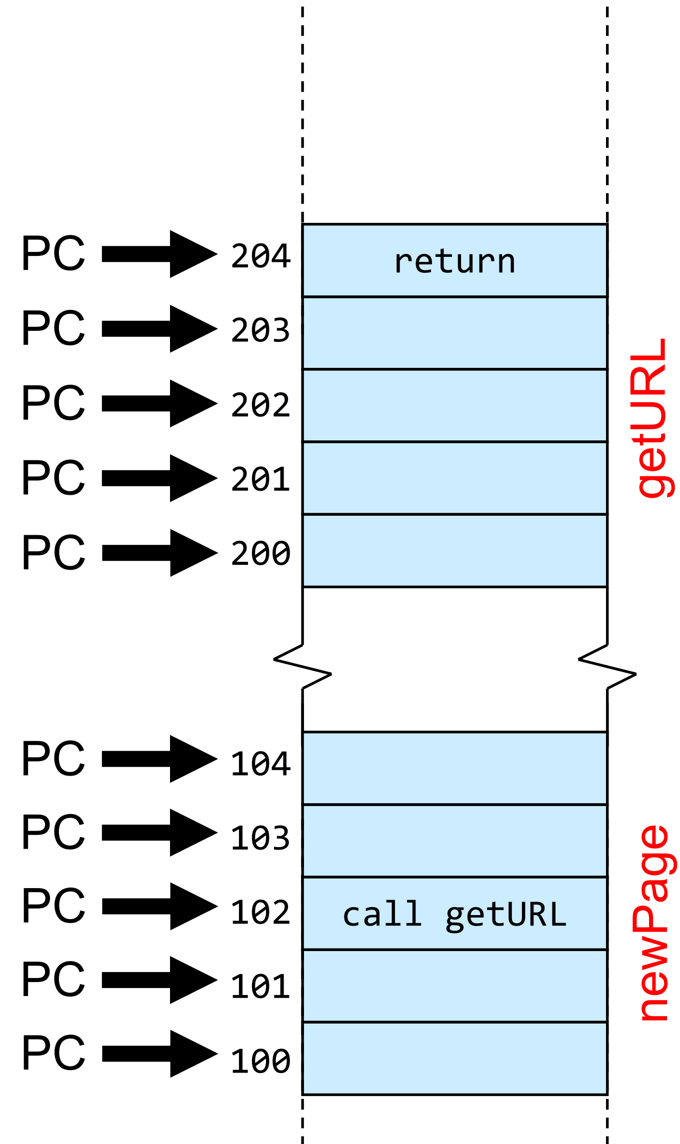
Egy program végrehajtása

- Utasítások sorozata a memóriában
- Logikailag függvényekre van osztva, amelyek egymást hívják meg valamilyen sorrendben
  - Pl: a `newPage()` függvény meghívhatja a `getURL()` függvényt



Egy program végrehajtása

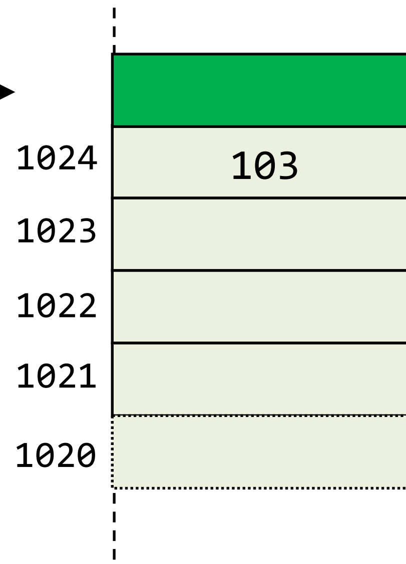
- Utasítások sorozata a memóriában
- Logikailag függvényekre van osztva, amelyek egymást hívják meg valamilyen sorrendben
  - Pl: a `newPage()` függvény meghívhatja a `getURL()` függvényt
- A processzorban a program counter (PC) tárolja a következőnek végrehajtandó utasítás címét
  - Átlagos esetben a PC értéke egyesével kerül növelésre
    - A 100. címen lévő utasítást a 101. címen lévő utasítás végrehajtása követi
  - ***Kivéve, ha egy függvényhívás történik***

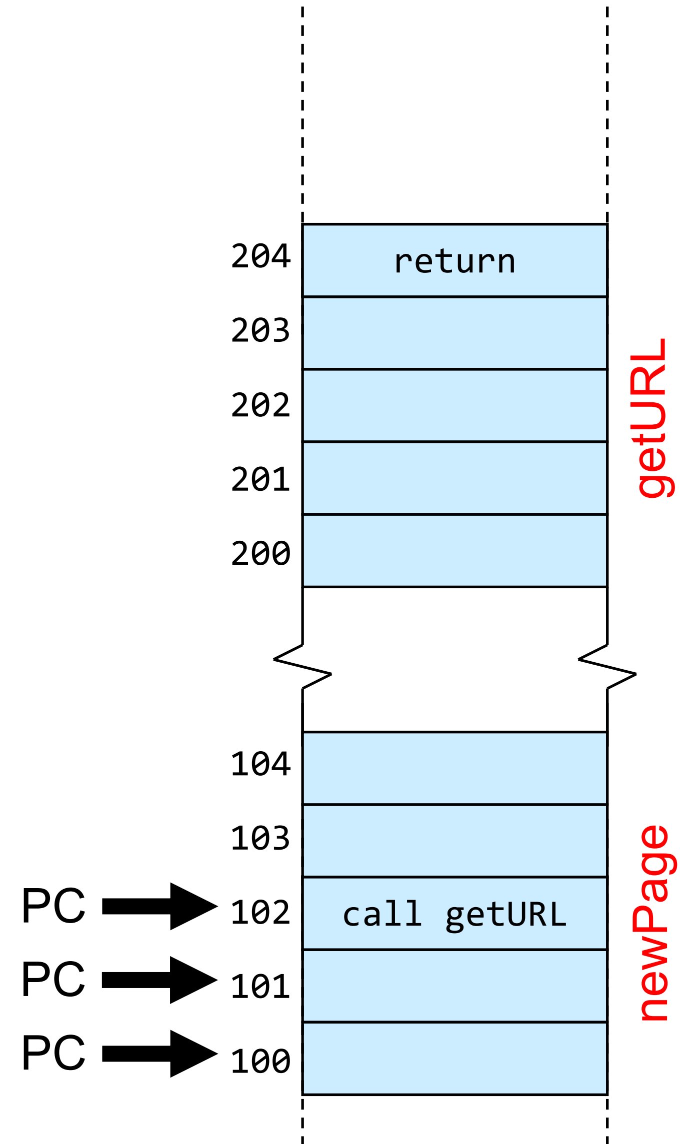


Egy program végrehajtása

- Honnan tudja a CPU, hogy hova kell visszatérnie?
  - Eltárolja a visszatérési címet a stacken

stack pointer (SP)
Az utolsó értékre mutat a stacken;
A stack ellentétes irányba nő, mint amerre a végrehajtás halad!

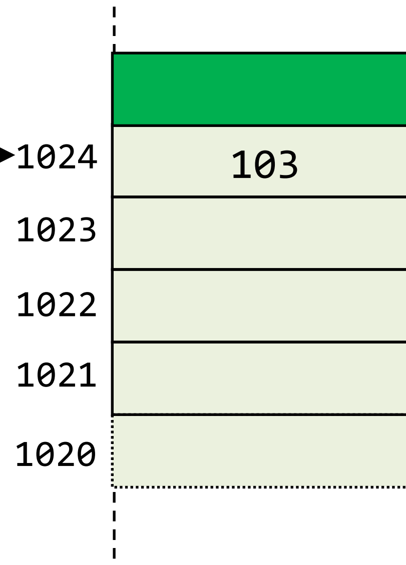


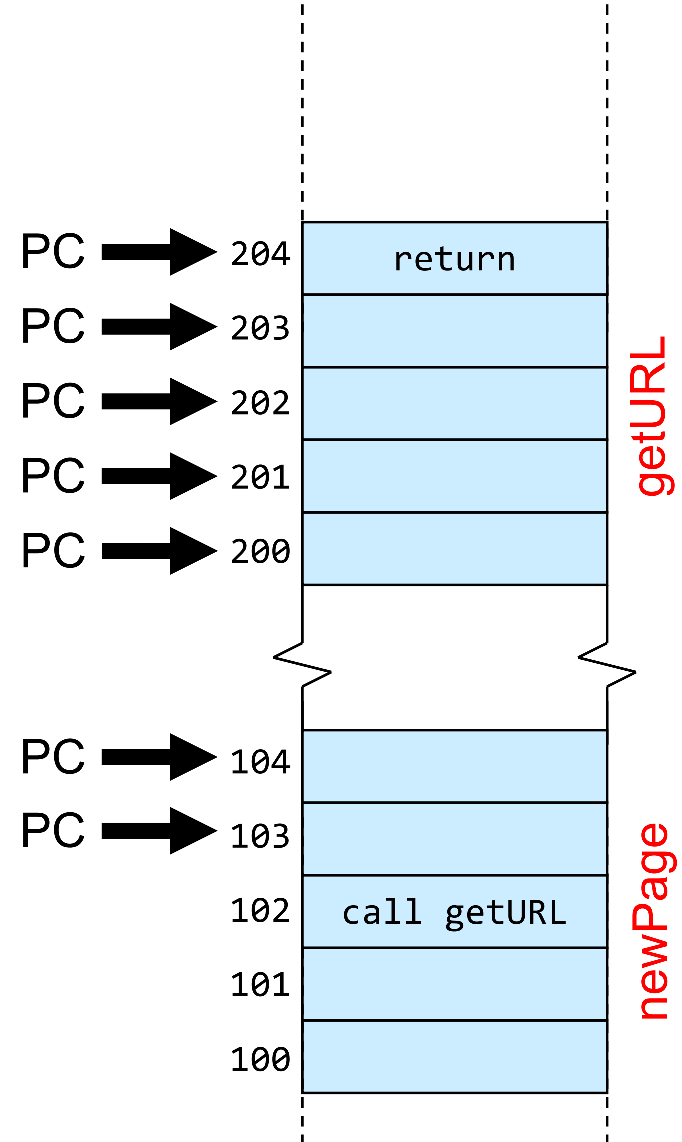


Egy program végrehajtása

- Honnan tudja a CPU, hogy hova kell visszatérnie?
  - Eltárolja a visszatérési címet a stacken

stack pointer (SP)
Az utolsó értékre mutat a stacken;
A stack ellentétes irányba nő, mint amerre a végrehajtás halad!



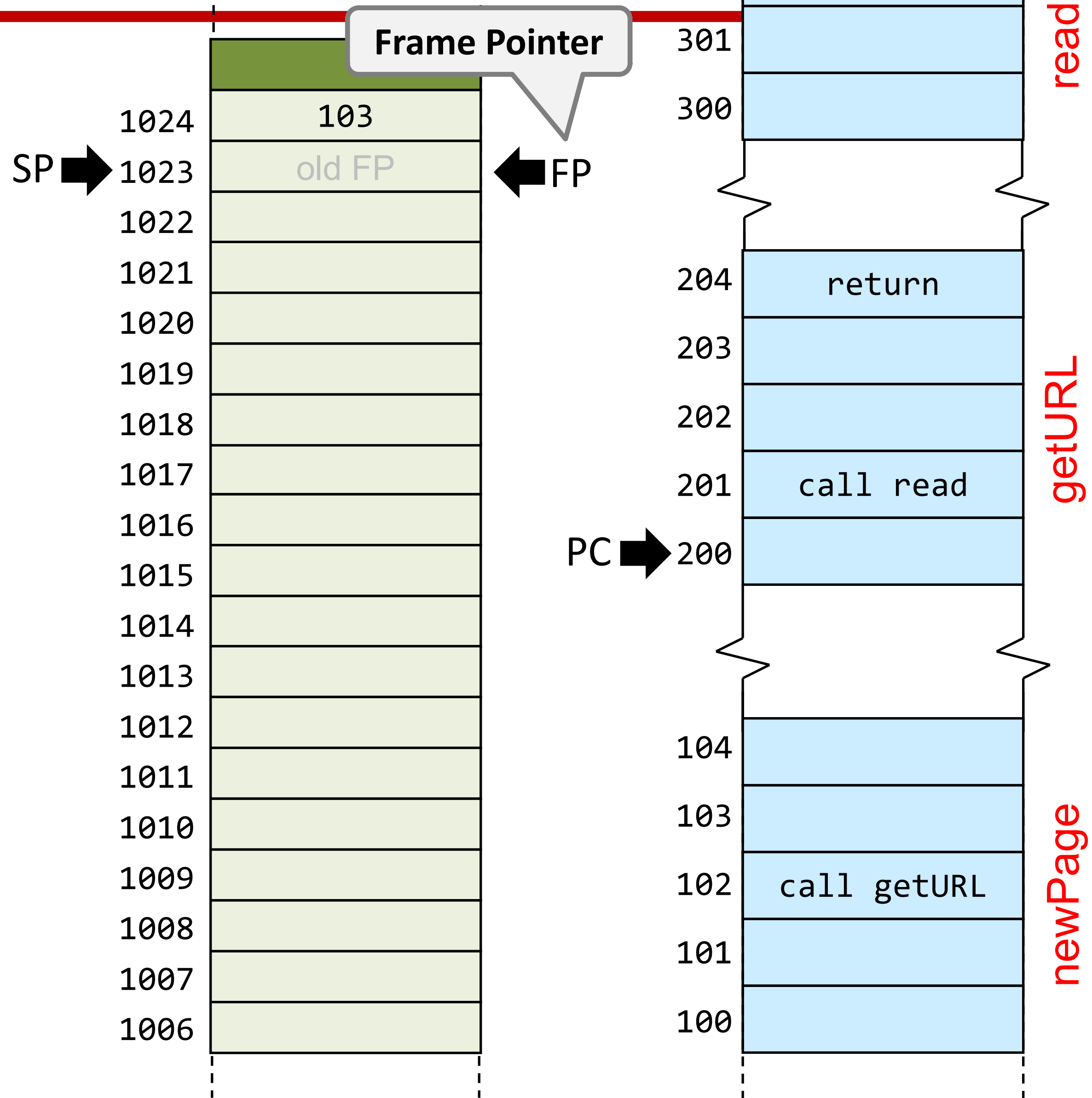


Függvény változókkal

```
getURL()
{
   char buf[10];
   read(keyboard,buf,64);
   loadPage(buf);
}

newPage()
{
   getURL();
}
```

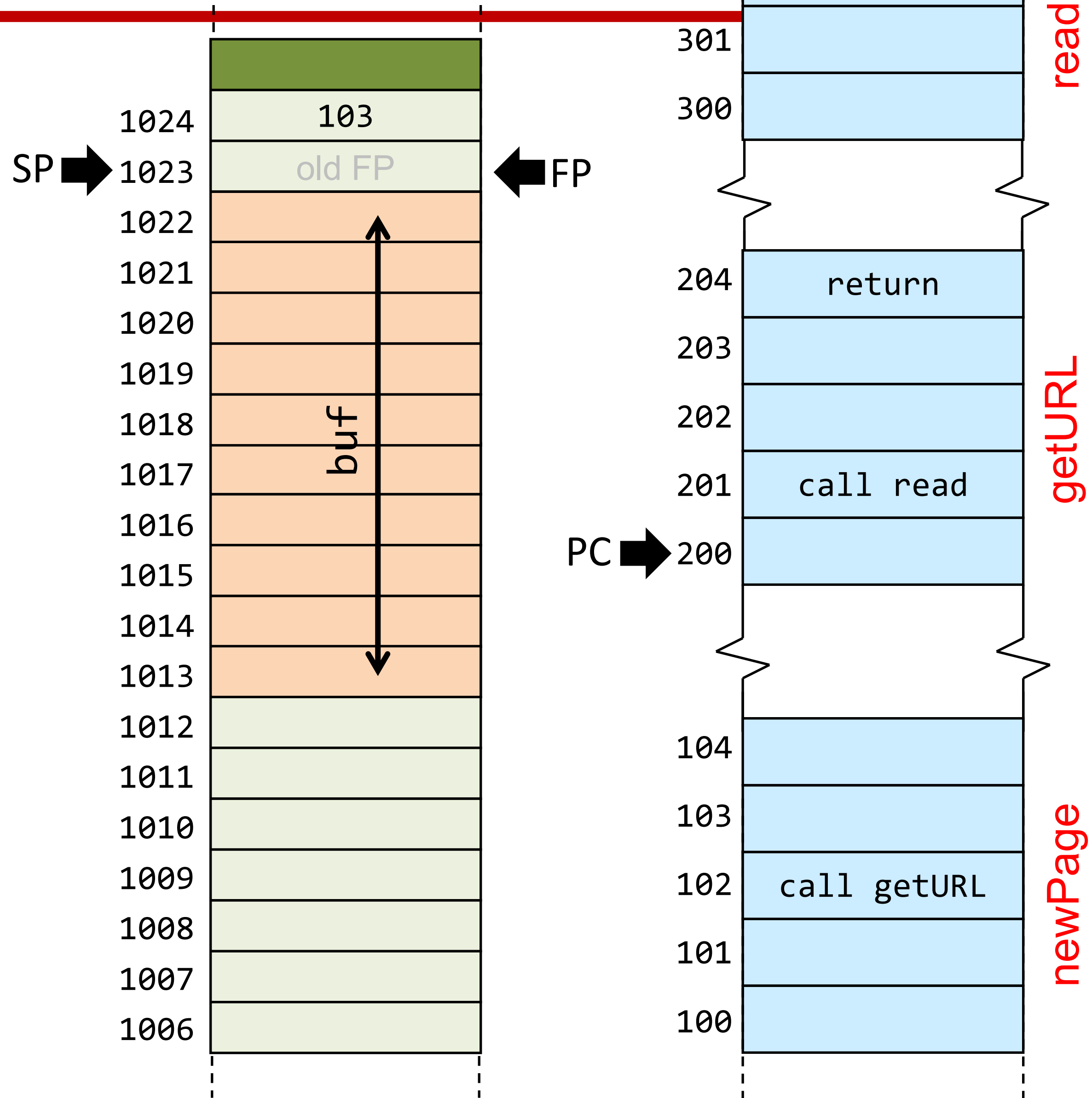
Amikor getURL() meghívódik...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



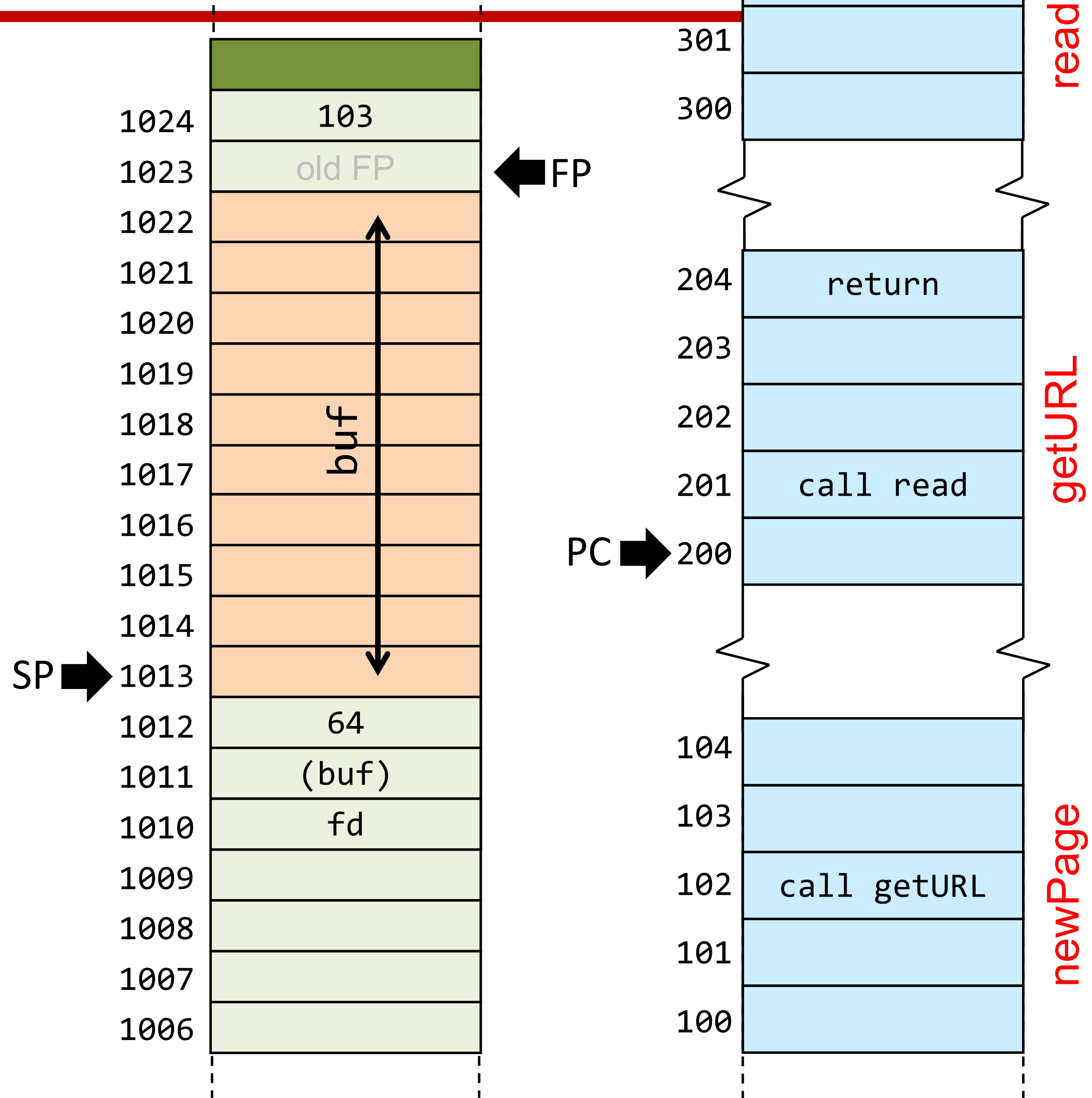
Amikor getURL() meghívódik...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



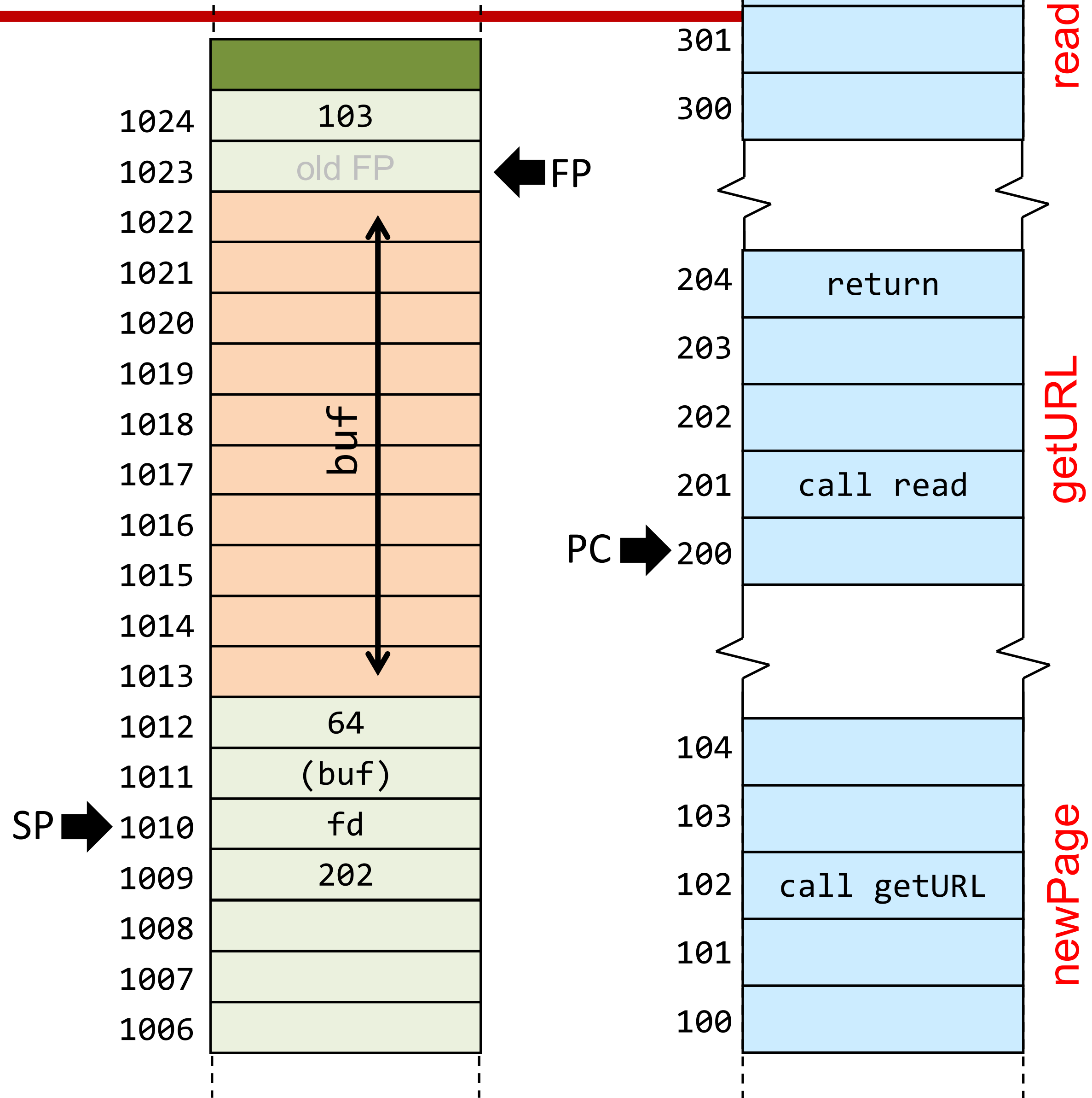
Amikor getURL() meghívódik...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



Amikor getURL() meghívódik...

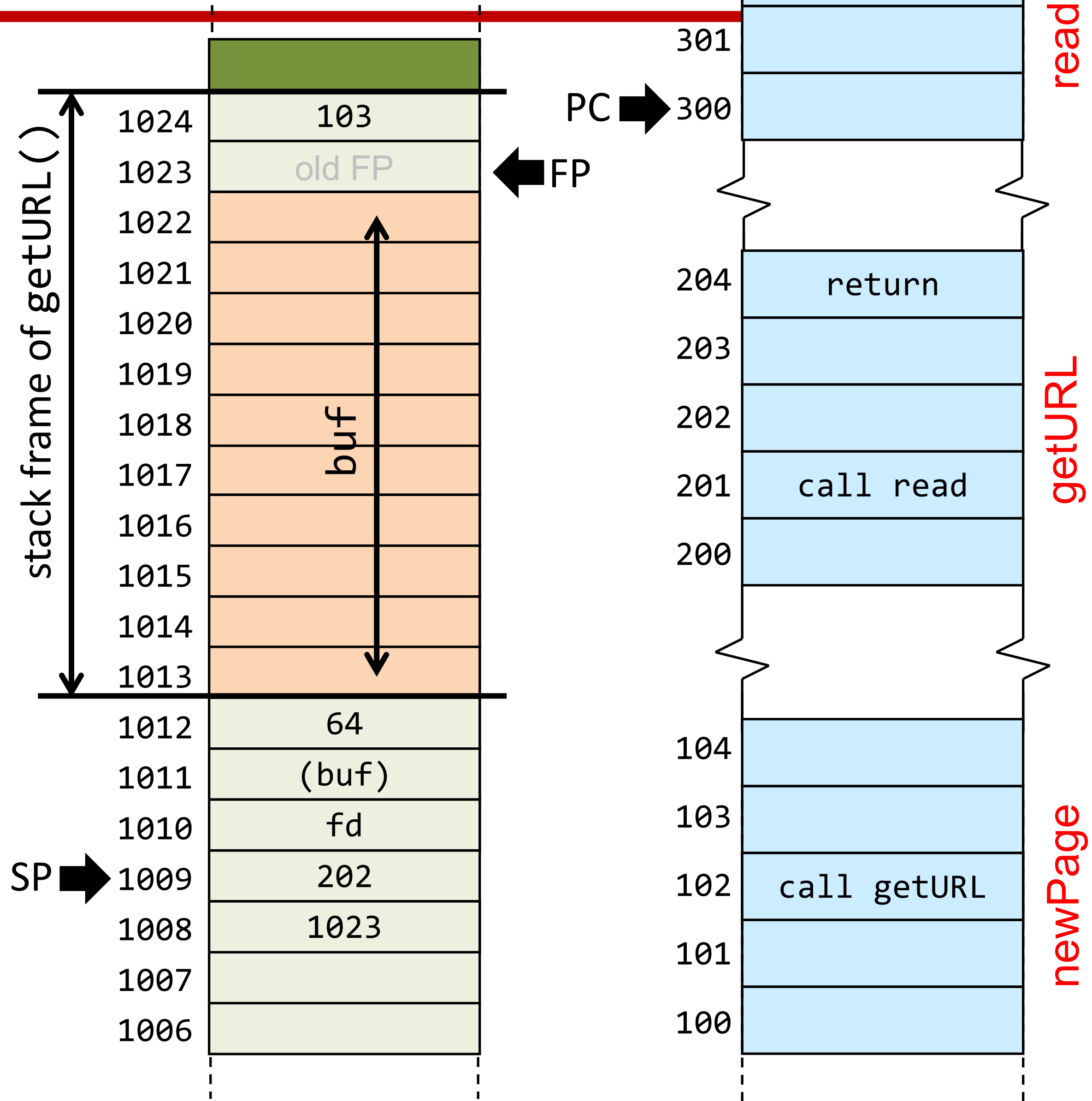
```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



Amikor getURL() meghívódik...

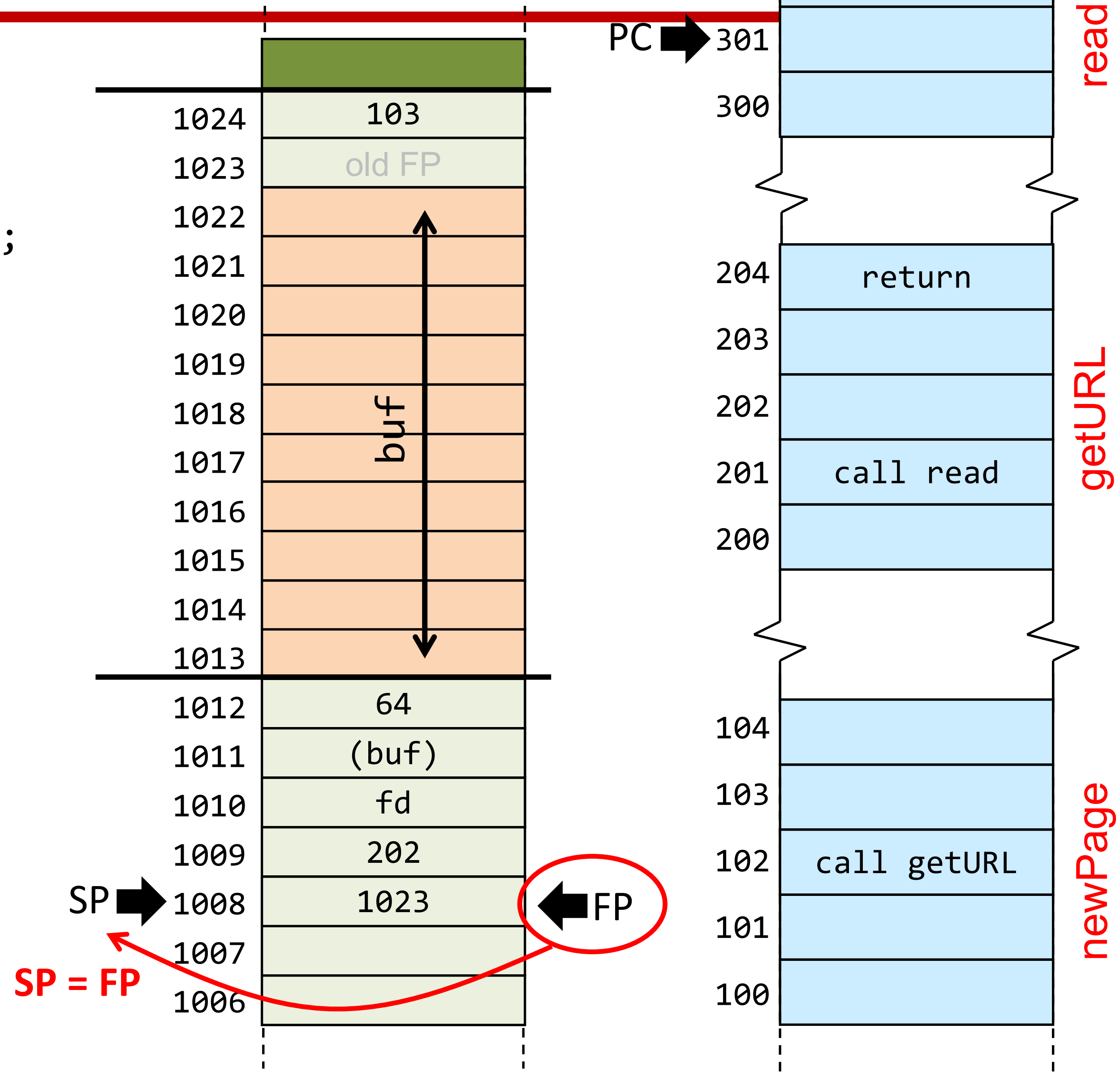
```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```

push FP
FP = SP



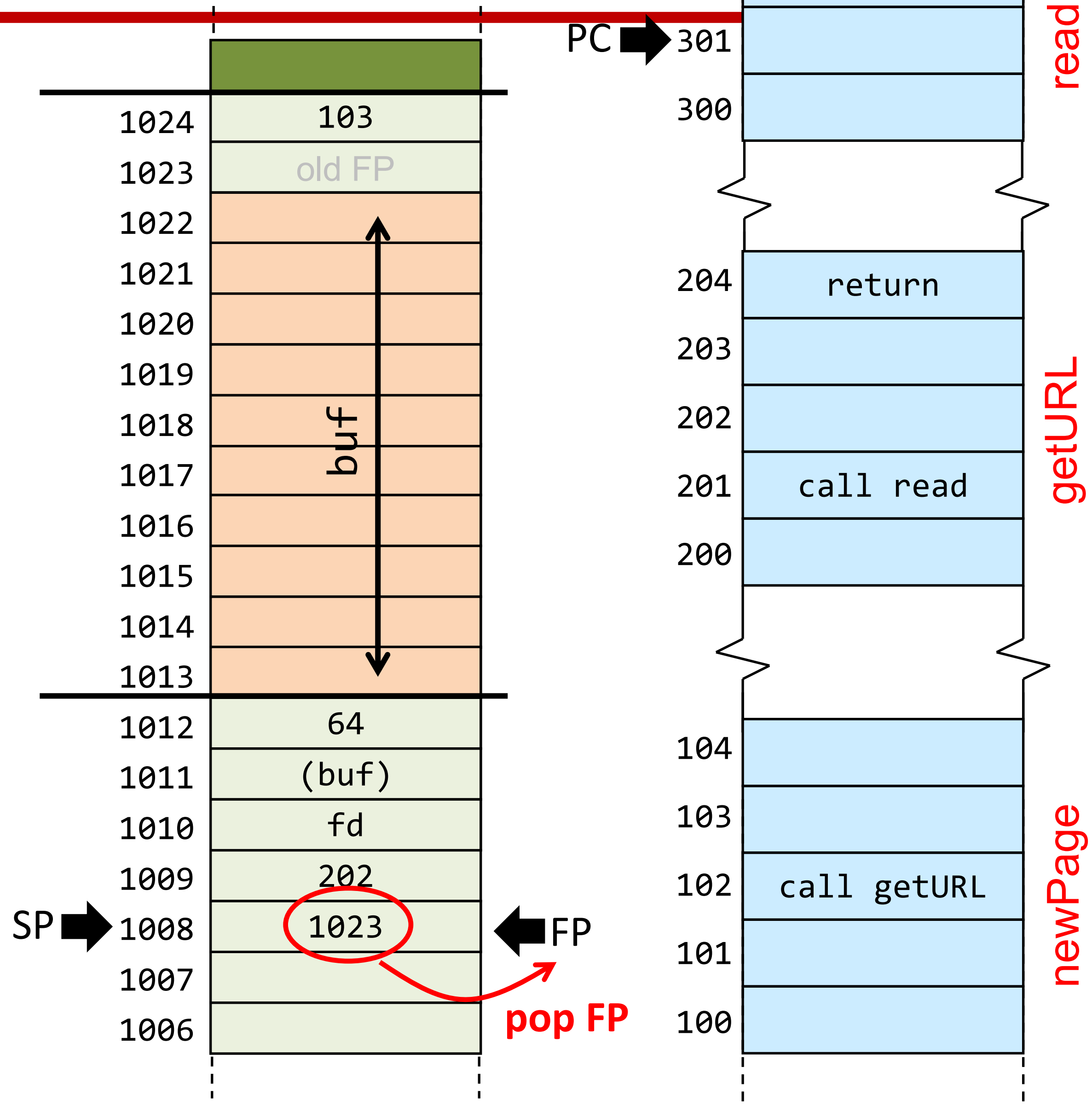
Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



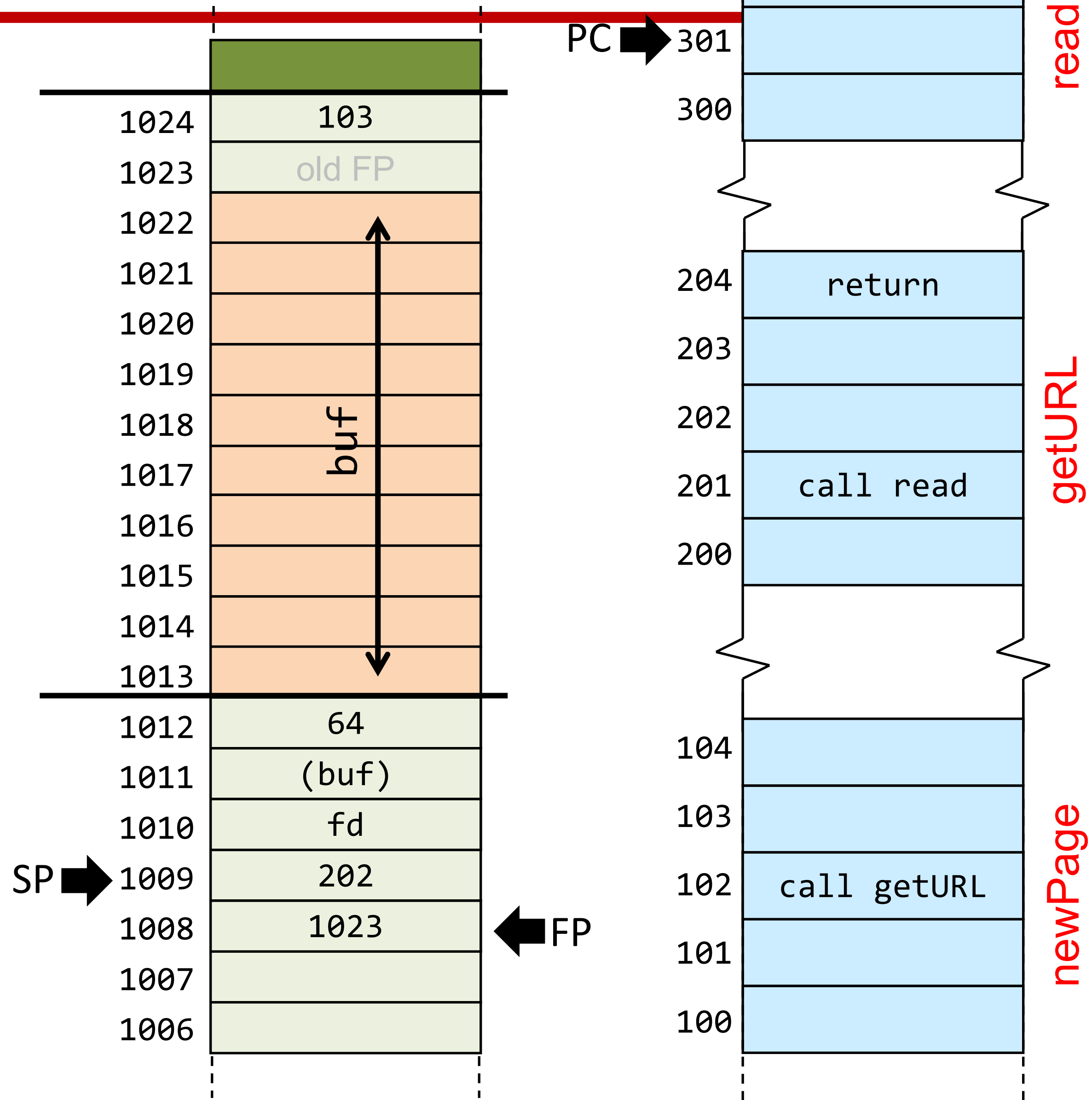
Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



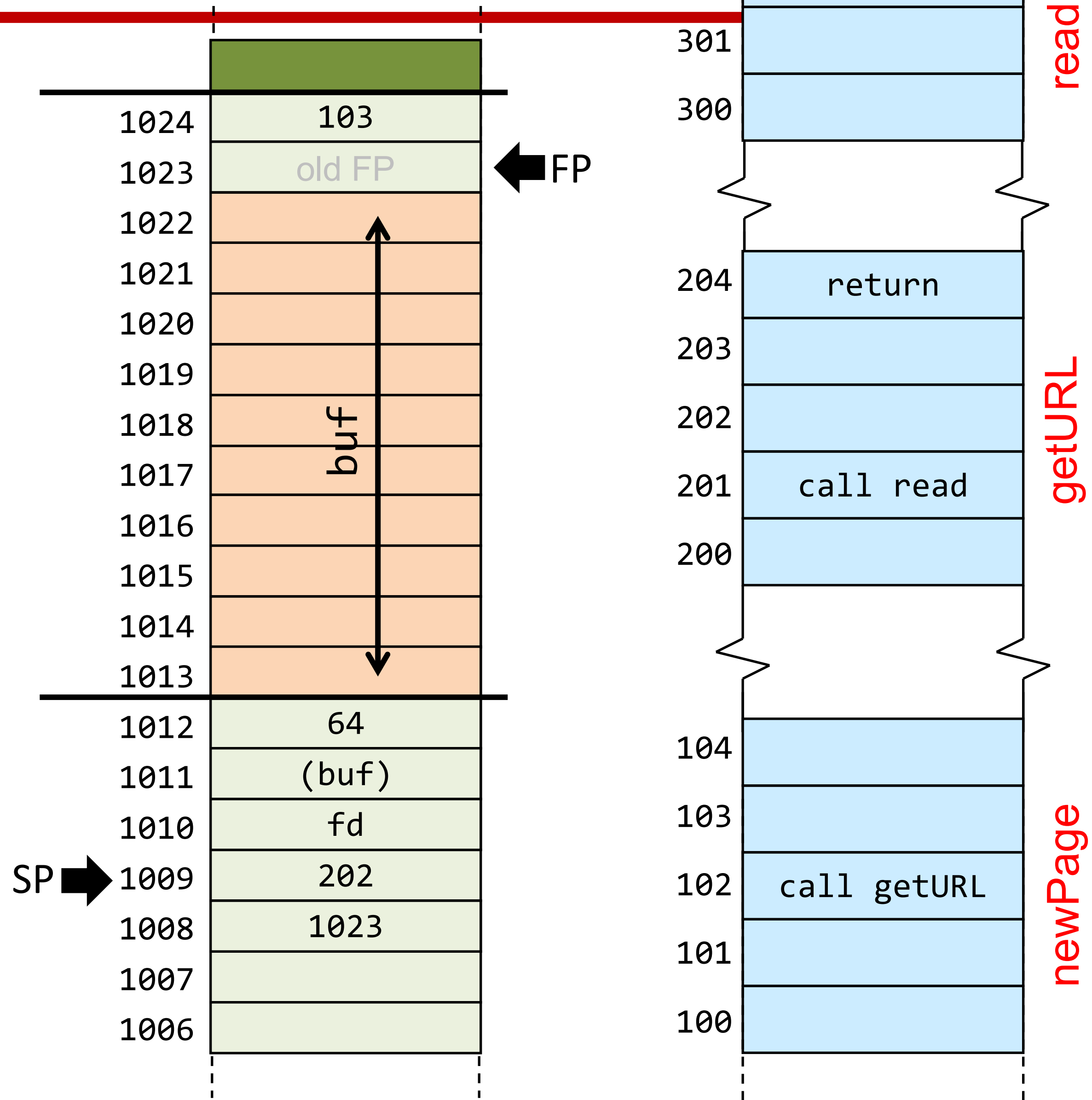
Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```

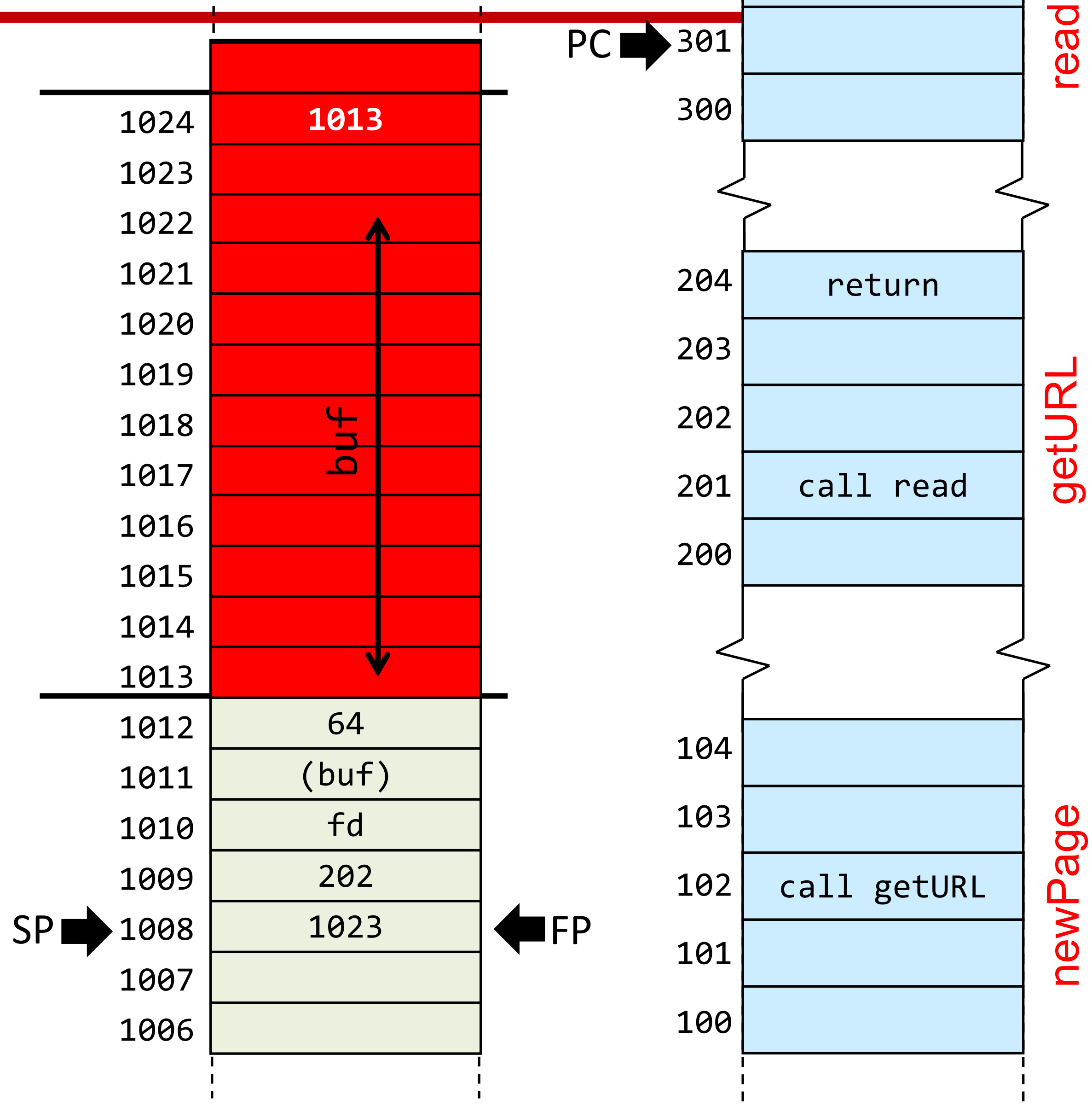


Mi a probléma?

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```

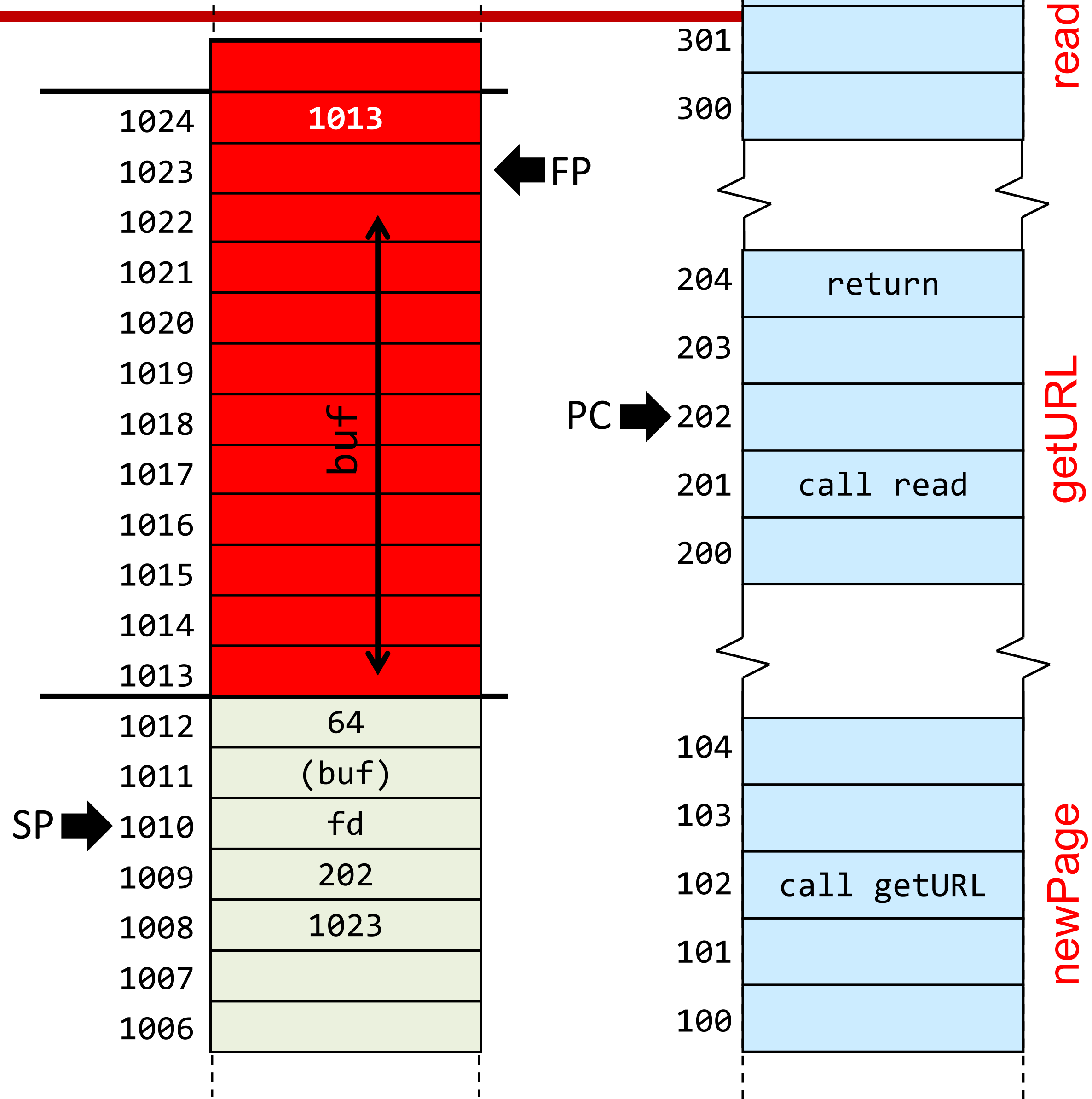
Mi a probléma?

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



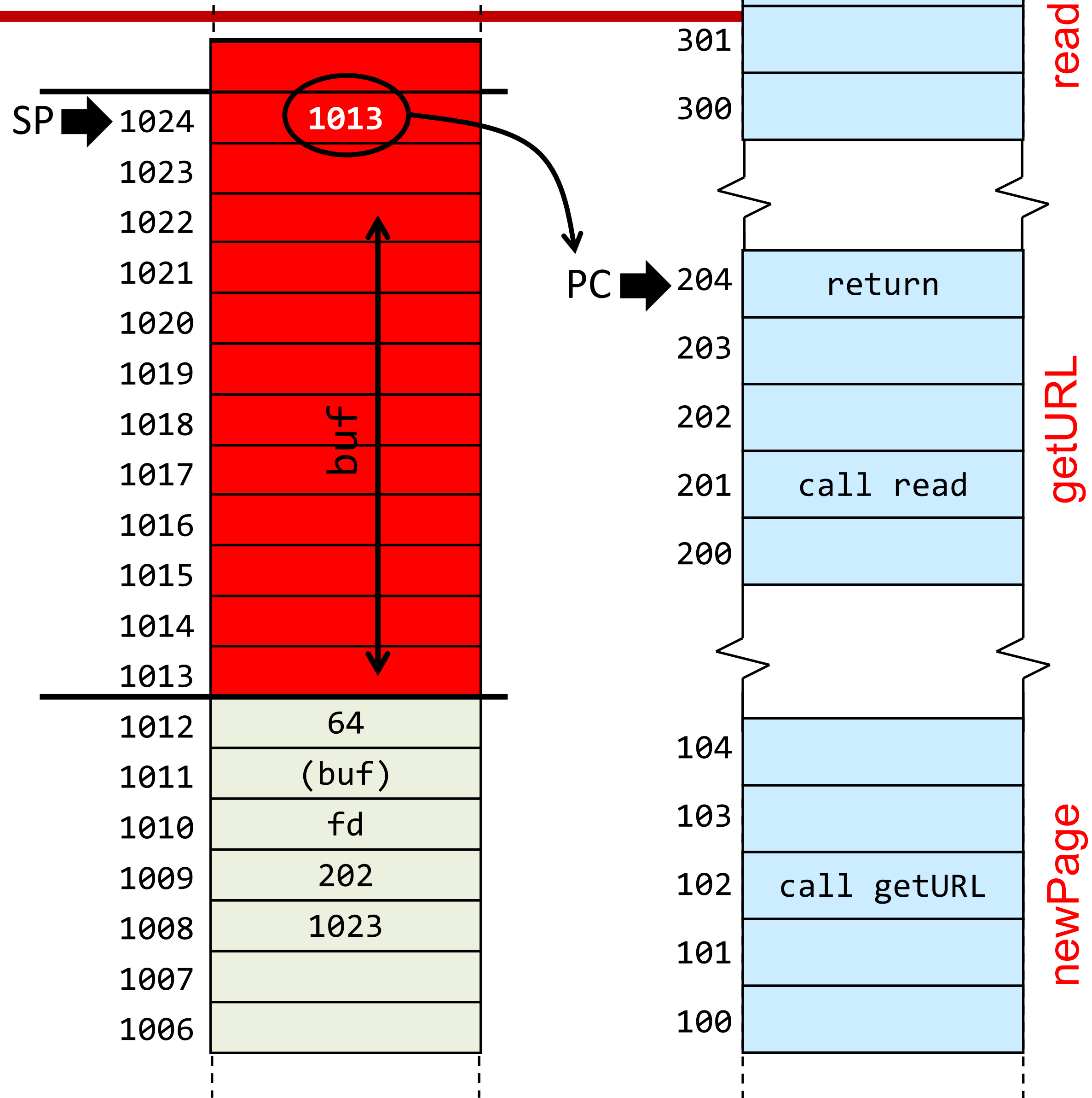
Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



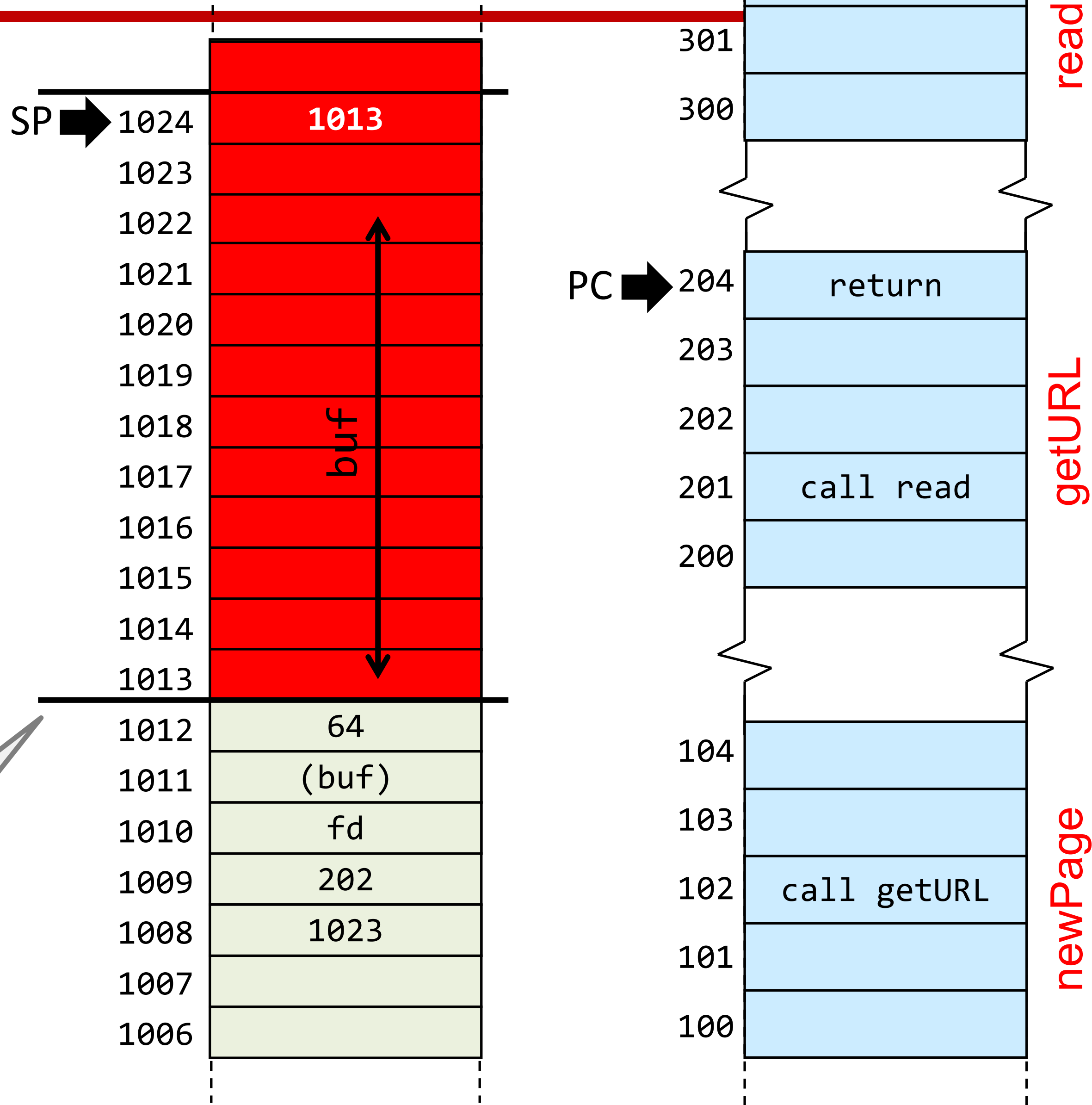
Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



Amikor a read() visszatér...

```
getURL()
{
    char buf[10];
    read(keyboard,buf,64);
    loadPage(buf);
}

newPage()
{
    getURL();
}
```



... És ezután a processzor a támadó által definiált kódot fogja futtatni!

VÉDEKEZÉS

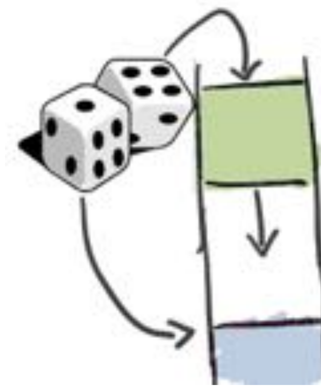
Hogyan lehet megállítani a támadást?

- A legjobb védekezés, ha megfelelő ellenőrzések vannak a kódban
  - Nagyon sok C/C++ fejlesztő van, és van közülük, aki elfelejti implementálni
  - Kövessük a biztonságos programozási elveket!

- Képes-e a rendszer védekezni valahogy?

DEP

canaries



ASLR

DEP – Data Execution Prevention

- Cél: futtatható és írható memória területek elkülönítése
  - A stacknek írhatónak kell lennie, azonban nem szabad ott kódot futtatni
  - A programkódnak futtathatónak kell lennie azonban nem szabad írni
    - Kivéve, ha modulokat dinamikusan kell betölteni

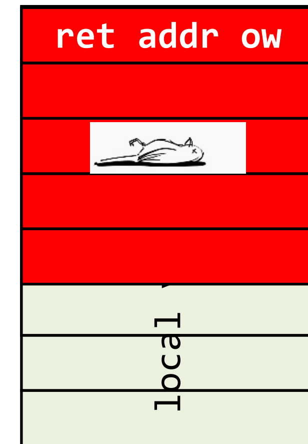
- Általában a memória kezelő egység (MMU) valósítja meg
  - Azok a lapok a memóriában, amelyek adatot tartalmaznak, beállíthatók, hogy ne legyenek futtathatók (NX bit)

- Az egész architektúra is támogathatja ezt a tervezéséből kifolyólag: Harvard architektúra
  - Fizikailag külön memóriában tárolja az adatot és a kódot
  - CPU képes olvasni a két memóriát egy időben
  - Az adat memória sosem fatható

Kanárik

- Régebben, a bányában használtak kanári madarakat, hogy észre vegyék, ha szénmonoxid van a levegőbe

- Stack kanári használható arra, hogy egy támadást észleljünk
- Egy 32 bites érték a visszatérési cím és a lokális változók között
  - Fordító segítségével alkalmazható ez a védelem
  - Újra kell fordítani a létező programokat ennek a használatához
- A függvény epilógusa ellenőrzi az értéket visszatérés előtt (hiba esetén leáll a program)



A kanári védelem is megkerülhető...

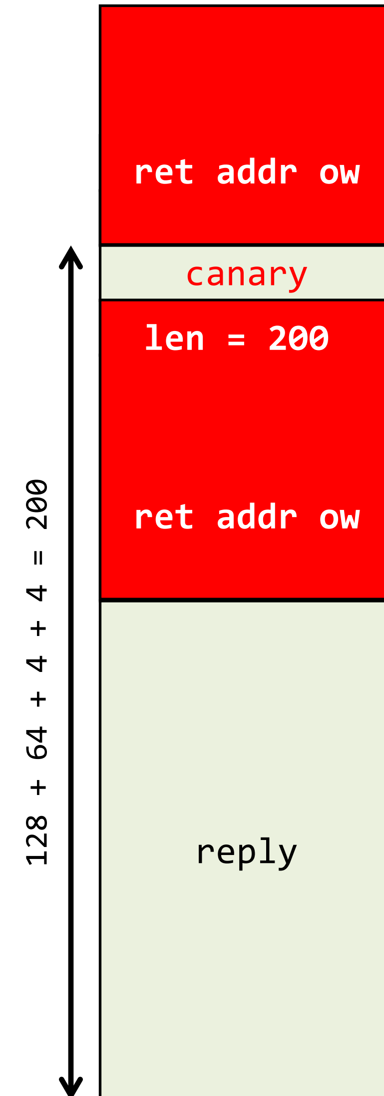
```
char gWelcome[] = "Welcome to our system! ";

void echo(int fd)
{
    int len;
    char name[64], reply[128];

    len = strlen(gWelcome);
    memcpy(reply, gWelcome, len);

    write(fd, "Type your name: ");
    read(fd, name, 128);

    memcpy(reply + len, name, 64);
    write(fd, reply, len + 64);
    return;
}

void server(int socketfd)
{
    while (1)
        echo(socketfd);
}
```

ret addr ow

reply

A kanári védelem is megkerülhető...

```
char gWelcome[] = "Welcome to our system! ";

void echo(int fd)
{
    int len;
    char name[64], reply[128];

    len = strlen(gWelcome);
    memcpy(reply, gWelcome, len);

    write(fd, "Type your name: ");
    read(fd, name, 128);

    memcpy(reply + len, name, 64);
    write(fd, reply, len + 64);
    return;
}

void server(int socketfd)
{
    while (1)
        echo(socketfd);
}
```



ASLR

- Address Space Layout Randomization
  - Az operációs rendszer véletlenszerű címekre tölti be az adat és program régiókat (stack, .data, .text, shared libraries)
  - Ezek a címek a program minden indításánál változnak
- Miért jó ez?
  - A támadó nem tud fix címeket használni a támadásában
    - » buffer overflow: a támadó nem tudja megtippelni a shellcode címét
    - » return-to-libc: a támadó nem tudja megtippelni a könyvtár függvény címét
    - » ROP: a támadó nem tudja megtippelni a gadgetek címét
- Elérhető implementáció az összes modern operációs rendszerben
  - Linux: kernel > 2.6.11
  - Windows: Vista
- A beágyazott rendszerek és IoT eszközök számára sajnos nem egyértelműen, hogy elérhető ez a védelem

Az ASLR története

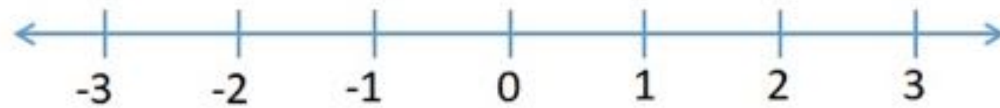
- ”the Linux PaX project first coined the term ASLR, and published the first design and implementation of ASLR in July 2001 as a patch for the Linux kernel”

- A PaX Teamet egy magyar „hacker” alapította: *pipacs*
  - **Itt végzett a BME-n!**

- pipacs/PaX Team nyerte meg 2011-ben a Pwnie lifetime achievement díjjat
  - A Pwnie Award célja, hogy kiemelkedő eredményeket díjjazzon az IT biztonság területén
  - A győzteseket egy bizottság szavazati alapján választják
  - A díjat a Black Hat konferencián adják át minden évben

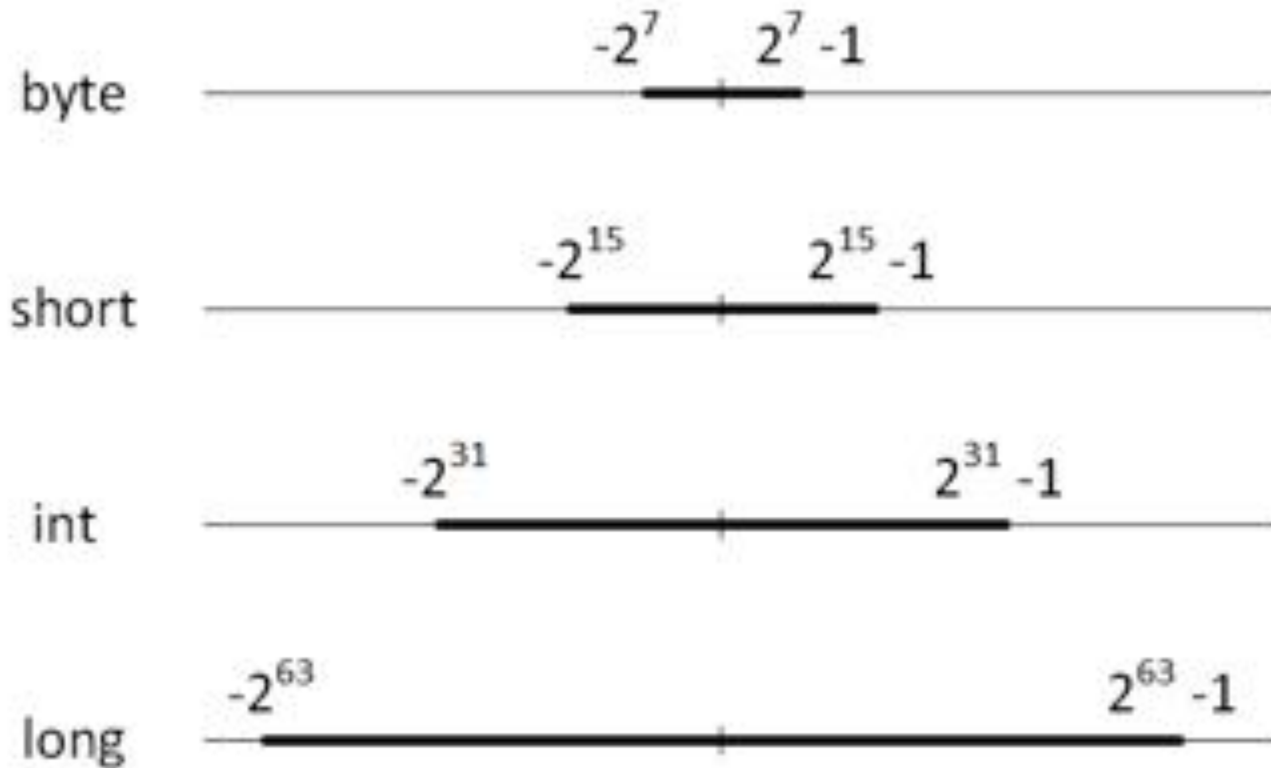
Az ASLR gyengesége

- Az ASLR egy 32 bites architektúrán limitált védelmet nyújt, a rendelkezésre álló randomizálható bitek száma miatt
  - Csak ~16 bit randomizálható a 32-ből
  - A védelem így egy brute force támadással percek alatt megkerülhető
- Az ASLR egy 64 bites architektúrán erős védelmet nyújt
  - 40 bit randomizálható a 64-ből
  - Ennyi esetnél is elképzelhető egy brute force támadás, azonban
    - » Jelentősen lassabban lehet eredményt elérni
    - » Nagy valószínűséggel detektálható
      - várhatóan sokszor összeomlik a támadás alatt a rendszer



INTEGER OVERFLOW

Számábrázolás



- Mi történik a tartományok szélén?

Probléma

```
1 int add(int a, int b) {
2       return a+b;
3 }
```

Probléma

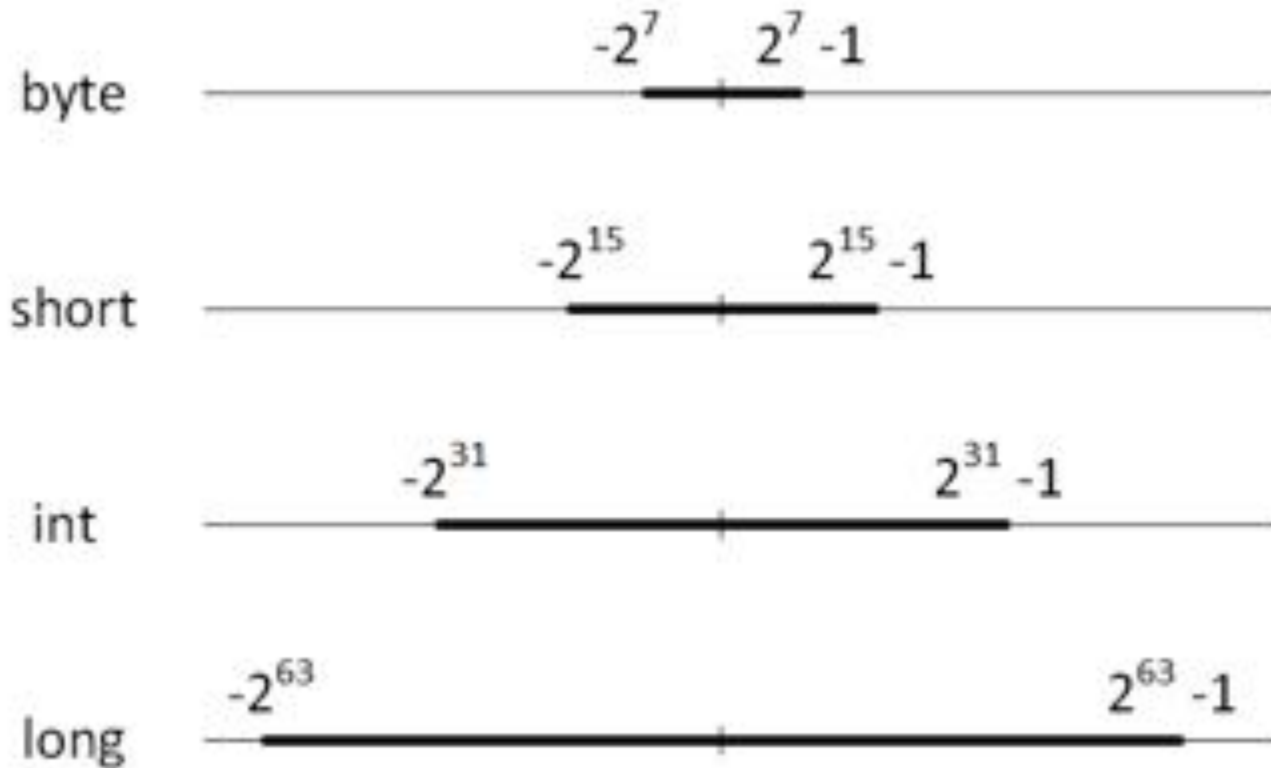
```
1 int add(int a, int b) {
2       return a+b;
3 }
```

a = INT_MAX

b = 1

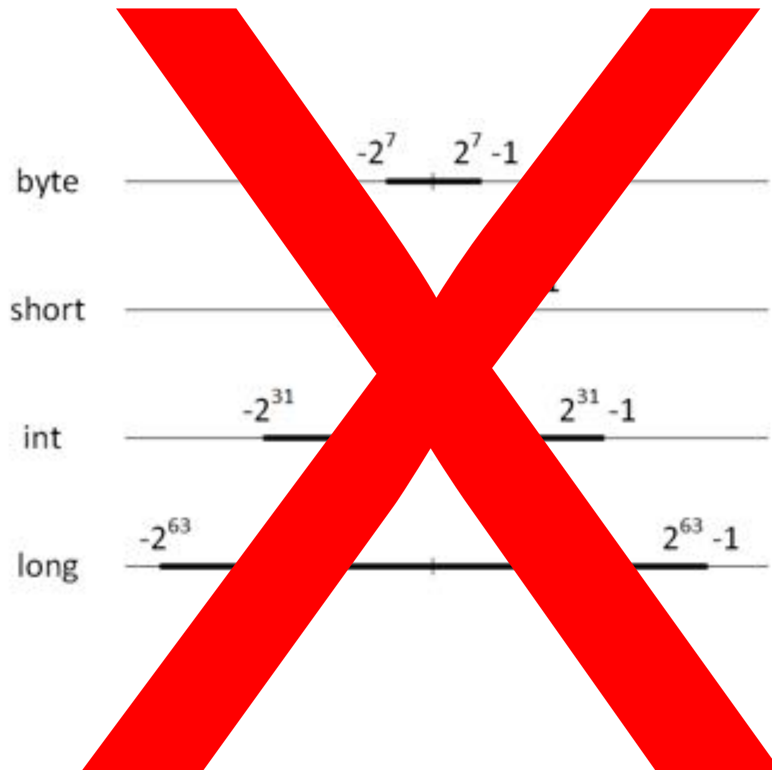
→ a+b = INT_MIN ☺

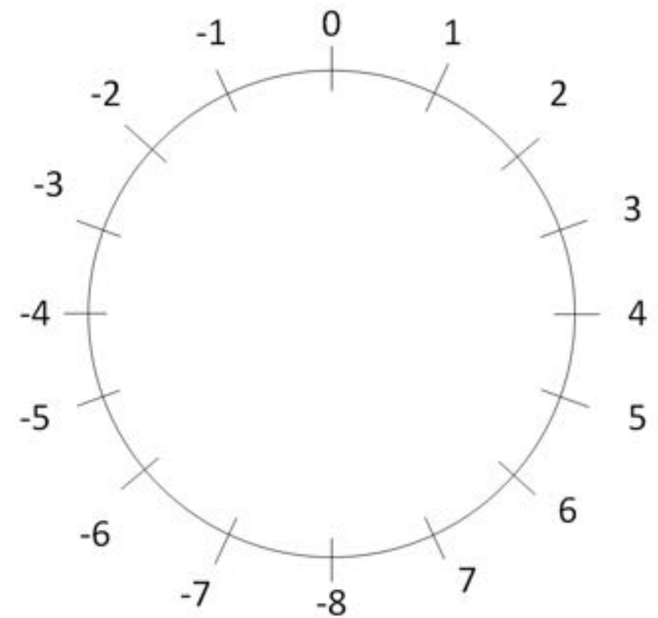
Számábrázolás



- Mi történik a tartományok szélén?
- Nincs garancia arra, hogy egy aritmetikai művelet matematikailag helyes eredményt ad.

Helyes megközelítés





Melyik nyelveket érinti?

Python

Java

C#

C / C++

…

Boeing 787 története

Latest in Boeing

Boeing is reportedly ending production of its 747 jumbo jet

07.04.20

Boeing successfully tests Starliner's parachutes ahead of second flight attempt

06.30.20

Boeing poised to start crucial 737 Max flight safety tests tomorrow

06.28.20

To keep a Boeing Dreamliner flying, reboot once every 248 days

Edgar Alvarez, @abcdedgar
May 1, 2015

27 Comments | 13 Shares

AdChoices

The 787 Dreamliner has been plagued with battery woes since its early days, to the point where the Federal Aviation Administration kept it from

Boeing 787 története

Fiora @ 日本語でFF14と.hack
@FioraAeterna

248 days == 2^31 100ths of a second.

even in 2015, our airplanes have integer overflow bugs

If you leave your Boeing 787 switched on for 248 days the power shuts off and you fall out of the sky. Epic bug. theguardian.com/business/2015/...

2:06 PM · May 1, 2015

Összefoglalás

- Sok témakört érintettünk:
  - Buffer overflow támadások
    - » Ötlete, gyakorlati kivitelezése
    - » Shellcode használata
  - Buffer overflow védekezés
    - » Kanárik, DEP, ASLR
    - » Nem védenek minden esetben!
  - Integer Overflow
- A statisztikák azt mutatják, hogy a buffer overflow támadások még jó ideig velünk maradnak
  - Beágyazott rendszereknél sok helyen használják a C nyelvet
  - Védekezési lehetőségek nem mindenhol elérhetőek
- Legjobb elkerülni a hibát a kódban!

További olvasnivalók

- Smashing The Stack For Fun And Profit - https://insecure.org/stf/smashstack.html
- Beyond stack smashing: recent advances in exploiting buffer overruns - https://ieeexplore.ieee.org/document/1324594
- Memory Errors: The Past, the Present, and the Future - https://www.isg.rhul.ac.uk/sullivan/pubs/tr/technicalreport-ir-cs-73.pdf
- 10Kstudents - General Introduction - https://www.youtube.com/watch?v=0ytCmXJhMV4
- SoK: Eternal War in Memory - https://people.eecs.berkeley.edu/~dawnsong/papers/Oakland13-SoK-CR.pdf

Ellenőrző kérdések

- Melyik programozási nyelvek vannak leginkább kitéve a memória korrupciós hibáknak?
- Mi az a stack frame? Hol találhatóak a memóriában a függvény paraméterek és lokális változók?
- Hogyan működik egy stack overflow támadás?
- Mi lehet a célja egy támadónak a visszatérési cím módosításán kívül?
- A stack overflown kívül milyen más memória korrupciós hibákat ismer?
- Milyen védekezési módszereket ismer memória korrupciós támadásokkal szemben? Hogyan működnek ezek?