Securitate Software

V. Vulnerabilități specifice sistemelor de operare

Execuție cod cu prea multe privilegii

Obiective

- prezentarea vulnerabilităților ce rezultă din manipularea greșită a permisiunilor aplicațiilor
- prezentarea mecanismelor de asignare a privilegiilor (UNIX) și vulnerabilitățiile asociate

Continut

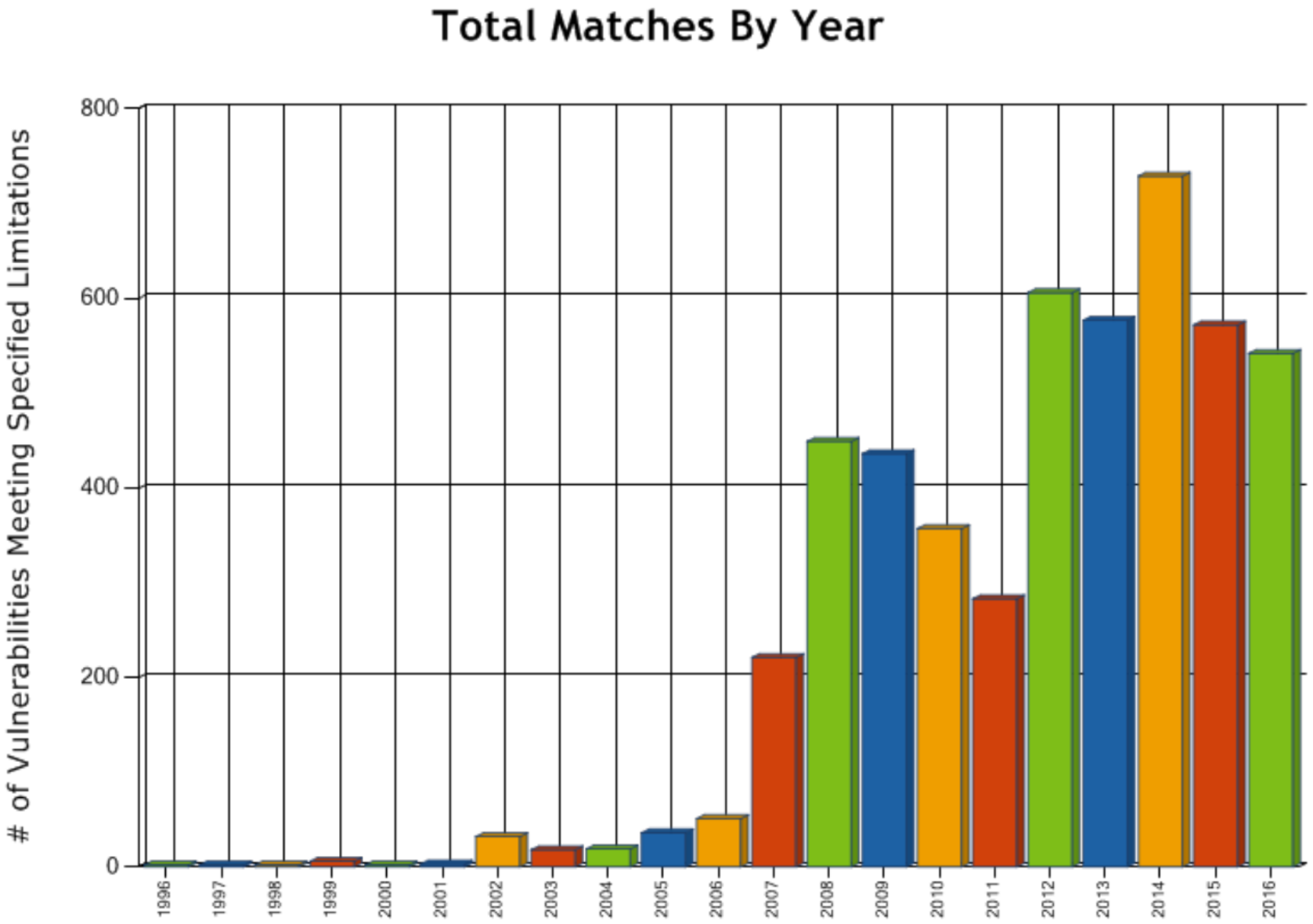
Vulnerabilitatea "prea multe privilegii" - descriere

- o aplicație ce rulează cu privilegii mai mari decât are nevoie
  - cazul extrem: privilegii de administrator / system
- defect de design
  - contrazice principiul ”cel mai mic privilegiu”
    - o aplicație primește nivelul minim de privilegii necesar pentru a-și face treaba
  - contrazice principiul ”apărare în profunzime”
- poate fi un defect de implementare
  - când aplicația nu își coboară nivelul de privilegii atunci când ar rebui sa o facă
- efecte
  - dă atacatorului mai multă putere când este exploatată aplicația
  - ex. atacatorul poate executa cod cu privilegiile aplicației exploatate
  - ex. atacatorul poate accesa date pentru care în mod normal nu are privilegii

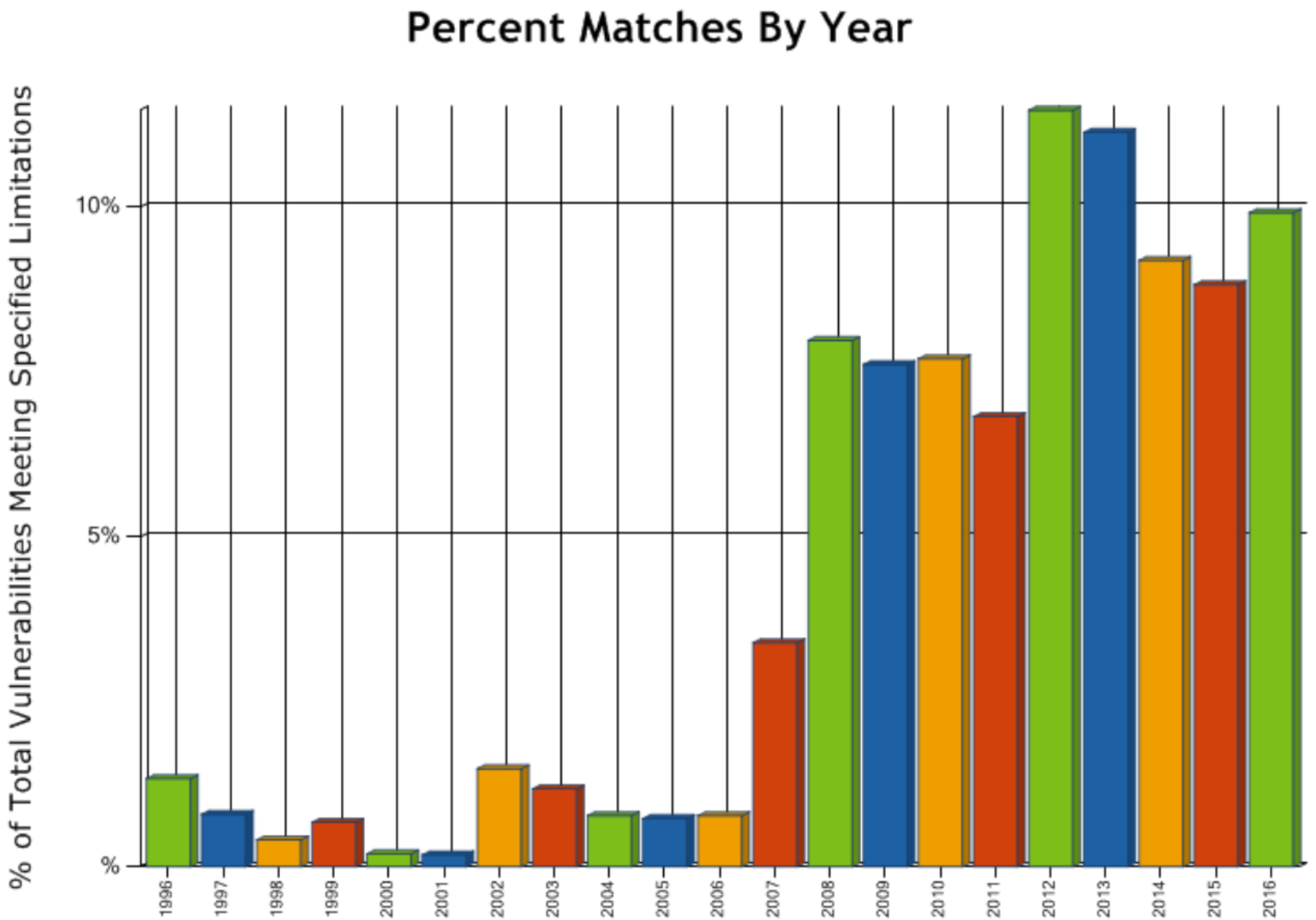
Referințe CWE

- CWE-264: “Permissions, Privileges, and Access Controls”
  - foarte generală
  - legată de administrarea permisiunilor, privilegiilor și altor caracteristici ce permit controlul accesului
- CWE-265: “Privilege / Sandbox Issues”
  - asignarea, administrarea, manipularea greșita a privilegiilor
- CWE-250: “Execution with Unnecessary Privileges”
  - execută operații la un nivel de privilegii mai mare decât este necesar
  - se creează o vulnerabilitate sau se aplifică efectul vulnerabilităților existente
- CWE-269: “Improper Privilege Management”
  - nu se creează, modifică, urmaresc, verifcă corect drepturile de acces pentru un utilizator, creând neintenționat o sfera de acces pentru acest utilizator
- CWE-271: “Privilege Dropping / Lowering Errors”
  - nu se modifică drepturile de acces (nu se scad privilegiile) pentru utilizatorii / resursele ce nu au privilegiile aplicației

Relevanța - numarul vulnerabilităților legat de privilegii



Relevanța - numarul vulnerabilităților legat de privilegii (II)



Vulnerabilități

- folosirea de reguli stricte pe anumite resurse
  - ex. acces root / administrator doar pentru anumite fișiere sau directoare
  - $\Longrightarrow$ forțează ca aplicațiile să ruleze cu privilegii elevate pentru a putea avea acces la aceste resurse
  - nu permite utilizatorilor cu drepturi de acces limitate (și aplicațiilor acestora) să acceseze aceste resurse
- nu se coboară privilegiile înainte de a executa acțiuni pentru utilizatorii cu privilegii inferioare
  - uită să se facă asta
  - nu se apelează funcțiile care trebuie sau nu se specifică corect parametrii
  - nu se verifică dacă execuția funcțiilor apelate s-a terminat cu succes

Identificarea vulnerabilității

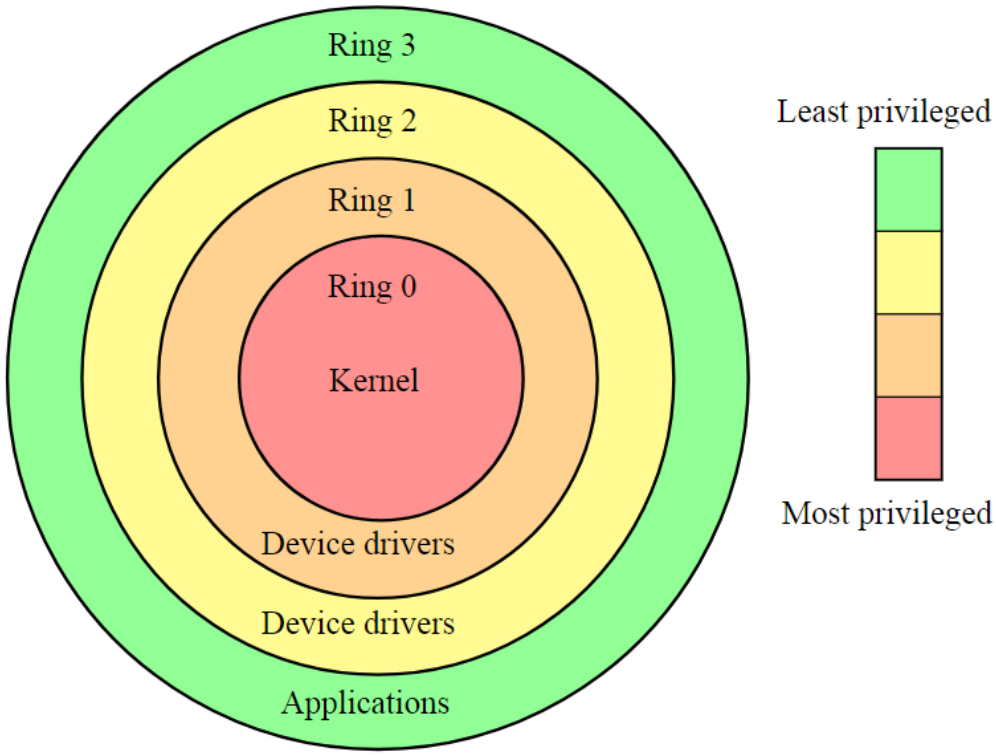
- în general
  - determinați dacă aplicația poate rula corect fără drepturi de administrator (*non-admin privileges*)
- code review
  - determinați ce privilegii necesită aplicația
  - determinați dacă drepturile de acces sunt configurate corect
- tehnici de testare
  - anulați privilegiile aplicației
  - ex. în Windows, luați jetonul aplicației (token) și parsați-l, instrumente precum Process Explorer (access token = obiect ce descrie contextul de securitate al unui proces / thread)

Recomandări

- rulați aplicația cu cel mai mic privilegiu
- determinați și înțelegeți de ce privilegii are nevoie aplicația
- scoateți privilegiile inutile
- poate fi un proces complex
  - mai ales atunci când aplicația interacționează cu alte aplicații ce au privilegii înalte

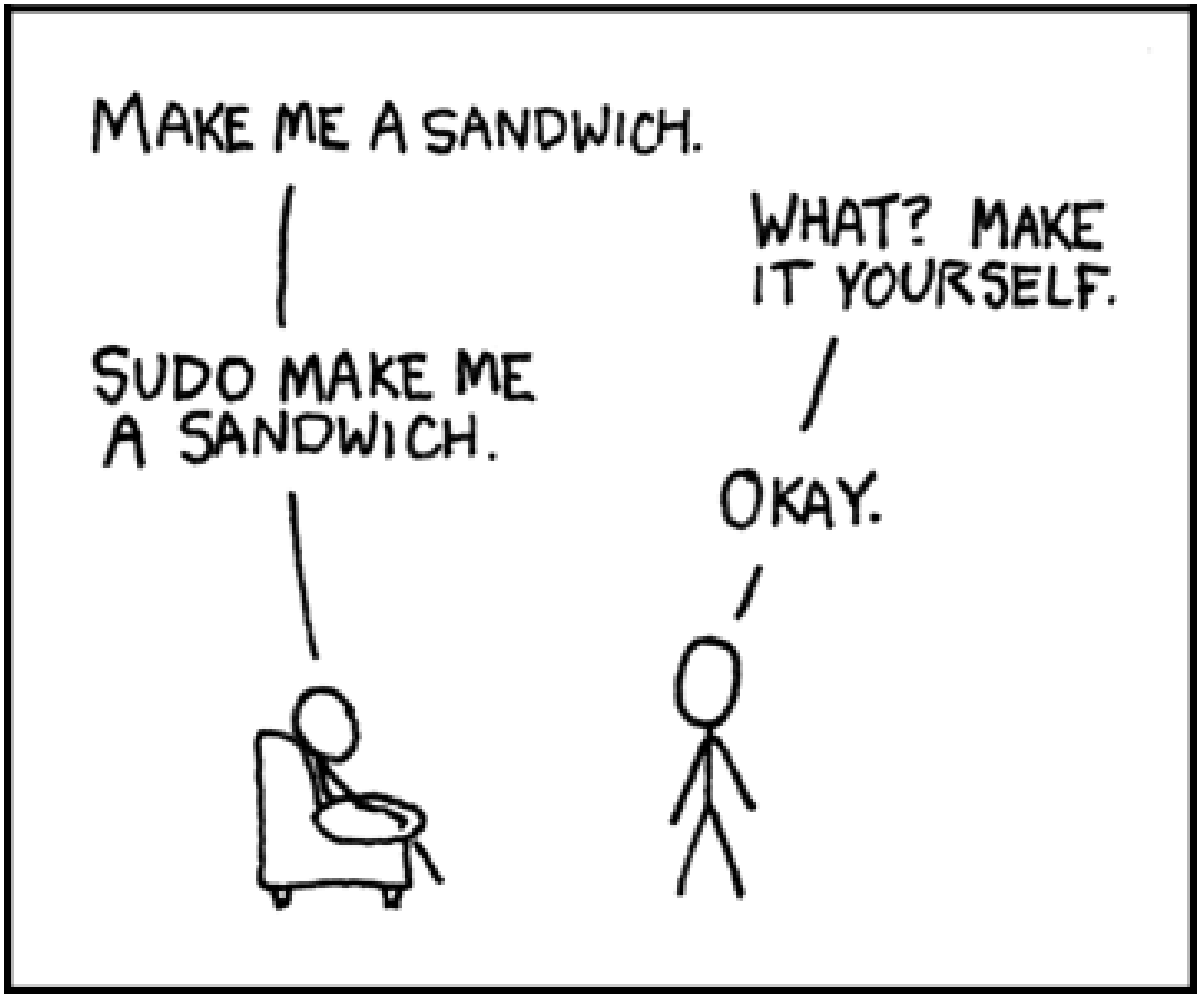
Privilegii - recapitulare

- inele de protecție



- utilizator $\rightarrow$ *user ID* (UID)
- $UID = 0 \rightarrow$ "superutilizator" sau utilizator *root*
- grupuri identificate prin *group ID* (GID)
- utilizatorii */etc/passwd*, grupurile */etc/group*

Privilegii sudo (root)



Linux - privilegii și vulnerabilități, proces

- program = fisier executabil
- proces = instanță a unui program ce rulează
- în mod normal fiecare proces rulează cu privilegiile utilizatorului de care aparține
  - *user identity* (*UID*) este asociat cu toate procesele utilizatorului $\Longrightarrow$ *real UID* (*RUID*) pentru fiecare proces
- procesele ce aparțin *root* (*UID=0*) au acces absolut la toate resursele
- există cazuri în care un proces rulează cu alte privilegii (mai mari) decât ale utilizatorului de care aparține
  - procesele rulează ca și cum ar aparține de alt utilizator
  - *effective UID* determină privilegiile acestui proces
- privilegii speciale pot fi obținute prin mecanisme precum
  - set-user-id (SUID) și set-group-id (SETGID)

UID asociat unui proces

- identificatorul pentru utilizatorul unui proces (UID)
  - real UID
  - saved SUID
  - effective UID
- atunci când un proces rulează un program nou, ex. prin apelul system execve()
  - real UID ramâne la fel
  - effective UID se schimbă dacă
    - SUID este setat pentru noul program $\Longrightarrow$ effective UID primește UID al 'proprietarului' acelui program
  - SUID salvat este înlocuit de noul effective UID
- în mod normal un proces poate să-și schimbe *effective UID*
  - cu *real UID* sau *saved SUID*
- procesele cu *effective UID* 0 au acces complet la sistem

GID asociate unui proces

- identificatorii grupului unui proces (GID - group identifiers)
  - real GID
  - saved SGID
  - effective GID
  - supplemental GID, alte grupuri de care aparține utilizatorul curent
  - procesele cu *effective GID* 0 nu au acces complet asupra sistemului

Privilegiile unui proces

- permisiunile unui proces sunt determinate de:
  - *effective UID* al acelui proces
  - *effective GID* al acelui proces
  - *supplemental GID* al acelui proces

Programe SUID și SGID

- proces *effective UID / SGID* = *UID / GID* deținătorul programului
- *SUID / SGID* salvat pentru un proces = *effective UID / GID*
- permite ulilizatorilor de rând (*normal user*) să acceseze resursele altor utilizatori
- proces
  - pornește cu privilegii elevate
  - poate să-și coboare temporar privilegiile prin trecerea la *UID / GID* său
  - poate să-și recapete privilegiile prin trecerea la *SUID / SGID*
  - poate să-și coboare permanent privilegiile prin înlocuirea *ID*-urilor efective și *ID*-urilor salvate cu *ID*-ul său real
- programe *SUID / SGID* non-root, ex *wall*
  - acțiuni limitate la operațiile descrise mai sus
- programe SUID / SGID root, ex. *ping, passwd*
  - majoritatea programelor *SUID* sunt *SUID root*, aparțin root
  - pot să-și schimbe *ID*-ul arbitrar

Exemplu de programe SUID și SGID non-root

```
$ find /usr/bin -perm /06000 -print0| xargs -0 ls -l
-rwsr-sr-x 1 daemon daemon    51464 Jan 15  2016 /usr/bin/at
-rwxr-sr-x 1 root   tty       14752 Mar  1  2016 /usr/bin/bsd-write
-rwxr-sr-x 1 root   shadow    62336 May 17 02:37 /usr/bin/chage
-rwsr-xr-x 1 root   root      49584 May 17 02:37 /usr/bin/chfn
-rwsr-xr-x 1 root   root      40432 May 17 02:37 /usr/bin/chsh
-rwxr-sr-x 1 root   crontab   36080 Apr  6  2016 /usr/bin/crontab
-rwxr-sr-x 1 root   shadow    22768 May 17 02:37 /usr/bin/expiry
-rwsr-xr-x 1 root   root      75304 May 17 02:37 /usr/bin/gpasswd
-rwxr-sr-x 1 root   mlocate   39520 Nov 18  2014 /usr/bin/mlocate
-rwsr-xr-x 1 root   root      32944 May 17 02:37 /usr/bin/newgidmap
-rwsr-xr-x 1 root   root      39904 May 17 02:37 /usr/bin/newgrp
-rwsr-xr-x 1 root   root      32944 May 17 02:37 /usr/bin/newuidmap
-rwsr-xr-x 1 root   root      54256 May 17 02:37 /usr/bin/passwd
-rwsr-xr-x 1 root   root      23376 Jan 18  2016 /usr/bin/pkexec
.................
```

Daemons

- procese ce rulează în fundal și furnizează servicii sistem
- pornite automat (*boot time*)
- adesea rulează ca și *root* pentru a permite efectuarea anumitor operații
- adesea ele rulează alte programe pentru a gestiona anumite sarcini, copiii lor sunt porniți cu privilegii *root*
- pot primi temporar identitatea altor utilizatori pentru anumite acțiuni într-o manieră sigură
  - atât timp cât programul își lasă *SUID* și *UID* la valoarea 0, își poate recăpăta privilegiile *root*
- exemplu: */bin/login*
  - dupa ce un utilizator se autentifică, programul *login* își schimbă toate *ID*-urile la *ID*-ul utilizatorului

Exemple de procese Daemon

```
$ ps axlf | grep -i tty
F   UID   PID  PPID PRI  NI    VSZ   RSS WCHAN  STAT TTY        TIME COMMAND
0  1000  1435  1386  20   0  14224   944 pipe_w S+   pts/0      0:00                  \_ grep --
4     0  1105     1  20   0  65832  3464 -      Ss   tty1       0:00 /bin/login --
4  1000  1333  1105  20   0  22604  5200 wait_w S+   tty1       0:00   \_ -bash
```

Funcția seteuid()

- sintaxa

```
int seteuid(uid_t euid);
```

- schimbă *effective UID* pentru proces
- folosită pentru a schimba temporar privilegiile
- un proces ce are *effective UID*
  - *root*: poate să-și modifice *effective UID* la orice valoare
  - *non-root*: poate doar să-și schimbe *effective UID* între *saved SUID* și *real UID*

Funcția seteuid() - exemple

- utilizator cu $UID = 1000$ rulează un program *SUID* al utilizatorului $UID = 2$

```
$ ls -l suid-program
-rwsrwsr-x 1 bin bin 8936 oct 29 12:50 suid-program

$ ./suid-program
INITIAL
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

seteuid(33); // nu se poate schimba effective uid
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

seteuid(1000);
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=2

seteuid(2);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
```

Funcția seteuid() - exemple (II)

- utilizator cu *UID* = 1000 rulează un program *SUID* al utilizatorului root *UID* = 0

```
$ ls -l suid-program
-rwsrwsr-x 1 root root 8936 oct 29 12:50 suid-program

$ ./suid-program
INITIAL
real_uid = 1000, effective_uid=0, saved_suid=0

seteuid(33); // se poate schimba effective UID
real_uid = 1000, effective_uid=33, saved_suid=0

seteuid(1000);
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=0

seteuid(33); // nu se poate schimba effective UID
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=0

seteuid(0);
real_uid = 1000, effective_uid=0, saved_suid=0
```

Funcția setuid() - descriere

- sintaxa

```
int setuid(uid_t uid);
```

- pentru procese root
  - schimbă toate UID, *effective UID*, *real UID*, *saved UID* la *UID* specificat
  - folosit pentru a primi permanent rolul unui utilizator
    - scaderea drepturilor
- pentru procese non-root: diferit în funcție de varianta Linux
  - Linux, Solaris și OpenBSD: se comportă ca *seteuid()*
  - FreeBSD și NetBSD: similar cu procesele root
  - nu se recomandă a fi folosită pentru a diminua permanent privilegiile unui proces non-root

Funcția setuid() - exemple

- utilizator cu *UID* = 1000 rulează un program *SUID* al utilizatorului *UID* = 2

```
$ ls -l suid-program
-rwsrwsr-x 1 bin bin 8936 oct 29 12:50 suid-program

$ ./suid-program
INITIAL
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

setuid(33); // nu se poate schimba
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

setuid(1000);
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=2

setuid(2); // se schimba doar effective UID
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
```

Funcția setuid() - exemple (II)

- utilizator cu *UID* = 1000 rulează un program *SUID* al utilizatorului root *UID* = 0

```
$ ls -l suid-program
-rwsrwsr-x 1 root root 8936 oct 29 12:50 suid-program

$ ./suid-program
INITIAL
real_uid = 1000, effective_uid=0, saved_suid=0

setuid(33); // scade permanent privilegiile
real_uid = 33, effective_uid=33, saved_suid=33

setuid(1000); // nu se poate
real_uid = 33, effective_uid=33, saved_suid=33

setuid(0); // nu se poate
real_uid = 33, effective_uid=33, saved_suid=33
```

Funcția setresuid() - descriere

- sintaxa

```
int setresuid(uid_t ruid, uid_t euid, uid_t suid);
```

- folosită pentru a seta explicit cele trei UID
- dacă se dă ca și argument "*-1*", valoarea curentă corespunzătoare UID-urilor este salvată
- procesele root pot seta UID la orice valori
- procesele non-root pot configura orice ID la valoarea curenta a oricărui din cele trei UID

Funcția setresuid() - exemple

- utilizatorui cu *UID* = 1000 rulează un program *SUID* al utilizatorului cu *UID* = 2 și schimbă permanent *UID* = 1000

```
$ ls -l suid-program
-rwsrwsr-x 1 bin bin 8936 oct 29 12:50 suid-program

$ ./suid-program
INITIAL
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

setresuid(-1, -1, -1);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

setresuid(33, 33, 33); // nu se poate
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

setresuid(-1, 1000, -1);
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=2

setresuid(-1, 2, -1);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
```

Funcția setresuid() - exemple (II)

```
setresuid(-1, -1, 1000);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=1000

setresuid(-1, -1, 2);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2

setresuid(-1, 1000, 1000); // schimba la UID = 1000
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=1000

setresuid(-1, 2, 2); // nu se poate schimba inapoi la UID = 2
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=1000
```

Funcția setresuid() - exemple (III)

- utilizatorul cu $UID = 1000$ rulează un program *SUID* al utilizatorului root $UID = 2$ și își schimbă permanent $UID = 2$

```
$ ls -l suid-program
-rwsrwsr-x 1 bin bin 8936 oct 29 12:50 suid-program
$ ./suid-program
INITIAL
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
setresuid(-1, -1, -1);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
setresuid(33, 33, 33); // nu se poate
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
setresuid(-1, 1000, -1);
real_uid = 1000, effective_uid=1000, saved_suid=2
setresuid(-1, 2, -1);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
setresuid(-1, -1, 1000);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=1000
setresuid(-1, -1, 2);
real_uid = 1000, effective_uid=2, saved_suid=2
```

Funcția setresuid() - exemple (IV)

```
setresuid(2, -1, -1); // schimba la UID = 2
real_uid = 2, effective_uid=2, saved_suid=2
setresuid(1000, -1, -1); // nu poate schimba la UID = 1000
real_uid = 2, effective_uid=2, saved_suid=2
```

Funcția *setreuid()*

- sintaxa

```
int setreuid(uid_t ruid, uid_t euid);
```

- folosită pentru a seta *UID* real și efectiv
- dacă se dă ca și argument valoarea "*-1*" se folosește valoarea curentă pentru UID
- procesele root: pot configura ID la orice valoare
- procesele non-root: depinde de sistemul de operare, dar în general
  - *real UID* $->$ *effective UID*
  - *effective UID* $->$ *real UID*, *effective UID* sau *saved UID*
  - *saved UID* se încearcă sa fie actualizat daca *effective UID* diferit de noul *real UID*
- folositoare în următoarele situații
  - un program nou are două *UID* deoarece *real UID* și *saved SUID* nu sunt root
  - programul vrea să scadă un set de privilegii
  - funcția *setresuid()* nu este disponibila
  - soluție: *setreuid(getuid(), getuid());*

Funcții Group ID

- *setegid*: schimb între *effective GID* și *saved SGID* sau *real GID*
- *setgid*: schimbă *effective GID*, posibil și *saved SGID* și *real GID*
- *setresgid*: schimbă toate *GID*
- *setregid*: schimbă *real* și *effective GID*
- *setgroups*: stabilește grupuri suplimentare (necesită *effective UID* = 0)
- *initgroups*: alternativă la *setgroups* (necesită *effective UID* = 0)
- atenție
  - *effective UID* = 0 $\Longrightarrow$ proces root, funcțiile din grup au comportament special
  - *effective GID* = 0 $\Longrightarrow$ proces non-root

Utilizarea greșită a privilegiilor - descriere

- context
  - programe care rulează cu drepturi elevate
- greșeli
  - efectuează acțiuni potențial periculoase în numele unui utilizator cu mai puține privilegii, fără a-și micșora mai întâi la privilegii
  - nu se iau masuri de precauție înainte de interacțiunea cu sistemul de fișiere
- rezultat
  - expune fișiere importante $\Longrightarrow$ *information leakage*
  - sistemul este compromis
- sfat
  - un program *SUID / SGID* trebuie să-și coboare (temporar) privilegiile atunci când efectuează o operație interzisă pentru *real UID*
  - alternativă: verificați permisiunile pe baza *real UID*

Exemplu

- programul SUID root *XF86_SVGS*

```
$ id
uid=1000(test) gid=1000(test) groups=1000(test)

$ ls -l /etc/shadow
-rw------- 1 root root .... /etc/shadow

$ cd /usr/X11R6/bin

$ ./XF86_SVGA -config /etc/shadow
Unrecognized option: root:qEXaUxSeQ45la:10171:-1:-1:-1:-1:-1:-1
...
```

- programul citește fișiere fără a verifică dacă *real UID* are permisiuni pe acel fișier
- *SUID* nu a fost folosit pentru a citi fișiere de configurare, a fost folosit pentru a afișa schimbările din fișierele de configurare

Biblioteci

- folosirea bibliotecilor externe
- sunt adesea sursa potențialelor probleme de securitate
- utilizatorii nu au detalii despre implementare, cunosc doar API

Scaderea permanenta a privilegiilor - context

- cod folosit pentru a micșora permanent privilegiile

```
// operatii cu privilegii elevate
// configurare socket
setup_socket();

// coborarea privilegiilor
setuid(getuid());

// operatii neprivilegiate
start_procloop();
```

- în unele situații nu este de ajuns (in care?)

Privilegiile grupului

- programe cu *SUID* și *SGID*
- **greșeala**: programul uită să-și scadă privilegiile grupului, pe lângă *UID*
- **greșeală**: ordinea greșită

```
// coborarea privilegiilor utilizatorului
setuid(getuid());

// nemaiavand privilegiile utilizatorului
// nu se pot cobora privilegiile grupului
setgid(getgid());
```

  - *saved SGID* poate să ramână în grupul privilegiat
  - un atacator poate executa codul
    setegid(0); sau setregid(-1,0);
    pentru a recupera privilegiile grupului

Privilegiile grupului (II)

- ordinea corectă

```
// coborarea privilegiilor grupului
setgid(getgid());

// coborarea privilegiilor utilizatorului
setuid(getuid());
```

Supplemental Group Privileges

- context
  - procese pornite ca și utilizatori cu privilegii elevate, ex daemon
    - pornește cu privilegiile grupului = privilegiile utilizatorului
  - preia rolul unui utilizator neprivilegiat
- greșeala
  - aplicația își coboară privilegiile dar
  - lasa privilegiile suplimentare ale grupului utilizatorului privilegiat la utilizatorul cu mai puține privilegii
- incomplet, cod vulnerabil

```
if (root) {
  setgid(normal_uid);
  setuid(normal_gid);
}
```

Supplemental Group Privileges (II)

- versiunea corectă pentru scăderea privilegiilor

```
if (root) {
  setgroups(0, NULL);
  setgid(normal_uid);
  setuid(normal_gid);
}
```

privilegii elevate pentru non-root

- context
  - un program *SUID* ce aparține unui utilizator non-root
- rulare ca și non-root

```
setgid(getgid());
setuid(getuid());
```

  - setuid() și setgid() schimbă doar *effective ID* nu și *saved ID*
  - atacatorii pot redobândi privilegiile aplicației
- soluție: folosiți următoarele funcții
  - setresgid() / setregid()
  - setresuid() / setreuid()

Combinarea între renunțarea temporară / permanentă a privilegiilor

- specific aplicațiilor care
  - schimbă între utilizatori cu diferite privilegii
  - eventual scăderea privilegiilor la toți utilizatorii (dacă este posibil)
- pot apărea erori datorită utilizării setuid()

Combinarea între renunțarea temporară / permanentă a privilegiilor - exemplu

```
void main_loop() {}
  uid_t realuid = getuid();
  // nu e nevoie de privilegii
  DROP_PRIV
  do_unprivileged_action();
  // primeste inapoi privilegii
  RAISE_PRIV
  do_privileged_action();
  ....
  // nu necesita privilegii
  DROP_PRIV
  ...
  // coboara permanent privilegiile
  // !!! nu e root, -> SUID nu se schimba
  setuid(realuid);
  ...
}
```

- la scăderea permanentă a privilegiilor *effective UID* al procesului nu

Scăderea temporară a privilegiilor

- abandonarea permanentă a privilegiilor este cea mai sigură opțiune pentru o aplicație setuid
- dar trebuie folosit apelul corect
- seteuid(getid());
  - opțiune bună pentru scăderea temporară a privilegiilor
  - opțiune proasța pentru abandonarea permanentă a privilegiilor
- apelul corect pentru abandonarea permanentă a privilegiilor: setuid(getuid());
  - merge doar pentru root

Mai multe conturi utilizator

- specific programelor ce necesită mai mult de un cont de utilizator
- implementarea greșită

```
// devin user1
seteuid(user1);
process_log1();

// devin user2
seteuid(user2);
process_log1();

// devin root
seteuid(0);
```

Mai multe conturi utilizator (II)

- implementarea corectă

```
// devin user1
seteuid(user1);
process_log1();

// devin root
seteuid(0);

// devin user2
seteuid(user2);
process_log1();

// devin root
seteuid(0);
```

Audit - scăderea permanentă a privilegiilor pentru procesele root

1. când se scand privilegiile $UID = 0$
2. stergerea grupurilor suplimentare
   - folosind *setgroups* cu *effective* $UID = 0$
3. cele trei *GID* trebuie coborâte la un nivel *GID* neprivilegiat
   - abordare corectă: setgid(getgid());
   - abordare greșită: setegid(getgid());
4. cele trei *GID* trebuie coborâte la un nivel *UID* neprivilegiat
   - abordare corectă: setuid(getuid());
   - abordare greșită: seteuid(getuid());

Audit - scăderea permanentă a privilegiilor pentru procesele non-root

1. nu se pot modifica grupurile cu setgroups()
2. pentru a coborâ *GID* se folosește
   - setresgid(getgid(), getgid(), getgid());
3. pentru coborârea *UID* se folosește
   - setresuid(getuid(), getuid(), getuid());

Limitarea sistemului de privilegii pentru sistemele UNIX

- modelul de privilegii ”totul sau nimic”
- root are acces nerestricționat
- exemplu
  - ping are nevoie de acces root pentru a crea raw socket
  - dacă este exploatat înainte să-și coboare privilegiile, programul are acces total asupra resurselor sistemului
- orice program care necesită privilegii speciale pune siguranța întregului sistem în pericol

Bibliografie

1. "The Art of Software Security Assessments", chapter 9, "UNIX 1. Privileges and Files", pp. 476 – 576
2. "24 Deadly Sins of Software Security", chapter 16, "Executing Code with Too Much Privilege".