



Criptografie și Securitate

- Prelegerea 15.1 - Stocarea parolelor

Adela Georgescu, Ruxandra F. Olimid

Facultatea de Matematică și Informatică
Universitatea din București

Cuprins

1. Stocarea parolelor
2. Atacuri
3. Salting
4. Parole de unică folosință

Stocarea parolelor

- ▶ Cea mai utilizată metodă de autentificare este bazată pe nume de utilizator și parolă;

Stocarea parolelor

- ▶ Cea mai utilizată metodă de autentificare este bazată pe nume de utilizator și parolă;
- ▶ Metoda presupune o etapă de înregistrare, în care utilizatorul alege un *username* și o *parolă* (*pwd*);

Stocarea parolelor

- ▶ Cea mai utilizată metodă de autentificare este bazată pe nume de utilizator și parolă;
- ▶ Metoda presupune o etapă de înregistrare, în care utilizatorul alege un *username* și o *parolă* (*pwd*);
- ▶ Ulterior, la fiecare logare, utilizatorul introduce cele 2 valori;

Stocarea parolelor

- ▶ Cea mai utilizată metodă de autentificare este bazată pe nume de utilizator și parolă;
- ▶ Metoda presupune o etapă de înregistrare, în care utilizatorul alege un *username* și o *parolă* (*pwd*);
- ▶ Ulterior, la fiecare logare, utilizatorul introduce cele 2 valori;
- ▶ Dacă *username* se regăsește în lista de utilizatori înregistrați și parola introdusă este corectă atunci autentificarea se realizează cu succes;

Stocarea parolelor

- ▶ Cea mai utilizată metodă de autentificare este bazată pe nume de utilizator și parolă;
- ▶ Metoda presupune o etapă de înregistrare, în care utilizatorul alege un *username* și o *parolă* (*pwd*);
- ▶ Ulterior, la fiecare logare, utilizatorul introduce cele 2 valori;
- ▶ Dacă *username* se regăsește în lista de utilizatori înregistrați și parola introdusă este corectă atunci autentificarea se realizează cu succes;
- ▶ În caz contrar, autentificarea eșuază.

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală frecventă de implementare o reprezintă afișarea unor mesaje de tipul:

Nume de utilizator inexistent

Parolă greșită!

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală frecventă de implementare o reprezintă afișarea unor mesaje de tipul:

Nume de utilizator inexistent

Parolă greșită!

- ▶ **Întrebare:** De ce nu este indicată utilizarea unor astfel de mesaje de eroare?

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală frecventă de implementare o reprezintă afișarea unor mesaje de tipul:

Nume de utilizator inexistent

Parolă greșită!

- ▶ **Întrebare:** De ce nu este indicată utilizarea unor astfel de mesaje de eroare?
- ▶ **Răspuns:** Pentru că oferă informații suplimentare adversarului!

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală frecventă de implementare o reprezintă afișarea unor mesaje de tipul:

Nume de utilizator inexistent

Parolă greșită!

- ▶ **Întrebare:** De ce nu este indicată utilizarea unor astfel de mesaje de eroare?
- ▶ **Răspuns:** Pentru că oferă informații suplimentare adversarului!
- ▶ Corect este să se întoarcă un mesaj de eroare generic de tipul:

Nume de utilizator sau parolă incorecte!

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală majoră este stocarea parolelor în clar!

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală majoră este stocarea parolelor în clar!
- ▶ **Întrebare:** De ce parolele NU trebuie stocate în clar?

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală majoră este stocarea parolelor în clar!
- ▶ **Întrebare:** De ce parolele NU trebuie stocate în clar?
- ▶ **Răspuns:** Pentru că dacă adversarul capătă acces la fisierul de parole atunci află direct parolele tuturor utilizatorilor!

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală majoră este stocarea parolelor în clar!
- ▶ **Întrebare:** De ce parolele NU trebuie stocate în clar?
- ▶ **Răspuns:** Pentru că dacă adversarul capătă acces la fisierul de parole atunci află direct parolele tuturor utilizatorilor!
- ▶ Pentru stocarea parolelor se utilizează funcțiile hash;

Stocarea parolelor

- ▶ O greșeală majoră este stocarea parolelor în clar!
- ▶ **Întrebare:** De ce parolele NU trebuie stocate în clar?
- ▶ **Răspuns:** Pentru că dacă adversarul capătă acces la fișierul de parole atunci află direct parolele tuturor utilizatorilor!
- ▶ Pentru stocarea parolelor se utilizează funcțiile hash;
- ▶ În fișierul de parole (sau baza de date) se stochează, pentru fiecare utilizator perechi de forma:

(username, $H(pwd)$)

Stocarea parolelor

- Pentru autentificare, utilizatorul introduce numele de utilizator *username* și parola *pwd*;

Stocarea parolelor

- ▶ Pentru autentificare, utilizatorul introduce numele de utilizator *username* și parola *pwd*;
- ▶ Sistemul de autentificare calculează $H(pwd)$ și se verifică dacă valoarea obținută este stocată în fișierul de parole pentru utilizatorul indicat prin *username*;

Stocarea parolelor

- ▶ Pentru autentificare, utilizatorul introduce numele de utilizator *username* și parola *pwd*;
- ▶ Sistemul de autentificare calculează $H(pwd)$ și se verifică dacă valoarea obținută este stocată în fișierul de parole pentru utilizatorul indicat prin *username*;
- ▶ Dacă da, atunci autentificarea se realizează cu succes; în caz contrar, autentificarea eșuază;

Stocarea parolelor

- ▶ Pentru autentificare, utilizatorul introduce numele de utilizator *username* și parola *pwd*;
- ▶ Sistemul de autentificare calculează $H(pwd)$ și se verifică dacă valoarea obținută este stocată în fișierul de parole pentru utilizatorul indicat prin *username*;
- ▶ Dacă da, atunci autentificarea se realizează cu succes; în caz contrar, autentificarea eșuază;
- ▶ Funcțiile hash sunt funcții **one-way**: cunoscând $H(pwd)$ nu se poate determina *pwd*;

Stocarea parolelor

- ▶ Pentru autentificare, utilizatorul introduce numele de utilizator *username* și parola *pwd*;
- ▶ Sistemul de autentificare calculează $H(pwd)$ și se verifică dacă valoarea obținută este stocată în fișierul de parole pentru utilizatorul indicat prin *username*;
- ▶ Dacă da, atunci autentificarea se realizează cu succes; în caz contrar, autentificarea eșuază;
- ▶ Funcțiile hash sunt funcții **one-way**: cunoscând $H(pwd)$ nu se poate determina *pwd*;
- ▶ Această metodă de stocare a parolelor introduce deci avantajul că nu oferă adversarului acces direct la parole, chiar dacă acesta deține fișierul de parole.

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;
- ▶ Acestea sunt de obicei cuvinte cu sens sau parole uzuale;

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;
- ▶ Acestea sunt de obicei cuvinte cu sens sau parole uzuale;
- ▶ Se consideră că formează termenii unui dicționar, de unde și numele atacului: **atac de tip dicționar**;

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;
- ▶ Acestea sunt de obicei cuvinte cu sens sau parole uzuale;
- ▶ Se consideră că formează termenii unui dicționar, de unde și numele atacului: **atac de tip dicționar**;
- ▶ Pentru a minimiza șansele unor astfel de atacuri:

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;
- ▶ Acestea sunt de obicei cuvinte cu sens sau parole uzuale;
- ▶ Se consideră că formează termenii unui dicționar, de unde și numele atacului: **atac de tip dicționar**;
- ▶ Pentru a minimiza șansele unor astfel de atacuri:
 - ▶ se blochează procesul de autentificare după un anumit număr de încercări nereușite;

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;
- ▶ Acestea sunt de obicei cuvinte cu sens sau parole uzuale;
- ▶ Se consideră că formează termenii unui dicționar, de unde și numele atacului: **atac de tip dicționar**;
- ▶ Pentru a minimiza șansele unor astfel de atacuri:
 - ▶ se blochează procesul de autentificare după un anumit număr de încercări nereușite;
 - ▶ se obligă utilizatorul să folosească o parolă care satisface anumite criterii : o lungime minimă, utilizarea a cel puțin 3 tipuri de simboluri (litere mici, litere mari, cifre, caractere speciale);

Atac de tip dicționar

- ▶ Adversarul poate însă să verifice, pe rând, toate parolele cu probabilitate mare de apariție;
- ▶ Acestea sunt de obicei cuvinte cu sens sau parole uzuale;
- ▶ Se consideră că formează termenii unui dicționar, de unde și numele atacului: **atac de tip dicționar**;
- ▶ Pentru a minimiza șansele unor astfel de atacuri:
 - ▶ se blochează procesul de autentificare după un anumit număr de încercări nereușite;
 - ▶ se obligă utilizatorul să folosească o parolă care satisface anumite criterii : o lungime minimă, utilizarea a cel puțin 3 tipuri de simboluri (litere mici, litere mari, cifre, caractere speciale);
- ▶ În caz de succes, adversarul determină parola unui singur utilizator;

Atac folosind tabele hash precalculate

- ▶ Pentru a determina parolele mai multor utilizatori simultan, un adversar poate **precalcula** valorile hash ale parolelor din dicționar;

Atac folosind tabele hash precalculate

- ▶ Pentru a determina parolele mai multor utilizatori simultan, un adversar poate **precalcula** valorile hash ale parolelor din dicționar;
- ▶ Dacă adversarul capătă acces la fișierul de parole, atunci verifică valorile care se regăsesc în lista precalculată;

Atac folosind tabele hash precalculate

- ▶ Pentru a determina parolele mai multor utilizatori simultan, un adversar poate **precalcula** valorile hash ale parolelor din dicționar;
- ▶ Dacă adversarul capătă acces la fișierul de parole, atunci verifică valorile care se regăsesc în lista precalculată;
- ▶ Toate conturile utilizatorilor pentru care se potrivesc valorile sunt compromise;

Atac folosind tabele hash precalculate

- ▶ Pentru a determina parolele mai multor utilizatori simultan, un adversar poate **precalcula** valorile hash ale parolelor din dicționar;
- ▶ Dacă adversarul capătă acces la fișierul de parole, atunci verifică valorile care se regăsesc în lista precalculată;
- ▶ Toate conturile utilizatorilor pentru care se potrivesc valorile sunt compromise;
- ▶ Atacul necesită capacitate de stocare mare: trebuie stocate toate perechile ($pwd, H(pwd)$) unde pwd este o parolă din dicționar;

Rainbow tables

- ▶ **Rainbow tables** introduc un compromis între capacitatea de stocare și timp;

Rainbow tables

- ▶ **Rainbow tables** introduc un compromis între capacitatea de stocare și timp;

- ▶ Se compun lanțuri de lungime t :

$$\begin{aligned} &pwd_1 \xrightarrow{H} H(pwd_1) \xrightarrow{f} pwd_2 \xrightarrow{H} H(pwd_2) \xrightarrow{f} \dots \xrightarrow{f} \\ &pwd_{t-1} \xrightarrow{H} H(pwd_{t-1}) \xrightarrow{f} pwd_t \xrightarrow{H} H(pwd_t) \end{aligned}$$

Rainbow tables

- ▶ **Rainbow tables** introduc un compromis între capacitatea de stocare și timp;
- ▶ Se compun lanțuri de lungime t :
$$pwd_1 \rightarrow^H H(pwd_1) \rightarrow^f pwd_2 \rightarrow^H H(pwd_2) \rightarrow^f \dots \rightarrow^f$$
$$pwd_{t-1} \rightarrow^H H(pwd_{t-1}) \rightarrow^f pwd_t \rightarrow^H H(pwd_t)$$
- ▶ f este o funcție de mapare a valorilor hash în parole;

Rainbow tables

- ▶ **Rainbow tables** introduc un compromis între capacitatea de stocare și timp;
- ▶ Se compun lanțuri de lungime t :
$$pwd_1 \rightarrow^H H(pwd_1) \rightarrow^f pwd_2 \rightarrow^H H(pwd_2) \rightarrow^f \dots \rightarrow^f$$
$$pwd_{t-1} \rightarrow^H H(pwd_{t-1}) \rightarrow^f pwd_t \rightarrow^H H(pwd_t)$$
- ▶ f este o funcție de mapare a valorilor hash în parole;
- ▶ Atenție! Funcția f nu este inversa funcției H (s-ar pierde proprietatea de *unidirecționalitate* a funcției hash)

Rainbow tables

- ▶ **Rainbow tables** introduc un compromis între capacitatea de stocare și timp;
- ▶ Se compun lanțuri de lungime t :
$$pwd_1 \rightarrow^H H(pwd_1) \rightarrow^f pwd_2 \rightarrow^H H(pwd_2) \rightarrow^f \dots \rightarrow^f$$
$$pwd_{t-1} \rightarrow^H H(pwd_{t-1}) \rightarrow^f pwd_t \rightarrow^H H(pwd_t)$$
- ▶ f este o funcție de mapare a valorilor hash în parole;
- ▶ Atenție! Funcția f nu este inversa funcției H (s-ar pierde proprietatea de *unidirecționalitate* a funcției hash)
- ▶ Se memorează doar capetele lanțurilor, valorile intermediare se generează la nevoie;

Rainbow tables

- ▶ **Rainbow tables** introduc un compromis între capacitatea de stocare și timp;
- ▶ Se compun lanțuri de lungime t :
$$pwd_1 \rightarrow^H H(pwd_1) \rightarrow^f pwd_2 \rightarrow^H H(pwd_2) \rightarrow^f \dots \rightarrow^f$$
$$pwd_{t-1} \rightarrow^H H(pwd_{t-1}) \rightarrow^f pwd_t \rightarrow^H H(pwd_t)$$
- ▶ f este o funcție de mapare a valorilor hash în parole;
- ▶ Atenție! Funcția f nu este inversa funcției H (s-ar pierde proprietatea de *unidirecționalitate* a funcției hash)
- ▶ Se memorează doar capetele lanțurilor, valorile intermediare se generează la nevoie;
- ▶ Dacă t este suficient de mare, atunci capacitatea de stocare scade semnificativ;

Rainbow tables

- ▶ Algoritmul de determinare a unei parole:

Rainbow tables

- ▶ Algoritmul de determinare a unei parole:
 1. Se caută valoarea hash a parolei în lista de valori hash a tabeli stocate;

Rainbow tables

- ▶ Algoritmul de determinare a unei parole:
 1. Se caută valoarea hash a parolei în lista de valori hash a tabelii stocate;
 - 1.1 Dacă se găsește, atunci lanțul căutat este acesta și se trece la pasul 2;

Rainbow tables

- ▶ Algoritmul de determinare a unei parole:
 1. Se caută valoarea hash a parolei în lista de valori hash a tabelii stocate;
 - 1.1 Dacă se găsește, atunci lanțul căutat este acesta și se trece la pasul 2;
 - 1.2 Dacă nu se găsește, se reduce valoarea hash prin funcția de reducere f într-o parolă careia i se aplică funcția H și se reia cautarea de la pasul 1;

Rainbow tables

► Algoritmul de determinare a unei parole:

1. Se caută valoarea hash a parolei în lista de valori hash a tabelii stocate;
 - 1.1 Dacă se găsește, atunci lanțul căutat este acesta și se trece la pasul 2;
 - 1.2 Dacă nu se găsește, se reduce valoarea hash prin funcția de reducere f într-o parolă careia i se aplică funcția H și se reia cautarea de la pasul 1;
2. Se generează întreg lanțul plecând de la valoarea inițială stocată. Parola corespunzătoare este cea situată în lanț înainte de valoarea hash căutată.

Salting

- ▶ Pentru a evita atacurile precedente, se utilizează tehnica de **salting**;

Salting

- ▶ Pentru a evita atacurile precedente, se utilizează tehnica de **salting**;
- ▶ La înregistrare, se stochează pentru fiecare utilizator:
 $(username, salt, H(pwd || salt))$

Salting

- ▶ Pentru a evita atacurile precedente, se utilizează tehnica de **salting**;
- ▶ La înregistrare, se stocheaza pentru fiecare utilizator:
 $(username, salt, H(pwd || salt))$
- ▶ *salt* este o secvență aleatoare de n biți, distinctă pentru fiecare utilizator;

Salting

- ▶ Pentru a evita atacurile precedente, se utilizează tehnica de **salting**;
- ▶ La înregistrare, se stocheaza pentru fiecare utilizator:
 $(username, salt, H(pwd||salt))$
- ▶ *salt* este o secvență aleatoare de n biți, distinctă pentru fiecare utilizator;
- ▶ Adversarul nu poate precalcula valorile hash înainte de a obține acces la fișierul de parole...

Salting

- ▶ Pentru a evita atacurile precedente, se utilizează tehnica de **salting**;
- ▶ La înregistrare, se stocheaza pentru fiecare utilizator:
 $(username, salt, H(pwd||salt))$
- ▶ *salt* este o secvență aleatoare de n biți, distinctă pentru fiecare utilizator;
- ▶ Adversarul nu poate precalcu valorile hash înainte de a obține acces la fișierul de parole...
- ▶ ... decât dacă folosește 2^n valori posibile *salt* pentru fiecare parolă;

Salting

- ▶ Pentru a evita atacurile precedente, se utilizează tehnica de **salting**;
- ▶ La înregistrare, se stocheaza pentru fiecare utilizator:
 $(username, salt, H(pwd||salt))$
- ▶ *salt* este o secvență aleatoare de n biți, distinctă pentru fiecare utilizator;
- ▶ Adversarul nu poate precalcula valorile hash înainte de a obține acces la fișierul de parole...
- ▶ ... decât dacă folosește 2^n valori posibile *salt* pentru fiecare parolă;
- ▶ Atacurile devin deci impracticabile pentru n suficient de mare.

Salting

- ▶ În plus, în practică se folosesc funcții hash lente;

Salting

- ▶ În plus, în practică se folosesc funcții hash lente;
- ▶ Astfel verificarea unui număr mare e parole devine impracticabilă în timp real;

Salting

- ▶ În plus, în practică se folosesc funcții hash lente;
- ▶ Astfel verificarea unui număr mare e parole devine impracticabilă în timp real;
- ▶ Un alt avantaj introdus de tehnica de salting este că deși 2 utilizatori folosesc aceeași parolă, valorile stocate sunt diferite:

$(Alice, 1652674, H(parolatest||1652674))$

$(Bob, 3154083, H(parolatest||3154083))$

Salting

- ▶ În plus, în practică se folosesc funcții hash lente;
- ▶ Astfel verificarea unui număr mare e parole devine impracticabilă în timp real;
- ▶ Un alt avantaj introdus de tehnica de salting este că deși 2 utilizatori folosesc aceeași parolă, valorile stocate sunt diferite:
 $(Alice, 1652674, H(parolatest||1652674))$
 $(Bob, 3154083, H(parolatest||3154083))$
- ▶ Prin simpla citire a fișierului de parole, adversarul nu își poate da seama că 2 utilizatori folosesc aceeași parolă.

Parole de unică folosință

- ▶ Cazul extrem de schimbare periodică a parolei îl reprezintă parolele de unică folosință;

Parole de unică folosință

- ▶ Cazul extrem de schimbare periodică a parolei îl reprezintă parolele de unică folosință;
- ▶ Utilizatorul folosește o listă de parole, la fiecare logare utilizând următoarea parolă din listă;

Parole de unică folosință

- ▶ Cazul extrem de schimbare periodică a parolei îl reprezintă parolele de unică folosință;
- ▶ Utilizatorul folosește o listă de parole, la fiecare logare utilizând următoarea parolă din listă;
- ▶ Această listă se calculează pornind de la o valoare x folosind o funcție hash H ;

Parole de unică folosință

- ▶ Cazul extrem de schimbare periodică a parolei îl reprezintă parolele de unică folosință;
- ▶ Utilizatorul folosește o listă de parole, la fiecare logare utilizând următoarea parolă din listă;
- ▶ Această listă se calculează pornind de la o valoare x folosind o funcție hash H ;
- ▶ Să considerăm o listă de 3 parole de unică folosință:

$$P_0 = H(H(H(H(x))))$$

$$P_1 = H(H(H(x)))$$

$$P_2 = H(H(x))$$

$$P_3 = H(x)$$

Parole de unică folosință

- ▶ La înregistrare, în fișierul de parole se păstrează tripletul:
 $(username, 1, P_0 = H(H(H(H(x)))))$

Parole de unică folosință

- ▶ La înregistrare, în fișierul de parole se păstrează tripletul:
 $(username, 1, P_0 = H(H(H(H(x)))))$
- ▶ Utilizatorul introduce o parolă P_1 și autentificarea se realizează cu succes dacă $H(P_1) = P_0$;

Parole de unică folosință

- ▶ La înregistrare, în fișierul de parole se păstrează tripletul:
 $(username, 1, P_0 = H(H(H(H(x)))))$
- ▶ Utilizatorul introduce o parolă P_1 și autentificarea se realizează cu succes dacă $H(P_1) = P_0$;
- ▶ Se actualizează fișierul de parole cu noua parolă introdusă:
 $(username, 2, P_1 = H(H(H(x))))$

Parole de unică folosință

- ▶ La înregistrare, în fișierul de parole se păstrează tripletul:
 $(username, 1, P_0 = H(H(H(H(x)))))$
- ▶ Utilizatorul introduce o parolă P_1 și autentificarea se realizează cu succes dacă $H(P_1) = P_0$;
- ▶ Se actualizează fișierul de parole cu noua parolă introdusă:
 $(username, 2, P_1 = H(H(H(x))))$
- ▶ Procesul continuă până se ajunge la $H(x)$;

Parole de unică folosință

- ▶ La înregistrare, în fișierul de parole se păstrează tripletul:
 $(username, 1, P_0 = H(H(H(H(x)))))$
- ▶ Utilizatorul introduce o parolă P_1 și autentificarea se realizează cu succes dacă $H(P_1) = P_0$;
- ▶ Se actualizează fișierul de parole cu noua parolă introdusă:
 $(username, 2, P_1 = H(H(H(x))))$
- ▶ Procesul continuă până se ajunge la $H(x)$;
- ▶ Fiind cunoscută o parolă din secvență, se poate calcula imediat parola anterioară, dar NU se poate calcula parola următoare.

Important de reținut!

- ▶ Nu păstrați parolele în clar!
- ▶ Utilizați mecanisme de tip salting!