23/04/25 fjmadrid@uco.es

Estructuras de Datos

EEDD - GRADO EN ING. INFORMATICA - UCO

Mapas

23/04/25 fjmadrid@uco.es

ChangeLog

23/4/2025
- Corregida tabla final comparando complejidades asumiendo que el borrado no necesita localizar.
- Mejoras estéticas y corrección de erratas.

EEDD - GRADO EN ING. INFORMATICA - UCO

Contenidos

- Concepto de “mapa”.
- Especificación.
- Diseño.

Motivación

- Se está diseñando un detector de ataques DOS (“Denial Of Service”) para un servidor (por ejemplo DNS, web, mail, sshd …).
- Para ello se rastrea, cada segundo, un log del sistema con las ip’s que han accedido al servicio durante la última hora.
- Si una ip ha accedido más de número máximo de veces, se considera que está haciendo un ataque DOS y se bloqueará (banea) en el firewall durante un tiempo predeterminado.

Motivación

```
Algorithm detectDOS(
  log:Log,//Array of pairs <Time, IP>
  maxAcc:Integer)//Max. num. of acc.
Aux
   i:Integer //First unprocessed line of log.
   j:Integer //First line in current 1h window.
   c:? //Save a counter by active ip.
Begin
  i ← 0
  j ← 0
  while system::sleep(1) do //sleep 1 second.
     updateCounters(log, i, j, c, maxAcc)
  end-while
end.
```

```
Algorithm updateCounters(
  log:Log,
  Var i:Integer,
  Var j:Integer,
  Var c:?,
  maxAcc:Integer)
Begin
  //update new accesses.
  while log[i].time < system::now() do
    increment(log[i].ip, c)
    if nAcc(log[i].ip, c) >= maxAcc then
      system::banIP(log[i].ip])
    end-if
    i ← i + 1
  end-while
  //remove old accesses.
  while log[j].time < system::now()-3600 do
    decrement(log[j].ip, c)
    j ← j + 1
  end-while
end.
```

```
Algorithm nAcc(ip:IP, c:?):Integer //number of actives accesses for ip.

Algorithm increment(ip:IP, c:?) //increment the number of accesses.
  //post: nAcc(ip, c) = nAcc(ip:IP, old(c))+1

Algorithm decrement(ip:IP, c:?) //decrement the number of accesses.
  //post: nAcc(ip, c) = nAcc(ip:IP, old(c))-1
```

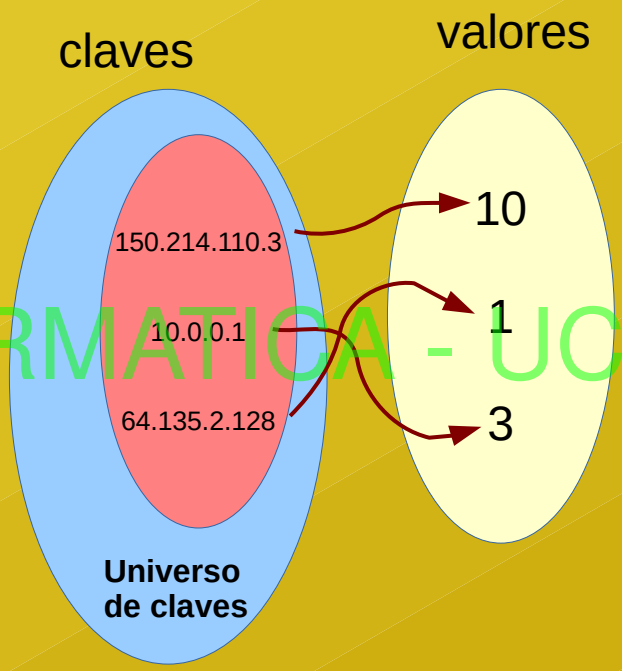
Motivación

- Diseño simple: c es un array.
  - Una IP tiene la forma 150.214.110.3 → se puede convertir en un entero de 32bits: $150x2^{24}+214x2^{16}+110x2^{8}+3 = 2530635267$
  - Representar c como un array de 2^{32} enteros = 1Gb (un contador para cada posible IP aunque sólo estén activas 2).
  - Tiempo: O(1)
  - Memoria: $O(2^{32})$
  - ¿IPv6?
    - Memoria: !!$O(2^{128})$!!


```
Algorithm ipToInt(ip:IP):Integer //O(1)
   return ip[0]*2^24+ip[1]*2^16+ip[2]*2^8+ip[3]

Algorithm nAcc(ip:IP, c: ???):Integer //O(1)
   return c[ipToInt(ip)]

Algorithm increment(ip:IO, var c:Array[Integer])//O(1)
  c[ip2Int(c)] ← c[ip2Int(c)] + 1

Algorithm decrement(ip:IP, var c:Array[Integer])//O(1)
  c[ip2Int(c)] ← c[ip2Int(c)] - 1
```

Mapa

- Definición.
  - Colección de pares <clave:valor>
  - No hay un orden definido.
  - No hay duplicación de claves.
  - Otros nombres: diccionario, arreglo asociativo, tabla de símbolos.
  - Se busca optimizar las obtención de un valor dada la clave.
  - Para nuestro problema de DOS c puede ser un mapa de Ip's a Enteros (contador).
  - Se dice **ordenado** si su recorrido genera una secuencia de pares <clave:valor> ordenada por el campo clave.



Mapa

- Especificación: TAD Par.

ADT Pair[K,V]
Makers
- **create**(K k, V v)//make a pair
  - post-c: getFirst()==k
  - post-c: getSecond()==v

Observers
- **first**():K //gets the first value.
- **second**():V //gets the second value.

Modifiers
- **setFirst**(k:K)//sets the first value.
  - post-c: getFirst()=k
- **setSecond**(v:V)// sets the second value.
  - post-c: getSecond()=v

Mapa

- Especificación: TAD Map e Iterador.

ADT Map[K,V]
Makers:
- **create**() // make an empty map.
  - post-c: isEmpty()

Observers:
- **isEmpty**():Bool //Is the map empty?.
- **has**(k:K):Bool //Does exist a pair <k,_>?
- **get**(k:K):V //The value part of the pair <k, v>
  - Pre-c: has(k)
- **begin**():MapIterator // get an iterator to the begin.
- **end**():MapIterator // get an interator to the end.
- **find**(k:K):MapIterator //find the pair <k, _>
  - Post-c: retV==end() or retV.getKey()==k

Modifiers:
- **insert**(k:K,v:V) //insert or update the value of the pair <k,v>
  - Post-c: find(k).getValue()==v
- **remove**(i:MapIterator) // remove the pair pointed by i.
  - Pre-c: i.isValid()
  - Post-c: not has(i.getKey()).

ADT MapIterator[K,V]:
Observers:
- **isValid**():Bool //Is the iterator in [begin, end) sequence?
- **getKey**():K //get the key part.
  - Pre-c: isValid()
- **getValue**():V //get the value part.
  - Pre-c: isValid()

Modifiers:
- **setValue**(v:V)// set the value part.
  - Pre-c: isValid()
  - Post-c: getValue()=v
- **gotoNext**() //move iterator to next pair.
  - Pre-c: isValid()

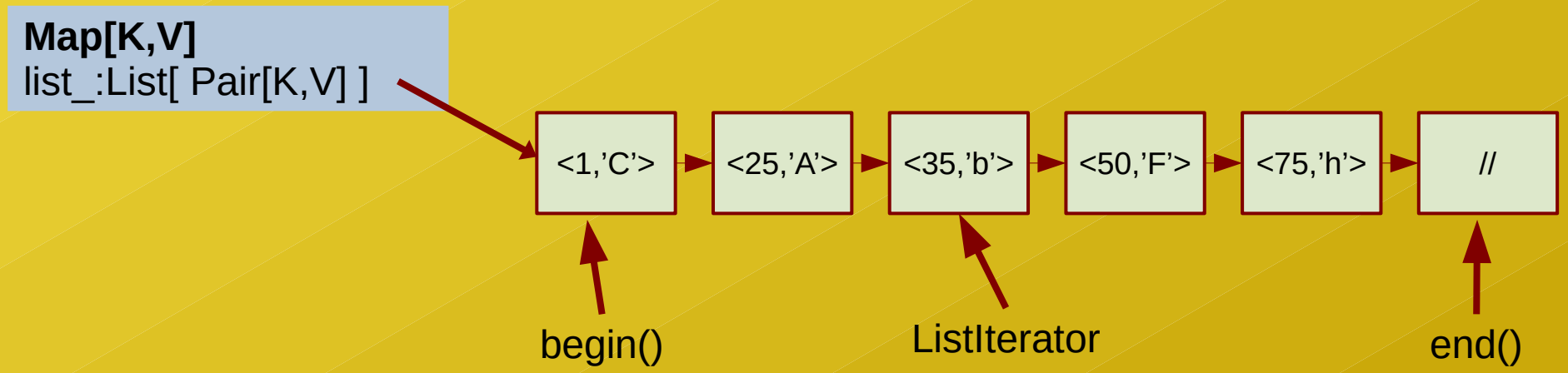
Mapa

- Diseño del detector de DOS usando un mapa.


```
Algorithm nAcc(ip:IP, c:Map[IP, Integer]):Integer
  it <- c.find(ip)
  If it <> c.end() Then
    Return p.getValue()
  Else
    Return 0

Algorithm increment(ip:IP, var c:Map[IP, Integer])
  it <- c.find(ip)
  If it <> c.end() Then
    it.setValue(it.GetValue() + 1)
  Else
    c.insert(ip, 1)

Algorithm decrement(ip:IP, var c:Map[IP, Integer])
  //pre: c.has(ip)
  c.insert(ip, c.get(ip) - 1)
```

Mapa

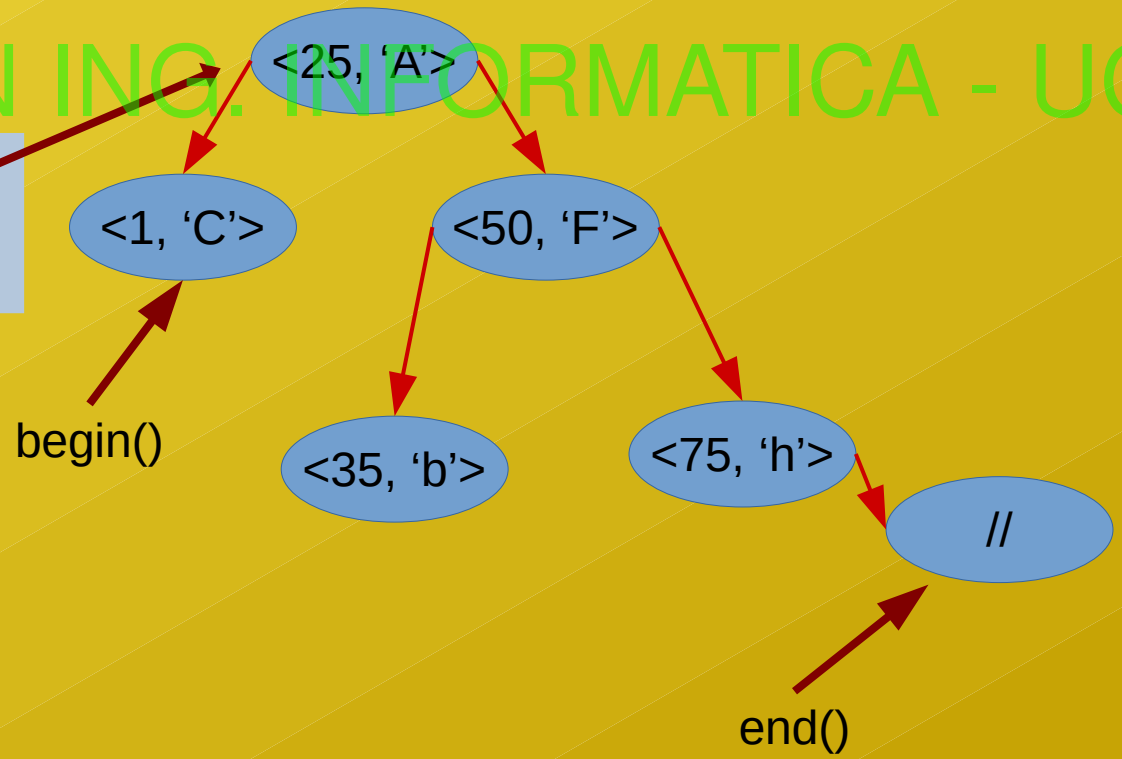
- Diseño usando una lista de pares <K:V> (lista asociativa).
  - Útil cuando se estiman pocas entradas.
    - find(k:K) O(N)
  - Podemos usar una lista ordenada por “key”.
    - Mapa ordenado pero “insert” con O(N).



Mapa

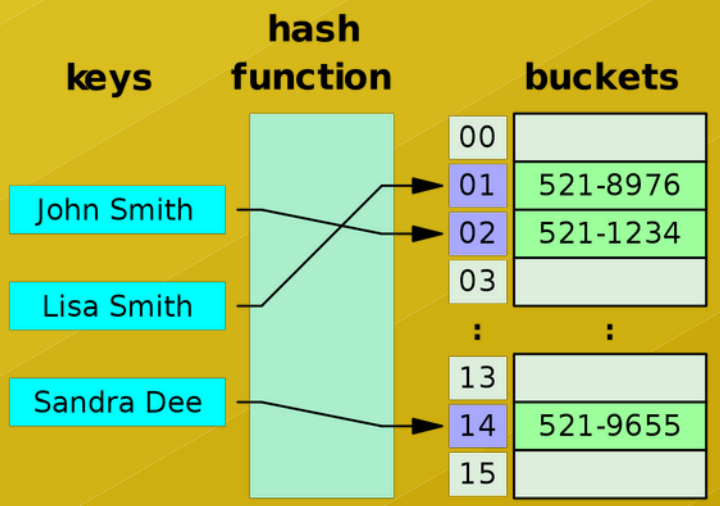
- Diseño con un BSTree.
  - Mejor si está equilibrado en altura: AVL/Red-Black.
    - find(K) -> O(Log N).
  - Será un mapa ordenado con insert O(Log N).

Map[K,V]
data_:BSTree[Pair[K,V]]



Mapa

- Implementación con una tabla HASH.
  - Combinación de array (tabla) con **función hash**:
    - h: Keys -> Integers.
  - La función hash **mapea** las claves a un índice del array con insert/remove con coste amortizado O(1).
  - Se pueden producir **colisiones**.
  - El mapa no es ordenado.



Mapas

- Comparación de implementaciones.

Operación	Buscar		Insertar		Borrar (sin buscar)		¿Ordenado?
Diseño	**Promedio**	**Peor caso**	**Promedio**	**Peor caso**	**Promedio**	**Peor caso**	
Lista	O(N)	O(N)	O(1)	O(1)	O(1)	O(1)	No
Lista ordenada	O(N)	O(N)	O(N)	O(N)	O(1)	O(1)	Sí
ABO H = altura del árbol	O(H)	O(N)	O(H)	O(N)	O(H)	O(H)	Sí
AVL H = Log(N)	O(H)	O(H)	O(H)	O(H)	O(H)	O(H)	Sí
Hashing	O(1)	O(N)	O(1)	O(N)	O(1)	O(1)	No

Resumiendo

- Una mapa permite representar una función que mapea un conjunto de valores (las claves) en otro conjunto (el valor asociado a una clave).
- Tiene distintos nombres: mapa, diccionario, array asociativo, tabla de símbolos.
- Se puede implementar usando otros TAD como lista asociativa, ABO o una Tabla Hash.

Referencias

- Lecturas recomendadas:
  - Wikipedia: en.wikipedia.org/wiki/Associative_array