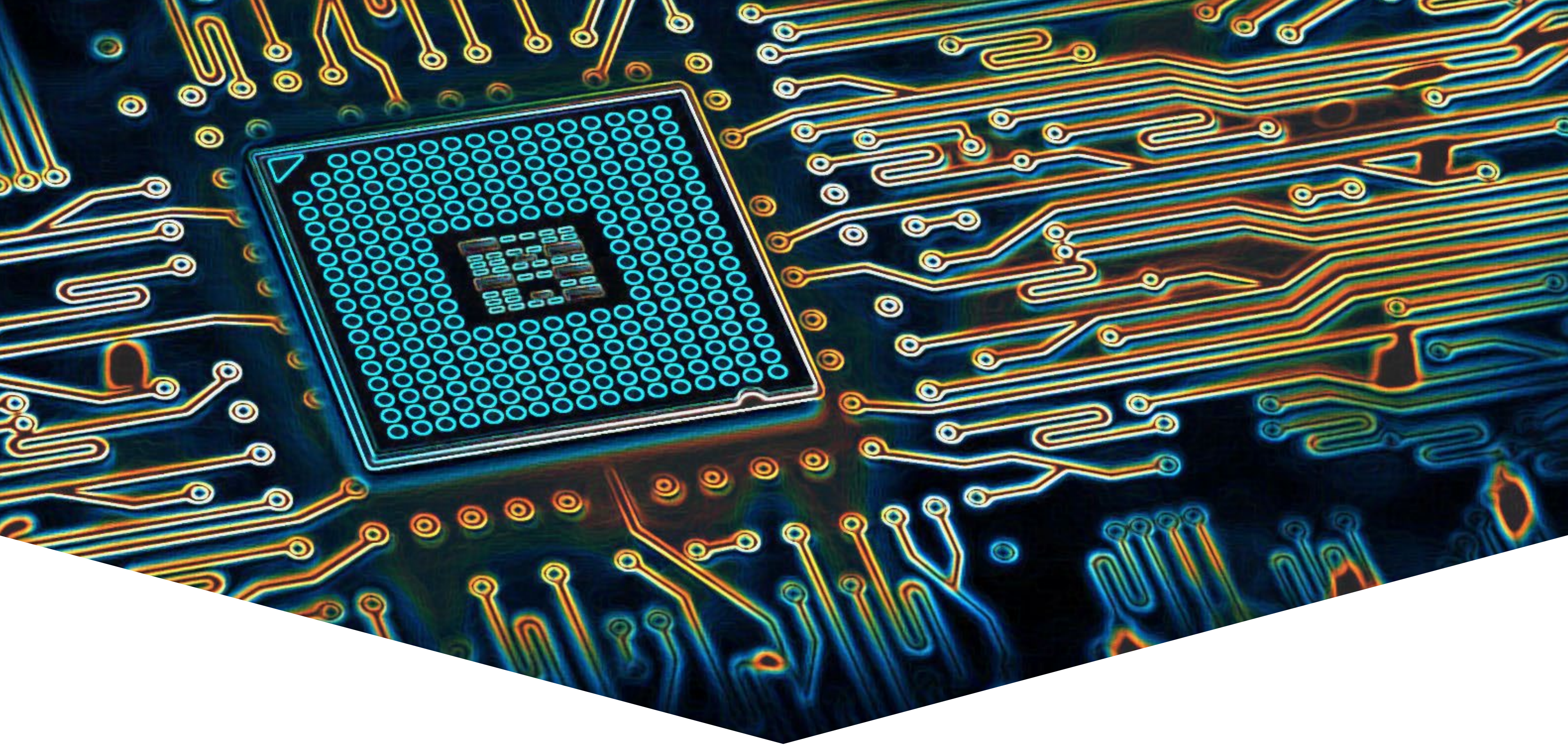


EMS30 Week 7 Les 1: Datastructuren

Datastructuren en algorithmen

Leerdoelen week 7 les 1. Je leert hoe je:

- een aantal **datastructuren** uit de standaard C++ library kunt gebruiken;
- een aantal **algoritmen** uit de standaard C++ library kunt gebruiken.

Standaard C++ library is zeer uitgebreid:

- **dictaat** hoofdstuk **10 t/m 13** en 20.
- https://en.cppreference.com/w/cpp

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Wij beperken ons tot:

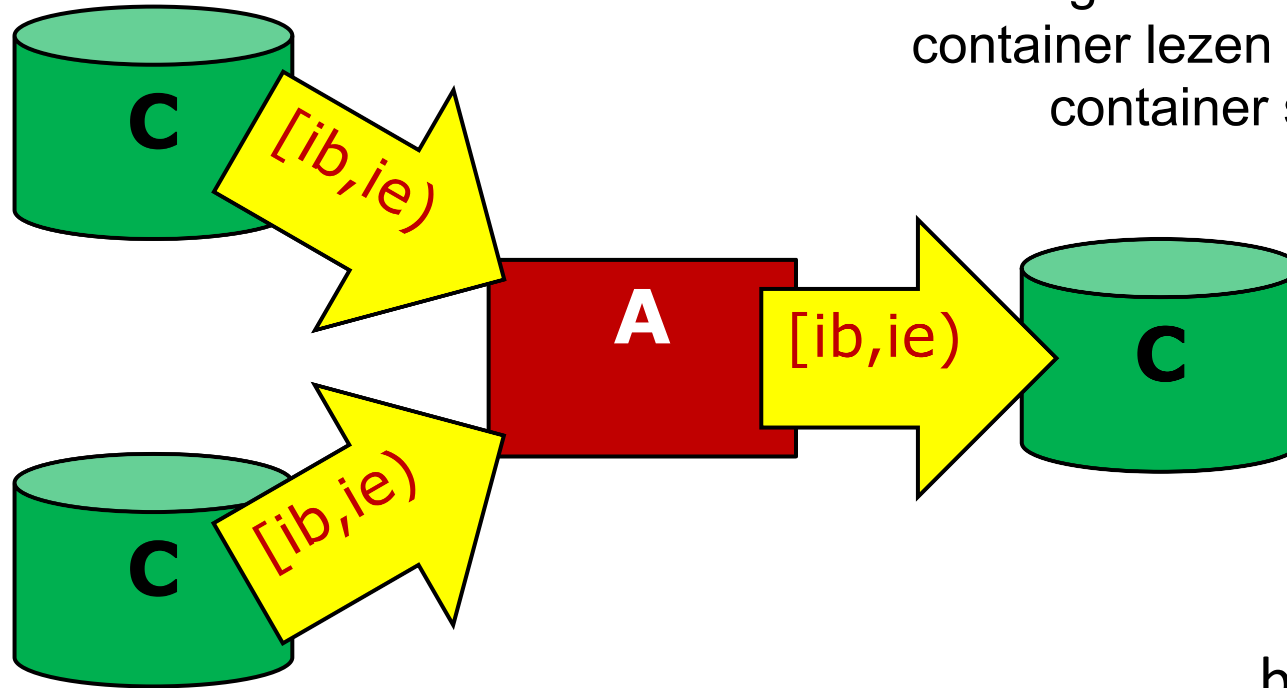
- **Containers** (datastructuren)
- **Iterators** (om door een container te 'lopen')
- **Algorithms** (generieke algoritmes)

- Het gebruik van iterators maakt **generiek** programmeren (generic programming) mogelijk. Een generiek algoritme kan op **verschillende** datatypes (containers) toegepast worden.
- Met behulp van iterators kun je een algoritme op de objecten in een container uitvoeren.
- De containers en algoritmen zijn zo **efficient** mogelijk (geen inheritance en virtuele functies gebruikt).

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Containers, Iterators and Algorithms

Een algorithm kan ook uit **één** container lezen en in **dezelfde** container schrijven



C = container
A = algorithm
i = iterator
b = begin, e = end
[ib,ie) = range van ib **tot** ie

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iterator voorbeeld

Met behulp van een **iterator** kun je door een `string` **'lopen'** op dezelfde manier als dat je met een pointer door een `char[]` kunt 'lopen'.

```
char naam1[] {"Roy"};
for (const char* p {naam1}; *p != '\0'; ++p) {
    cout << *p << ' ';
}
cout << '\n';
string naam2 {"Harry"};
for (string::const_iterator i {naam2.cbegin()};
                                        i != naam2.cend(); ++i) {
    cout << *i << ' ';
}
cout << '\n';
```

cbegin() geeft een const_iterator terug

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iterator voorbeeld met auto

Met behulp van een **iterator** kun je door een `string` **‘lopen’** op dezelfde manier als dat je met een pointer door een `char[]` kunt ‘lopen’.

```
char naam1[] {"Roy"};
for (const auto* p {naam1}; *p != '\0'; ++p) {
    cout << *p << ' ';
}
cout << '\n';
string naam2 {"Harry"};
for (auto i {naam2.cbegin()}; i != naam2.cend(); ++i) {
    cout << *i << ' ';
}
cout << '\n';
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

Verschillende containers:

- Sequentiële containers
  - []
  - string
  - array
  - vector
  - forward_list (singly linked list)
  - list (doubly linked list)
  - deque (double ended queue, eigenlijk een devector)
  - bitset (slaan wij over)
  - adapters (in combinatie met vector, list of deque):
    - stack
    - queue
    - priority_queue

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Verschillende containers (vervolg)

- Associatieve containers (elementen op volgorde van sleutelwaarde opgeslagen)
  - `set`
    - Verzameling van sleutels (keys).
    - Sleutel moet origineel zijn.
  - `multiset`
    - Verzameling van sleutels (keys).
    - Sleutel kan meerdere malen voorkomen.
  - `map`
    - Verzameling van paren (sleutel, waarde) pair<const key, value>.
    - Sleutel moet origineel zijn.
  - `multimap`
    - Verzameling van paren (sleutel, waarde) pair<const key, value>.
    - Sleutel kan meerdere malen voorkomen.

Geïmplementeerd met een *binairy search tree*

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Verschillende containers (vervolg)

- Associatieve containers (elementen in willekeurige volgorde opgeslagen)
  - `unordered_set`
    - Verzameling van sleutels (keys).
    - Sleutel moet origineel zijn.
  - `unordered_multiset`
    - Verzameling van sleutels (keys).
    - Sleutel kan meerdere malen voorkomen.
  - `unordered_map`
    - Verzameling van paren (sleutel, waarde) pair<const key, value>.
    - Sleutel moet origineel zijn.
  - `unordered_multimap`
    - Verzameling van paren (sleutel, waarde) pair<const key, value>.
    - Sleutel kan meerdere malen voorkomen.

Geïmplementeerd met een *hash table*

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Containers

- De containers regelen hun eigen **geheugenbeheer**.

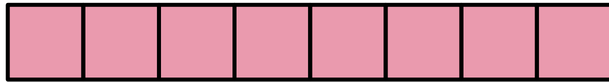
- De containers maken **kopietjes** van de elementen die erin gestopt worden. Als je dat niet wilt dan moet je een container met pointers gebruiken.

- Alle objecten in een container zijn van **hetzelfde type**. (Dat kan wel een *polymorf* pointertype zijn!)

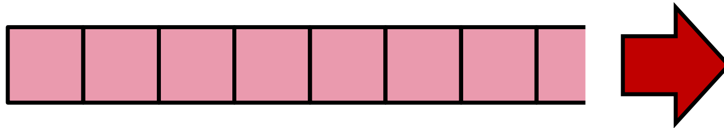
HOGESCHOOL ROTTERDAM

Sequentiële containers

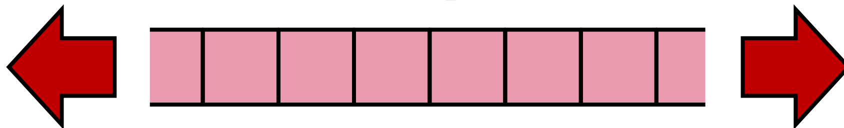
`array`



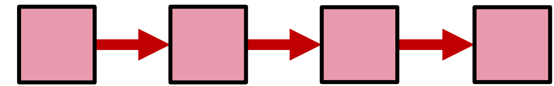
`vector`



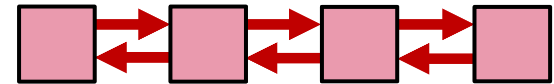
`deque`



`forward_list`



`list`



HOGESCHOOL ROTTERDAM

Adapters

Container adapters passen de interface van een `vector`, `deque` of `list` aan:

- `stack`
- `queue`
- `priority_queue`

```
stack<vector<int>> s1; // stack implemented with vector
stack<deque<int>> s2;  // stack implemented with deque
stack<list<int>> s3;   // stack implemented with list
stack<int> s4;         // using deque by default
```

Zie dictaat H9 voor een **alternatieve implementatie** en H8 voor (verrassende) **toepassingen** van een stack

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Associatieve containers

- `set` (verzameling)
- `multiset` (bag)

Bevat elementen van het type: `const Key`

- `map` (1:N relatie)
- `multimap` (M:N relatie)

Bevat elementen van het type: `pair<const Key, Value>`

Mogelijkheden:

- zoeken op Key
- doorlopen op volgorde van Key

Implementatie: *binary search tree*

Associatieve containers

- `unordered_set`
- `unordered_multiset`

Bevat elementen van het type: `const Key`

- `unordered_map`
- `unordered_multimap`

Bevat elementen van het type: `pair<const Key, Value>`

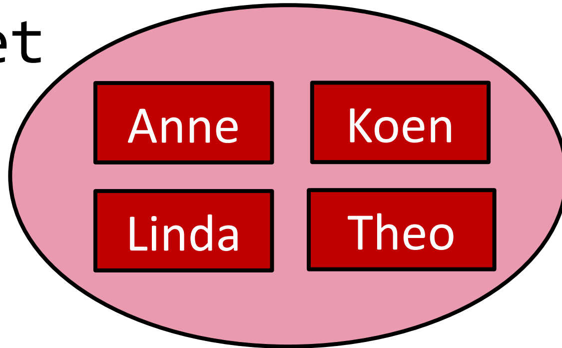
Mogelijkheden:

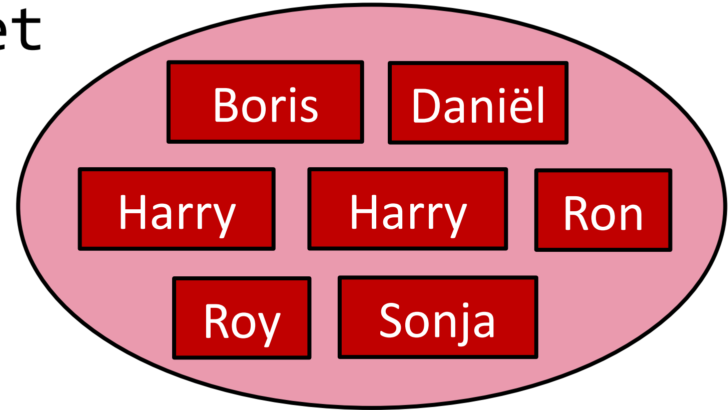
- zoeken op Key

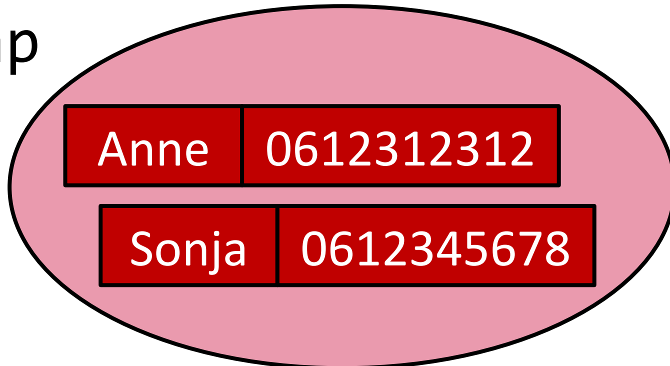
Implementatie: *hash table*

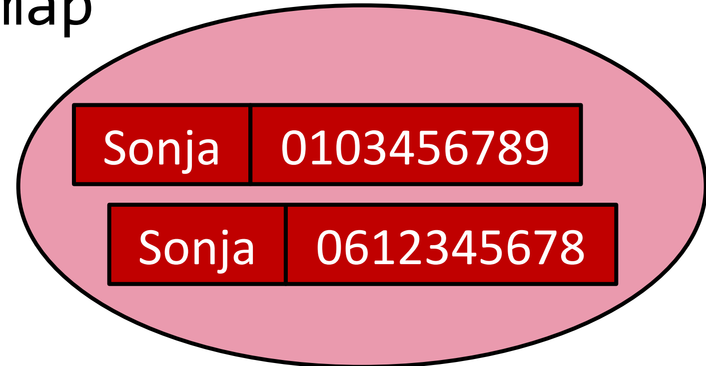
HOGESCHOOL ROTTERDAM

Associatieve containers









HOGESCHOOL ROTTERDAM

set (verzameling)

- Toevoegen met `insert`
  - Een element wordt automatisch op de ‘goede’ plaats ingevoegd.
  - Returntype is een `pair<iterator, bool>`. De `bool` geeft aan of het invoegen gelukt is en de `iterator` geeft de plek aan waar ingevoegd is.
- Verwijderen met `erase`
  - Een te verwijderen element wordt automatisch opgezocht.
  - Je kunt ook een iterator meegeven of een range (2 iteratoren).
- Zoeken met `find`
  - Geeft een iterator terug naar de plaats waar het element staat en geeft `end()` terug als element niet gevonden is.
- Zoeken met `count`
  - Geeft het aantal keer dat een element voorkomt (`0` of `1`).

HOGESCHOOL ROTTERDAM

multiset (bag)

- Toevoegen met `insert`
  - Een element wordt automatisch op de ‘goede’ plaats ingevoegd.
  - Returntype is een `iterator`. De `iterator` geeft de plek aan waar ingevoegd is.
- Verwijderen met `erase`
  - Een te verwijderen element wordt automatisch opgezocht. Alle gevonden elementen worden verwijderd.
  - Je kunt ook een iterator meegeven of een range (2 iteratoren).
- Zoeken met `find`
  - Geeft een iterator terug naar de plaats waar het eerste element staat en geeft end( ) terug als element niet gevonden is.
- Zoeken met `count`
  - Geeft het aantal keer dat een element voorkomt (≥0).

HOGESCHOOL ROTTERDAM

map (1:N relatie)

- Elementen zijn: `pair<const Key, Value>`
- Interface gelijk aan `set`:
  - `insert`
  - `erase`
  - `find`
  - `count`
- Extra `operator[]`
  - Met `operator[]` kun je een key als index gebruiken.
  - Als de key al in de map zit wordt een reference naar de bijbehorende value teruggegeven.
  - Als de key niet aanwezig in de map dan wordt deze key toegevoegd met de default value (default constructor).

HOGESCHOOL ROTTERDAM

multimap (1:N relatie)

- Elementen zijn: `pair<const Key, Value>`
- Interface gelijk aan `multiset`:
  - `insert`
  - `erase`
  - `find`
  - `count`
- **Geen** `operator[]`

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Voorbeeld met map


```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <map>
using namespace std;
int main() {
    string w;
    map<string, int> freq;
    cout << "Geef filenaam: ";
    cin >> w;
    ifstream fin {w};
    while (fin >> w) {
        ++freq[w];
    }
    for (const auto& wc: freq) {
        cout << wc.first << " " << wc.second << '\n';
    }
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iteratoren (er zijn er meer)

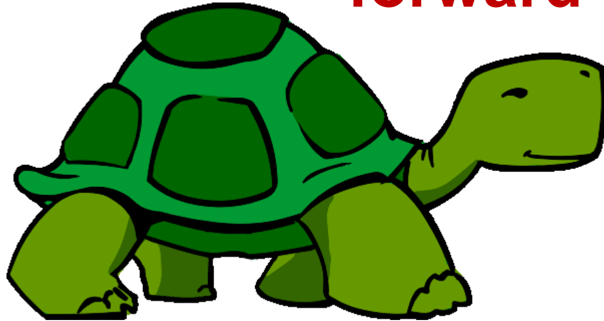
Een **iterator** is geen class maar een (interface) **afspraak**. Elke class die aan deze afspraak voldoet is als iterator te gebruiken.

- **forward** iterator
  - voorwaarts * ++ == !=
- **bidirectional** iterator
  - voor-/achterwaarts * ++ -- == !=
- **random access** iterator
  - met sprongen * ++ -- += -= + - == != > >= < <= [ ]
  - een gewone pointer is een random access iterator

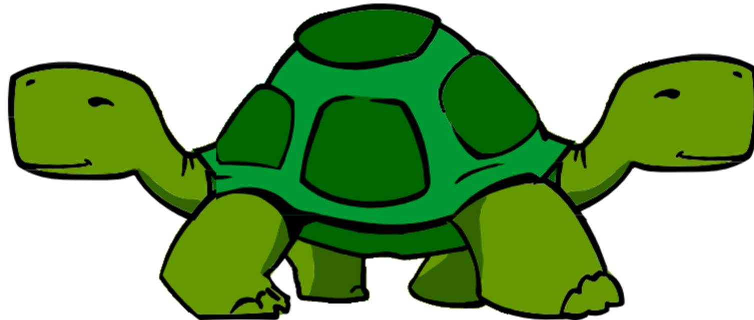
HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iteratoren (er zijn er meer)

forward iterator



Bron: https://pixabay.com/nl/vectors/schildpad-carapax-groene-wandelen-303732/



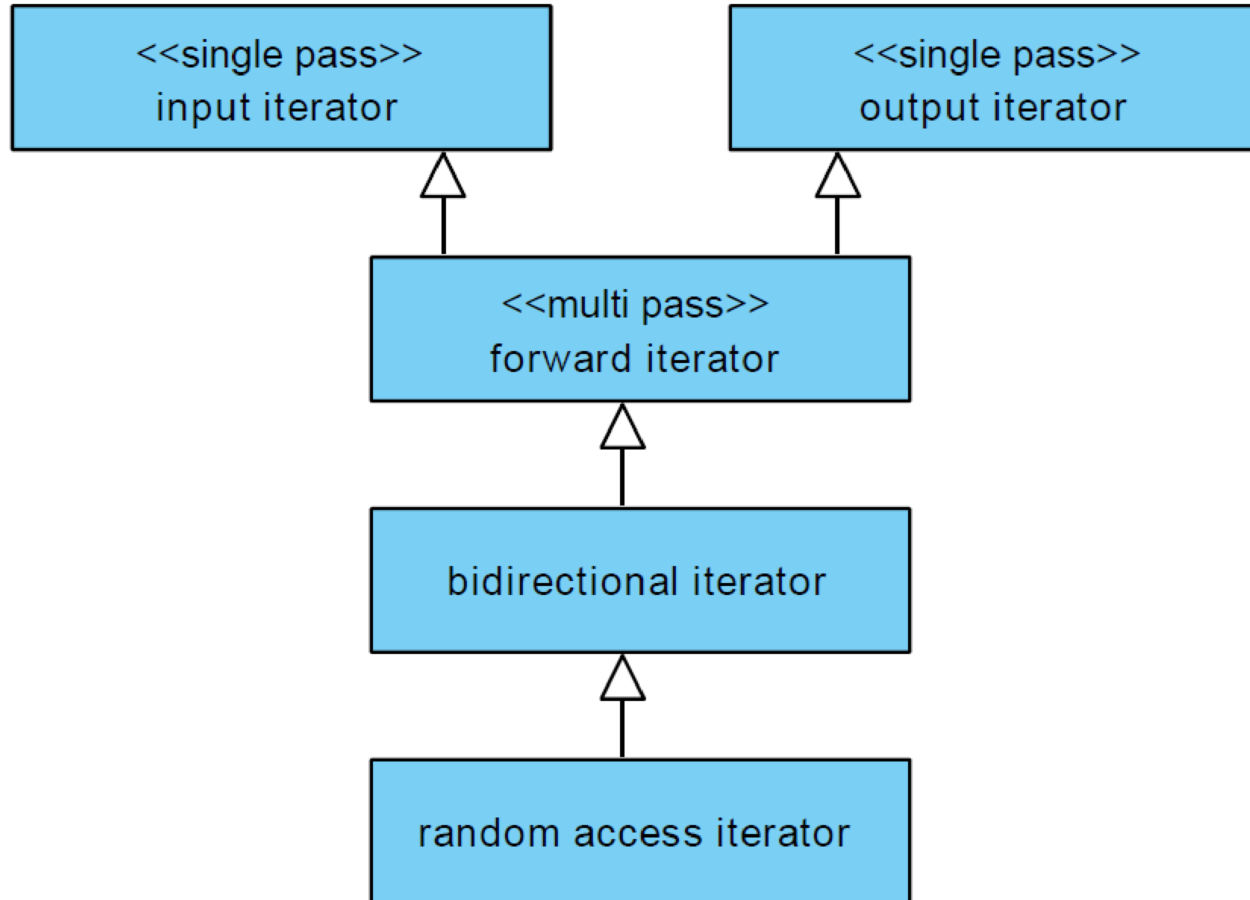
bidirectional iterator

Bron: https://www.pngkey.com/detail/u2q8w7r5o0i1e6u2_disneys-roo-clip-art-winnie-the-pooh-roo/

random access iterator

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iteratoren



HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iteratoren

Relatie met containers

- **forward** iterator
  - `forward_list`, `unordered_set`, `unordered_multiset`, `unordered_map` en `unordered_multimap`
- **bidirectional** iterator
  - `list`, `set`, `multiset`, `map` en `multimap`
- **random access** iterator
  - `vector` en `deque`

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Iteratoren

Relatie met algorithms

- **input** iterator bijvoorbeeld `find`
- **output** iterator bijvoorbeeld `copy`
- **forward** iterator bijvoorbeeld `replace`
- **bidirectional** iterator bijvoorbeeld `reverse`
- **random access** iterator bijvoorbeeld `sort`

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Speciale iteratoren

Reverse-iteratoren (van achter naar voor).

- `rbegin()`, `crbegin()`, `rend()` en `crend()` geven een reverse-iterator

Insert-iteratoren (een soort cursor in insert i.p.v. override mode).

- `insert_iterator`
- `back_insert_iterator`
- `front_insert_iterator`

Er zijn functie beschikbaar om deze insert-iteratoren aan te maken, zie dictaat paragraaf 12.3.

Dit zijn wel echte classes!

Stream-iteratoren (koppeling tussen `iostream` library en algorithms).

- `istream_iterator`
- `ostream_iterator`

Dit zijn wel echte classes!

Voorbeeld met speciale iteratoren


```
#include <…>
using namespace std;

int main() {
    vector<int> rij;
    ifstream f_in {"getallen_ongesorteerd.txt"};
    if (!f_in)
        return 1; // kan f_in niet openen
    istream_iterator<int> i_in {f_in}, einde;
    copy(i_in, einde, back_inserter(rij));
    sort(rij.begin(), rij.end());
    ofstream f_out {"getallen_gesorteerd.txt"};
    if (!f_out)
        return 2; // kan fout niet openen
    ostream_iterator<int> i_out {f_out, " "};
    copy(rij.crbegin(), rij.crend(), i_out);
}
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

Generieke algoritmen

Een generiek algoritme werkt op een **range**. Een range wordt aangegeven door **twee iteratoren** *i1* en *i2*. De range loopt van *i1* tot (dus niet t/m) *i2*. In de wiskunde zouden we dit noteren als [*i1*, *i2*).

```
int main() {
  vector<int> v = {12, 18, 6};
  sort(v.begin(), v.end());
  for (auto e: v) {
      cout << e << " ";
  }
}
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

Algoritmen versus memberfuncties

Een **generiek algoritme** werkt op meerdere container types. Sommige containers hebben voor bepaalde bewerkingen **specifieke memberfuncties**.

- Omdat het generieke algoritme krachtigere iteratoren nodig heeft dan de container kan leveren.
- Omdat de specifieke memberfunctie **sneller** is dan het generieke algoritme.

Kijk dus voordat je een generiek algoritme gebruikt altijd eerst of er een specifieke memberfunctie is.

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Algoritmen versus memberfuncties


```
list<int> l {12, 18, 6};
sort(l.begin(), l.end()); // Error!
```

heeft random access iteratoren nodig `list` levert bidirectionele iteratoren

GCC error (flink aantal regels) belangrijkste mededeling:
`In instantiation of 'void std::__sort(_RandomAccessIterator, _RandomAccessIterator, _Compare)`: error: no match for 'operator-'

```
l.sort(); // Ok!
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

Algoritmen versus memberfuncties


```cpp
#include <…>
using namespace std;

int main() {
    set<int> s {12, 6, /*... ,*/ 18}; // Hele grote set

    auto i1 {find(s.cbegin(), s.cend(), 6)}; // Redelijk snel O(n)
    if (i1 != s.cend()) {
        cout << *i1 << " gevonden\n";
    }

    auto i2 {s.find(6)}; // Sneller O(log n)
    if (i2 != s.end()) {
        cout << *i2 << " gevonden\n";
    }
}
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

Algoritmen

Er zijn heel veel algoritmen beschikbaar in de standaard C++ library.

- Zie dictaat hoofdstuk 13
- Zie https://en.cppreference.com/w/cpp/algorithm

HOGESCHOOL ROTTERDAM

find


```
#include <iostream>
#include <list>
#include <algorithm>
using namespace std;

int main() {
    list<int> l {-3, -4, 3, 4};
    auto r {find(l.cbegin(), l.cend(), 3)};
    if (r != l.cend()) {
        cout << "Element " << *r << " is gevonden\n";
    }
}
```


HOGESCHOOL ROTTERDAM

find_if

EMBEDDED SYSTEMS

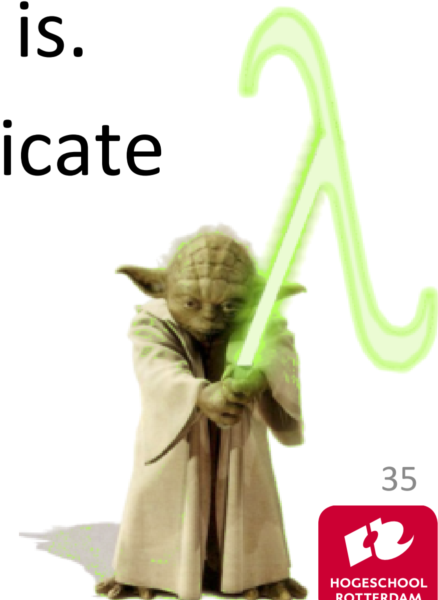
```
#include <iostream>
#include <list>
#include <algorithm>
using namespace std;

bool is_pos(int i) {
    return i >= 0;
}

int main() {
    list<int> l {-3, -4, 3, 4};
    auto r {find_if(l.cbegin(), l.cend(), is_pos)};
    if (r != l.cend()) {
        cout << "Het eerste positieve element is: " << *r << '\n';
    }
}
```

Functie **is_pos** wordt gebruikt als predicate
Wat als we de eerste waarde >=1 in de lijst l willen zoeken?

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Lambda-functie

- Een **lambda-functie** is een anoniem functie-object (functor).
- De lambda-functie wordt gedefinieerd op de plaats waar het functie-object nodig is.
- Een lambda-functie kan dus als predicate gebruikt worden.



Bron (bewerkt): http://www.steveterrellmusic.com/YODA.jpg

find_if


```
#include <iostream>
#include <list>
#include <algorithm>
using namespace std;

int main() {
    list<int> l {-3, -4, 3, 4};
    auto r {find_if(l.cbegin(), l.cend(), [](int i) {
        return i >= 0;
    })};
    if (r != l.cend()) {
        cout << "Het eerste positieve element is: " << *r << '\n';
    }
}
```

Lambda-functie

`[](int i) { return i >= 0; }`

wordt gebruikt als predicate

HOGESCHOOL ROTTERDAM

find_if


```
#include <iostream>
#include <list>
#include <algorithm>
using namespace std;

int main() {
    list<int> l {-3, -4, 3, 4};
    auto r {find_if(l.cbegin(), l.cend(), [](auto i) {
        return i >= 0;
    })};
    if (r != l.cend()) {
        cout << "Het eerste positieve element is: " << *r << '\n';
    }
}
```

Lambda-functie

`[](auto i) { return i >= 0; }`

wordt gebruikt als predicate

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Closure

- Een lambda-functie kan gebruik maken van variabelen die buiten de lambda-functie gedeclareerd zijn. Zo'n lambda-functie-object wordt een **closure** genoemd. Nederlands: (in)sluiting. De variabelen die ingesloten moeten worden in de closure worden tussen [en] opgegeven.

- [a, &b] a wordt 'by value' en b wordt 'by reference' ingesloten.
- [&] elke gebruikte variabele wordt 'by reference' ingesloten.
- [=] elke gebruikte variabele wordt 'by value' ingesloten.
- [=, &c] c wordt 'by reference' ingesloten en alle andere gebruikte variabelen worden 'by value' ingesloten.
- [] er worden géén variabelen ingesloten.

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Voorbeeld closure


```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;

int main() {
    vector<int> v {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
    int som_even {0};
    for_each(v.cbegin(), v.cend(), [&som_even](auto i) {
        if (i % 2 == 0) {
            som_even += i;
        }
    });
    cout << "De som van even getallen in v = " << som_even << '\n';
}
```

[&] werkt ook.
Wat is beter?

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Volgende les...

Algoritmen, performance en big-O-notatie

Bron: https://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-p/1b/34/dc/f3/big-o-logo.jpg

Aan de slag!

Aan de slag met [Opdrachten_Week_7_Les_1.pdf]

Bron: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Copyright-problem_paste_2.svg/226px-Copyright-problem_paste_2.svg.png