

12. Wörterbücher

Wörterbuch, Selbstordnung, Implementation Wörterbuch mit Array / Liste / Skipliste. [Ottman/Widmayer, Kap. 3.3,1.7, Cormen et al, Kap. Problem 17-5]

Wörterbuch (Dictionary)

ADT zur Verwaltung von Schlüsseln aus \mathcal{K} mit Operationen

- **insert**(k, D): Hinzufügen von $k \in \mathcal{K}$ in Wörterbuch D . Bereits vorhanden \Rightarrow Fehlermeldung.
- **delete**(k, D): Löschen von k aus dem Wörterbuch D . Nicht vorhanden \Rightarrow Fehlermeldung.
- **search**(k, D): Liefert **true** wenn $k \in D$, sonst **false**.

312

313

Idee

Implementiere Wörterbuch als sortiertes Array.
Anzahl Elementaroperationen im schlechtesten Fall

Suchen $\mathcal{O}(\log n)$ 😊
Einfügen $\mathcal{O}(n)$ 😞
Löschen $\mathcal{O}(n)$ 😞

Andere Idee

Implementiere Wörterbuch als verkettete Liste
Anzahl Elementaroperationen im schlechtesten Fall

Suchen $\mathcal{O}(n)$ 😞
Einfügen $\mathcal{O}(1)$ ¹³ 😊
Löschen $\mathcal{O}(n)$ 😞

314

¹³Unter der Voraussetzung, dass wir die Existenz nicht prüfen wollen.

315

Selbstanordnung

Problematisch bei der Verwendung verketteter Listen: lineare Suchzeit

Idee: Versuche, die Listenelemente so anzuordnen, dass Zugriffe über die Zeit hinweg schneller möglich sind

Zum Beispiel

- Transpose: Bei jedem Zugriff auf einen Schlüssel wird dieser um eine Position nach vorne bewegt.
- Move-to-Front (MTF): Bei jedem Zugriff auf einen Schlüssel wird dieser ganz nach vorne bewegt.

Transpose

Transpose:



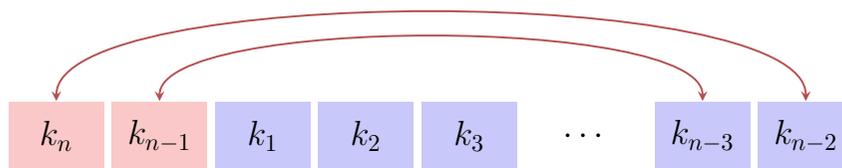
Worst case: n Wechselnde Zugriffe auf k_{n-1} und k_n . Laufzeit: $\Theta(n^2)$

316

317

Move-to-Front

Move-to-Front:



n Wechselnde Zugriffe auf k_{n-1} und k_n . Laufzeit: $\Theta(n)$

Man kann auch hier Folge mit quadratischer Laufzeit angeben, z.B. immer das letzte Element. Aber dafür ist keine offensichtliche Strategie bekannt, die viel besser sein könnte als MTF.

Analyse

Vergleichen MTF mit dem bestmöglichen Konkurrenten (Algorithmus) A. Wie viel besser kann A sein?

Annahme: MTF und A dürfen jeweils nur das zugegriffene Element x verschieben. MTF und A starten mit derselben Liste. M_k und A_k bezeichnen die Liste nach dem k -ten Schritt. $M_0 = A_0$.

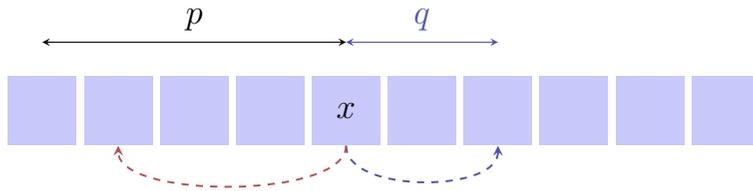
318

319

Analyse

Kosten:

- Zugriff auf x : Position p von x in der Liste.
- Keine weiteren Kosten, wenn x **vor** p verschoben wird.
- Weitere Kosten q für jedes Element, das x von p aus nach **hinten** verschoben wird.



320

Amortisierte Analyse

Sei eine beliebige Folge von Suchanfragen gegeben und seien $G_k^{(M)}$ und $G_k^{(A)}$ jeweils die Kosten im Schritt k für Move-to-Front und A. Suchen Abschätzung für $\sum_k G_k^{(M)}$ im Vergleich zu $\sum_k G_k^{(A)}$.

⇒ Amortisierte Analyse mit Potentialfunktion Φ .

321

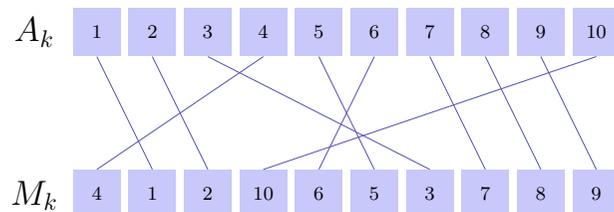
Potentialfunktion

Potentialfunktion $\Phi =$ Anzahl der Inversionen von A gegen MTF.

Inversion = Paar x, y so dass für die Positionen von x und y

$p^{(A)}(x) < p^{(A)}(y) \wedge p^{(M)}(x) > p^{(M)}(y)$ oder

$p^{(A)}(x) > p^{(A)}(y) \wedge p^{(M)}(x) < p^{(M)}(y)$

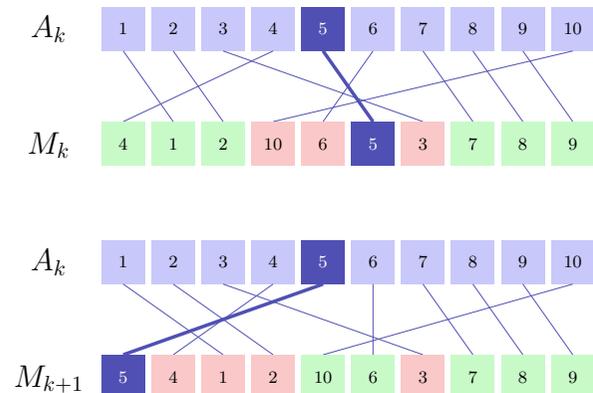


#Inversionen = #Kreuzungen

322

Abschätzung der Potentialfunktion: MTF

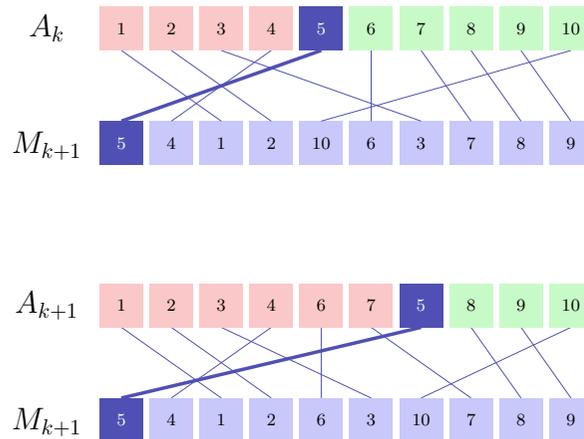
- Element i an Position $p_i := p^{(M)}(i)$.
- Zugriffskosten $C_k^{(M)} = p_i$.
- x_i : Anzahl Elemente, die in M vor p_i und in A nach i stehen.
- MTF löst x_i Inversionen auf.
- $p_i - x_i - 1$: Anzahl Elemente, die in M vor p_i und in A vor i stehen.
- MTF erzeugt $p_i - 1 - x_i$ Inversionen.



323

Abschätzung der Potentialfunktion: A

- (oBdA) Element i an Position i .
- $X_k^{(A)}$: Anzahl Verschiebungen nach hinten (sonst 0).
- Zugriffskosten für i : $C_k^{(A)} = i$
- A erhöht die Anzahl Inversionen um $X_k^{(A)}$.



324

Abschätzung

$$\Phi_{k+1} - \Phi_k \leq -x_i + (p_i - 1 - x_i) + X_k^{(A)}$$

Amortisierte Kosten von MTF im k -ten Schritt:

$$\begin{aligned} a_k^{(M)} &= C_k^{(M)} + \Phi_{k+1} - \Phi_k \\ &\leq p_i - x_i + (p_i - 1 - x_i) + X_k^{(A)} \\ &= (p_i - x_i) + (p_i - x_i) - 1 + X_k^{(A)} \\ &\leq C_k^{(A)} + C_k^{(A)} - 1 + X_k^{(A)}. \end{aligned}$$

325

Abschätzung

Kosten Summiert

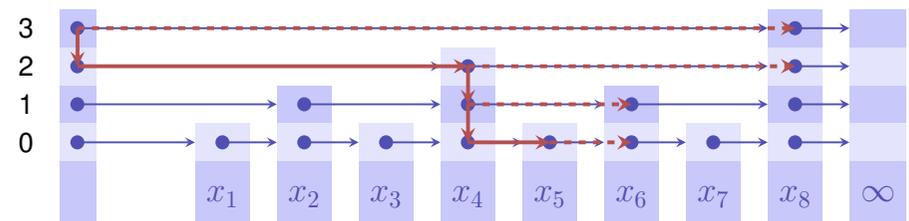
$$\begin{aligned} \sum_k G_k^{(M)} &= \sum_k C_k^{(M)} \leq \sum_k a_k^{(M)} \leq \sum_k 2 \cdot C_k^{(A)} - 1 + X_k^{(A)} \\ &\leq \sum_k 2 \cdot C_k^{(A)} + X_k^{(A)} \leq 2 \cdot \sum_k C_k^{(A)} + X_k^{(A)} \\ &= 2 \cdot \sum_k G_k^{(A)} \end{aligned}$$

MTF führt im schlechtesten Fall höchstens doppelt so viele Operationen aus wie eine optimale Strategie.

326

Cooler Idee: Skiplisten

Perfekte Skipliste



$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_9.$$

Beispiel: Suche nach einem Schlüssel x mit $x_5 < x < x_6$.

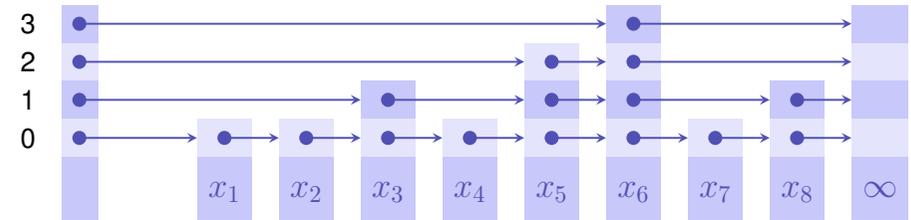
327

Analyse Perfekte Skipliste (schlechtester Fall)

Suchen in $\mathcal{O}(\log n)$. Einfügen in $\mathcal{O}(n)$.

Randomisierte Skipliste

Idee: Füge jeweils einen Knoten mit zufälliger Höhe H ein, wobei $\mathbb{P}(H = i) = \frac{1}{2^{i+1}}$.



328

329

Analyse Randomisierte Skipliste

Theorem

Die Anzahl an erwarteten Elementaroperationen für Suchen, Einfügen und Löschen eines Elements in einer randomisierten Skipliste ist $\mathcal{O}(\log n)$.

Der längliche Beweis, welcher im Rahmen dieser Vorlesung nicht geführt wird, betrachtet die Länge eines Weges von einem gesuchten Knoten zurück zum Startpunkt im höchsten Level.

13. C++ vertieft (III): Funktoren und Lambda

330

331

13.1 Nachträge zum vorigen C++ Kapitel

Nachtrag zur Move-Semantik

```
// nonsense implementation of a "vector" for demonstration purposes
class vec{
public:
    vec () {
        std::cout << "default constructor\n";}
    vec (const vec&) {
        std::cout << "copy constructor\n";}
    vec& operator = (const vec&) {
        std::cout << "copy assignment\n"; return *this;}
    ~vec() {}
};
```

332

333

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (const vec& a, const vec& b){
    vec tmp = a;
    // add b to tmp
    return tmp;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe
default constructor
copy constructor
copy constructor
copy constructor
copy assignment
4 Kopien des Vektors

334

Nachtrag zur Move-Semantik

```
// nonsense implementation of a "vector" for demonstration purposes
class vec{
public:
    vec () { std::cout << "default constructor\n";}
    vec (const vec&) { std::cout << "copy constructor\n";}
    vec& operator = (const vec&) {
        std::cout << "copy assignment\n"; return *this;}
    ~vec() {}
    // new: move constructor and assignment
    vec (vec&&) {
        std::cout << "move constructor\n";}
    vec& operator = (vec&&) {
        std::cout << "move assignment\n"; return *this;}
};
```

335

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (const vec& a, const vec& b){
    vec tmp = a;
    // add b to tmp
    return tmp;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe
default constructor
copy constructor
copy constructor
copy constructor
move assignment

3 Kopien des Vektors

Wie viele Kopien?

```
vec operator + (vec a, const vec& b){
    // add b to a
    return a;
}

int main (){
    vec f;
    f = f + f + f + f;
}
```

Ausgabe
default constructor
copy constructor
move constructor
move constructor
move constructor
move assignment

1 Kopie des Vektors

Erklärung: Move-Semantik kommt zum Einsatz, wenn ein x-wert (expired) zugewiesen wird. R-Wert-Rückgaben von Funktionen sind x-Werte.

http://en.cppreference.com/w/cpp/language/value_category

336

337

Wie viele Kopien

```
void swap(vec& a, vec& b){
    vec tmp = a;
    a=b;
    b=tmp;
}

int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

Ausgabe
default constructor
default constructor
copy constructor
copy assignment
copy assignment

3 Kopien des Vektors

X-Werte erzwingen

```
void swap(vec& a, vec& b){
    vec tmp = std::move(a);
    a=std::move(b);
    b=std::move(tmp);
}

int main (){
    vec f;
    vec g;
    swap(f,g);
}
```

Ausgabe
default constructor
default constructor
move constructor
move assignment
move assignment

0 Kopien des Vektors

Erklärung: Mit `std::move` kann man einen L-Wert Ausdruck zu einem X-Wert (genauer: zu einer R-Wert Referenz) machen. Dann kommt wieder Move-Semantik zum Einsatz. <http://en.cppreference.com/w/cpp/utility/move>

338

339

13.2 Funktoren und Lambda-Expressions

Funktoren: Motivierung

Ein simpler Ausgabefilter

```
template <typename T, typename function>
void filter(const T& collection, function f){
    for (const auto& x: collection)
        if (f(x)) std::cout << x << " ";
    std::cout << "\n";
}
```

340

341

Funktoren: Motivierung

```
template <typename T, typename function>
void filter(const T& collection, function f);
```

```
template <typename T>
bool even(T x){
    return x % 2 == 0;
}
```

```
std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
filter(a,even<int>); // output: 2,4,6,16
```

342

Funktor: Objekt mit überladenem Operator ()

```
class LargerThan{
    int value; // state
public:
    LargerThan(int x):value{x}{};

    bool operator() (int par){
        return par > value;
    }
};
```

Funktor ist ein aufrufbares Objekt. Kann verstanden werden als Funktion mit Zustand.

```
std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
int value=8;
filter(a,LargerThan(value)); // 9,11,16,19
```

343

Funktor: Objekt mit überladenem Operator ()

```
template <typename T>
class LargerThan{
    T value;
public:
    LargerThan(T x):value{x}{};

    bool operator() (T par){
        return par > value;
    }
};
```

(geht natürlich auch mit
Template)

```
std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
int value=8;
filter(a,LargerThan<int>(value)); // 9,11,16,19
```

344

Dasselbe mit Lambda-Expression

```
std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
int value=8;

filter(a, [value](int x) {return x>value;} );
```

345

Summe aller Elemente - klassisch

```
std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
int sum = 0;
for (auto x: a)
    sum += x;
std::cout << sum << "\n"; // 83
```

346

Summe aller Elemente - mit Funktor

```
template <typename T>
struct Sum{
    T & value = 0;
    Sum (T& v): value{v} {}

    void operator() (T par){
        value += par;
    }
};

std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
int s=0;
Sum<int> sum(s);
sum = std::for_each(a.begin(), a.end(), sum);
std::cout << s << "\n"; // 83
```

347

Summe aller Elemente - mit Λ

```
std::vector<int> a {1,2,3,4,5,6,7,9,11,16,19};
int s=0;

std::for_each(a.begin(), a.end(), [&s] (int x) {s += x;} );

std::cout << s << "\n";
```

Sortieren, mal anders

```
// pre: i >= 0
// post: returns sum of digits of i
int q(int i){
    int res =0;
    for(;i>0;i/=10)
        res += i % 10;
    return res;
}

std::vector<int> v {10,12,9,7,28,22,14};
std::sort (v.begin(), v.end(),
    [] (int i, int j) { return q(i) < q(j);}
);
```

Jetzt $v = 10, 12, 22, 14, 7, 9, 28$ (sortiert nach Quersumme)

348

349

Lambda-Expressions im Detail

Closure

```
[value] (int x) ->bool {return x>value;}
```

<u>[value]</u>	<u>(int x)</u>	<u>->bool</u>	<u>{return x>value;}</u>
Capture	Parameter	Rück- gabe- typ	Anweisung

- Lambda-Expressions evaluieren zu einem temporären Objekt – einer closure
- Die closure erhält den Ausführungskontext der Funktion, also die captured Objekte.
- Lambda-Expressions können als Funktoren implementiert sein.

350

351

Simple Lambda-Expression

```
[] () -> void {std::cout << "Hello World";}
```

Aufruf:

```
[] () -> void {std::cout << "Hello World";}();
```

352

Minimale Lambda-Expression

```
[] {}
```

- Rückgabetyt kann inferiert werden, wenn kein oder nur ein return:

```
[] () {std::cout << "Hello World";}
```
- Wenn keine Parameter und keine Rückgabe, kann () weggelassen werden

```
[] {std::cout << "Hello World";}
```
- [...] kann nie weggelassen werden.

353

Beispiele

```
[] (int x, int y) {std::cout << x * y;} (4,5);
```

Output: 20

354

Beispiele

```
int k = 8;  
[] (int& v) {v += v;} (k);  
std::cout << k;
```

Output: 16

355

Beispiele

```
int k = 8;
[] (int v) {v += v;} (k);
std::cout << k;
```

Output: 8

356

Capture – Lambdas

Für Lambda-Expressions bestimmt die capture-Liste über den zugreifbaren Teil des Kontextes

Syntax:

- `[x]`: Zugriff auf kopierten Wert von x (nur lesend)
- `&x`: Zugriff zur Referenz von x
- `&x,y`: Zugriff zur Referenz von x und zum kopierten Wert von y
- `&`: Default-Referenz-Zugriff auf alle Objekte im Scope der Lambda-Expression
- `=`: Default-Werte-Zugriff auf alle Objekte im Kontext der Lambda-Expression

357

Capture – Lambdas

```
int elements=0;
int sum=0;
std::for_each(v.begin(), v.end(),
  [&] (int k) {sum += k; elements++;} // capture all by reference
)
```

358

Capture – Lambdas

```
template <typename T>
void sequence(vector<int> & v, T done){
  int i=0;
  while (!done()) v.push_back(i++);
}

vector<int> s;
sequence(s, [&] {return s.size() >= 5;} )
```

jetzt v = 0 1 2 3 4

Die capture liste bezieht sich auf den Kontext der Lambda Expression

359

Capture – Lambdas

Wann wird der Wert gelesen?

```
int v = 42;
auto func = [=] {std::cout << v << "\n"};
v = 7;
func();
```

Ausgabe: 42

Werte werden bei der Definition der (temporären) Lambda-Expression zugewiesen.

Capture – Lambdas

(Warum) funktioniert das?

```
class Limited{
    int limit = 10;
public:
    // count entries smaller than limit
    int count(const std::vector<int>& a){
        int c = 0;
        std::for_each(a.begin(), a.end(),
            [=,&c] (int x) {if (x < limit) c++;}
        );
        return c;
    }
};
```

Der `this` pointer wird per default implizit kopiert

360

361

Capture – Lambdas

```
struct mutant{
    int i = 0;
    void do(){ [=] {i=42;}();}
};
```

```
mutant m;
m.do();
std::cout << m.i;
```

Ausgabe: 42

Der `this pointer` wird per default implizit kopiert

Lambda Ausdrücke sind Funktoren

```
[x, &y] () {y = x;}
```

kann implementiert werden als

```
unnamed {x,y};
```

mit

```
class unnamed {
    int x; int& y;
    unnamed (int x_, int& y_) : x (x_), y (y_) {}
    void operator () () {y = x;}};
};
```

362

363

Lambda Ausdrücke sind Funktoren

```
[=] () {return x + y;}
```

kann implementiert werden als

```
unnamed {x,y};
```

mit

```
class unnamed {  
    int x; int y;  
    unnamed (int x_, int y_) : x (x_), y (y_) {}  
    int operator () () {return x + y;}  
};
```

Polymorphic Function Wrapper `std::function`

```
#include <functional>
```

```
int k= 8;  
std::function<int(int)> f;  
f = [k](int i){ return i+k; };  
std::cout << f(8); // 16
```

Kann verwendet werden, um Lambda-Expressions zu speichern.

Andere Beispiele

```
std::function<int(int,int)>;  
std::function<void(double)> ...
```

<http://en.cppreference.com/w/cpp/utility/functional/function>