

# Einführung in die Informatik 2

– Suchen in Texten –

Sven Kosub

AG Algorithmik/Theorie komplexer Systeme  
Universität Konstanz

E 202 | [Sven.Kosub@uni-konstanz.de](mailto:Sven.Kosub@uni-konstanz.de) | Sprechstunde: nach Vereinbarung

Sommersemester 2010

Das elementare Suchproblem:

- Gegeben: abstrakter Datentyp Reihung (Array)  $F$  von Elementen
- Methode: Suche Element  $a$  in  $F$ , d.h. bestimme eine Position  $P(F, a)$  eines Elementes  $a$  in der Reihung  $F$

Generische lineare Suche:

- „Idee“: Teste jedes Element der Reihung in natürlicher Reihenfolge
- Reihung  $f$  von Elementen des Types `Object`
- Gleichheitstest: virtuelle Methode `equals`
- Implementierung von `linearSearch` in Klasse `SearchClass`
- `linearSearch` als `static` deklariert

```
public class SearchClass{
    public static int linearSearch(Object[] f, Object a){
        int i=0;
        while (i<f.length && !(f[i].equals(a))) i++;
        if (i == f.length) return(-1);
        else return(i);
    }
}
```

## Beurteilung:

- Anzahl der Vergleiche linear im schlechtesten Fall ( $a$  nicht in  $f$  enthalten), d.h.  $O(n)$  Vergleiche, wobei  $n$  Anzahl der Elemente in  $f$
- in sortierten Reihenungen binäre Suche mit  $O(\log n)$  Vergleichen

→ demnächst!

- **Alphabet** ist eine endliche Menge von Symbolen (Buchstaben)
  - **Wort** (String, Zeichenkette) ist eine endliche Folge von Symbolen aus dem Alphabet
  - **Länge** eines Wortes  $s$  wird mit  $|s|$  bezeichnet, d.h. es gilt  $|s| = n$  für  $s = s_0s_1 \cdots s_{n-1}$ , wobei die Buchstaben  $s_i$  zum Alphabet gehören
  - Wort der Länge 0 heißt **leeres Wort** und wird mit  $\varepsilon$  bezeichnet
- 
- Binäralphabet besteht aus zwei Buchstaben 0 und 1
  - Umgangssprachliches Alphabet mit 26 Buchstaben ohne Umlaute, Leerzeichen, Kleinbuchstaben etc.
  - „DNA“-Alphabet besteht aus vier Buchstaben A,C,G,T

Das Wort EINSTEINSTREIFTEEINSTEINSTEIN besteht aus Buchstaben aus dem Alphabet E, I, N, S, T, R, F und hat die Länge 29.

Wir betrachten Wörter  $s$  und  $t$  der Länge  $m$  und  $n$

- $s$  ist **Teilwort** von  $t$ , falls  $s$  ab einer bestimmten Position in  $t$  vorkommt, d.h. für eine Position  $i$  gilt  $s = t_i t_{i+1} \cdots t_{i+m-1}$
- $s$  ist **Präfix** von  $t$ , falls  $s = t_0 t_1 \cdots t_{m-1}$  gilt
- $s$  ist **Suffix** von  $t$ , falls  $s = t_{n-m} t_{n-m+1} \cdots t_{n-1}$  gilt

Es seien  $t = \text{EINSTEINSTREIFTEEINSTEIN}$  und  $s = \text{EINSTEIN}$

- |  |   |                        |
|--|---|------------------------|
| ① <b>EINSTEIN</b> STREIFTEEINSTEIN       | → | $s$ ist Präfix von $t$ |
| ② EINSTEINSTREIFTE <b>EINSTEIN</b>       | → | $s$ ist Infix von $t$  |
| ③ EINSTEINSTREIFTEEINSTE <b>EINSTEIN</b> | → | $s$ ist Suffix von $t$ |

Suchwort  $s = \text{STREIFE}$  kein Teilwort von  $t$

Das (exakte) Suchproblem in Texten (im Englischen *pattern matching*):

- Gegeben: abstrakter Datentyp `String`
- Methode: Entscheide, ob ein Wort  $s$  als Teilwort vorkommt, d.h., bestimme Position, ab der  $s$  vorkommt

Idee für einen einfachen Algorithmus

- Schiebe ein Fenster der Größe  $m$  von links beginnend nach rechts über das Wort  $t$
- Innerhalb des Fensters vergleiche die Buchstaben von  $s$  und  $t$  von links nach rechts

# Einfacher Algorithmus in Java

```
public class StringSearchClass{
    public static int searchStringFromLeftToRight
        (String s, String t){
        int m=s.length();
        int n=t.length();
        int i=0,j=0;
        while (i<=(n-m)){
            while ((j<m) && (s.charAt(j)==t.charAt(i+j))) j++;
            if (j==m) return(i);
            i++;
            j=0;
        }
        return(-1);
    }
}
```

Anzahl der Vergleiche des einfachen Algorithmus im schlechtesten Fall:

- Frage: Mit wievielen Positionen in  $t$  wird jede Position in  $s$  maximal verglichen?
- Antwort:  $n - m$
- Damit: einfacher Algorithmus benötigt maximal  $m \cdot (n - m)$  Vergleiche, d.h.  $O(n \cdot m)$
- falls  $s$  halb so lang wie  $t$  ist, bedeutet das:  $O(n^2)$  Vergleiche



wirkungsvolle Idee zur Verbesserung des einfachen Algorithmus:

- Schiebe ein Fenster der Größe  $m$  von links beginnend nach rechts über das Wort  $t$
- Innerhalb des Fensters vergleiche die Buchstaben von  $s$  und  $t$  von **rechts nach links**

# Einfacher Algorithms mit Rechts-Links-Test in Java

```
public class StringSearchClass{
    public static int searchStringFromRightToLeft
                                (String s, String t){
        int m=s.length();
        int n=t.length();
        int i=0,j=m-1;
        while (i<=(n-m)){
            while ( (j>=0) && (s.charAt(j)==t.charAt(i+j))) j--;
            if (j===-1) return(i);
            i++;
            j=m-1;
        }
        return(-1);
    }
}
```

# Der Algorithmus von Boyer und Moore

Wieso ist Idee mit Rechts-Links-Test interessant?

- Positionenpaar  $(i, j)$  heißt **Unverträglichkeit** von  $s$  und  $t$ , falls Vergleich „ $s.\text{charAt}(i) == t.\text{charAt}(i+j)$ “ negativ ausfällt
- kommt Symbol an Position  $i + j$  von  $t$  gar nicht in  $s$  bis Position  $j$  vor, dann Verschiebung des Fensters nicht um 1 sondern gleich um  $j + 1$  (**Bad-Character-Rule**)
- **Problem:** Zu testen, ob  $x$  in  $s_0 \dots s_{j-1}$  vorkommt, dauert genauso lange, wie durch größeren Sprung eingespart wird
- **Ausweg:** Vorberechnung einer Tabelle, die für jedes Präfix von  $s$  und für jeden Buchstaben  $x$  die Position des rechtesten Vorkommens im Präfix angibt, d.h.

$$S[\ell, x] =_{\text{def}} \begin{cases} \ell + 1 & \text{falls } x \text{ nicht in } s_0 \dots s_{\ell-1} \text{ vorkommt} \\ \ell - k & \text{falls } k < \ell \text{ maximal für } s_k = x \text{ ist} \end{cases}$$

# Der Algorithmus von Boyer und Moore in Java

```
public class StringSearchClass{
    public static int searchStringWithBoyerMoore
        (String s, String t){
        int m=s.length();
        int n=t.length();
        int i=0,j=m-1;
        int[] [] S;
        ... // Hier wird S berechnet
        while (i<=(n-m)){
            while ( (j>=0) && (s.charAt(j)==t.charAt(i+j))) j--;
            if (j==-1) return(i);
            i=i+S[j,(int) t.charAt[i+j]];
            j=m-1;
        }
        return(-1);
    }
}
```

# Der Algorithmus von Boyer und Moore: Beurteilung

- mit Bad-Character-Rule im besten Fall  $O(n/m)$  Vergleiche
- ohne Bad-Character-Rule im besten Fall  $O(n)$  Vergleiche
- im schlechtesten Fall  $O(n \cdot m)$  Vergleiche (z.B. für  $t = ba^{m-1}$  und  $s = a^n$ )
- gibt Versionen unter Verwendung weiterer Regeln (z.B. Good-Suffix-Rule), die Anzahl der Vergleiche auf  $O(n + m)$  senken
- Bad-Character-Rule besonders gut auf großen Alphabeten und kleinen Suchwörtern (z.B. Suche in Web-Dokumenten); nicht so gut bei Suche in DNA-Sequenzen
- Algorithmus von Boyer und Moore deshalb in vielen Texteditoren implementiert