TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND

Wintersemester 2007/08

Einführung in die Informatik für Naturwissenschaftler und Ingenieure

(alias **Einführung in die Programmierung)**

(Vorlesung)

Prof. Dr. Günter Rudolph
Fakultät für Informatik
Lehrstuhl für Algorithm Engineering

Kapitel 8: Elementare Datenstrukturen

Inhalt

- Definition ☑
- ADT Keller ☑
- ADT Schlange ☑
- ADT Liste ☑
- ADT Binärbaum ☑
  - Exkurs: Einfache Dateibehandlung
  - Exkurs: Strings (C++)
  - Anwendung

  } heute
- ADT Graphen

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

Datei := speichert Daten in linearer Anordnung

Zwei Typen:

- **ASCII-Dateien**
  - sind mit Editor les- und schreibbar
  - Dateiendung („suffix“ oder „extension“) meist `.txt` oder `.asc`
  - betriebssystem-spezifische Übersetzung von Zeichen bei Datentransfer zwischen Programm und externem Speicher
- **Binär-Dateien**
  - werden byteweise beschrieben und gelesen
  - lesen / schreiben mit Editor ist keine gute Idee
  - schnellerer Datentransfer, da keine Zeichenübersetzung

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

Hier: einfache Dateibehandlung!

- Dateien können **gelesen** oder **beschrieben** werden.
- Vor dem ersten Lesen oder Schreiben muss **Datei geöffnet** werden.
- Man kann prüfen, ob das Öffnen funktioniert hat.
- Nach dem letzten Lesen oder Schreiben muss **Datei geschlossen** werden.
- Bei zu lesenden Dateien kann gefragt werden, ob **Ende der Datei** erreicht ist.
- Beim Öffnen einer zu schreibenden Datei wird vorheriger Inhalt gelöscht!
- Man kann noch viel mehr machen …

wir benötigen:

```
#include <fstream>      bzw.      <fstream.h>
```

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

- Eingabe-Datei = **i**nput **f**ile

```
ifstream Quelldatei;
```

Datentyp Bezeichner

- Ausgabe-Datei = **o**utput **f**ile

```
ofstream Zieldatei;
```

Datentyp Bezeichner

- Öffnen der Datei:

```
Quelldatei.open(dateiName);
```

ist Kurzform von
Quelldatei.open(dateiName, modus);

wobei fehlender modus bedeutet:
ASCII-Datei,
Eingabedatei (weil ifstream)

- Öffnen der Datei:

```
Zieldatei.open(dateiName);
```

ist Kurzform von
Quelldatei.open(dateiName, modus);

wobei fehlender modus bedeutet:
ASCII-Datei,
Ausgabedatei (weil ofstream)

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

modus:

`ios::binary`	binäre Datei
`ios::in`	öffnet für Eingabe (implizit bei ifstream)
`ios::out`	öffnet für Ausgabe (implizit bei ofstream)
`ios::app`	hängt Daten am Dateiende an
`ios::nocreate`	wenn Datei existiert, dann nicht anlegen

Warnung: teilweise Compiler-abhängig
(`nocreate` fehlt in MS VS 2003, dafür `trunc`)

Man kann diese Schalter / Flags miteinander kombinieren via:

`ios::binary | ios::app` (öffnet als binäre Datei und hängt Daten an)

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

- **Datei öffnen**
  `file.open(fileName)` bzw. `file.open(fileName, modus)`
  falls Öffnen fehlschlägt, wird Nullpointer zurückgegeben
- **Datei schließen**
  `file.close()`
  sorgt für definierten Zustand der Datei auf Dateisystem;
  bei nicht geschlossenen Dateien droht Datenverlust!
- **Ende erreicht?**
  ja falls `file.eof() == true`
- **Lesen** (von ifstream)
  `file.get(c);` liest ein Zeichen
  `file >> x;` liest verschiedene Typen
- **Schreiben** (von ofstream)
  `file.put(c);` schreibt ein Zeichen
  `file << x;` schreibt verschiedene Typen

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

Merke:

1. Auf eine geöffnete Datei darf immer nur einer zugreifen.
2. Eine geöffnete Datei belegt Ressourcen des Betriebssystems.
   ⇒ Deshalb Datei nicht länger als nötig geöffnet halten.
3. Eine geöffnete Datei unbekannter Länge kann solange gelesen werden, bis das Ende-Bit (end of file, EOF) gesetzt wird.
4. Der Versuch, eine nicht vorhandene Datei zu öffnen (zum Lesen) oder eine schreibgeschützte Datei zu öffnen (zum Schreiben), führt zu einem Nullpointer.
   ⇒ Das muss überprüft werden, sonst Absturz bei weiterer Verwendung!
5. Dateieingabe und -ausgabe (input/output, I/O) ist sehr langsam im Vergleich zu den Rechenoperationen.
   ⇒ I/O Operationen minimieren.

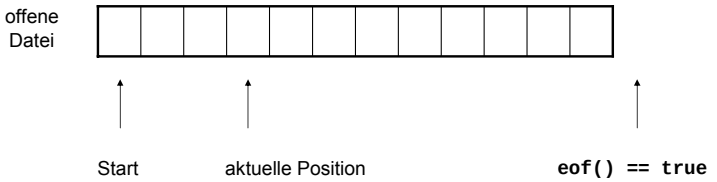
"The fastest I/O is no I/O."
Nils-Peter Nelson, Bell Labs

Exkurs: Einfache Dateibehandlung

```
#include <iostream>
#include <fstream>

using namespace std;

int main() {              // zeichenweise kopieren
  ifstream Quelldatei;
  ofstream Zieldatei;

  Quelldatei.open("quelle.txt");
  if (!Quelldatei.is_open()) {
    cerr << "konnte Datei nicht zum Lesen öffnen\n";
    exit(1);
  }
  Zieldatei.open("ziel.txt");
  if (!Zieldatei.is_open()) {
    cerr << "konnte Datei nicht zum Schreiben öffnen\n";
    exit(1);
  }
```


Exkurs: Einfache Dateibehandlung

```
  while (!Quelldatei.eof()) {
    char c;
    Quelldatei.get(c);
    Zieldatei.put(c);
  }

  Quelldatei.close();
  Zieldatei.close();
}
```



Exkurs: C++ Strings

Bisher:

Zeichenketten wie **`char str[20];`**

→ Relikt aus C-Programmierung!

→ bei größeren Programmen mühevoll, lästig, …

→ … und insgesamt **fehlerträchtig!**

Jetzt:

Zeichenketten aus C++

→ sehr angenehm zu verwenden (keine 0 am Ende, variable Größe, …)

→ eingebaute (umfangreiche) Funktionalität

wie benötigen: **`#include <string>`** und **`using namespace std;`**

Exkurs: C++ Strings

Datendefinition / Initialisierung

```
string s1;                // leerer String
string s2 = "xyz";        // initialisieren mit C-String
string s3 = s2;           // vollständige Kopie!
string s4("abc");         // initialisieren mit C-String
string s5(s4);            // initialisieren mit C++-String
string s6(10, '*');       // ergibt String aus 10 mal *
string s7(1,'x');         // initialisieren mit einem char
string sx('x');           // FEHLER!
string s8("");            // leerer String
```

Eingebaute Funktionen

- Konvertierung C++-String nach C-String via **`c_str()`**

```
const char *Cstr = s2.c_str();
```

- Stringlänge **`length()`**

```
cout << s2.length();
```

- Index von Teilstring finden

```
int pos = s2.find("yz");
```

- Strings addieren

```
s1 = s2 + s3;
s4 = s2 + "hello";
s5 += s4;
```

- Strings vergleichen

```
if (s1 == s2) s3 += s2;
if (s3 < s8) flag = true;
```

- **`substr()`**, **`replace()`**, **`erase()`**, …

ADT Binäre Bäume: Anwendung

Aufgabe:

Gegeben sei eine Textdatei.
Häufigkeiten der vorkommenden Worte feststellen.
Alphabetisch sortiert ausgeben.

Strategische Überlegungen:

Lesen aus Textdatei → **`ifstream`** benutzen!
Sortierte Ausgabe → Binärbaum: schnelles Einfügen, sortiert „von selbst“
Worte vergleichen → C++ Strings verwenden!

Programmskizze:

Jeweils ein Wort aus Datei lesen und in Binärbaum eintragen.
Falls Wort schon vorhanden, dann Zähler erhöhen.
Wenn alle Wörter eingetragen, Ausgabe (Wort, Anzahl) via **Inorder**-Durchlauf.


```
struct BinBaum {
  string wort;
  int anzahl;
  BinBaum *links, *rechts;
};
```

gelesenes Wort
wie oft gelesen?

```
BinBaum *Einlesen(string &dateiname) {
  ifstream quelle;
  quelle.open(dateiname.c_str());
  if (!quelle.is_open()) return 0;
  string s;
  BinBaum *b = 0;
  while (!quelle.eof()) {
    quelle >> s;
    b = Einfuegen(s, b);
  }
  quelle.close();
  return b;
}
```

Datei öffnen

Worte einzeln auslesen und im Baum einfügen

Datei schließen + Zeiger auf Baum zurückgeben


```
BinBaum *Einfuegen(string &s, BinBaum *b) {
  if (b == 0) {
    b = new BinBaum;
    b->wort = s;
    b->anzahl = 1;
    b->links = b->rechts = 0;
    return b;
  }
  if (b->wort < s)
    b->rechts = Einfuegen(s, b->rechts);
  else if (b->wort > s)
    b->links = Einfuegen(s, b->links);
  else b->anzahl++;
  return b;
}
```

```
void Ausgabe(BinBaum *b) {
  if (b == 0) return;

  Ausgabe(b->links);
  cout << b->anzahl << " " << b->wort.c_str() << endl;
  Ausgabe(b->rechts);
}
```

Dies ist die **Inorder**-Ausgabe.

Präorder:

```
cout …;
Ausgabe(…);
Ausgabe(…);
```

Postorder:

```
Ausgabe(…);
Ausgabe(…);
cout …;
```


Hauptprogramm:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>

using namespace std;

int main() {
  string s("quelle.txt");
  BinBaum *b = Einlesen(s);
  Ausgabe(b);
  return 0;
}
```


Durchlaufstrategien:

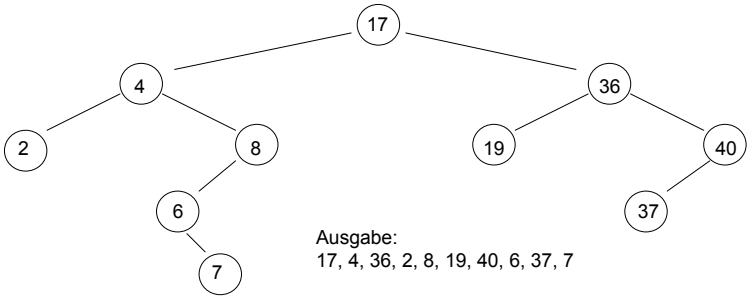
z.B. Ausdruck des Knotenwertes

- **Tiefensuche** („depth-first search“, DFS)
  - Präorder
    Vor (*prä*) Abstieg in Unterbäume die „Knotenbehandlung“ durchführen
  - Postorder
    Nach (*post*) Abstieg in bzw. Rückkehr aus Unterbäumen die „Knotenbehandlung“ durchführen
  - Inorder
    Zwischen zwei Abstiegen „Knotenbehandlung“ durchführen

- **Breitensuche** („breadth-first search“, BFS; auch: „level search“)
  auf jeder Ebene des Baumes werden Knoten abgearbeitet, bevor in die Tiefe gegangen wird

Breitensuche

Beispiel: eingegebene Zahlenfolge 17, 4, 36, 2, 8, 40, 19, 6, 7, 37



Ausgabe:
17, 4, 36, 2, 8, 19, 40, 6, 37, 7

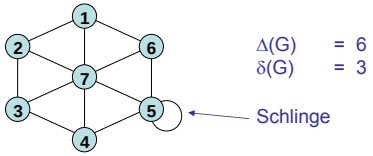
Implementierung: → Praktikum!

ADT Graph

- Verallgemeinerung von (binären) Bäumen
- Wichtige Struktur in der Informatik
- Zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten
  - Modellierung von Telefonnetzen, Versorgungsnetzwerken, Straßenverkehr, …
  - Layout-Fragen bei elektrischen Schaltungen
  - Darstellung sozialer Beziehungen
  - etc.
- Viele Probleme lassen sich als Graphenprobleme „verkleiden“ und dann mit Graphalgorithmen lösen!

Definition

EIn Graph G = (V, E) besteht aus einer Menge von Knoten V („vertex, pl. vertices“) und einer Menge von Kanten E („edge, pl. edges“) mit $E \subseteq V \times V$.



$\Delta(G) = 6$
$\delta(G) = 3$

Eine Kante (u, v) heißt Schlinge (“loop“), wenn u = v.

Der Grad („degree“) eines Knotens $v \in V$ ist die Anzahl der zu ihm inzidenten Kanten: $deg(v) = |\{ (a, b) \in E : a = v \text{ oder } b = v \}|$.

Maxgrad von G ist $\Delta(G) = max \{ deg(v) : v \in V \}$

Mingrad von G ist $\delta(G) = min \{ deg(v) : v \in V \}$

Definition

Für $v_i \in V$ heißt $(v_0, v_1, v_2, \ldots, v_k)$ ein Weg oder Pfad in G, wenn $(v_i, v_{i+1}) \in E$ für alle i = 0, 1, …, k-1.

Die Länge eines Pfades ist die Anzahl seiner Kanten.

Ein Pfad $(v_0, v_1, v_2, \ldots, v_k)$ mit $v_0 = v_k$ wird Kreis genannt.

Distanz dist(u, v) von zwei Knoten ist die Länge des kürzesten Pfades von u nach v.

Durchmesser diam(G) eines Graphes G ist das Maximum über alle Distanzen:

$$diam(G) = max \{ dist(u, v) : (u, v) \in V \times V \}.$$

Graph ist zusammenhängend, wenn $\forall u, v \in V$ mit $u \neq v$ einen Pfad gibt.

G heißt Baum gdw. G zusammenhängend und kreisfrei.

Darstellung im Computer

- Adjazenzmatrix A mit $a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls } (v_i, v_j) \in E \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

Problem:

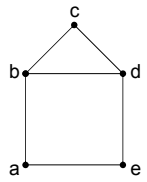
Da $|E| \leq |V|^2 = n^2$ ist Datenstruktur ineffizient (viele Nullen) wenn |E| verschwindend klein.

- Adjazenzlisten:

Für jeden Knoten v eine (Nachbarschafts-) Liste L(v) mit

$$L(v) = \{ u \in V : (v, u) \in E \}$$

Beispiel



Adjazenzlisten

L(a) = (b, e)
L(b) = (a, c, d)
L(c) = (b, d)
L(d) = (b, c, e)
L(e) = (a, d)

ADT Liste

Adjazenzmatrix

	a	b	c	d	e
a	0	1	0	0	1
b	1	0	1	1	0
c	0	1	0	1	0
d	0	1	1	0	1
e	1	0	0	1	0

Array[][]

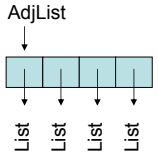
Mögliche Funktionalität

```
typedef unsigned int uint;
```
→ **typedef** Datentyp TypName;

```
Graph *createGraph(uint NoOfNodes);
void addEdge(Graph *graph, uint Node1, uint Node2);
void deleteEdge(Graph *graph, uint Node1, uint Node2);
bool hasEdge(Graph *graph, uint Node1, uint Node2);
uint noOfEdges();
uint noOfNodes();
void printGraph();
```



```
struct Graph {
  uint NoOfNodes;
  List **AdjList;     // Zeiger auf Zeiger auf Listen
};
```

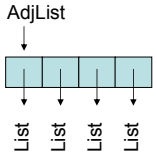



```
Graph *createGraph(uint NoOfNodes) {
  Graph *graph = new Graph;
  graph->NoOfNodes = NoOfNodes;
  graph->AdjList = new List*[NoOfNodes];
  for (uint i = 0; i < NoOfNodes; i++)
    graph->AdjList[i] = create();
  return graph;
}
```

→ Speicher reservieren

initialisieren!


```
struct Graph {
  uint NoOfNodes;
  List **AdjList;     // Zeiger auf Zeiger auf Listen
};
```

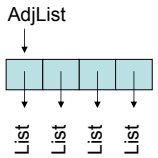



```
uint noOfNodes(Graph *graph) {
  return graph == 0 ? 0 : graph->NoOfNodes;
}

uint noOfEdges(Graph *graph) {
  if (noOfNodes(graph) == 0) return 0;
  unsigned int cnt = 0, i;
  for (i = 0; i < noOfNodes(graph); i++)
    cnt += size(graph->AdjList[i]);
  return cnt / 2;
}
```

Ineffizient!

Falls häufig benutzt, dann besser Zähler **NoOfEdges** im **struct Graph**

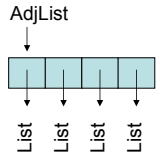
```
struct Graph {
  uint NoOfNodes;
  List **AdjList;     // Zeiger auf Zeiger auf Listen
};
```




```
bool hasEdge(Graph *graph, uint Node1, uint Node2) {
  if (graph == 0) error("no graph");
  uint n = noOfNodes(graph);
  if (Node1 >= n || Node2 >= n) error("invalid node");
    return is_elem(Node2, graph->AdjList[Node1]);
}
void addEdge(Graph *graph, uint Node1, uint Node2) {
  if (!hasEdge(graph, Node1, Node2)) {
    append(Node2, graph->AdjList[Node1]);
    append(Node1, graph->AdjList[Node2]);
  }
}
```



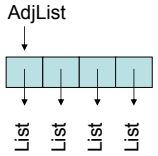
```
struct Graph {
  uint NoOfNodes;
  List **AdjList;     // Zeiger auf Zeiger auf Listen
};
```




```
void printGraph(Graph *graph) {
  if (noOfNodes(graph) == 0) return;
  unsigned int i, n = noOfNodes(graph);
  for (i = 0; i < n; i++)  {
    cout << i << ": ";
    printList(graph->AdjList[i]);
  }
}
```



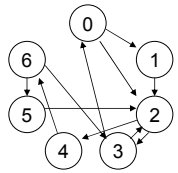
```
struct Graph {
  uint NoOfNodes;
  List **AdjList;     // Zeiger auf Zeiger auf Listen
};
```




```
Graph *clearGraph(Graph *graph) {
  if (graph == 0) return 0;
  unsigned int cnt = 0, i;
  for (i = 0; i < noOfNodes(graph); i++)
    clearList(graph->AdjList[i]);
  delete[] graph->AdjList;
  delete graph;
  return 0;
}
```



```
int main() {
  Graph *graph = createGraph(7);
  addEdge(graph, 0, 2);
  addEdge(graph, 1, 2);
  addEdge(graph, 3, 2);
  addEdge(graph, 2, 4);
  addEdge(graph, 4, 6);
  addEdge(graph, 6, 5);
  addEdge(graph, 5, 2);
  addEdge(graph, 2, 3);
  addEdge(graph, 3, 0);
  addEdge(graph, 6, 3);
  addEdge(graph, 0, 1);
  cout << "nodes: " << noOfNodes(graph) << endl;
  cout << "edges: " << noOfEdges(graph) << endl;
  printGraph(graph);
  graph = clearGraph(graph);
  cout << "nodes: " << noOfNodes(graph) << endl;
  cout << "edges: " << noOfEdges(graph) << endl;
  return 0;
}
```




```
nodes: 7
edges: 11
0: 2 1
1: 2
2: 4 3
3: 2 0
4: 6
5: 2
6: 5 3
nodes: 0
edges: 0
```