

Programmietechnik II

Sortieren: Einfache Algorithmen

Sortieren

- **Abstrakte Operation**
 - geg: Menge von “items” (Elemente)
 - jedes Element besitzt Sortierschlüssel
 - Schlüssel unterliegen einer Ordnung
 - eventuell sind doppelte Schlüssel erlaubt
- **internes Sortieren: Elemente sind im Hauptspeicher**
 - nicht geeignet für große Mengen von Schlüssel
 - Annahme: Zugriff auf Element wahlfrei
 - aber: evtl. Sortieren von Listen
- **externes Sortieren: Elemente werden vom Programm eingelesen**
 - üblicherweise von Dateien
 - Algorithmus hat gleichzeitig nur wenige Elemente im Speicher

Sortieren (2)

- Primitive Operationen von Elementen
 - less(i1, i2): Ordnungsrelation
- Primitive Operationen des Containers
 - exch(index1, index2): Vertauschen zweier Elemente
 - compExch(index1, index2): Vertauschen zweier Elemente, falls das kleinere dem größeren folgt
 - Vertauschen: `tmp=a[index1]; a[index1]=a[index2]; a[index2]=tmp;`
- nicht-adaptiver Algorithmus
 - Kontrollfluss hängt nicht von Daten ab
 - einzige Operation: compExch
- adaptiver Algorithmus
 - Kontrollfluss hängt von less() ab

Sortieren (3)

- Ergebnis des Sortierens: Elemente sind aufsteigend nach Schlüssel sortiert
 - Ziel: Effizientes Auffinden von Elementen anhand des Schlüssels
 - Ziel: Vergleich zweier Mengen auf Gleichheit
- Verhalten bei doppelten Schlüsseln?
 - stabiles Sortieren: gleiche Schlüssel sind hinterher in der gleichen Reihenfolge wie vorher
- Künstliche Stabilisierung: Explizite Integration der ursprünglichen Reihenfolge in Sortierung
 - Elemente werden nummeriert
 - Verglichen werden Paare $(k_1, pos_1), (k_2, pos_2)$
 - $(k_1, pos_1) < (k_2, pos_2)$ falls $k_1 < k_2$ oder $k_1 == k_2$ und $pos_1 < pos_2$
- “indirektes” Sortieren: Zum Vertauschen von Elementen werden nur Referenzen vertauscht
 - ursprünglich: vertauschen von Indizes

Sortieren (4)

- Leistung eines Algorithmus: Laufzeit und Hauptspeicherverbrauch
- Laufzeit: Zahl der Operationen
 - compExch, less
- Hauptspeicherverbrauch:
 - in-place: Elemente werden im Container umsortiert, ohne zusätzlichen Speicher
 - Sortieren von Listen: eventuell Aufbau für “Rückgrat” einer neuen Liste
 - eventuell gleichzeitige Freigabe des Rückgrats der alten Listen
 - Sortieren mithilfe eines weiteren Felds
 - etwa: indirektes Sortieren

Selection Sort

1. Finde kleinstes Element k_0
2. Vertausche k_0 mit Element 0
 - k_0 ist dann bereits an endgültiger Position
3. Finde nächst-kleinstes Element k
4. Vertausche k mit Element mit nächst-kleinsten Position n
5. Wiederhole 3 und 4, bis alle Elemente auf ihrem Platz sind
 - Auffinden des minimalen Elements muss stets alle verbleibenden Elemente durchmustern
 - Algorithmus ist nicht-adaptiv, Sortieren einer sortierten Folge ist aufwendig
 - Algorithmus ist instabil: vorderes Element wird ohne Berücksichtigung der Originalreihenfolge nach hinten verschoben

Selection Sort (2)

```
static void selection(ITEM[] a, int L, int R)
// nach Sedgwick
{
for (int i = L; i < R; i++)
{
int min = i;
for (int j = i+1; j <= R; j++)
if (less (a[j], a[min])) min = j;
exch(a, i, min);
}
}
```

Insertion Sort

In jedem Schritt ist ein Anfangsstück $0..k$ sortiert

1. Element an Position $k+1$ wird an richtige Stelle L ($L < k$) eingefügt
 2. Elemente von $L..k$ werden um 1 nach rechts verschoben
 3. Schritte 1 und 2 werden wiederholt bis $k=n$
- Sortieren ist stabil, falls Element k hinter alle Elemente mit gleichem Schlüssel eingefügt wird
 - adaptiv: Suche nach richtiger Stelle bricht abhängig von Daten ab
 - Optimierung: zuerst kleinstes Element auf Position 0
 - “sentinel” (Wächter): suche nach richtiger Position muss nicht Index < 0 beachten
 - Optimierung: Nach-Rechts-Verschieben ohne paarweises Tauschen

Insertion Sort (2)

```
static void insertion(ITEM[] a, int L, int R)
{
    int i;
    for (i = R; i > L; i--) compExch(a, i-1, i);
    for (i = L+2; i <= R; i++) {
        int j = i; ITEM v = a[i];
        while (less(v, a[j-1])) {
            a[j] = a[j-1]; j--;
        }
        a[j] = v;
    }
}
```

Bubble Sort

- Sortiere kleine Schlüssel durch paarweises Vertauschen nach vorn
 - “leichtere” Elemente steigen “wie Blasen” nach oben auf
- Runde 1: kleinstes Element auf Position 0
- Runde k: k-kleinstes Element auf Position k-1
- adaptiv? Algorithmus kann abbrechen, wenn keine Vertauschung stattgefunden hat
- stabil, da $\text{compExch}(k, k)$ ohne Effekt

Bubble Sort (2)

```
static void bubble(ITEM[] a, int L, int R)
{
    for(int i = L; i < R; i++)
        for(int j = R; j > i; j--)
            compExch(a, j - 1, j);
}
```

Komplexität der einfachen Algorithmen

- Selection sort: etwa $N^2/2$ Vergleiche, N Vertauschungen
- Insertion sort: etwa $N^2/4$ Vergleiche, $N^2/4$ Halb-Vertauschungen (Zuweisungen) im Durchschnitt, doppelt so viele im schlechtesten Fall
- Bubble sort: etwa $N^2/2$ Vergleiche, $N^2/2$ Vertauschungen (sowohl im Durchschnitt wie auch im schlechtesten Fall)

Komplexität (2)

- Vorsortierte Eingaben?
- “Inversion”: Paar von Elementen, die in falscher Reihenfolge sind
- Betrachten Laufzeit in Abhängigkeit von Zahl der Elemente, unter der Annahme, dass Zahl der Inversionen konstant ist
 - “fast-sortierte Daten”
 - Insertion sort und Bubble sort benötigen lineare Zahl von Vergleichen und Vertauschungen
- andere mögliche Annahmen
 - Daten haben eine konstante Zahl von Elementen mit mehr als konstanter Zahl von Inversionen
 - Insertion sort immer noch linear, Bubble sort und Selection Sort nicht mehr

Shellsort

- Erweiterung von Insertion sort:
 - Einfügen eines Elements ineffektiv, weil viele Elemente bewegt werden müssen
 - Idee: Zerlegen der Eingabe in h Teile, separates Sortieren der Teile
- h -Sortierung: Eingabe ist überlappend in h sortierten Teilen
 - $a[0] \leq a[h] \leq a[2 \cdot h] \dots$
 - $a[1] \leq a[h+1] \leq a[2 \cdot h+1] \dots$
 - ...
- Sortierung zunächst für große Werte von h , danach für immer kleinere Werte
 - $h = 1$: insertion sort
 - Beispielfolge: $h_{n+1} = 3 \cdot h_n + 1$
 - 1 4 13 40 121 364 1093 3280 9841

Shellsort (2)

```
static void shell(ITEM[] a, int L, int R)
{ int h;
  for (h = 1; h <= (R-L)/9; h = 3*h+1) /* leer */;
  for (; h > 0; h /= 3)
    // ersetze jede "1" in Insertion sort durch "h"
    for (int i = L+h; i <= R; i++) {
      int j = i; ITEM v = a[i];
      while (j >= L+h && less(v, a[j-h]))
        { a[j] = a[j-h]; j -=h; }
      a[j] = v;
    }
}
```

Shellsort (3)

- Welche ist die beste Folge für h ?
 - Originale Folge (von Donald L. Shell, 1959): 1 2 4 8 16 32 64 ... ist ineffizient, weil Elemente an geraden und ungeraden Positionen bis zur letzten Runde nie verglichen werden
 - 1 4 13 40 ... wurde 1969 von Knuth vorgeschlagen
 - “optimale” Folge ist nicht bekannt
 - Exakte Komplexität hängt von der Folge ab und ist oft nicht bekannt
- Eigenschaften von Shellsort
 - k -sortiert man eine h -sortierte Datei, so ist das Ergebnis sowohl k -sortiert als auch h -sortiert
 - Shellsort benötigt weniger als $N(h-1)(k-1)/g$ Vergleiche, um h - und k -sortierte Daten zu g -sortieren, sofern h und k teilerfremd sind
 - Shellsort benötigt weniger als $O(N^{3/2})$ Vergleiche für die h -Folge 1 4 13 40 ...
 - Folge $4^{i+1} + 3 \cdot 2^{i+1}$ (1 8 23 77 281 1073 ...)
 - weniger als $O(N^{4/3})$ Vergleiche

Sortieren verketteter Listen

- **Problem: Kein wahlfreier Zugriff**
 - “bessere” Algorithmen (Quicksort, Heapsort) nicht anwendbar
- **Liste selbst soll umgeordnet werden**
 - Aufbau einer Ausgabeliste
- **Selection sort**
 - Entfernen des Minimums aus der Eingabeliste, Anhängen an Ausgabeliste
- **Insertion Sort:**
 - Entfernen des ersten Elements der Eingabeliste
 - Durchsuchen der Ausgabeliste nach nächstgrößerem Element
- **Bubble-Sort:**
 - rückwärts iterieren: doppelt verkettete Liste?

Ausblick

- Quicksort
- Heapsort
- Mergesort
- Radixsort