

Einführung in die Programmierung II

Listen-Datentypen

Reiner Hüchting

28. Februar 2022

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Arrays

Array: Zusammenhängender Bereich im Speicher

Arrays

Array: Zusammenhängender Bereich im Speicher

Vorteile

- ▶ Zugriffe i.d.R. sehr schnell
- ▶ wahlfreier Zugriff möglich
- ▶ kann leicht durchlaufen werden (Pointerberechnungen)

Arrays

Array: Zusammenhängender Bereich im Speicher

Vorteile

- ▶ Zugriffe i.d.R. sehr schnell
- ▶ wahlfreier Zugriff möglich
- ▶ kann leicht durchlaufen werden (Pointerberechnungen)

Nachteile

- ▶ feste Größe
- ▶ bei Verletzung der Grenzen können Fehler auftreten
- ▶ Größenänderung unmöglich bzw. teuer
- ▶ evtl. schlechte Ausnutzung des Speichers

Arrays

Lösungsansatz: Dynamische Arrays

Arrays

Lösungsansatz: Dynamische Arrays

Idee: Zugriffe nicht direkt mittels [], sondern durch Funktionen:

Arrays

Lösungsansatz: Dynamische Arrays

Idee: Zugriffe nicht direkt mittels [], sondern durch Funktionen:

- ▶ z.B.: `array.get(i)` und `array.set(i,e1)`
 - ▶ `array.get(i)` liest im array an Stelle `i`
 - ▶ prüft dabei, ob `i` ein gültiger Index ist
 - ▶ `array.set(i,e1)` schreibt Element `e1` an Stelle `i`
 - ▶ verändert ggf. die Größe des Arrays

Arrays

Lösungsansatz: Dynamische Arrays

Idee: Zugriffe nicht direkt mittels [], sondern durch Funktionen:

- ▶ z.B.: `array.get(i)` und `array.set(i,e1)`
 - ▶ `array.get(i)` liest im array an Stelle `i`
 - ▶ prüft dabei, ob `i` ein gültiger Index ist
 - ▶ `array.set(i,e1)` schreibt Element `e1` an Stelle `i`
 - ▶ verändert ggf. die Größe des Arrays
- ▶ z.B.: `add`, `remove`
 - ▶ `add` fügt ein Element am Ende der Liste hinzu.
 - ▶ `remove` löscht das letzte Element der Liste.
 - ▶ **Standardoperationen auf Listen**

Arrays

Implementierung dynamischer Arrays

Record-Datentyp (Klasse oder Struct), der ein Array enthält

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer/Referenz auf das Array
 - ▶ Größe des reservierten Speichers
 - ▶ Tatsächliche Anzahl der Elemente

Arrays

Implementierung dynamischer Arrays

Record-Datentyp (Klasse oder Struct), der ein Array enthält

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer/Referenz auf das Array
 - ▶ Größe des reservierten Speichers
 - ▶ Tatsächliche Anzahl der Elemente
- ▶ Member-Funktionen für Zugriff:
 - ▶ add
 - ▶ remove
 - ▶ get
 - ▶ reallocate (intern von add benutzt)

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Einfach verkettete Listen

Verkettete Liste: Elemente stehen verteilt im Speicher

Einfach verkettete Listen

Verkettete Liste: Elemente stehen verteilt im Speicher

- ▶ Idee: Elemente der Liste bestehen aus zwei Teilen
 - ▶ Daten
 - ▶ Pointer auf das nächste Element

Einfach verkettete Listen

Verkettete Liste: Elemente stehen verteilt im Speicher

- ▶ Idee: Elemente der Liste bestehen aus zwei Teilen
 - ▶ Daten
 - ▶ Pointer auf das nächste Element

Vorteile:

- ▶ Größe ist nicht fest vorgegeben
- ▶ sehr effiziente Speicherausnutzung
- ▶ Einfügen und Löschen von Elementen sehr effizient

Einfach verkettete Listen

Verkettete Liste: Elemente stehen verteilt im Speicher

- ▶ Idee: Elemente der Liste bestehen aus zwei Teilen
 - ▶ Daten
 - ▶ Pointer auf das nächste Element

Vorteile:

- ▶ Größe ist nicht fest vorgegeben
- ▶ sehr effiziente Speicherausnutzung
- ▶ Einfügen und Löschen von Elementen sehr effizient

Nachteile:

- ▶ Kein wahlfreier Zugriff
- ▶ Durchlauf ineffizient

Einfach verkettete Listen

Implementierung einfach verketteter Listen

Elemente: struct mit Daten und Pointer auf Nachfolger

Liste: struct mit Pointer auf den Anfang der Liste

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer auf das erste Element der Liste
 - ▶ evtl. weitere Pointer (für bessere Performance)

Einfach verkettete Listen

Implementierung einfach verketteter Listen

Elemente: struct mit Daten und Pointer auf Nachfolger

Liste: struct mit Pointer auf den Anfang der Liste

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer auf das erste Element der Liste
 - ▶ evtl. weitere Pointer (für bessere Performance)
- ▶ Basisfunktionen für Zugriff:
 - ▶ add
 - ▶ remove
 - ▶ get

Einfach verkettete Listen

Implementierung einfach verketteter Listen

Elemente: struct mit Daten und Pointer auf Nachfolger

Liste: struct mit Pointer auf den Anfang der Liste

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer auf das erste Element der Liste
 - ▶ evtl. weitere Pointer (für bessere Performance)
- ▶ Basisfunktionen für Zugriff:
 - ▶ add
 - ▶ remove
 - ▶ get
- ▶ Ende wird durch ein Dummy-Element markiert.
 - ▶ Sentinel-Prinzip, vgl. terminierende Null bei Strings

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Doppelt verkettete Listen

Doppelte Verkettung: Pointer auf Nachfolger und Vorgänger

Doppelt verkettete Listen

Doppelte Verkettung: Pointer auf Nachfolger und Vorgänger

- ▶ Idee: Elemente der Liste bestehen aus drei Teilen
 - ▶ Daten
 - ▶ Pointer auf das nächste Element
 - ▶ Pointer auf das vorhergehende Element

Doppelt verkettete Listen

Doppelte Verkettung: Pointer auf Nachfolger und Vorgänger

- ▶ Idee: Elemente der Liste bestehen aus drei Teilen
 - ▶ Daten
 - ▶ Pointer auf das nächste Element
 - ▶ Pointer auf das vorhergehende Element

Vor- und Nachteile:

- ▶ effizienter bei wiederholten Zugriffen auf benachbarte Elemente
- ▶ etwas mehr Speicherverbrauch als einfach verkettete Liste
 - ▶ kann i.d.R. vernachlässigt werden

Doppelt verkettete Listen

Doppelte Verkettung: Pointer auf Nachfolger und Vorgänger

- ▶ Idee: Elemente der Liste bestehen aus drei Teilen
 - ▶ Daten
 - ▶ Pointer auf das nächste Element
 - ▶ Pointer auf das vorhergehende Element

Vor- und Nachteile:

- ▶ effizienter bei wiederholten Zugriffen auf benachbarte Elemente
- ▶ etwas mehr Speicherverbrauch als einfach verkettete Liste
 - ▶ kann i.d.R. vernachlässigt werden

Verwaltung durch Dummy-Element

- ▶ Nutze ein spezielles leeres Element (HEAD)
- ▶ markiert Anfang und Ende der Liste

Doppelt verkettete Listen

Implementierung doppelt verketteter Listen

Elemente: struct mit Daten und Pointer auf Nachbarn

Liste: struct mit Pointer auf den Kopf der Liste

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer auf das HEAD-Element

Doppelt verkettete Listen

Implementierung doppelt verketteter Listen

Elemente: struct mit Daten und Pointer auf Nachbarn

Liste: struct mit Pointer auf den Kopf der Liste

- ▶ Felder:
 - ▶ Pointer auf das HEAD-Element
- ▶ Basisfunktionen für Zugriff:
 - ▶ add
 - ▶ remove
 - ▶ get

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Stacks und Queues

Stacks: *Stapel-* oder *Kellerspeicher*

- ▶ Elemente werden *gestapelt*.
- ▶ Nur das zuletzt eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „Last-In-First-Out“ (LIFO)

Stacks und Queues

Stacks: *Stapel-* oder *Kellerspeicher*

- ▶ Elemente werden *gestapelt*.
- ▶ Nur das zuletzt eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „Last-In-First-Out“ (LIFO)
- ▶ Standardoperationen: push, pop und top
 - ▶ push fügt ein Element hinzu
 - ▶ pop entfernt das oberste Element
 - ▶ top liefert das oberste Element zurück

Stacks und Queues

Stacks: *Stapel-* oder *Kellerspeicher*

- ▶ Elemente werden *gestapelt*.
- ▶ Nur das zuletzt eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „Last-In-First-Out“ (LIFO)
- ▶ Standardoperationen: push, pop und top
 - ▶ push fügt ein Element hinzu
 - ▶ pop entfernt das oberste Element
 - ▶ top liefert das oberste Element zurück
- ▶ Implementierung durch Arrays oder verkettete Listen

Stacks und Queues

Stacks: *Stapel-* oder *Kellerspeicher*

- ▶ Elemente werden *gestapelt*.
- ▶ Nur das zuletzt eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „Last-In-First-Out“ (LIFO)
- ▶ Standardoperationen: push, pop und top
 - ▶ push fügt ein Element hinzu
 - ▶ pop entfernt das oberste Element
 - ▶ top liefert das oberste Element zurück
- ▶ Implementierung durch Arrays oder verkettete Listen
- ▶ Anwendungsbeispiele:
 - ▶ Der *Stack* im Hauptspeicher
 - ▶ Pufferspeicher bei rekursiven Problemen (z.B. Damenproblem)
 - ▶ Einfaches Speichermodell in Kleinstrechnern (z.B. Taschenrechner)

Stacks und Queues

Queues: *Warteschlange* oder *Pufferspeicher*

- ▶ Nur das zuerst eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „First-In-First-Out“ (FIFO)

Stacks und Queues

Queues: *Warteschlange* oder *Pufferspeicher*

- ▶ Nur das zuerst eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „First-In-First-Out“ (FIFO)
- ▶ Standardoperationen: push, pop
 - ▶ push fügt ein Element am Anfang der Liste hinzu
 - ▶ pop entfernt das letzte Element der Liste

Stacks und Queues

Queues: *Warteschlange* oder *Pufferspeicher*

- ▶ Nur das zuerst eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „First-In-First-Out“ (FIFO)
- ▶ Standardoperationen: push, pop
 - ▶ push fügt ein Element am Anfang der Liste hinzu
 - ▶ pop entfernt das letzte Element der Liste
- ▶ Implementierung durch Arrays oder verkettete Listen

Stacks und Queues

Queues: *Warteschlange* oder *Pufferspeicher*

- ▶ Nur das zuerst eingefügte Element ist zugänglich
 - ▶ „First-In-First-Out“ (FIFO)
- ▶ Standardoperationen: push, pop
 - ▶ push fügt ein Element am Anfang der Liste hinzu
 - ▶ pop entfernt das letzte Element der Liste
- ▶ Implementierung durch Arrays oder verkettete Listen
- ▶ Anwendungsbeispiele:
 - ▶ Pufferspeicher bei der Kommunikation
 - ▶ Netzwerke
 - ▶ Ein-/Ausgabe von Computern
 - ▶ Kommunikation unterschiedlicher Threads

Stacks und Queues

Priority Queues: Warteschlangen mit Gewichten

- ▶ Jedes Element hat eine Gewichtung bzw. eine Priorität
- ▶ Nur das schwerste/wichtigste Element ist zugänglich.

Stacks und Queues

Priority Queues: Warteschlangen mit Gewichten

- ▶ Jedes Element hat eine Gewichtung bzw. eine Priorität
- ▶ Nur das schwerste/wichtigste Element ist zugänglich.
- ▶ Standardoperationen: push, pop, get
 - ▶ push fügt ein Element am Anfang der Liste hinzu
 - ▶ pop entfernt das eine zugängliche Element.

Stacks und Queues

Priority Queues: Warteschlangen mit Gewichten

- ▶ Jedes Element hat eine Gewichtung bzw. eine Priorität
- ▶ Nur das schwerste/wichtigste Element ist zugänglich.
- ▶ Standardoperationen: push, pop, get
 - ▶ push fügt ein Element am Anfang der Liste hinzu
 - ▶ pop entfernt das eine zugängliche Element.
- ▶ Implementierung durch spezielle Baumstrukturen (Heaps)

Stacks und Queues

Priority Queues: Warteschlangen mit Gewichten

- ▶ Jedes Element hat eine Gewichtung bzw. eine Priorität
- ▶ Nur das schwerste/wichtigste Element ist zugänglich.
- ▶ Standardoperationen: push, pop, get
 - ▶ push fügt ein Element am Anfang der Liste hinzu
 - ▶ pop entfernt das eine zugängliche Element.
- ▶ Implementierung durch spezielle Baumstrukturen (Heaps)
- ▶ Anwendungsbeispiele:
 - ▶ Routenplanungs- und Scheduling-Algorithmen
 - ▶ schnelle Sortierverfahren

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Datensätze in Listen

Daten sind abstrakter Bestandteil in Listen

- ▶ in theoretischen Beispielen meist `int`
- ▶ in der Praxis oft komplexer
 - ▶ zusammengesetzte Daten (Record-Datentypen)
 - ▶ Schlüssel können z.B. auch Strings o.Ä. sein.

Datensätze in Listen

Daten sind abstrakter Bestandteil in Listen

- ▶ in theoretischen Beispielen meist `int`
- ▶ in der Praxis oft komplexer
 - ▶ zusammengesetzte Daten (Record-Datentypen)
 - ▶ Schlüssel können z.B. auch Strings o.Ä. sein.

Objektorientierter Ansatz für einheitlichen Entwurf:

- ▶ Daten werden immer in einem Datentyp `element` gekapselt.
- ▶ Elemente sind Bestandteile der Listen, Arrays etc.
- ▶ Zugriff auf die Daten mittels Funktionen.
- ▶ Die Implementierung der eigentlichen Liste, des Arrays etc. muss dabei nicht verändert werden.
 - ▶ In C++: Meist werden Templates verwendet.

Themenüberblick – Listen-Datentypen

Arrays

Einfach verkettete Listen

Doppelt verkettete Listen

Stacks und Queues

Datensätze in Listen

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Arrays, Listen, Bäume etc. sind **abstrakte Datentypen**

- ▶ Verhalten wird nur durch Funktionen spezifiziert.
- ▶ Listen-Datentypen haben Funktionen wie `push`, `pop` etc.
- ▶ Die Implementierung / das Verhalten dieser Funktionen bestimmt, um was für einen Datentyp es sich genau handelt.

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Implementierung abstrakter Datentypen

- ▶ Grundlegende Datenstruktur ist immer ein `struct`, das die konkrete Implementierung enthält.
 - ▶ z.B. Pointer auf Listenelemente, ein Array etc.
 - ▶ Alternativ auch andere Datentypen-structs (z.B. bei Stacks und Queues)
 - ▶ zusätzlich ggf. Hilfsdaten wie z.B. die Länge der Liste.
- ▶ Zugriff auf den Datentyp mittels Funktionen.
- ▶ Elemente der Liste etc. auch als `struct`, in dem auch Daten verwaltet werden. Zugriff auch hier durch Funktionen.

Zusammenfassung: Entwurfsprinzipien

Vorteile dieses Ansatzes:

- ▶ Die Funktionen **verstecken** die eigentliche Implementierung.
 - ▶ Technische Details wie Pointer und Hilfsvariablen spielen für den Benutzer keine Rolle.
- ▶ Der Elementtyp bzw. die Daten sind leicht austauschbar.
 - ▶ Will man die zugrundeliegenden Daten ändern, muss man nur das Struct und die Funktionen für den Elementtyp ändern.