Programmiertechnik 1

Unit 9: Programmiersprache C –
Zeiger und Felder

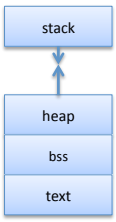
Ablauf

- Heap und Stack
- Zeiger und Adressen
- Zeiger und Funktionen (-argumente)
- Zeiger und Arrays
- Adreßarithmetik
- Beispiel: malloc und Algorithmen zur Speicherallokation
- Mehrdimensionale Felder
- Initialisierung von Feldern
- Kommandzeilenbearbeitung
- Funktionszeiger
- Komplizierte Deklarationen

Speicher eines UNIX -Prozesses

- Virtueller Speicher
  - 2^{32} Adressen oder 2^{64} Adressen – pro Prozess
  - Aufteilung user space/kernel space
    - Benutzerprozess in 32-bit OS kann 2^{31} Byte = 2GB adressieren
    - Zumindest bei 64-bit OS gilt user space >> physischer Hauptspeicher
- C-Programme benutzen symbolische Namen für Speicheradressen
  - Statische Variablen
    - Block static storage, bss
  - Lokale (automatische) Variablen
    - Auf dem Stack angelegt
  - Dynamisch allozierte Speicherbereiche
    - Auf dem Heap angelegt – malloc(), brk(), sbrk()
  - Gemeinsam benutzte Speicherbereiche
    - mmap()
    - Shared libraries

Alle Speicheradressen in einem C-Programm sind virtuelle Adressen



UNIX klassisch

t = text d = data b = bss (blank)

Linux heute

Dynamik

- Größe der initialisierten statischen Variablen zur Compile-Zeit bekannt
  - Compiler kann Code zur Initialisierung von bss generieren
  - Laufzeitsystem (crt0.o) und Loader führen diesen Code aus
- Größe des Stacks ändert sich dynamisch
  - Jeder Funktionsaufruf speichert Variablen auf dem Stack
    - Rücksprungadresse, Rückgabewert
    - Parameter, lokale Variablen
  - Lokalität, Sichtbarkeit
  - Wie groß sollte Stack idealerweise sein?
- Daten auf dem Heap werden zur Programmlaufzeit angelegt
  - malloc()-, free()-Systemaufrufe
    - Unabhängig von Funktionsverschachtelung
    - Programmierer ist für Allokation/ Freigeben von Speicher verantortlich
  - Referenzierung von Speicher auf dem Heap über ***Pointer***

Pointer (Zeiger)

- Ein Pointer ist eine Variable, die die Adresse einer Variablen enthält
  - In C exzessiv benutzt
  - Felder werden in C durch Verweis auf den Feldanfang dargestellt

  - Bsp: 4-byte Zeiger p verweist auf 1-byte char c
    - Adressen sind architekturabhängig (16, 32, 64 bit)
    - Speicher ist byte-adressierbar
  - Einstelliger Operator & ergibt die Adresse eine Objekts
    - char c;
      char * p = & c; /* Initialisierung */
  - Einstelliger Operator * bewirkt Dereferenzierung (*indirection operator*)
    - char d = *p; /* Kopieren des Wertes von c */

Zeiger – Deklaration und Benutzung

- Ein Beispiel:

```
int x = 1, y = 2, z[10];
int *ip;                /* ip ist ein Zeiger auf ein Objekt vom Typ int */

ip = &x;                /* ip verweist nun auf x      */
y = *ip;                /* y wird zu 1                */
*ip = 0;                /* x wird zu 0                */
ip = &z[0];             /* ip verweist nun auf z[0]   */
```

- Mnemonic: - int *ip;
  - Bedeutung: *ip ist vom Typ int
    - Zeiger sind eingeschränkt: können nur auf Objekte eines vereinbarten Typs verweisen
    - Ausnahme: „pointer to void“ (void *) – ein beliebiger Zeiger; keine Dereferenzierung
  - Compiler überprüft passende Verwendung von Zeigern
    - *ip ist ein int und kann so verwendet werden: *ip = *ip + 10;

Zeiger (contd.)

- Operatoren *, &
  - binden Stärker als arithmetische Operatoren (Vorrang)

Bsp:

```
y = *ip + 1;        /* y enthält den um 1 erhöhten Wert auf den ip verweist */
* ip += 1;          /* Variable, auf die ip verweist wird inkrementiert     */
++*ip;              /* ebenso */
iq = ip;            /* Zuweisung; iq verweist nun auf gleiche Adresse wie ip */
(*ip)++;
```

- Klammern sind wegen Assoziativität der einstelligen Operatoren nötig

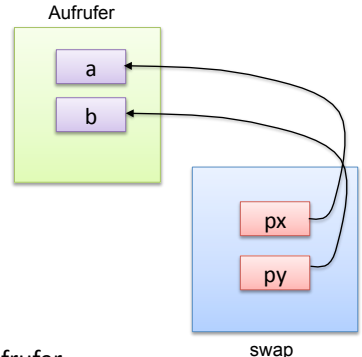
```
*ip++;
```

- Hier würde erst ip inkrementiert und danach dereferenziert

Zeiger und Funktionsargumente

- C kennt nur Werteparameter (pass-by-value)
  - Keine direkte Möglichkeit für eine Funktion, Werte im Aufrufer zu ändern
  - Übergabe der Adresse einer Variablen ermöglicht gerufener Funktion, diese Variable zu ändern
  - Bsp:
    - Vertauschen der Werte zweier Variablen
    - swap(&a, &b);

```
void swap( int *px, int *py) {
   int temp = *px;
   *px = *py;
   *py = temp;
}
```



- Zeiger ermöglichen Zugriff auf Objekte im Aufrufer

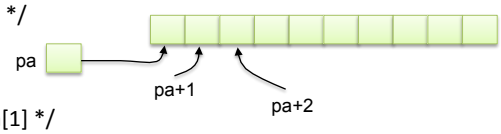
getint.c

Zeiger und Felder

- Enge Beziehung zwischen Zeigern und Feldern:
  - Jede Operation, die durch Feldindizierung ausgedrückt werden kann, kann auch als Zeiger-Operation dargestellt werden.
  - Zeiger-Operationen sind häufig schneller
- Beispiel:
  - int a[10];

  - int *pa = & a[0];

  - x = *pa; /* kopiert a[0] */



  - y = *(pa+1); /* kopiert a[1] */

Zeiger und Felder (contd.)

- *(pa+3) – verweist auf viertes Feldelement
  - Unabhängig vom Typ der im Feld gespeicherten Elemente
- „Zeiger um 1 erhöhen“
  - Bedeutung ist abhängig vom Typ, auf den der Zeiger verweist
  - Besser: Zeiger auf das nächste Objekt „vorrücken“
    - Bsp: 4-byte int *pa; → (pa+1) bewirkt einer Erhöhung um 4 Byte
- Index-Operationen und Zeigeroperationen sind sehr ähnlich:
  - Wert einer Array-Variablen ist per Definition die Adresse des ersten Elements
  - pa = &a[0];
    - Bewirkt, dass pa und a identische Werte haben
    - Äquivalent zu pa = a;
  - Referenz a[i]
    - Kann geschrieben werden als *(a+i); - beide Formen sind äquivalent

Zeiger und Felder (contd.)

- Array != Pointer
  - Zeigervariable kann in Ausdrücken links stehen (lvalue)
  - Felder sind keine Variablen

```
char a[5];
char * pa = a; pa++;      /* legal    */
a = pa;                   /* illegal  */
```

  - Sind Felder Funktionsargumente, so wird Adresse des ersten Elements übergeben.
  - Bsp: strlen() operiert auf eigener lokaler Kopie des Zeigers

```
int strlen( char *s) {
    int n;
    for (n = 0; *s != '\0'; s++) n++;
    return n;
}
```

  - Gültige Verwendungen:

```
strlen("hello world");      /* Zeichenkettenkonstante */
strlen(array);              /* char array[100];  */
strlen(ptr);                /* char *ptr; */
```

strlen.c

Formale Argumente

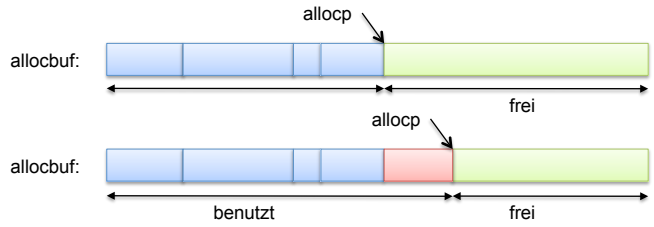
- Zeiger als Funktionsargumente
  - Folgende Deklarationen sind syntaktisch äquivalent
    - func(char s[]);
    - func(char * s);
  - Variante 1 ist besser lesbar; bevorzugt!
- Beliebige Teile eines Feldes können übergeben werden
  - Nicht unbedingt der Anfang des Feldes
    - func(&a[2]); oder func(a+2);
  - Für aufgerufene Funktion ist nicht sichtbar, dass a Teil eines größeren Feldes ist
- Keine Überprüfung des Indexwertebereiches durch den **Compiler**
  - Anders als Pascal, Modula-2, Java, C#...
  - Auch negative Indizes sind erlaubt
    - Bspw. In func(): char c = s[-2];
  - Dennoch: Zugriff auf Objekt außerhalb Feldindex ist **illegal**.

Adressarithmetik

- Sei p eine Zeiger auf ein Feldelement
  - p++; inkrementiert p auf das nächste Feldelement
  - p+=i; verschiebt Zeiger um i Feldelemente
- Seien p und q Zeiger auf dasselbe Feld
  - Addition und Subtraktion sind für Zeiger zulässig: next10 = p + 10;
  - Vergleich: ==, !=, < >=, etc.
    - if (p > q) num_elem = q-p+1; /* Zahl der zwischenliegenden Elemente */
- Zeiger sind keine Integer
  - Einzige Ausnahme: Konstante 0
  - Zeiger können mit 0 verglichen werden
  - 0 ist niemals eine gültige Adresse
  - Symbolische Konstante NULL /* definiert in stdio.h */
- Resultate undefiniert wenn p und q nicht auf dasselbe Feld verweisen

Speicherverwaltung

- Ein Beispiel für eine einfache Heap-Speicherverwaltung
  - Verwaltung in einem statischen Feld allocbuf
  - alloc() und afree() müssen „passend“ aufgerufen werden (Strukturierung als Stack)



  - allocp markiert den Punkt, bis zu dem Speicher benutzt ist
    - alloc() inkrementiert allocp und gibt alten Wert zurück
    - Afree() dekrementiert allocp

alloc.c

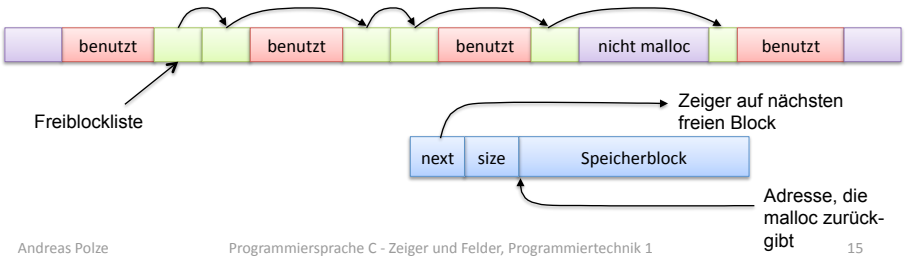
textstore.c

Speicherverwaltung (richtig)

- C Laufzeitsystem bietet mehrere Routinen zur Verwaltung des Heaps

```
# include <stdlib.h>
  void free(void *ptr);
  void * malloc(size_t size);
```

- malloc fordert Heap-Speicher vom Betriebssystem an
  - Verwaltet free-Liste
  - Vergibt Blöcke nach „first fit“-Strategie



Verwendung von Heapspeicher

- malloc und free können in beliebiger Reihenfolge gerufen werden
  - Vergessene free-Operationen führen zu „Speicherlecks“
  - Betriebssystem gibt bei Terminierung eines Prozesses allen Speicher frei
- Granularität der Speicherallokation
  - Häufige Aufrufe von malloc → großer Overhead
    also: große Blöcke verwenden
  - Das Finden eines freien Blocks ist viel einfacher bei kleinen Blöcken
    also: kleine Blöcke verwenden
  - malloc() verwaltet Speicher im user-mode
    → nur selten Betriebssystemaufrufe zum Ausfassen von Speicher nötig
  - malloc() und free() sind nicht thread-sicher

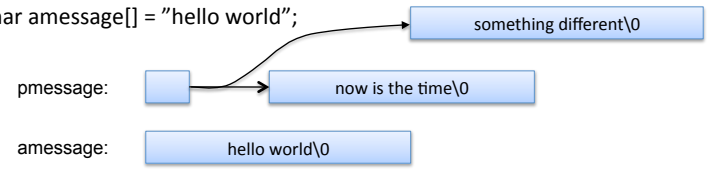
textstore2.c

Zeigerarithmetik

- Zeiger und Integer können addiert/subtrahiert werden
  - p + n → das n-te Objekt hinter dem, auf das p gegenwärtig zeigt
  - Unabhängig vom Typ des Objektes p
    - n wird entsprechend der Größe des Objekttyps skaliert
    - Objekttyp wird bei Definition von p festgelegt
    - Wäre p vom Type char*, so würde byteweise inkrementiert
  - Wäre p vom Type float*, so würde p++ auf den nächsten float-Wert weisen
    - Inkrement um 4 Byte
- Gültige Operationen für Zeiger
  - Zuweisung, Addition/Subtraktion von Zeiger und Integer
  - Vergleich zweier Zeige die auf dasselbe Feld zeigen
  - Zuweisung von NULL
  - Vergleich mit NULL
- Alle Zeiger können nach void* umgewandelt werden und umgekehrt

Zeichenkettenkonstanten vs. Felder

- Zeichenkettenkonstanten
  - char * pmessage = ”now is the time”;
  - char amessage[] = ”hello world”;



  - pmessage: Zeiger kann geändert werden, Zeichenkette nicht
  - amessage: Zeichenkette kann beliebig modifiziert werden

```
amessage[0] = 'H'; amessage[6] = 'W';
```

Dereferenzierung

- Feldzugriffs-Operator ([] } und Zeiger-Dereferenzierung (*) lassen sich in Funktionen synonym verwenden

```
/* strcpy: copy t to s; array subscript version */
void strcpy1( char * s, char * t ) {
      int i = 0;
      while ((s[i] = t[i]) != '\0')
            i++;
}

/* strcpy: copy t to s; pointer version 1 */
void strcpy2( char * s, char * t ) {
      while ((*s = *t) != '\0') {
            s++; t++;
      }
}
```

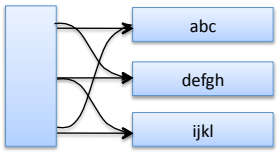
Vorteil strcpy2:
Funktioniert auch für sehr lange Zeichenketten

(wenn Länge nicht mehr durch int ausgedrückt werden kann)

strcpy.c

Felder von Zeigern

- Zeiger sind Variablen
- Können in Feldern gespeichert werden
  - Bsp: Der Länge nach sortieren



  - Zeiger sind in einem Feld gespeichert
  - Vertauschen der Zeilen durch Ändern der Zeiger
  - Speicherverwaltung bleibt einfach

lensort.c

Mehrdimensionale Felder

- C bietet rechteckige, mehrdimensionale Felder - Matrizen
  - int A[3][4]; int B[3][4][5];
  - Indexbereich: jeweils 0..n

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

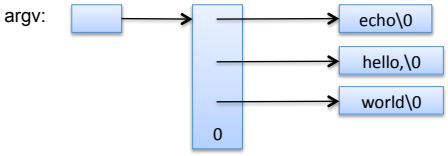
  - Zugriff auf Feldelemente:
    int i = A[1][2];
- Alle Feldelemente haben denselben Typ
  - Zeilenweise im Speicher abgelegt
  - Initialisierung durch Werte in geschweiften Klammern
    A = { { 1, 2, 3, 4 }, { 5, 6, 7, 8 }, { 9, 10, 11, 12 }}
- Bei Deklaration von Funktionsparametern muss Zahl der Spalten angeben werden
  - func(int a[][4]); besser func(int a[3][4]);
  - Erste Dimension kann weggelassen werden (...Übergeben wird noch immer ein Zeiger auf erstes Element)

Zeiger vs. Mehrdimensionale Felder

- Mehrdimensionale Felder belegen stets (n x m x p...) viele Speicherzellen
  - int A[10][20] belegt 200 Zellen á 4byte = 800 byte
  - Alternative: int *B[10];
    Feld von Zeigern auf Felder mit 20 Integern
    - Belegt initial nur 10 Speicherzellen á 4byte (32bit) == 40 byte
  - A[3][4] = B[5][6] → syntaktisch äquivalenter Zugriff
    - Passende Initialisierung von B vorausgesetzt
  - Zeilen in einem Zeiger-Feld können unterschiedliche Länge haben
    - Effiziente Datenstrukturen
    - „Löcher“
  - Für Zeichenketten bieten sich generell Felder von Zeigern an

Kommandozeilen

- C-Laufzeitumgebung enthält Standardmechanismus der Parameterübergabe
  - int argc → Zahl der Argumente
  - char * argv[] → NULL-terminierts Feld von Zeigern auf die Argumente
  - Bsp:
    echo hello, world



  - Erstes Argument: argv[0] → Name des Programms
  - Optionale Argumente: argv[1]...argv[argc-1]
  - C-Standard verlangt: argv[argc] == NULL
- Feld von Zeigern auf Zeichenketten
  - Kann gelesen und geschrieben werden

lensort.c

Zeiger auf Funktionen

- Funktionen repräsentieren Sprünge im Code
  - Funktion wird repräsentiert durch Anfangsadresse eines Codesegments
  - Zeiger auf Funktionen speichern diese Adresse
- Funktionszeiger können
  - In Variablen, Feldern etc. gespeichert werden
  - Als Funktionsargumente übergeben werden
  - Von Funktionen zurückgegeben werden
- Deklaration
  - <type> (* <name>) ([<type>+]);
  - int (* compare) (char *, char *) = strcmp; /* strcmp wird zugewiesen */
- Aufruf
  - (* compare) (”hello”, ”world”); /* strcmp wird aufgerufen */

strsort.c

Komplizierte Deklarationen

- C Syntax ist mitunter verwirrend
  - int * f(); /* f: eine Funktion, die einen Zeiger auf int zurückgibt */
  - int (*pf)(); /* pf: Zeiger auf eine Funktion, die int zurückgibt */
  - Problem:
    - * ist Präfix-Operator, hat niedrigeren Vorrang als ()
    - Klammersetzung ist nötig um richtige Assoziation zu erzwingen
- Beispiele:

char ** argv	→ argv: Zeiger auf Zeiger auf char
int (*daytab)[13]	→ daytab: Zeiger auf Feld[13] von int
int * daytab[13]	→ daytab: Feld[13] von Zeigern auf int
void * comp()	→ comp: Funktion, die Zeiger auf void zurückgibt
void (*comp)()	→ comp: Zeiger auf Funktion, die void zurückgibt
char (*(*x()) [])()	→ x: Funktion, die einen Zeiger auf ein Feld[] von Zeigern auf Funktionen die char zurückgeben, zurückgibt
char (* (*x[3])())[5]	→ x: Feld[3] von Zeigern auf Funktionen, die einen Zeiger auf ein Feld[5] von char zurückgeben

- Lösung: typedef – schrittweise, verständliche Typdefinitionen (Unit 10)

Zusammenfassung

- Heap und Stack
  - Zwei getrennte Speicherbereiche, Lebensdauer von Objekten
- Zeiger und Adressen
  - Zeiger und Funktionen (-argumente) → call-by-value emulieren
  - Zeiger und Arrays → jedes Feld wird durch Zeiger auf Anfang dargestellt
- Adreßarithmetik
  - Erlaubt für Zeiger, die auf das gleich Feld verweisen
  - Beispiel: malloc und Algorithmen zur Speicherallokation
- Mehrdimensionale Felder
  - Variabel nur in erster Dimension
  - Initialisierung von Feldern → legt erste Dimension fest
  - Bei unvollständiger Liste von Initialisierern bleiben Einträge undefiniert
- Kommandzeilenbearbeitung
  - Feld mit Verweisen auf Argumente und Argumentzahl vom Laufzeitsystem bereitgestellt
- Funktionszeiger
  - Eleganter, flexibler Ansatz um generische Programme zu schreiben
  - Komplizierte Deklarationen