

64-040 Modul IP7: Rechnerstrukturen

[http://tams.informatik.uni-hamburg.de/
lectures/2011ws/vorlesung/rs](http://tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2011ws/vorlesung/rs)

Kapitel 9

Andreas Mäder



Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Fachbereich Informatik

Technische Aspekte Multimodaler Systeme

Wintersemester 2011/2012



Kapitel 9

Logische Operationen

Boole'sche Operationen

Bitweise logische Operationen

Schiebeoperationen

Anwendungsbeispiele

Speicher-Organisation

Literatur





Logische Operationen in Java und C

- ▶ eigener Datentyp?
 - ▶ Java: Datentyp boolean
 - ▶ C: implizit für alle Integertypen

- ▶ Vergleichsoperationen
- ▶ logische Grundoperationen
- ▶ Auswertungsreihenfolge / -prioritäten

- ▶ logische Operationen auch bitweise parallel möglich (s.u.)



Vergleichsoperationen

- ▶ $a == b$ wahr, wenn a gleich b
 - ▶ $a != b$ wahr, wenn a ungleich b
 - ▶ $a >= b$ wahr, wenn a größer oder gleich b
 - ▶ $a > b$ wahr, wenn a größer b
 - ▶ $a < b$ wahr, wenn a kleiner b
 - ▶ $a <= b$ wahr, wenn a kleiner oder gleich b
-
- ▶ Vergleich zweier Zahlen, Ergebnis ist logischer Wert
 - ▶ Java: Integerwerte alle im Zweierkomplement
 - ▶ C: Auswertung berücksichtigt signed/unsigned-Typen
 - ▶ Auswertung von links nach rechts,
mit (optionaler) Klammerung

Logische Operationen in C

- ▶ zusätzlich zu den Vergleichsoperatoren $<$, $<=$, $==$, $!=$, $>$, $>=$
- ▶ drei **logische** Operatoren:
 - ! logische Negation
 - && logisches UND
 - || logisches ODER
- ▶ Interpretation der Integerwerte:
 - der Zahlenwert $0 \Leftrightarrow$ logische 0 (false)
 - alle anderen Werte \Leftrightarrow logische 1 (true)
- ▶ völlig andere Semantik als in der Mathematik (!)
- ▶ völlig andere Funktion als die bitweisen Operationen (s.u.)



Logische Operationen in C (cont.)

- ▶ verkürzte Auswertung von links nach rechts (*shortcut*)
 - ▶ Abbruch, wenn Ergebnis feststeht
 - + kann zum Schutz von Ausdrücken benutzt werden
 - kann aber auch Seiteneffekte haben, z.B. Funktionsaufrufe

▶ Beispiele

▶ `(a > b) || ((b != c) && (b <= d))`

Beispiel	Wert
<code>!0x41</code>	<code>0x00</code>
<code>!0x00</code>	<code>0x01</code>
<code>!!0x00</code>	<code>0x00</code>
<code>0x69 && 0x55</code>	<code>0x01</code>
<code>0x69 0x55</code>	<code>0x01</code>

Logische Operationen in C: Logisch vs. Bitweise

- ▶ der Zahlenwert $0 \Leftrightarrow$ logische 0 (false)
 alle anderen Werte \Leftrightarrow logische 1 (true)
- ▶ Beispiel: $x = 0x66$ und $y = 0x93$

Ausdruck (bitweise)	Wert	Ausdruck (logisch)	Wert
x	0110 0110	x	0000 0001
y	1001 0011	y	0000 0001
$x \& y$	0000 0010	$x \&\& y$	0000 0001
$x y$	1111 0111	$x y$	0000 0001
$\sim x \sim y$	1111 1101	$!x !y$	0000 0000

Logische Operationen in C: verkürzte Auswertung

- ▶ logische Ausdrücke werden von links nach rechts ausgewertet
- ▶ Klammern werden natürlich berücksichtigt
- ▶ Abbruch, sobald der Wert eindeutig feststeht (*shortcut*)
- ▶ Vor- oder Nachteile möglich (codeabhängig)
 - + $(a \ \&\& \ 5/a)$ niemals Division durch Null. Der Quotient wird nur berechnet, wenn der linke Term ungleich Null ist.
 - + $(p \ \&\& \ *p++)$ niemals Nullpointer-Zugriff. Der Pointer wird nur verwendet, wenn p nicht Null ist.

Ternärer Operator

- ▶ $\langle condition \rangle ? \langle true-expression \rangle : \langle false-expression \rangle$
- ▶ Beispiel: $(x < 0) ? -x : x$ Absolutwert von x

Logische Operationen in Java

- ▶ Java definiert eigenen Datentyp `boolean`
- ▶ elementare Werte `false` und `true`
- ▶ alternativ `Boolean.FALSE` und `Boolean.TRUE`
- ▶ **keine** Mischung mit Integer-Werten wie in C

- ▶ Vergleichsoperatoren `<`, `<=`, `==`, `!=`, `>`, `>=`
- ▶ verkürzte Auswertung von links nach rechts (*shortcut*)

- ▶ Ternärer Operator
 $\langle \text{condition} \rangle ? \langle \text{true-expression} \rangle : \langle \text{false-expression} \rangle$
- ▶ Beispiel: $(x < 0) ? -x : x$ Absolutwert von x



Bitweise logische Operationen

Integer-Datentypen doppelt genutzt:

1. Zahlenwerte (Ganzzahl, Zweierkomplement, Gleitkomma)
 arithmetische Operationen: Addition, Subtraktion, usw.

2. Binärwerte mit w einzelnen Bits (Wortbreite w)
 Boole'sche Verknüpfungen, bitweise auf allen w Bits

- ▶ Grundoperationen: Negation, UND, ODER, XOR
- ▶ Schiebe-Operationen: shift-left, rotate-right, usw.



Bitweise logische Operationen (cont.)

- ▶ Integer-Datentypen interpretiert als Menge von Bits
- ▶ bitweise logische Operationen möglich
- ▶ es gibt insgesamt 2^{2^n} Operationen mit n Operanden

- ▶ in Java und C sind vier Operationen definiert:

Negation	$\sim x$	Invertieren aller einzelnen Bits
UND	$x \& y$	Logisches UND aller einzelnen Bits
OR	$x y$	Logisches ODER aller einzelnen Bits
XOR	$x \wedge y$	Logisches XOR aller einzelnen Bits

- ▶ alle anderen Funktionen können damit dargestellt werden

Bitweise logische Operationen: Beispiel

 $x = 0010\ 1110$
 $y = 1011\ 0011$
 $\sim x = 1101\ 0001$ alle Bits invertiert

 $\sim y = 0100\ 1100$ alle Bits invertiert

 $x \& y = 0010\ 0010$ bitweises UND

 $x | y = 1011\ 1111$ bitweises ODER

 $x \wedge y = 1001\ 1101$ bitweises XOR

Schiebeoperationen

- ▶ als Ergänzung der bitweisen logischen Operationen
- ▶ für alle Integer-Datentypen verfügbar

- ▶ fünf Varianten:

Shift-Left `shl`

Logical Shift-Right `srl`

Arithmetic Shift-Right `sra`

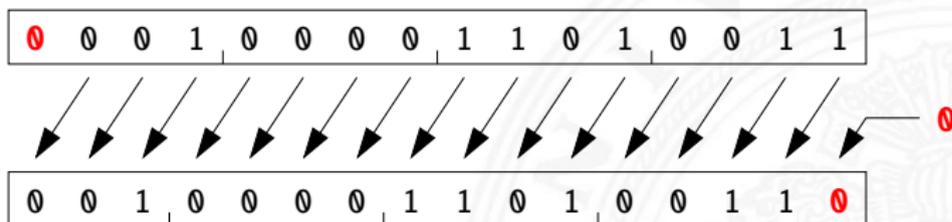
Rotate-Left `rol`

Rotate-Right `ror`

- ▶ Schiebeoperationen in Hardware leicht zu realisieren
- ▶ auf fast allen Prozessoren im Befehlssatz

Shift-Left (shl)

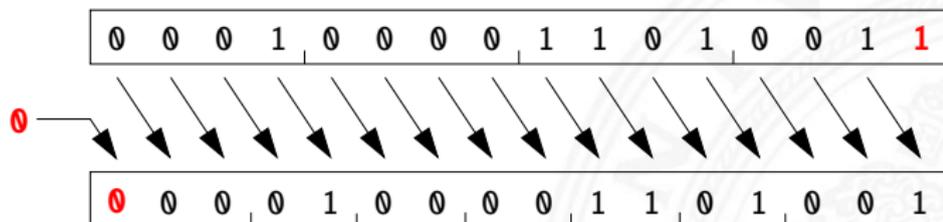
- ▶ Verschieben der Binärdarstellung von x um n bits nach links
- ▶ links herausgeschobene n bits gehen verloren
- ▶ von rechts werden n Nullen eingefügt



- ▶ in Java und C direkt als Operator verfügbar: $x \ll n$
- ▶ `shl` um n bits entspricht der Multiplikation mit 2^n

Logical Shift-Right (sr1)

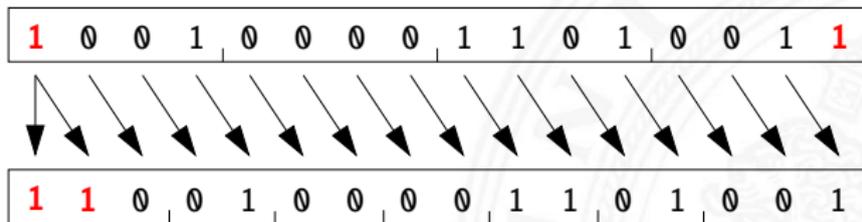
- ▶ Verschieben der Binärdarstellung von x um n bits nach rechts
- ▶ rechts herausgeschobene n bits gehen verloren
- ▶ von links werden n Nullen eingefügt



- ▶ in Java direkt als Operator verfügbar: $x \ggg n$
 in C nur für unsigned-Typen definiert: $x \gg n$
 für signed-Typen nicht vorhanden

Arithmetic Shift-Right (sra)

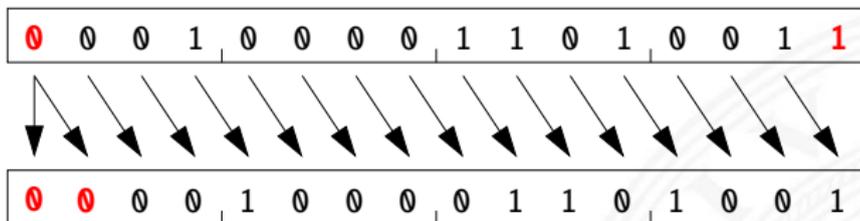
- ▶ Verschieben der Binärdarstellung von x um n bits nach rechts
- ▶ rechts herausgeschobene n bits gehen verloren
- ▶ von links wird n -mal das MSB (Vorzeichenbit) eingefügt
- ▶ Vorzeichen bleibt dabei erhalten (gemäß Zweierkomplement)



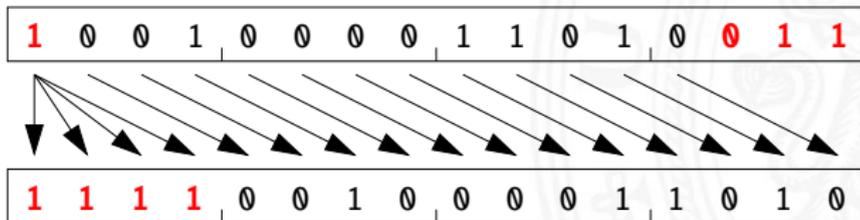
- ▶ in Java direkt als Operator verfügbar: `x >> n`
 in C nur für `signed`-Typen definiert: `x >> n`
- ▶ `sra` um n bits ist ähnlich der Division durch 2^n

Arithmetic Shift-Right: Beispiel

- $x \gg 1$ aus $0x10D3$ (4307) wird $0x0869$ (2153)



- $x \gg 3$ aus $0x90D3$ (-28460) wird $0xF21A$ (-3558)





Arithmetic Shift-Right: Division durch Zweierpotenzen?

- ▶ positive Werte: $x \gg n$ entspricht Division durch 2^n
- ▶ negative Werte: $x \gg n$ Ergebnis ist zu klein (!)
- ▶ gerundet in Richtung negativer Werte statt in Richtung Null:

1111 1011 (-5)

1111 1101 (-3)

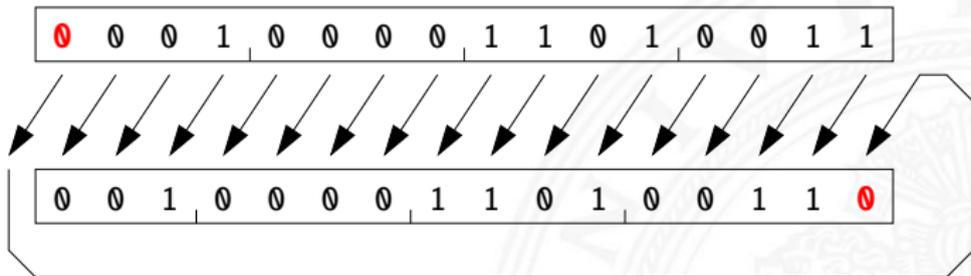
1111 1110 (-2)

1111 1111 (-1)

- ▶ C: Kompensation durch Berechnung von $(x + (1 \ll k) - 1) \gg k$
 Details: Bryant & O'Hallaron

Rotate-Left (rol)

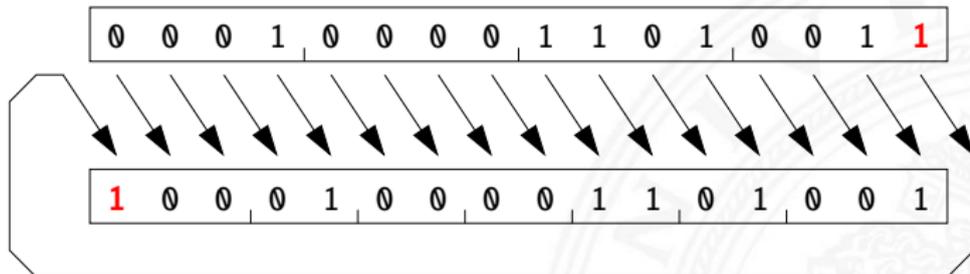
- ▶ Rotation der Binärdarstellung von x um n bits nach links
- ▶ herausgeschobene Bits werden von rechts wieder eingefügt



- ▶ in Java und C nicht als Operator verfügbar
- ▶ Java: `Integer.rotateLeft(int x, int distance)`

Rotate Right (ror)

- ▶ Rotation der Binärdarstellung von x um n bits nach rechts
- ▶ herausgeschobene Bits werden von links wieder eingefügt



- ▶ in Java und C nicht als Operator verfügbar
- ▶ Java: `Integer.rotateRight(int x, int distance)`

Shifts statt Integer-Multiplikation

- ▶ Integer-Multiplikation ist auf vielen Prozessoren langsam oder evtl. gar nicht als Befehl verfügbar
- ▶ Add./Subtraktion und logische Operationen: typisch 1 Takt
 Shift-Operationen: meistens 1 Takt
- ⇒ eventuell günstig, Multiplikation mit Konstanten durch entsprechende Kombination aus shifts+add zu ersetzen
 - ▶ Beispiel: $9 \cdot x = (8 + 1) \cdot x$ ersetzt durch $(x \ll 3) + x$
 - ▶ viele Compiler erkennen solche Situationen



Beispiel: bit-set, bit-clear

Bits an Position p in einem Integer setzen oder löschen?

- ▶ Maske erstellen, die genau eine 1 gesetzt hat
- ▶ dies leistet $(1 \ll p)$, mit $0 \leq p \leq w$ bei Wortbreite w

```
public int bit_set( int x, int pos ) {  
    return x | (1 << pos); // mask = 0...010...0  
}
```

```
public int bit_clear( int x, int pos ) {  
    return x & ~(1 << pos); // mask = 1...101...1  
}
```

Beispiel: Byte-Swapping *network to/from host*

Linux: /usr/include/bits/byteswap.h

```
...
/* Swap bytes in 32 bit value.  */
#define __bswap_32(x) \
    (((x) & 0xff000000) >> 24) | (((x) & 0x00ff0000) >> 8) |\
    (((x) & 0x0000ff00) << 8) | (((x) & 0x000000ff) << 24)
...
```

Linux: /usr/include/netinet/in.h

```
...
# if __BYTE_ORDER == __LITTLE_ENDIAN
#   define ntohl(x) __bswap_32 (x)
#   define ntohs(x) __bswap_16 (x)
#   define htonl(x) __bswap_32 (x)
#   define htons(x) __bswap_16 (x)
# endif
...
```



Beispiel: RGB-Format für Farbbilder

Farbdarstellung am Monitor / Bildverarbeitung?

- ▶ Matrix aus $w \times h$ Bildpunkten
- ▶ additive Farbmischung aus Rot, Grün, Blau
- ▶ pro Farbkanal typischerweise 8-bit, Wertebereich 0..255
- ▶ Abstufungen ausreichend für (untrainiertes) Auge
- ▶ je ein 32-bit Integer pro Bildpunkt
- ▶ typisch: `0x00RRGGBB` oder `0xAARRGGBB`
- ▶ je 8-bit für Alpha/Transparenz, rot, grün, blau
- ▶ `java.awt.image.BufferedImage(TYPE_INT_ARGB)`

Beispiel: RGB-Rotfilter

```

public BufferedImage redFilter( BufferedImage src ) {
    int    w = src.getWidth();
    int    h = src.getHeight();
    int    type = BufferedImage.TYPE_INT_ARGB;
    BufferedImage dest = new BufferedImage( w, h, type );

    for( int y=0; y < h; y++ ) {           // alle Zeilen
        for( int x=0; x < w; x++ ) {       // von links nach rechts
            int    rgb = src.getRGB( x, y ); // Pixelwert bei (x,y)
                                                    // rgb = 0xAARRGGBB
            int    red = (rgb & 0x00FF0000); // Rotanteil maskiert
            dest.setRGB( x, y, red );
        }
    }
    return dest;
}
    
```

Beispiel: RGB-Graufilter

```

public BufferedImage grayFilter( BufferedImage src ) {
    ...
    for( int y=0; y < h; y++ ) { // alle Zeilen
        for( int x=0; x < w; x++ ) { // von links nach rechts
            int  rgb = src.getRGB( x, y ); // Pixelwert
            int  red  = (rgb & 0x00FF0000) >>>16; // Rotanteil
            int  green = (rgb & 0x0000FF00) >>> 8; // Grünanteil
            int  blue  = (rgb & 0x000000FF); // Blauanteil

            int  gray = (red + green + blue) / 3; // Mittelung

            dest.setRGB( x, y, (gray<<16)|(gray<<8)|gray );
        }
    }
    ...
}
    
```



Beispiel: Bitcount (mit while-Schleife)

Anzahl der gesetzten Bits in einem Wort?

- ▶ Anwendung z.B. für Kryptalgorithmen (Hamming-Distanz)
- ▶ Anwendung für Medienverarbeitung

```

public static int bitcount( int x ) {
    int count = 0;

    while( x != 0 ) {
        count += (x & 0x00000001); // unterstes bit addieren
        x = x >>> 1;             // 1-bit rechts-schieben
    }

    return count;
}
    
```

Beispiel: Bitcount (parallel, tree)

- ▶ Algorithmus mit Schleife ist einfach aber langsam
- ▶ schnelle parallele Berechnung ist möglich

```
int BitCount(unsigned int u)
{ unsigned int uCount;
  uCount = u - ((u >> 1) & 033333333333)
           - ((u >> 2) & 011111111111);
  return ((uCount + (uCount >> 3)) & 030707070707) % 63;
}
```

- ▶ viele Algorithmen: bit-Maskierung und Schieben
 - ▶ <http://gurmeet.net/puzzles/fast-bit-counting-routines>
 - ▶ <http://graphics.stanford.edu/~seander/bithacks.html>
 - ▶ Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming*: Volume 4A, Combinational Algorithms: Part1, Abschnitt 7.1.3
 - ▶ `java.lang.Integer.bitCount()`
- ▶ viele neuere Prozessoren/DSPs: eigener bitcount-Befehl

Übungsaufgabe 4.4



Tipps & Tricks: Rightmost bits

Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming*, Vol 4.1

Grundidee: am weitesten rechts stehenden 1-Bits / 1-Bit Folgen erzeugen Überträge in arithmetischen Operationen

- ▶ Integer x , mit $x = (\alpha 0 [1]^a 1 [0]^b)_2$

beliebiger Bitstring α , eine Null, dann $a + 1$ Einsen und b Nullen, mit $a \geq 0$ und $b \geq 0$.

- ▶ Ausnahmen: $x = -2^b$ und $x = 0$

$$\Rightarrow x = (\alpha 0 [1]^a 1 [0]^b)_2$$

$$\bar{x} = (\bar{\alpha} 1 [0]^a 0 [1]^b)_2$$

$$x - 1 = (\alpha 0 [1]^a 0 [1]^b)_2$$

$$-x = (\bar{\alpha} 1 [0]^a 1 [0]^b)_2$$

$$\Rightarrow \bar{x} + 1 = -x = \overline{x - 1}$$



Tipps & Tricks: Rightmost bits (cont.)

Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming*, Vol 4.1

$$\begin{aligned}
 x &= (\alpha 0 [1]^a 1 [0]^b)_2 & \bar{x} &= (\bar{\alpha} 1 [0]^a 0 [1]^b)_2 \\
 x - 1 &= (\alpha 0 [1]^a 0 [1]^b)_2 & -x &= (\bar{\alpha} 1 [0]^a 1 [0]^b)_2
 \end{aligned}$$

$x \& (x - 1) = (\alpha 0 [1]^a 0 [0]^b)_2$	letzte 1 entfernt
$x \& -x = (0^\infty 0 [0]^a 1 [0]^b)_2$	letzte 1 extrahiert
$x -x = (1^\infty 1 [1]^a 1 [0]^b)_2$	letzte 1 nach links verschmiert
$x \oplus -x = (1^\infty 1 [1]^a 0 [0]^b)_2$	letzte 1 entfernt und verschmiert
$x (x - 1) = (\alpha 0 [1]^a 1 [1]^b)_2$	letzte 1 nach rechts verschmiert
$\bar{x} \& (x - 1) = (0^\infty 0 [0]^a 0 [1]^b)_2$	letzte 1 nach rechts verschmiert
$((x (x - 1)) + 1) \& x = (\alpha 0 [0]^a 0 [0]^b)_2$	letzte 1-Bit Folge entfernt

Aufbau und Adressierung des Speichers

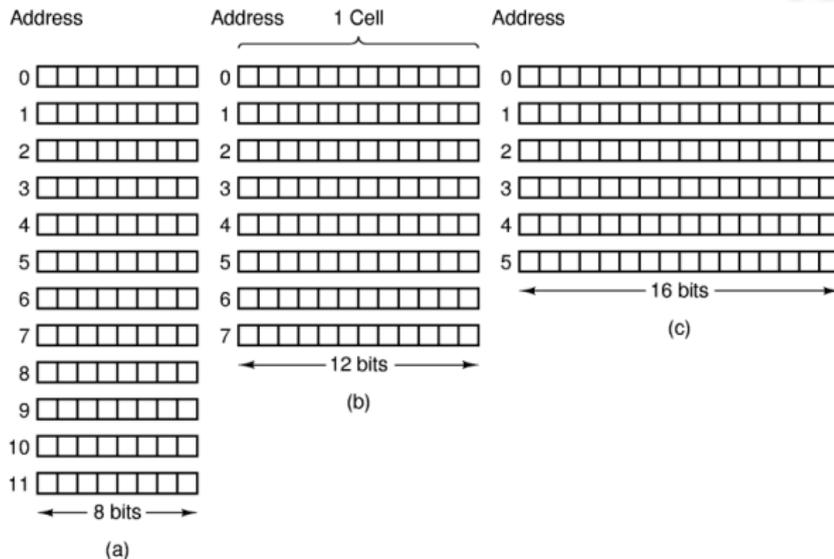
- ▶ Abspeichern von Zahlen, Zeichen, Strings?
 - ▶ kleinster Datentyp üblicherweise ein Byte (8-bit)
 - ▶ andere Daten als Vielfache: 16-bit, 32-bit, 64-bit, ...

- ▶ Organisation und Adressierung des Speichers?
 - ▶ Adressen typisch in Bytes angegeben
 - ▶ erlaubt Adressierung einzelner ASCII-Zeichen, usw.

- ▶ aber Maschine/Prozessor arbeitet wortweise
- ▶ Speicher daher ebenfalls wortweise aufgebaut
- ▶ typischerweise 32-bit oder 64-bit

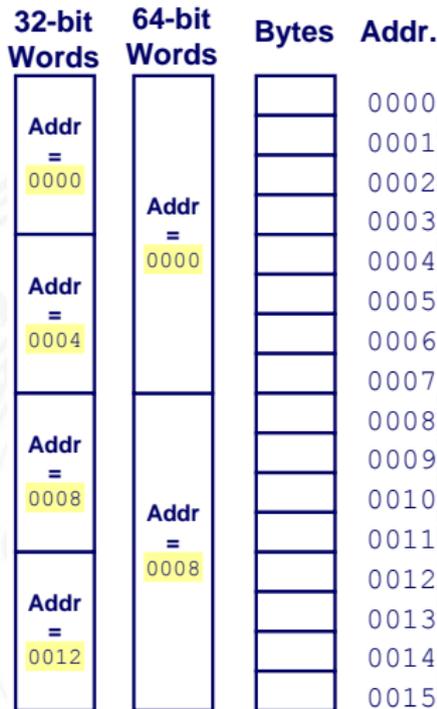
Speicher-Organisation

- ▶ Speicherkapazität: Anzahl der Worte \cdot Bits/Wort
- ▶ Beispiele: $12 \cdot 8$ $8 \cdot 12$ $6 \cdot 16$ Bits



Wort-basierte Organisation des Speichers

- ▶ Speicher Wort-orientiert
- ▶ Adressierung Byte-orientiert
 - ▶ die Adresse des ersten Bytes im Wort
 - ▶ Adressen aufeinanderfolgender Worte unterscheiden sich um 4 (32-bit Wort) oder 8 (64-bit)
 - ▶ Adressen normalerweise Vielfache der Wortlänge
 - ▶ verschobene Adressen „in der Mitte“ eines Worts oft unzulässig





Datentypen auf Maschinenebene

- ▶ gängige Prozessoren unterstützen mehrere Datentypen
- ▶ entsprechend der elementaren Datentypen in C, Java, ...
- ▶ `void*` ist ein **Pointer** (Referenz, Speicheradresse)
- ▶ Beispiel für die Anzahl der Bytes:

C Datentyp	DEC Alpha	typ. 32-bit	Intel IA-32 (x86)
int	4	4	4
long int	8	4	4
char	1	1	1
short	2	2	2
float	4	4	4
double	8	8	8
long double	8	8	10/12
void *	8	4	4

Datentypen auf Maschinenebene (cont.)

Abhängigkeiten (!)

- ▶ Prozessor
- ▶ Betriebssystem
- ▶ Compiler

www.agner.org/optimize/calling_conventions.pdf

segment word size compiler	16 bit			32 bit				64 bit					
	Microsoft	Borland	Watcom	Microsoft	Intel Windows	Borland	Watcom	Gnu v.3.x	Intel Linux	Microsoft	Intel Windows	Gnu	Intel Linux
bool	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
char	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wchar_t		2		2	2	2	2	2	2	2	2	4	4
short int	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
int	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
long int	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	8	8
__int64				8	8			8	8	8	8	8	8
enum	2	2	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
float	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
double	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
long double	10	10	8	8	16	10	8	12	12	8	16	16	16
__m64				8	8			8		8	8	8	
__m128				16	16			16	16	16	16	16	16
__m256					32					32		32	
pointer	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8
far pointer	4	4	4										
function pointer	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8
data member pointer (min)	2	4	6	4	4	8	4	4	4	4	4	8	8
data member pointer (max)		4	6	12	12	8	12	4	4	12	12	8	8
member function pointer (min)	2	12	6	4	4	12	4	8	8	8	8	16	16
member function pointer (max)		12	6	16	16	12	16	8	8	24	24	16	16

Table 1 shows how many bytes of storage various objects use for different compilers.

Byte-Order

- ▶ *Wie sollen die Bytes innerhalb eines Wortes angeordnet werden?*
- ▶ Speicher wort-basiert \Leftrightarrow Adressierung byte-basiert

Zwei Möglichkeiten / Konventionen:

- ▶ **Big Endian:** Sun, Mac, usw.
 das MSB (*most significant byte*) hat die kleinste Adresse
 das LSB (*least significant byte*) hat die höchste —"
- ▶ **Little Endian:** Alpha, x86
 das MSB hat die höchste, das LSB die kleinste Adresse

satirische Referenz auf Gulliver's Reisen (Jonathan Swift)

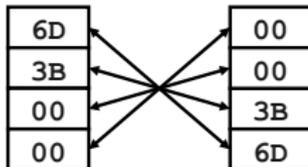
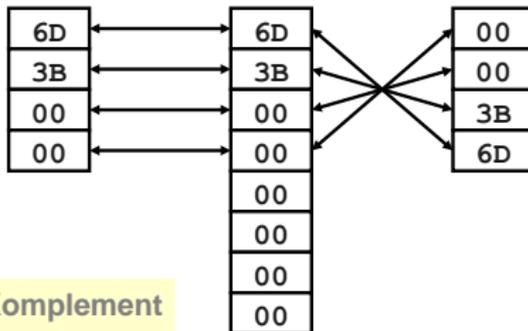
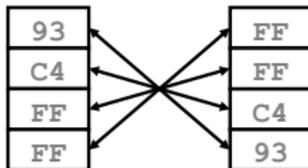
Byte-Order: Beispiel

```
int A = 15213;
int B = -15213;
long int C = 15213;
```

Dezimal: 15213

Binär: 0011 1011 0110 1101

Hex: 3 B 6 D

Linux/Alpha A **Sun A**

Linux C **Alpha C** **Sun C**

Linux/Alpha B **Sun B**


2-Komplement

Big Endian
Little Endian

Byte-Order: Beispiel-Datenstruktur

```

/* JimSmith.c - example record for byte-order demo */

typedef struct employee {
    int    age;
    int    salary;
    char   name[12];
} employee_t;

static employee_t jimmy = {
    23,                // 0x0017
    50000,             // 0xc350
    "Jim Smith",      // J=0x4a i=0x69 usw.
};
    
```



Byte-Order: x86 und SPARC

```
tams12> objdump -s JimSmith.x86.o
JimSmith.x86.o:      file format elf32-i386

Contents of section .data:
 0000 17000000 50c30000 4a696d20 536d6974  ....P...Jim Smit
 0010 68000000                                     h...

tams12> objdump -s JimSmith.sparc.o
JimSmith.sparc.o:   file format elf32-sparc

Contents of section .data:
 0000 00000017 0000c350 4a696d20 536d6974  ....PJim Smit
 0010 68000000                                     h...
```



Netzwerk-Byteorder

- ▶ Byteorder muss bei Datenübertragung zwischen Rechnern berücksichtigt und eingehalten werden
- ▶ Internet-Protokoll (IP) nutzt ein big-endian Format
- ▶ auf x86-Rechnern müssen alle ausgehenden und ankommenden Datenpakete umgewandelt werden
- ▶ zugehörige Hilfsfunktionen / Makros in `netinet/in.h`
 - ▶ inaktiv auf big-endian, **byte-swapping** auf little-endian
 - ▶ `ntohl(x)`: network-to-host-long
 - ▶ `htons(x)`: host-to-network-short
 - ▶ ...

Beispiel: Byte-Swapping *network to/from host*

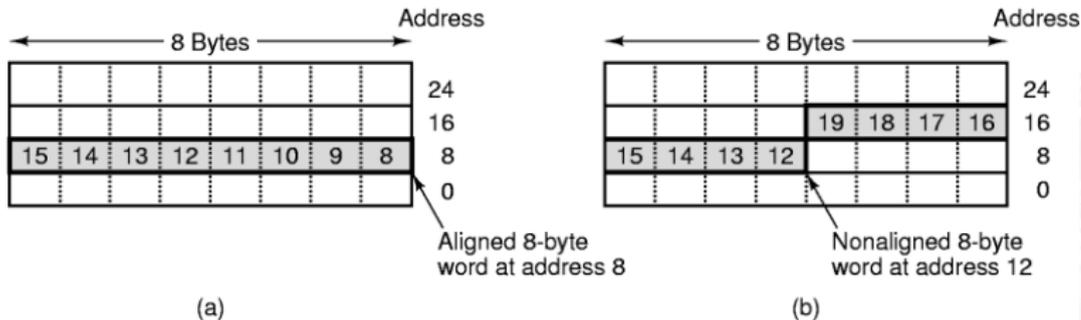
Linux: `/usr/include/bits/byteswap.h`

```
...
/* Swap bytes in 32 bit value.  */
#define __bswap_32(x) \
    (((x) & 0xff000000) >> 24) | (((x) & 0x00ff0000) >> 8) |\
    (((x) & 0x0000ff00) << 8) | (((x) & 0x000000ff) << 24)
...
```

Linux: `/usr/include/netinet/in.h`

```
...
# if __BYTE_ORDER == __LITTLE_ENDIAN
#   define ntohl(x) __bswap_32 (x)
#   define ntohs(x) __bswap_16 (x)
#   define htonl(x) __bswap_32 (x)
#   define htons(x) __bswap_16 (x)
# endif
...
```

Misaligned Memory Access



- ▶ Speicher Byte-weise adressiert
- ▶ aber Zugriffe lesen/schreiben jeweils ein ganzes Wort

Was passiert bei „krummen“ (*misaligned*) Adressen?

- ▶ automatische Umsetzung auf mehrere Zugriffe
- ▶ Programmabbruch

(x86)
(SPARC)



Programm zum Erkennen der Byteorder

- ▶ Programm gibt Daten byteweise aus
- ▶ C-spezifische Typ- (Pointer-) Konvertierung
- ▶ Details: siehe Bryant 2.1.4 (und Abbildungen 2.3/2.4)

```

void show_bytes( byte_pointer start, int len ) {
    int i;
    for( i=0; i < len; i++ ) {
        printf( " %.2x", start[i] );
    }
    printf ( "\n" );
}

void show_double( double x ) {
    show_bytes( (byte_pointer) &x, sizeof( double ));
}

...
    
```



Literatur: Vertiefung

- ▶ Donald E. Knuth, *The Art of Computer Programming, Volume 4, Fascicle 1: Bitwise Tricks & Techniques, Binary Decision Diagrams*, Addison-Wesley, 2009
- ▶ Klaus von der Heide, *Vorlesung: Technische Informatik 1 — interaktives Skript*, Universität Hamburg, FB Informatik, 2005
tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2004ws/vorlesung/t1