64-040 Modul IP7: Rechnerstrukturen

5. Boole'sche Algebra, Logische Operationen

Norman Hendrich & Jianwei Zhang

Universität Hamburg
MIN Fakultät, Department Informatik
Vogt-Kölln-Str. 30, D-22527 Hamburg
{hendrich,zhang}@informatik.uni-hamburg.de

WS 2010/2011

Inhalt

Wiederholung: Grundbegriffe der Algebra

- Mengen
- Relationen, Verknüpfungen
- Gruppe, Abel'sche Gruppe
- Körper, Ring
- Vektorraum
- usw.

Nutzen einer (abstrakten) Algebra?!

Analyse und Beschreibung von

- gemeinsamen, wichtigen Eigenschaften
- mathematischer Operationen
- mit vielfältigen Anwendungen

- die Art der Elemente (z.B. ganze Zahlen, Aussagen, usw.)
- die Verknüpfungen (z.B. Addition, Multiplikation)
- zentrale Elemente (z.B. Null-, Eins-, inverse Elemente)

- Anwendungen: z.B. fehlerkorrigierende Codes auf CD/DVD

Boole'sche Algebra

- George Boole, 1850: Untersuchung von logischen Aussagen mit den Werten *true* (wahr) und *false* (falsch)
- Definition einer Algebra mit diesen Werten
- Vier grundlegende Funktionen:
  - NEGATION (NOT)
  - UND
  - ODER
  - XOR

- Claude Shannon, 1937: Realisierung der Boole'schen Algebra mit Schaltfunktionen (binäre digitale Logik)

Grundverknüpfungen

- zwei Werte: *wahr* (*true*, 1) und *falsch* (*false*, 0)
- vier grundlegende Verknüpfungen:

NOT(x)

x	
0	1
1	0

AND(x, y)

y \ x	0	1
0	0	0
1	0	1

OR(x, y)

y \ x	0	1
0	0	1
1	1	1

XOR(x,y)

y \ x	0	1
0	0	1
1	1	0

- alle logischen Operationen lassen sich mit diesen Funktionen darstellen (*vollständige Basismenge*)

Grundverknüpfungen

- zwei Werte, $\{0, 1\}$
- insgesamt 4 Funktionen mit einer Variable

  $f_0(x) = 0,\ f_1(x) = 1,\ f_2(x) = x,\ f_3(x) = \neg x$

- insgesamt 16 Funktionen zweier Variablen
- allgemein 2^{2^n} Funktionen von n Variablen
- später noch viele Beispiele

Alle Funktionen von zwei Variablen

x = **0 1 0 1** y = **0 0 1 1**	**Bezeichnung**	**Notation**	**Alternativnotation**	**Java/C-Notation**
0 0 0 0	Nullfunktion	0		`0`
0 0 0 1	AND	$x \cap y$		`x&&y`
0 0 1 0	Inhibition	$y > x$		`y>x`
0 0 1 1	Identität y	y		`y`
0 1 0 0	Inhibition	$x > y$		`x>y`
0 1 0 1	Identität x	x		`x`
0 1 1 0	XOR	$x \oplus y$	$x \neq y$	`x!=y`
0 1 1 1	OR	$x \cup y$		`x||y`
1 0 0 0	NOR	$\neg(x \cup y)$		`!(x||y)`
1 0 0 1	Äquivalenz	$\neg(x \oplus y)$	$x = y$	`x==y`
1 0 1 0	NICHT x	$\neg x$	x'	`!x`
1 0 1 1	Implikation	$x \leq y$	$x \rightarrow y$	`y>=x`
1 1 0 0	NICHT y	$\neg y$	y'	`!y`
1 1 0 1	Implikation	$x \geq y$	$x \leftarrow y$	`x>=y`
1 1 1 0	NAND	$\neg(x \cap y)$		`!(x&&y)`
1 1 1 1	Einsfunktion	1		`1`

Boole'sche Algebra

- Tupel $< \{0,1\},\ |, \&, \neg,\ 0,1 >$ bildet eine Algebra

- $|$ ist die „Addition“
- $\&$ ist die „Multiplikation“
- $\neg$ ist das „Komplement“ (nicht das Inverse!)
- 0 (false) ist das Nullelement der Addition
- 1 (true) ist das Einselement der Multiplikation

Rechenregeln: Ring / Algebra

Eigenschaft	Ring der ganzen Zahlen	Boole'sche Algebra
Kommutativ-gesetz	$a + b = b + a$ $a \times b = b \times a$	$a \vert b = b \vert a$ $a \& b = b \& a$
Assoziativ-gesetz	$(a + b) + c = a + (b + c)$ $(a \times b) \times c = a \times (b \times c)$	$(a \vert b) \vert c = a \vert (b \vert c)$ $(a \& b) \& c = a \& (b \& c)$
Distributiv-gesetz	$a \times (b + c) = (a \times b) + (a \times c)$	$a \& (b \vert c) = (a \& b) \vert (a \& c)$
Identitäten	$a + 0 = a$ $a \times 1 = a$	$a \vert 0 = a$ $a \& 1 = a$
Vernichtung	$a \times 0 = 0$	$a \& 0 = 0$
Auslöschung	$-(-a) = a$	$\neg(\neg a) = a$
Inverses	$a + (-a) = 0$	—

Rechenregeln: Ring / Algebra

Eigenschaft	Ring der ganzen Zahlen	Boole'sche Algebra
Distributivgesetz	—	$a \mid (b \& c) = (a \mid b) \& (a \mid c)$
Komplement	—	$a \mid \neg a = 1$
	—	$a \,\&\, \neg a = 0$
Idempotenz	—	$a \,\&\, a = a$
	—	$a \mid a = a$
Absorption	—	$a \mid (a \& b) = a$
	—	$a \& (a \mid b) = a$
De-Morgan Regeln	—	$\neg(a \,\&\, b) = \neg a \mid \neg b$
	—	$\neg(a \mid b) = \neg a \,\&\, \neg b$

De-Morgan Regeln

- Ersetzen von UND durch ODER und umgekehrt
- Austausch der Funktion und gleichzeitig Invertieren aller Ein- und Ausgänge
- alternative Schreibweise: `~x` für $\neg x$

- `~(a & b) = ~a | ~b` NAND: NOT(AND(a,b))
- `~(a | b) = ~a & ~b` NOR: NOT(OR(a,b))

- wird beim Entwurf von Schaltungen häufig verwendet

XOR: Exklusiv-Oder

- XOR-Funktion: entweder `a` oder `b`, `a` ungleich `b`
- `a ^ b = (~a & b) | (a & ~b)`

  genau einer von den Termen `a` und `b` ist wahr
- `a ^ b = (a | b) & ~(a & b)`

  entweder `a` ist wahr, oder `b` ist wahr, aber nicht beide gleichzeitig
- `a ^ a = 0`

Logische Operationen in Java und C

- eigener Datentyp?
  - Java: Datentyp boolean
  - C: implizit für alle Integertypen
- Vergleichsoperationen
- logische Grundoperationen
- Auswertungs-Reihenfolge/-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, Klammerung berücksichtigt

Logische Operationen in C

- drei **logische** Operatoren
- zusätzlich zu den Vergleichsoperatoren <, <=, ==, !=, >, >=

- `!` logische Negation
- `&&` logisches UND
- `||` logisches ODER

- der Zahlenwert 0 gilt als logische 0 (false)
- alle anderen Werte interpretiert als logische 1 (true)

```
(a > b) || ((b != c) && (b <= d))
```

- völlig andere Funktion als die bitweisen Operationen (s.u.)

Logische Operationen in C

- Integer mit Zahlenwert 0 gilt auch als logische 0 (false)
- alle anderen Werte interpretiert als logische 1 (true)
- völlig andere Semantik als in der Mathematik (!)
- *shortcut*-Auswertung: von links nach rechts

Beispiel	Wert
`!0x41`	`0x00`
`!0x00`	`0x01`
`!!0x00`	`0x00`
`0x69 && 0x55`	`0x01`
`0x69 || 0x55`	`0x01`

Logische Operationen in C: Beispiel

- nur Zahlenwert 0 gilt als logische 0 (false)
- alle anderen Werte interpretiert als 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
`~x | ~y`	1111 1101	`!x || !y`	0000 0000

Logische Operationen in C: „Shortcut“-Auswertung

- logische Ausdrücke werden von links nach rechts ausgewertet
- Klammern werden natürlich berücksichtigt
- Abbruch, sobald der Wert eindeutig feststeht

- `(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.

- ternäre Abfrage:
  `condition ? true-expression : false-expression`
- Beispiel Absolutwert von x: `(x < 0) ? -x : 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 <, <=, ==, !=, >, >=
- Shortcut-Auswertung von links nach rechts

- ternäre Abfrage:
  `condition ? true-expression : false-expression`
- Beispiel Absolutwert von x: `(x < 0) ? -x : x`

Bitweise logische Operationen

Integer-Datentypen doppelt genutzt:

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

- 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

- 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: vier Operationen definiert:

Negation	`~x`	Invertieren aller einzelnen Bits
UND	`x&y`	Logisches UND aller einzelnen Bits
OR	`x|y`	Logisches ODER aller einzelnen Bits
XOR	`x^y`	Logisches XOR aller einzelnen Bits

- alle anderen Funktionen können damit dargestellt werden

Bitweise logische Operationen: Beispiel

```
    x = 0010 1110
    y = 1011 0011

   ~x = 1101 0001    alle Bits invertiert
   ~y = 0100 1100    alle Bits invertiert

x & y = 0010 0010    bitweises UND
x | y = 1011 1111    bitweises ODER
x ^ y = 1001 1101    bitweises XOR
```

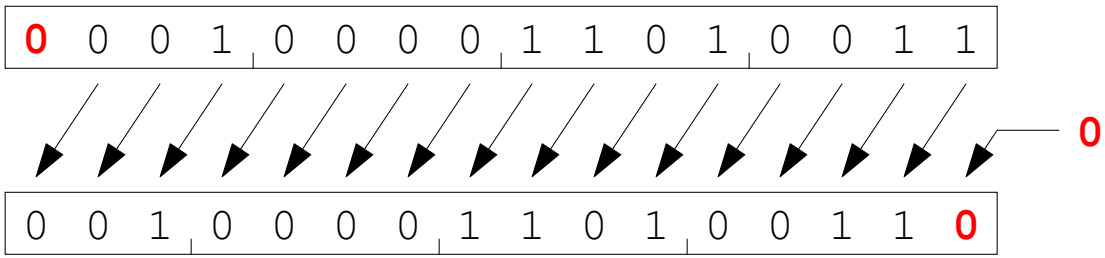
Schiebeoperationen

- als Ergänzung der bitweisen logischen Operationen
- für alle Integer-Datentypen verfügbar
- fünf Varianten:
  - shift-left
  - logical shift-right
  - arithmetic shift-right
  - rotate-left
  - rotate-right

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

Shift-Left (`shl`)

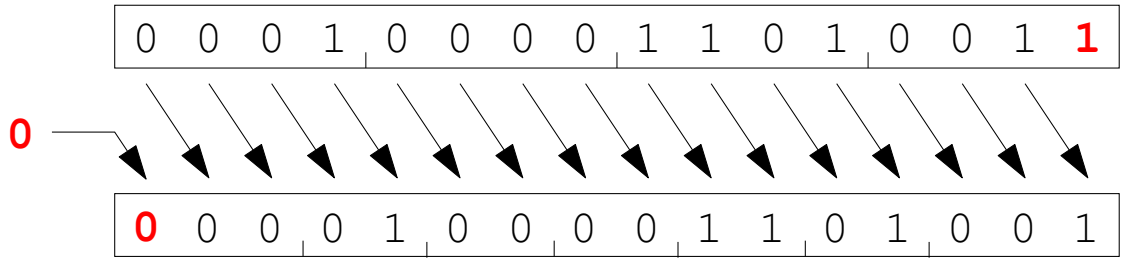
- Verschieben der Binärdarstellung von x um n bits nach links
- links herausgeschobene n bits gehen verloren
- von rechts werden n Nullen eingefügt



- in Java und C direkt als Operator `x << n`
- `shl` um n bits entspricht Multiplikation mit 2^n

Logical Shift Right (`srl`)

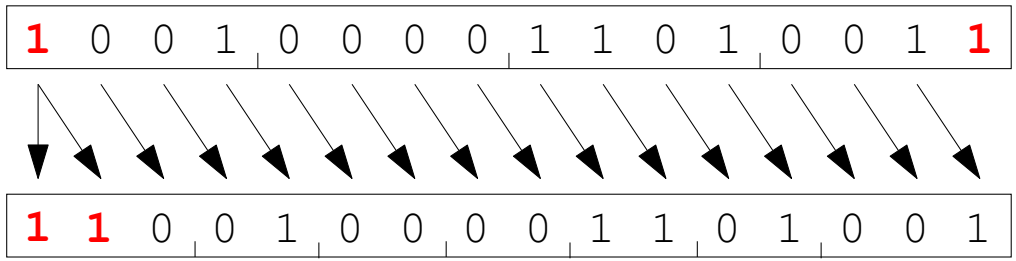
- Verschieben der Binärdarstellung von x um n bits nach rechts
- rechts herausgeschobene n bits gehen verloren
- von links werden n Nullen eingefügt



- in Java direkt als Operator verfügbar: `x >>> n`
- in C nur für `unsigned`-Typen als Operator: `x >> n`
- in C für `signed`-Typen nicht als Operator

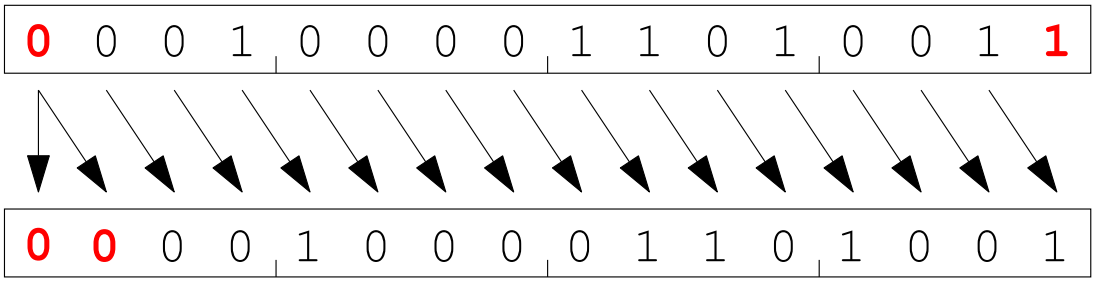
Arithmetic Shift Right (`sra`)

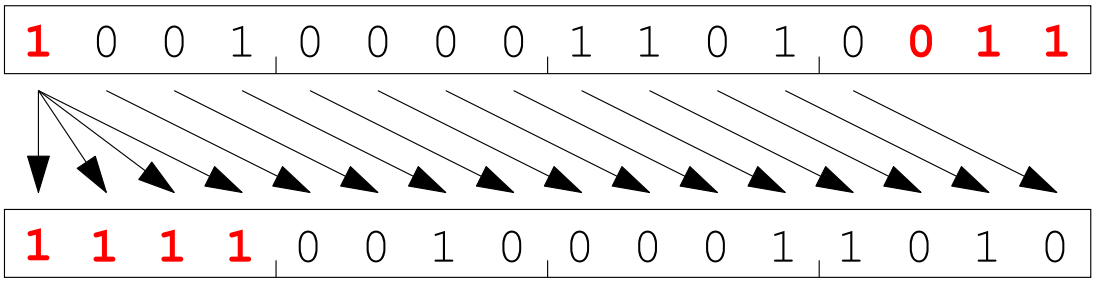
- Verschieben der Binärdarstellung von x um n bits nach rechts
- rechts herausgeschobene n bits gehen verloren
- von links wird n-mal das MSB (Vorzeichenbit) eingefügt
- Vorzeichen bleibt dabei erhalten (auch Zweierkomplement)



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

Arithmetic Shift Right: Beispiel





`x >>  1` aus `0x10D3` (4307) wird `0x0869` (2153)

`x >>> 3` aus `0x90D3` (-28460) wird `0xF21A` (-3558)

Arithmetic Shift Right: Division durch Zweierpotenzen?

- positive Werte: `x >> n` entspricht Division durch 2^n
- negative Werte: `x >> n` Ergebnis zu klein (gerundet in Richtung negativer Werte statt in Richtung Null)

  `1111 1011` (-5)

  `1111 1101` (-3)

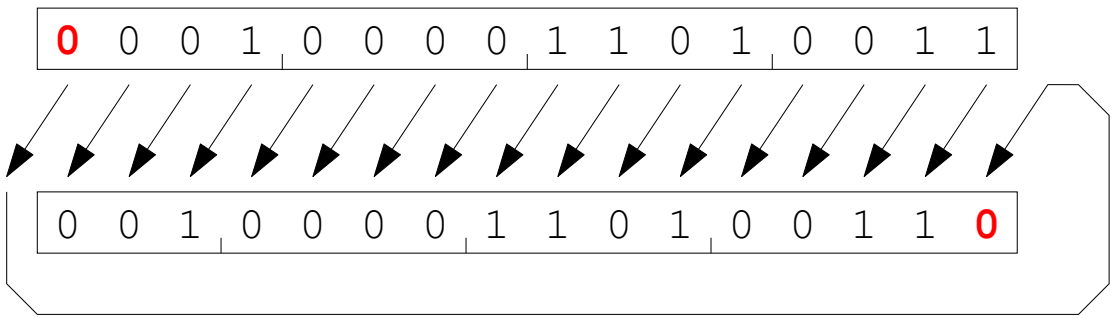
  `1111 1110` (-2)

  `1111 1111` (-1)

- C: Kompensation durch Berechnung von `(x + (1<<k)-1) >> k`
- Details: Bryant & O'Hallaron

Rotate Left (`rol`)

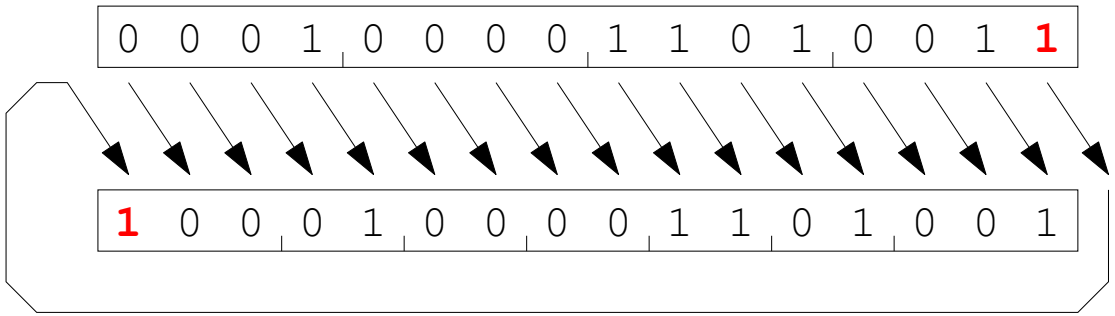
- Rotation der Binärdarstellung von x um n bits nach links
- herausgeschobene Bits werden von rechts wieder eingefügt



- 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 << 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 << 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: ntohl/htonl Byte-Swapping

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

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;
}
```

Bitcount: Tree

- Algorithmus mit Schleife ist einfach aber langsam
- schnellere parallele Berechnung ist möglich
- siehe Übungsaufgabe 4.4

- Lösungshinweise und weitere Varianten:
- siehe Knuth AoCP 4.1, Abschnitt 7.1.3
- siehe `java.lang.Integer.bitCount()`

- viele neuere Prozessoren/DSPs: eigener bitcount-Befehl

Tipps & Tricks: Rightmost bits

Integer x schreiben als $(\alpha\,0\,1^a\,1\,0^b)_2$

- beliebiger Bitstring α, eine Null,
  dann $a+1$ Einsen und b Nullen, mit $a \geq 0$ und $b \geq 0$.
- (Ausnahme: $x = -2^b$ läßt sich nicht so schreiben)

$$\overline{x} = (\overline{\alpha}\,1\,0^a\,0\,1^b)_2$$
$$x-1 = (\alpha\,0\,1^a\,0\,1^b)_2$$
$$-x = (\alpha\,1\,0^a\,1\,0^b)_2$$

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

(Knuth AoCP Vol 4.1)

Tipps & Tricks

Integer x schreiben als $(\alpha\,0\,1^a\,1\,0^b)_2$

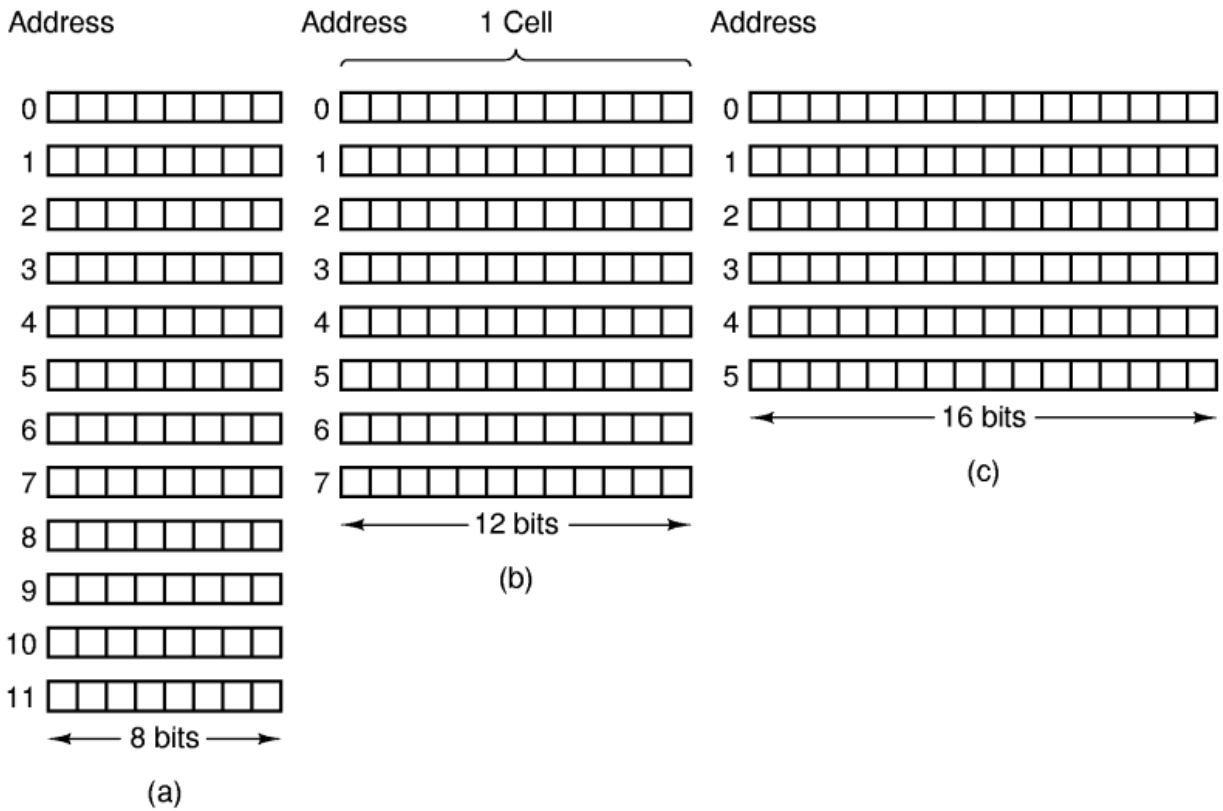
$$
\begin{aligned}
x\&(x-1) &= (\alpha\ 01^a00^b)_2 && \text{letzte 1 entfernt}\\
x\&-x &= (0^\infty00^a10^b)_2 && \text{letzte 1 extrahiert}\\
x|-x &= (1^\infty11^a10^b)_2 && \text{letzte 1 nach links verschmiert}\\
x\oplus -x &= (1^\infty11^a00^b)_2 && \text{letzte 1 entfernt und verschmiert}\\
x|(x-1) &= (\alpha\ 01^a11^b)_2 && \text{letzte 1 nach rechts verschmiert}\\
\overline{x}\&(x-1) &= (0^\infty00^a01^b)_2 && \text{letzte 1 nach rechts verschmiert}
\end{aligned}
$$

$$((x|(x-1))+1)\&x = (\alpha\ 00^a00^b)_2 \qquad \text{remove rightmost run of 1s}$$

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

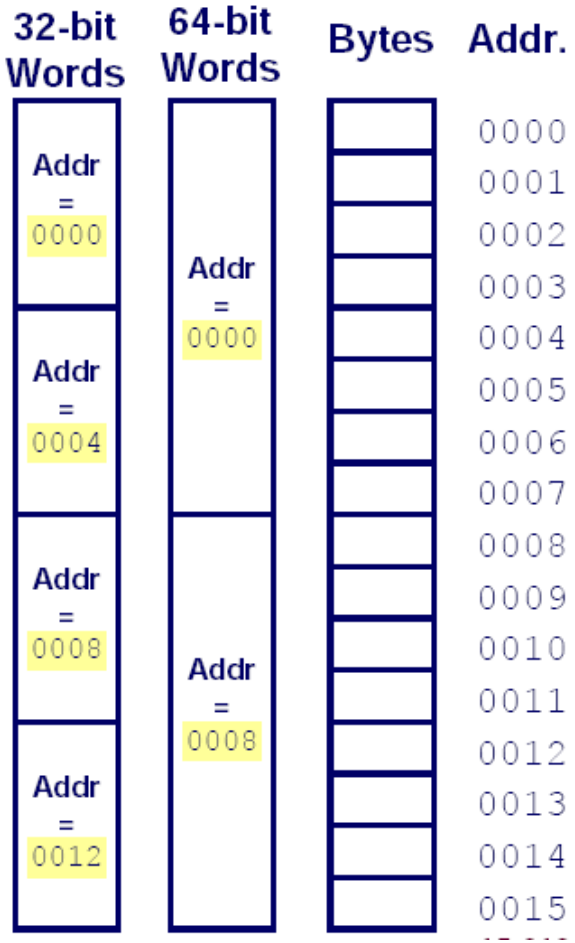
Speicher-Organisation



- Speicherkapazität: Anzahl der Worte · 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 bzw. 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

Byte-Order

- Wie sollen die Bytes innerhalb eines Wortes angeordnet werden?
- Speicher wort-basiert, Adressierung byte-basiert.
  Zwei Möglichkeiten / Konventionen:

- **Big Endian**: Sun, Mac, usw.
  das MSB (*most significant byte*) hat die kleinste Adresse
  und das LSB (*least significant byte*) die höchste

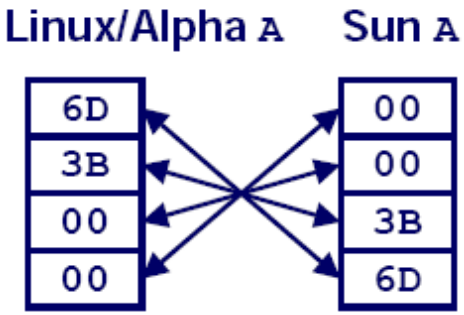
- **Little Endian**: Alpha, x86
  das MSB hat die höchste, das LSB die kleinste Adresse

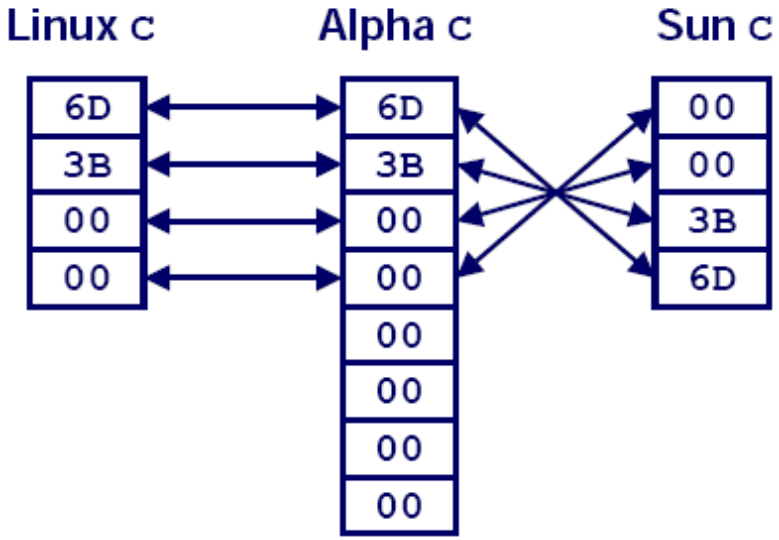
  satirische Referenz auf Gulliver's Reisen (Jonathan Swift)

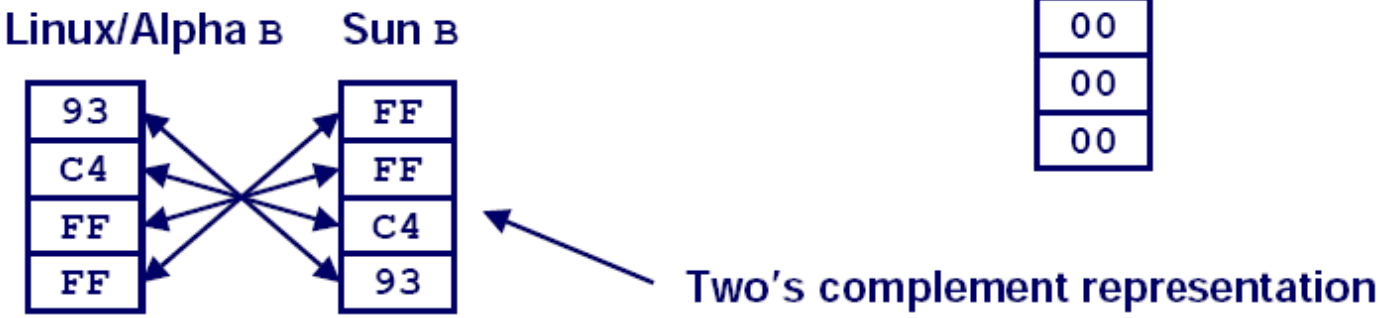
Byte-Order: Beispiel

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

Decimal:	15213			
Binary:	0011	1011	0110	1101
Hex:	3	B	6	D







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.
};
```

Beispiel: 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

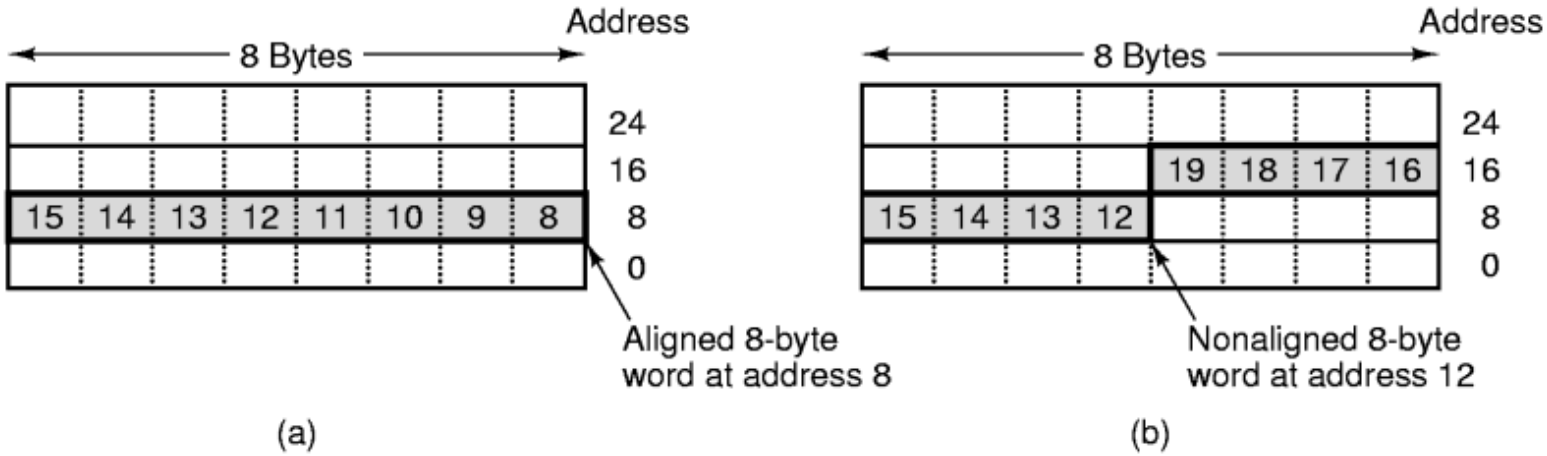
- zugehörige Hilfsfunktionen / Makros in `netinet/in.h`
  - inaktiv auf big-endian, **byte-swapping** auf little-endian
  - `ntohl(x)`: network-to-host-long
  - `htons(x)`: host-to-network-short
  - `...`

Byte-Swapping: Beispiel

Linux: /usr/include/bits/byteswap.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
...
/* Swap bytes in 32 bit value.  */
#define __bswap_constant_32(x) \
  ((((x) & 0xff000000) >> 24) \
 | (((x) & 0x00ff0000) >>  8) \
 | (((x) & 0x0000ff00) <<  8) \
 | (((x) & 0x000000ff) << 24))
```

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 (x86)
- Programmabbruch (SPARC)

Programm zum Erkennen der Byteorder

- Programm gibt Daten byteweise aus
- C-spezifische Typ- (Pointer-) Konvertierung
- Details: siehe Bryant 2.1.4 (und figures 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

- D.E.Knuth, *The Art of Computer Programming, Volume 4, Fascicle 1, Bitwise Tricks & Techniques*, Addison-Wesley 2009
- Klaus von der Heide, *Vorlesung Technische Informatik T1*, Universität Hamburg, FB Informatik, 2004