

# U16 Aufgabe 5

U16 Aufgabe 5

- Besprechung Aufgabe 3
- Notation
- AVR-Timer
- Umgang mit mehreren Interruptquellen
- Arbeiten mit einer diskreten Zeitbasis

SPiC - Ü

## Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U6.fm 2008-06-05 12.56 U16.1

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 1 Lauflicht: Ansatz 1

- Abhängig von einem Richtungszustand vor- oder rückwärts laufen
- Jeweiliger Ablauf für jede Richtung in eine Funktion ausgelagert

```
char richtung=0;
while(1) {
    if(richtung == 0) { /* Lauflicht vorwärts */
        richtung = laufe_vorwaerts();
    } else { /* Lauflicht rückwärts */
        richtung = laufe_rueckwaerts();
    }
}
```

SPiC - Ü

## Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U6.fm 2008-06-05 12.56 U16.3

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## U16-1 Besprechung von Aufgabe 3 (Lauflicht)

- Alle LEDs einschalten, dann in gleicher Reihenfolge wieder ausschalten
- Richtung durch Taster während des Ablaufs umschaltbar

SPiC - Ü

## Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U6.fm 2008-06-05 12.56 U16.2

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 1 Lauflicht: Ansatz 1

- Absolute Werte in den Ports setzen

```
char laufe_vorwaerts() {
    /* einschalten */
    PORTB = 0x04; /* rote LED */
    wait();
    PORTB = 0x06; /* gelbe LED dazuschalten */
    wait();
    PORTB = 0x07; /* grüne LED dazuschalten */
    ...
    /* ausschalten */
    PORTB = 0x03; /* rote wieder ausschalten */
    wait();
    PORTB = 0x01; /* gelbe LED wieder ausschalten */
    wait();
    PORTB = 0x00; /* alle Ampel-LEDs jetzt aus */
    ...
    return wait(); /* Richtung zurückgeben */
}
```

- Vereinfachbar? Richtung erst änderbar, wenn alle LEDs aus!

## Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U6.fm 2008-06-05 12.56 U16.4

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 1 Verbesserter Ansatz 1

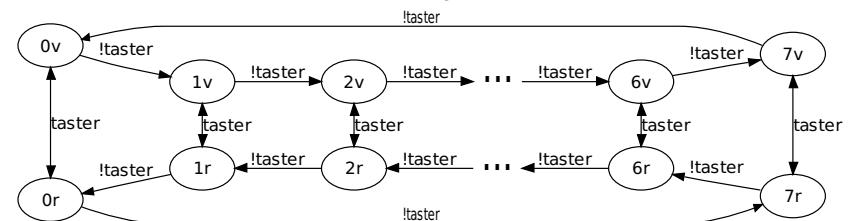
- Verwendung von *exclusive-or* (*xor*) für einzelne LEDs
  - Umschalten statt explizit ein- oder ausschalten

```
char laufe_vorwaerts() {
    /* einschalten oder ausschalten */
    PORTB ^= (1<<2); /* rote LED umschalten */
    wait();
    PORTB ^= (1<<1); /* gelbe LED umschalten */
    wait();
    PORTB ^= (1<<0); /* grüne LED umschalten */
    ...
    return wait();
}
```

- Richtung jetzt änderbar wenn alle LEDs an oder aus
- Richtung mitten im Ablauf ändern?
  - Mit diesem Ansatz nicht möglich

## 2 Ansatz 2: Zustandsautomat

- Ein Zustand pro LED und Richtung



- Tastendruck wechselt Richtung, aber nicht LED
- Verstreichen der Wartezeit ohne Tastendruck wechselt LED in aktueller Richtung

## 2 Zustandsautomat

- Direkte Umsetzung des Automaten

```
char zustand=0; /* 0-7 vorwärts, 8-15 rückwärts */

switch(zustand) {
    case 0: /* Rote LED, vorwärts */
        PORTB ^= (1<<2); zustand=wait()?8:1; break;
    ...
    case 7: /* LED an Port D, Pin 0 */
        PORTD ^= (1<<0); zustand=wait()?15:0; break;
    case 8: /* Rote LED, rückwärts */
        PORTB ^= (1<<2); zustand=wait()?15:0; break;
    case 9: /* Gelbe LED, rückwärts */
        PORTB ^= (1<<1); zustand=wait()?8:1; break;
    ...
}
```

- *wait()* in jedem Fall identisch
- Zustandsänderung berechenbar

## 2 Berechnung des Folgezustandes

```
char zustand=0; /* 0-7 vorwärts, 8-15 rückwärts */

char nr=wait();
if((nr==0&&zustand>=8) || (nr==1&&zustand<=7)) { /* Richtungsänderung */
    zustand = (zustand+8) % 16;
} else {
    if(zustand<=7) { zustand = (zustand+1)%8; } /* vorwärts */
    else { zustand = ((zustand-1) % 8)+8; } /* rückwärts */
}
switch(zustand) {
    case 0: /* Rote LED, vorwärts */
    case 8: /* Rote LED, rückwärts */
        PORTB ^= (1<<2); break;
    ...
}
```

- Vorwärts- und Rückwärtzzustände im switch identisch
- Richtungszustand in eigener Variable halbiert Wertebereich von *zustand*
  - *zustand*=0..7 beschreibt aktuelle LED-Position

## 2 Richtung in eigener Variable

- Richtung wird getrennt von der LED-Position betrachtet

```
char zustand=0; /* 0-7, aktuelle LED */
char richtung=0; /* 0=vorwärts, 1=rückwärts */

if(wait() != richtung) { /* Richtungsänderung */
    richtung ^= 1;
    zustand = (zustand+8) % 16;
} else {
    if(richtung==0) { zustand = (zustand+1)%8; } /* vorwärts */
    else { zustand = (zustand+8-1) % 8; } /* rückwärts */
}
switch(zustand) {
    case 0: /* Rote LED */
        PORTB ^= (1<<2); break;
    ...
}
```

- Eine Variante für eine gute Lösung

## 3 Pollen des Tasters in der Warteschleife

```
char wait() {
    static char richtung=0;

    unsigned int len;
    for(len=0; len<5000; len++) {
        if( (PIND & (1<<2)) == 0) { /* Taster gedrückt */

            richtung ^= 1; /* Richtung ändern */

        }
    }
    return richtung;
}
```

- Funktion kennt immer die aktuelle Richtung (wie?)
- Problem?

## 3 Probleme durch Polling

- Programm muss Flankenerkennung selbst implementieren
  - um Mehrfacherkennung desselben Tastendrucks zu verhindern
  - Loslassen des Tasters muss explizit erkannt werden
  - auch über die Dauer der Warteschleife hinweg
- Tastendrücke können leicht verloren gehen
  - wenn Tastendruck außerhalb der Warteschleife erfolgt

## 3 Pollen des Tasters in der Warteschleife

```
char wait() {
    static char richtung=0;
    static char vt=1; /* Vorheriger Tasterzustand*/
    unsigned int len;
    for(len=0; len<5000; len++) {
        if( (PIND & (1<<2)) == 0) { /* Taster gedrückt */
            if(vt==1) {
                vt=0;
                richtung ^= 1; /* Richtung ändern */
            }
        } else { /* Taster nicht gedrückt */
            vt=1;
        }
    }
    return richtung;
}
```

- Wartefunktion merkt sich vorherigen Zustand des Tasters
- Richtungsänderung nur bei fallender Flanke (des Tasters und von vt)

## 4 Alternative Lösungsmöglichkeit

- Geschickte Speicherung von Port-Adressen und Pin-Positionen in Arrays
- Zustandsvariablen analog zur ersten Variante

```
static volatile unsigned char *ports[] = {
    &PORTB,&PORTB,&PORTB,&PORTD,&PORTD,&PORTD,&PORTD
};

static unsigned char pins[] = {
    2,1,0,7,6,5,1,0
};

while(1) {
    if(wait() != richtung) { /* Richtungsänderung */
        ...
        /* LED umschalten */
        *ports[zustand] ^= (1<<pins[zustand]);
    }
}
```

- Arrays leicht um weitere LEDs erweiterbar

## U16-3 Timer-Einheiten der AVR-Mikrokontroller

- Timer: Zählregister `TCNTx`, das mit jedem Takt hochgezählt wird
  - 8-bit und 16-bit Timer
  - interner Takt mit oder ohne Prescaling oder externer Taktgeber
- Verschiedene Untereinheiten
  - Input Capture Unit (kann z.B. Rauschen filtern)
  - Output Compare Unit
- Verschiedene Betriebsmodi
- Timer des ATmega8
  - Timer0: 8-bit Timer
  - Timer1: 16-bit Timer mit Pulsbreiten-Modulator (PWM)
  - Timer2: 8-bit Timer mit Pulsbreiten-Modulator (PWM)
- Wir verwenden Timer1

## U16-2 Notation

- Einige Einstellungen werden mit mehreren Bits konfiguriert
  - logisch zusammengehörig, im Register aber nicht unbedingt benachbart
  - evtl. sogar in verschiedenen Registern!
  - die Bits müssen also *einzel*n manipuliert werden
- Um mehrere Bits zu referenzieren, verwenden wir in den Folien die Schreibweise `MakronameBitnummer:Bitnummer`
  - Beispiel: `WGM13:0` entspricht den Bits `WGM13, WGM12, WGM11, WGM10`
- Um eine bestimmte Besetzung dieser Bits zu beschreiben, schreiben wir
  - `WGM13:0 = 0b0100` für `WGM13=0, WGM12=1, WGM11=0, WGM10=0`
  - entspricht also der Binärschreibweise unter der Annahme, dass die Bits zusammengehörig sind
- Keine dieser Schreibweisen ist im C-Code gültig: Hier müssen die Makronamen für die einzelnen Bitpositionen verwendet werden
  - `WGM13` ist die Position des `WGM13`-Bits im Register

## 1 Taktung des Timers

- Einstellbar durch Prescaler (`CS12:0`-Bits im `TCCR1B`-Register)

<b>CS12</b>	<b>CS11</b>	<b>CS10</b>	<b>Taktung</b>
0	0	0	Kein Takt (Timer gestoppt)
0	0	1	I/O-Takt (kein Prescaler)
0	1	0	I/O-Takt /8
0	1	1	I/O-Takt /64
1	0	0	I/O-Takt /256
1	0	1	I/O-Takt /1024
1	1	x	Externer Taktgeber

- Die durch Hardware realisierbaren Zeitspannen sind begrenzt
  - nach unten durch die maximale Taktfrequenz des Timers
  - nach oben durch Breite des Timerregisters und minimalen Prescaler
  - längere Zeitintervalle können durch die Anwendung realisiert werden

<b>I/O-Takt: 1 MHz</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
8-bit	1us	ca. 261ms
16-bit	1us	ca. 67s

- maximale Genauigkeit erreicht man durch höchst-mögliche Taktung

## 2 Timer-Register

- Konfiguration der Timereinheit  $x=0,1,\dots$  erfolgt über Register
- Timerkontrollregister
  - ◆ TCCR $x$  (8-bit Timer)
  - ◆ TCCR $xA$  und TCCR $xB$  (16-bit Timer)
- Zählregister TCNT $x$
- Output Compare Register OCR $x$ 
  - manche Timer haben mehr als eine Output-Compare-Einheit
  - hier ist das Register für Einheit  $i=A,B,\dots$ : OCR $xi$
- Interrupt Mask Register TIMSK
- Interrupt Flag Register TIFR
- (Input Capture Register ICR $x$ )

## 3 Output-Compare-Einheiten

- Vergleichen Zählerstand (TCNT $x$ ) bei jedem Inkrement mit einem Vergleichswert (OCR $xi$ )
- Stimmen die Werte überein (Compare Match), wird das OCF $xi$ -Flag im TIFR-Register gesetzt
  - Abfrage des Flags durch Polling
  - Interruptgenerierung durch Setzen des OCIE $xi$ -Bits in TIMSK
  - Das avr-libc-Makro für den Interruptvektor lautet TIMER $x$ \_COMP $i$ \_vect
- Timer1 des ATmega8 hat zwei Output-Compare-Einheiten A und B

## 4 Timer-Betriebsmodi des Timer1 des ATmega8

- Normal Mode
  - Timer wird inkrementiert bis zum Überlauf
  - Interruptmöglichkeit bei Timerüberlauf
- Diverse PWM-Modi
- Clear Timer on Compare Match (CTC) Mode
  - Verwendet Output-Compare-Einheit A
  - Vergleichswert im *Output Compare Register 1A* OCR1A
  - Rücksetzung von TCNT1 bei *Compare Match* (TCNT1==OCR1A)
  - Interruptmöglichkeit bei *Compare Match*
- Moduskonfiguration: WGM13:2-Bits (TCCR1B) und WGM11:0-Bits (TCCR1A)
  - Normal-Mode: WGM13:0=0b0000
  - CTC-Mode: WGM13:0=0b0100

## 5 Konfigurationsbeispiel

- Mit Timer1 soll alle  $t=100ms$  ein Interrupt generiert werden
- Der I/O-Takt beträgt  $f=1$  MHz
- Erreichbar mit CTC-Modus
- Wie bestimme ich einen geeigneten Prescaler **P** und Compare-Wert **C**?
  - $C = t * f * P$
  - Beginne mit möglichst großem **P** (1, 1/8, 1/64, ...)
  - Bis **C** in das OCR $xi$ -Register passt (bei 16-bit Timer: **C**<65536)

P	Rechnung	C
1	$C = 0,1s * 1000000Hz * 1$	100000
1/8	$C = 0,1s * 1000000Hz * 1/8$	12500

- Nicht jede Zeitspanne kann genau konfiguriert werden, aber durch Nutzung des größtmöglichen Prescalers kann die Genauigkeit maximiert werden

## 5 Konfigurationsbeispiel

- Mit Timer1 soll alle  $t=100ms$  ein Interrupt generiert werden
- Auslösezeit:  $t = C / P / f$

```
/* CTC-Modus, Prescaler P=1/8, Compare Wert C=12500 */
/* (12500 / (1/8)) / 1000000Hz = 0,1s = 100ms */
TCCR1B |= (1<<CS11); /* Prescaler 1/8: CS12:0 = 0b010 */
TCCR1B &= ~((1<<CS12) | (1<<CS10));

TCCR1B &= ~(1<<WGM13); /* CTC Mode: WGM13:0 = 0b0100 */
TCCR1B |= (1<<WGM12);
TCCR1A &= ~((1<<WGM11) | (1<<WGM10))

TCNT1 = 0; /* Zählerstand zurücksetzen */
OCR1A = 12500; /* Vergleichswert setzen */
TIMSK |= (1<<OCIE1A); /* OC-Interrupt 1A aktivieren */

ISR(TIMER1_COMPA_vect) { /* tue etwas */ }
```

## U16-4 Umgang mit mehreren Interruptquellen

- Interrupts von Taster und Timer

```
cli();
while(...) {
    sleep_enable();
    sei();
    sleep_cpu();
    sleep_disable();
    cli();
}
sei();
```

- Welcher Interrupt (welches Ereignis) hat den sleep-Modus unterbrochen?
  - Bestimmung durch die Anwendung
  - Sleep-Bedingung muss in einer Schleife abgeprüft werden, da das Aufwachen evtl. durch ein Ereignis, welches nicht mit der Wartebedingung zusammenhängt, verursacht wurde

### Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U16.21  
U6.fm 2008-06-05 12.56

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## U16-5 Arbeiten mit einer diskreten Zeitbasis

- Fester Takt kann Anwendung mit diskreter Zeitbasis versorgen
  - Anwendung kann die aktuelle Zeit abfragen
  - Zeitbasis ist das Zählregister
  - für gröbere Zeitschritte eine Variable des Programms
- Takt ausreichend hoch für den Bedarf der Anwendung
  - die abfragebare Zeit ist nicht kontinuierlich
  - diskret in Stufen 1/Takt
- Schutz des Zählers vor Überlauf
  - relative Zeiten betrachten (vergangene Zeit seit einem Ereignis)
  - Zähler zurücksetzen, wenn ein neues Ereignis betrachtet wird
  - maximal benötigten Zählstand vorher bestimmen und Zähler entsprechend schützen (nicht möglich, wenn Zähler ein Zählregister ist)

### Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U16.23  
U6.fm 2008-06-05 12.56

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 1 Beispiel

- Anwendung benötigt Zeitschritte von 100ms
- Bei uns im Hardwarezähler nicht realisierbar:
  - bei Prescaler 1/1024 Schritte von etwa 1ms
  - Softwarezähler für gröbere Schritte

```
#define MAXTIME 255 /* max. Wert des 8-bit Zählers */
static volatile unsigned char time=0; /* Softwarezähler */

ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
    if(time < MAXTIME) { time++; }
}

void wait(unsigned char len) {
    time=0; /* Zeit ab jetzt betrachten */
    /* Schlafe, bis len/10 Sekunden verstrichen sind */
    ...
    while(time < len) { /* ...sleep... */ }
    ...
}
```

### Systemnahe Programmierung in C — Übungen

© Jürgen Kleinöder, Michael Stilkerich, Jens Schedel • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2008

U16.24  
U6.fm 2008-06-05 12.56

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.