



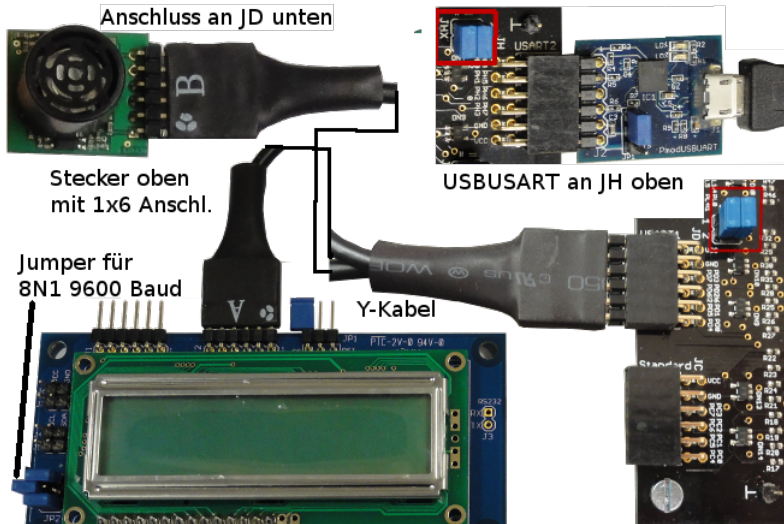
Informatikwerkstatt, Foliensatz 10

Interrupt-basierte Treiber

G. Kemnitz

Institut für Informatik, TU Clausthal (IW-F10)

30. November 2021



- Projekt »F10-comir\comir« öffnen, übersetzen und starten.
- HTerm starten.



Inhalt:

- Timer-Treiber (`comir_tmr`)
- LCD-Treiber (`comir_lcd`)
- Treiber PC-Kommunikation (`comir_pc`)
- Treiber Ultraschallsensor (`comir_sonar`)
- Testbeispiel mit allen Treibern
- Aufgaben

Interaktive Übungen:

- 1 Treiber `comir_tmr` mit Testprogramm (`test_comir_tmr`)
- 2 Treiber `comir_lcd` mit Testprogramm (`test_comir_lcd`)
- 3 Treiber `comir_pc` und `comir_sonar` mit Testprogramm für alle Treiber (`comir`)



Timer-Treiber (comir_tmr)



Der Treiber »comir_tmr«

Der Timer-Treiber stellt eine Systemuhr und vier Timer bereit. Damit sollen Abläufe gesteuert werden, wie:

- Fahre maximal 10 s geradeaus,
- wenn der Sensorwert für 1 s größer 25, dann breche Fahrt ab, ...

Öffentliche Funktionen:

- 1 Lesen der Zeit seit Programmstart in 100 ms-Schritten:

```
uint32_t tmr_get();
```

- 2 Start eines Timers:

```
void tmr_start(uint16_t tw, uint8_t nr);
```

(tw – Zeit in 100 ms–Schritten; nr \in {0, 1, 2, 3}–Timer-Nr.).

- 3 Lesen der Restzeit in 100 ms-Schritten:

```
uint16_t tmr_restzeit(uint8_t nr);
```



Private Daten und Initialisierungsfunktion

■ Private Daten:

```
uint32_t tmr_ct;           //Zähler Programmzeit
uint16_t tmr_array[4];    //4 Wartezeitähler
```

■ Initialisierung: Timer 1, CTC-Modus, Zähltakt $\frac{1}{32}$ MHz, OCR1A als Vergleichsregister, Ereignisperiode: $\frac{32 \cdot 3125}{1 \text{ MHz}} = 0,1 \text{ s}$:

```
#define WGM_CTC    0b0100 //Clear Timer on Compare
#define CS256     0b100   //Vorteiler 256
void tmr_init(){
    TCCR1A = WGM_CTC & 0b11; //Betriebsart & Zähltakt
    TCCR1B = (WGM_CTC & 0b1100) << 1 | (CS256 & 0b111);
    OCR1A  = 3125;           //Vergleichswert für 0,1s
    tmr_ct = 0;             //Laufzeitähler löschen
    TIMSK1 |= 1 << OCIE1A; //Vergleichs-Int. A ein
    for(uint8_t idx, idx < 4; idx++){
        tmr_array[idx] = 0;
    }
}
```



Interruptroutine

Die ISR inkrementiert alle 100 ms den Programmzeitähler und dekrementiert die Wartezeitähler der Kanäle, die nicht null sind:

```
ISR(TIMER1_COMPA_vect){ //Vergleichs-Interrupt
    uint8_t idx;         //alle 100 ms
    tmr_ct++;           //Programmzeit zählen
    for (idx=0; idx<4; idx++) //für alle Wartezeit.
        if (tmr_array[idx] //wenn ungleich null
            tmr_array[idx]--; //abwärts zählen
    }
```



1. Timer-Treiber (comir_tmr)

Zugriffsmethoden für das Anwenderprogramm

```
uint32_t tmr_get(){           //Zeitzähler lesen
    return tmr_ct;
}
```

Für vier unabhängige Timer-Kanäle:

```
void tmr_start(uint16_t tw, uint8_t nr){//Start
    tmr_array[nr & 0b11] = tw;//Wartezeit schreiben
}

uint16_t tmr_restzeit(uint8_t nr){//Lesen der
    return tmr_array[nr & 0b11];    //Restzeit
}
```

Was ist an den Zugriffsmethoden falsch? Werden Daten bearbeitet, die die ISR möglicherweise verändert?



1. Timer-Treiber (comir_tmr)

■ Zugriff mit unterbrechungsfreien Sequenzen:

```
void tmr_start(uint16_t tw, uint8_t nr){
    uint8_t tmp = TIMSK1;    //Int.-Zustand sichern
    TIMSK1 &= ~(1<<OCIE1A); //Vergleichs-Interrupt A aus
    tmr_array[nr & 0b11] = tw; //Wartezeit schreiben
    TIMSK1 = tmp;           //Int.-Zustand wiederherst.
}

uint16_t tmr_restzeit(uint8_t nr){ //Lese Restzeit
    uint8_t tmp = TIMSK1;    //Int.-Zustand sichern
    TIMSK1 &= ~(1<<OCIE1A); //Vergleichs-Interrupt A aus
    uint16_t z = tmr_array[nr & 0b11]; //Restzeit lesen
    TIMSK1 = tmp;           //Int.-Zustand wiederherst.
    return z;
}



uint32_t tmr_get(){ //Zeitähler lesen
    uint8_t tmp = TIMSK1;    //Int.-Zustand sichern
    TIMSK1 &= ~(1<<OCIE1A); //Vergleichs-Interrupt A aus
    uint32_t z = tmr_ct;     //Uhrzeit zurückgeben
    TIMSK1 = tmp;           //Int.-Zustand wiederherst.
    return z;
}
```



1. Timer-Treiber (comir_tmr)

Testbeispiel für der Treiber



- Timer-Kanal 0 soll die LED an PJ7 alle 0,7 s und Timer-Kanal 1 soll die LED an PJ6 alle 1,2s invertieren.
 - Auf den LEDs an PJ0 bis PJ4 soll der Zeitwert in Sekunden ausgegeben werden.
-
- Projekt »F10-3_test_comir_tmr\test_comir_tmr« öffnen.
 - Übersetzen. Start im Debugger . Continue .
 - LED-Ausgaben kontrollieren.

Das Testprogramm:

```
int main(){
    tmr_init();           //Timer-Treiber initialisieren
    DDRJ = 0xFF;         //Port J LED-Ausgabe
    sei();                //Interrupts global ein
    while(1){            //Beginn Endlosschleife
```



1. Timer-Treiber (comir_tmr)

■ Ablauf in der Endlosschleife:



```
if (!tmr_restzeit(0)){//wenn Kanal 0 abgelaufen
    PORTJ ^=0x40;      //LD6 invertieren
    tmr_start(12, 0); //Kanal 0 mit 1,2 s init.
}
if (!tmr_restzeit(1)){//wenn Kanal 1 abgelaufen
    PORTJ ^=0x80;      //LD7 invertieren
    tmr_start(7, 1);  //Kanal 1 mit 0,7 s init.
}

//Zeit in s auf LED[4:0] ausgeben
uint8_t tmp = (tmr_get()/10) & 0x1F;
PORTJ = (PORTJ & ~0x1F) | tmp;
} //Ende der Endlosschleife
```

Anregungen zum Experimentieren:

- Die anderen Timer-Kanäle mitnutzen.
- Komplexere Blinksequenzen erzeugen.
- Schalter und LED-Module mit einbeziehen, ...



LCD-Treiber (comir_lcd)

Der Treiber »comir_lcd«



Zeichen

Anz. Bad-Int.

andere Fehlerz.

Zahlenwerte

Das LC-Display ist zur Statusausgabe vorgesehen:

- Programmzustände,
- Sensorwerte,
- Eingaben,
- Fehlerzähler, ...

Die ISR als Ersatz der Schrittfunktion sendet zeichenweise zyklisch einen als private Daten gespeicherten Text an das LC-Display.



2. LCD-Treiber (comir_lcd)

Dieselben öffentlichen Funktionen wie Treiber mit Schrittfunktion:

```
//Fehlerzähler erhöhen
void lcd_incErr(uint8_t pos);
//Einzelzeichenausgabe
void lcd_disp_chr(uint8_t c, uint8_t pos);
//Ausgabe eines Textes der Länge len
void lcd_disp_str(uint8_t *str, uint8_t pos,
                  uint8_t len);

//Ausgabe eines Zahlenwertes
void lcd_disp_val(uint32_t val, uint8_t pos,
                  uint8_t len);
```

Änderungen zur Umstellung auf Interrupts:

- Aktivierung Sendepuffer-frei-Interrupt am Ende der Initialisierungsfunktion.
- ISR statt Schrittfunktion.
- BADISR mit dem letzten Anzeigezeichen als Fehlerzähler.



2. LCD-Treiber (comir_lcd)

Dieselben privaten Daten:

```
uint8_t LCD_dat[32]; //Ausgabertext
uint8_t lcd_idx;     //Indexvariable
```

Sendepuffer-frei-Interrupt ein am Ende der Initialisierung:

```
void lcd_init(uint8_t *text){//LCD-Treiber init.
... //wie in comsf USART1 8N1, Sender ein
... //LC-Display initialisieren
... // Init-Text in LCD_dat[32] kopieren
UCSR1B |= (1<<UDRIE1);
}
```

Puffer-Frei-ISR: Zirkulares Versenden des Pufferinhalts:

```
ISR(USART1_UDRE_vect){ //Puffer-frei ISR
  UDR1 = LCD_dat[lcd_idx]; //schicke nächstes
  lcd_idx++; //Zeichen
  //nach dem letzten folgt das erste Zeichen
  if (lcd_idx>=32) lcd_idx = 0;
}
```

2. LCD-Treiber (comir_lcd)



Zeichen

Anz. Bad-Int.

andere Fehlerz.

Zahlenwerte

Die Bad-ISR zur Erhöhung des letzte Anzeigezeichen (unten rechts)
»als Fehlerzähler«:

```
ISR(BADISR_vect){           // Fehlerzähler (letztes
    lcd_incErr(31);         // Zeichen) hochzählen
}
```

Falls das zugehörige Zeichen wie im Bild nicht ».« bleibt, sind
unbehandelte Interrupts aufgetreten (Programmierfehler).



2. LCD-Treiber (comir_lcd)

Funktionstest

Definition des Anzeigeformats für das nachfolgende Testbeispiel:



```
#define INITSTR "W0:.._x_W1:.._x_Zeit:....s_E:..."
// Zeichenpositionen für Ausgaben
#define LCP_W0T 3 // Restzeit Timer-Kanal 0
#define LCP_W0Z 6 // Zustand Timer-Kanal 0
#define LCP_W1T 11 // Restzeit Timer-Kanal 1
#define LCP_W1Z 14 // Zustand Timer-Kanal 1
#define LCP_ZEIT 21 // Zeit seit Programmstart in s
#define LCP_FCT1 29 // Fehlerzähler (ungenutzt)
#define LCP_FCT2 30 // Fehlerzähler (ungenutzt)
#define LCP_BISR 31 // Fehlerzähler Bad-ISR
```



Initialisierungsteil Funktionstest

```
int main(void){
  uint8_t z0='0', z1='0'; //Ausgabezustand
  tmr_init();             //Treiber initial.
  lcd_init((uint8_t*)INITSTR);
  // nicht behandelter Interrupt ca. alle 8 s
  TCCR4B = 0b101;        //Tmr4, Normalmod.,  $f_{ct} = \frac{8 \text{ MHz}}{1024}$ 
  TIMSK4 = 1<<TOIE4;    //Freigabe Überlaufinterrupt
  sei();                 //Interrupts global ein
```

Zur Nachbildung zählbarer Fehlfunktionen werden mit Timer 4 periodisch Interrupts erzeugt, für die es keine ISR gibt.





Endlosschleife

```
while(1){
  if (!tmr_restzeit(0)){//wenn Kanal 0 abgelaufen
    tmr_start(31, 0);    //Kanal 0 mit 3,1 s init.
    lcd_disp_chr(z0, LCP_W0Z);
    z0 ^=1;              //'0'(0x30) <=> '1'(0x31)
  }
  if (!tmr_restzeit(1)){//wenn Kanal 1 abgelaufen
    tmr_start(17, 1);   //Kanal 1 mit 1,7 s init.
    lcd_disp_chr(z1, LCP_W1Z);
    z1 ^=1;              //'0'(0x30) <=> '1'(0x31)
  }
  //Zeitwerte immer aktualisieren
  lcd_disp_val(tmr_restzeit(0),LCP_W0T, 2);
  lcd_disp_val(tmr_restzeit(1),LCP_W1T, 2);
  lcd_disp_val(tmr_get()/10, LCP_ZEIT, 4);
} //Ende der Endlosschleife
```

Ausprobieren



- LCD-Modul mit Y-Kabel an JD oben anstecken. JDx »gekreuzt (=)«.
- LCD an JD unten. LCD-Jumper-Stellungen siehe Bild.
- Projekt »F10-test_comir_lcd\test_comir_lcd« öffnen.
- Übersetzen. Start im Debugger . Continue .
- Ausgabe kontrollieren.



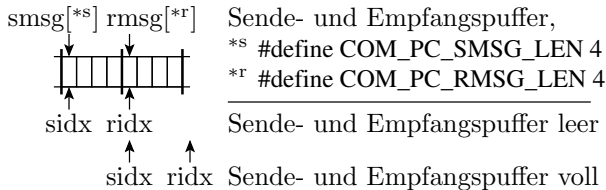


Treiber PC-Kommunikation (comir_pc)



Der Treiber für die PC-Kommunikation (comir_pc)

- Nutzung Sender und Empfänger von USART2.
- Erwartet Modul PmodUSBUSART an Port H.
- Private Daten und Funktionsweise:



Initialisierungs-, Sende- und Empfangsfunktion wie »comsf_pc«:

```
void com_pc_init(); //Initialisierung
uint8_t com_pc_get(uint8_t *msg); //Empfang
uint8_t com_pc_send(uint8_t *msg); //Senden
uint8_t com_pc_last_byte(); //letztes empfangenes Byte
```



ISR statt Schrittfunktion

Ersatz der Schrittfunktion durch je eine ISR für Empfang und Senden:

```
ISR(USART2_RX_vect){           //ISR Empfang
  last_byte = UDR2;           //Byte lesen
  if (ridx < COM_PC_RMSG_LEN){//wenn Pufferplatz frei
    rmsg[ridx] = last_byte;    //Byte in Puffer
    ridx++;                    //Index erhöhen
  }
}
ISR(USART2_UDRE_vect){        //Sendepuffer-frei-ISR
  if (sidx < COM_PC_SMSG_LEN){//wenn Sendepuffer leer
    UDR2 = smsg[sidx];        //nächsten Wert senden
    sidx++;                    //Sendeindex erhöhen
  }
  else {                       //sonst
    UCSR2B &= ~(1<<UDRIE2);  //Puffer-frei-Int. aus
  }
}
```



Weitere ISR für Empfangs-Timeout

Wenn Empfangsdaten unvollständig und Timer 3 Vergleichswert »OCR3A« erreicht, löschen der bisher empfangenen Daten:

```
ISR(TIMER3_COMPA_vect){ //ISR Empfangs-Timeout
  if ((ridx>0) && (ridx < COM_PC_RMSG_LEN)){
    ridx = 0; //Puffer löschen
    ...; //Fehlerzähler erhöhen
  }
  TCCR3B = 0; //Zähltakt aus
}
```

Erweiterung der Empfangs-ISR:

```
ISR(USART2_RX_vect){ //ISR Empfang
  < wenn Puffplatz frei Datenübernahme>
  if (ridx < COM_PC_RMSG_LEN){//wenn Empf. unvollständig
    TCNT3 = 0; //Rücksetzen Zähler 3
    TCCR3B = 0b11; //Zähltakt clk/64 ein
    TIMSK3 |= 1<<OCIE3A; //Vergleichs-Int. A ein
  }
  else TIMSK3&=~(1<<OCIE3A); //sonst Vergleichs-Int. A aus
}
```




3. Treiber PC-Kommunikation (comir_pc)

Private Daten:

```
#define COM_PC_RMSG_LEN 4      // Empfangspuffergröße
#define COM_PC_SMSG_LEN 4      // Sendepuffergröße
uint8_t rmsg[COM_PC_RMSG_LEN]; // Empfangspuffer
uint8_t smsg[COM_PC_SMSG_LEN]; // Sendepuffer
uint8_t sidx, ridx;           // Puffer-Index
uint8_t last_byte;           // letztes empf. Byte
uint8_t com_pc_err_ct;       // Fehlerzähler*1
```

(*1 alternativ Nutzung Fehlerzähler LCD-Treiber). Init.-Funktion:

```
void com_pc_init(){
    ... //Initialisierung und Einschalten USART2
    ridx = 0; sidx = 0; // Empfang- und Sendepuff. leer
    UCSR2B |= (1<<RXCIE2); // Empfangs-Interrupt ein*2
    TCNT3 = 0; // Zähler 3 zurücksetzen
    TCCR3B = 0; // Zähltakt aus
    OCR3A = 12500; // Empf.-Timeout 100 ms
}
```

*2 Der Sendepuffer-frei-Interrupt darf nur eingeschaltet sein, wenn Daten zum Senden da sind. Sonst startet nach jedem Maschinenbefehl die Puffer-frei-ISR und verbraucht > 90% der Rechenleistung.



ISR-Sperren in öffentlichen Funktionen

Öffentliche Funktionen, die private ISR-Daten mit mehr als einem Maschinenbefehl bearbeiten, darf die ISR nicht unterbrechen (Gefahr ungewollter Datenveränderungen).

```
uint8_t com_pc_get(uint8_t *msg){
    uint8_t UCSR2B_bak = UCSR2B; //ISR-Freigabe speichern
    UCSR2B &= ~(1<<RXCIE2); //Empfangs-Interrupt aus
    if (ridx >= 4){ //wenn der Puffer voll
        for (ridx=0; ridx<4;ridx++) msg[ridx] = rmsg[ridx];
        ridx = 0; //Empfangspuffer leeren
        UCSR2B = UCSR2B_bak; //ISR-Freigabe rücksetzen
        return 1; //Rückspr. "Daten übergeben"
    }
    UCSR2B = UCSR2B_bak; //ISR-Freigabe rücksetzen
    return 0; //Rückspr. "keine Daten"
}
```

ISR-Sperre erforderlich ab Test, ob Daten da, bis Datenübergabe.



3. Treiber PC-Kommunikation (comir_pc)

Send-Funktion:

```
uint8_t com_pc_send(uint8_t *msg){
    uint8_t UCSR2B_bak =UCSR2B;//Int.-Freig. speichern
    UCSR2B &= ~(1<<UDRIE2); //Puffer-frei-Int. sperren
    if (sidx >= 4){           //wenn Puffer versendet
        for (sidx=0; sidx<4;sidx++)
            msg[sidx] =msg[sidx];//Nachricht übergeben
        sidx = 0;             //Sendeindex auf 1. Zeichen
        UCSR2B = UCSR2B_bak; //Int.-Freig. rücksetzen
        return 1;            //Rückspr. "Dat. übernomm."
    }
    UCSR2B = UCSR2B_bak;    //Int.t-Freig. rücksetzen
    return 0;               //Rücksprung ohne Daten-
                            //übernahme
}
```

- Eine Unterbrechung durch die Puffer-frei-ISR an einer zufälligen Stelle würde zu einem inkonsistenten Treiberzustand führen.
- ISR am Ende von *jedem* Abarbeitungspfad wieder freigeben.



3. Treiber PC-Kommunikation (comir_pc)

Rückgabe »letztes Byte«: Zugriff nur mit einem Maschinenbefehl auf private Daten (ein Byte lesen). ISR-Sperre nicht zwingend:

```
uint8_t com_pc_last_byte(){
    return last_byte;
}
```

Fehlerzähler lesen und löschen: Zugriff mit mehr als einen (Maschinen-) Befehl auf private Daten. ISR-Sperre notwendig:

```
uint8_t com_pc_err(){
    uint8_t UCSR2B_bak = UCSR2B; //Freig. speichern.
    UCSR2B &= ~(1<<UDRIE2); //Puffer-frei-Int. aus
    if (com_pc_err_ct){ //wenn Fehlerzähler>0
        com_pc_err_ct = 0; //Fehlerzähler löschen
        UCSR2B = UCSR2B_bak; //Int.t-Freig. rücksetzen
        return 1; //Rückkehr mit 1 (wahr)
    } //sonst
    UCSR2B = UCSR2B_bak; //Int.t-Freig. rücksetzen
    return 0; //Rückkehr mit 0 (falsch)
}
```



Treiber Ultraschallsensor (comir_sonar)



Der Treiber »comir_sonar«

Bereitstellung Sonar-Abstandswerte.

- Gegenüber »comsf_sonar« schaltet die Init-Funktion den Empfangs-Interrupt frei:

```
void sonar_init(){
    ...//Initialisierung USART1: 8N1, 9600 Baud
    UCSR1B|=(1<<RXEN1);//Empfänger ein
    DDRD   |= 1<<PD5;   //PD5 Ausgang
    PORTD  |= 1<<PD5;   //Sonar einschalten
    snr_state =0;      //Empfangsautomat initial.
    UCSR1B|= 1<<RXCIE1;//Empfangs-Interrupt ein
}
```

- Achtung: Der Sendeteil von USART1 wird vom LCD-Treiber genutzt. Beim Einschalten von Empfänger und Empfangs-Interrupt Sender und Sende-Interrupt anlassen (»|=« statt »=«).



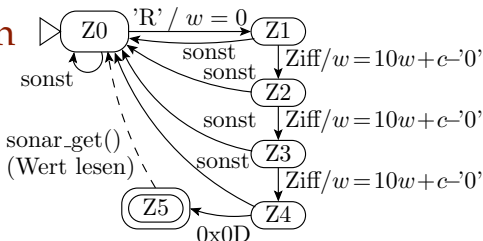
4. Treiber Ultraschallsensor (comir_sonar)

Aus der Schrittfunktion wird die ISR

```

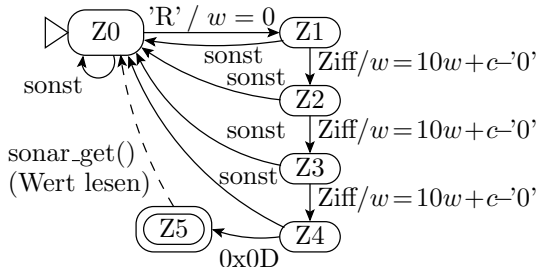
uint16_t snr_val;
uint8_t snr_state;
ISR(USART1_RX_vect){
    uint8_t dat = UDR1;
    if (snr_state==0 && dat=='R'){
        snr_state = 1;           //Kante von Z0 nach Z1
        snr_val = 0;
    } // "Ziff"-Kanten
    else if (snr_state>0 && snr_state<4
             && dat>='0' && dat<='9'){
        snr_val = (snr_val*10) + (dat-'0');
        snr_state++;
    } ...                       //Kante von Z4 nach Z5
}

```



Im Bild ist w »snr_val« und der Zustand »snr_state«.

4. Treiber Ultraschallsensor (comir_sonar)



```

else if //Kante von Z4 nach Z5
(snr_state==4 && dat==0x0D){snr_state = 5;}
else if (snr_state<5)
snr_state = 0; // "sonst"-Kanten
}
  
```




Get-Funktion mit ISR-Sperre

```
uint8_t sonar_get(uint16_t *sptr){
    uint8_t UCSR1B_bak = UCSR1B; //Int.-Freig. speich.
    UCSR1B &=~(1<<RXCIF1); //Empfangs-Interrupt aus
    if (snr_state>4) { //wenn neuer Wert da,
        *sptr = snr_val; //ausgeben
        snr_state = 0; //Zustand zurücksetzen
        UCSR1B = UCSR1B_bak; //Int.-Freigabe wiederherst.
        return 1; //Rückspr. "Daten übergeben"
    }
    UCSR1B = UCSR1B_bak; //Int.-Freigabe wiederherst.
    return 0; //Rückspr. "keine Übergabe"
}
```

- Der Treiber beginnt erst mit dem Empfang eines neuen Wertes, nach dem der zuvor empfangene Sonarwert abgeholt ist.
- Aufgabe zum selber lösen: Treiber so umschreiben, dass auch dann der letzte vom Sensor übertragene Wert zurückgegeben wird, wenn zwischenzeitlich nicht alle Werte abgeholt werden.

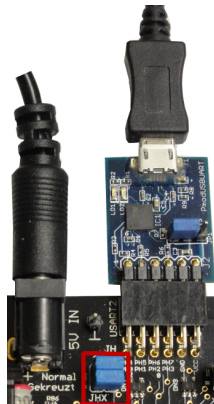


Testbeispiel mit allen Treibern



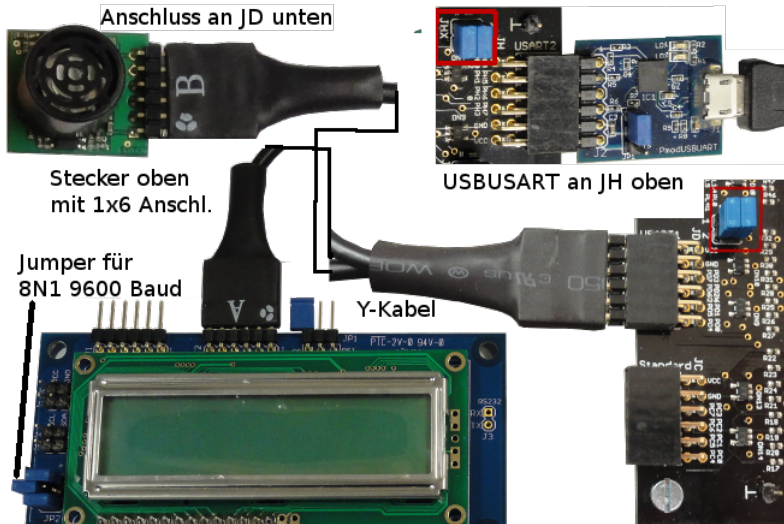
Schaltung vorbereiten

- Spannung ausschalten.
- Jumper JHX und JDX »gekreuzt (=)«.
- PModUSBUSART an MySys JH oben.
- PModUSBUSART mit PC verbinden.
- Y-Kabel Doppel MySys JD.
- Y-Kabel Einzel oben (A) an LCD J2 .
- Auf LCD Jumper JP2 MD0 und MD2 (8N1, 9600 Baud).
- Y-Kabel Einzel unten (B) an PmodMAXSONAR.
- Spannung einschalten.





5. Testbeispiel mit allen Treibern

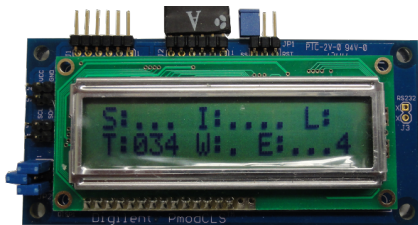


- Projekt »F10-comir\comir« öffnen, übersetzen und starten.
- HTerm starten.



5. Testbeispiel mit allen Treibern

Ausgaben nach Programmstart



- S: Sonar-Abstandswert (Treiber »comir_sonar«).
 - I: 4-Zeichen-Nachricht vom PC (Treiber »comir_pc«).
 - L: letztes vom PC empfangenes Byte (Treiber »comir_pc«).
 - T: Zeit seit Programmstart in s (Treiber »comir_timer«).
 - W: Wartezeit bis zur Ausgabe (Treiber »comir_timer«).
 - E: Fehlerzähler (Treiber »comir_lcd«).
- Programm wartet auf eine 4 Byte-Nachricht.
 - Wartet dann 8 s mit Count-Down-Anzeige.
 - Schickt dann den Sonar- und zwei Zählwerte zurück.



Ausprobieren



- HTerm 8N1 9600 Baud, Connect.
- Zeichenfolge »asdf« schicken.
- Kontrolle Nachrichtanzeige LCD.
- Weitere Einzelzeichen schicken und Kontrolle »letztes empfangenes Byte«.
- Countdown von 8 auf 0 s und HTerm-Zeichenempfang abwarten. Kontrolle des im HTerm empfangenen 2-Byte-Sonarwerts (in Zoll), des 1-Byte-Sonar-Zählerwerts und des 1-Byte Nachrichtenzählers auf Plausibilität.

Fehlerzähler:

- 1 Versendefehler (nicht künstlich erzeugt).
- 2 Empfangs-Timout: Inkrement bei Nachrichtenlänge $\neq 4$.
- 3 Testzähler: Inkrement bei jedem Nachrichtenempfang.
- 4 Bad-ISR-Zähler: Inkrement ca. alle 8 s (Tmr4-Überlauf).



Walk-Through durch das Testprogramm



```
S:... I:asdf L:f
T:073 W:0 E:..18
```

Konstanten für die Anzeigen:

```
#define INITSTR "S:..._I:...._L:.T:..._W:.._E:...."
#define LCP_SONAR 2 //Sonarwert
#define LCP_RMSG 8 //Eingabedaten
#define LCP_LBYTE 15 //letztes empf. Byte
#define LCP_TIME 18 //Zeitanzeige
#define LCP_WAIT 24 //Wartezeit
//Anzeigepositionen für Fehlerzähler
#define ERR_SEND 28 //Sendeversagen
#define ERR_ETO 29 //Empfangs-Timeout
#define ERR_TEST 30 //zählt Empfangsnachrichten
//Zeichen 31 ist der Zähler falsche Interrupts
```



5. Testbeispiel mit allen Treibern

Initialisierung:

```
int main(void){
    uint8_t state='E';    //Programmzustand {E,V,A}
    uint16_t srval;      //Sonarwert
    uint8_t sn_ct,msg_ct;//Sonarwert,Nachrichtenzähler
    sonar_init();        //alle Hintergrundprozesse
    com_pc_init();       //initialisieren
    lcd_init((uint8_t*)INITSTR);
    tmr_init();
    //nicht behandelte Interrupt ca. alle 8 s
    TCCR4B = 0b101;      //Tmr 4, Normalmodus,
    TIMSK4 = 1<<TOIE4;  //VT 1024, Überlaufs-Int. ein
    sei();                //Interrupts global freigeben
    while(1) {
        ...
    }
}
```




5. Testbeispiel mit allen Treibern

Hauptschleife:

```
if (sonar_get(&snrval)){//wenn neue Sonardaten
//Sonarwert auf LCD ausgeben
lcd_disp_val(snrval, LCP_SONAR, 3);
sn_ct++;           //Sonarwerte zählen
}
if (state=='E'){           //wenn Zust. "Eingabe"
if (com_pc_get(mrmsg)){//wenn neue PC-Nachr.
//diese übernehmen, auf LCD ausgeben
lcd_disp_str(mrmsg, LCP_RMSG, COM_PC_RMSG_LEN);
lcd_incErr(LCP_TESTERR);//Testfehlerzähler ++
msg_ct++;
tmr_start(80, 0); //Tmr-Kanal 0 Start für 8s
state = 'V';      //Folgezust. "Verarbeitung"
}
}
else if (state=='V'){//wenn Zust. "Verarbeiten"
//Ausg. Wartezeit bis zur nächsten EA-Operation
... //Fortsetzung nächste Folie
```



5. Testbeispiel mit allen Treibern

```
lcd_disp_val(tmr_restzeit(0)/10, LCP_WAIT, 1);
if (!tmr_restzeit(0))
    state = 'A';           //Folgezustand "Ausgabe"
}
else{                     //wenn Zustand "Ausgabe"
    msmsg[0] = snrval >> 8; //Sensor- und Zählwerte
    msmsg[1] = snrval & 0xFF; //byteweise in die Send-
    msmsg[2] = sn_ct;       //nachricht schreiben
    msmsg[3] = msg_ct;
    if (!com_pc_send(msmsg)) // "string" versenden, wenn
        lcd_incErr(ERR_SEND); //erfolglos, Fehlerz. ++
    state = 'E';           //Folgezustand "Eingabe"
}
//immer letztes empf. Byte auf LCD schreiben
lcd_disp_chr(com_pc_last_byte(), LCP_LBYTE);
//immer Zeit seit Programmstart in s ausgeben
lcd_disp_val((tmr_get()/10) % 1000, LCP_TIME, 3);
if (com_pc_err())         //Wenn Empfangs-Timeout
    lcd_incErr(ERR_ET0);  //Fehlerzähler erhöhen
}
```

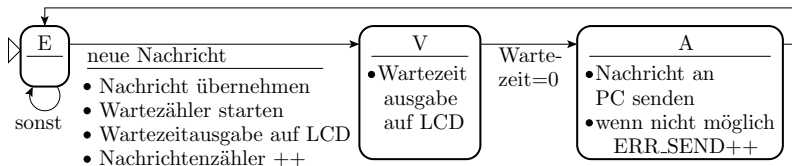
Fragen zum Testprogramm



- 1 Beschreiben Sie den Zustandsablauf des Testprogramms durch einen Automatengraphen.
- 2 Was passiert, wenn der PC die nächste 4-Byte-Nachricht sendet, bevor der 8-s-Timeout abgelaufen ist?
- 3 Wird der Timeout-Ausgabewert im Programmzustand 'A' (Ausgabe) gelöscht?
- 4 Wie könnte man zum Testen einen Sendefehler provozieren?

Lösung

1 Zustandsgraph des Testprogramms:



- Die nächste während der 8 s-Wartezeit vom PC gesendete Nachricht wird vom Treiber angenommen, weitere nicht.
- Restzeitähler und -ausgabe sind im Zustand »A« null und brauchen deshalb nicht gelöscht zu werden.
- Ein Sendefehler lässt sich provozieren, indem pro Paket nicht genau vier Zeichen gesendet werden.



Zusammenfassung

Behandelt wurden die Treiber:

- comir_tmr: Bereitstellung von 4 Wartefunktionen für nebenläufige Aktivitäten und eine Systemuhr.
- comir_lcd: Bereitstellung von Anzeigefunktionen für das LCD, vorgesehen für Test- und Statusausgaben des zu entwickelnden Fahrzeuges.
- comir_pc: Bereitstellung einer Sende- und einer Empfangsfunktion für Datenpakete mit einer bei der Übersetzung festzulegenden Größe.
- comir_sonar: Bereitstellung sonarer Abstandswert.

Auf nachfolgenden Foliensätze werden weitere Treiber bzw. Testprogramme, aus denen Treiber zu entwickeln sind, behandelt:

- Motorensteuerung, Wegemessung, Motorregelung,
- Joystick, IR-Abstandssensor und Bodensensor.



Aufgaben



Aufgabe 10.1: Testbeispiele aus der Vorlesung

Ausprobieren der Testbeispiele für

- den Timer-Treiber,
- den LCD-Treiber und
- für alle Treiber zusammen.



Aufgabe 10.2: Unabhängige LED-Blinksequenzen

Schreiben Sie unter Nutzung der 4 Kanäle des Treibers »comir_tmr« ein Programm, das die folgenden LEDs an Port J mit nachfolgenden Periodendauern blinken lässt:

LED	0	1	2	3
Periode	0,6s	1,4 s	2,1 s	3,4 s

Hinweis: Das Hauptprogramm hat in der Endlosschleife folgende Struktur:

- wenn Timer-Kanal 0 abgelaufen, invertiere LED 0 und starte Timer-Kanal 0 erneut mit ...
- wenn Timer-Kanal 1 abgelaufen, invertiere LED 1 und starte Timer-Kanal 1 erneut mit ..., etc.



Aufgabe 10.3: Gepulste Signalausgabe

Schreiben Sie unter Verwendung der Treiber »comir_tmr« und comir_pc« ein Program, das in der Endlosschleife auf ein Byte vom PC wartet und nach Empfang dessen Wert als Blinksequenz auf LED 0 beginnend mit Bit 0 wie folgt ausgibt:

- Bitwert 0: 0,2 s leuchten und 0,4 s aus,
- Bitwert 1: 0,4 s leuchten und 0,2 s aus.



Aufgabe 10.4: Test mit Logikanalysator

Visualisierung der Zeitverläufe im Testprogramm »test_comir« (ab Folie 35) mit dem USB-LOGI.

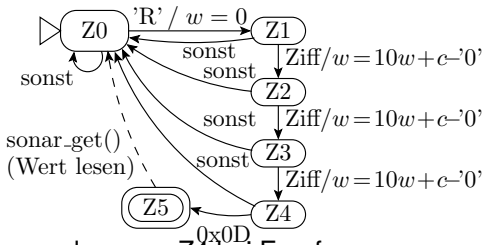
- Anschluss CH0 bis CH7 des USB-Logi an JA (PA0 bis PA7).
- Testprogramm und Treiber so ändern, dass jede ISR und jedes Unterprogramm eine Nummer ≥ 2 ausgibt und in »main« für den Aufzeichnungsbeginn das aufzuzeichnende Byte von 0b0000 0000 nach 0b0000 0001 wechselt.
- Aufzeichnungstaktperiode ca. 1 μ s (5 bis 10 Maschinenbefehle).

Aufgabe 10.5: Sonar-Treiber umschreiben

Der Treiber »comir_sonar« übernimmt immer erst den nächsten Sonar-Wert, wenn der vorhergehende mit »get_sonar()« abgeholt ist. Ändern Sie die ISR des Treibers so, dass »get_sonar()« immer den zuletzt vollständig übertragenen Wert zurückgibt.

Hinweise:

- Getrennte private Treibervariablen für den Zwischenwert »w« und den Ergebniswert.
- Änderung des Ablaufgraphen so, dass von Z4 bei Empfang von »0x0D« nach Z0 übergegangen und das Ergebnis in die Ergebnisvariable kopiert wird. Der Zustand Z5 entfällt.





Aufgabe 10.6: Bluetooth-Treiber

- Entwickeln Sie in Anlehnung an »comir_pc« einen Treiber für die Kommunikation über Bluetooth mit dem PC (oder ihrem Handy).
- Testen Sie diesen, indem Sie die Treiber für die PC-Kommunikation durch den Bluetooth-Treiber ersetzen.
- Probieren Sie, ob Sie auf ihrem Handy eine App zum laufen bekommen, die über Bluetooth Daten mit dem PC austauschen kann.



Aufgabe 10.7: Benutzung der Comir-Treiber

Die besprochenen Treiber und den selbst zu entwickelnden Bluetooth-Treiber können Sie in ihrem eigenen Projekt nutzen.

- Denken Sie sich ein Steuerprogramm für ihr Fahrzeug aus.
- Stellen Sie die geplanten Motoraktivitäten auf dem LC-Display dar.
- Simulieren Sie externe Ereignisse (Weg abgefahren, Hindernis erkannt, ...) mit Timern und LED-Ausgaben.