

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C

Abschnitt 7.2: Synchronisation

08.06.2020

Tim Rheinfels
Benedict Herzog
Bernhard Heinloth

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT



- Bei einem Interrupt wird `event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `event != 0`
- Der Compiler erkennt, dass `event` innerhalb der Warteschleife nicht verändert wird
 - ⇒ der Wert von `event` wird nur einmal vor der Warteschleife aus dem Speicher in ein Prozessorregister geladen
 - ⇒ Endlosschleife

```
01 static uint8_t event = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     event = 1;
04 }
05
06 void main(void) {
07     while(1) {
08         while(event == 0) { /* warte auf Event */ }
09         // bearbeite Event [...]
10     }
11 }
```



- Bei einem Interrupt wird `event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `event != 0`
- Der Compiler erkennt, dass `event` innerhalb der Warteschleife nicht verändert wird
 - ⇒ der Wert von `event` wird nur einmal vor der Warteschleife aus dem Speicher in ein Prozessorregister geladen
 - ⇒ Endlosschleife
- `volatile` erzwingt das Laden bei jedem Lesezugriff

```
01 static volatile uint8_t event = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     event = 1;
04 }
05
06 void main(void) {
07     while(1) {
08         while(event == 0) { /* warte auf Event */ }
09         // bearbeite Event [...]
10     }
11 }
```



- Fehlendes `volatile` kann zu unerwartetem Programmablauf führen
 - Unnötige Verwendung von `volatile` unterbindet Optimierungen des Compilers
 - Korrekte Verwendung von `volatile` ist Aufgabe des Programmierers!
- ~> Verwendung von `volatile` so selten wie möglich, aber so oft wie nötig



- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

```
01 static volatile uint8_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07     while(1) {
08         if(counter > 0) {
09
10             counter--;
11
12             // verarbeite Tastendruck
13             // [...]
14         }
15     }
16 }
```

Hauptprogramm

```
01 ; C-Anweisung: counter--;  
02 lds r24, counter  
03 dec r24  
04 sts counter, r24
```

Interruptbehandlung

```
05 ; C-Anweisung: counter++  
06 lds r25, counter  
07 inc r25  
08 sts counter, r25
```

Zeile	counter	r24	r25
—	5	—	—

- Nebenläufige Nutzung von 16-Bit Werten (Read-Write)
 - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
 - Auslesen im Hauptprogramm

```
01 static volatile uint16_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07     if(counter > 300) {
08         sb_led_on(YELLOW0);
09     } else {
10         sb_led_off(YELLOW0);
11     }
12
13     // [...]
14 }
```

Hauptprogramm

```
01 ; C-Anweisung: if(counter > 300)
02 lds r22, counter
03 lds r23, counter+1
04 cpi r22, 0x2D
05 sbci r23, 0x01
```

Interruptbehandlung

```
07 ; C-Anweisung: counter++;
08 lds r24, counter
09 lds r25, counter+1
10 adiw r24,1
11 sts counter+1, r25
12 sts counter, r24
```

Zeile	counter	r22 & r23	r24 & r25
—	0x00ff	—	—

- Viele weitere Nebenläufigkeitsprobleme möglich
 - nicht-atomare Modifikation von gemeinsamen Daten
 - Problemanalyse durch den Anwendungsprogrammierer
 - Auswahl geeigneter Synchronisationsprimitive
 - Lösung hier: Einseitiger Ausschluss durch Sperren der Interrupts
 - Sperrung aller Interrupts: `cli()` und `sei()`
 - Maskieren einzelner Interrupts (EIMSK-Register)
 - Problem: Interrupts während der Sperrung gehen evtl. verloren
- ⇒ Kritische Abschnitte müssen so kurz wie möglich sein



■ Wie kann man das Lost Update verhindern?

```
01 static volatile uint8_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07     while(1) {
08         if(counter > 0) {
09
10             counter--;
11
12             // verarbeite Tastendruck
13             // [...]
14         }
15     }
16 }
```



■ Wie kann man das Lost Update verhindern?

```
01 static volatile uint8_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07     while(1) {
08         if(counter > 0) {
09             cli();
10             counter--;
11             sei();
12             // verarbeite Tastendruck
13             // [...]
14         }
15     }
16 }
```



■ Wie kann man die Read-Write Anomalie verhindern?

```
01 static volatile uint16_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07
08
09
10     if(counter > 300) {
11
12         sb_led_on(YELLOW0);
13     } else {
14
15         sb_led_off(YELLOW0);
16     }
17
18     // [...]
19 }
```



■ Wie kann man die Read-Write Anomalie verhindern?

```
01 static volatile uint16_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07     cli();
08     uint16_t local_counter = counter;
09     sei();
10     if(local_counter > 300) {
11
12         sb_led_on(YELLOW0);
13     } else {
14
15         sb_led_off(YELLOW0);
16     }
17
18     // [...]
19 }
```

■ Wie kann man die Read-Write Anomalie verhindern?

```
01 static volatile uint16_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07
08
09     cli();
10     if(counter > 300) {
11
12         sb_led_on(YELLOW0);
13     } else {
14
15         sb_led_off(YELLOW0);
16     }
17     sei();
18     // [...]
19 }
```

■ Wie kann man die Read-Write Anomalie verhindern?

```
01 static volatile uint16_t counter = 0;
02 ISR(INT0_vect) {
03     counter++;
04 }
05
06 void main(void) {
07
08
09     cli();
10     if(counter > 300) {
11         sei();
12         sb_led_on(YELLOW0);
13     } else {
14         sei();
15         sb_led_off(YELLOW0);
16     }
17
18     // [...]
19 }
```