

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts

- Interrupts unterbrechen Anwendungsprogramme "irgendwo"
- Interrupts haben Zugriff auf den gleichen Speicher
- Szenario:
 - eine Lichtschranke soll Fahrzeuge zählen und alle 10 Sekunden soll der Wert ausgegeben werden

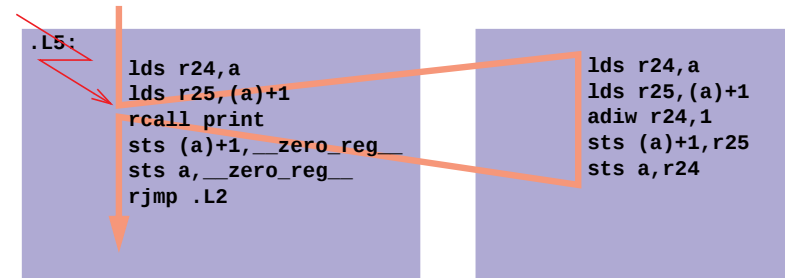
```
int a;

int main() {
    long i;
    while(1) {
        for (i=0; i<2000000; i++)
            /* Zählen dauert 10 Sek. */;
        print(a);
        a=0;
    }
}
```

```
/* Lichtschranken-
Interrupt */
int count() {
    a++;
}
```

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (3)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:



- Folge: ein Fahrzeug wird nicht gezählt

- Details des Szenarios zeigen mehrere Problemstellen:
 - int-Wert wird in zwei Schritten in zwei Register geladen (long: 4 Register)
 - Operationen erfolgen in Registern, danach wird in Speicher zurückgeschrieben

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (2)

- Auf C-Ebene führt die Interrupt-Behandlung nur einen Befehl aus: a++
 - nur scheinbar ein Befehl
 - auf Maschinencode-Ebene (Bsp. AVR) sieht die Sache anders aus

```
...
print(a);
a=0;
...
```

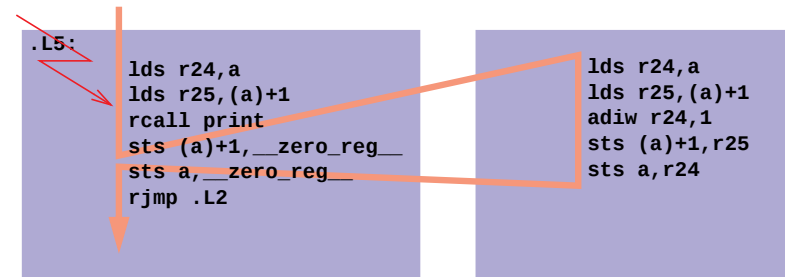
```
int count() {
    a++;
}
```

```
...
.L5:
    lds r24,a
    lds r25,(a)+1
    rcall print
    sts (a)+1,__zero_reg__
    sts a,__zero_reg__
    rjmp .L2
...
```

```
...
    lds r24,a
    lds r25,(a)+1
    adiw r24,1
    sts (a)+1,r25
    sts a,r24
...
```

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (4)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:



- Folge: möglicherweise werden 255 Fahrzeuge zuviel gezählt
 - Variable a ist auf 2 Register verteilt → a = 0 nicht atomar
zuerst wird obere Hälfte auf 0 gesetzt
 - falls a++ im Interrupt-Handler a zufällig von 255 auf 256 zählt
→ Bitüberlauf vom "unteren" in's "obere" Register
 - nach Interrupt wird nur noch untere Hälfte auf 0 gesetzt → a = 256

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (5)

- weiteres Problem bei Zugriff auf globale Variablen:
 - ◆ AVR stellt 32 Register zur Verfügung
 - ◆ Compiler optimiert Code und vermeidet Speicherzugriffe wenn möglich
 - Variablen werden möglichst in Registern gehalten
 - ◆ Registerinhalte werden bei Interrupt gesichert und am Ende restauriert
 - Änderungen der Interrupt-Funktion an einer Variablen gehen beim Restaurieren der Register wieder verloren

■ Lösung für dieses Problem:

- ◆ Compiler muss Variablen vor jedem Zugriff aus dem Speicher laden und anschließend zurückschreiben

- Attribut `volatile`

```
volatile int a;
```

- ◆ Nachteil: Code wird umfangreicher und langsamer
 - nur einsetzen wo unbedingt notwendig!

4 Umgang mit Nebenläufigkeitsproblemen

- Gemeinsame Daten möglichst vermeiden
 - Interrupt-Funktionen sollten weitgehend auf eigenen Daten arbeiten
 - Parallele Abläufe sollten ebenfalls möglichst eigene Datenbereiche haben

■ Kommunikation zwischen Anwendungsabläufen erfordert aber oft gemeinsame Daten

- solche Daten sollten deutlich hervorgehoben werden
z. B. durch entsprechenden Namen

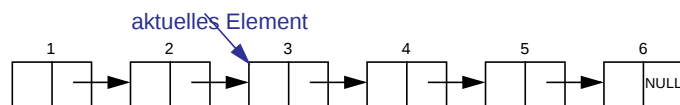
```
volatile int INT_zaeher;
```

- betrifft nur globale Variablen
- lokale Variablen sind unkritisch
(nur in der jeweiligen Funktion sichtbar)
- Zugriff auf solche Daten sollte in der Anwendung möglichst begrenzt sein
(z. B. nur in bestimmten Funktionen, gemeinsames Modul mit Interrupt-Handlern, vgl. Kap. D.9-3)

3 Nebenläufigkeitsprobleme allgemein

- Zugriff auf gemeinsame Daten ist bei nebenläufigen Ausführungen generell kritisch
 - selbst bei einfachen Variablen (siehe vorheriges Beispiel)
 - Problem bei komplexeren Datenstrukturen
(z. B. Einketten einer Struktur in verkettete Liste)
noch gravierender: Datenstruktur kann völlig zerstört werden

■ Beispiel: Programm läuft durch eine verkettete Liste



- ◆ Interrupt-Handler oder parallel laufendes Programm entfernt Elemente 3 und 4 und gibt den Speicher dieser Elemente frei



4 Umgang mit Nebenläufigkeitsproblemen (2)

- Zugriffskonflikte mit Interrupt-Handlern verhindern
 - ◆ das Programm muss vor kritischen Zugriffen auf gemeinsame Daten Interrupts sperren
 - Beispiel AVR:
Funktionen `clic()` (blockiert alle Interrupts) und `sei()` (erlaubt Interrupts)
 - ◆ in dieser Zeit können Interrupts verloren gehen
 - ➡ Zeitraum von Interruptsperrern muss möglichst kurz bleiben!
 - ◆ es kann sinnvoll sein, nur Interrupts des Geräts zu sperren, dessen Handler auch auf die kritischen Daten zugreift
(hängt von Details der Hardware ab!)
- Zugriffskonflikte bei parallelen Abläufen
 - ◆ spezielle atomare Maschinenbefehle
(z. B. test-and-set oder compare-and-swap bei Intel-Architekturen)
 - ◆ Software-Synchronisation (lock-Variablen, Semaphore, etc.)
 - ◆ Kommunikation mittels Nachrichten statt gemeinsamer Daten