

H.5 Nebenläufigkeit

1 Überblick

- Definition von Nebenläufigkeit:
zwei Programmausführungen sind nebenläufig, wenn für zwei einzelne Befehle a und b aus beiden Ausführungen nicht feststeht, ob a oder b tatsächlich zuerst ausgeführt wird
- Nebenläufigkeit tritt auf
 - bei Interrupts
 - bei parallelen Abläufen (gleichzeitige Ausführung von Code in einem Mehrprozessorsystem mit Zugriff auf den gleichen Speicher)
 - bei quasi-parallelen Abläufen (wenn ein Betriebssystem verschiedenen Prozesse den Prozessor jeweils für einen Zeitraum zuteilt und ihn nach Ablauf der Zeit wieder entzieht)
- Problem:
 - was passiert, wenn die nebenläufigen Ausführungen auf die gleichen Daten im Speicher zugreifen?

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 (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;
...
```

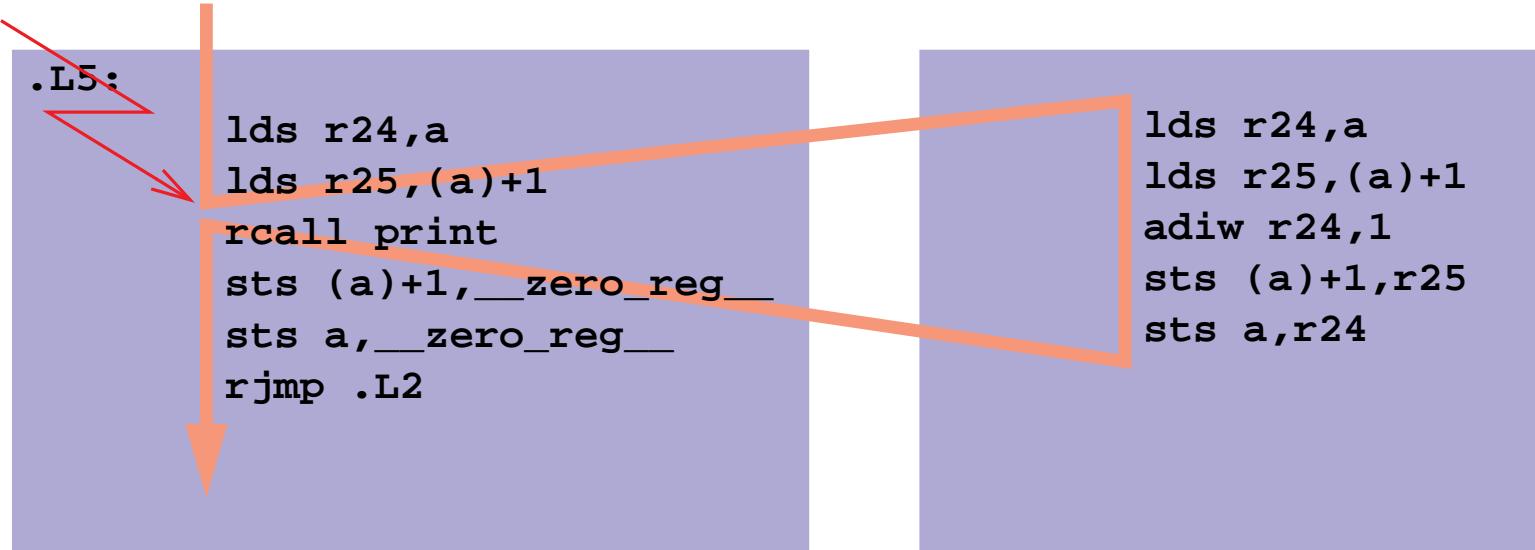
```
int count() {
    a++;
}
```

```
...
.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 (3)

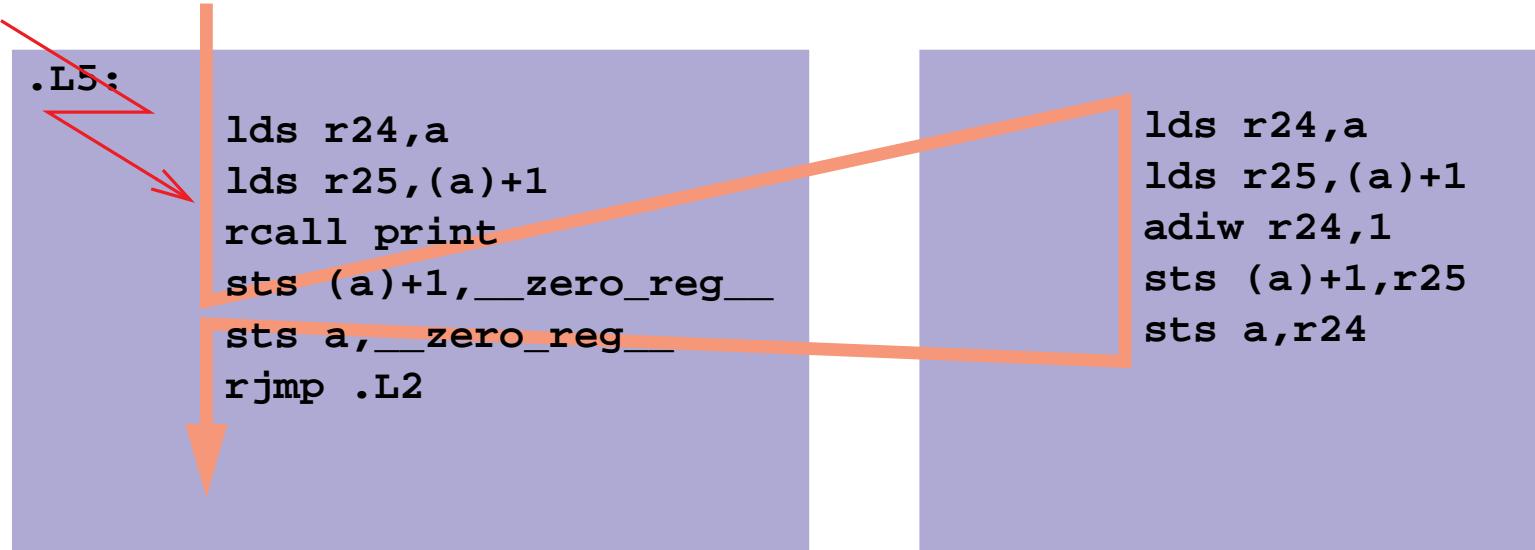
- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:



- 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 (4)

- Annahme: Interrupt trifft folgendermaßen ein:



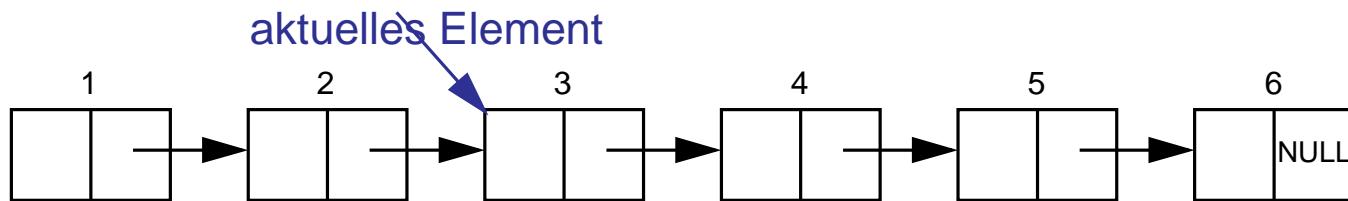
- Folge: möglicherweise werden 255 Fahrzeuge zuviel gezählt
 - Variable a ist auf 2 Register verteilt → a = 0 nicht atomar
zuerst wird obere Hälfte auf 0 gesetzt
 - falls a++ im Interrupt-Handler a zufällig von 255 auf 256 zählt
→ Bitüberlauf vom "unteren" in's "obere" Register
 - nach Interrupt wird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

2 Nebenläufigkeit durch Interrupts (5)

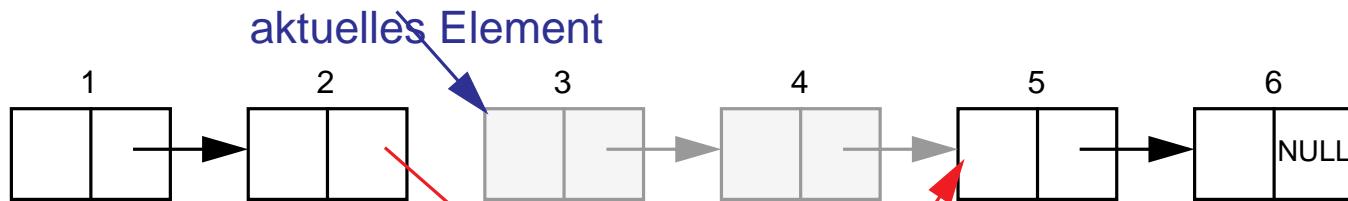
- weiteres Problem bei Zugriff auf globale Variablen:
 - ◆ AVR stellt 32 Register zur Verfügung
 - ◆ Compiler optimiert Code und vermeidet Speicherzugriffe wenn möglich
 - Variablen werden möglichst in Registern gehalten
 - ◆ Registerinhalte werden bei Interrupt gesichert und am Ende restauriert
 - Änderungen 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!

### 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

- Gemeinsame Daten möglichst vermeiden
  - Interrupt-Funktionen sollten weitgehend auf eigenen Daten arbeiten
  - Parallelе 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_zaeehler;
```

    - 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)

## 4 Umgang mit Nebenläufigkeitsproblemen (2)

- Zugriffskonflikte mit Interrupt-Handlern verhindern
  - ◆ das Programm muss vor kritischen Zugriffen auf gemeinsame Daten Interrupts sperren
    - Beispiel AVR:  
Funktionen `cld()` (blockiert alle Interrupts)  
und `sei()` (erlaubt Interrupts)
  - ◆ in dieser Zeit können Interrupts verloren gehen
    - ➔ Zeitraum von Interruptsperren 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

# H.6 Programmierung eingebetteter Systeme

---

## ■ Vorteile von C in eingebetteten Systemen:

- leichter Zugriff auf die Hardware
- gute Kontrolle über die verwendeten Ressourcen (Speicher, CPU)
  - ➔ effizienter Code
  - ➔ geringer Speicherbedarf

## ■ Probleme mit C:

- stark eingeschränkte Laufzeitüberprüfungen
- ISO C-Standard oft nicht eindeutig  
Verhalten ist implementationsabhängig oder undefined
- ➔ in C kann man viele Fehler machen (v. a. Anfänger)

# 1 MISRA C

- 1998 von der MISRA entwickelt  
(MISRA = Motor Industry Software Reliability Association)
- Richtlinien für den Gebrauch von C in sicherheitskritischen Systemen  
(1998, 2004 überarbeitet)
- Regeln, die den Umgang mit bestimmten Konstrukten in C präzisieren  
z. B. bei Zeigeroperationen
  - 141 Regeln (121 verbindlich, 20 empfohlen)
  - ◆ Beispiele
    - Anweisungen nach if, while, ... müssen immer in {} geklammert sein
    - spezielle Typen (z.B. uint32\_t) statt der Standardtypen
- ursprünglich Automobilbereich, seit 2004 neue verallgemeinerte Version

## 2 Java für eingebettete Systeme?

### ■ mögliche Vorteile:

- objektorientiert
- typsicher

## 3 Objektorientierte Programmierung

### ■ Zusammenfassung von Funktionen und ihren Daten

- ➔ Strukturierung

### ■ Vorteile / Nachteile

- + Zusammengehörendes kommt zusammen
- + kaum noch globale Variablen
- + höhere Abstraktion möglich
- weniger Kontrolle über Ressourcenverbrauch
- ➔ Werkzeuge müssen für eingebettete Systeme optimiert sein

## 4 Typsichere Sprachen

- Beispiele: Java, .NET-Sprachen (z. B. C#)
- Grundprinzip:
  - allen Werten ist immer ein Typ zugeordnet
  - Umwandlung in einen anderen Typ ist nicht ohne Weiteres möglich
- Umwandlung muss möglicherweise zur Laufzeit geprüft werden
  - keine Zeigeroperationen
- Automatische Speicherbereinigung möglich
- Typsystem zur Laufzeit nötig
  - meist interpretiert

## 4 Typsichere Sprachen (2)

### ■ Vorteile / Nachteile:

- mehr Ressourcenbedarf durch Laufzeitüberprüfungen
- schlechtes Laufzeitverhalten bei Interpretation
- + Interpretation ermöglicht leichte Erweiterbarkeit zur Laufzeit  
(dynamisches Nachladen von Klassen)
- + Typsicherheit ermöglicht die Kapselung der Anwendung ohne Hardwareunterstützung (vertrauenswürdiger Compiler!)

### ■ Für tief eingebettete Systeme ist Ressourcenbedarf wichtig

- starke Einschränkung der dynamischen Erweiterbarkeit
- compilieren zu statischem Programm

## 5 Java für eingebettete Systeme

- Java Micro-Edition (J2ME):  
schlanke JVM und angepasste Klassenbibliothek
  - als J2ME/CLDC-MIDP auf den meisten Handys
  - als J2ME/CDC auf einigen PDAs
- JavaCard: stark abgespeckte JVM
  - für Chipkarten

## 6 Modellbasiertes Design

- MDA: Model Driven Architecture
- Beschreibung der Anwendung in Form eines Modells auf einer abstrakten Ebene
- Konkretes Programm wird von einem Werkzeug erstellt
- Vorteile/Nachteile
  - + architekturunabhängig
  - + Konzentration auf die Funktionalität der Anwendung
  - +/- Detailwissen zur Implementierung in den Werkzeugen
  - Werkzeug für die Zielplattform wird benötigt
- Beispiel: Labview, Simulink