Programmierprimitiven: Tuple-Spaces

Prof. Dr. David Sabel

LFE Theoretische Informatik

Letzte Änderung der Folien: 3. Dezember 2020

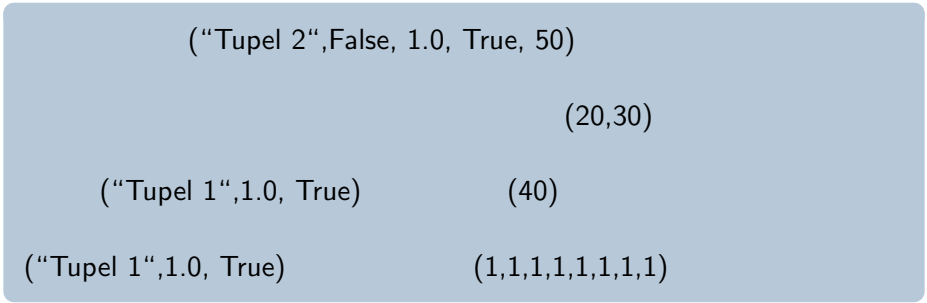
Übersicht

Tuple Spaces: Das Linda Modell

Nachteile von Kanälen

- Kanalname muss Sender und Empfänger bekannt sein
- Gerade bei Server/Client Architekturen schlecht: Server muss die Kanalnamen seiner Dienste exportieren
- Weiterer Nachteil:
  Nachrichten können nur zwischen aktiven Prozessen verschickt werden
- Im Folgenden: Das Linda Modell (in mehrenen Sprachen implementiert, z.B. JavaSpaces, TSpaces (IBM), pSpaces)
- Gute Idee, aber nie richtig zum Trend geworden
- Koordinationssprache (für Nebenläufigkeit / Parallele Programmierung)
- Wir betrachten für die Beispiele die pSpaces-Implementierung in Go (goSpace)

Tuple Space


(“Tupel 2“,False, 1.0, True, 50)
(20,30)
(“Tupel 1“,1.0, True)
(40)
(“Tupel 1“,1.0, True)
(1,1,1,1,1,1,1,1)

Tuple Space (2)

- Annahme: Es gibt einen Tuple Space:

  „Platz“ für Tupel, alle Prozesse können darauf zugreifen
- Tupel sind getypt, d.h. jede Komponente hat einen festen Typ
- z.B. (“Tupel 1“:String,1.0:Float, True:Bool)
- Gleiche Tupel sind erlaubt
- Konvention oft:

  Erste Komponente muss ein String sein (Name/Beschreibung des Tupels)

Operationen auf dem Tuple Space

$\texttt{out}(N, v_1, \ldots, v_n)$:

- Einfügen eines Tupels in den Tuple Space
- N: Name (String)
- v_i: Programmvariable oder Wert
- Wenn v_i Programmvariable,
  dann wird der aktuelle Wert von v_i eingefügt

Operationen auf dem Tuple Space

$\texttt{out}(N, v_1, \ldots, v_n)$:

- Einfügen eines Tupels in den Tuple Space
- N: Name (String)
- v_i: Programmvariable oder Wert
- Wenn v_i Programmvariable,
  dann wird der aktuelle Wert von v_i eingefügt

(1) out("Tupel 1", 10, True)
(2) x := 50;
(3) b := True;
(4) out("Tupel 2", x, 100, b)

Operationen auf dem Tuple Space

$\texttt{out}(N, v_1, \ldots, v_n)$:

- Einfügen eines Tupels in den Tuple Space
- N: Name (String)
- v_i: Programmvariable oder Wert
- Wenn v_i Programmvariable,
  dann wird der aktuelle Wert von v_i eingefügt

(1) out(“Tupel 1“, 10, True)
(2) x := 50;
(3) b := True;
(4) out(“Tupel 2“, x, 100, b)

(“Tupel 1“, 10, True)

Operationen auf dem Tuple Space

$\texttt{out}(N, v_1, \ldots, v_n)$:

- Einfügen eines Tupels in den Tuple Space
- N: Name (String)
- v_i: Programmvariable oder Wert
- Wenn v_i Programmvariable,
  dann wird der aktuelle Wert von v_i eingefügt

(1) out(“Tupel 1“, 10, True)
(2) x := 50;
(3) b := True;
(4) out(“Tupel 2“, x, 100, b)

(“Tupel 1“, 10, True)

Operationen auf dem Tuple Space

$\texttt{out}(N, v_1, \ldots, v_n)$:

- Einfügen eines Tupels in den Tuple Space
- N: Name (String)
- v_i: Programmvariable oder Wert
- Wenn v_i Programmvariable,
  dann wird der aktuelle Wert von v_i eingefügt

(1) out(“Tupel 1“, 10, True)
(2) x := 50;
(3) b := True;
(4) out(“Tupel 2“, x, 100, b)

(“Tupel 1“, 10, True)

Operationen auf dem Tuple Space

$\texttt{out}(N, v_1, \ldots, v_n)$:

- Einfügen eines Tupels in den Tuple Space
- N: Name (String)
- v_i: Programmvariable oder Wert
- Wenn v_i Programmvariable,
  dann wird der aktuelle Wert von v_i eingefügt

(1) out(“Tupel 1“, 10, True)
(2) x := 50;
(3) b := True;
(4) out(“Tupel 2“, x, 100, b)

(“Tupel 1“, 10, True)

(“Tupel 2“, 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (2)

$\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Entfernen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- Im Tuple Space muss ein "Matching Tuple" vorhanden sein
- Matching Tuple = gleiche Länge, gleiche Typen, gleiche Werte
- Falls kein passendes Tuple vorhanden:
  Prozess blockiert, bis ein passendes Tupel eingefügt wird
- Ansonsten: Variablen werden durch das Entfernen an die Werte gebunden

Operationen auf dem Tuple Space (2)

$\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Entfernen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- Im Tuple Space muss ein "Matching Tuple" vorhanden sein
- Matching Tuple = gleiche Länge, gleiche Typen, gleiche Werte
- Falls kein passendes Tuple vorhanden:
  Prozess blockiert, bis ein passendes Tupel eingefügt wird
- Ansonsten: Variablen werden durch das Entfernen an die Werte gebunden

(1) in("Tupel 1", x, y)
(2) print x;print y;
(3) in("Tupel 1", x, y)

("Tupel 1", 10, True)

("Tupel 2", 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (2)

$\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Entfernen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- Im Tuple Space muss ein "Matching Tuple" vorhanden sein
- Matching Tuple = gleiche Länge, gleiche Typen, gleiche Werte
- Falls kein passendes Tuple vorhanden:
  Prozess blockiert, bis ein passendes Tupel eingefügt wird
- Ansonsten: Variablen werden durch das Entfernen an die Werte gebunden

```
(1)  in("Tupel 1", x, y)
(2)  print x;print y;
(3)  in("Tupel 1", x, y)
```

("Tupel 1", 10, True)

("Tupel 2", 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (2)

$\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Entfernen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- Im Tuple Space muss ein "Matching Tuple" vorhanden sein
- Matching Tuple = gleiche Länge, gleiche Typen, gleiche Werte
- Falls kein passendes Tuple vorhanden:
  Prozess blockiert, bis ein passendes Tupel eingefügt wird
- Ansonsten: Variablen werden durch das Entfernen an die Werte gebunden

(1) `in`("Tupel 1", x, y)
(2) print 10; print True;
(3) `in`("Tupel 1", x, y)

("Tupel 2", 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (2)

$\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Entfernen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- Im Tuple Space muss ein "Matching Tuple" vorhanden sein
- Matching Tuple = gleiche Länge, gleiche Typen, gleiche Werte
- Falls kein passendes Tuple vorhanden:
  Prozess blockiert, bis ein passendes Tupel eingefügt wird
- Ansonsten: Variablen werden durch das Entfernen an die Werte gebunden

(1) `in`("Tupel 1", x, y)
(2) print 10; print True;
(3) `in`("Tupel 1", x, y)

("Tupel 2", 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (2)

$\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Entfernen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- Im Tuple Space muss ein "Matching Tuple" vorhanden sein
- Matching Tuple = gleiche Länge, gleiche Typen, gleiche Werte
- Falls kein passendes Tuple vorhanden:
  Prozess blockiert, bis ein passendes Tupel eingefügt wird
- Ansonsten: Variablen werden durch das Entfernen an die Werte gebunden

(1) `in`("Tupel 1", x, y)
(2) print 10; print True;
(3) *blockiert*

("Tupel 2", 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

(1) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(2) print x;print y;
(3) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(4) `read`(“Tupel 3“, x, y);

(“Tupel 1“, 10, True)

(“Tupel 2“, 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

```
(1)  read("Tupel 1", x, y);
(2)  print x;print y;
(3)  read("Tupel 1", x, y);
(4)  read("Tupel 3", x, y);
```

("Tupel 1", 10, True)

("Tupel 2", 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

(1) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(2) print 10; print True;
(3) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(4) `read`(“Tupel 3“, x, y);

(“Tupel 1“, 10, True)

(“Tupel 2“, 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

(1) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(2) print 10; print True;
(3) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(4) `read`(“Tupel 3“, x, y);

(“Tupel 1“, 10, True)

(“Tupel 2“, 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

(1) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(2) print 10; print True;
(3) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(4) `read`(“Tupel 3“, x, y);

(“Tupel 1“, 10, True)

(“Tupel 2“, 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (3)

`read`$(N, x_1, \ldots, x_n)$:

- Lesen eines Tupels aus dem Tuple Space
- N: Name (String), x_i: Programmvariable
- wie `in` nur das Tupel wird nicht entfernt

(1) `read`(“Tupel 1“, x, y);
(2) print 10; print True;
(3) `read`(“Tupel 1“, x, y);
blockiert

(“Tupel 1“, 10, True)

(“Tupel 2“, 50, 100, True)

Operationen auf dem Tuple Space (4)

Manchmal noch weitere Operationen:

- `inp`: Wie `in`, nur dass beim Fehlversuch nicht blockiert wird, sondern eine Exception auftritt
- `readp`: Wie `read`, nur dass beim Fehlversuch nicht blockiert wird, sondern eine Exception auftritt
- `eval`: Tupelkomponenten werden durch neue Prozesse nebenläufig berechnet, danach wie `out`

Nichtdeterminismus

- Gibt es mehrere passende Tupel zu ein `in`- oder `read`-Operation, wird irgendeiner gewählt.
- Gibt es mehrere wartende `in`- oder `read`-Operationen und ein passendes Tupel wird eingefügt, so wird irgendein wartender Prozess entblockiert

pSpaces

- Homepage: https://github.com/pSpaces
- Projekt der Technischen Universität Dänemark und der Universität Camerino
- Enthält Bibliotheken für Java, C#, Go, JavaScript und Swift
- Wir zeigen kurz die Verwendung in Go

Go und pSpaces = goSpace

Import der Bibliothek:

```
import ("github.com/pspaces/gospace")
```

Neuen Tuple Space erstellen mit `NewSpace`, z.B.

```
meinTupleSpace := gospace.NewSpace("Name des Tuple Space")
```

goSpace: Tupel

Tupel sind über den Typ `Tuple` verfügbar.

```
var tuple Tuple = CreateTuple("Milch", 1)
```

Zugriff auf Komponenten mit `GetFieldAt`:

```
tuple.GetFieldAt(i)
```

Typen der Werte müssen gecasted werden:

```
var mtuple Tuple = CreateTuple("Milch", 1)
var was string
was  = (mtuple.GetFieldAt(0)).(string)
var wieviel int
wieviel = (mtuple.GetFieldAt(1)).(int)
```

goSpace: Operationen

Operationen:

`Put`$(x_1, x_2, \ldots, x_n)$	entspricht	`out`$(x_1, \ldots, x_n)$
`Get`$(x_1, x_2, \ldots, x_n)$	entspricht	`in`$(x_1, \ldots, x_n)$
`Query`$(x_1, x_2, \ldots, x_n)$	entspricht	`read`$(x_1, \ldots, x_n)$

Nicht-blockierende Varianten: `GetP`, `QueryP`

Die Rückgabe der Operation ist immer ein Paar `(Tuple, error)`

goSpace: Beispiel zu Put

Put erzeugt direkt ein Tupel aus den Argumenten und fügt es ein

```
// Tuple Space erzeugen
meinTupelSpace := NewSpace("MeinTupelSpace")
var tuple Tuple = CreateTuple("Milch", 1)
// Tupel einfügen
meinTupelSpace.Put(tuple.GetFieldAt(0),tuple.GetFieldAt(1))
meinTupelSpace.Put("Butter",2)
meinTupelSpace.Put("Saft","Orange",3)
meinTupelSpace.Put("Saft","Apfel",2)
meinTupelSpace.Put
```

Beachte: `meinTupelSpace.Put(tuple)`
fügt ein Einer-Tupel ein, das aus einem Paar besteht:
Es wird `((Milch,1))` und nicht `(Milch,1)` eingefügt.

goSpace: Get und GetP

Ein Tupel herausnehmen und ausdrucken:

```
tuple2, _ := meinTupelSpace.Get("Butter",2)
fmt.Println(tuple2)
```

`Get` ist blockierend, daher führt ein zweites

```
meinTupelSpace.Get("Butter",2)
```

zu einem Deadlock (es gab nur ein `("Butter",2)`-Tupel).
Mit GetP wird nicht blockiert:

```
_, err:= meinTupelSpace.GetP("Butter",2)
fmt.Println(err)
```

ergibt

```
Space.main("Butter", 2): operation on this space failed.
```

goSpace: Get und GetP (2)

Casten ist notwendig:

```
tuple3, _ := meinTupelSpace.Get("Milch",1)
var number int = tuple3.GetFieldAt(1).(int) // casting zu int
```

goSpace: Get mit Variablen

Sollen die Werte von Variablen durch Get oder Query gebunden werden, dann

- Statt der Variablen müssen Adressen der Variablen übergeben werden
- D.h. statt `x` wird `&x` übergeben

Falsch:

```
var numberOSaft int = 0
_, err2 := meinTupelSpace.GetP("Saft","Orange",numberOSaft)
// Das sucht nach dem Tupel ("Saft","Orange",0) !
```

Richtig:

```
var numberOSaft int = 0
t,_ := meinTupelSpace.GetP("Saft","Orange",&numberOSaft)
numberOSaft = t.GetFieldAt(2).(int)  // notwendig!
```

Beachte: Binden des Wertes muss noch mal extra geschehen

goSpace: Gesamte Datei

```
package main
import (
   "fmt"
.  "github.com/pspaces/gospace")
func main() {

 var tuple Tuple = CreateTuple("Milch", 1)
 fmt.Println(tuple)

 // Tupel zerlegen
 fmt.Print(tuple.GetFieldAt(0))
 fmt.Println(tuple.GetFieldAt(1))

 // Tuple Space erzeugen
 meinTupelSpace := NewSpace("MeinTupelSpace")

 // Tupel einfügen
 meinTupelSpace.Put(tuple.GetFieldAt(0),tuple.GetFieldAt(1))
 meinTupelSpace.Put("Butter",2)
 meinTupelSpace.Put("Saft","Orange",3)
 meinTupelSpace.Put("Saft","Apfel",2)
 meinTupelSpace.Put("Saft","Kirsche",1)

 // Tupel rausnehmen
 tuple2, _ := meinTupelSpace.Get("Butter",2)
 fmt.Print("Bekam ")
 fmt.Println(tuple2)

 // nicht blockierende Variante
 _, err:= meinTupelSpace.GetP("Butter",2)
 fmt.Print("Der Fehler ist ")
 fmt.Println(err)

 tuple3, _ := meinTupelSpace.Get("Milch",1)
 var number int = tuple3.GetFieldAt(1).(int) // casting zu int
 fmt.Print("Milch hatte die Zahl ")
 fmt.Println(number)

 // falsch, da nicht die Adresse übergeben wird
 var numberOSaft int = 0
 _, err2 := meinTupelSpace.GetP("Saft","Orange",numberOSaft)
 // Das sucht nach dem Tupel ("Saft","Orange",0) !
 fmt.Print("Der Fehler war ")
 fmt.Println(err2)

 // richtiger Aufruf:
 meinTupelSpace.Get("Saft","Orange",&numberOSaft)

 // aber numberOSaft ist nicht gesetzt!
 fmt.Print("OSaft hatte die Zahl ")
 fmt.Println(numberOSaft)

 // richtig daher
 var numberASaft int = 0
 tuple4,_ := meinTupelSpace.GetP("Saft","Apfel",&numberASaft)
 numberASaft = tuple4.GetFieldAt(2).(int)
 fmt.Print("Apfelsaft hatte die Zahl ")
 fmt.Println(numberASaft)
}
```

Mutual-Exclusion mit Tuple Spaces

Initial: Tupel (“MUTEX“) im Tuple Space

Prozess i:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Beispiel

(“MUTEX“)

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Beispiel

(“MUTEX“)

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

(“MUTEX“)

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in(“MUTEX“);
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out(“MUTEX“);
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Beispiel

Prozess 1:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

Prozess 2:

```
loop forever
(1)  Restlicher Code;
(2)  in("MUTEX");
(3)  Kritischer Abschnitt;
(4)  out("MUTEX");
end loop
```

- Erfüllt wechselseitigen Ausschluss und ist Deadlock-frei
- Bei 2 Prozessen: Starvation-frei, bei mehr als 2 nicht

Mutex mit goSpace

```
package main
import ("fmt" ; . "github.com/pspaces/gospace"; "strconv"; "bufio"; "os")
func worker(id int, space Space) {
 for {
  space.Get("Mutex")
  fmt.Println("a) Worker " + strconv.Itoa(id)+ " im kritschen Abschnitt.")
  fmt.Println("b) Worker " + strconv.Itoa(id)+ " im kritschen Abschnitt.")
  fmt.Println("c) Worker " + strconv.Itoa(id)+ " im kritschen Abschnitt.")
  space.Put("Mutex")
 }
}
func main() {
 // Tuple Space erzeugen
 space := NewSpace("MeinTupelSpace")
 space.Put("Mutex")
 for i:=0; i < 10; i++ {
  go worker(i,space)
 }
 // Auf Benutzereingabe warten
 reader := bufio.NewReader(os.Stdin)
 reader.ReadString('\n')
}
```

Rückblick: Tuple Spaces

- Tuple Space: Raum von Tupeln, Tupel haben getypte Komponenten, erste Komponente = Name des Tupels
- `out`(Name, $v_1, \ldots, v_n$): Füge Tupel ein, wobei v_i Werte bzw. Programmvariablen sind, eingefügt werden dann die aktuellen Werte der Variablen.
- `in`(Name, $x_1, \ldots, x_n$): Nehme "matching Tuple" aus dem Tuple Space heraus, und binde die Werte an die Variablen $x_1, \ldots, x_n$. Blockiere, wenn es kein matching Tuple gibt
- `read`(Name, $x_1, \ldots, x_n$): Wie `in`, aber das Tuple wird im Tuple Space belassen.

Semaphore mit Tuple Spaces

Initial: k-Tupel (“SEM“) im Tuple Space

```
wait(){
  in(“SEM“);
}

signal(){
  out(“SEM“);
}
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM") ("SEM") ("SEM")

("SEM") ("SEM") ("SEM")

"S.V = 6" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM") ("SEM") ("SEM")

("SEM") ("SEM")

"S.V = 5" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM") ("SEM")

("SEM") ("SEM")

"S.V = 4" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM") ("SEM")

("SEM")

"S.V = 3" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM") ("SEM") ("SEM")

("SEM")

"S.V = 4" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM") ("SEM")

("SEM")

"S.V = 3" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM")

("SEM")

"S.V = 2" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

("SEM")

"S.V = 1" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

“S.V = 0” “S.M = $\emptyset$”

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

“S.V $= 0$” “S.M $= \{P\}$”

Prozess P:
```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```
blockiert

Prozess Q:
```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

“S.V = 0” “S.M = $\emptyset$”

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Semaphore mit Tuple Spaces (2)

"S.V = 1" "S.M = $\emptyset$"

Prozess P:

```
wait();
wait();
wait();
signal();
wait();
wait();
wait();
wait();
wait();
```

Prozess Q:

```
signal();
signal();
```

Atomares Update von Tupeln

```
(1)  in("Tupel",x);
(2)  x := f(x);
(3)  out("Tupel",x);
```

- Tupel ist nach Zeile (1) nicht mehr im Tupel Space
- Tupel erscheint erst wieder nach Zeile (3) im Tupel Space
- Aktion ist atomar, da kein Prozess während des Updates auf Tupel zugreifen kann

Synchrone Kommunikation

- Simulation von synchronen Kanälen.
- ch $\Leftarrow$ e:
  `in`(“ch1“,“get“);
  `out`(“ch2“,e);
  `in`(“ch3“,“got“);
- ch $\Rightarrow$ x:
  `out`(“ch1“,“get“);
  `in`(“ch2“,x);
  `out`(“ch3“,“got“);

Synchrone Kommunikation

- Simulation von synchronen Kanälen.
- ch $\Leftarrow$ e:
  `in`(“ch1“,“get“);
  `out`(“ch2“,e);
  `in`(“ch3“,“got“);
- ch $\Rightarrow$ x:
  `out`(“ch1“,“get“);
  `in`(“ch2“,x);
  `out`(“ch3“,“got“);

Falsch: geht so nicht: da `in` nur Variablen erhalten darf!

Erweiterung der in-Operation

- bisher: $\texttt{in}(N, x_1, \ldots, x_n)$: x_i formale Parameter (Variablen die durch die `in`-Operation gebunden werden)
- jetzt auch erlaubt: x_i aktuelle Parametervariablen, wir schreiben diese als x=.
- Semantik: Wert der Variablen x muss die Tupelkomponente matchen.

Erweiterung der in-Operation

- bisher: `in`$(N, x_1, \ldots, x_n)$: x_i formale Parameter (Variablen die durch die `in`-Operation gebunden werden)
- jetzt auch erlaubt: x_i aktuelle Parametervariablen, wir schreiben diese als x=.
- Semantik: Wert der Variablen x muss die Tupelkomponente matchen.

Beispiel:

x:=10; in(“Tupel 1“, x=);	x:=10; in(“Tupel 1“, x);
matcht nur Tupel der Form (“Tupel 1“, 10)	matcht alle Tupel der Form (“Tupel 1“, z:Int) wobei z eine Zahl
lässt x unverändert	überschreibt Wert von x durch z

Erweiterung der in-Operation in goSpace

In goSpace wird auf die Variablenwerte gematcht, wenn die Variablennamen (statt der Adressen) übergeben werden, d.h.

- `in(Name, x)` entspricht `Get(Name, &x)`
- `in(Name, x=)` entspricht `Get(Name, x)`

Vorteile der Erweiterung

- Man kann auf mehreren Komponenten matchen
- Programmierung kann vereinheitlicht werden

Vorteile der Erweiterung

- Man kann auf mehreren Komponenten matchen
- Programmierung kann vereinheitlicht werden

Z.B. Server 1 und Server 2 bieten verschiedene Dienste an

Ohne Erweiterung: Dienst im Namen fest kodiert

Server 1:	Server 2:
`in`(N + "Dienst1",...); ...	`in`(N + "Dienst2",...); ...

Vorteile der Erweiterung

- Man kann auf mehreren Komponenten matchen
- Programmierung kann vereinheitlicht werden

Z.B. Server 1 und Server 2 bieten verschiedene Dienste an

Ohne Erweiterung: Dienst im Namen fest kodiert

Server 1:	Server 2:
`in`(N + "Dienst1",...); ...	`in`(N + "Dienst2",...); ...

Mit Erweiterung

Server 1:	Server 2:
dienst := "Dienst1";	dienst := "Dienst2";
`in`(N,dienst=,...); ...	`in`(N,dienst=,...); ...

Synchrone Kommunikation

- Simulation von synchronen Kanälen
- ch $\Leftarrow$ e:

```
get := “get“;
got := “got“;
in(“ch1“,get=);
out(“ch2“,e);
in(“ch3“,got=);
```

- ch $\Rightarrow$ x:

```
out(“ch1“,“get“);
in(“ch2“,x);
out(“ch3“,“got“);
```

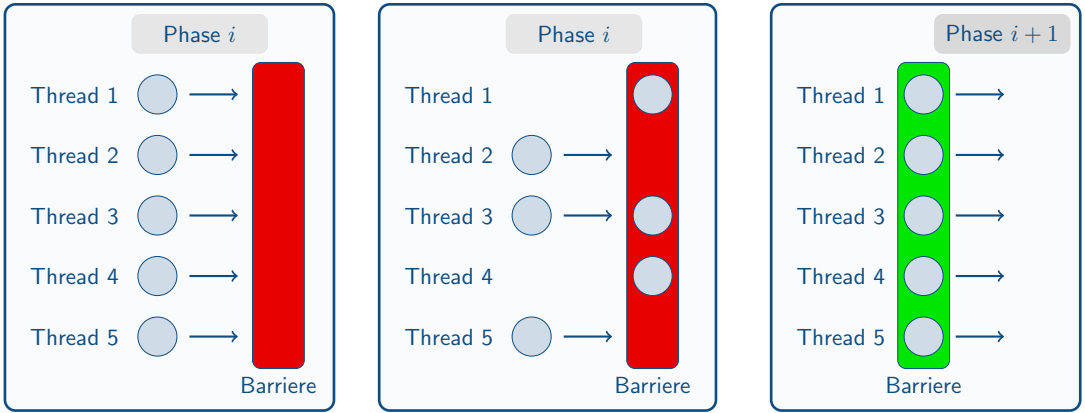
Beispiel in Go

```
func send(space Space,content int) {
 space.Get("channel1","get")
 space.Put("channel2",content)
 space.Get("channel3","got")
}

func receive(space Space) int {
 space.Put("channel1","get")
 var content int = 0
 t,_ := space.Get("channel2",&content)
 content = t.GetFieldAt(1).(int)
 space.Put("channel3","got")
 return content
}
```

```
func sender(id int, space Space ) {
 for {
  time.Sleep(time.Duration(rand.Intn(10000)) * time.Millisecond)
  fmt.Println("Worker " + strconv.Itoa(id)+ " will seine Id senden")
  send(space,id)
  fmt.Println("Worker " + strconv.Itoa(id)+ " hat seine Id gesendet")
 }
}
func receiver(id int, space Space) {
 for {
  time.Sleep(time.Duration(rand.Intn(10000)) * time.Millisecond)
  fmt.Println("Worker " + strconv.Itoa(id)+ " will empfangen")
  var msg int = receive(space)
  fmt.Println("Worker " + strconv.Itoa(id)+ " hat "
                + strconv.Itoa(msg) + " empfangen")
 }
}
func main() {
 // Tuple Space erzeugen
 space := NewSpace("MeinTupelSpace")
 for i:=0; i < 100; i++ {
  go sender(i,space)  // Sender und Empfaenger erzeugen
  go receiver(100+i,space)
 }
 reader := bufio.NewReader(os.Stdin)
 reader.ReadString('\n')
}
```

Barrieren


Phase i
Thread 1
Thread 2
Thread 3
Thread 4
Thread 5
Barriere
Phase i
Thread 1
Thread 2
Thread 3
Thread 4
Thread 5
Barriere
Phase $i+1$
Thread 1
Thread 2
Thread 3
Thread 4
Thread 5
Barriere

Barriere

Initial: Ein Tupel (“ankommen“,N);

```
barrier (){
//Ankommen
  in(“ankommen“,x);
  x := x-1;
  if x > 0
    {out(“ankommen“,x);}
  else
    {out(“verlassen“,N);} //Letzter Ankommer
  in(“verlassen“,y);
  y := y-1;
  if y > 0
    {out(“verlassen“,y);}
  else
    {out(“ankommen“,N);} //Letzter Verlasser
}
```

Prozess i:

```
loop forever
  Code vor der Barriere
  barrier()
  Code nach der Barriere
end loop
```

Barrienbeispiel in Go

```
// Als dritte Komponente wird stets die
// Gesamtkapazität gespeichert
func newBarrier(space Space, capacity int) {
 space.Put("ankommen",capacity,capacity)
}
func sync(space Space) {
 var capacity int
 var x int
 t,_ := space.Get("ankommen", &x, &capacity)
 x = t.GetFieldAt(1).(int)
 capacity = t.GetFieldAt(2).(int)
 x = x-1
 if (x > 0) { space.Put("ankommen",x,capacity)
 } else { space.Put("verlassen",capacity,capacity) }
 var y int
 t,_ = space.Get("verlassen",&y,capacity)
 y = t.GetFieldAt(1).(int)
 y = y-1
 if y > 0 { space.Put("verlassen",y,capacity)
 } else { space.Put("ankommen",capacity,capacity) }
}
```

```
func worker(id int, space Space) {
 var count int = 1
 for {
  fmt.Println("Worker "
                + strconv.Itoa(id)
                + " arbeitet in Phase "
                + strconv.Itoa(count))
  time.Sleep(time.Duration(rand.Intn(10000))
             * time.Millisecond)
  fmt.Println("Worker " + strconv.Itoa(id)+ " an sync")
  sync(space)
  fmt.Println("Worker " + strconv.Itoa(id)+ " nach sync")
  count++
  }
}

func main() {
 // Tuple Space erzeugen
 space := NewSpace("MeinTupelSpace")
 newBarrier(space,5)
 for i:=0; i < 5; i++ {
  go worker(i,space)
 }
 // Auf Benutzereingabe warten
 reader := bufio.NewReader(os.Stdin)
 reader.ReadString('\n')
}
```

Speisende Philosophen

```
philosoph(i) {
  loop forever
    Denke;
    in("Raum");
    in("Gabel",i=);
    j := i+1 mod N;
    in("Gabel",j=);
    Esse;
    out("Gabel",i);
    out("Gabel",j);
    out("Raum");
  end loop
}
```

```
initialize() {
  for i=1 to N do
    out("Gabel",i);
    if i ≠ N then out("Raum");
  for i=1 to N do
    Erzeuge Prozess philosoph(i);
}
```

Deadlockfrei und Starvationfrei

Speisende Philosophen (2)

```
initialize() {
  for i=1 to 5 do
     out("Gabel",i);
     if i ≠ 5 then out("Raum");
  for i=1 to 5 do
    Erzeuge Prozess philosoph(i);
}
```

("Raum") ("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2) ("Gabel",3)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2) ("Gabel",3)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2) ("Gabel",3)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
    Denke;
    in("Raum");
    in("Gabel",i=);
    j := 4;
    in("Gabel",j=);
    Esse;
    out("Gabel",i);
    out("Gabel",j);
    out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2) ("Gabel",3)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2) ("Gabel",3)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Speisende Philosophen (3)

```
philosoph(3) {
  loop forever
     Denke;
     in("Raum");
     in("Gabel",i=);
     j := 4;
     in("Gabel",j=);
     Esse;
     out("Gabel",i);
     out("Gabel",j);
     out("Raum");
  end loop
}
```

("Raum") ("Raum") ("Gabel",1) ("Gabel",2) ("Gabel",3)

("Raum") ("Raum") ("Gabel",4) ("Gabel",5)

Erzeuger / Verbraucher

Initial: N Tupel (“notFull“) im Tuple-Space

```
produce(Element e) {
    in(“notFull“);
    out(“buffer“,e);
    out(“notEmpty“);
}
```

```
consume() {
    in(“notEmpty“);
    in(“buffer“,x);
    out(“notFull“);
    return(x);
}
```

Code des Erzeugers:

```
loop forever
(1)   erzeuge e
(2)   produce(e)
end loop
```

Code des Verbrauchers:

```
loop forever
(1)   e := consume();
(2)   verbrauche e;
end loop
```

Erzeuger / Verbraucher

Initial: N Tupel (“notFull“) im Tuple-Space

```
produce(Element e) {
    in(“notFull“);
    out(“buffer“,e);
    out(“notEmpty“);
}
```

```
consume() {
    in(“notEmpty“);
    in(“buffer“,x);
    out(“notFull“);
    return(x);
}
```

Code des Erzeugers:

```
loop forever
(1)   erzeuge e
(2)   produce(e)
end loop
```

Code des Verbrauchers:

```
loop forever
(1)   e := consume();
(2)   verbrauche e;
end loop
```

Keine FIFO-Reihenfolge!

Erzeuger / Verbraucher: FIFO

Initial: N Tupel (“notFull“) im Tuple-Space
(“FIFO-Queue“,“tail“,0)
(“FIFO-Queue“,“head“,0)

```
produce(Element e) {
    in(“notFull“);
    in(“FIFO-Queue“,“tail“, tindex);
    tindex’ = tindex +1;
    out(“buffer“, tindex’, e);
    out(“FIFO-Queue“, “tail“, tindex’);
    out(“notEmpty“);
}
```

```
consume() {
    in(“notEmpty“);
    in(“FIFO-Queue“, “head“, hindex);
    hindex’ = hindex+1;
    in(“buffer“, hindex=, x);
    out(“FIFO-Queue“, “head“, hindex’);
    out(“notFull“);
    return(x);
}
```

Erzeuger-Verbraucher in Go

```
func makeBuffer(space Space, capacity int) {
 for i:=1; i <= capacity; i++ { space.Put("notFull")}
 space.Put("FIFO-Queue", "tail",0)
 space.Put("FIFO-Queue", "head",0)
}
func produce(space Space, element int) {
 space.Get("notFull")
 var tindex int
 t,_ := space.Get("FIFO-Queue","tail",&tindex)
 tindex = t.GetFieldAt(2).(int)
 tindex = tindex +1
 space.Put("buffer",tindex,element)
 space.Put("FIFO-Queue","tail",tindex)
 space.Put("notEmpty")
}
func consume(space Space) int {
 space.Get("notEmpty")
 var hindex int
 t,_ := space.Get("FIFO-Queue","head",&hindex)
 hindex = t.GetFieldAt(2).(int)
 hindex = hindex +1
 var result int
 t2,_ := space.Get("buffer",hindex,&result)
 result=t2.GetFieldAt(2).(int)
 space.Put("FIFO-Queue","head",hindex)
 space.Put("notFull")
 return result
}
```

```
func producer(id int,space Space) {
 for {
  time.Sleep(time.Duration(rand.Intn(10000)) * time.Millisecond)
  fmt.Println("Producer " + strconv.Itoa(id)+ " will produzieren")
  produce(space,id)
  fmt.Println("Producer " + strconv.Itoa(id)+ " hat produziert")
 }
}
func consumer(id int,space Space) {
 for {
  time.Sleep(time.Duration(rand.Intn(1000)) * time.Millisecond)
  fmt.Println("Consumer " + strconv.Itoa(id)+ " will konsumieren")
  t := consume(space)
  fmt.Println("Consumer " + strconv.Itoa(id)+ " bekam " + strconv.Itoa(t))
  }
}
func main() {
 // Tuple Space erzeugen
 space := NewSpace("MeinTupelSpace")
 makeBuffer(space,3)
 for i:=0; i < 10; i++ {
  go consumer(i,space)
 }
 for i:=0; i < 10; i++ {
  go producer(i,space)
 }
 reader := bufio.NewReader(os.Stdin)
 reader.ReadString('\n')
}
```

Readers & Writers

Reader:
```
startRead();
Kritischer Abschnitt;
stopRead();
```

Writer:
```
startWrite();
Kritischer Abschnitt;
stopWrite();
```

- Ein Tupel wird benutzt der Form:
  (“RW“,Anzahl Reader, Anzahl Writer)
- Initial: Ein Tupel (“RW“,0,0)

Readers & Writers (2)

```
startRead() {
  in("RW",countR,0);
  countR' := countR + 1;
  out("RW",countR',0);
}

startWrite() {
  in("RW",0,0);
  out("RW",0,1);
}
```

```
stopRead() {
  in("RW",countR,0);
  countR' := countR - 1;
  out("RW",countR',0);
}

stopWrite() {
  in("RW",0,1);
  out("RW",0,0);
}
```

Readers & Writers: Priorität für Writers

Initial: Ein Tupel (“RW“,0,0,0)

```
startRead() {
  in(“RW“,countR,0,0);
  countR’ := countR + 1;
  out(“RW“,countR’,0,0);
}
```

```
startWrite() {
  in(“RW“,countR,countW,waitingW);
  w’ := waitingW+1;
  out(“RW“,countR,countW,w’);
  in(“RW“,0,0,waitingW);
  w’ := waitingW-1;
  out(“RW“,0,1,w’);
}
```

```
stopRead() {
  in(“RW“,countR,0,waitingW);
  countR’ := countR - 1;
  out(“RW“,countR’,0,waitingW);
}
```

```
stopWrite() {
  in(“RW“,0,1,waitingW);
  out(“RW“,0,0,waitingW);
}
```