

Script generated by TTT

Title: Info2 (29.01.2016)

Date: Fri Jan 29 08:35:52 CET 2016

Duration: 88:33 min

Pages: 31

Diskussion:

- `sync (send ch str)` macht das Ereignis des Sendens der Welt offenbar und `blockiert` den Sender, bis jemand den Wert aus dem Kanal ausgelesen hat ...
- `sync (receive ch)` blockiert den Empfänger, bis ein Wert im Kanal enthalten ist. Dann liefert der Ausdruck diesen Wert.
- Synchroner Kommunikation ist eine Alternative zum Austausch von Daten zwischen Threads bzw. zur Organisation von Nebenläufigkeit
⇒ Rendezvous
- Insbesondere kann sie benutzt werden, um asynchrone Thread-Kooperation zu implementieren.

Im Beispiel spaltet `main` einen Thread ab. Dann sendet sie diesem einen String und wartet auf Antwort. Entsprechend wartet der Thread auf Übertragung eines `string`-Werts auf dem Kanal. Sobald er ihn erhalten hat, sendet er auf dem `selben Kanal` eine Antwort.

Achtung!

Ist die Abfolge von `send` und `receive` nicht sorgfältig designt, können Threads leicht blockiert werden ...

Die Ausführung des Programms liefert:

```
> ./a.out
main is sending ...Greetings!
He got it!
>
```

375

Beispiel: Eine globale Speicherzelle

Eine globale Speicherzelle, insbesondere in Anwesenheit mehrerer Threads sollte die Signatur `Cell` implementieren:

```
module type Cell = sig
  type 'a cell
  val new_cell : 'a -> 'a cell
  val get : 'a cell -> 'a
  val put : 'a cell -> 'a -> unit
end
```

Dabei muss sichergestellt werden, die verschiedenen `get`- und `put`-Aufrufe sequenzialisiert ausgeführt werden.

Diese Aufgabe erfüllt ein **Server**-Thread, mit dem **get** und **put** kommunizieren:

```
type 'a req = Get of 'a channel | Put of 'a
type 'a cell = 'a req channel
```

Der Kanal transportiert Requests an die Speicherzelle, welche entweder den zu setzenden Wert oder den Rückkanal enthalten ...

377

Spannend ist jetzt nur noch die Implementierung der Zelle selbst:

```
let new_cell x = let req = new_channel ()
  in let rec serve x = match sync (receive req)
    with Get reply -> sync (send reply x);
      serve x
    | Put y      -> serve y
  in
  create serve x;
  req
```

379

```
let get req = let reply = new_channel ()
  in sync (send req (Get reply));
  sync (receive reply)
```

Die Funktion **get** sendet einen neuen Rückkanal auf **req**. Ist dieser angekommen, wartet sie auf die Antwort.

```
let put req x = sync (send req (Put x))
```

Die Funktion **put** sendet ein **Put**-Element, das den neuen Wert der Speicherzelle enthält.

378

```
let main = let x = new_cell 1
  in print_int (get x); print_string "\n";
  put x 2;
  print_int (get x); print_string "\n"
```

Dann liefert die Ausführung:

```
> ./a.out
1
2
>
```

Anstelle von **get** und **put** könnte man auch kompliziertere Anfrage- bzw. Update-Funktionen vom **cell**-Server ausführen lassen ...

381

Beispiel: Locks

Oft soll von mehreren möglicherweise aktiven Threads nur ein einziger auf eine bestimmte Resource zugreifen. Um solchen **wechselseitigen Ausschluss** zu implementieren, kann man Locks verwenden:

```
module type Lock = sig
  type lock
  type ack
  val new_lock : unit -> lock
  val acquire : lock -> ack
  val release : ack -> unit
end
```

382

Der Freigabe-Kanal wird von `acquire` hergestellt.

```
let release ack = sync (send ack ())
```

... und von der Operation `release` benutzt.

```
let new_lock () = let lock = new_channel ()
  in let rec ack_server () =
    rel_server (sync (receive lock))
    and rel_server ack =
    sync (receive ack);
    ack_server ()
  in create ack_server ();
  lock
```

384

Ausführen der Operation `acquire` liefert ein Element des Typs `ack`, dessen Rückgabe den Lock wieder frei gibt:

```
type ack = unit channel
type lock = ack channel
```

Der Einfachheit halber wählen wir `ack` einfach als den Kanal, über den die Freigabe des Locks erfolgen soll.

```
let acquire lock = let ack = new_channel ()
  in sync (send lock ack);
  ack
```

383

Herzstück der Implementierung sind die beiden wechselseitig rekursiven Funktionen `ack_server` und `rel_server`.

`ack_server` erwartet ein `ack`-Element, d.h. einen Kanal, und ruft nach Erhalt `rel_server` auf.

`rel_server` erwartet über den erhaltenen Kanal ein Signal, dass die Resource auch freigegeben wurde ...

Jetzt sind wir in der Lage, einen anständigen **Deadlock** zu programmieren:

```
let dead = let l1 = new_lock ()
  in let l2 = new_lock ()
  ...
```

385

```

in let th (l1,l2) = let a1 = acquire l1
  in let _ = delay 1.0
  in let a2 = acquire l2
  in release a2; release a1;
  print_int (id (self ()));
  print_string " finished\n"
in let t1 = create th (l1,l2)
in let t2 = create th (l1,l2)
in join t1

```

Das Ergebnis ist:

```
> ./a.out
```

Ocaml wartet und wartet ...

386

Beispiel: Semaphore

Gelegentlich gibt es mehr als ein Exemplar einer Resource. Dann sind [Semaphore](#) ein geeignetes Hilfsmittel ...

```

module type Sema = sig
  type sema
  new_sema : int -> sema
  up : sema -> unit
  down : sema -> unit
end

```

387

```

in let th (l1,l2) = let a1 = acquire l1
  in let _ = delay 1.0
  in let a2 = acquire l2
  in release a2; release a1;
  print_int (id (self ()));
  print_string " finished\n"
in let t1 = create th (l1,l2)
in let t2 = create th (l2,l1)
in join t1

```

Das Ergebnis ist:

```
> ./a.out
```

Ocaml wartet und wartet ...

386

Idee:

Wir implementieren wieder einen Server, der in einem akkumulierenden Parameter die Anzahl der noch zur Verfügung stehenden Ressourcen bzw. eine Schlange der wartenden Threads enthält ...

```

module Sema = struct open Thread Event
  type sema = unit channel option channel
  let up sema = sync (send sema None)
  let down sema = let ack = (new_channel : unit channel)
    in sync (send sema (Some ack));
    sync (receive ack)
  ...
end

```

388

```

...
let new_sema n = let sema = new_channel ()
  in let rec serve (n,q) =
    match sync (receive sema)
    with None -> (match dequeue q
      with (None,q) -> serve (n+1,q)
      | (Some ack,q) -> sync (send ack ());
        serve (n,q))
    | Some ack -> if n>0 then sync (send ack ());
      serve (n-1,q)
      else serve (n,enqueue ack q)
  in create serve (n,new_queue()); sema
end

```

Offensichtlich verwalten wir in der Schlange nicht die Threads selbst, sondern ihre jeweiligen Rückantwort-Kanäle.

389

```

...
let new_sema n = let sema = new_channel ()
  in let rec serve (n,q) =
    match sync (receive sema)
    with None -> (match dequeue q
      with (None,q) -> serve (n+1,q)
      | (Some ack,q) -> sync (send ack ());
        serve (n,q))
    | Some ack -> if n>0 then sync (send ack ());
      serve (n-1,q)
      else serve (n,enqueue ack q)
  in create serve (n,new_queue()); sema
end

```

Offensichtlich verwalten wir in der Schlange nicht die Threads selbst, sondern ihre jeweiligen Rückantwort-Kanäle.

389

Idee:

Wir implementieren wieder einen Server, der in einem akkumulierenden Parameter die Anzahl der noch zur Verfügung stehenden Ressourcen bzw. eine Schlange der wartenden Threads enthält ...

```

module Sema = struct open Thread Event
  type sema = unit channel option channel
  let up sema = sync (send sema None)
  let down sema = let ack = (new_channel : unit channel)
    in sync (send sema (Some ack));
      sync (receive ack)
  ...

```

388

8.2 Selektive Kommunikation

Häufig weiß ein Thread nicht, welche von mehreren möglichen Kommunikations-Rendezvous zuerst oder überhaupt eintrifft. Nötig ist eine **nicht-deterministische Auswahl** zwischen mehreren Aktionen ...

Beispiel: Die Funktion

```
add : int channel * int channel * int channel -> unit
```

soll Integers aus zwei Kanälen lesen und die Summe auf dem dritten senden.

390

1. Versuch:

```
let forever f init = let
  let rec loop x = loop (f x)
  in create loop init
end
let add1 (in1, in2, out) = forever (fun () ->
  sync (send out (sync (receive in1) +
    sync (receive in2)))
)) ()
```

Nachteil:

Kommt am zweiten Input-Kanal bereits früher ein Wert an, muss der Thread trotzdem warten.

391

Idee:

- Initiierung von Input- wie Output-Operationen erzeugen **Events**.
- Events sind Daten-Objekte des Typs: `'a event`.
- Die Funktion:

```
wrap : 'a event -> ('a -> 'b) -> 'b event
```

wendet eine Funktion **nachträglich** auf den Wert eines Events – sollte er denn eintreffen – an.

393

2. Versuch:

```
let add (in1, in2, out) = forever (fun () ->
  let (a,b) = select [
    wrap (receive in1) (fun a -> (a, sync (receive in2)));
    wrap (receive in2) (fun b -> (sync (receive in1), b))
  ]
  in sync (send out (a+b))
) ()
```

Dieses Programm müssen wir uns langsam auf der Zunge zergehen lassen ...

392

2. Versuch:

```
let add (in1, in2, out) = forever (fun () ->
  let (a,b) = select [
    wrap (receive in1) (fun a -> (a, sync (receive in2)));
    wrap (receive in2) (fun b -> (sync (receive in1), b))
  ]
  in sync (send out (a+b))
) ()
```

Dieses Programm müssen wir uns langsam auf der Zunge zergehen lassen ...

392

Idee:

- Initiierung von Input- wie Output-Operationen erzeugen **Events**.
- Events sind Daten-Objekte des Typs: `'a event`.
- Die Funktion:

```
wrap : 'a event -> ('a -> 'b) -> 'b event
```

wendet eine Funktion **nachträglich** auf den Wert eines Events – sollte er denn eintreffen – an.

393

2. Versuch:

```
let add (in1, in2, out) = forever (fun () ->
  let (a,b) = select [
    wrap (receive in1) (fun a -> (a, sync (receive in2)));
    wrap (receive in2) (fun b -> (sync (receive in1), b))
  ]
  in sync (send out (a+b))
) ()
```

Dieses Programm müssen wir uns langsam auf der Zunge zergehen lassen ...

392

Die Liste enthält damit `(int,int)`-Events.

Die Funktionen:

```
choose : 'a event list -> 'a event
select : 'a event list -> 'a
```

wählen **nicht-deterministisch** ein Event einer Event-Liste aus.

select synchronisiert anschließend auf den ausgewählten Event, d.h. stellt die nötige Kommunikation her und liefert den Wert zurück:

```
let select = comp sync choose
```

Typischerweise wird dabei dasjenige Event ausgewählt, das zuerst einen Partner findet.

394

Weitere Beispiele:

Die Funktion

```
copy : 'a channel * 'a channel * 'a channel -> unit
```

soll ein gelesenes Element auf zwei Kanäle kopieren:

395

```

let copy (in, out1, out2) = forever (fun () ->
  let x = sync (receive in)
  in select [
    wrap (send out1 x)
      (fun () -> sync (send out2 x));
    wrap (send out2 x)
      (fun () -> sync (send out1 x))
  ]
) ()

```

Offenbar kann die Event-Liste auch aus Sende-Events bestehen – oder sogar beide Sorten enthalten.

```

type 'a cell = 'a channel * 'a channel
...

```

396

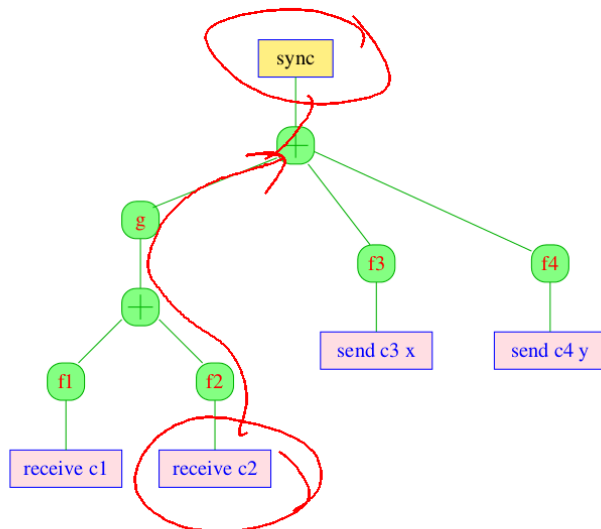
```

...
let get (get_chan,_) = sync (receive get_chan)
let put (_,put_chan) x = sync (send put_chan x)
let new_cell x = let get_chan = new_channel ()
  in let put_chan = new_channel ()
  in let serve x = select [
    wrap (send get_chan x) (fun () -> serve x);
    wrap (receive put_chan) serve
  ]
in
  create serve x;
  (get_chan, put_chan)

```

397

Im allgemeinen kann ein Event-Baum vorliegen:



398

- Die Blätter sind Basis-Events.
- Auf ein Event kann eine Wrapper-Funktion angewandt werden.
- Mehrere Ereignisse des gleichen Typs können mit einem Auswahl-Knoten zusammengefasst werden.
- Synchronisierung auf einen Event-Baum aktiviert ein Blatt-Event. Als Ergebnis wird der Wert geliefert, den die Komposition der Wrapper-Funktionen auf dem Weg zur Wurzel liefert.

399