Concurrence et continuations en OCaml

Christophe Deleuze

LCIS – Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes
Grenoble-INP, Valence

JFLA 2012 – février 2012

Introduction

- concurrence
  - fils d'exécution
  - indépendance temporelle
  - par exemple, modèle réactif
- échelle limitée par le système d'exploitation
  - processus/thread
  - préemptif
  - **coûteux**
- niveau application
  - coopératif
- panorama de quelques techniques existantes

Plan

- un modèle minimal
- une application : le crible
- style direct
  - captures de continuation
- style indirect
  - trampoline, monades, événements
- performances
- conclusion

Un modèle minimal

- *spawn* – crée un nouveau thread
- *yield* – le thread suspend son exécution

mvar : variable mutable partagée (vide ou pleine)

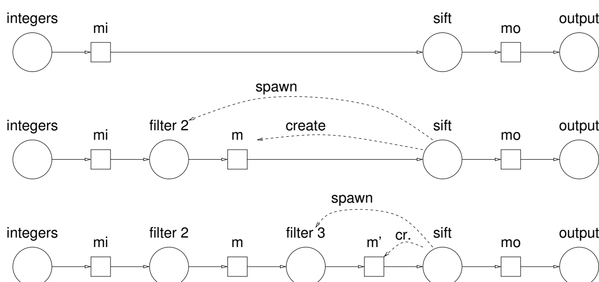
- *make_mvar* – crée une mvar vide
- *take_mvar* – retire la valeur de la mvar
- *put_mvar* – place une valeur dans la mvar

Une application : le crible

Chaîne de threads

- *integers* : générateur
  - produit les entiers à partir de 2
- *filter n* : bloque les multiples de *n*
- *sift* : "étendeur"
  - insère nouveau filtre pour chaque premier trouvé
- *output* : récepteur

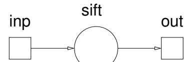
Une application : le crible



Style direct

ou "normal"

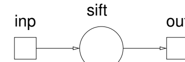
```
let rec sift inp out () =
  let v = take_mvar inp in
  put_mvar out v;
  let mid = make_mvar () in
  spawn (filter v inp mid);
  sift mid out ()
```



Style direct

ou "normal"

```
let rec sift inp out () =
  let v = take_mvar inp in
  put_mvar out v;
  let mid = make_mvar () in
  spawn (filter v inp mid);
  sift mid out ()
```



Les opérations bloquantes se présentent comme des fonctions normales

val *take_mvar* : α *mvar* $\rightarrow$ α
val *put_mvar* : α *mvar* $\rightarrow$ α $\rightarrow$ *unit*

val *yield* : *unit* $\rightarrow$ *unit*

Opérations bloquantes

Comment les mettre en œuvre ?

let rec *sift inp out* () =
  let *v* = *take_mvar inp* in
  put_mvar out v;
  let *mid* = *make_mvar* () in
  spawn (*filter v inp mid*);
  sift mid out ()

Opérations bloquantes

Comment les mettre en œuvre ?

let rec *sift inp out* () =
  let *v* = *take_mvar inp* in
  put_mvar out v;
  let *mid* = *make_mvar* () in
  spawn (*filter v inp mid*);
  sift mid out ()

continuation = "ce qui reste à exécuter" = le contexte = la pile

Opérations bloquantes

Comment les mettre en œuvre ?

let rec *sift inp out* () =
  let *v* = *take_mvar inp* in
  put_mvar out v;
  let *mid* = *make_mvar* () in
  spawn (*filter v inp mid*);
  sift mid out ()

continuation = "ce qui reste à exécuter" = le contexte = la pile

Opérations bloquantes

Comment les mettre en œuvre ?

let rec *sift inp out* () =
  let *v* = *take_mvar inp* in
  put_mvar out v;
  let *mid* = *make_mvar* () in
  spawn (*filter v inp mid*);
  sift mid out ()

continuation = "ce qui reste à exécuter" = le contexte = la pile

- capture (`call/cc` en Scheme) : **réifie** la continuation
- bibliothèque `caml-shift` : continuations délimitées
  - préfixe de la continuation
  - délimitée par un *prompt* dans la pile

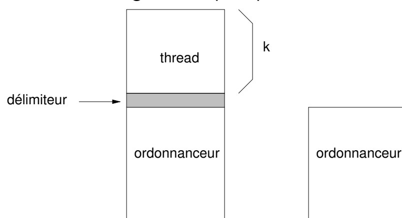
Capture de continuation

val *shift0* : *prompt* $\rightarrow$ (($\alpha \rightarrow$ *unit*) $\rightarrow$ *unit*) $\rightarrow \alpha$

let *yield* () = *shift0 prpt* (fun *k* $\rightarrow$ *enqueue k*)

shift0 :

- réifie le fragment de pile et le passe à son deuxième argument
- retire le fragment, le prompt et retourne



Cas des mvars

type α *t* = $\alpha \rightarrow$ *unit*

type α *mvar* = { mutable *v* : α *option*;
  mutable *read* : α *t option*;
  mutable *write* : (*unit t* $\times$ α) *option* }

let *take_mvar inp* =
  match *inp* with
  | { *v* = *Some v*; *read* = *None*; *write* = *None* } $\rightarrow$
    inp.v $\leftarrow$ *None*; *v*
  | { *v* = *Some v*; *read* = *None*; *write* = *Some*(kp, v') } $\rightarrow$
    inp.v $\leftarrow$ *Some* v'; *inp.write* $\leftarrow$ *None*; *enqueue kp*; *v*
  | { *v* = *None*; *read* = *None*; *write* = _ } $\rightarrow$
    shift0 prpt (fun *k* $\rightarrow$ *inp.read* $\leftarrow$ *Some k*)

Style indirect

- continuations **explicites** (fermetures)
- (>>=) "opérateur de composition séquentielle"

let rec *sift inp out* () =
  take_mvar inp >>= fun *v* $\rightarrow$
  put_mvar out v >>= fun () $\rightarrow$
  let *mid* = *make_mvar* () in
  spawn (*filter v inp mid*);
  sift mid out ()

Style indirect

- continuations **explicites** (fermetures)
- (>>=) "opérateur de composition séquentielle"

let rec *sift inp out* () =
  take_mvar inp >>= fun *v* $\rightarrow$
  put_mvar out v >>= fun () $\rightarrow$
  let *mid* = *make_mvar* () in
  spawn (*filter v inp mid*);
  sift mid out ()

Style indirect

- continuations **explicites** (fermetures)
- (>>=) “opérateur de composition séquentielle”

```
let rec sift inp out () =
  take_mvar inp >>= fun v →
  put_mvar out v >>= fun () →
  let mid = make_mvar () in
  spawn (filter v inp mid);
  sift mid out ()
```


Trampoline

- une fonction bloquante prend sa continuation en paramètre
- variante du style *passage de continuation* (CPS)

```
let (>>=) f k = f k

val yield : (unit → unit) → unit
val take_mvar : α mvar → (α → unit) → unit
val put_mvar : α mvar → α → (unit → unit) → unit
```


Trampoline

- une fonction bloquante prend sa continuation en paramètre
- variante du style *passage de continuation* (CPS)

```
let (>>=) f k = f k

val yield : (unit → unit) → unit
val take_mvar : α mvar → (α → unit) → unit
val put_mvar : α mvar → α → (unit → unit) → unit
```


Trampoline

```
let yield k = enqueue k

let take_mvar inp k =
  match inp with
  | { v = Some v; read = None; write = None } →
      inp.v ← None; k v
  | { v = Some v; read = None; write = Some(kp, v') } →
      inp.v ← Some v'; inp.write ← None; enqueue kp; k v
  | { v = None; read = None; write = _ } →
      inp.read ← Some(k)
```


Monade de continuation

```
type α t
val return : α → α t
val (>>=) : α t → (α → β t) → β t
```


Monade de continuation

```
type α t
val return : α → α t
val (>>=) : α t → (α → β t) → β t

type α t = (α → unit) → unit

val put_mvar : α mvar → α → unit t
val take_mvar : α mvar → α t
val yield : unit → unit t
```


Monade de continuation

```
type α t
val return : α → α t
val (>>=) : α t → (α → β t) → β t

type α t = (α → unit) → unit

val put_mvar : α mvar → α → unit t
val take_mvar : α mvar → α t
val yield : unit → unit t
```

(>>=) est un peu compliqué...

```
val (>>=) : ((α → unit) → unit) →
            (α → (β → unit) → unit) →
            (β → unit) → unit

let (>>=) f k' = fun k → f (fun r → k' r k)
```


Monade de promesse

- les mêmes signatures... mais α t ne représente pas la m̂ chose
- **promesse** : valeur qui peut être utilisée pour accéder plus tard à une valeur non encore disponible *(proxy)*.
- opération bloquante retourne une promesse
  - valeur mutable *prête* ou *bloquée*

```
  α t        →       (α → β t) → β t
take_mvar inp >>= fun v → ...
```

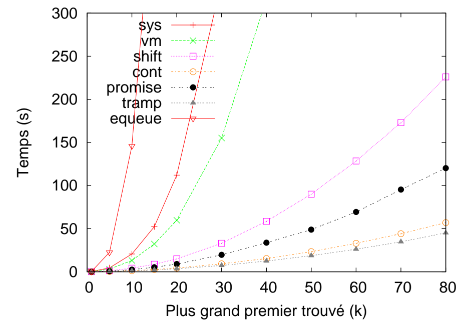
- *take_mvar* retourne promesse p_a
- >>= : si p_a prête, “ouvre” et passe à la continuation qui produit p_b
- sinon retourne nouv. promesse bloquée *res* et “associe” à p_a :
  - exécution de la continuation, qui produit p_b
  - liaison de *res* avec p_b

Programmation événementielle

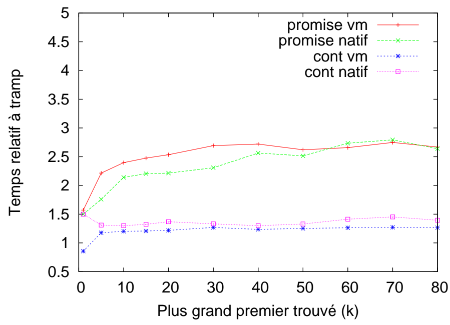
- classique en impératif... “handler” ou “callback”
- proche de la notion de continuation !

- module equeue de OCamlNet
- très lent (pas adapté)

Temps sur le crible (code octet)



Comparaison de tramp, cont et promise



Conclusion

- continuation
- style direct coûteux
  - lié à la capture
- indirect
  - peut gérer des millions de threads (sauf `equeue`)
- “vraies” réalisations
  - Lwt : monade de promesse
  - Muthreads : trampoline
  - `async` de JaneStreet (?)