Threads e Variáveis Compartilhadas em Haskell

Fernando Castor

Professor Adjunto

Centro de Informática

Universidade Federal de Pernambuco

Pode não parecer, mas...

- Linguagens funcionais são ótimas para programação paralela!
- Ausência de efeitos colaterais...
  - Diminui a necessidade de exclusão mútua
  - Em muitos casos, evita não-determinismo
  - Em geral, facilita a programação

- Não é mágica, porém
  - Granularidade
  - Operações de E/S

Como Haskell pode ajudar você

(a tornar paralelas suas aplicações)

- **Seis** abordagens para programação paralela (*and counting*...)
  - Paralelismo semi-explícito
  - Estratégias para execução paralela
  - Threads com variáveis compartilhadas

    - (mais ou menos)
  - *Threads* com memória transacional
  - Paralelismo de dados
  - Atores e passagem de mensagens

Como Haskell pode ajudar você
(a tornar paralelas suas aplicações)

- **Seis** abordagens para programação paralela (*and counting*...)
  - Threads com variáveis compartilhadas
    - (mais ou menos)
  - *Threads* com memória transacional

Threads em Haskell

- Por que usar *threads* explicitamente?
  - Paralelismo semi-explícito tem suas peculiaridades
  - Maior controle sobre criação e uso de *threads*
  - Operações de E/S
    - **Concorrência vs. Paralelismo**

- Threads => variáveis compartilhadas
  - E o “puramente funcional”?
  - Variante **um pouco** mais segura dessa a abordagem

Criação de *threads*

- Pacote **`Control.Concurrent`**
- Duas formas:
  - **`forkIO :: IO() -> IO ThreadId`**
  - **`forkOS :: IO() -> IO ThreadId`**

- **Importante**:
  - O programa principal não espera pelo término das *threads* filhas
  - O programador deve cuidar disso

Comunicação entre *threads*

- Threads comunicam-se usando **variáveis compartilhadas**
  - Diferentes das de Java

Comunicação entre *threads*

- Threads comunicam-se usando **variáveis compartilhadas**
  - Diferentes das de Java

- Comunicação entre *threads* é atômica
  - Usando valores do tipo **`MVar`**
    - Pacote **`Control.Concurrent`**
  - Uma **`MVar`** é análoga a uma fila bloqueante com espaço para apenas um item
    - Alternativa: **`Control.Concurrent.Chan`**

Funções sobre **`MVar`**'s

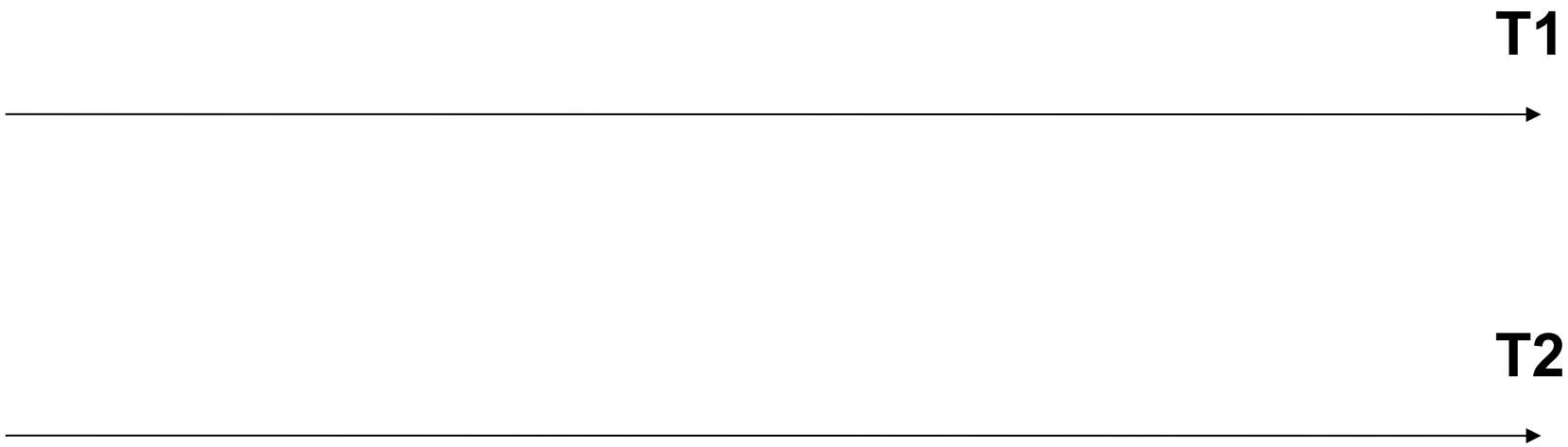
- **`takeMVar :: MVar a -> IO a`**
  - Se a MVar estiver vazia, bloqueia a *thread* até que um item seja colocado na MVar
  - Caso contrário,
    - devolve seu conteúdo, a esvazia e
    - avisa alguma *thread* que esteja bloqueada pela função **`putMVar`**

- **`putMVar :: MVar a -> a -> IO ()`**
  - Coloca um item em uma MVar (ver caso anterior)

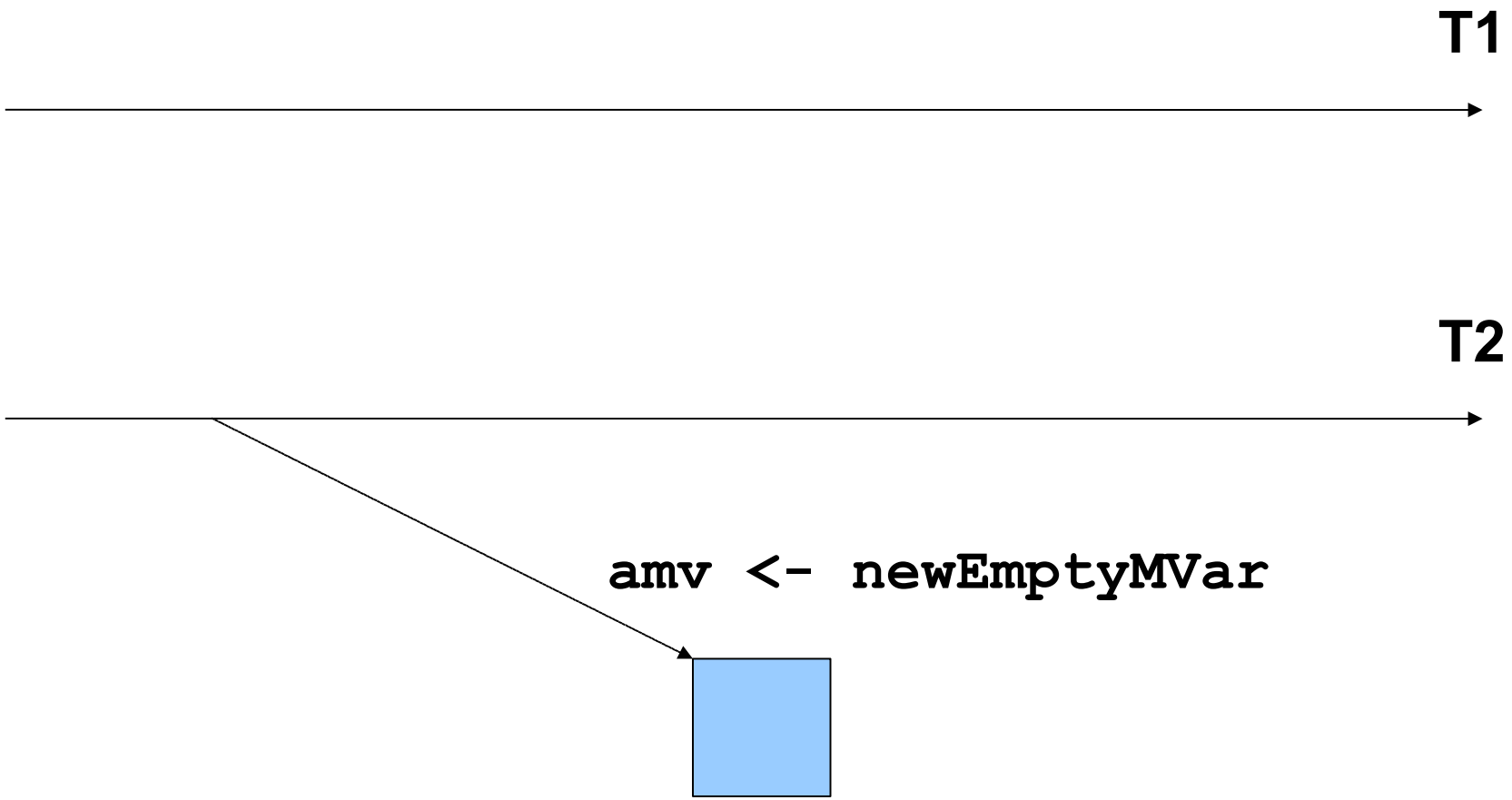
Mais funções sobre **`MVar`**'s

- **`newEmptyMVar :: IO (MVar a)`**
- **`newMVar :: a -> IO (MVar a)`**
- **`readMVar :: MVar a -> IO a`**
  - Devolve o elemento armazenado na **`MVar`**
    - Bloqueia caso esteja vazia
- **`isEmptyMVar :: MVar a -> IO Bool`**
- **`tryTakeMVar :: MVar a -> IO (Maybe a)`**
  - Versão não-bloqueante de **`takeMVar`**
- **`tryPutMVar :: MVar a -> a -> IO Bool`**

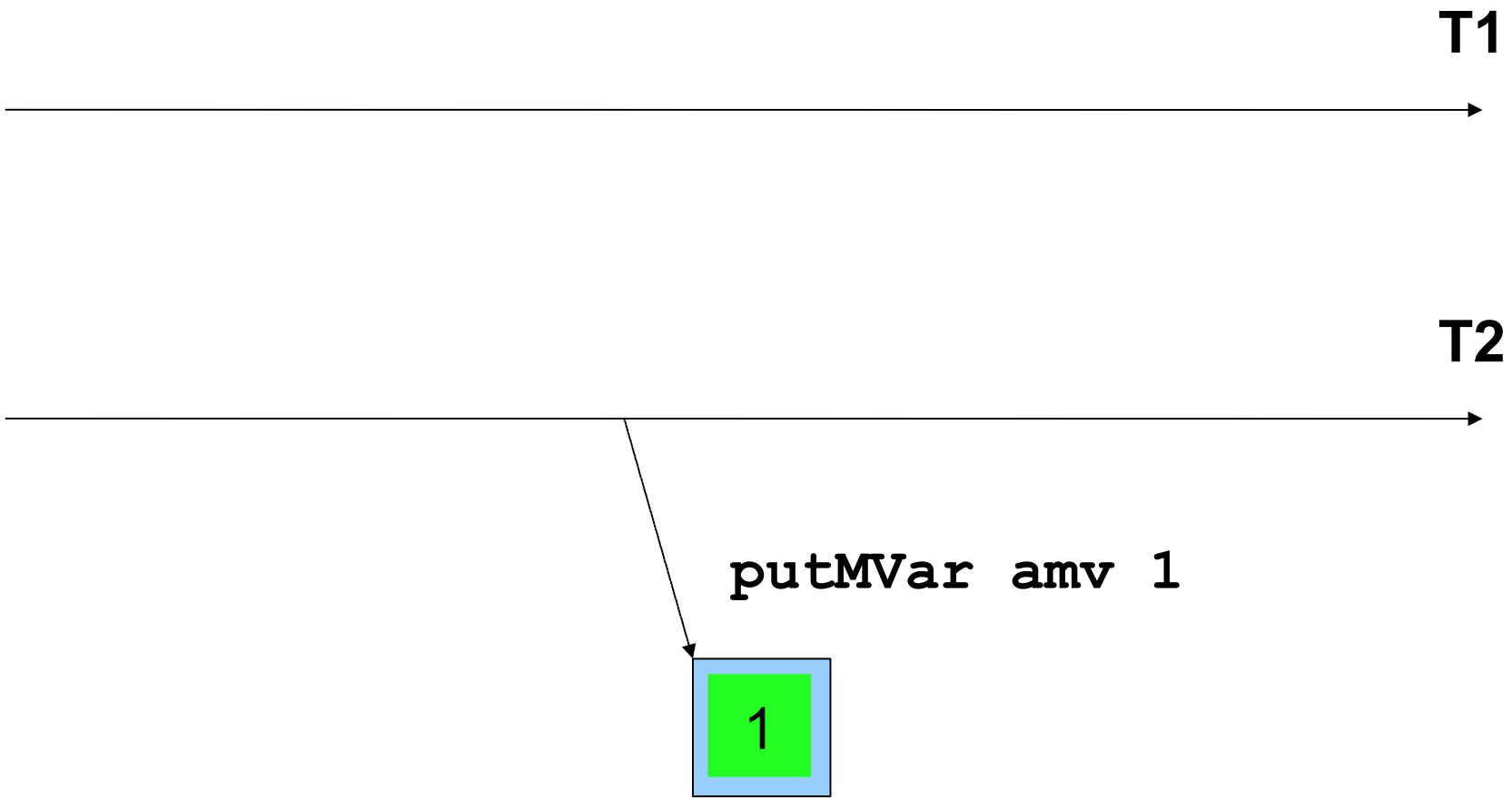
Uma conversa entre *threads*



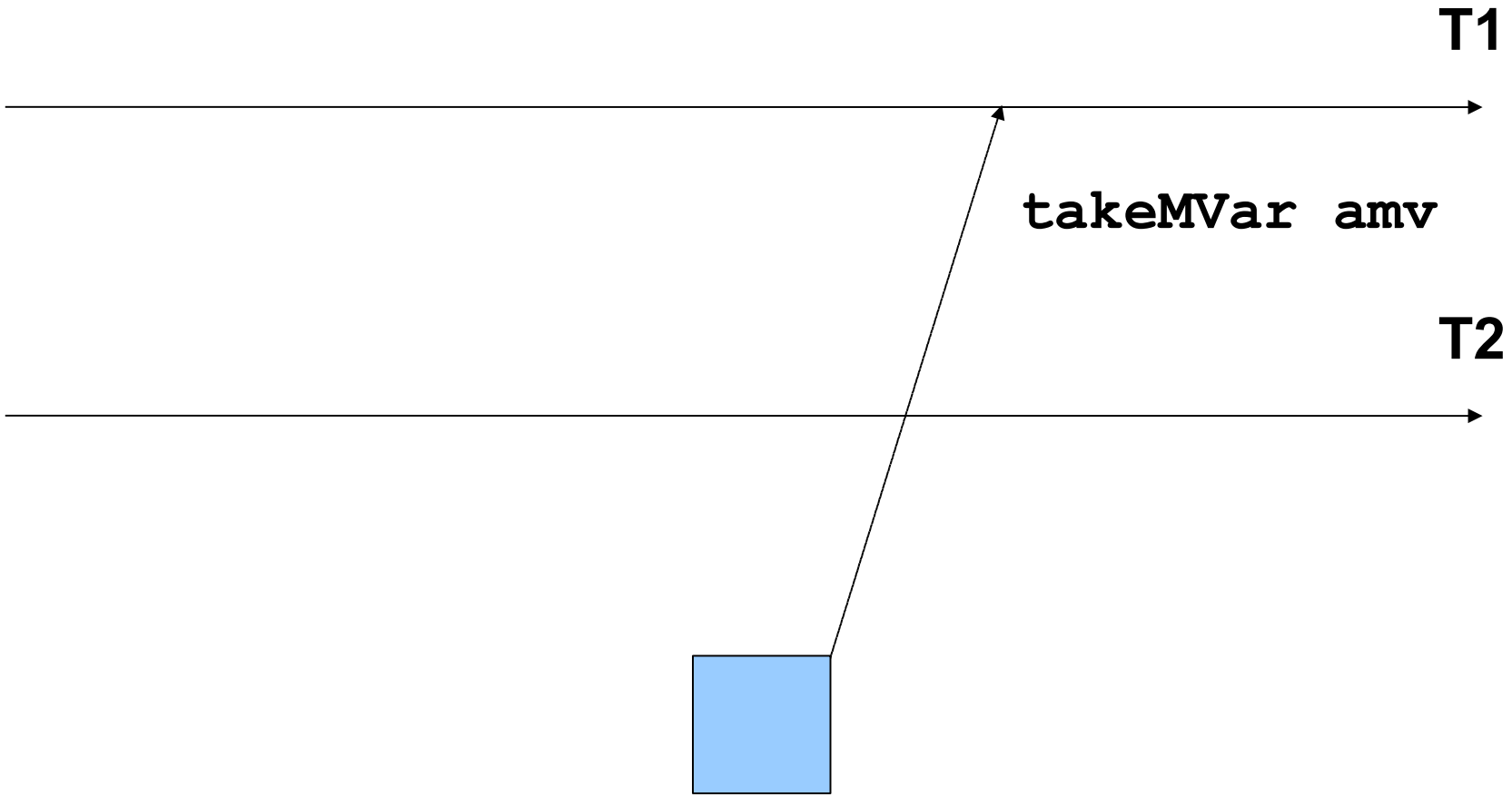
Uma conversa entre *threads*



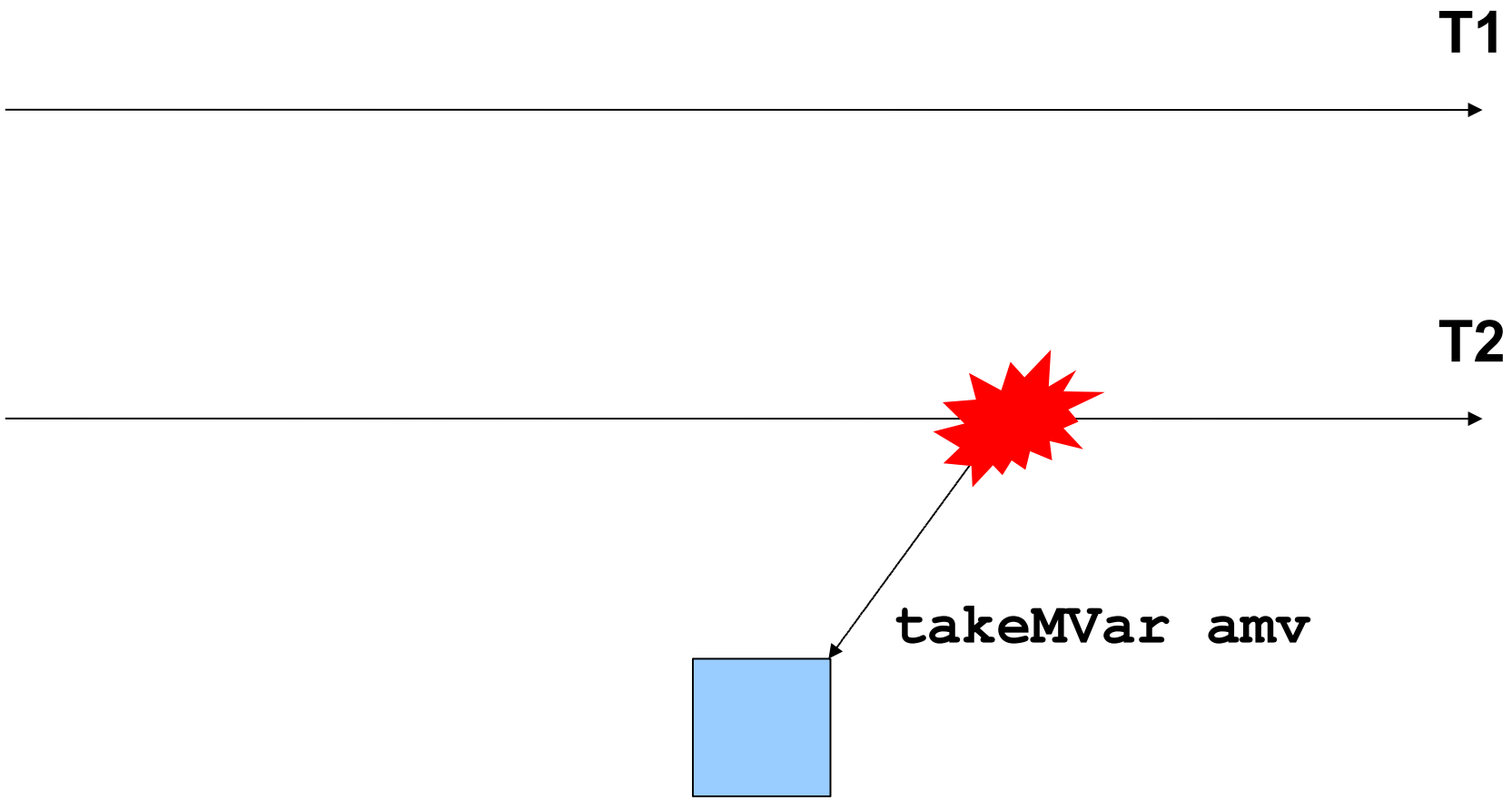
Uma conversa entre *threads*



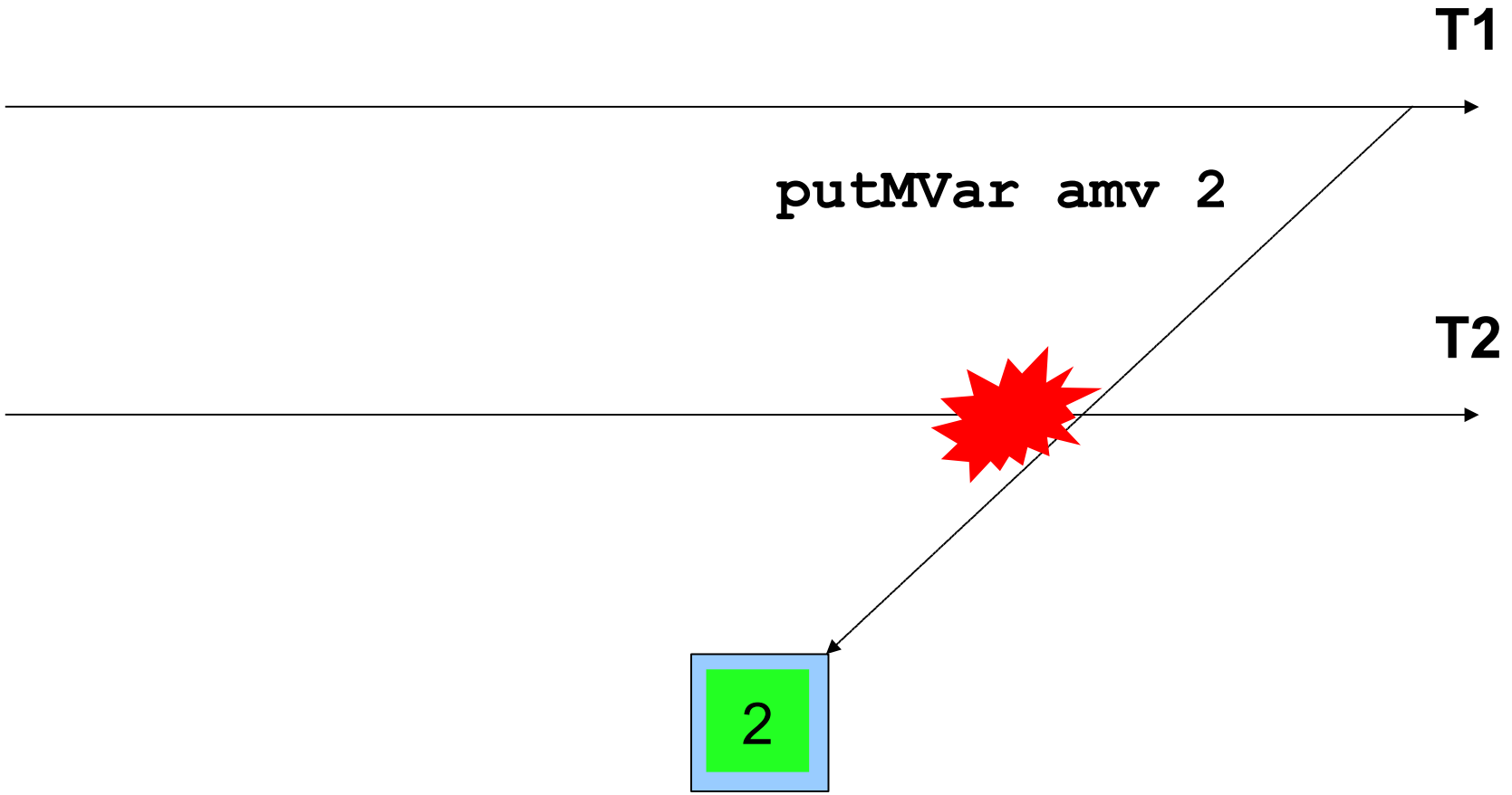
Uma conversa entre *threads*



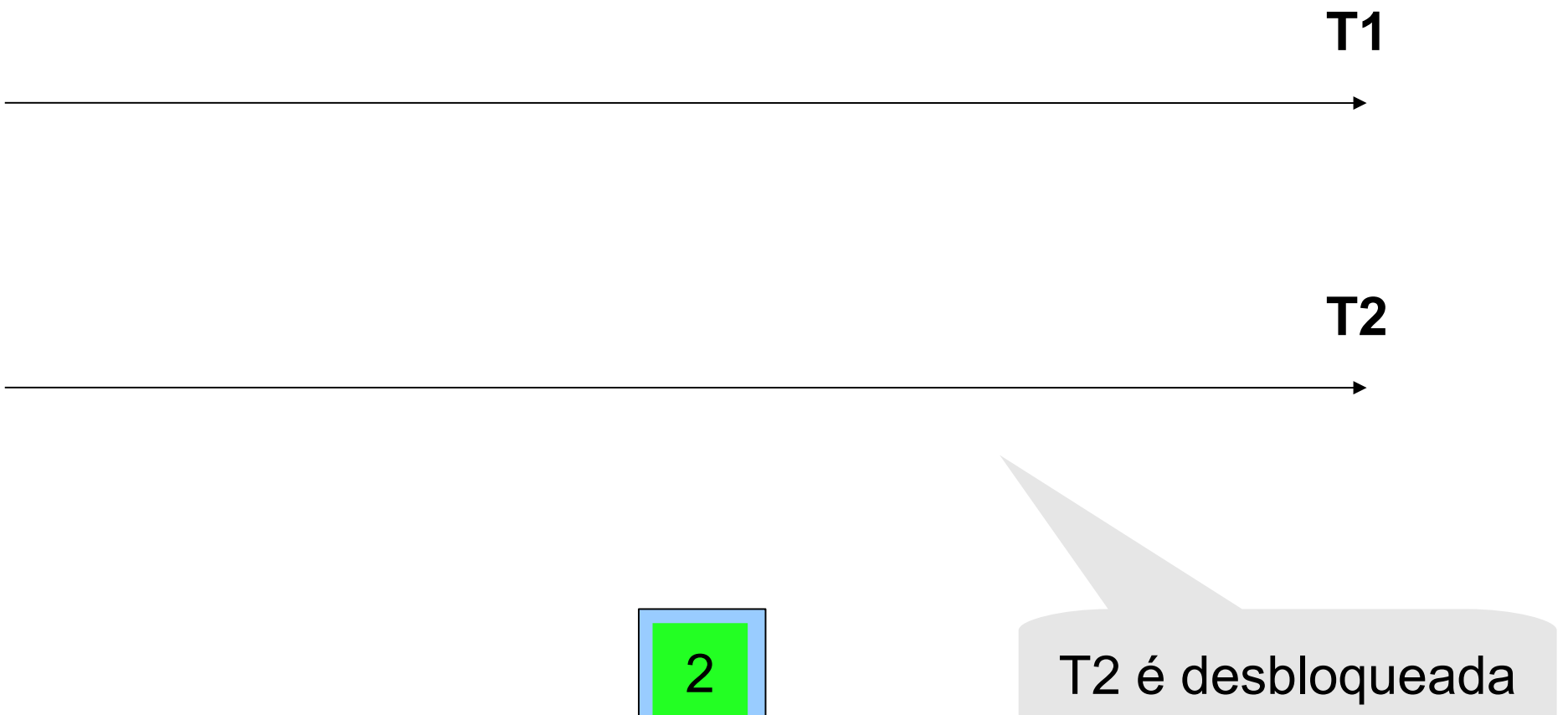
Uma conversa entre *threads*



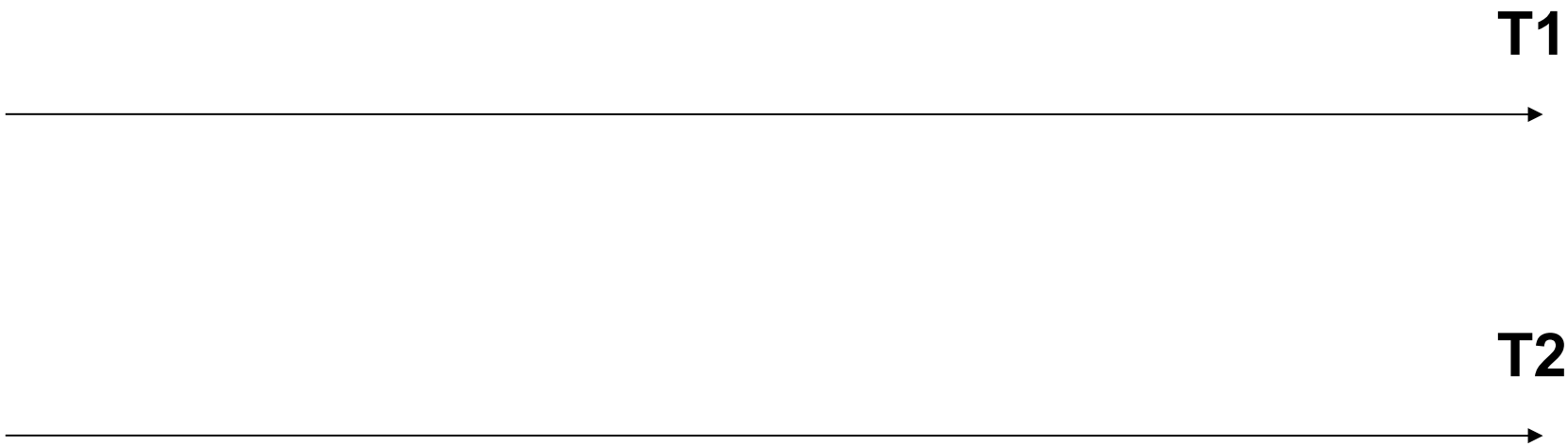
Uma conversa entre *threads*

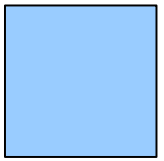


Uma conversa entre *threads*



Uma conversa entre *threads*





T2 obtém o valor guardado em **`amv`**
(execução de **`takeMVar`** procede)

Exemplo 1 com *threads*

```
module Main where
import Control.Concurrent
import Control.Concurrent.MVar

threadA::MVar Float->MVar Float->IO ()
threadA toSend toReceive
  = do putMVar toSend 72
       v <- takeMVar toReceive
       putStrLn (show v)
```

Exemplo 1 com *threads* (cont.)

```
threadB::MVar Float->MVar Float->IO()
threadB toReceive toSend
  = do z <- takeMVar toReceive
       putMVar toSend (1.2 * z)

main::IO()
main = do aMVar <- newEmptyMVar
          bMVar <- newEmptyMVar
          forkIO (threadA aMVar bMVar)
          forkIO (threadB aMVar bMVar)
          threadDelay 1000
          -- espera um tempo (feio!)
```

Compilando programas paralelos e concorrentes

- GHC 6.12.*+
- Incluindo o pacote **`Parallel`** ou **`Concurrent`**
  - Depende do que você for fazer
  - Parte da Haskell Platform
  - Fácil de baixar com o Cabal Install

```
$ sudo cabal install parallel
```

- Compilando:
  - **`ghc --make -rtsopts -threaded programa.hs`**
- Executando:
  - **`programa +RTS -N2 [-s]`**

Um exemplo mais interessante: Fib+Euler

```
module Main where
import Control.Parallel
import Control.Concurrent
import Control.Concurrent.MVar

fib :: Int -> Int
fib 0 = 0
fib 1 = 1
fib n = fib (n - 1) + fib (n - 2)

fibThread :: Int -> MVar Int -> IO ()
fibThread n resMVar = putMVar resMVar (fib n)
```

Um exemplo mais interessante (cont.)

```
mkList :: Int -> [Int]
mkList n = [1..n-1]

relprime :: Int -> Int -> Bool
relprime x y = (gcd x y == 1)

euler :: Int -> Int
euler n = length (filter (relprime n) (mkList
n))

sumEuler :: [Int] -> Int
sumEuler l = sum $ map euler l
```

Revisitando Fib+Euler (cont.)

```
s1 :: Int
s1 = sumEuler (mkList 4750)

main :: IO ()
main
  = do putStrLn "explicit SumFibEuler"
       fibResult <- newEmptyMVar
       forkIO (fibThread 37 fibResult)
       --pseq s1 (return ())
       f <- takeMVar fibResult
       putStrLn ("sum: " ++ show (s1+f))
```

Como é o desempenho neste caso?

Melhorando Fib+Euler

Problema: **`fib n`** não está sendo avaliada na outra *thread*

- Uma solução **parcial**:

```
fibThread :: Int -> MVar Int -> IO ()
fibThread n resMVar =
    pseq f (putMVar resMVar f)
    where f = fib n
```

Desempenho pode variar, dependendo do hardware, dos dados e das configurações usadas!

A alteração acima ainda **NÃO É** suficiente...

O Bom e Velho Contador

```
main :: IO ()
main = do contador <- newMVar 0
          fim1 <- newEmptyMVar
          fim2 <- newEmptyMVar
          forkIO (oper (+) contador fim1 100000)
          forkIO (oper (-) contador fim2 100000)
          takeMVar fim1
          takeMVar fim2
        return ()
```

O Bom e Velho Contador

```
waitThreads :: MVar Int -> IO ()
waitThreads fim =
  do f <- takeMVar fim
     if (f > 0) then
         do putMVar fim f
            waitThreads fim
       else
         return ()

main :: IO ()
main = do contador <- newMVar 0
          fim <- newMVar 2
          forkIO (oper (+) contador fim 100000)
          forkIO (oper (-) contador fim 100000)
          waitThreads fim
        return ()
```

O Bom e Velho Contador ERRADO

```
module Main where
import Control.Concurrent
import Control.Concurrent.MVar

oper::(Int->Int->Int)->MVar Int->MVar Int->Int->IO()
oper op cont fim 0
  = do v <- takeMVar cont
       putStrLn (show v)
       f <- takeMVar fim
       putMVar fim (f-1)
oper op cont fim num
  = do v <- takeMVar cont
       putMVar cont (op v 1)
       oper op cont fim (num-1)
```

Código rodando...

O Bom e Velho Contador ERRADO

```
module Main where
import Control.Concurrent
import Control.Concurrent.MVar

oper::(Int->Int->Int)->MVar Int->MVar Int->Int->IO()
oper op cont fim 0
  = do v <- takeMVar cont -- remove mas não recoloca!
       putStrLn (show v)
       f <- takeMVar fim
       putMVar fim (f-1)
oper op cont fim num
  = do v <- takeMVar cont
       putMVar cont (op v 1)
       oper op cont fim (num-1)
```

Corrigido o problema, funciona com inúmeras *threads!*

Configurando alguns parâmetros do *runtime*

```
$ programa +RTS -N2 -K50M -H300M
```

- **`-K50M`** : 50 MB alocados para a pilha
- **`-H300M`** : 300 MB alocados para o *heap*
  - *Heap*: região da memória usada para variáveis com tempo de vida arbitrário
- Essas opções evitam que ocorra um excesso de coleta de lixo
  - Caro computacionalmente

Implemente um tipo de dados chamado `CountDownLatch`. Implemente também dois métodos, `await()` e `countDown()`. Esse tipo e esses métodos devem se comportar conforme o tipo e os métodos homônimos do exercício da aula passada.

Implemente um tipo chamada `BlockingQueue` que representa uma fila bloqueante segura para múltiplas threads. Implemente também dois métodos, `take() e put()`, que incluem e removem um elemento da fila. O construtor da classe recebe sua capacidade máxima. Chamadas a `take()` removem um elemento da fila, se houver. Se a fila estiver vazia em uma chamada a `take()`, a thread que invocou o método fica bloqueada. Analogamente para uma chamada a `put()` quando o buffer está cheio. Sua implementação deve funcionar corretamente para múltiplos produtores e consumidores, deve garantir que produtores conseguem colocar itens em um buffer não-cheio, se assim o desejarem, que consumidores conseguem remover itens de um buffer não-vazio se assim o desejarem e que, a qualquer momento, não mais que um produtor e não mais que um consumidor estão usando a fila.