Haskell で実装した 高速 Web サーバ Mighttpd について

2012.11.14

山本和彦

内容

- Mighttpd とは何か？
- なぜ Haskell か？
  - 安全で軽量なユーザスレッド
- どうやって高速化したか？
  - システムコールの低減
  - 特化と再計算の回避
  - ロックの低減

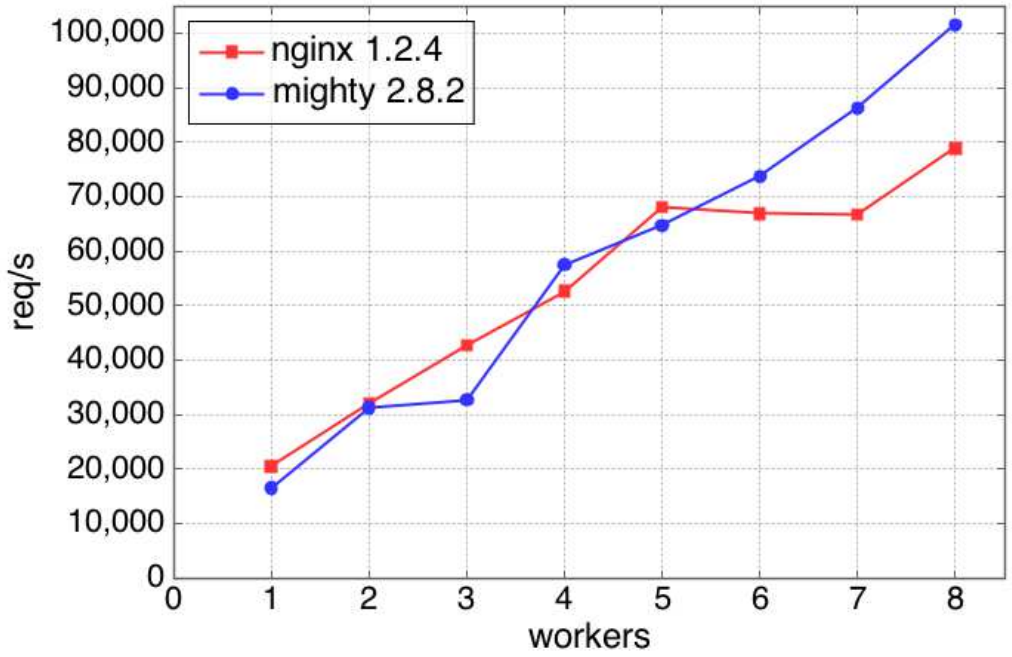
Mighttpd とは何か？

Haskell で実装した Web サーバ

Mighttpd の特徴

オープン	IIJ-II が開発 Haskell で実装
高速	nginx に比肩 機能は少ない
WAI アプリ	Yesod ファミリ Warp の上に構築

Ping Pong ベンチマーク

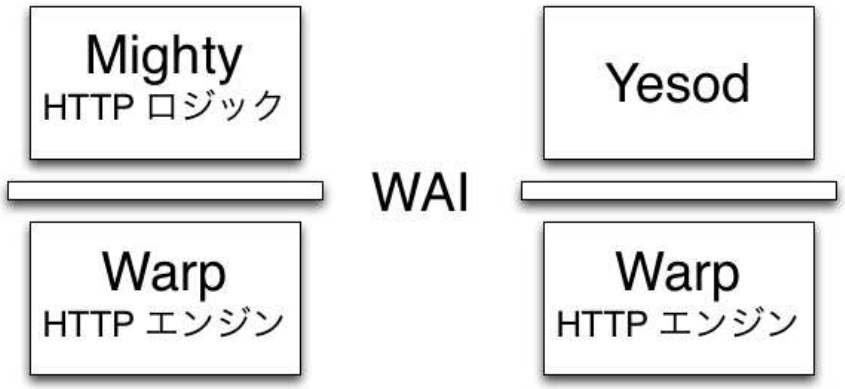


- 12コアマシン、Linux 3.2.0、ハイパーバイザーなし
- weighttp -n 100000 -c 1000 -t 3 -k http://127.0.0.1:8000/
- index.html は 151 バイト
- できる限り同じように設定

WAI

- Web Application Interface

```
type Application =
        Request -> ResourceT IO Response
```



なぜ Haskell か？

軽量スレッドがあるから

Haskell の軽量スレッド

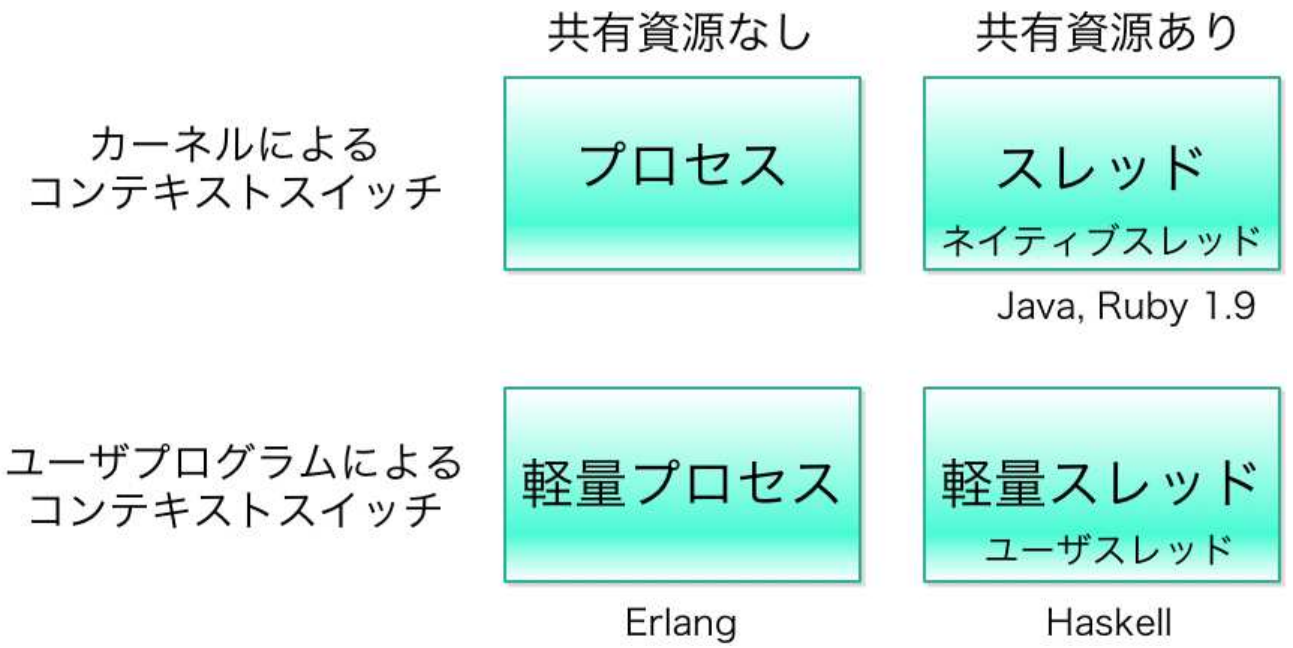
軽量

10万個起動しても大丈夫

安全

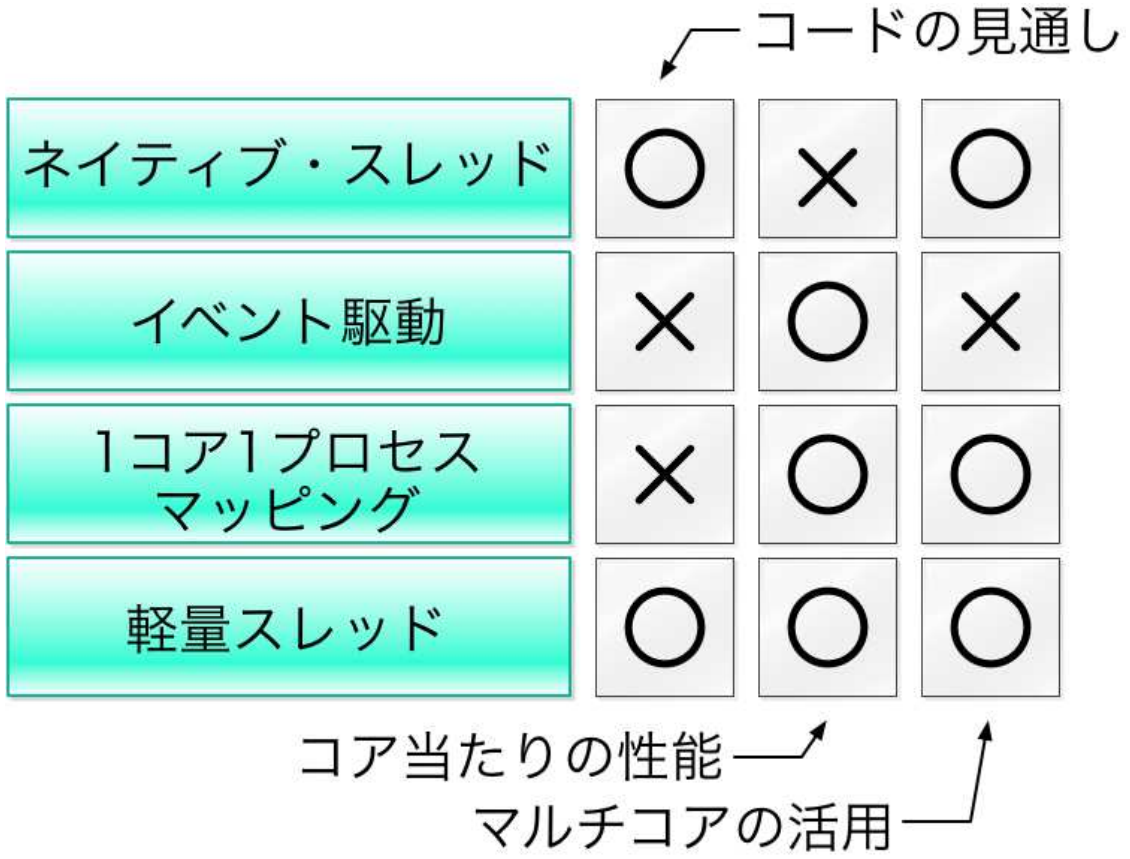
非同期例外も捕捉できる

プロセスとスレッドと関数型言語

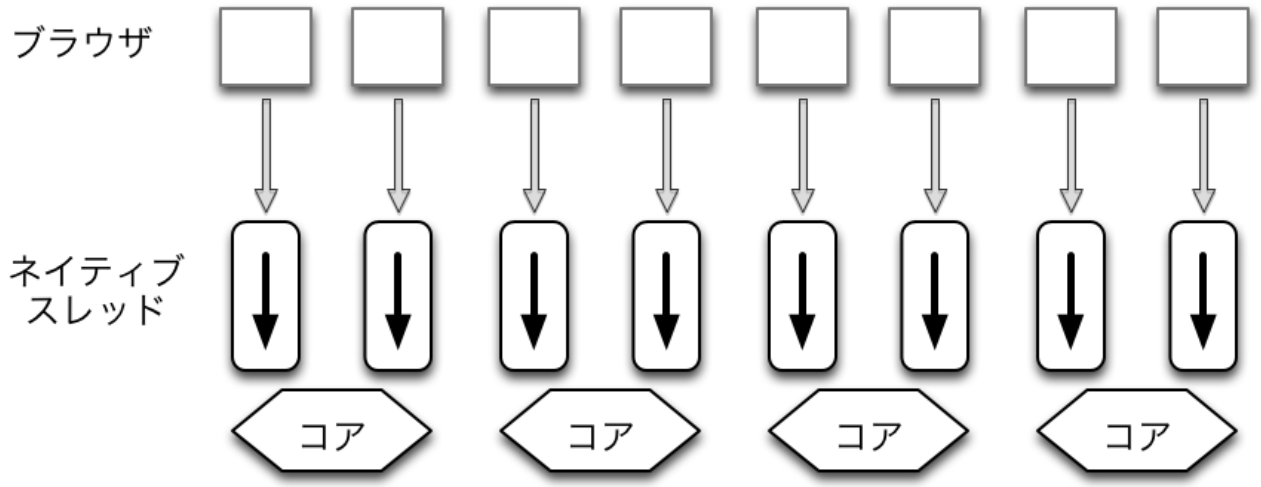


命令型言語が軽量スレッドを提供するのは困難

サーバ・アーキテクチャ

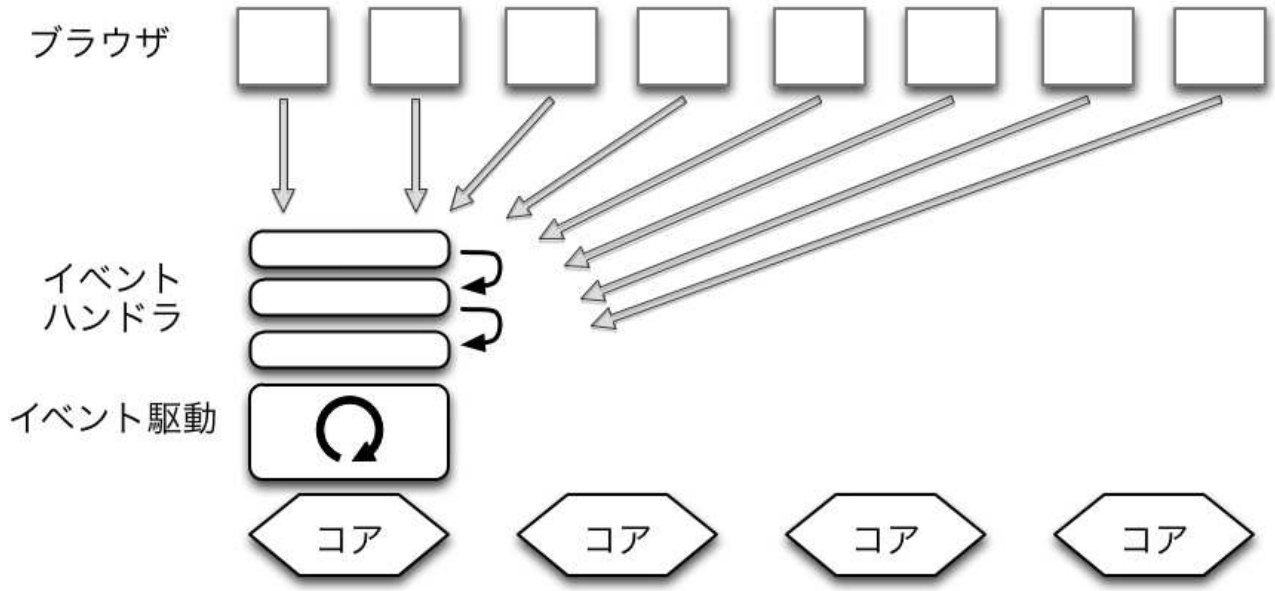

コードの見通し
ネイティブ・スレッド
○
×
○
イベント駆動
×
○
×
1コア1プロセス
マッピング
×
○
○
軽量スレッド
○
○
○
コア当たりの性能
マルチコアの活用

ネイティブ・スレッド



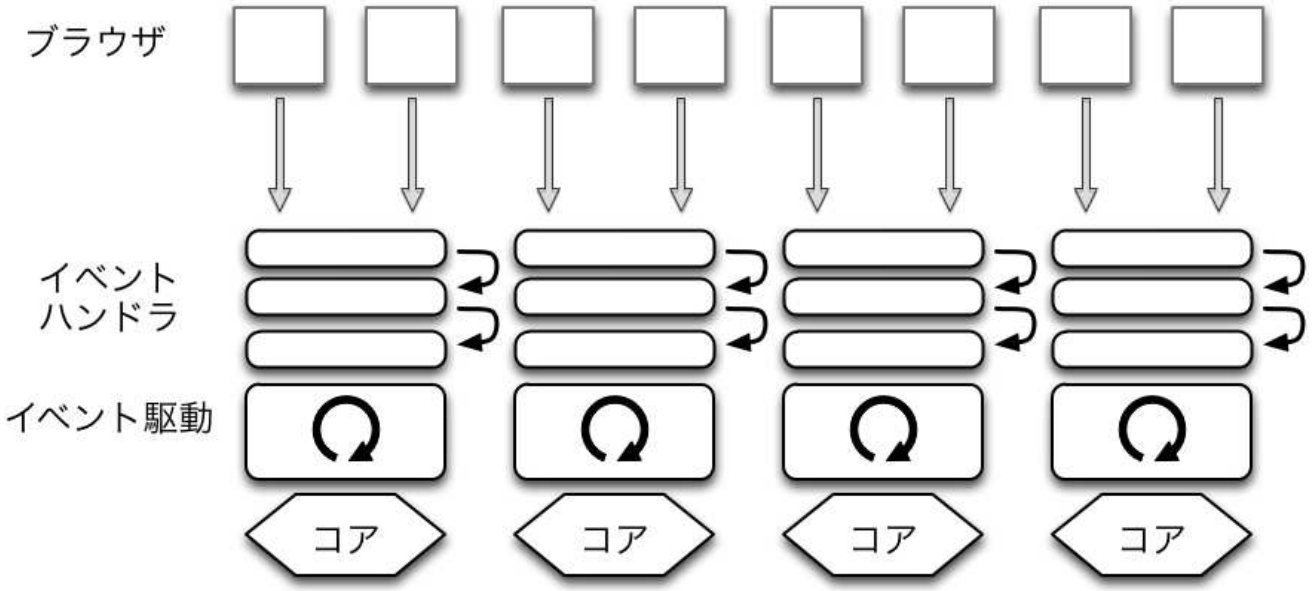
- 利点
  - マルチコアを活用できる
  - コードの見通しがよい
- 欠点
  - 性能が出ない

イベント駆動



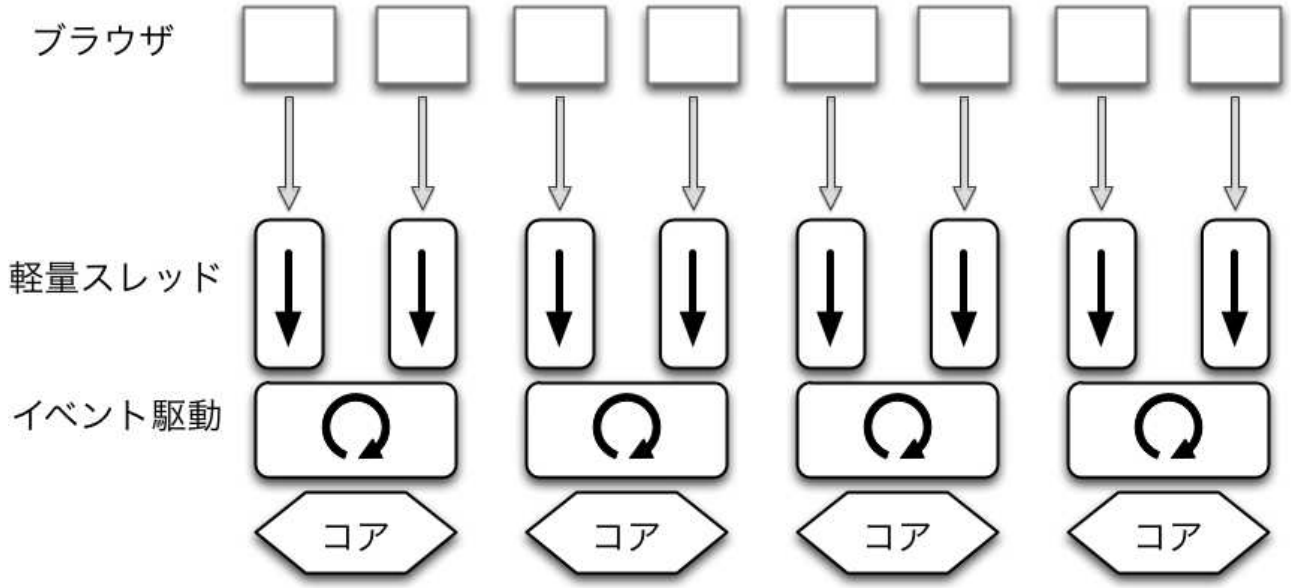
- 利点
  - コア当たりの性能が出せる
- 欠点
  - コードの見通しが悪い
  - マルチコアを活用できない

1コア1プロセス・マッピング



- 利点
  - コア当たりの性能が出せる
  - マルチコアを活用できる
- 欠点
  - コードの見通しが悪い

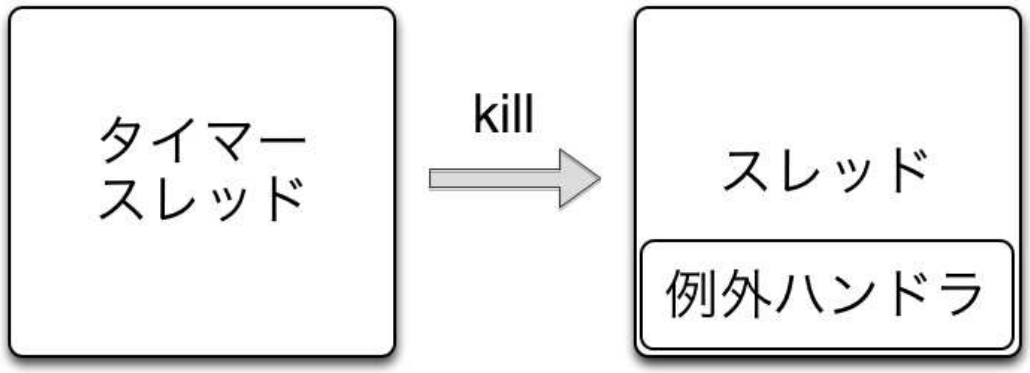
軽量スレッド



- 利点
  - コア当たりの性能が出せる
  - マルチコアを活用できる
  - コードの見通しがよい

非同期例外

- 他のスレッドの行為によって起きる例外
- Haskell では、非同期例外を捕捉できる



- Timeout 関数

```
timeout :: Int -> IO a -> IO (Maybe a)
recv :: Socket -> Int -> IO String

timeout 1000000 (recv sock 4096)
    :: IO (Maybe String)
```

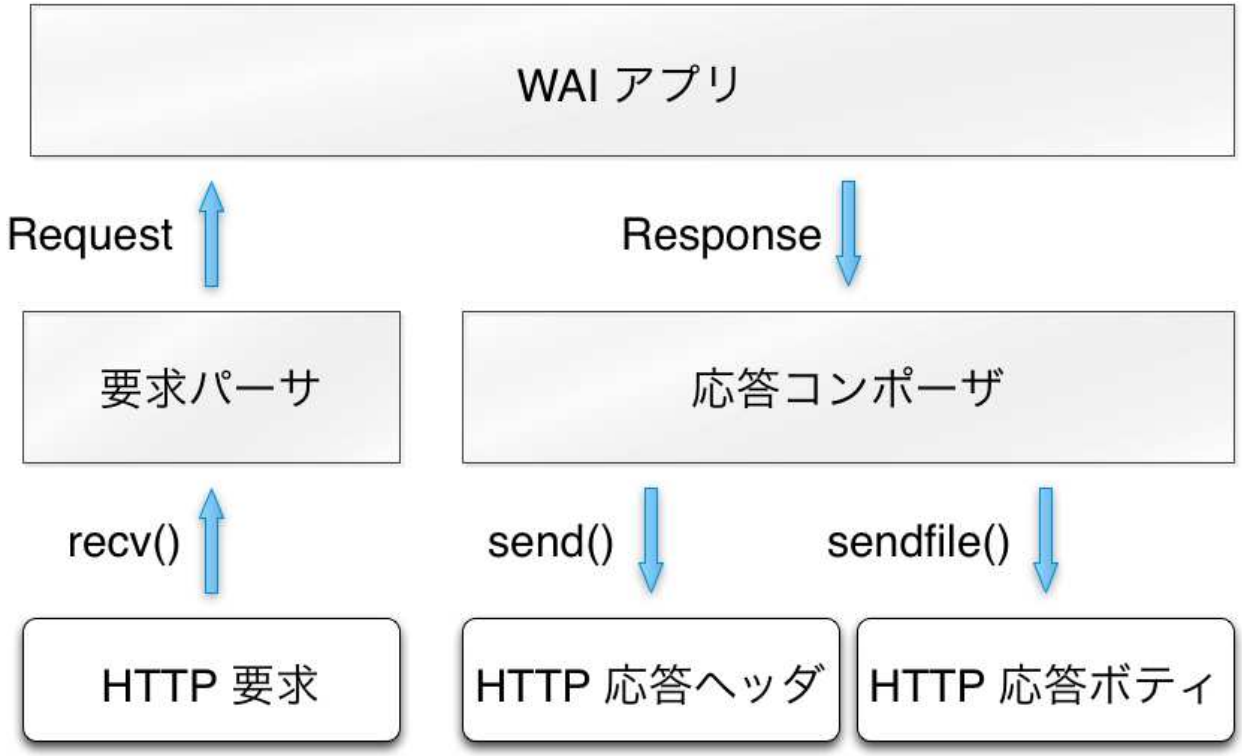
どうやって高速化したか？

- システムコールの低減
  - システムコールはすべての軽量スレッドを止める
- 特化と再計算の回避
  - Haskell のライブラリが汎用的過ぎて遅い
- ロックの低減
  - ロックはプログラミングの敵

システムコールの低減

Warp のアーキテクチャ

- システムコールをなるべく使わない
  - システムコールは、すべての軽量スレッドを止める



システムコールのトレース

- strace

```
accept4(8, {sa_family=AF_INET,...
recvfrom(9, "GET / HTTP/1.1\r\n...
sendto(9, "HTTP/1.1 200 OK\r\n...
sendfile(9, 10, [0], 151)          = 151
recvfrom(11, "GET / HTTP/1.1\r\n...
sendto(11, "HTTP/1.1 200 OK\r\n...
sendfile(11, 10, [0], 151)         = 151
```

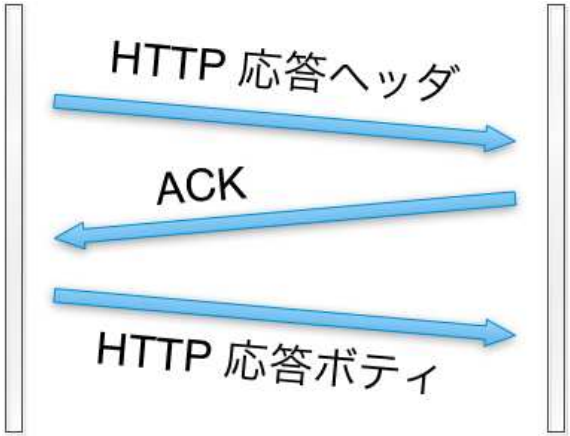
- 不要なシステムコールの発見
  - 連続する stat()
  - futex() など
- 知らないシステムコールの発見
  - accept4()
    - O_NONBLOCK をセットできる accept()
    - fcntl() を 2 回減らせる

ベンチマークツール

ApacheBench	おススメしない 不安定 select() ベース
httperf	昔のおススメ まずいメモリ管理 select() ベース
weighttp	今のおススメ ネイティブスレッドを増やせる epoll ベース

パケット・ダンプ

- ベンチマークツールでコネクション数を 1 にするとスループットが悪くなることに気付いた
- tcpdump で観察



HTTP 応答ヘッダとボディ

- 昔の送信方法

  writev(応答ヘッダ1, 応答ヘッダ2, ...)
  sendfile(応答ボディ)

- 今の送信方法

  応答ヘッダ <- compose(応答ヘッダ1, 応答ヘッダ2, ...)
  send(応答ヘッダ, MSG_MORE)
  sendfile(応答ボディ)

  - setsockopt(TCP_CORK) は遅かった

特化と再計算の回避

Glasgow Haskell Compiler

コンパイラー

```
% ghc foo.hs
→ foo
```

インタープリター

```
% ghci
> 1 + 1
2
```

スクリプト

```
% runghc foo.hs
```

GHC のプロファイリング

- コンパイル・オプション
  - `-rtsopts -prof`
- 実行時オプション
  - `+RTS -p`
- 例

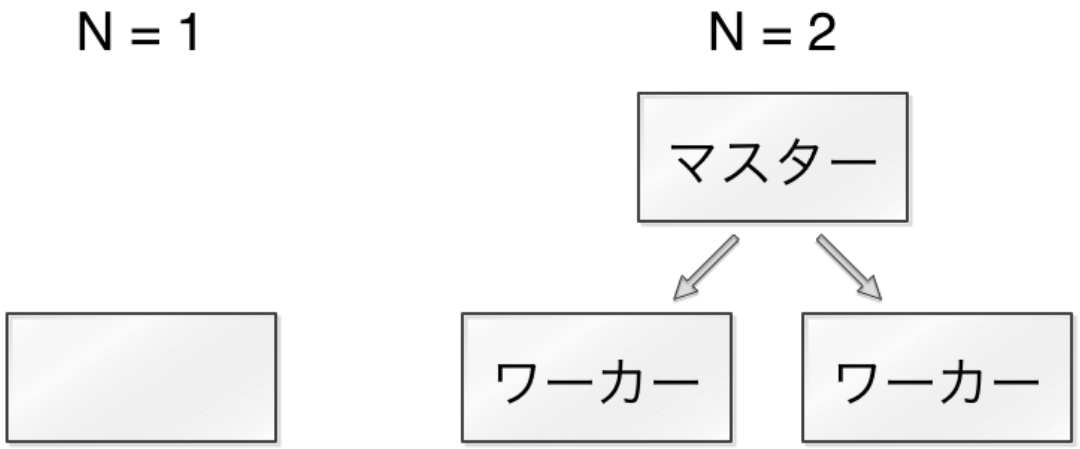
```
COST CENTRE          MODULE                  %time

>>=           Control.Monad.Trans.Resource  8.0
sendloop      Network.Sendfile.Linux        4.1
==            Data.CaseInsensitive          2.7
parseFirst    Network.Wai.Handler...        2.6
```

- 制約
  - フォアグラウド・プロセスであること
  - プロセス数が1であること

Mighty 側の対応

- デバッグ・オプション
  - Yes ならフォアグランド・プロセス
  - No　ならバックグランド・プロセス
- ワーカー数
  - N が 2 以上なら、N 個の子プロセスを起動する
  - N が 1 なら、子プロセスを起動しない



  - nginx は N = 1 でも子プロセスを起動

衝撃の事実

日付文字列の作成が遅い

30〜40% の CPU 時間を消費

日付文字列

- 標準は Date.Time
  - 非効率なリスト・プログラミング
  - 汎用的過ぎる
- http-date ライブラリ
  - 29 文字、GMT に特化したライブラリ

```
Date: Wed, 24 Oct 2012 07:31:18 GMT
Last-Modified: Wed, 01 Sep 2010 08:51:36 GMT
```

- unix-time ライブラリ
  - ロギングのためにタイムゾーンを考慮する
  - strftime() へのラッパー

```
192.0.2.0.1 - - [18/Oct/2012:21:11:10 +0900] ...
```

日付文字列のキャッシュ

- それでも日付文字列の生成は遅い
  - http-date も unix-time も速いがコストは0ではない
  - 同じ時刻に何度も同じ日付文字列を生成するのは無駄
  - gettimeofday() は遅い
- キャッシュ戦略
  - 一秒間に一回、HTTP 日付とログ日付を生成してキャッシュ
  - HTTP 応答コンポーザやロガーは、キャッシュされた日付文字列を利用

ロックの低減

ロック

- 大きなメモリの確保
  - pthread_mutex_lock() が使われている
- MVar
  - Haskell でのプリミティブなロック
  - 同期通信の仕組み

GHC eventlog

- 時刻とイベント名の記録
- コード例

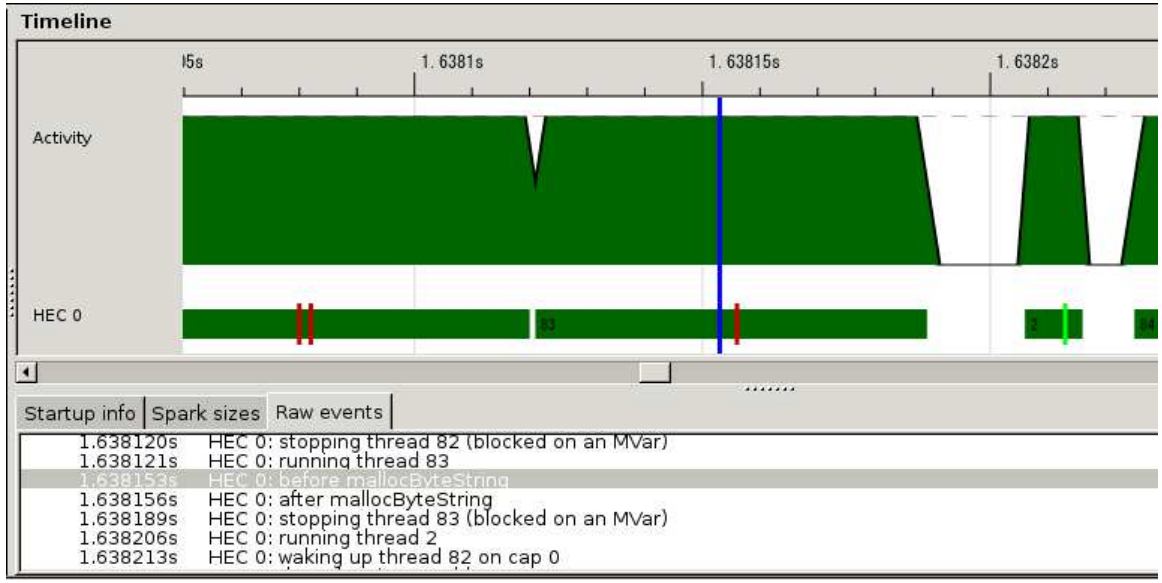
```
create :: Int
       -> (Ptr Word8 -> IO ())
       -> IO ByteString

create l f = do
    traceEventIO "before mallocByteString"
    fp <- mallocByteString l
    traceEventIO "after mallocByteString"
    withForeignPtr fp $ \p -> f p
    return $! PS fp 0 l
```

- コンパイル・オプション
  - `-rtsopts -eventlog`
- 実行時オプション
  - `+RTS -ls`

ThreadScope

- eventlog を可視化するツール



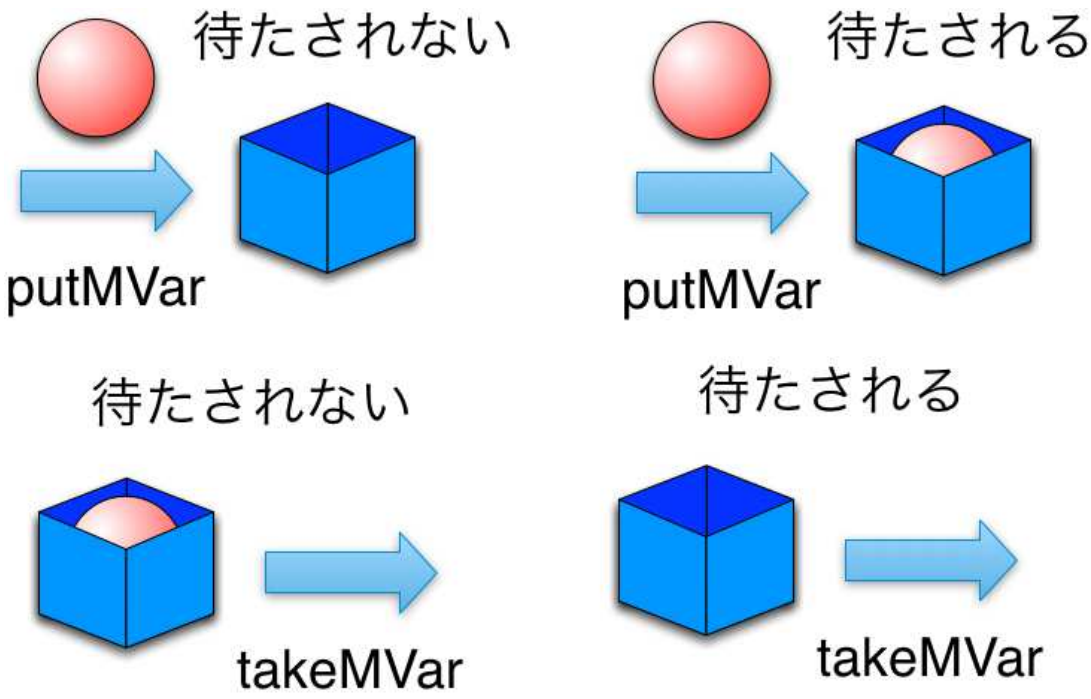
  - pthread_mutex_lock() がセッションの 1/10 を消費

Timeout

- slowloris 攻撃への対策
  - 一定時間、適量の通信が発生しなければコネクションを切る
- Warp の timeout の歴史
  - timeout で実装したがスケールしなかった
  - MVar で実装したが遅かった
  - 二重の IORef で解決

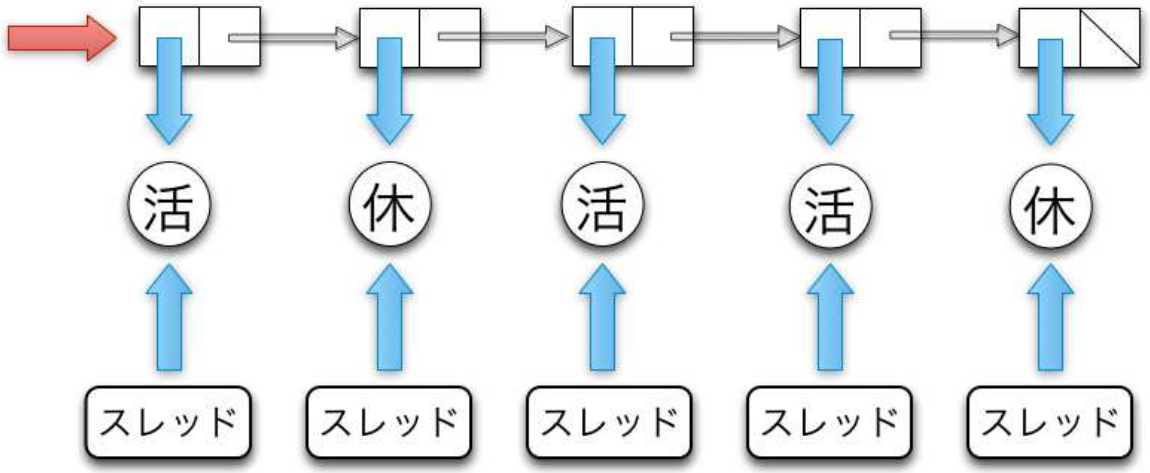
MVar

- 同期通信の仕組み
  - GHC 自家製のスピンロックで実装

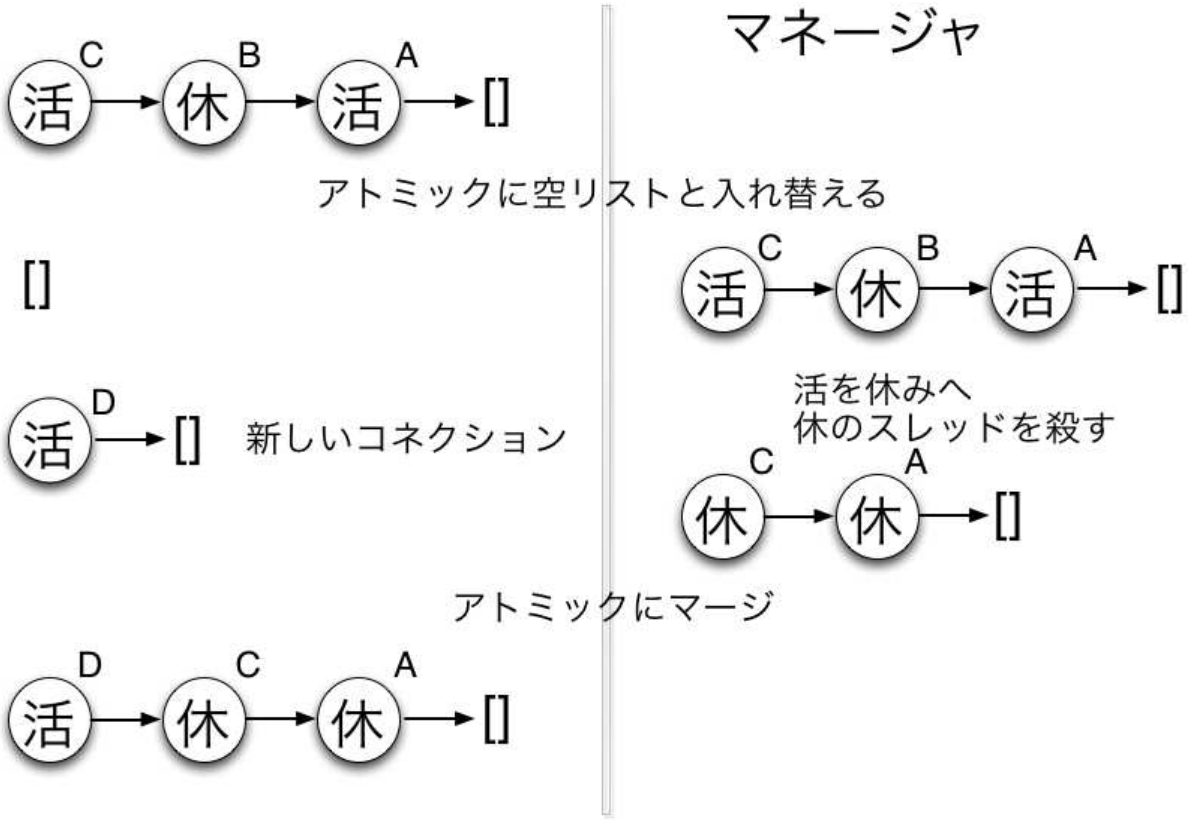


高速 timeout

- IORef
  - 破壊的代入ができる参照
- 二重 IORef
  - スレッドが定期的に書き換える参照とリストへの参照を分ける
- リストの変更はアトミックに
  - CAS (compare and swap)



CAS で更新


マネージャ
C
B
A
活
休
活
[]
アトミックに空リストと入れ替える
[]
C
B
A
活
休
活
[]
D
活
[]
新しいコネクション
活を休みへ
休のスレッドを殺す
C
A
休
休
[]
アトミックにマージ
D
C
A
活
休
休
[]

参考文献

- 高速WebサーバMighttpdのアーキテクチャ
  - http://www.iij.ad.jp/company/development/tech/activities/mighttpd/
- Future work to improve the performance of Warp
  - http://www.yesodweb.com/blog/2012/10/future-work-warp
  - 7つの記事