そろそろ**線形型**をかじっておくか

2019/11/25

びしょ〜じょ

本日の内容

(Haskellの)**線形型**

を

知った気になる

自己紹介

こんにちは、びしょ〜じょです

- 筑波大学大学院 M2
  型とか関数型言語の研究室でプログラム変換してる

We're hiring!

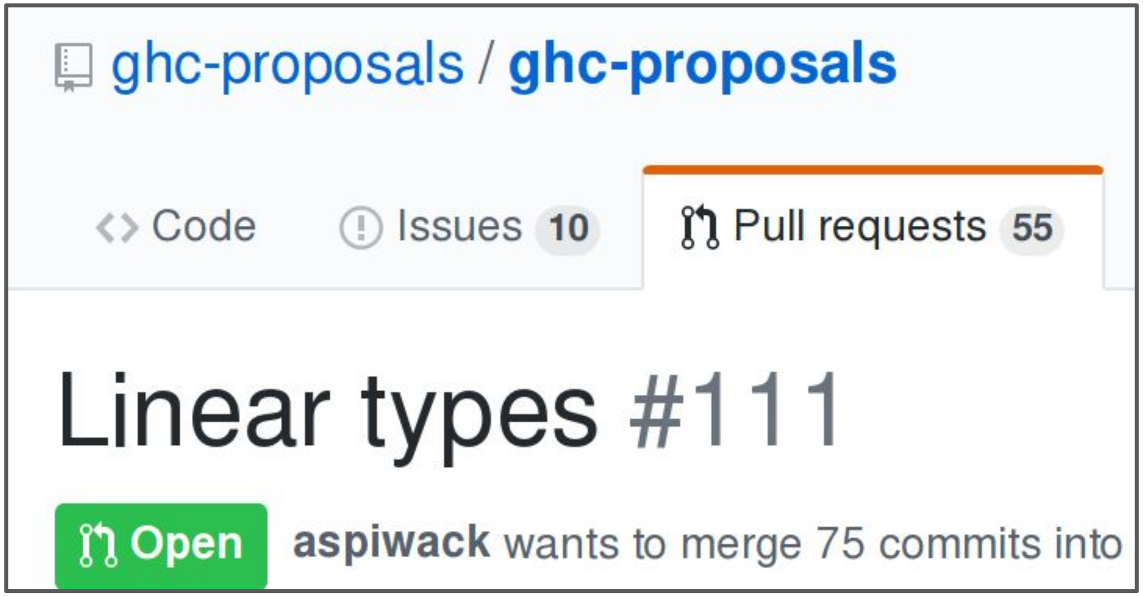
- 株式会社HERP エンジニア
  つくばオフィスでTSとかたまにHaskellを書いてる

線形型って急になんですか

- **リソースを必ず1回だけ使う**という性質を
  型で表すすごい奴なんですが

線形型って急になんですか

- **リソースを必ず1回だけ使う**という性質を**型で表す**すごい奴なんですが
- **GHCの新たな拡張**として議論されている



線形型

リソースを必ず1回だけ使うという性質を**型で表す**
すごい奴がいると…

- プログラマがハッピー
  - より安全なコードが書ける
- コンパイラがハッピー
  - 情報が増えて効率的なコード生成

Haskellの型システムの拡張

😰 型システムの拡張は容易ではない!

- 既存のコードが壊れない安全な拡張ですか?

🤔 型システムにやってほしいことが **証明**されてれば安全そう

✓ 型の付いたプログラムはランタイムエラーしない

Haskellの型システムの拡張

- 😰 型システムの拡張は容易ではない!
  - 既存のコードが壊れない安全な拡張ですか?
- 🤔 型システムにやってほしいことが
  証明されてれば安全そう
  - ✓ 型の付いたプログラムはランタイムエラーしない
- 😁 論文を書いてしっかり型システムの証明もしている

Linear Haskell

Practical Linearity in a Higher-Order Polymorphic Language

$\lambda^q_\to$

- **Linear Haskell** (Haskell2010 + Linear types extension) のcore calculus
- STLC + α + **multiplicity**
  引数を使える回数に指定がある関数型

$\lambda^q_{\to}$

- **Linear Haskell** (Haskell2010 + Linear types extension) のcore calculus
- STLC + α + **multiplicity**
  引数を使える回数に指定がある関数型

$$\lambda_\pi \, (x : A) \, . e : A \to_\pi B$$

$\lambda^q_{\to}$

- **Linear Haskell** (Haskell2010 + Linear types extension) のcore calculus
- STLC + α + **multiplicity**
  引数を使える回数に指定がある関数型

$$\lambda_\pi (x : A) . e : A \to_\pi B$$

eの型付けにxをπ回過不足無く使うべし

🙅‍♂️今回はdata constructorとmultiplicity abstractionは省略します

$\lambda^{q}_{\to}$

multiplicity

$$\pi, \mu ::= 1 \mid \omega \mid p \mid \pi + \mu \mid \pi \cdot \mu$$

- (+)と(·)はcommutative, associative
- (·)は(+)に対してdistributive
- 1は(·)の単位元
- $\omega \cdot \omega = \omega$ (任意回)
- $1 + 1 = 1 + \omega = \omega + \omega = \omega$

$\lambda^q_\rightarrow$ 型環境の操作(1) context addition

(multiplicityの(+)とは異なるので注意)

$$
\begin{array}{rcll}
(x :_\pi A, \Gamma) + (x :_\mu A, \Delta) & = & (x :_{\pi+\mu} A), (\Gamma + \Delta) & \\
(x :_\pi A, \Gamma) + \Delta & = & (x :_\pi A), (\Gamma + \Delta) & (x \notin \Delta) \\
() + \Delta & = & \Delta &
\end{array}
$$

$\lambda^q_\to$ 型環境の操作(1) context addition

(multiplicityの(+)とは異なるので注意)

$$\begin{array}{rcll}
(x :_\pi A, \Gamma) + (x :_\mu A, \Delta) & = & (x :_{\pi+\mu} A), (\Gamma + \Delta) & \\
(x :_\pi A, \Gamma) + \Delta & = & (x :_\pi A), (\Gamma + \Delta) & (x \notin \Delta) \\
() + \Delta & = & \Delta &
\end{array}$$

$\lambda^{q}_{\to}$ 型環境の操作(2) context scaling

型環境をπでスケーリングする

$$\pi\left(x :_{\mu} A, \Gamma\right) = \left(x :_{\pi\mu} A\right), \pi\Gamma$$

型環境の操作(2) context scaling

型環境をπでスケーリングする

$$\pi(x :_{\mu} A, \Gamma) = (x :_{\pi\mu} A), \pi\Gamma$$

型付け

練習問題: var

$$\frac{}{\omega\Gamma + (x :_1 A) \vdash x : A}$$

$\lambda^{q}_{\to}$ 型付け

練習問題: var

$$\frac{}{\omega\Gamma + (x :_1 A) \vdash x : A}$$

- context scalingにより$\omega\Gamma$に1回しか使えない型は無い
- ところで、$(x :_\omega A) + (x :_1 A) = x :_\omega A$ より $\omega\Gamma$にxは含まれうる

$\lambda^q_\to$ 型付け

練習問題: application

$$\frac{\Gamma \vdash t : A \to_\pi B \quad \Delta \vdash u : B}{\Gamma + \pi\Delta \vdash t\ u : B}$$

$\lambda^q_\to$ 型付け

練習問題: application

$$\frac{\Gamma \vdash t : A \to_\pi B \quad \Delta \vdash u : B}{\Gamma +_\pi \Delta \vdash t\ u : B}$$

- context additionを**分解する方向**で使う(下から上に見る)

$\lambda^{q}_{\rightarrow}$ 型付け

練習問題: application

$$\frac{\Gamma \vdash t : A \to_\pi B \quad \Delta \vdash u : B}{\Gamma + \pi\Delta \vdash t\ u : B}$$

- context additionを分解する方向で使う(下から上に見る)
- Δをπで**制約付け**する
  tの引数はπ回しか使えないので、π回使える変数の型環境πΔからのみ変数を参照する

線形型とパフォーマンス

"1回しか使わない" が型より明らかだと…

- 外部データの効率的な読み取り
  1回しか使わないならメモリに展開しなくてよい
- **継続**を効率的なコードに変換
  - スタックセグメントのコピーが不要
  - 継続の実行がポインタへのジャンプ
  - 継続を使いまくる((>>=))Haskellには非常に朗報
- インライン化の補助
  - コードサイズ爆発を見切りやすい

線形型よもやま - via arrows vs via kinds

- Linear Haskellは**linearity via arrows**
- 他の選択肢: **linearity via kinds**

線形型よもやま - via arrows vs via kinds

- Linear Haskellは**linearity via arrows**
- 他の選択肢: **linearity via kinds**

お手元のATTaPL1章を参照ください

$$
\begin{aligned}
(type)\, \tau &::= \quad q\ p \\
(prime\ type)\, p &::= \quad atom \mid \tau \to \tau \\
(qualifier)\, q &::= \quad \mathtt{un} \mid \mathtt{lin}
\end{aligned}
$$

- **pros** 1回しか使えない値を表現しやすい
  linear arrowの場合は継続を使う　$(A \multimap r) \to r$
- **cons** 互換性を保つ拡張ができない
  既存の型を任意回使える型に変換する必要

まとめ

- Haskellに線形型入るっぽいぞ
- 線形型面白いですね
- コンパイラもコード生成にやりがいを感じられる

Haskellほとんど関係なくてﾜﾛﾀ

参考資料

- Jean-Philippe Bernardy, Mathieu Boespflug, Ryan R. Newton, Simon Peyton Jones, and Arnaud Spiwack. "*Linear Haskell.*"
- Carl Bruggeman, Oscar Waddell, and R. Kent Dybvig. "*Representing Control in the Presence of One-Shot Continuations.*"