

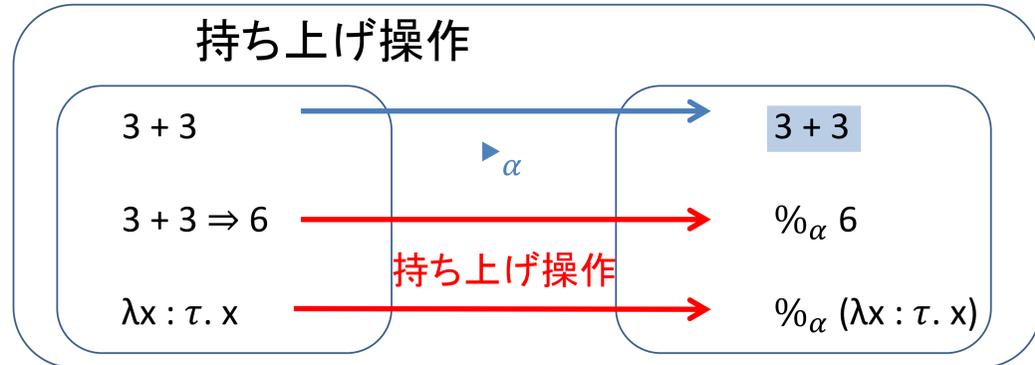
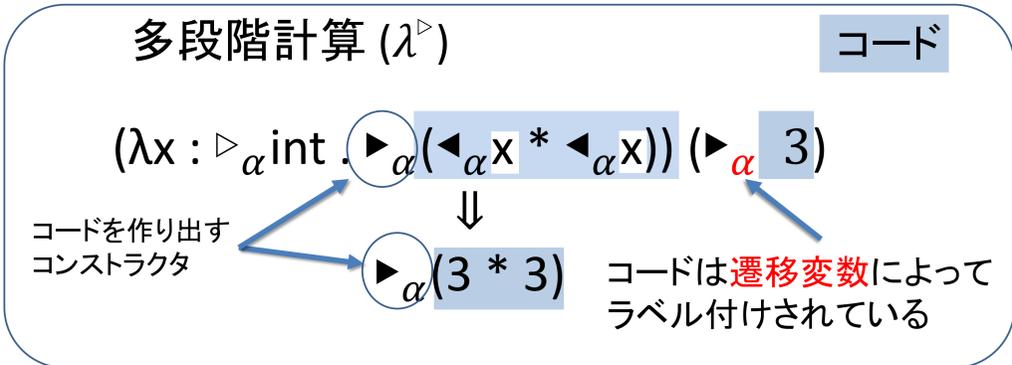
多段階計算の体系 λ^\triangleright への持ち上げ操作の導入

花田 裕一朗
京都大学工学部

五十嵐 淳
京都大学大学院情報学研究科

目的

多段階計算を形式化した体系である λ^\triangleright [Tsukada and Igarashi '09]は、**持ち上げ操作** (CSP) と呼ばれる操作をモデル化していない。そこで、本研究では λ^\triangleright へ安全に持ち上げ操作を導入することを目指した。



定義

持ち上げ操作を表す
コンストラクタ

$\%_\alpha M$

どの \triangleright に対応するかが
明示的に表現されている

ステージAにおいて評価した値に
 $\%_\alpha$ をつけてステージA α の値としている

型付け規則

$$\frac{\Gamma \vdash^A M : \tau}{\Gamma \vdash^{A\alpha} \%_\alpha M : \tau}$$

評価規則

$$\frac{\Gamma \vdash^A M \Downarrow v}{\Gamma \vdash^{A\alpha} \%_\alpha M \Downarrow \%_\alpha v}$$

プログラム例

let fact : int \rightarrow \triangleright_α int =
fix f (n : int). if n = 0 then $\triangleright_\alpha 1$
else $\triangleright_\alpha ((\%_\alpha n) * \triangleleft_\alpha (f (n - 1)))$

fact 3 \Rightarrow $\triangleright_\alpha ((\%_\alpha 3) * (\%_\alpha 2) * (\%_\alpha 1) * (\%_\alpha 1))$

let fact2 : \triangleright_α int =
 $\triangleright_\alpha (\triangleleft_\alpha (\text{fact } 3) * \triangleleft_\alpha (\text{fact } 2))$

fact2 \Rightarrow $\triangleright_\alpha ((\%_\alpha 3) * (\%_\alpha 2) * (\%_\alpha 1) * (\%_\alpha 1) * (\%_\alpha 2) * (\%_\alpha 1) * (\%_\alpha 1))$

性質



評価の決定性

$\vdash^A M \Downarrow R$ かつ $\vdash^A M \Downarrow R'$ ならば $R = R'$ である



型システムの健全性

$\Gamma \vdash^A M : \tau$ かつ $\vdash^A M \Downarrow R$ ならば $R \in V^A$ かつ $\Gamma \vdash^A R : \tau$ である



生成されたコードを安全に実行できる

Γ が ε -free かつ $\Gamma \vdash^\varepsilon \triangleright_\alpha M : \triangleright_\alpha \tau$ であるとき $\Gamma^{-\alpha} \vdash^\varepsilon M : \tau$ である

環境中にステージが ε
である変数を含まない

Γ 中の変数のステージを
 α だけずらす

$\Gamma \vdash^\varepsilon \triangleright_\alpha \%_\alpha M' : \tau$ のとき、
 $\Gamma^{-\alpha} \vdash^\varepsilon \%_\alpha M' : \tau$ ではない

持ち上げ操作が可能な値と λ 抽象に制約を入れる

$$\frac{\Gamma \vdash^A M : \tau \quad \Gamma \vdash \tau}{\Gamma \vdash^{A\alpha} \%_\alpha M : \tau} \quad \frac{\Gamma, x : \tau @ A \vdash^A M : \sigma \quad \Gamma \vdash \tau \rightarrow \sigma \quad \forall y \in FV(M) \Gamma(y) = y : \tau_0 @ C \text{ ならば } C \neq AB \ (B \neq \varepsilon)}{\Gamma \vdash^A \lambda x : \tau . M : \tau \rightarrow \sigma}$$

型の中に自由な遷移変数が
現れていないか検査している

λ 抽象の中に現在よりも先の
ステージの自由変数が現れない
ことを検査している



Γ が ε -free かつ $\Gamma \vdash^\varepsilon \triangleright_\alpha M : \triangleright_\alpha \tau$ であるとき

M から一番外側の \triangleright_α に対応する $\%_\alpha$ を取り除いたものを M' とすると
 $\Gamma^{-\alpha} \vdash^\varepsilon M' : \tau$ である