

Thesis Abstract

Control Abstraction for Layered Continuations: Semantics, Types and Implementation

Delimited continuations are a programming language concept which represents the prefix of the evaluation context in a given state of the program execution. Control operators for delimited continuations enable advanced manipulation of the program's runtime state, e.g., backtracking, coroutines. The most well-known control operators for delimited continuations are Felleisen's `control/prompt` and Danvy and Filinski's `shift/reset`. Delimited continuations found many applications, both theoretical and practical, including: mobile computing, operating systems, linguistics, partial evaluation, representing monads.

The subject of this thesis is a variant of the Danvy and Filinski's `shift/reset`, which is called `shift0/reset0` in the literature. They differ from `shift/reset` in that they give access to layers of continuations arranged as a stack. We present numerous results for these operators, including:

Type system. There exists an expressive type system for `shift0/reset0`, which allows to precisely characterize the control effects executed by a given expression; in particular it allows to distinguish pure expressions from impure ones which can have control effects. The type system has type preservation, progress and termination properties, it also conservatively extends the Danvy and Filinski's type system for `shift/reset`.

CPS translations. There exist simple and elegant CPS translations for `shift0/reset0` control operators: an untyped and a type-directed one. The second one is selective: it does not modify the expressions classified by the type system as pure. One can derive the classic CPS translation for `shift/reset` from the type-directed CPS translation.

Equational axiomatization. There exists a simple equational axiomatization of `shift0/reset0` which is sound and complete with respect to the untyped CPS translation. The result is easily extended to the typed setting.

Interpretation of the CPS hierarchy. The control operators for the CPS hierarchy of Danvy and Filinski generalize the `shift/reset` operators. The CPS hierarchy can be expressed using `shift0/reset0`, both in untyped and typed settings.

Implementation. The `shift0/reset0` control operators can be efficiently implemented on popular computer architectures. We present a proof-of-concept implementation on the x86-64 architecture.

The results listed above suggest that the `shift0/reset0` have fundamental importance, and are therefore very important in the landscape of control operators for delimited continuations.

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Abstrakcja sterowania dla kontynuacji wielowarstwowych: semantyka, typy i implementacja

Kontynuacje ograniczone w językach programowania reprezentują prefiks kontekstu ewaluacji w danym etapie pracy programu. Operatory sterowania dla kontynuacji ograniczonych umożliwiają zaawansowane manipulowanie przebiegiem pracy programu, np. backtracking, coroutines. Najbardziej znanymi rodzajami operatorów sterowania dla kontynuacji ograniczonych są `control/prompt` Felleisena i `shift/reset` Danvy'ego i Filinskiego. Kontynuacje ograniczone znalazły liczne zastosowania teoretyczne i praktyczne, w tym: w obliczeniach mobilnych, systemach operacyjnych, lingwistyce, ewaluacji częściowej, reprezentacji monad.

Niniejsza praca dotyczy wariantu operatorów sterowania `shift/reset` Danvy'ego i Filinskiego, znanymi w literaturze jako `shift0/reset0`. Różnią się one tym od `shift/reset`, że umożliwiają dostęp do warstw kontynuacji ułożonych w formie stosu. Dla tych mało zbadanych wcześniej operatorów wprowadzam liczne nowe wyniki, takie jak:

System typów. Dla operatorów `shift0/reset0` istnieje ekspresywny system typów, który pozwala precyzyjnie określić efekty sterowania wykonywane przez zadane wyrażenie; w szczególności pozwala odróżnić wyrażenia czyste od wyrażeń mogących wykonywać efekty sterowania. Ma on własności zachowania typów, postępu i terminacji, a także konserwatywnie rozszerza system typów dla operatorów `shift/reset` Danvy'ego i Filinskiego.

Translacje CPS. Operatory `shift0/reset0` posiadają proste i eleganckie transformacje do stylu kontynuacyjnego: transformację beztypową i sterowaną typami. Druga z nich jest translacją selektywną: wyrażenia, które system typów oznaczył jako czyste, nie są przez nią modyfikowane. Z translacji sterowanej typami można wyprowadzić tradycyjną CPS translację dla operatorów `shift/reset`.

Aksjomatyzacja równościowa. Dla operatorów `shift0/reset0` istnieje prosta aksjomatyzacja równościowa poprawna i pełna ze względu na beztypową translację CPS. Wynik ten rozszerza się łatwo do podejścia typowanego.

Interpretacja hierarchii CPS. Operatory dla hierarchii CPS Danvy'ego i Filinskiego uogólniają operatory sterowania `shift/reset`. Hierarchię CPS można wyrazić za pomocą operatorów `shift0/reset0`, zarówno w ujęciu beztypowym i typowanym.

Implementacja. Operatory `shift0/reset0` mogą być efektywnie zaimplementowane na popularnych architekturach sprzętowych. Przedstawiam prototypową implementację dla architektury x86-64.

Wymienione wyżej wyniki wskazują, że operatory `shift0/reset0` mają fundamentalne znaczenie, i wobec tego zajmują szczególne miejsce pośród operatorów sterowania dla kontynuacji ograniczonych.