

Issue VII: Symmetric Interpreter

Maksym Sokhatskyi ¹

¹ National Technical University of Ukraine

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnical Institute

2 червня 2025 р.

Анотація

Minimal language for parallel computations in symmetric monoidal categories.

Keywords: Interaction Networks, Symmetric Monoidal Categories

Зміст

1	The Yves Language	2
1.1	Синтаксис	2
1.2	Семантика	3
1.2.1	Підстановка	3
1.2.2	Редукція	4
1.2.3	Пошук пар	4
1.2.4	Паралельна редукція	5
1.2.5	Внутрішня мова СМК	5

1 The Yves Language

Мова програмування **Yves** — це внутрішня мова симетричних моноїдальних категорій, що реалізує паралельні обчислення через взаємодію комбінаторів (ζ , δ , ϵ) з правилами анігіляції та комутації, придатна для моделювання лінійних і паралельних систем.

1.1 Синтаксис

Definition 1. Терми **Yves** складаються зі змінних, комбінаторів (Con, Dup, Era), пар, обміну (Swap), зв'язування (Let) та одиниці (Unit). Мова підтримує афінну логіку, забороняючи повторне використання змінних.

```
I = #identifier
Y = I | Con Y | Dup Y | Era Y
    | Pair (Y, Y) | Unit
    | Let (I, Y, Y) | Swap Y
```

Definition 2. Кодування термів у мові OCaml:

```
type term =
| Var of string
| Con of term
| Dup of term
| Era of term
| Pair of term * term
| Swap of term
| Let of string * term * term
| Unit
```

1.2 Семантика

Theorem 1. Правила обчислень у **Yves** базуються на анігіляції та комутації комбінаторів:

```

Con (Con x) → Pair (x, x)
Dup (Dup x) → Pair (x, x)
Era (Era x) → Unit
Con (Dup x) → Dup (Con x)
Con (Era x) → Pair (Era x, Era x)
Dup (Era x) → Pair (Era x, Era x)
Swap (Pair (t, u)) → Pair (u, t)
Let (x, t, u) → subst x t u

```

$$\frac{\zeta(\zeta(x))}{(x, x)} \quad (\zeta\text{-annihilation})$$

$$\frac{\delta(\delta(x))}{(x, x)} \quad (\delta\text{-annihilation})$$

$$\frac{\varepsilon(\varepsilon(x))}{\mathbf{1}} \quad (\epsilon\text{-annihilation})$$

1.2.1 Підстановка

Definition 3. Підстановка в **Yves**:

```

let rec subst env var term = function
| Var v ->
    if v = var then
        if is_bound var env then failwith "Affine violation: variable used twice"
        else term
    else Var v
| Con t -> Con (subst env var term t)
| Dup t -> Dup (subst env var term t)
| Era t -> Era (subst env var term t)
| Pair (t, u) -> Pair (subst env var term t, subst env var term u)
| Swap t -> Swap (subst env var term t)
| Let (x, t1, t2) ->
    let t1' = subst env var term t1 in
    if x = var then Let (x, t1', t2)
    else Let (x, t1', subst env var term t2)
| Unit -> Unit

```

1.2.2 Редукція

Definition 4. Редукція термів у Yves:

```
let reduce env term =  
  match term with  
  | Con (Con x) -> Pair (x, x)  
  | Dup (Dup x) -> Pair (x, x)  
  | Era (Era x) -> Unit  
  | Con (Dup x) -> Dup (Con x)  
  | Con (Era x) -> Pair (Era x, Era x)  
  | Dup (Era x) -> Pair (Era x, Era x)  
  | Swap (Pair (t, u)) -> Pair (u, t)  
  | Let (x, t, u) -> subst env x t u  
  | _ -> term
```

1.2.3 Пошук пар

Definition 5. Пошук активних пар для редукції:

```
let rec find_redexes env term acc =  
  match term with  
  | Con (Con x) -> (term, Pair (x, x)) :: acc  
  | Dup (Dup x) -> (term, Pair (x, x)) :: acc  
  | Era (Era x) -> (term, Unit) :: acc  
  | Con (Dup x) -> (term, Dup (Con x)) :: acc  
  | Con (Era x) -> (term, Pair (Era x, Era x)) :: acc  
  | Dup (Era x) -> (term, Pair (Era x, Era x)) :: acc  
  | Swap (Pair (t, u)) -> (term, Pair (u, t)) :: acc  
  | Let (x, t, u) -> (term, subst env x t u) :: find_redexes env t (find_redexes env u acc)  
  | Con t ->  
    (match t with  
    | Dup _ | Era _ -> acc  
    | Con x -> find_redexes env t ((term, reduce env term) :: acc)  
    | _ -> find_redexes env t acc)  
  | Dup t -> find_redexes env t acc  
  | Era t -> find_redexes env t acc  
  | Pair (t, u) ->  
    let acc' = find_redexes env t acc in  
    find_redexes env u acc'  
  | Swap t -> find_redexes env t acc  
  | Var _ | Unit -> acc
```

1.2.4 Паралельна редукція

Definition 6. Паралельна редукція:

```

let eval_parallel pool env term =
  let rec loop term =
    let redexes = find_redexes env term [] in
    if redexes = [] then term
    else
      let new_term = Task.run pool (fun () ->
        List.fold_left
          (fun acc (old_t, new_t) -> replace_subterm old_t new_t acc)
          term redexes
      ) in
      loop new_term
  in
  loop term

```

1.2.5 Внутрішня мова СМК

Theorem 2. Доведення, що мова **Yves** є внутрішньою мовою симетричних моноїдальних категорій:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Let} : A \rightarrow C(u \cdot t, t : A \rightarrow B, u : B \rightarrow C), \\ \text{Pair} : A \rightarrow B \rightarrow A \otimes B, \\ \text{Swap} : A \otimes B \rightarrow B \otimes A, \\ \text{Con} : A \otimes A \rightarrow A, \\ \text{Dup} : A \rightarrow A \otimes A, \\ \text{Era} : A \rightarrow \mathbf{1}, \\ \text{Var} : A, \\ \text{Unit} : \mathbf{1}. \end{array} \right.$$

Конструктори відповідають аксіомам СМК:

- Pair моделює тензорний добуток \otimes . - Swap реалізує симетрію $\sigma_{A,B}$ з умовою $\sigma_{B,A} \circ \sigma_{A,B} = \text{id}_{A \otimes B}$. - Unit є одиничним об'єктом I для якого $A \otimes I \cong A$. - Let моделює композицію морфізмів (асоціативність). - Dup та Era утворюють структуру комоноїда. - Con діє як контракція.

Лямбда-функція і аплікація:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda x. t \vdash \text{Con}(\text{Let}(x, \text{Var}(x), t)), \\ tu \mapsto \text{Con}(\text{Pair}(t, u)). \end{array} \right.$$