Wstęp do Programowania potok funkcyjny

Marcin Kubica

2010/2011

Outline

Moduły — co to jest i po co to jest?

- Duży system dzielimy na mniejsze, łatwiejsze do ogarnięcia składowe — *moduły*.
- Zależności między modułami powinny być ograniczone do minimum.
- System może być zbyt złożony, żeby ogarnąć go całego.
  Możemy jednak ogarnąć jeden moduł i to od czego on zleży.
- *Interfejs* modułu, to zestaw pojęć programistycznych, które moduł realizuje.
- Jedne moduły mogą korzystać z pojęć zaimplementowanych przez inne.
- Moduł to fragment programu polegający na wykonaniu wyodrębnionego zadania programistycznego.
- Sformułowaniu tego zadania programistycznego towarzyszy (mniej lub bardziej formalna) specyfikacja pojęć implementowanych przez moduł.

Niezależność modułów

- Po podzieleniu programu na moduły i wyspecyfikowaniu interfejsów, można je niezależnie implementować.
- W Ocamlu osobno definiujemy interfejsy i implementacje modułów.
  Interfejsy nazywamy *sygnaturami*, a implementacje *strukturami*.
- Sygnatury i struktury są bytami niezależnymi.
  Można je niezależnie kompilować.
- Moduły można niezależnie kompilować.
  Wszystkie informacje konieczne do skompilowania modułu są zawarte w interfejsach wykorzystywanych przez niego modułów.

Struktury

Definition (Struktura)

Struktura to nazwany zestaw definicji pojęć otoczonych słowami `struct` ... `end` .

$$\langle \texttt{definicja} \rangle ::= \texttt{module}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle\ \texttt{=}\ \langle \texttt{struktura} \rangle$$
$$\langle \texttt{struktura} \rangle ::= \texttt{struct}\ \{\, \langle \texttt{definicja} \rangle \,\}^{*}\ \texttt{end}$$

Wszystkie zdefiniowane wewnątrz pojęcia są w pełni widoczne.

Struktury

Definition (Nazwy kwalifikowane)

Do wnętrza struktury możemy dostać się stosując nazwy kwalifikowane:

$$\langle \texttt{identyfikator} \rangle ::= \langle \texttt{Identyfikator} \rangle \ \underline{\texttt{.}} \ \langle \texttt{identyfikator} \rangle$$

Można też „otworzyć" strukturę — wyłuskać z niej wszystkie udostępniane przez nią pojęcia tak, aby były dostępne bez kwalifikowania:

$$\langle \texttt{jednostka kompilacji} \rangle ::= \underline{\texttt{open}} \ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle$$

Struktury

Example

```
module Modulik =
  struct
    type typik = int list
    let lista = [2; 3; 7]
    let rec prod l =
      if l = [] then 1 else hd l * prod (tl l)
  end;;

Modulik.prod Modulik.lista;;

open Modulik;;
prod lista;;

module Pusty = struct end;;
```

Struktury

Example

Struktury mogą zawierać wewnątrz struktury lokalne.
(Sensowne zastosowania zobaczymy później.)

```
module M =
  struct
    module A =
      struct
        let a = 27
      end
    module B =
      struct
        let b = 15
      end
  end;;
M.A.a + M.B.b;;
```

Struktury

Definition

Struktury można rozszerzać.
Definiując jedną strukturę można „wciągnąć” do niej zawartość innej struktury.

$$\langle \texttt{definicja} \rangle ::= \quad \underline{\texttt{include}}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle$$

Example

```
module Mod =
  struct
    include Modulik
    let n = List.length lista
  end;;
```

Struktury

Definition

Struktury można rozszerzać.
Definiując jedną strukturę można „wciągnąć” do niej zawartość innej struktury.

$$\langle \texttt{definicja} \rangle ::= \quad \underline{\texttt{include}}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle$$

Example

```
module Mod =
  struct
    include Modulik
    let n = List.length lista
  end;;
```

Sygnatury

- Sygnatura określa, które elementy struktury mają być widoczne na zewnątrz.
- Wszystko czego nie widać w sygnaturze jest ukryte.
- Sygnatura może zawierać **deklaracje**:
  - wartości, z podaniem typu wartości,
  - typu wraz z jego definicją,
  - typu abstrakcyjnego (bez podania definicji),
  - sygnatury lokalnej
  - wyjątków.

Sygnatury

Definition

Składnia definicji sygnatur:

$$
\begin{array}{lcl}
\langle \texttt{definicja} \rangle & ::= & \underline{\texttt{module type}}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle\ \underline{=}\ \langle \texttt{sygnatura} \rangle \\
\langle \texttt{sygnatura} \rangle & ::= & \underline{\texttt{sig}}\ \{\, \langle \texttt{deklaracja} \rangle \,\}^*\ \underline{\texttt{end}} \\
\langle \texttt{deklaracja} \rangle & ::= & \underline{\texttt{type}}\ \{\, \langle \texttt{parametr typowy} \rangle \,\}^*\ \langle \texttt{identyfikator} \rangle \\
 & & \qquad [\, \underline{=}\ \langle \texttt{typ} \rangle \,] \mid \\
 & & \underline{\texttt{val}}\ \langle \texttt{identyfikator} \rangle\ \underline{:}\ \langle \texttt{typ} \rangle \mid \\
 & & \underline{\texttt{module type}}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle\ \underline{=}\ \langle \texttt{sygnatura} \rangle \mid \\
 & & \underline{\texttt{exception}}\ \langle \texttt{wariant} \rangle
\end{array}
$$

Sygnatury

Example

Przykład sygnatury:

```
module type S =
  sig
    type abstrakcyjny
    type konkretny = int * float
    val x : abstrakcyjny * konkretny
    module type Pusty = sig end
    exception Wyjatek of abstrakcyjny
  end;;
```

Sygnatury

Example

Sygnatura kolejek FIFO:

```
module type FIFO =
  sig
    exception EmptyQueue
    type 'a queue
    val empty : 'a queue
    val insert : 'a queue -> 'a -> 'a queue
    val front : 'a queue -> 'a
    val remove : 'a queue -> 'a queue
  end;;
```

Sygnatury

Definition

Sygnatury można rozszerzać.
Definiując jedną sygnaturę można „wciągnąć” do niej zawartość innej sygnatury.

$$\langle \texttt{deklaracja} \rangle ::= \quad \underline{\texttt{include}}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle$$

Sygnatury

Example

Sygnatura kolejek dwustronnych:

```
module type QUEUE =
  sig
    include FIFO
    val back : 'a queue -> 'a
    val insert_front : 'a queue -> 'a -> 'a queue
    val remove_back : 'a queue -> 'a queue
  end;;
```

Sygnatury

Definition

Sygnatury można ukonkretniać.
Jeżeli sygnatura zawiera typ abstrakcyjny, to można podać jaka ma być jego implementacja.

$$\begin{aligned}\langle \texttt{sygnatura} \rangle ::= \; & \langle \texttt{sygnatura} \rangle \; \underline{\texttt{with}} \; \underline{\texttt{type}} \\ & \{ \langle \texttt{parametr typowy} \rangle \}^* \langle \texttt{identyfikator} \rangle = \langle \texttt{typ} \rangle \\ & \mid \ldots\end{aligned}$$

Example

```
module type LIST = FIFO with type 'a queue = 'a list;;
```

Łączenie struktur i sygnatur

Definition

Podając sygnaturę dla struktury ograniczamy wgląd do jej środka. Można to zrobić na kilka sposobów:

$$
\begin{aligned}
\langle \texttt{definicja} \rangle &::= \underline{\texttt{module}}\ \langle \texttt{Identyfikator} \rangle\ [\ \underline{:}\ \langle \texttt{sygnatura} \rangle\ ]\ \underline{=}\ \langle \texttt{struktura} \rangle \\
\langle \texttt{struktura} \rangle &::= \langle \texttt{struktura} \rangle\ \underline{:}\ \langle \texttt{sygnatura} \rangle \\
\langle \texttt{struktura} \rangle &::= \langle \texttt{Identyfikator} \rangle \mid \ldots \\
\langle \texttt{sygnatura} \rangle &::= \langle \texttt{Identyfikator} \rangle \mid \ldots
\end{aligned}
$$

Łączenie struktur i sygnatur

Example

Różne sposoby łączenia struktury i sygnatury:

```
module Fifo_implementation =
  struct
    exception EmptyQueue
    type 'a queue = 'a list
    let empty = []
    let insert q x = q @ [x]
    let front q = ...
    let remove q = ...
  end;;

module Fifo : FIFO = Fifo_implementation;;
module Fifo = (Fifo_implementation : FIFO);;
module Fifo : sig ... end = struct ...end;;
```

Moduły — zasady tworzenia

- *Black-box approach* — moduł ma charakter czarnej skrzynki, na zewnątrz widoczne jest tylko to, co tworzy interfejs.
- *Information hiding* — sposób implementacji elementów interfejsu, jak i ew. pojęcia pomocnicze są ukryte wewnątrz modułu.
- *Separation of concerns* — specyfikacja nie powinna odwoływać się do sposobu implementacji modułu, a jedynie do takich jego właściwości, które może zaobserwować użytkownik.
  Podobnie, użytkownik nie powinien zakładać nic, co nie wynika ze specyfikacji.

Moduły — zasady tworzenia

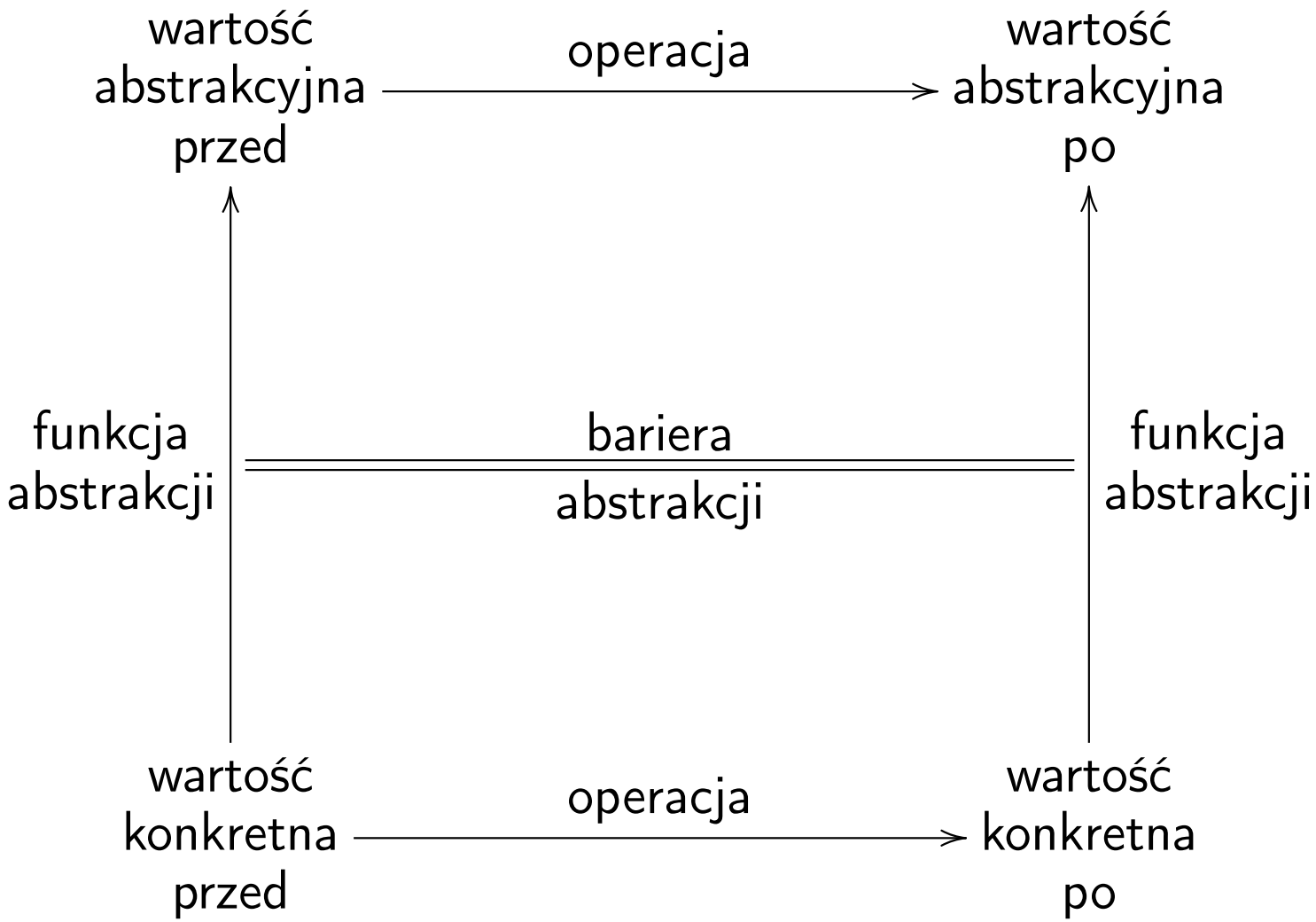
- *Sekret modułu* — to coś, czego sposób implementacji jest ukryty wewnątrz modułu.
- Często sekretem modułu jest struktura danych wraz z operacjami na niej.
- Jak sprawdzić czy podział na moduły jest właściwy?
- Eksperyment myślowy:
  - potencjalne zmiany w programie,
  - jakich modułów dotyczy każda zmiana,
  - bardziej lokalne zmiany, to lepszy podział na moduły.

Moduły zorientowane wokół danych

Tworząc strukturę danych musimy podjąć kilka decyzji projektowych:

- interfejs — operacje udostępniane użytkownikowi struktury danych,
- wartości abstrakcyjne — zbiór wartości, które chcemy reprezentować,
- wartości konkretne — struktura danych odpowiednia do reprezentowania wartości abstrakcyjnych:
  - typ danych,
  - niezmiennik struktury danych — wartości, które są „poprawne”,
- funkcja abstrakcji — przekształca wartości konkretne w odpowiadające wartości abstrakcyjne.

Wartości abstrakcyjne i konkretne



Konstruktory, selektory, modyfikatory

- Operacje tworzące interfejs możemy podzielić na trzy kategorie:
  - konstruktory — tworzą złożone wartości z prostszych,
  - selektory — wyłuskują elementy lub badają cechy złożonych wartości,
  - modyfikatory — przekształcają złożone wartości.
- Dodatkowa bariera abstrakcji — odpowiednio dobrane konstruktory i selektory,
- Implementacja modyfikatorów nie zależy od implementacji struktury danych.
- Kryterium lokalności zmian — im mniejsze fragmenty kodu są wrażliwe na potencjalne zmiany, tym lepiej.

Bariery abstrakcji

Bariery abstrakcji oddzielają różne poziomy abstrakcji:

programy korzystające ze złożonej struktury danych

---

implementacja modyfikatorów — modyfikatory

---

implementacja struktury danych — konstruktory i selektory

---

realizacja typów w języku programowania i wykorzystywane struktury danych — prostsze typy i operacje na nich

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

```
module type ULAMKI =
  sig
    type t
    (* typ abstrakcyjny reprezentujący ułamki *)

    val ulamek : int -> int -> t
    (* konstruktor, ulamek l m tworzy ułamek l/m
       przy założeniu, że m ≠ 0 *)

    val licznik : t -> int
    (* selektor, zwraca licznik ułamka *)

    val mianownik : t -> int
    (* selektor, zwraca mianownik ułamka *)
  end;;
```

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

Specyfikacja:

$$\forall_{l,m\in\mathbb{N},m\neq 0} \quad \frac{\texttt{licznik (ułamek l m)}}{\texttt{mianownik (ułamek l m)}} = \frac{l}{m}$$

Implementację struktury danych odkładamy na chwilę

```
module Ulamki : ULAMKI = struct
    ⋮
end
```

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

```
module type RAT =
  sig
    include ULAMKI
    val rowne : t -> t -> bool     (* porównanie *)
    val plus : t -> t -> t         (* suma *)
    val minus : t -> t -> t        (* różnica *)
    val razy : t -> t -> t         (* iloczyn *)
    val podziel : t -> t -> t      (* iloraz *)
  end;;
```

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

Modyfikatory i porównywanie możemy zaimplementować korzystając z następujących tożsamości:

$$\frac{l_1}{m_1} + \frac{l_2}{m_2} = \frac{l_1 m_2 + l_2 m_1}{m_1 m_2} \qquad \frac{l_1}{m_1} - \frac{l_2}{m_2} = \frac{l_1 m_2 - l_2 m_1}{m_1 m_2}$$

$$\frac{l_1}{m_1} \cdot \frac{l_2}{m_2} = \frac{l_1 l_2}{m_1 m_2} \qquad \frac{l_1/m_1}{l_2/m_2} = \frac{l_1 m_2}{l_2 m_1} \quad \text{dla} \quad l_2 \neq 0$$

$$\frac{l_1}{m_1} = \frac{l_2}{m_2} \Leftrightarrow l_1 \cdot m_2 = l_2 \cdot m_1 \quad \text{dla} \quad m_1 \neq 0 \text{ i } m_2 \neq 0$$

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

Implementacja modyfikatorów:

```
module Rat : RAT = struct
  include Ulamki
  let plus x y = ...
  let minus x y = ...
  let razy x y = ...
  let podziel x y = ...
  let rowne x y = ...
end;;
```

Nie zależy od implementacji struktury danych.

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

Implementacja struktury danych:

```
module Ulamki : ULAMKI = struct
  type t = int * int
  let ulamek l m = (l, m)
  let licznik (l, _) = l
  let mianownik (_, m) = m
end;;
```

- Niezmiennik struktury danych (l, m): $m \neq 0$,
- Funkcja abstrakcji $f(l, m) = \frac{l}{m}$.

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

Zmiana reprezentacji liczb wymiernych:

- Ułamki pamiętamy w postaci skróconych par (licznik, mianownik),
- Nie wymagamy normalizacji znaku (mianownika),
- Niezmiennik danych (l, m): $m \neq 0 \quad \wedge \quad \text{nwd}(l, m) = 1$,
- Funkcja abstrakcji — bez zmian (nadal nie jest różnowartościowa).

Przykład: Pakiet liczb wymiernych

Example

```
module Ulamki : ULAMKI = struct
  type t = int * int
  let ulamek l m =
    let r = nwd l m
    in ((l / r), (m / r))
  let licznik (l, _) = l
  let mianownik (_, m) = m
end;;
```

Modyfikatory nie wymagają jakichkolwiek zmian.