

Statycznie typowany funkcyjny język programowania

Jakub Grobelny

Kurs języka Prolog (Q1) – projekt końcowy

1 Struktura leksykalna i składnia

Klasyfikacja znaków:

- *biały znak* — znaki ASCII: HT, LF, CR, LF, SPACE
- *cyfra* — znaki ASCII: 0-9
- *mała litera* — znaki Unicode będące małymi literami ¹
- *wielka litera* — znaki Unicode będące wielkimi literami ²

1.1 Struktura leksykalna

Komentarz to ciąg znaków rozpoczynających się znakiem #, zakończony znakiem nowej linii.

Token to najdłuższy ciąg znaków niezawierający *komentarzy* ani *białych znaków*, taki, że opisuje go poniższa gramatyka:

$$\langle \textit{litera\!-\!ca\!k\!o\!w\!i\!t\!o\!l\!i\!c\!z\!b\!o\!w\!y} \rangle ::= \textit{cyfra} \\ | \textit{cyfra} \langle \textit{litera\!-\!ca\!k\!o\!w\!i\!t\!o\!l\!i\!c\!z\!b\!o\!w\!y} \rangle$$

¹Wszystkie takie znaki **X**, że spełniony jest predykat `char_type(X,lower)` w SWI Prologu.

²Analogicznie jak wyżej, tylko `char_type(X, upper)`.

$\langle \text{litera\l-znakowy} \rangle ::= "$
 $\quad | \quad ' \langle \text{znak} \rangle ,$

$\langle \text{litera\l-napisowy} \rangle ::= "$
 $\quad | \quad " \langle \text{ciag-znakow} \rangle "$

$\langle \text{litera\l-zmiennopozycyjny} \rangle ::= \langle \text{u\lamek} \rangle$
 $\quad | \quad \langle \text{u\lamek} \rangle \langle \text{wyk\ladnik} \rangle$

$\langle \text{litera\l-boolowski} \rangle ::= \text{true} \mid \text{false}$

$\langle \text{s\lowo-kluczowe} \rangle ::= \text{let} \mid \text{and} \mid \text{in} \mid \text{if} \mid \text{then}$
 $\quad | \quad \text{match} \mid \text{else} \mid \text{with} \mid \text{type} \mid \text{of} \mid \text{where}$
 $\quad | \quad \text{import} \mid \text{fun} \mid \text{define}$

$\langle \text{operator} \rangle ::= \langle \text{znak-specjalny} \rangle \mid \langle \text{operator} \rangle \langle \text{znak-specjalny} \rangle$

$\langle \text{identyfikator} \rangle ::= \text{ma\l a litera} \langle \text{alfanum} \rangle, \text{ taki, \l ze nie jest } \langle \text{s\lowo-kluczowe} \rangle$
 $\quad | \quad \text{ma\l a litera}$

$\langle \text{nazwa-typu} \rangle ::= \text{wielka litera} \langle \text{alfanum} \rangle$
 $\quad | \quad \text{wielka litera}$

gdzie

$\langle \text{znak-specjalny} \rangle ::= + \mid - \mid * \mid / \mid = \mid : \mid >$
 $\quad | \quad < \mid \& \mid ! \mid | \mid \$ \mid @ \mid \% \mid ^ \mid \sim$

$\langle \text{znak} \rangle ::= \text{dowolny znak Unicode oprócz } \backslash, ", '$
 $\quad | \quad \backslash \textbf{n} \mid \backslash \textbf{b} \mid \backslash \textbf{f} \mid \backslash \textbf{a} \mid \backslash \textbf{r} \mid \backslash \textbf{t} \mid \backslash 0 \mid \backslash \textbf{v} \mid \backslash \backslash \mid \backslash ' \mid \backslash "$

$\langle \text{ciag-znakow} \rangle ::= \langle \text{znak} \rangle$
 $\quad | \quad \langle \text{ciag-znakow} \rangle \langle \text{znak} \rangle$

$\langle \text{litera} \rangle ::= \text{ma\l a litera}$
 $\quad | \quad \text{wielka litera}$

$\langle \text{alfanum} \rangle ::= \langle \text{litera} \rangle$
 $\quad | \quad \langle \text{cyfra} \rangle$

$$\begin{array}{l}
| \langle \textit{alfanum} \rangle \langle \textit{litera} \rangle \\
| \langle \textit{alfanum} \rangle \langle \textit{cyfra} \rangle \\
\langle \textit{ułamek} \rangle ::= \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle . \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
| \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
\langle \textit{wykładnik} \rangle ::= \mathbf{e} - \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
| \mathbf{e} \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle
\end{array}$$

1.2 Składnia

$$\begin{array}{l}
\langle \textit{program} \rangle ::= \langle \textit{wyrażenie-lub-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{wyrażenie-lub-definicja} \rangle \langle \textit{program} \rangle \\
\langle \textit{wyrażenie-lub-definicja} \rangle ::= \langle \textit{wyrażenie} \rangle \\
| \langle \textit{define-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{defun-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{type-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{import} \rangle \\
\langle \textit{literał-funkcyjny} \rangle ::= \{ \mid \langle \textit{lista-parametrów} \rangle \mid \langle \textit{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \textit{lista-parametrów} \rangle ::= \langle \textit{nazwa-zmiennej} \rangle \\
| \overline{\quad} \langle \textit{lista-parametrów} \rangle \\
| \overline{\langle \textit{nazwa-zmiennej} \rangle} \langle \textit{lista-parametrów} \rangle \\
\langle \textit{stała} \rangle ::= \langle \textit{stała-wzorcową} \rangle \\
| \langle \textit{literał-funkcyjny} \rangle \\
\langle \textit{wyrażenie-atomowe} \rangle ::= (\langle \textit{wyrażenie} \rangle) \\
| (\langle \textit{operator} \rangle) \\
| \langle \textit{lista} \rangle \\
| \langle \textit{nazwa-zmiennej} \rangle \\
| \langle \textit{nazwa-typu} \rangle \\
| \langle \textit{stała} \rangle \\
\langle \textit{wyrażenie-warunkowe} \rangle ::= \mathbf{if} \langle \textit{wyrażenie} \rangle \mathbf{then} \langle \textit{wyrażenie} \rangle \mathbf{else} \langle \textit{wyrażenie} \rangle
\end{array}$$

$$\begin{aligned}
\langle \text{dopasowanie-do-wzorca} \rangle &::= \mathbf{match} \langle \text{wyrażenie} \rangle \{ \langle \text{lista-wzorców} \rangle \} \\
\langle \text{lista-wzorców} \rangle &::= \epsilon \\
&| \mathbf{case} \langle \text{wzorzec} \rangle \Rightarrow \langle \text{wyrażenie} \rangle \langle \text{lista-wzorców} \rangle \\
\langle \text{wzorzec} \rangle &::= \langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle \\
&| \langle \text{aplikacja-konstruktor} \rangle \\
\langle \text{aplikacja-konstruktor} \rangle &::= \langle \text{nazwa-typu} \rangle \langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
\langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle &::= \langle \text{stała-wzorcowa} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-zmiennej} \rangle \\
&| (\langle \text{krotka-wzorców} \rangle) \\
&| \langle \text{wzorzec-listowy} \rangle \\
\langle \text{stała-wzorcowa} \rangle &::= \langle \text{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
&| \langle \text{literał-zmiennopozycyjny} \rangle \\
&| \langle \text{literał-napisowy} \rangle \\
&| \langle \text{literał-znakowy} \rangle \\
&| () \\
\langle \text{krotka-wzorców} \rangle &::= \langle \text{wzorzec} \rangle \\
&| \langle \text{wzorzec} \rangle , \langle \text{krotka-wzorców} \rangle \\
\langle \text{wzorzec-listowy} \rangle &::= [] \\
&| [\langle \text{krotka-wzorców} \rangle] \\
&| [\langle \text{krotka-wzorców} \rangle | \langle \text{nazwa-zmiennej} \rangle] \\
\langle \text{deklaracja-operatora} \rangle &::= \mathbf{defop} \{ \langle \text{operator} \rangle \langle \text{priorytet} \rangle \langle \text{łączność} \rangle \} \\
\langle \text{priorytet} \rangle &::= \mathbf{0} | \mathbf{1} | \mathbf{2} | \mathbf{3} | \mathbf{4} | \mathbf{5} \\
\langle \text{łączność} \rangle &::= \mathbf{left} \\
&| \mathbf{right} \\
&| \mathbf{none} \\
&| \mathbf{left_unary} \\
&| \mathbf{right_unary} \\
\langle \text{import} \rangle &::= \mathbf{import} \{ \langle \text{pliki-do-importowania} \rangle \}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle \text{pliki-do-importowania} \rangle &::= \langle \text{nazwa-pliku} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-pliku} \rangle \langle \text{pliki-do-importowania} \rangle \\
\langle \text{nazwa-pliku} \rangle &::= \langle \text{literat-napisowy} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
\langle \text{lista} \rangle &::= [] \\
&| [\langle \text{elementy-listy} \rangle] \\
&| [\langle \text{krotka} \rangle | \langle \text{wyrażenie} \rangle] \\
\langle \text{nazwa-zmiennej} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&| (\langle \text{operator} \rangle) \\
\langle \text{let-definicja} \rangle &::= \mathbf{let} \langle \text{sygnatura} \rangle \langle \text{wyrażenie} \rangle \mathbf{in} \{ \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{sygnatura} \rangle &::= \langle \text{nazwa-zmiennej} \rangle : \langle \text{typ} \rangle = \\
\langle \text{define-definicja} \rangle &::= \mathbf{define} \langle \text{sygnatura} \rangle \{ \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{defun-definicja} \rangle &::= \mathbf{defun} \langle \text{nazwa-funkcji} \rangle \langle \text{lista-parametrów} \rangle : \langle \text{typ} \rangle = \{ \\
&\quad \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{nazwa-funkcji} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&| (\langle \text{operator} \rangle) \\
\langle \text{type-definicja} \rangle &::= \mathbf{type} \langle \text{nazwa-typu} \rangle : \langle \text{lista-parametrów} \rangle \langle \text{ciało-typu} \rangle \\
&| \mathbf{type} \langle \text{nazwa-typu} \rangle \langle \text{ciało-typu} \rangle \\
\langle \text{ciało-typu} \rangle &::= \{ \langle \text{lista-konstruktorów} \rangle \} \\
\langle \text{lista-konstruktorów} \rangle &::= \epsilon \\
&| \langle \text{lista-konstruktorów} \rangle \langle \text{konstruktor} \rangle \\
\langle \text{konstruktor} \rangle &::= \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-typu} \rangle : \{ \langle \text{typ} \rangle \} \\
\langle \text{typ} \rangle &::= \langle \text{funkcja} \rangle \\
&| \langle \text{funkcja} \rangle , \langle \text{typ} \rangle \\
\langle \text{funkcja} \rangle &::= \langle \text{typ-algebraiczny} \rangle \\
&| \langle \text{typ-algebraiczny} \rangle \rightarrow \langle \text{funkcja} \rangle
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle \text{typ-algebraiczny} \rangle &::= \langle \text{typ-atomowy} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-typu} \rangle \langle \text{lista-typów-atomowych} \rangle \\
\langle \text{lista-typów-atomowych} \rangle &::= \langle \text{typ-atomowy} \rangle \\
&| \langle \text{typ-atomowy} \rangle \langle \text{lista-typów-atomowych} \rangle \\
\langle \text{typ-atomowy} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
&| (\langle \text{typ} \rangle) \\
&| [\langle \text{typ} \rangle] \\
\langle \text{wyrażenie} \rangle &::= \langle \text{sekwencja-wyrażeń} \rangle \\
&| \langle \text{dopasowanie-do-wzorca} \rangle \\
&| \langle \text{let-definicja} \rangle \\
&| \langle \text{wyrażenie-warunkowe} \rangle \\
\langle \text{sekwencja-wyrażeń} \rangle &::= \langle \text{krotka} \rangle \\
&| \langle \text{krotka} \rangle ; \langle \text{sekwencja-wyrażeń} \rangle \\
\langle \text{krotka} \rangle &::= \langle w0n \rangle \\
&| \langle w0n \rangle , \langle \text{krotka} \rangle \\
\langle w0n \rangle &::= \langle w0r \rangle \\
&| \langle w0r \rangle \langle w0n_op \rangle \langle w0r \rangle \\
\langle w0r \rangle &::= \langle w0l \rangle \\
&| \langle w0l \rangle \langle w0r_op \rangle \langle w0r \rangle \\
\langle w0l \rangle &::= \langle w0ur \rangle \\
&| \langle w0l \rangle \langle w0l_op \rangle \langle w0ur \rangle \\
\langle w0ur \rangle &::= \langle w0ul \rangle \\
&| \langle w0ul \rangle \langle w0ur_op \rangle \\
\langle w0ul \rangle &::= \langle w1n \rangle \\
&| \langle w1ul_op \rangle \langle w1n \rangle \\
\langle w1n \rangle &::= \langle w1r \rangle \\
&| \langle w1r \rangle \langle w1n_op \rangle \langle w1r \rangle
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle w1r \rangle &::= \langle w1l \rangle \\
&| \langle w1l \rangle \langle w1r_op \rangle \langle w1r \rangle \\
\langle w1l \rangle &::= \langle w1ul \rangle \\
&| \langle w1l \rangle \langle w1l_op \rangle \langle w1ur \rangle \\
\langle w1ur \rangle &::= \langle w1ul \rangle \\
&| \langle w1ul \rangle \langle w1ur_op \rangle \\
\langle w1ul \rangle &::= \langle w2n \rangle \\
&| \langle w1ul_op \rangle \langle w2n \rangle \\
\langle w2n \rangle &::= \langle w2r \rangle \\
&| \langle w2r \rangle \langle w2n_op \rangle \langle w2r \rangle \\
\langle w2r \rangle &::= \langle w2l \rangle \\
&| \langle w2l \rangle \langle w2r_op \rangle \langle w2r \rangle \\
\langle w2l \rangle &::= \langle w2ul \rangle \\
&| \langle w2l \rangle \langle w2l_op \rangle \langle w2ur \rangle \\
\langle w2ur \rangle &::= \langle w2ul \rangle \\
&| \langle w2ul \rangle \langle w2ur_op \rangle \\
\langle w2ul \rangle &::= \langle w3n \rangle \\
&| \langle w2ul_op \rangle \langle w3n \rangle \\
\langle w3n \rangle &::= \langle w3r \rangle \\
&| \langle w3r \rangle \langle w3n_op \rangle \langle w3r \rangle \\
\langle w3r \rangle &::= \langle w3l \rangle \\
&| \langle w3l \rangle \langle w3r_op \rangle \langle w3r \rangle \\
\langle w3l \rangle &::= \langle w3ul \rangle \\
&| \langle w3l \rangle \langle w3l_op \rangle \langle w3ur \rangle \\
\langle w3ur \rangle &::= \langle w3ul \rangle \\
&| \langle w3ul \rangle \langle w3ur_op \rangle
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle w3ul \rangle &::= \langle w4n \rangle \\
&| \langle w3ul_op \rangle \langle w4n \rangle \\
\langle w4n \rangle &::= \langle w4r \rangle \\
&| \langle w4r \rangle \langle w4n_op \rangle \langle w4r \rangle \\
\langle w4r \rangle &::= \langle w4l \rangle \\
&| \langle w4l \rangle \langle w4r_op \rangle \langle w4r \rangle \\
\langle w4l \rangle &::= \langle w4ul \rangle \\
&| \langle w4l \rangle \langle w4l_op \rangle \langle w4ur \rangle \\
\langle w4ur \rangle &::= \langle w4ul \rangle \\
&| \langle w4ul \rangle \langle w4ur_op \rangle \\
\langle w4ul \rangle &::= \langle w5n \rangle \\
&| \langle w4ul_op \rangle \langle w5n \rangle \\
\langle w5n \rangle &::= \langle w5r \rangle \\
&| \langle w5r \rangle \langle w5n_op \rangle \langle w5r \rangle \\
\langle w5r \rangle &::= \langle w5l \rangle \\
&| \langle w5l \rangle \langle w5r_op \rangle \langle w5r \rangle \\
\langle w5l \rangle &::= \langle w5ul \rangle \\
&| \langle w5l \rangle \langle w5l_op \rangle \langle w5ur \rangle \\
\langle w5ur \rangle &::= \langle w5ul \rangle \\
&| \langle w5ul \rangle \langle w5ur_op \rangle \\
\langle w5ul \rangle &::= \langle aplikacja \rangle \\
&| \langle w5ul_op \rangle \langle aplikacja \rangle \\
\langle aplikacja \rangle &::= \langle aplikacja \rangle \langle wyrażenie-atomowe \rangle \\
&| \langle wyrażenie-atomowe \rangle \\
\langle ._op \rangle &::= \langle operator \rangle^3
\end{aligned}$$

³Operatory i ich priorytety oraz łączność są definiowane wewnątrz programów i nie istnieje dla nich gramatyka bezkontekstowa.

2 Semantyka

3 System typów