

# 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 <sup>1</sup>
- *wielka litera* — znaki Unicode będące wielkimi literami <sup>2</sup>

### 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:

$$\langle \textit{litera\!-\!całkowitoliczbowy} \rangle ::= \textit{cyfra} \\ | \textit{cyfra} \langle \textit{litera\!-\!całkowitoliczbowy} \rangle$$

---

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

<sup>2</sup>Analogicznie jak wyżej, tylko `char_type(X, upper)`.

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

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

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

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

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

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

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

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

gdzie

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

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

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

$\langle \text{litera} \rangle ::= \text{ma\!la litera}$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{wielka litera}$

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

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

## 1.2 Składnia

$$\begin{aligned}
\langle \textit{program} \rangle & ::= \langle \textit>wyrażenie-lub-definicja \rangle \\
& | \langle \textit>wyrażenie-lub-definicja \rangle \langle \textit{program} \rangle \\
\langle \textit>wyrażenie-lub-definicja} \rangle & ::= \langle \textit>wyrażenie} \rangle \\
& | \langle \textit>define-definicja} \rangle \\
& | \langle \textit>defun-definicja} \rangle \\
& | \langle \textit>type-definicja} \rangle \\
\langle \textit{literał-funkcyjny} \rangle & ::= \{ \mid \langle \textit>lista-parametrów} \rangle \mid \langle \textit>wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \textit>lista-parametrów} \rangle & ::= \langle \textit>identyfikator} \rangle \\
& | \overline{\quad} \langle \textit>lista-parametrów} \rangle \\
& | \langle \textit>identyfikator} \rangle \langle \textit>lista-parametrów} \rangle \\
\langle \textit>stała} \rangle & ::= \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
& | \langle \textit{literał-zmiennopozycyjny} \rangle \\
& | \langle \textit{literał-napisowy} \rangle \\
& | \langle \textit{literał-znakowy} \rangle \\
& | \langle \textit{literał-funkcyjny} \rangle \\
& | () \\
\langle \textit>wyrażenie-atomowe} \rangle & ::= ( \langle \textit>wyrażenie} \rangle ) \\
& | \langle \textit>identyfikator} \rangle \\
& | \langle \textit>nazwa-typu} \rangle \\
& | \langle \textit>stała} \rangle \\
\langle \textit>wyrażenie-warunkowe} \rangle & ::= \mathbf{if} \langle \textit>wyrażenie} \rangle \mathbf{then} \langle \textit>wyrażenie} \rangle \mathbf{else} \langle \textit>wyrażenie} \rangle
\end{aligned}$$

$$\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 \\
&\quad | \quad \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 \\
&\quad | \quad \langle \text{aplikacja-konstruktor} \rangle \\
\langle \text{aplikacja-konstruktor} \rangle &::= \langle \text{nazwa-typu} \rangle \langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
\langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle &::= \langle \text{stała} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&\quad | \quad ( \langle \text{krotka-wzorców} \rangle ) \\
&\quad | \quad \langle \text{wzorzec-listowy} \rangle \\
\langle \text{krotka-wzorców} \rangle &::= \langle \text{wzorzec} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{wzorzec} \rangle , \langle \text{krotka-wzorców} \rangle \\
\langle \text{wzorzec-listowy} \rangle &::= [] \\
&\quad | \quad [ \langle \text{krotka-wzorców} \rangle ] \\
&\quad | \quad [ \langle \text{krotka-wzorców} \rangle \mid \langle \text{identyfikator} \rangle ] \\
\langle \text{deklaracja-operatora} \rangle &::= \mathbf{defop} \{ \langle \text{operator} \rangle \langle \text{priorytet} \rangle \langle \text{łączność} \rangle \} \\
\langle \text{priorytet} \rangle &::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \\
\langle \text{łączność} \rangle &::= \mathbf{left} \\
&\quad | \quad \mathbf{right} \\
&\quad | \quad \mathbf{none} \\
&\quad | \quad \mathbf{left\_unary} \\
&\quad | \quad \mathbf{right\_unary} \\
\langle \text{import} \rangle &::= \mathbf{import} \{ \langle \text{pliki-do-importowania} \rangle \} \\
\langle \text{pliki-do-importowania} \rangle &::= \langle \text{literał-napisowy} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{literał-napisowy} \rangle \langle \text{pliki-do-importowania} \rangle \\
\langle \text{lista} \rangle &::= [] \\
&\quad | \quad [ \langle \text{krotka} \rangle ] \\
&\quad | \quad [ \langle \text{krotka} \rangle \mid \langle \text{wyrażenie} \rangle ]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle \text{let-definicja} \rangle &::= \text{let } \langle \text{definicja} \rangle \langle \text{and-definicje} \rangle \text{ in } \{ \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{definicja} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle : \langle \text{typ} \rangle = \langle \text{wyrażenie} \rangle \\
\langle \text{define-definicja} \rangle &::= \text{define } \langle \text{definicja} \rangle \{ \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{defun-definicja} \rangle &::= \text{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 \\
&\quad | \quad ( \langle \text{operator} \rangle ) \\
\langle \text{type-definicja} \rangle &::= \text{type } \langle \text{nazwa-typu} \rangle : \langle \text{lista-parametrów} \rangle \langle \text{ciało-typu} \rangle \\
&\quad | \quad \text{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 \\
&\quad | \quad \langle \text{lista-konstruktorów} \rangle \langle \text{konstruktor} \rangle \\
\langle \text{konstruktor} \rangle &::= \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{nazwa-typu} \rangle : \{ \langle \text{typ} \rangle \} \\
\langle \text{typ} \rangle &::= \langle \text{iloczyn-kartezjański} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{iloczyn-kartezjański} \rangle \rightarrow \langle \text{typ} \rangle \\
\langle \text{iloczyn-kartezjański} \rangle &::= \langle \text{typ-algebraiczny} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{typ-algebraiczny} \rangle , \langle \text{iloczyn-kartezjański} \rangle \\
\langle \text{typ-algebraiczny} \rangle &::= \langle \text{typ-atomowy} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{nazwa-typu} \rangle \langle \text{lista-typów-atomowych} \rangle \\
\langle \text{lista-typów-atomowych} \rangle &::= \langle \text{typ-atomowy} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{typ-atomowy} \rangle \langle \text{lista-typów-atomowych} \rangle \\
\langle \text{typ-atomowy} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&\quad | \quad \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
&\quad | \quad ( \langle \text{typ} \rangle ) \\
&\quad | \quad [ \langle \text{typ} \rangle ]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle \textit{and-definicje} \rangle &::= \epsilon \\
&| \quad \mathbf{and} \ \langle \textit{definicja} \rangle \ \langle \textit{and-definicje} \rangle \\
\\
\langle \textit{wyrażenie} \rangle &::= \langle \textit{krotka} \rangle \\
&| \quad \langle \textit{dopasowanie-do-wzorca} \rangle \\
&| \quad \langle \textit{let-definicja} \rangle \\
&| \quad \langle \textit{wyrażenie-warunkowe} \rangle \\
\\
\langle \textit{krotka} \rangle &::= \langle w0 \rangle \\
&| \quad \langle w0 \rangle , \langle \textit{krotka} \rangle \\
\\
\langle w0 \rangle &::= \langle w0l \rangle | \langle w0r \rangle | \langle w0n \rangle | \langle w0ul \rangle | \langle w0ur \rangle \\
&| \quad \langle w1 \rangle \\
\\
\langle w1 \rangle &::= \langle w1l \rangle | \langle w1r \rangle | \langle w1n \rangle | \langle w1ul \rangle | \langle w1ur \rangle \\
&| \quad \langle w2 \rangle \\
\\
\langle w2 \rangle &::= \langle w2l \rangle | \langle w2r \rangle | \langle w2n \rangle | \langle w2ul \rangle | \langle w2ur \rangle \\
&| \quad \langle w3 \rangle \\
\\
\langle w3 \rangle &::= \langle w3l \rangle | \langle w3r \rangle | \langle w3n \rangle | \langle w3ul \rangle | \langle w3ur \rangle \\
&| \quad \langle w4 \rangle \\
\\
\langle w4 \rangle &::= \langle w4l \rangle | \langle w4r \rangle | \langle w4n \rangle | \langle w4ul \rangle | \langle w4ur \rangle \\
&| \quad \langle w5 \rangle \\
\\
\langle w5 \rangle &::= \langle w5l \rangle | \langle w5r \rangle | \langle w5n \rangle | \langle w5ul \rangle | \langle w5ur \rangle \\
&| \quad \langle \textit{aplikacja} \rangle \\
\\
\langle \textit{aplikacja} \rangle &::= \langle \textit{aplikacja} \rangle \ \langle \textit{wyrażenie-atomowe} \rangle \\
&| \quad \langle \textit{wyrażenie-atomowe} \rangle
\end{aligned}$$

## 2 Semantyka

## 3 System typów