L-sistēmu izmantošana datorgrafikā

Artūrs Grebstelis

2011. gada 8. augustā

Aristīds Lindenmeijers

Aristīds Lindenmeijers

- ungāru izcelsmes biologs no Utrehtas universitātes Nīderlandē

Aristīds Lindenmeijers

Aristīds Lindenmeijers

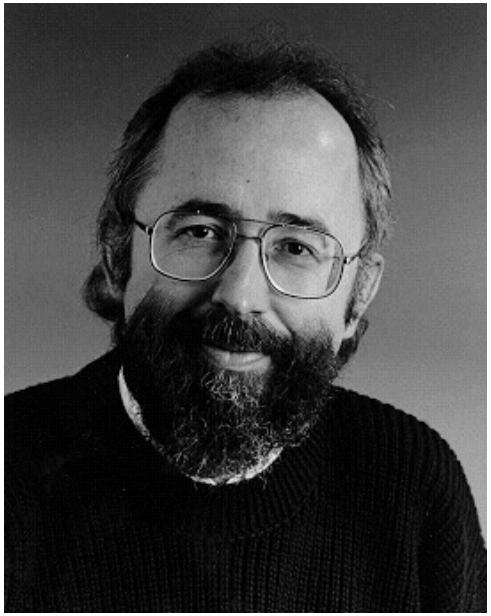
- ungāru izcelsmes biologs no Utrehtas universitātes Nīderlandē
- pētija cianobakērijas jeb zilaļģes paveidu *Anabaena catenula*

Aristīds Lindenmeijers

Aristīds Lindenmeijers

- ungāru izcelsmes biologs no Utrehtas universitātes Nīderlandē
- pētija cianobakērijas jeb zilaļģes paveidu *Anabaena catenula*
- 1968. gadā publicē rakstu par formālo gramatiku paveidu - L-sistēmām

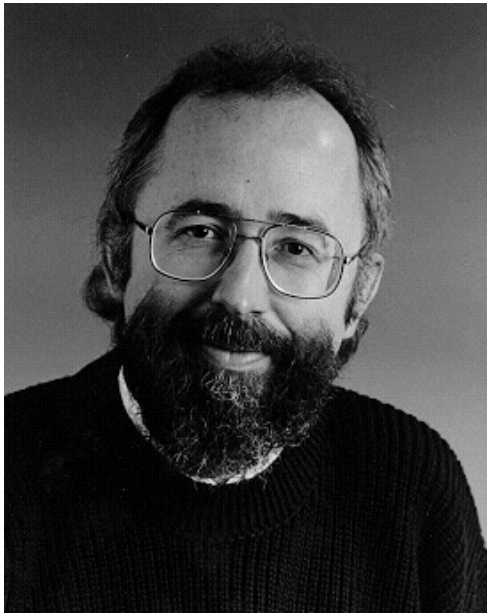
Przemislavs Prusinkēvičs



Przemislavs Prusinkēvičs

- poļu izcelsmes datorzinātnieks no Kalgarī universitātes Kanādā

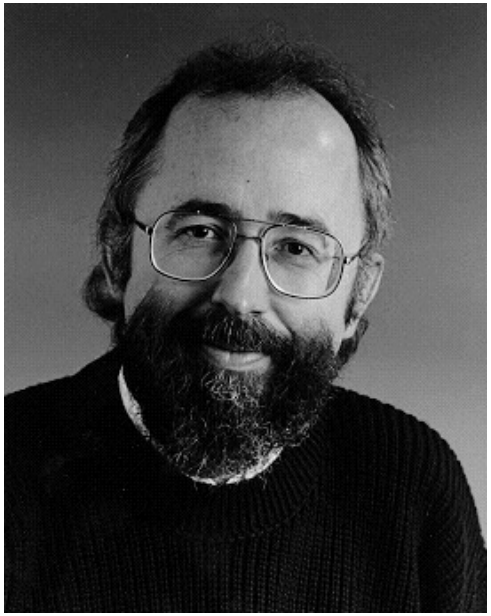
Przemislavs Prusinkēvičs



Przemislavs Prusinkēvičs

- poļu izcelsmes datorzinātnieks no Kalgarī universitātes Kanādā
- pētija veidus kā varētu vizualizēt L-sistēmas un izmantot augu attēlošanā

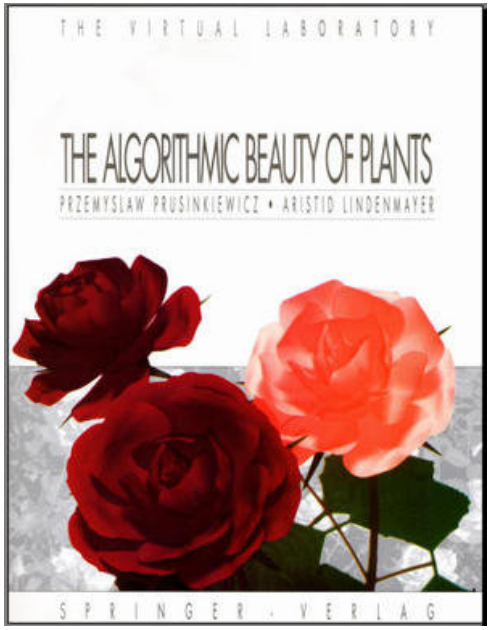
Przemislavs Prusinkēvičs



Przemislavs Prusinkēvičs

- poļu izcelsmes datorzinātnieks no Kalgarī universitātes Kanādā
- pētija veidus kā varētu vizualizēt L-sistēmas un izmantot augu attēlošanā
- 1986. gadā piedāvā šim nolūkam izmantot programmēšanas valodu “Logo”

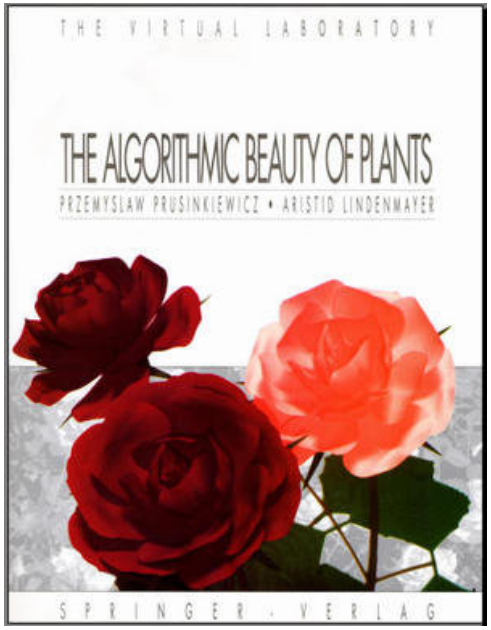
“Algorithmic Beauty of Plants”



“Algorithmic Beauty of Plants”

- tiek izdota 1990. gadā

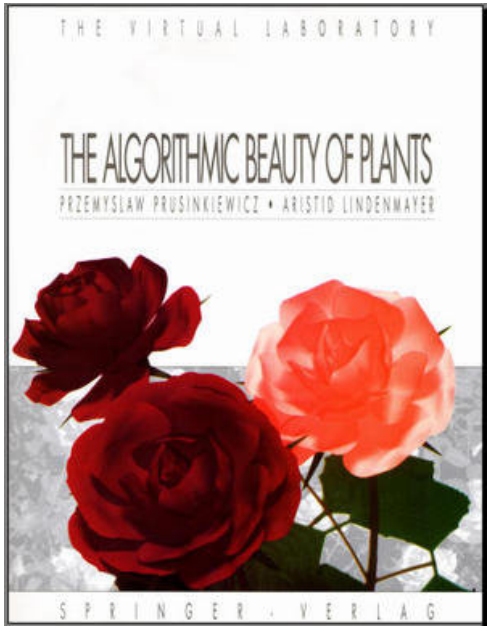
“Algorithmic Beauty of Plants”



“Algorithmic Beauty of Plants”

- tiek izdota 1990. gadā
- apvieno abu autoru pētnieciso darbu

“Algorithmic Beauty of Plants”



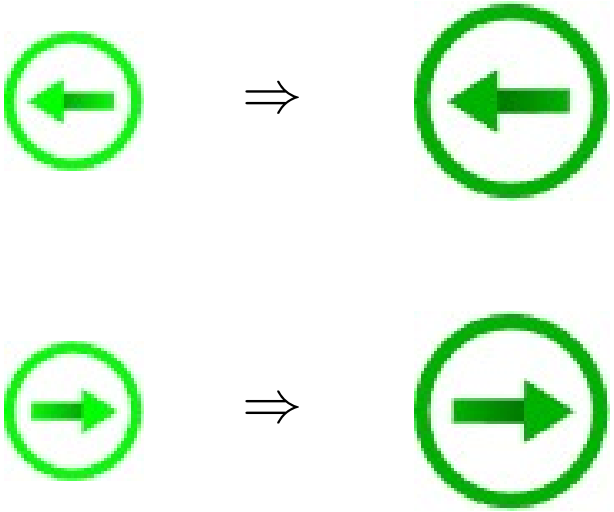
“Algorithmic Beauty of Plants”

- tiek izdota 1990. gadā
- apvieno abu autoru pētnieciso darbu
- brīvi pieejama internetā

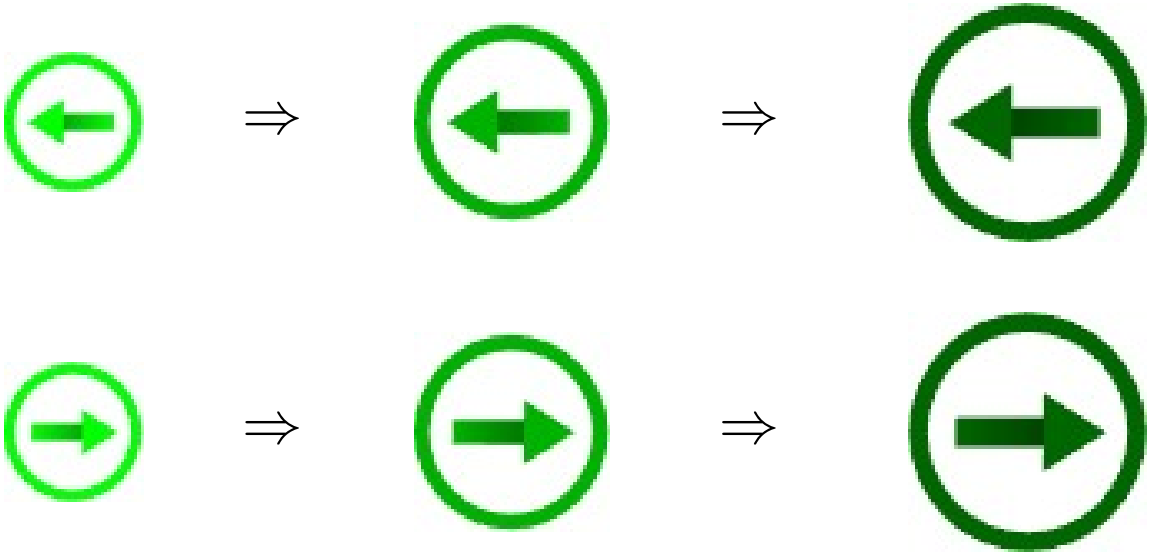
Cianobaktērijas jeb zilaļģes

Cianobaktērijas šūnas dalīšanās

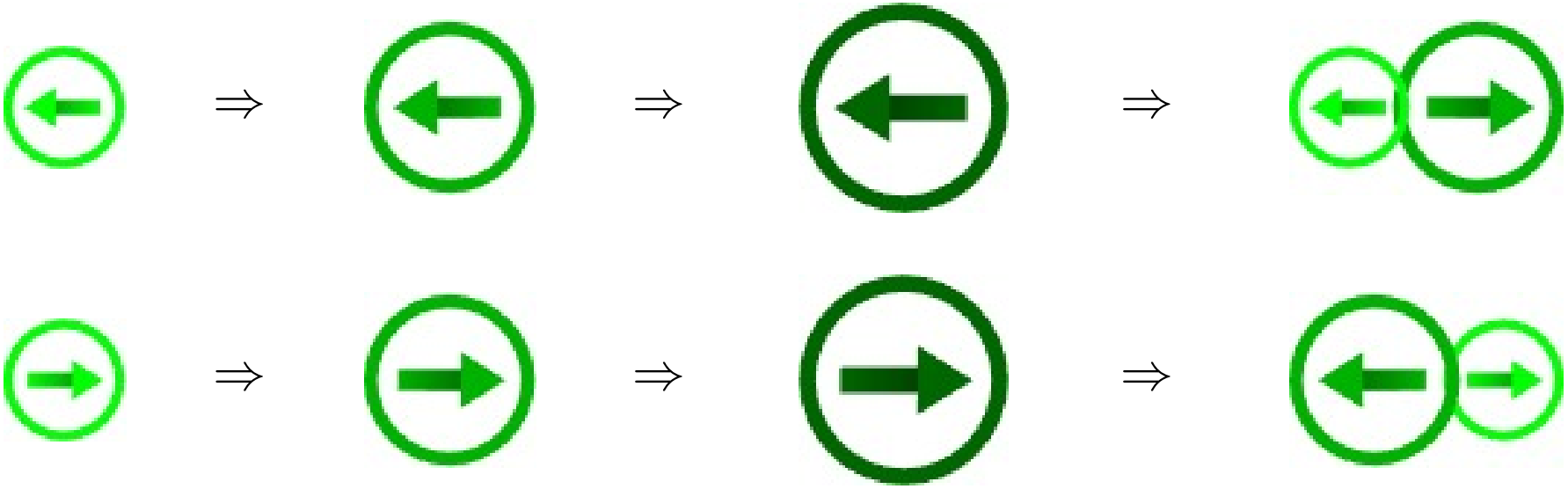
Cianobaktērijas šūnas dalīšanās



Cianobaktērijas šūnas dalīšanās



Cianobaktērijas šūnas dalīšanās

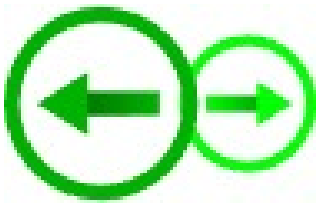


Cianobaktērijas augšanas process

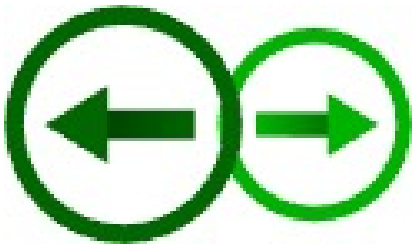
Cianobaktērijas augšanas process

Cianobaktērijas augšanas process

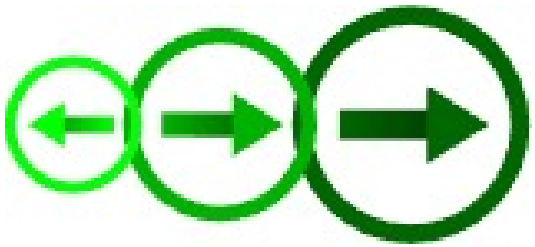
Cianobaktērijas augšanas process



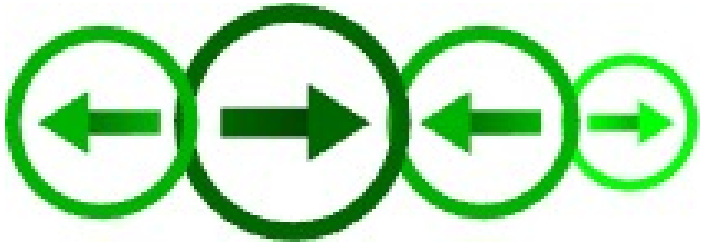
Cianobaktērijas augšanas process



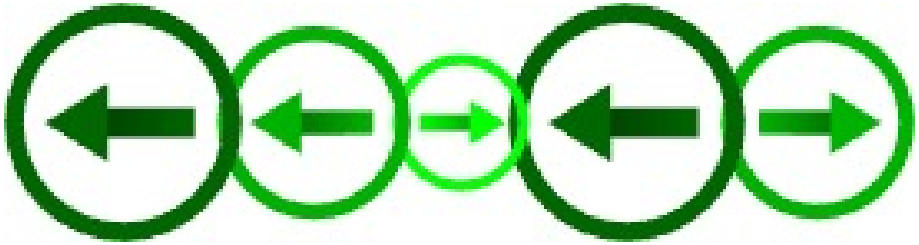
Cianobaktērijas augšanas process



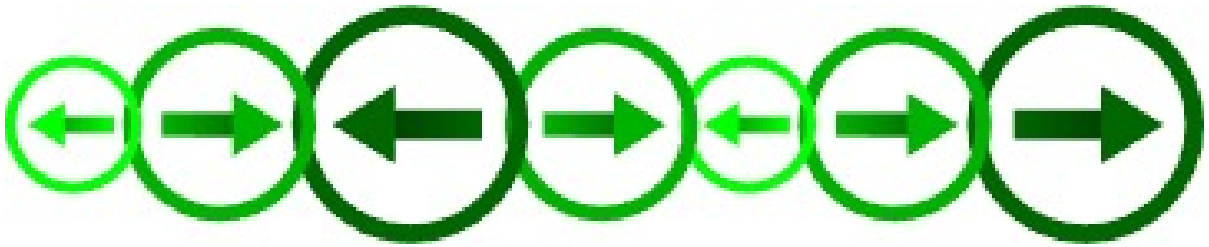
Cianobaktērijas augšanas process



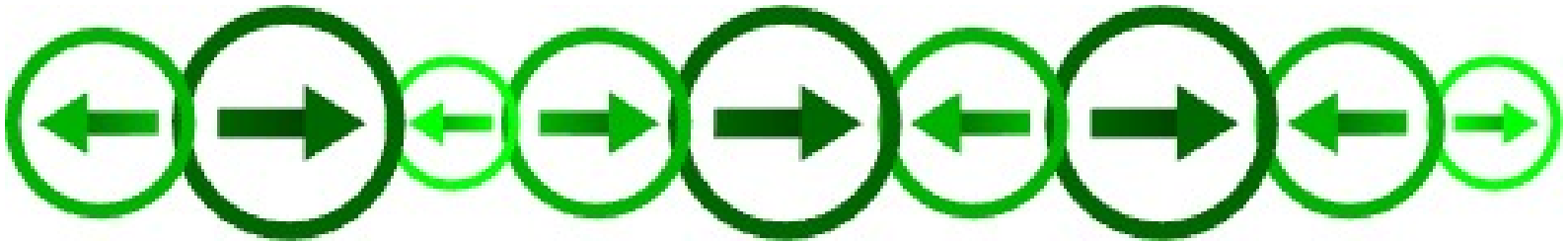
Cianobaktērijas augšanas process



Cianobaktērijas augšanas process

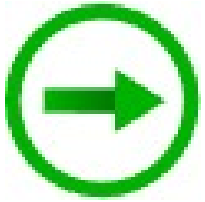


Cianobaktērijas augšanas process

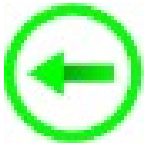


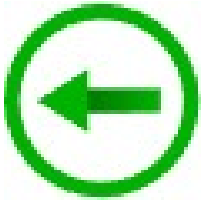
Cianobaktērijas šūnas aizvieto ar simboliem

– a_1

 – a_2

– a_3

 – b_1

 – b_2

– b_3

Cianobaktēriju L-sistēma

L-sistēmas ir līdzīgas regulārajām gramatikām

- ir dots sākuma vārds jeb aksioma

Cianobaktēriju L-sistēma

L-sistēmas ir līdzīgas regulārajām gramatikām

- ir dots sākuma vārds jeb aksioma
- zilaļģu gadījumā aksioma ir a_1 (⊖)

Cianobaktēriju L-sistēma

L-sistēmas ir līdzīgas regulārajām gramatikām

- ir dots sākuma vārds jeb aksioma
- zilaļģu gadījumā aksioma ir a_1 (⊖)
- izveduma likumos nav terminālo simbolu

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow b_2 a_1$$
$$b_1 \rightarrow b_2$$
$$b_2 \rightarrow b_3$$
$$b_3 \rightarrow b_1 a_2$$

Cianobaktēriju L-sistēma

L-sistēmas ir līdzīgas regulārajām gramatikām

- ir dots sākuma vārds jeb aksioma
- zilaļģu gadījumā aksioma ir a_1 (⊖)
- izveduma likumos nav terminālo simbolu
- visi simboli vārdā tiek pārrakstīti paralēli

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow b_2 a_1$$
$$b_1 \rightarrow b_2$$
$$b_2 \rightarrow b_3$$
$$b_3 \rightarrow b_1 a_2$$

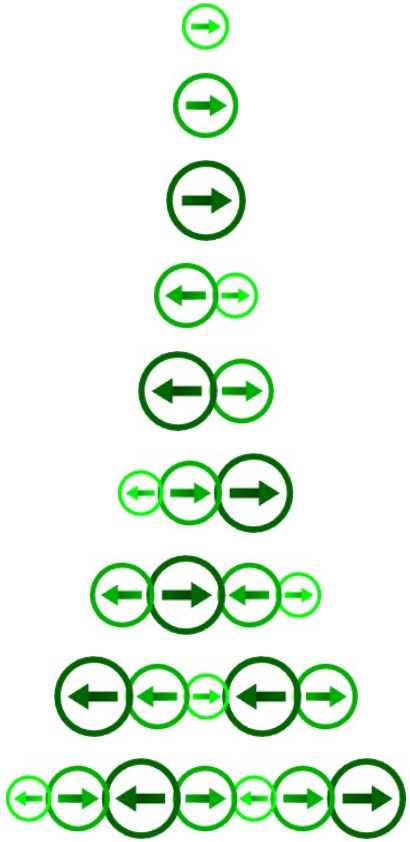
Cianobaktēriju L-sistēma

L-sistēmas ir līdzīgas regulārajām gramatikām

- ir dots sākuma vārds jeb aksioma
- zilaļģu gadījumā aksioma ir a_1 (➔)
- izveduma likumos nav terminālo simbolu
- visi simboli vārdā tiek pārrakstīti paralēli
- tiek veiktas n izveduma iterācijas

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow b_2 a_1$$
$$b_1 \rightarrow b_2$$
$$b_2 \rightarrow b_3$$
$$b_3 \rightarrow b_1 a_2$$

Cianobaktērijas L-sistēmas izvedums n=8 iterācijām

aksioma:		a_1
p_1 :		a_2
p_2 :		a_3
p_3 :		$b_2\,a_1$
p_4 :		$b_3\,a_2$
p_5 :		$b_1\,a_2\,a_3$
p_6 :		$b_2\,a_3\,b_2\,a_1$
p_7 :		$b_3\,b_2\,a_1\,b_3\,a_2$
p_8 :		$b_1\,a_2\,b_3\,a_2\,b_1\,a_2\,a_3$

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow b_2\,a_1$$
$$b_1 \rightarrow b_2$$
$$b_2 \rightarrow b_3$$
$$b_3 \rightarrow b_1\,a_2$$

Parametriskas L-sistēmas

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow a_4$$
$$a_4 \rightarrow a_5$$
$$a_5 \rightarrow a_6$$
$$a_6 \rightarrow a_7$$
$$a_7 \rightarrow a_8$$
$$a_8 \rightarrow a_9$$
$$a_9 \rightarrow b_6 a_3$$

Parametriskas L-sistēmas

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow a_4$$
$$a_4 \rightarrow a_5$$
$$a_5 \rightarrow a_6$$
$$a_6 \rightarrow a_7$$
$$a_7 \rightarrow a_8$$
$$a_8 \rightarrow a_9$$
$$a_9 \rightarrow b_6 a_3$$

$$a(x) \xrightarrow{x < 9} a(x+1)$$
$$a(x) \xrightarrow{x \geq 9} b(6)\ a(3)$$

Parametriskas L-sistēmas

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow a_4$$
$$a_4 \rightarrow a_5$$
$$a_5 \rightarrow a_6$$
$$a_6 \rightarrow a_7$$
$$a_7 \rightarrow a_8$$
$$a_8 \rightarrow a_9$$
$$a_9 \rightarrow b_6 a_3$$

$$a(x) \xrightarrow{x < 9} a(x+1)$$
$$a(x) \xrightarrow{x \geq 9} b(6)\ a(3)$$

- parametri ļauj likumos uzlikt nosacījumu simbola pārrakstīšanai

Parametriskas L-sistēmas

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow a_4$$
$$a_4 \rightarrow a_5$$
$$a_5 \rightarrow a_6$$
$$a_6 \rightarrow a_7$$
$$a_7 \rightarrow a_8$$
$$a_8 \rightarrow a_9$$
$$a_9 \rightarrow b_6 a_3$$

$$a(x) \xrightarrow{x < 9} a(x+1)$$
$$a(x) \xrightarrow{x \geq 9} b(6)\ a(3)$$

- parametri ļauj likumos uzlikt nosacījumu simbola pārrakstīšanai
- parametrs kalpo kā simbola atribūts, zilaļģu piemērā tas būtu šūnas izmērs

Parametriskas L-sistēmas

$$a_1 \rightarrow a_2$$
$$a_2 \rightarrow a_3$$
$$a_3 \rightarrow a_4$$
$$a_4 \rightarrow a_5$$
$$a_5 \rightarrow a_6$$
$$a_6 \rightarrow a_7$$
$$a_7 \rightarrow a_8$$
$$a_8 \rightarrow a_9$$
$$a_9 \rightarrow b_6 a_3$$

$$a(x) \xrightarrow{x < 9} a(x+1)$$
$$a(x) \xrightarrow{x \geq 9} b(6)\ a(3)$$

- parametri ļauj likumos uzlikt nosacījumu simbola pārrakstīšanai
- parametrs kalpo kā simbola atribūts, zilaļģu piemērā tas būtu šūnas izmērs
- parametra vērtību var lietot, lai aprēķinātu parametrus izveduma simboliem

Stohastiskas L-sistēmas

$$
\begin{array}{lcl}
\mathit{bud} & \rightarrow & b(\mathit{random}) \\
b(p) & \xrightarrow{0.0 \,\leq\, p \,<\, 0.2} & \mathit{flower} \\
b(p) & \xrightarrow{0.2 \,\leq\, p \,<\, 0.7} & \mathit{leaf} \\
b(p) & \xrightarrow{0.7 \,\leq\, p \,<\, 1.0} & \mathit{branch\ bud}
\end{array}
$$

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

T T T T B T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{rcccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

H T T T T B T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H < & T & & & \rightarrow & H \\
 & T & & & \rightarrow & T \\
H < & B & & & \rightarrow & H \\
 & B & & & \rightarrow & B \\
 & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T H T T T B T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{lcccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T H T T B T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T H T B T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{rcccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T H B T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H < & T & & & \rightarrow & H \\
 & T & & & \rightarrow & T \\
H < & B & & & \rightarrow & H \\
 & B & & & \rightarrow & B \\
 & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F H T T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T H T T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T H T B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{rcccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T H B T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T F H T T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T F T H T T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T F T T H T B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{rcccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T F T T T H B

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{rcccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T F T T T F H

Kontekstjūtīgas L-sistēmas

kreisais kontekts $<$ simbols $>$ labais konteksts $\rightarrow$ izvedums

$$
\begin{array}{cccccc}
 & & H & > & T & \rightarrow & T \\
 & & H & > & B & \rightarrow & F \\
 & & H & & & \rightarrow & \varepsilon \\
H & < & T & & & \rightarrow & H \\
 & & T & & & \rightarrow & T \\
H & < & B & & & \rightarrow & H \\
 & & B & & & \rightarrow & B \\
 & & F & & & \rightarrow & F
\end{array}
$$

T T T T F T T T F T T T F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ +

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F

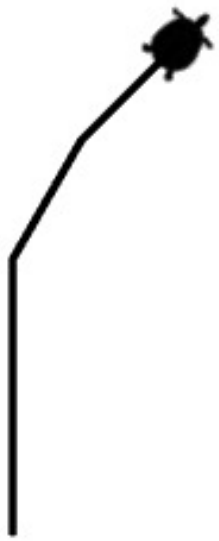
“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F [

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

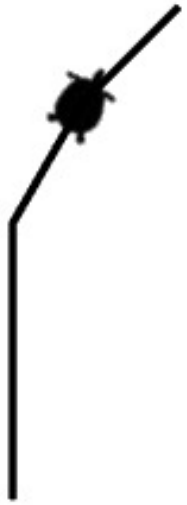
F F [+ + F [+

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



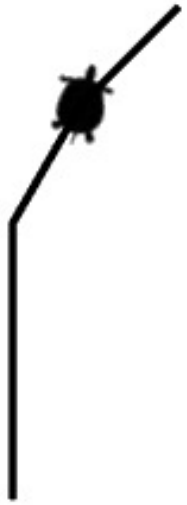
F F [+ + F [+ F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



F F [+ + F [+ F]

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



F F [+ + F [+ F] −

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F [+ F] - F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F [+ F] - F F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F [+ F] - F F]

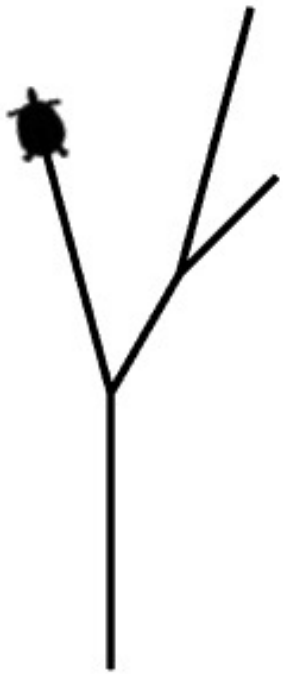
“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F [+ F] - F F] -

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

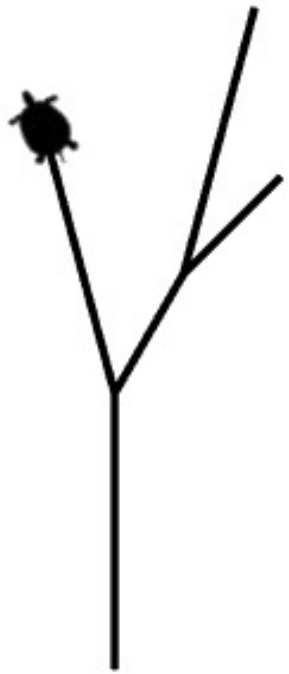
F F [+ + F [+ F] - F F] - F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



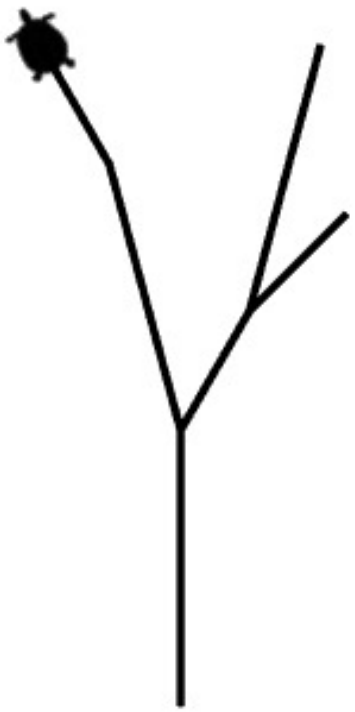
F F [+ + F [+ F] - F F] - F F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



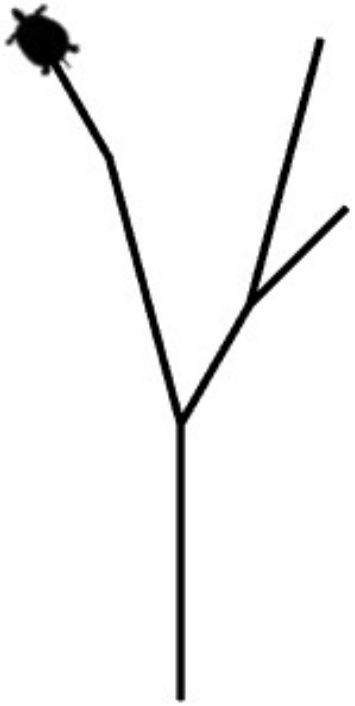
F F [+ + F [+ F] - F F] - F F -

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



F F [+ + F [+ F] - F F] - F F - F

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”



F F [+ + F [+ F] - F F] - F F - F -

“Turtle Graphics” jeb “LOGO”

F F [+ + F [+ F] - F F] - F F - F - F

“Turtle graphics” - papildinājumi

Iespēja bruņurupucim:

- kustēties trīs dimensijās;

“Turtle graphics” - papildinājumi

Iespēja bruņurupucim:

- kustēties trīs dimensijās;
- līniju vietā zīmēt cilindrus;

“Turtle graphics” - papildinājumi

Iespēja bruņurupucim:

- kustēties trīs dimensijās;
- līniju vietā zīmēt cilindrus;
- mainīt cilindru rādiusu/krāsu/tekstūru;

“Turtle graphics” - papildinājumi

Iespēja bruņurupucim:

- kustēties trīs dimensijās;
- līniju vietā zīmēt cilindrus;
- mainīt cilindru rādiusu/krāsu/tekstūru;
- nolikt predefinētus objektus;

“Turtle graphics” - papildinājumi

Iespēja bruņurupucim:

- kustēties trīs dimensijās;
- līniju vietā zīmēt cilindrus;
- mainīt cilindru rādiusu/krāsu/tekstūru;
- nolikt predefinētus objektus;
- mainīt predefinēto objektu izmērus/krāsu/tekstūru;

L-sistēma + "Turtle graphics"

$$
\begin{aligned}
\textit{aksioma}: &\quad \texttt{F + + F + + F} \\
r_1: &\quad \texttt{F} \rightarrow \texttt{F - F + + F - F} \\
r_2: &\quad \texttt{+} \rightarrow \texttt{+} \\
r_3: &\quad \texttt{-} \rightarrow \texttt{-}
\end{aligned}
$$

L-sistēma + “Turtle graphics”

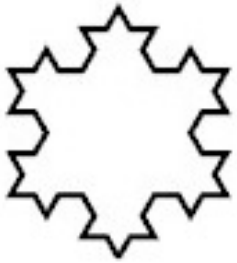
$$
\begin{aligned}
\textit{aksioma}: &\quad \texttt{F + + F + + F} \\
r_1: &\quad \texttt{F} \rightarrow \texttt{F - F + + F - F} \\
r_2: &\quad \texttt{+} \rightarrow \texttt{+} \\
r_3: &\quad \texttt{-} \rightarrow \texttt{-}
\end{aligned}
$$

L-sistēma + "Turtle graphics"

$$
\begin{aligned}
\textit{aksioma}: &\quad \texttt{F + + F + + F} \\
r_1: &\quad \texttt{F} \rightarrow \texttt{F - F + + F - F} \\
r_2: &\quad \texttt{+} \rightarrow \texttt{+} \\
r_3: &\quad \texttt{-} \rightarrow \texttt{-}
\end{aligned}
$$

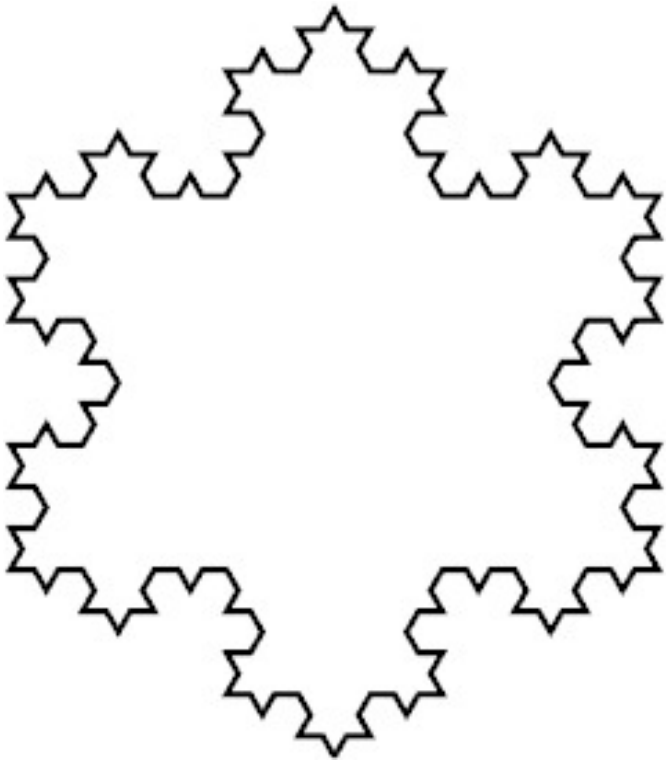
L-sistēma + "Turtle graphics"

$$
\begin{aligned}
\textit{aksioma}: &\quad \texttt{F + + F + + F} \\
r_1: &\quad \texttt{F} \rightarrow \texttt{F - F + + F - F} \\
r_2: &\quad \texttt{+} \rightarrow \texttt{+} \\
r_3: &\quad \texttt{-} \rightarrow \texttt{-}
\end{aligned}
$$



L-sistēma + "Turtle graphics"

$$
\begin{aligned}
\textit{aksioma}: &\quad \texttt{F + + F + + F} \\
r_1: &\quad \texttt{F} \rightarrow \texttt{F - F + + F - F} \\
r_2: &\quad \texttt{+} \rightarrow \texttt{+} \\
r_3: &\quad \texttt{-} \rightarrow \texttt{-}
\end{aligned}
$$



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`

Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`

Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`

Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

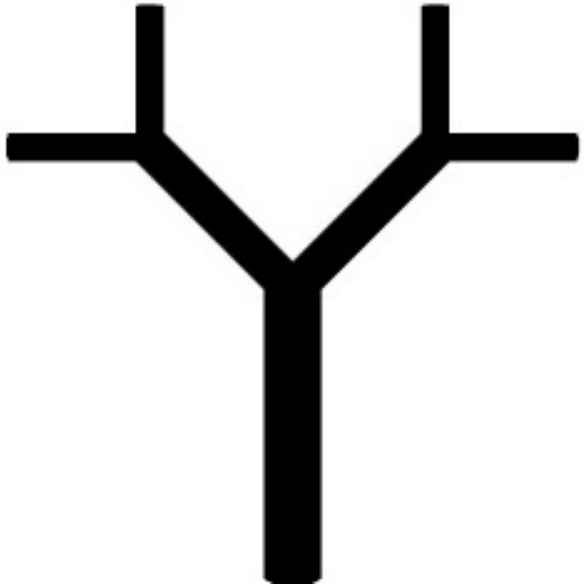
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

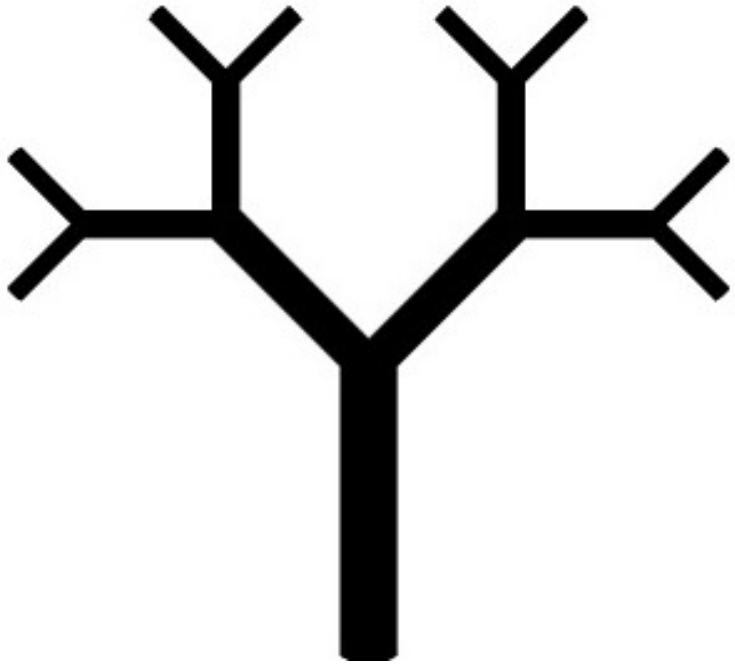
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

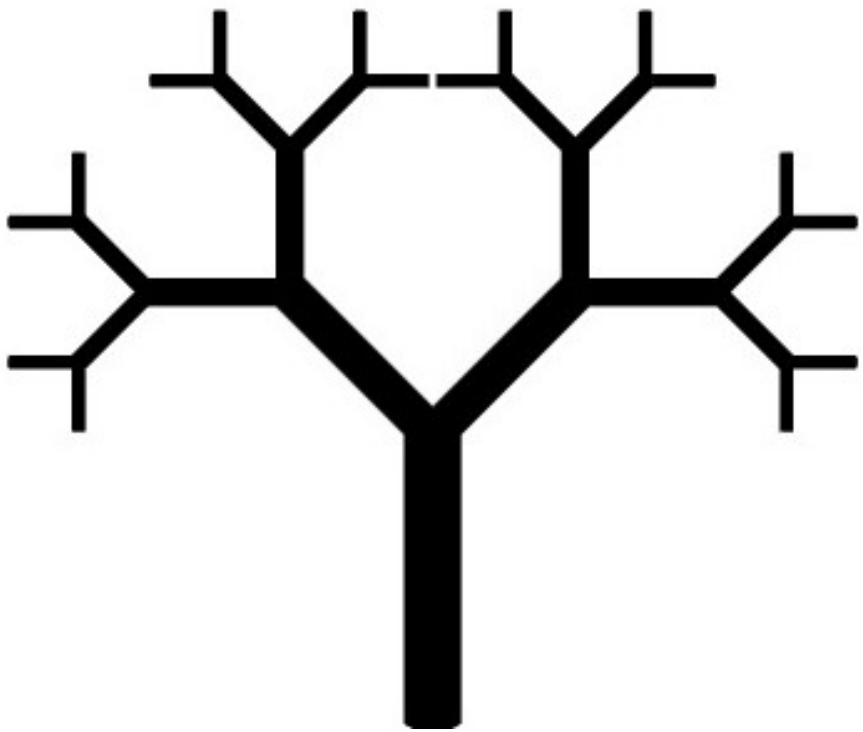
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

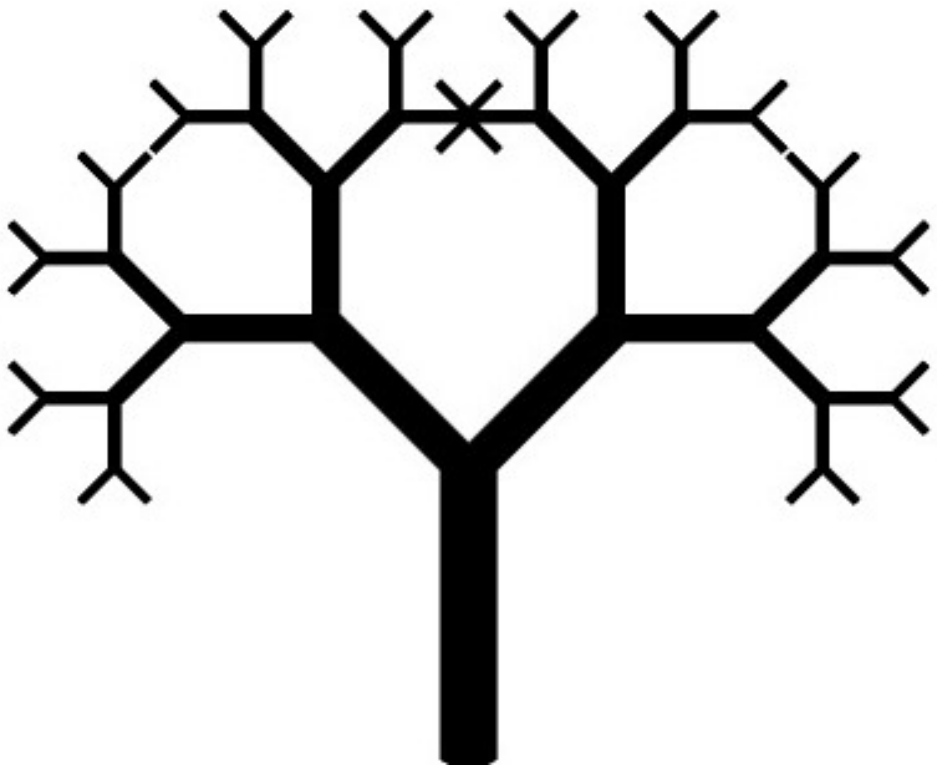
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

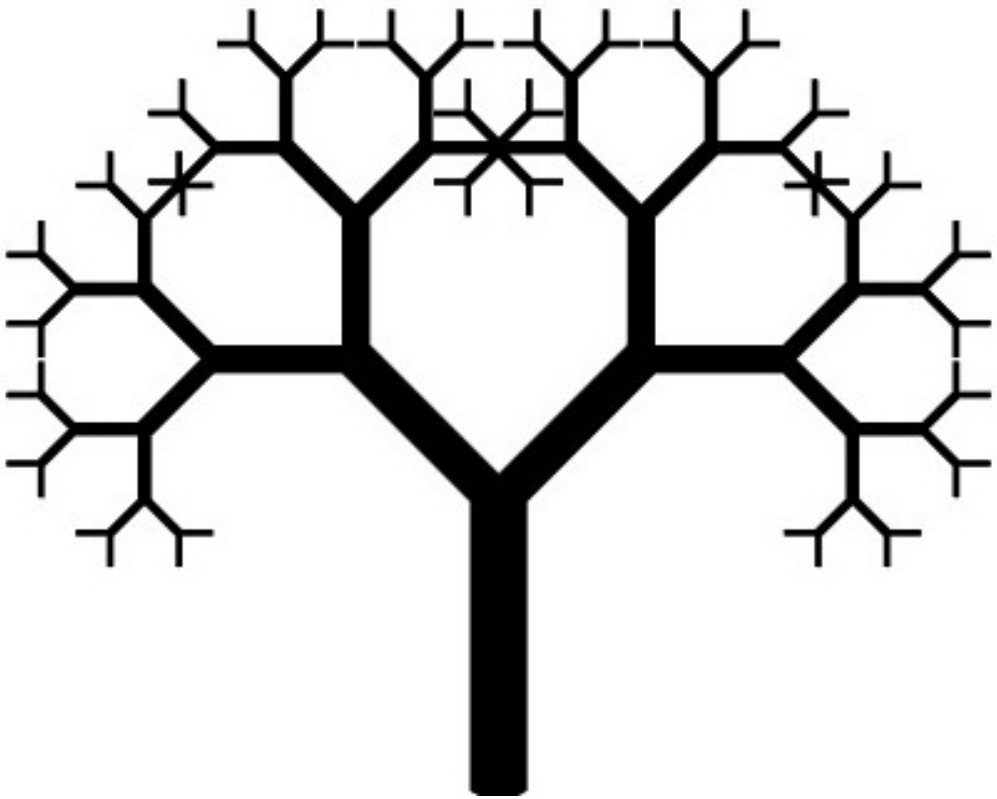
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

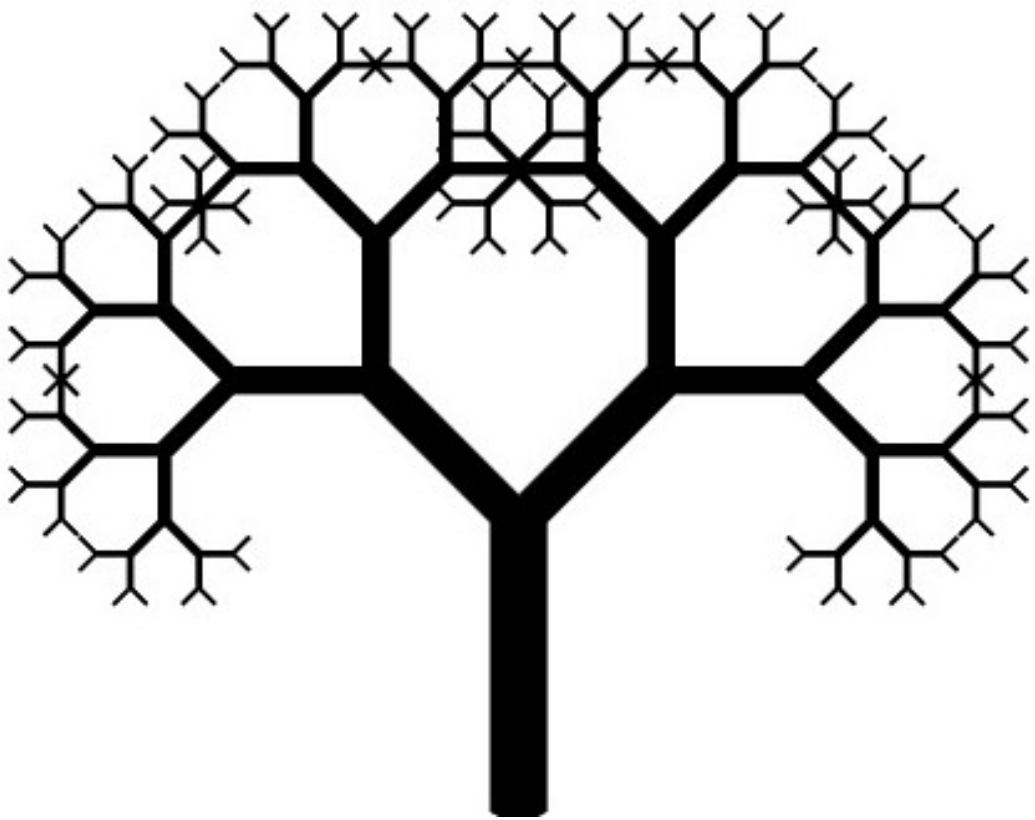
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

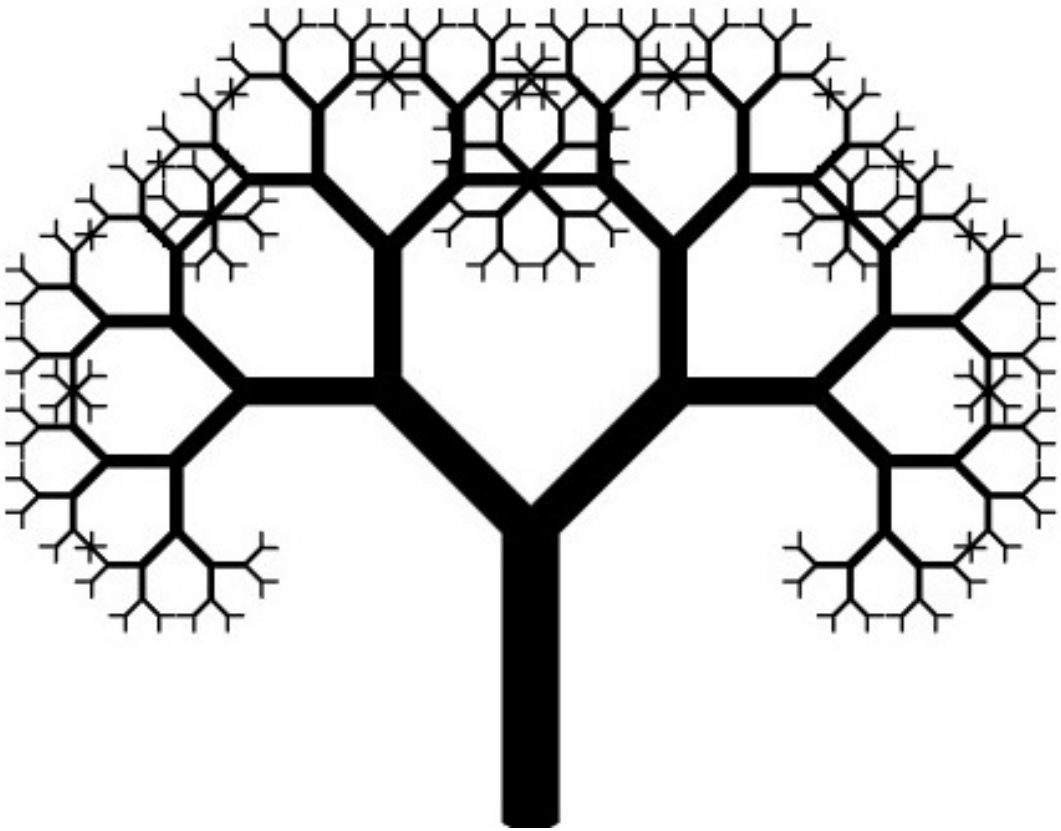
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

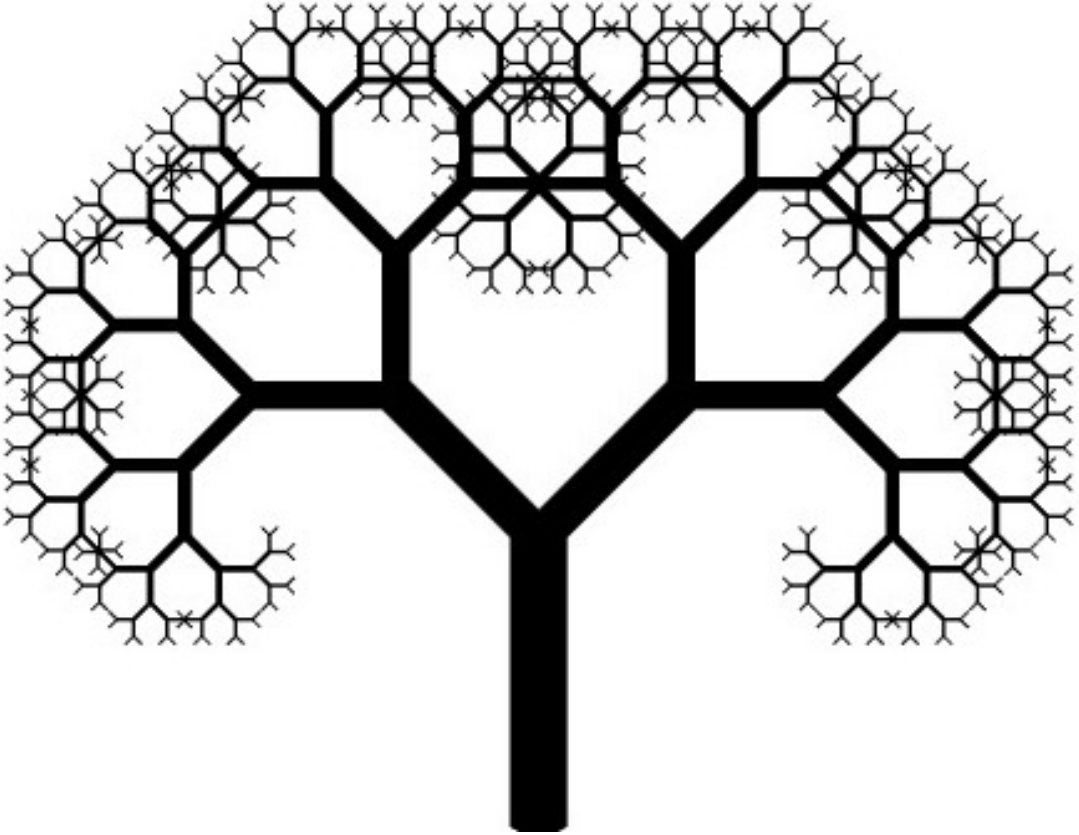
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

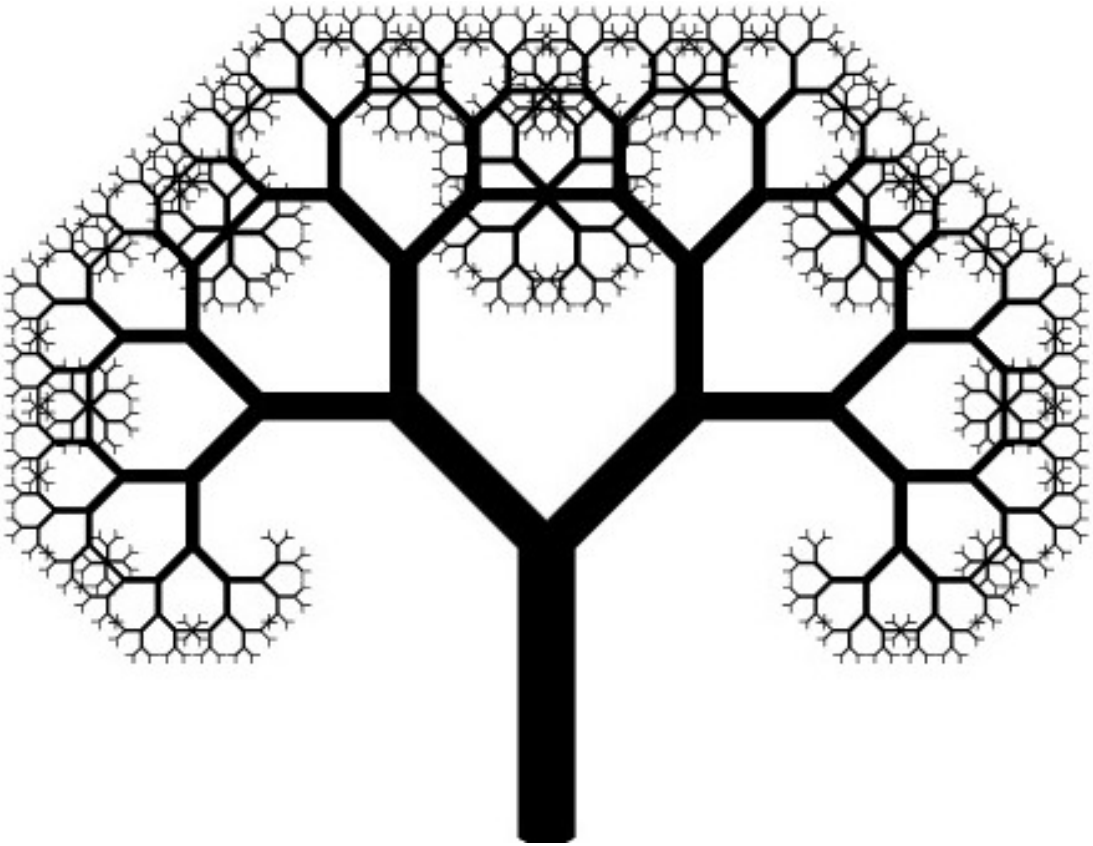
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

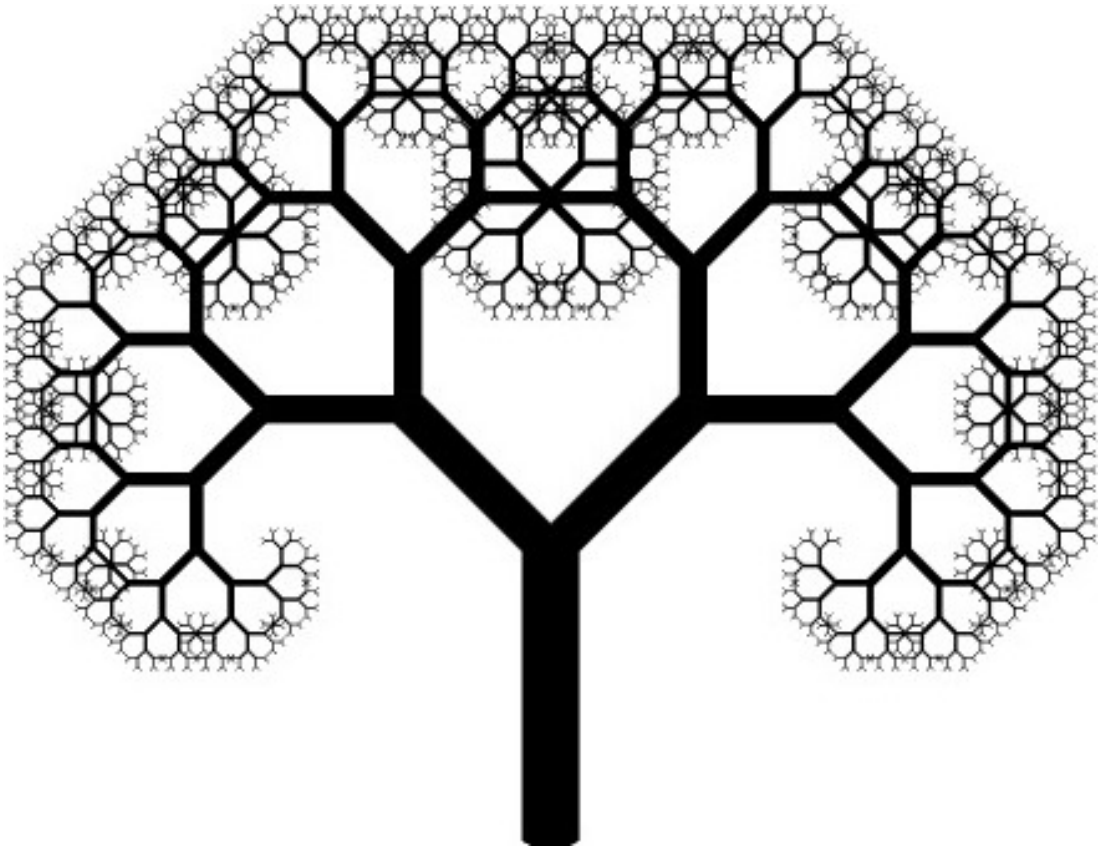
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



Parametriska L-sistēma + "Turtle graphics"

aksioma : `A(200)`

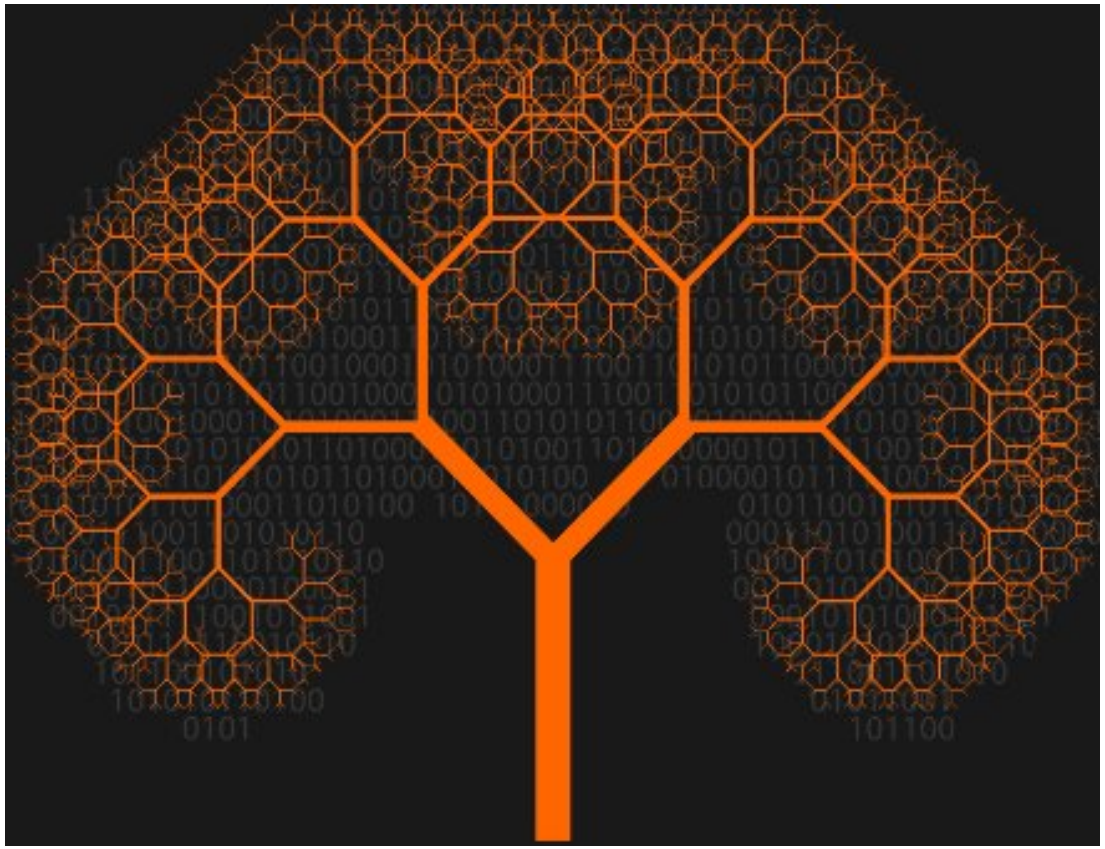
r_1 : `A(x)` $\rightarrow$ `T(0.1x) F(x) [ + A(0.7x) ] [ - A(0.7x) ]`

r_2 : `T(x)` $\rightarrow$ `T(x)`

r_3 : `F(x)` $\rightarrow$ `F(x)`

r_4 : `+` $\rightarrow$ `+`

r_5 : `-` $\rightarrow$ `-`



L-sistēmu kompilators

Ieejas dati

```
(with-graphics
  (set-angle 60)
  (iteration-count 3)
  (set-axiom (F + + F + + F))
  (add-rule (F -> F - F + + F - F))
  (add-option F (turtle-forward 15)))
```

L-sistēmu kompilators

Ieejas dati

```
(with-graphics
  (set-angle 60)
  (iteration-count 3)
  (set-axiom (F + + F + + F))
  (add-rule (F -> F - F + + F - F))
  (add-option F (turtle-forward 15)))
```

Reprezentācija

- L-sistēmas likumi tiek pārveidoti par LISP funkcijām

L-sistēmu kompilators

Ieejas dati

```
(with-graphics
  (set-angle 60)
  (iteration-count 3)
  (set-axiom (F + + F + + F))
  (add-rule (F -> F - F + + F - F))
  (add-option F (turtle-forward 15)))
```

Reprezentācija

- L-sistēmas likumi tiek pārveidoti par LISP funkcijām
- funkcijas atgriež sarakstu ar funkcijām - likuma izvedumu

L-sistēmu kompilators

Ieejas dati

```
(with-graphics
  (set-angle 60)
  (iteration-count 3)
  (set-axiom (F + + F + + F))
  (add-rule (F -> F - F + + F - F))
  (add-option F (turtle-forward 15)))
```

Reprezentācija

- L-sistēmas likumi tiek pārveidoti par LISP funkcijām
- funkcijas atgriež sarakstu ar funkcijām - likuma izvedumu
- funkciju argumenti kalpo kā parametrisko L-sistēmu parametri

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas
- parametriskas kontekstjūtīgas L-sistēmas

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas
- parametriskas kontekstjūtīgas L-sistēmas
- bruņurupuča grafika trīs dimensijās

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas
- parametriskas kontekstjūtīgas L-sistēmas
- bruņurupuča grafika trīs dimensijās
- algoritms cilindru savienošanai

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas
- parametriskas kontekstjūtīgas L-sistēmas
- bruņurupuča grafika trīs dimensijās
- algoritms cilindru savienošanai
- iepriekš uzmodelētu objektu izmantošana

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas
- parametriskas kontekstjūtīgas L-sistēmas
- bruņurupuča grafika trīs dimensijās
- algoritms cilindru savienošanai
- iepriekš uzmodelētu objektu izmantošana
- gala rezultāta atainošana izmantojot OpenGL

Programmas iespējas

- parastas L-sistēmas
- parametriskas L-sistēmas
- kontekstjūtīgas L-sistēmas
- parametriskas kontekstjūtīgas L-sistēmas
- bruņurupuča grafika trīs dimensijās
- algoritms cilindru savienošanai
- iepriekš uzmodelētu objektu izmantošana
- gala rezultāta atainošana izmantojot OpenGL
- gala rezultāta eksportēšana uz dažādiem failu formātiem

Roze

```
(with-graphics
  (iteration-count 45)
  (read-wavefront "rose-sting.obj")
  (read-wavefront "rose-petal.obj" "petal.png")
  (read-wavefront "rose-leaf.obj" "rose-leaf.png")
  (read-wavefront "rose-sub.obj" "rose-sub.png")
  (add-option G (turtle-tropism x *gravity* 0.4))
  (set-axiom (stem(6) sub(6) radius(3.5) F(5) radius(20) flower(45)))
  (add-rule (G(x) -> G(x)))
  (add-rule ((branch(x o) ? (or (= x 3) (= x 4)) -> [ roll((* x 45))
                  pitch((* o 45)) radius(1) twig(2) G(20) leaf(3) ])
            (branch(x o) ? (= o -1) ->
                  [ jump(-10) obj("sting" 7 *rose-green*) )))
  (add-rule (stem(x) ? (> x 0) -> color(*rose-green*) roll(+fibonacci+)
      turn(5) radius(3) F(100) branch(x +1) branch(x -1) stem((1- x))))
  (add-rule (twig(x) ? (> x 0) -> twig((1- x)) G(50)
      [ turn(+80) G(10) leaf(x) ] [ turn(-80) G(10) leaf(x) ]))
  (add-rule (leaf(x) -> flip pitch(10)
      [ obj("leaf" (+ 12 (* 6 x))) ]))
  (add-rule (sub(x) ? (> x 0) -> roll(60)
      [ turn((random 5)) obj("sub" 15) ] sub((1- x))))
  (add-rule (flower(x) ? (> x 0) -> roll(+fibonacci+)
      jump(1.2) petal(x) flower((1- x))))
  (add-rule (petal(x) -> [ turn((* -0.8 45 (expt (/ x 45) 4)))
      obj("petal" (* 0.5 x))]))))
```

Roze

Pienene

```
(with-graphics
  (iteration-count 500)
  (set-axiom (leaves stem septals flower))
  (read-wavefront "dandelion-pistil.obj")
  (read-wavefront "dandelion-cap.obj" "dandelion-petal.png")
  (read-wavefront "dandelion-petal.obj" "dandelion-petal.png")
  (read-wavefront "dandelion-septal1.obj" "dandelion-septal.png")
  (read-wavefront "dandelion-septal2.obj" "dandelion-septal.png")
  (read-wavefront "dandelion-leaf.obj" "dandelion-leaf.png")

  ;; leaves
  (add-macro (leaves -> [ L(0) ]))
  (add-rule (L(x) ? (< x 10) -> roll(+fibonacci+)
              [ pitch((- (* 3.0 x) 30.0)) obj("leaf" (+ 5.0 (* 0.4 x))) ]
              L((1+ x))))

  ;; stem
  (add-macro (stem -> color(*dandelion-color*) turn(20) radius(2) S(0)))
  (add-option segment (turtle-tropism x *dandelion-tropism* 0.1))
  (add-rule (S(x) ? (< x 30) -> segment(10.0) S((1+ x))))
  (add-rule (segment(x) -> segment(x)))

  ;; septals
  (add-macro (septals -> [ S2(0) S1(0) ] jump(17)))
  (add-rule (S1(x) ? (< x 34) -> obj("septal1" 25.0)
              roll(+fibonacci+) jump(0.05) S1((1+ x))))
  (add-rule (S2(x) ? (< x 8) -> obj("septal2" 7.0)
              roll(+fibonacci+) S2((1+ x))))

  ;; flower
  (add-macro (flower -> [ obj("cap" 10.0) pitch(90) A(1) ]))
  (add-macro (petal(x) -> flip obj("petal" x)))
  (add-macro (pistil(x) -> obj("pistil" x *pistil-color*)))
  (add-rule (P1(x) -> petal((+ 1.0 (* 0.02 x)))))
  (add-rule (P2(x) ? (< x 60) -> pitch(-5) pistil(1.0)))
  (add-rule ((A(x) ? (< x 110) -> turn(+fibonacci+)
              [ jump((sqrt x)) pitch((- x 90.0)) P1(x) P2(x) ]
              A((+ 0.5 x))))))
```

Pienene

Rudzupuķes

```
(with-graphics
  (iteration-count 100)
  (read-wavefront "cornflower1.obj" "cornflower.png")
  (read-wavefront "cornflower2.obj" "cornflower.png")
  (read-wavefront "cornflower3.obj" "cornflower.png")
  (read-wavefront "cornflower4.obj" "cornflower.png")
  (set-axiom (color((create-color 0.15 0.28 0.16))
              radius(10) F(150) F(10) radius(15) F(20)
              radius(20) F(30) jump(-30) septal(1.0)))
  (add-rule ((septal(x) ? (< x 0) -> jump(100) flower(1.0))
             (septal(x) -> roll(+fibonacci+) jump((* (expt x 0.5) 5))
                     [ turn(-90) turn((+ (* 20 (- 1.0 x)) 50))
                       obj("septal" 30.0) ] septal((- x 0.03)))))
  (add-rule ((flower(x) ? (< x 0) -> jump(-20)
                    anther(1.0 "anther1" 0.1 50)
                    anther(1.0 "anther2" 0.01 100))
             (flower(x) -> roll(+fibonacci+)
                     [ turn(-100) jump((+ 30 (random 20)))
                       turn((* 50 (- 1.0 x))) roll((random 360))
                       obj("flower" 40.0) ] flower((- x 0.03)))))
  (add-rule ((anther(x name density width) ? (< x 0) -> )
             (anther(x name density width) -> roll(+fibonacci+)
                     [ pitch(+90) jump((* (- x 1.0) width))
                       pitch(-20) obj(name 20.0) ]
                     anther((- x density) name density width)))))
```

Rudzupuķes

Ozols

Priede

Goba

RenderMan RIB

- Pixar RenderMan definē interfeisu, kur ir paredzēta iespēja izmantot procedurālos primitīvus

RenderMan RIB

- Pixar RenderMan definē interfeisu, kur ir paredzēta iespēja izmantot procedurālos primitīvus
- Izmantojot procedurālos primitīvus, attēlojamās pasaules ģeometriskie objekti tiek uzdoti ar:

RenderMan RIB

- Pixar RenderMan definē interfeisu, kur ir paredzēta iespēja izmantot procedurālos primitīvus
- Izmantojot procedurālos primitīvus, attēlojamās pasaules ģeometriskie objekti tiek uzdoti ar:
  - objektu aptverošu paralēlskaldni

RenderMan RIB

- Pixar RenderMan definē interfeisu, kur ir paredzēta iespēja izmantot procedurālos primitīvus
- Izmantojot procedurālos primitīvus, attēlojamās pasaules ģeometriskie objekti tiek uzdoti ar:
  - objektu aptverošu paralēlskaldni
  - ģenerējošās programmas nosaukumu

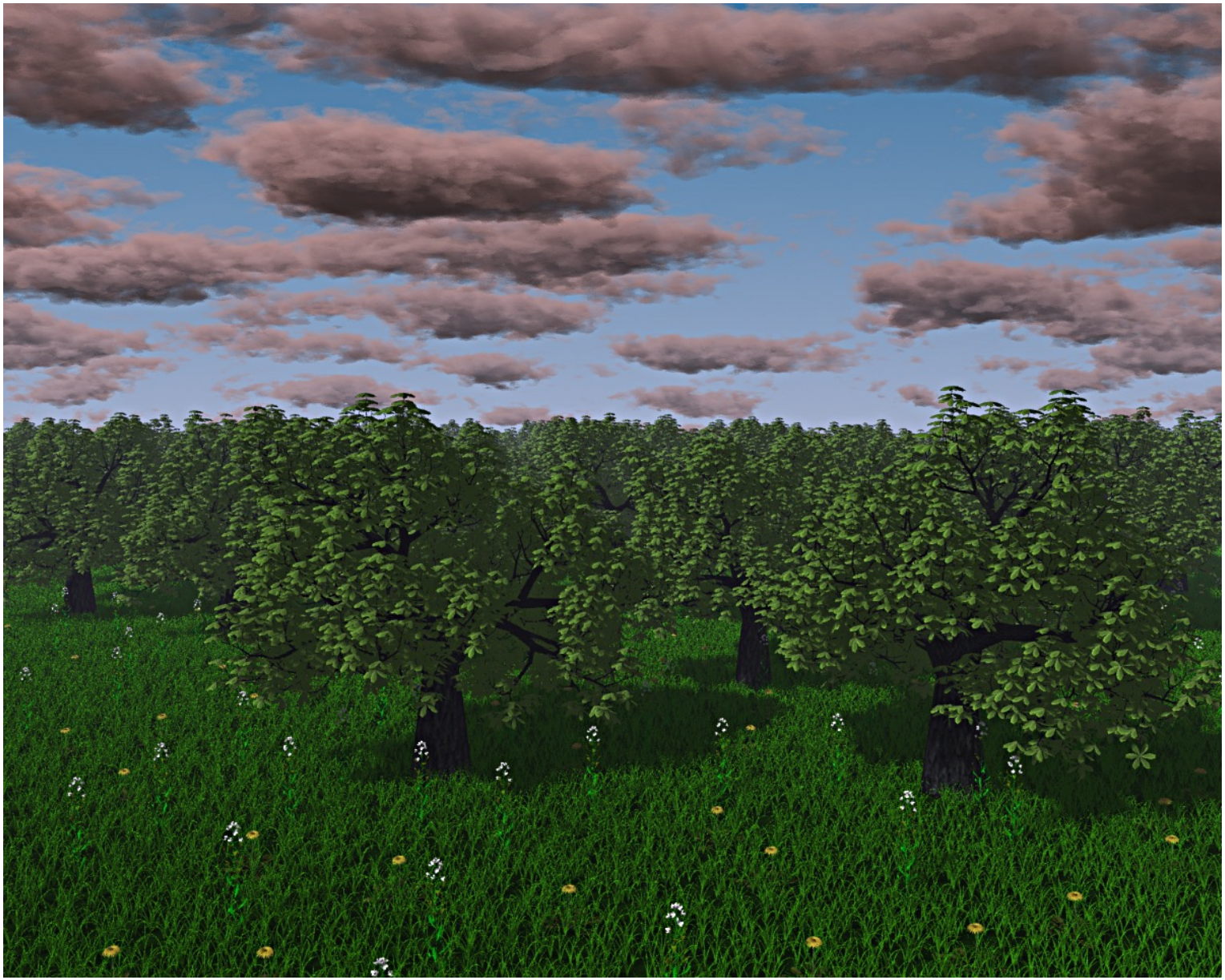
RenderMan RIB

- Pixar RenderMan definē interfeisu, kur ir paredzēta iespēja izmantot procedurālos primitīvus
- Izmantojot procedurālos primitīvus, attēlojamās pasaules ģeometriskie objekti tiek uzdoti ar:
  - objektu aptverošu paralēlskaldni
  - ģenerējošās programmas nosaukumu
  - ieejas datiem programmai

RenderMan RIB

- Pixar RenderMan definē interfeisu, kur ir paredzēta iespēja izmantot procedurālos primitīvus
- Izmantojot procedurālos primitīvus, attēlojamās pasaules ģeometriskie objekti tiek uzdoti ar:
  - objektu aptverošu paralēlskaldni
  - ģenerējošās programmas nosaukumu
  - ieejas datiem programmai
- RenderMan savietojams renderētājs izsauc programmu un pieprasa uzģenerēt ģeometriju tikai tad ja objektu aptverošais paralēlskaldnis atrodas redzes laukā un nav aizklāts

Pļava



Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

Evolucionārā pieeja

Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

Evolucionārā pieeja

- Visām kandidējošām L-sistēmām ir fiksēts skaits likumu ar vienādiem nosaukumiem

Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

Evolucionārā pieeja

- Visām kandidējošām L-sistēmām ir fiksēts skaits likumu ar vienādiem nosaukumiem
- Mutācijas procesā tiek pamainīts, nodzēsts vai pielikts kāds simbols kādā no L-sistēmas likumiem vai aksiomām

Bilde → L-sistēma

Evolucionārā pieeja

- Visām kandidējošām L-sistēmām ir fiksēts skaits likumu ar vienādiem nosaukumiem
- Mutācijas procesā tiek pamainīts, nodzēsts vai pielikts kāds simbols kādā no L-sistēmas likumiem vai aksiomām
- Krustošanas procesā bērna L-sistēmai katrs likums tiek izvēlēts pēc nejaušības principa no viena vai otra vecāka

Bilde → L-sistēma

Evolucionārā pieeja

- Visām kandidējošām L-sistēmām ir fiksēts skaits likumu ar vienādiem nosaukumiem
- Mutācijas procesā tiek pamainīts, nodzēsts vai pielikts kāds simbols kādā no L-sistēmas likumiem vai aksiomām
- Krustošanas procesā bērna L-sistēmai katrs likums tiek izvēlēts pēc nejaušības principa no viena vai otra vecāka
- Lai noskaidrotu kuras L-sistēmas ir piemērotākas, L-sistēmas tika vizualizētas un bildes tika salīdzinātas ar etalonu.

Bilde → L-sistēma

Evolucionārā pieeja

- Visām kandidējošām L-sistēmām ir fiksēts skaits likumu ar vienādiem nosaukumiem
- Mutācijas procesā tiek pamainīts, nodzēsts vai pielikts kāds simbols kādā no L-sistēmas likumiem vai aksiomām
- Krustošanas procesā bērna L-sistēmai katrs likums tiek izvēlēts pēc nejaušības principa no viena vai otra vecāka
- Lai noskaidrotu kuras L-sistēmas ir piemērotākas, L-sistēmas tika vizualizētas un bildes tika salīdzinātas ar etalonu.
- Sastaptā problēma: dēļ daudzām brīvības pakāpēm ir grūti tikt ārā no lokālajiem maksimumiem

Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

Ģenētiskā pieeja

Bilde → L-sistēma

Ģenētiskā pieeja

- Tiek ņemta pēc iespējas ģeneriska koku zīmējoša L-sistēma un visas tanī sastopamās skaitliskās vērtības tiek parametrizētas

Bilde → L-sistēma

Ģenētiskā pieeja

- Tiek ņemta pēc iespējas ģeneriska koku zīmējoša L-sistēma un visas tanī sastopamās skaitliskās vērtības tiek parametrizētas
- Mutācijas procesā tiek nedaudz palielināta vai samazināta kāda no parametru vektora vērtībām

Bilde → L-sistēma

Ģenētiskā pieeja

- Tiek ņemta pēc iespējas ģeneriska koku zīmējoša L-sistēma un visas tanī sastopamās skaitliskās vērtības tiek parametrizētas
- Mutācijas procesā tiek nedaudz palielināta vai samazināta kāda no parametru vektora vērtībām
- Krustošanas procesā bērna parametru vektoram katra skaitliskā vērtība tiek nejauši izvēlēta no viena vai otra vecāka

Bilde → L-sistēma

Ģenētiskā pieeja

- Tiek ņemta pēc iespējas ģeneriska koku zīmējoša L-sistēma un visas tanī sastopamās skaitliskās vērtības tiek parametrizētas
- Mutācijas procesā tiek nedaudz palielināta vai samazināta kāda no parametru vektora vērtībām
- Krustošanas procesā bērna parametru vektoram katra skaitliskā vērtība tiek nejauši izvēlēta no viena vai otra vecāka
- Lai noskaidrotu kurš parametru vektors ir piemērotāks, L-sistēma tika attēlota un bildes tika salīdzinātas ar etalonu.

Bilde → L-sistēma

Ģenētiskā pieeja

- Tiek ņemta pēc iespējas ģeneriska koku zīmējoša L-sistēma un visas tanī sastopamās skaitliskās vērtības tiek parametrizētas
- Mutācijas procesā tiek nedaudz palielināta vai samazināta kāda no parametru vektora vērtībām
- Krustošanas procesā bērna parametru vektoram katra skaitliskā vērtība tiek nejauši izvēlēta no viena vai otra vecāka
- Lai noskaidrotu kurš parametru vektors ir piemērotāks, L-sistēma tika attēlota un bildes tika salīdzinātas ar etalonu.
- Sastaptā problēma: Nepieciešama ļoti izsmalcināta derīguma funkcija, kas pateiktu kura bilde ir līdzīgāka etalonam.

Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

Sadalīšana apakšproblēmās

Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

Sadalīšana apakšproblēmās

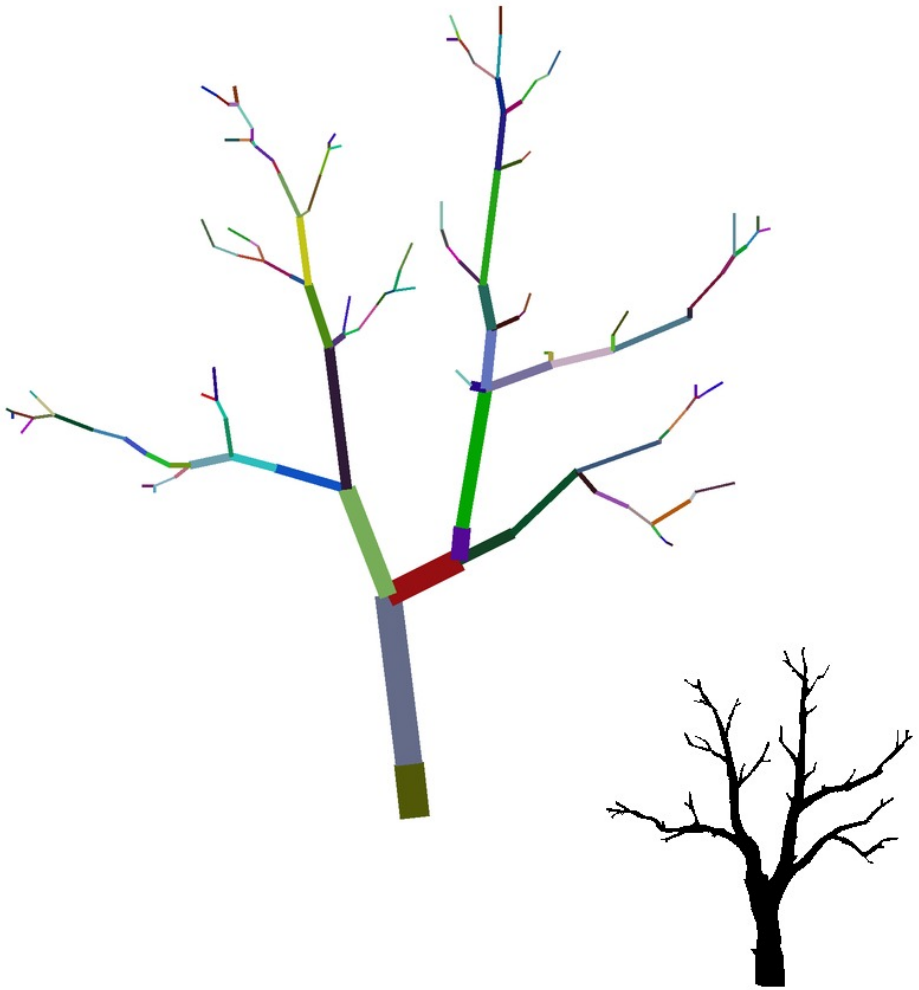
- Bilde $\rightarrow$ Izveduma vārds $\rightarrow$ L-sistēma

Bilde $\rightarrow$ L-sistēma

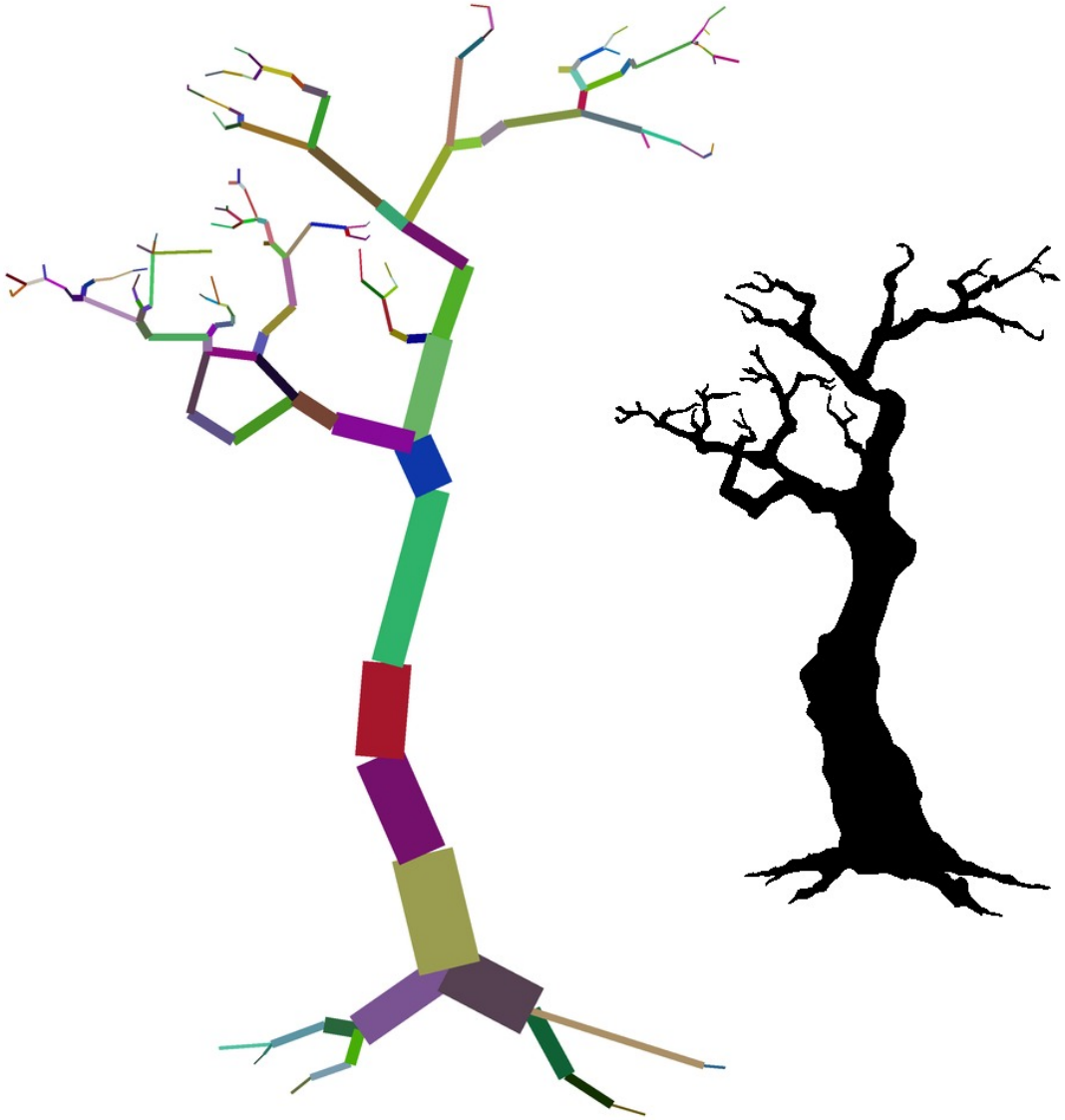
Sadalīšana apakšproblēmās

- Bilde $\rightarrow$ Izveduma vārds $\rightarrow$ L-sistēma
- Bilde $\rightarrow$ Līniju segmenti $\rightarrow$ Izveduma vārds $\rightarrow$ L-sistēma

Bilde → Līniju segmenti



Bilde → Līniju segmenti



Nākamais solis

Līniju segmenti $\rightarrow$ Izveduma vārds

Jautājumi?

http://piepe.lv/abop/
http://algorithmicbotany.org/