

STOCHASTIC 0L-SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS FOR MODELING LEAVES OF PLANTS

Zdeněk Sojma

Bachelor Degree Programme (1), FIT VUT
E-mail: xsojma00@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Koutný

E-mail: ikoutny@fit.vutbr.cz

ABSTRACT

This paper describes *deterministic context-free L-systems (DOL-systems)*, which function is parallel rewriting symbols in string for purpose of modeling plant-like structures, mainly plant leaves. Next it shows how to use such L-systems in computer graphics and sketches usage of *stochastic L-systems*. They effect topology and geometry of a plant by randomizing interpretation of the L-system and allow us to generate whole class of respectively different but still similar leaves.

1. ÚVOD

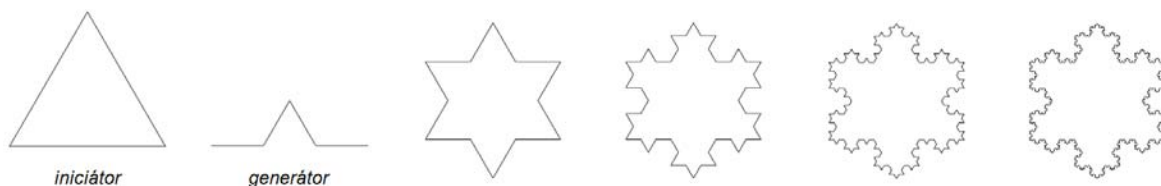
Rostliny mají z hlediska geometrie zajímavé vlastnosti, jako je souměrnost listů a květů či *soběpodobnost* [2]. Z tohoto důvodu je jejich „ruční“ modelování velmi náročné, a tudíž se k němu začalo využívat *fraktální geometrie*, konkrétně L-systémů, které také mají vlastnost soběpodobnosti. L-systémy se využívají pro modelování rostlin a také např. pro modelování buněčných organismů, říčních toků nebo dokonce pro generování budov. Moderní L-systémy, spolu s pokročilou počítačovou grafikou, umožňují vytvořit realistické modely přírody, přičemž využívají např. vliv gravitace, slunečního světla či interakce s okolím.

2. L-SYSTÉMY

Název L-systémy vznikl podle jejich autora Aristida Lindermayera, který je představil jako *matematický teoretický rámec pro vývoj rostlinných organismů* [1]. Vycházejí ze systémů paralelního přepisování řetězců podle určitých pravidel, kde po několika opakováních přepsání (*derivacích*) se výsledný řetězec interpretuje graficky a to tak, že ke každému symbolu výsledného řetězce je přiřazen jistý geometrický význam. Definice L-systému viz [1, strana 4]

2.1. SNĚHOVÁ VLOČKA HELGE VON KOCHA

Zřejmě nejznámějším příkladem L-systému je *Kochova sněhová vločka*, pojmenovaná podle jejího autora von Kocha. Skládá se ze dvou obrazců – *iniciátoru (axiomu)* a *generátoru (pravidla)*. Generátor je orientovaná lomená čára, kterou se v každém derivačním kroku přepisují všechny hrany iniciátoru. Na obrázku 1 je vyobrazena konstrukce této vločky postupně od první až po čtvrtou derivaci.



Obrázek 1: Konstrukce von Kochovy sněhové vločky [1].

2.2. D0L-SYSTÉMY

Nejjednodušším typem L-systému jsou *deterministické bezkontextové L-systémy*, které mají zkratku *D0L-systémy*. Nula v názvu znamená, že se jedná o *bezkontextový přepis* [1] a písmeno *D* značí *determinismus* [1].

Mějme pravidla $p1: b \rightarrow a$, $p2: a \rightarrow ab$ a počáteční řetězec nazývaný axiom $w=b$, kterým začíná proces přepisování. V prvním derivačním kroku bude symbol b nahrazen symbolem a podle pravidla $b \rightarrow a$. V dalším bude symbol a nahrazen řetězcem symbolů ab podle pravidla $a \rightarrow ab$. Ve třetím derivačním kroku bude nahrazen opět symbol a řetězcem ab a paralelně s ním i symbol b symbolem a podle stejných pravidel. Vznikne tedy řetězec aba a můžeme pokračovat stejným postupem dál, až se například v pátém derivačním kroku dostaneme k řetězci $abaababa$.

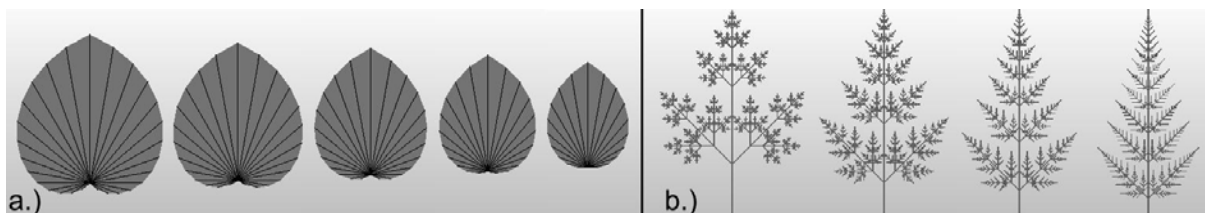
2.3. ŽELVÍ GRAFIKA

Pro interpretaci modelů vytvořených pomocí L-systémů se využívá tzv. *želví grafiky (turtle graphics)*. Želva je objekt definovaný trojicí $H=(x, y, \alpha)$, kde x, y označuje pozici želvy v kartézském souřadném systému a α značí směr, kterým je želva natočená. Dále je definován přírůstek úhlu δ a délka kroku d . Želva se pohybuje podle symbolů ve výsledném řetězci vytvořeném L-systémem, kde každý symbol má předem určený význam [1]. Například symbol F značí posunutí se o určitou vzdálenost vpřed a +/- natočení o určitý úhel.

2.4. MODELOVÁNÍ LISTŮ ROSTLIN

Chceme-li modelovat listy rostlin, potom nám nestačí pouze úsečky vytvořené želví grafikou, a proto k jejich vykreslení potřebujeme do L-systémů zavést plochy. Povrch listu se skládá z ploch, jež jsou tvořeny mnohoúhelníky, kde jejich vrcholy jsou v řetězci označeny symbolem tečky. Vrcholy, které náleží jednomu mnohoúhelníku, jsou ohraničeny složenými závorkami. Na obrázku 2a je znázorněn *srdcovitý list*, jenž je vygenerován L-systémem (1). Můžeme na něm vidět, jak je plocha listu vytvořena pomocí trojúhelníků vygenerovaných pomocí pravidel $p1$ a $p2$. Pravidlem $p3$ se postupně zvětšuje velikost trojúhelníků a dále zvětšováním délky d , která ovlivňuje velikost kroku želvy při interpretaci symbolu F , je možné simulovat růst listu.

$$w = [A][B], \quad p1: A \rightarrow [+A\{.\}.C.\} \quad p2: B \rightarrow [-B\{.\}.C.\} \quad p3: C \rightarrow FC \quad (1)$$

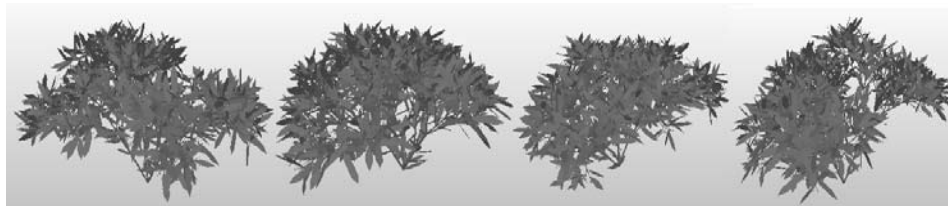


Obrázek 2: Vývoj srdcovitého listu (a) a složené listy (b) vygenerované L-systémem.

Dalším typem listů jsou *soběpodobné (složené) listy*, u kterých je na první pohled vidět geometrický vztah mezi částí a celkem listu. Na obrázku 2b jsou znázorněny tyto L-systémy.

2.5. STOCHASTICKÉ L-SYSTÉMY

Modely vygenerované jedním L-systémem jsou vždy totožné a kdybychom je chtěli spolu kombinovat na jedné scéně, docházelo by k umělé pravidelnosti. Proto se využívá *stochastických L-systémů*, které při přepisu řetězce náhodně vybírají mezi více pravidly a tím generují různé, ale přesto podobné modely. Mějme např. $p1: F \xrightarrow{.50} F[-F]$, $p2: F \xrightarrow{.50} F[+F]$, kde $.50$ označuje pravděpodobnost s jakou bude dané pravidlo aplikováno. Součet pravděpodobností u pravidel, které mají stejnou levou stranu, musí být roven jedné.



Obrázek 3: Keře vygenerované pomocí jednoho stochastického 0L-systému.

3. INTERPRET STOCHASTICKÝCH 0L-SYSTÉMŮ

Pomocí mnou vytvořeného interpretu se mi podařilo implementovat většinu 0L-systémů, jejichž zdrojové kódy jsem převážně převzal z knihy od profesora Prusinkiewicze [1], upravil je, aby odpovídali syntaxi pro můj interpret a případně jim přidal některá stochastická pravidla.

Interpret pracuje v 3D prostoru a modelem lze libovolně otáčet a přibližovat jej. Kmen rostliny je buďto vyobrazen jako jednoduchá úsečka nebo pomocí na sebe navazujících válců, jejichž šířka se může průběžně měnit. Povrch listů a kmene je vykreslen libovolnou barvou, nebo se na ně může nechat namapovat jakákoli textura a model poté vypadá mnohem realističtěji.

Aplikace dovoluje použít kombinaci jak parametrických tak bezparametrických pravidel, podle nichž se určuje a mění velikost úhlu natočení želvy, délka posuvu želvy atd., což zaručuje velkou škálu možností výsledného systému.

Interpret L-systémů je implementován v prostředí .NET s využitím knihovny OpenGL. Obrázky 2 a 3 jsou vygenerovány pomocí tohoto mého interpretu.

4. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo nastínit problematiku modelování listů rostlin v počítačové grafice a využití D0L-systémů pro tyto účely. Dále pochopení funkčnosti a jednoduchosti L-systémů a nastínění jejich možností pro generování realistických modelů rostlinných útvarů.

LITERATURA

- [1] Prusinkiewicz, P.; Lindenmayer, A.: The Algorithmic Beauty of Plants, 1990.
- [2] Žára, J.; Beneš B.; Fekel P.: Modern Computer Graphics, 2004.