Grammatikbasierte Generierung von Straßennetzen

L. de Vries   M. Domdey   S. Franke

Institut für Kartographie und Geodäsie
Leibniz Universität Hannover

21. Januar 2007 / Projektvorstellung

Agenda

Aufgabenstellung

Es sollen Straßennetze mittels Grammatiken generiert werden.

Verwendung

1. Grammatiken anhand Benutzervorgaben generieren.
2. Prozedurales Citymodeling für
    - Stadt- und Landschaftsdesign
    - Simulationen
    - ...

Lösungsansatz

Grammatiken

- Regeln zur Konstruktion von Zeichenketten
- versch. Typen (regulär, kontextfrei, -sensitiv)
- in dieser Form nicht flexibel genug

Lindenmayer-Systeme

- spezielle Form von Grammatiken
- entwickelt von Aristid Lindenmayer
- werden mit Turtle-Grafiken kombiniert
- durch viele Erweiterungen sehr flexibel
- Anwendungsbeispiel: Modellierung von Pflanzen

Turtlegrafiken

Interpretation durch Turtlegeometrie

- Die generierten Zeichenketten werden als Befehle für eine sog. Turtle verstanden.
- Ausgehend von einer initialen Position, bewegt sich die Turtle auf einer Fläche.
- Erweiterbar für den 3D-Raum.

Beispiel aus der Sprache `Logo`

Seien d und α globale Variablen, dann bedeutet

- F: Bewege die Turtle d Einheiten geradeaus.
- $+$: Drehe die Turtle gegen den Uhrzeigersinn um Winkel α.
- $-$: Drehe die Turtle im Uhrzeigersinn um Winkel α.

Lindenmayer-Systeme

Deterministische L-Systeme (D0L-Systeme)

- einfachste Klasse der L-Systeme
- ausgehend von einem Axiom (Initialwort)
- einfache, deterministische Ersetzungsregeln
- immer eine zusammenhängende Linie (keine Verzweigungen)

Beispiel

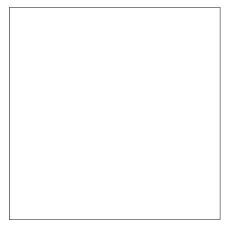
$$
\begin{aligned}
\omega &= F-F-F-F \\
p_1 &= F \rightarrow F-F+F+FF-F-F+F
\end{aligned}
$$

zeichnet eine sogenannte Kochinsel...

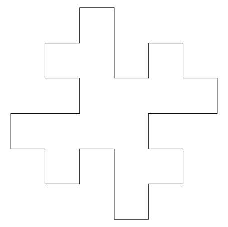
Lindenmayer-Systeme

Schritte 1-4 einer Kochinsel

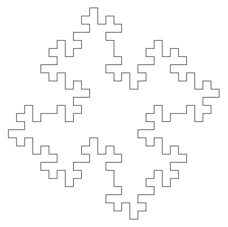
Schritt 1:



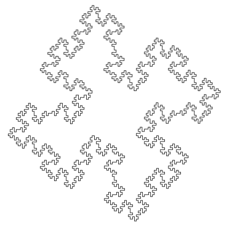
Schritt 2:



Schritt 3:



Schritt 4:



Lindenmayer-Systeme

Verzweigte L-Systeme

- Verwenden zusäzlicher Symbole [und]
- Sie speichern und lesen Positionen von einem Stack
- dadurch werden Verzweigungen möglich

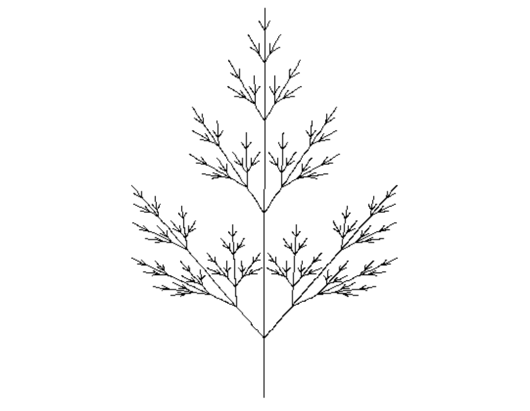
Beispiel

$$
\begin{aligned}
\omega &= A \\
p_1 &= A \rightarrow F[+A][-A]FA \\
p_2 &= F \rightarrow FF
\end{aligned}
$$

zeichnet eine regelmäßige pflanzenähnlich Struktur (mit $\alpha = 25.7$)...

Lindenmayer-Systeme

Pflanzliche Struktur nach 6 Schritten



Lindenmayer-Systeme

Stochastische L-Systeme

- bisherige Systeme erzeugen immer dieselbe Struktur
- verwenden von Ersetzungswahrscheinlichkeiten
- Zeichen kann durch verschiedene Zeichen ersetzt werden
- Summe der Ersetzungs-WK für ein Zeichen ist 1

Beispiel

$$
\begin{aligned}
\omega &= F \\
p_1 &= F \rightarrow F[+F]F[-F]F : 0.33 \\
p_2 &= F \rightarrow F[+F]F : 0.33 \\
p_3 &= F \rightarrow F[-F]F : 0.34
\end{aligned}
$$

erzeugt unterschiedliche pflanzenähnliche Strukturen...

Lindenmayer-Systeme

Kontextsensitive L-Systeme (IL-Systeme)

- betrachten auch den Kontext eines Zeichen
- Zeichen wird nur bei entsprechendem Kontext geändert

Beispiel

$$\begin{aligned} \omega &= baaaaaaa \\ p_1 &= b < a \rightarrow b \\ p_2 &= b \rightarrow a \end{aligned}$$

erzeugt die Zeichenketten *baaaaaaa*, *abaaaaaa*, *aabaaaaa*, *aaabaaaa*, ...

Lindenmayer-Systeme

Parametrische L-Systeme

- Erweitert die L-Systeme um Parameter in den Modulen
- es werden Bedingungen für Produktionen verwendet

Beispiel

$$
\begin{aligned}
\omega &= B(2)A(4,4) \\
p_1 &= B(x) : x > 0 \rightarrow B(x-1) \\
p_2 &= B(x) : x \leq 0 \rightarrow C \\
p_3 &= A(x,y) : y > 3 \rightarrow B(x)A(x/y,0) \\
p_4 &= A(x,y) : y \leq 3 \rightarrow A(2x, x+y)
\end{aligned}
$$

Hiermit können bereits Pflanzen realistisch modelliert werden.

Lindenmayer-Systeme

Umgebungssensitive L-Systeme

- Einfügen von sog. Query-Modulen
- ermöglicht Reaktionen auf die Umgebung

Beispiel

$$
\begin{aligned}
\omega &= FA?P(x,y) \\
p_1 &= A > ?P(x,y) :!prune(x,y) \rightarrow @o/(180)FA \\
p_2 &= A > ?P(x,y) : prune(x,y) \rightarrow T\% \\
p_3 &= F > T \rightarrow S \\
p_4 &= F > S \rightarrow SF \\
p_5 &= S \rightarrow \varepsilon \\
p_6 &= @o > S \rightarrow [+FA?P(x,y)]
\end{aligned}
$$

Lindenmayer-Systeme

Open L-Systems

- Query-Module werden zu Kommunikations-Modulen erweitert
- weitere vereinfachende Konstrukte
  - Produktionen sind geordnet
  - Produktionen können lokalen Variablen Werte zuweisen
  - Es können Arrays verarbeitet werden

Beispiel

$$
\begin{aligned}
p_3 \quad = \quad & A(n,s,b) > ?E(c,\theta) : (n < N-1) \&\& (b \geq BrSpace[n]) \\
& \qquad \{h = c/Req[n] \cdot ElRate[n];\} \\
& \rightarrow +(nran(\theta, Dev[n]))B(n,0)F(h) \\
& \qquad /(180)A(n, s+h, h)?E(Req[n], Sens[n])
\end{aligned}
$$

Generierung von Straßennetzen

Randbedingungen für Straßennetze

- Mehrere Klassen von Straßen
  - Autobahnen
  - Landstraßen
  - innerstädtische Straßen
  - ...
- Verschiedene Kurvenradien
- Unterschiedliche Häufigkeit für Verzweigungen
- Verschiedene Farben zur Darstellung
- Umgebung einbeziehen (z.Bsp. Land-Wasser-Verteilung)
- ...

Generierung von Straßennetzen

Randbedingungen für GroImp

- Begrenzung des Gebietes, in dem Straßen gezeichnet werden (Abbruchbedingung)
- Nur zwei Straßenklassen (Speicher begrenzen)

Beispiel 1

L-System

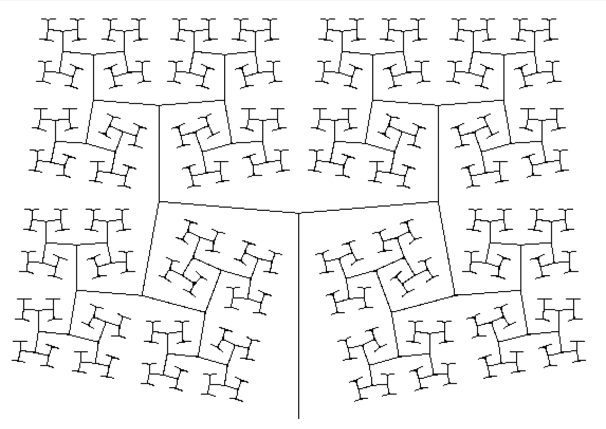
$$\omega = F(2)$$
$$p_1 = F(s) \rightarrow F(s)\left[+F\left(\frac{s}{1,46}\right)\right]\left[-F\left(\frac{s}{1,46}\right)\right]$$

Ersetzungsregel in XL

```
protected void init()[
  Axiom ==> F(2);
]
public void derivation() [
  F(x) ==> F(x)[RU(85)F(x/1.46)][RU(-85)F(x/1.46)];
]
```

Beispiel 1

Resultat nach 10 Schritten



Beispiel 2

L-System

$$
\begin{aligned}
\omega &= ++H(3) \\
p_1 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[+H(l)]H(l) : 0,003 \\
p_2 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[-H(l)]H(l) : 0,003 \\
p_3 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[+H(l)][-H(l)]H(l) : 0,001 \\
p_4 &= H(l)\{\alpha = ran(-10,10)\} \rightarrow F(l)+H(l) : 0,993
\end{aligned}
$$

Beispiel 2

Ersetzungsregel in XL

```
protected void init()[
  Axiom ==> RU(180)H(3);
]
public void derivation() [
  ht:H(l) ==>
    if (isInbound(ht) && freeSpace(ht)) (
      if (probability(0.003))
        (F(l,1,12)[RU(random(45,135))H(l)]H(l))
      else if (probability(0.003))
        (F(l,1,12)[RU(random(-45,-135))H(l)]H(l))
      else if (probability(0.001))
        (F(l,1,12)[RU(random(45,135))H(l)]
                  [RU(random(-45,-135))H(l)]
                  H(l))
      else (RU(random(-5,5))F(l,1,12)H(l)))
    else (F(l,1,12));
]
```

Beispiel 2

Mögliches Autobahnnetz

Beispiel 3

L-System (Autobahnen)

$$
\begin{aligned}
\omega &= ++H(3)\\
p_1 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[+H(l)]H(l) : 0,003\\
p_2 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[-H(l)]H(l) : 0,003\\
p_3 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[+H(l)][-H(l)]H(l) : 0,001\\
p_4 &= H(l)\{\alpha = ran(-10,10)\} \rightarrow F(l)+H(l) : 0,977\\
p_5 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[+M(l-1)]H(l) : 0,005\\
p_6 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[-M(l-1)]H(l) : 0,005\\
p_7 &= H(l)\{\alpha = ran(45,135)\} \rightarrow F(l)[+M(l-1)][-M(l-1)]H(l) : 0,006
\end{aligned}
$$

Beispiel 3

L-System (Landstraßen)

$$
\begin{aligned}
\omega &= ++H(3) \\
p_8 &= H(l)\{\alpha = ran(85,95)\} \rightarrow F(l)[+M(l)]M(l) : 0,007 \\
p_9 &= H(l)\{\alpha = ran(85,95)\} \rightarrow F(l)[-M(l)]M(l) : 0,007 \\
p_{10} &= H(l)\{\alpha = ran(85,95)\} \rightarrow F(l)[+M(l)][-M(l)]M(l) : 0,007 \\
p_{11} &= H(l)\{\alpha = ran(-15,15)\} \rightarrow F(l) + M(l) : 0,979
\end{aligned}
$$

Beispiel 3

Ersetzungsregel in XL (Autobahnen)

```
ht:H(l) ==>
  if (isInbound(ht) && freeSpace(ht)) (
    ...
    else if (probability(0.005))
      (F(l,1,12)[RU(random(45,135))M(l-1)]H(l))
    else if (probability(0.005))
      (F(l,1,12)[RU(random(-45,-135))M(l-1)]H(l))
    else if (probability(0.006))
      (F(l,1,12)[RU(random(45,135))M(l-1)]
                [RU(random(-45,-135))M(l-1)]H(l))
    else (RU(random(-5,5))F(l,1,12)H(l)))
  else (F(length,1,12));
```

Beispiel 3

Ersetzungsregel in XL (Landstraßen)

```
mr:M(l) ==>
  if (isInbound(mr) && freeSpace(mr)) (
    if (probability(0.007))
      (F(l,1,14)[RU(random(85,95))M(l)]M(l))
    else if (probability(0.007))
      (F(l,1,14)[RU(random(-85,-95))M(l)]M(l))
    else if (probability(0.007))
      (F(l,1,14)[RU(random(-85,-95))M(l)]
                [RU(random(85,95))M(l)]M(l))
    else (F(l,1,14)RU(random(-15,15))M(l)))
  else (F(l,1,14));
```

Beispiel 3

Autobahnnetz mit Landstraßen

Beispiel 4 (von Pascal Müller)

L-System für New York (Straßen)

$$
\begin{aligned}
p_1 \quad &= \quad S(len_p) >?I(\alpha, len, insertion) : insertion == NORMAL \\
&\quad\quad \{\alpha_f = Prob_{CSA}?U[-Dev_{SA}, Dev_{SA}] : 0.0; \\
&\quad\quad len_f = Prob_{CSL}?U[0.5len, 1.5len] : len; \} \\
&\quad \rightarrow +(\alpha)F(len, STREET)[S(len)?E(90, len_p, STREET)] \\
&\quad\quad [S(len)?E(.90, len_p, STREET)]S(len_p)?E(\alpha_f, len_f, STREET) \\
p_2 \quad &= \quad S(len_p) >?I(\alpha, len, insertion) : \\
&\quad insertion == NN || insertion == INTSCT || insertion == FWD\_INTSCT \\
&\quad \rightarrow +(\alpha)F(len, STREET) \\
p_3 \quad &= \quad S(len_p) >?E(\alpha, len, environment) : environment == FAILED \rightarrow \varepsilon \\
p_4 \quad &= \quad S(len_p) >?I(\alpha, len, insertion) : insertion == FAILED \rightarrow \varepsilon
\end{aligned}
$$

Beispiel 4 (von Pascal Müller)

L-System für New York (Highways)

$$
\begin{aligned}
p_5 &= H(d_c, d_B) >?I(\alpha, len, insertion) : (insertion == NORMAL)\&\&(d_c < d_B) \\
&\quad \{\alpha_f = Prob_{CHA}?U[-Dev_{HA}, Dev_{HA}] : 0.0; len_f = HL \cdot U[0.5, 1.5];\} \\
&\rightarrow +(\alpha)F(len, HW)H(d_c + len, d_B)?E(\alpha_f, len_f, HW) : 1 - Prob_{SB} \\
p_6 &= H(d_c, d_B) >?I(\alpha, len, insertion) : (insertion == NORMAL)\&\&(d_c < d_B) \\
&\quad \{\ldots\} \\
&\rightarrow +(\alpha)F(len, HW)B(delay, len_S, len_p)H(d_c + len, d_B) \\
&\quad ?E(\alpha_f, len_f, HW) : Prob_{SB} \\
&\vdots \\
p_{11} &= B(delay, len, len_p) : delay > 0 \rightarrow B(delay - 1, len, len_p) \\
p_{12} &= B(delay, len, len_p) : delay \leq 0 \\
&\rightarrow [S(len_p)?E(90, len, STREET)][S(len_p)?E(-90, len, STREET)]
\end{aligned}
$$

Beispiel 4 (von Pascal Müller)

L-System für New York (Environment / Insertion)

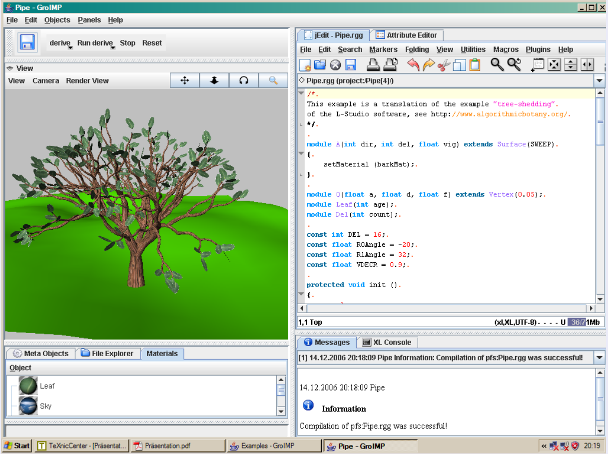
$$
\begin{aligned}
p_{13} &= ?E(\alpha, len, environment) : environment == SUCCEED \rightarrow ?I(\alpha, len, *) \\
p_{14} &= ?E(\alpha, len, environment) : environment == FAILED \rightarrow \varepsilon \\
p_{15} &= ?I(\alpha, len, insertion) \rightarrow \varepsilon
\end{aligned}
$$

Beispiel 4 (von Pascal Müller)

Resultat nach 253 Schritten

Live Demo - GroImp

Screenshot



Literaturverzeichnis

P. Müller
Prozedurales Modellieren einer Stadt
Semesterarbeit, ETH Zürich 1999

Y. Parish, P. Müller
Procedural Modeling of Cities

BTU Cottbus - Department of Computer Science
GroImp (Growth Grammar-related Interactive Modelling Platform)
http://www.grogra.de/

P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer
The Algorithmic Beauty Of Plants
Springer-Verlag 2004