

樹木の揺れのアニメーション

4H-5

金山 知俊 増山 繁

豊橋技術科学大学 知識情報工学系

1 はじめに

近年のコンピュータグラフィック（以下CG）技術の発展はめざましいものがあり、映画やコマーシャルで見かける映像の中には一見してCGとは分からないようなものも増えてきた。また、建築設計やドライビングシミュレータなどで3次元CGを目にすることも多くなってきた。自然物のCGシミュレーションをこれらの分野へ応用する場合、形状のみならず、動きの再現も重要である。

CGによる樹木の画像生成の研究は様々な研究者によってなされてきたが、それらの多くは樹形を生成する生長モデルや、テクスチャの生成に関するものが大部分であり、風などの外力による樹木の揺れの表現については数件の報告が見られるのみである[1, 2]。

本研究では、樹木を質量を持った節点とそれらの隣接関係で近似する方法[2]を改良し、節点の動きのシミュレーションを行なうことで樹木の揺れのアニメーションを実現している。

2 樹木の揺れのシミュレーション

2.1 節点モデル

本研究のモデルは樹木を質量を持った節点とそれらの隣接関係で表す、節点モデル[2]を元に行っているが、節点数の増加に伴い、計算時間が増大することや、枝が伸縮するため、強風のシミュレーションでは節点座標が発散する可能性がある、といった問題があった。そこで、本研究ではモデルに以下のような改良を施した。

- ・節点数の制限の処理の追加 (2.2節)
- ・方向のずれの処理は親→子の場合のみ (2.3.1節)
- ・外力に重力を追加 (2.3.3節)
- ・距離のずれは常に初期状態に戻す (2.3.5節)
- ・節点の質量、面積は入力データを反映した値に設定
- ・力、運動の計算式を一部変更

細かい相違点については文献[2]を参照されたい。

2.2 樹木データと節点の設定

樹木データとしては文献[3]の方法による出力結果を用いた。ただ、この方法で得られる樹木データは枝

や節の数が非常に多いため、そのまま用いると計算に時間がかかる。そこで、質量を持つ節点は各世代毎の枝の先端のみとし、側枝については元の枝長と側枝の分枝点までの長さの比をもとに中間点を近似することにした（図1）。各節点の質量は各枝の持つ質量を与えることにし、節点 P_i の質量 m_i は、 $m_i = \pi d_i^2 l_i \delta$ とし求めた。ここで、 l_i は節点 P_i の属する枝の長さ、 d_i は枝の半径、 δ は枝の密度である。

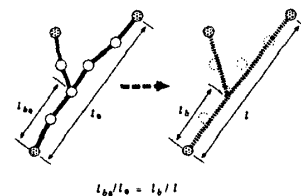


図1. 節点の設定

2.3 樹木の変形と節点の運動の計算

2.3.1 方向のずれ

時刻 t における親の節点 P_i から見た子の節点 P_j の方向を r_{ij} 、基準方向ベクトルを $b(t)$ とする。節点 P_i から見て方向が $b(t)$ で距離が l の位置を $p(t)$ とすると、 $p(t) = P_i(t) + lb(t)$ となる。 $p(t)$ は節点 P_i から見た節点 P_j の存在すべき位置であり、節点 P_j には $p(t)$ に向かう方向へ力が働く。節点 P_j に働く力を $F_{\text{dir}}(t)$ とすると、 $F_{\text{dir}}(t) = K_{\text{dir}} \cdot \pi d_j^2 \delta (p(t) - P_j(t))$ となる。ここで、 K_{dir} は方向のずれに対する比例係数である。

2.3.2 基準方向の計算

相対方向の計算 親の節点 P_i から見た子の節点 P_j の相対関係を求めるには、 P_i のさらに親の節点 P_k を合わせて考える必要がある。まず、初期状態での節点の相対的な位置関係を以下のように求める（図2）。まず、 P_k から P_i に向かうベクトルを r_{ki} とする。次に、 $r_{ki}(0)$ を y 軸方向に回転させ、それに合わせて $P_i(0)$ と $P_j(0)$ も回転させる。 $r_{ki}(0)$ を y 軸方向に向ける回転量を $\theta(0)$ 、回転後の $P_i(0)$ から $P_j(0)$ にむかうベクトルを r_{ij0} とし、これを相対方向として記憶する。

Animation of Botanical Tree Swaying

Chishun kanayama and Shigeru Masuyama

Department of Knowledge-Based Information Engineering, Toyohashi University of Technology

1-1 Hibarigaoka, Tenpaku, Toyohashi, Aichi 441, Japan

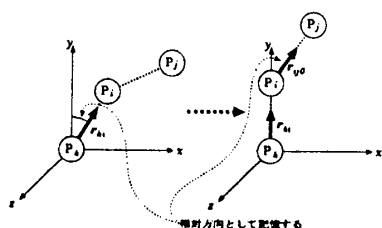


図2. 相対方向の計算

基準方向の計算 上で求めた相対方向と時刻 t における節点間の関係から基準方向を以下のように求める (図3). まず, $P_k(t)$ から $P_i(t)$ に向かうベクトル $r_{ki}(t)$ を $\theta(0)$ だけで回転させ, 回転後の $r_{ki}(t)$ を y 軸方向に向ける回転量を $d\theta(t)$ とする. 次に, 基準方向から r_{ij0} の方向に向けるための回転量を $\theta(t)$ とすると, $\theta(t) = \theta(0) + d\theta(t)$ となる. r_{ij0} を $\theta(t)$ で逆回転させ, 求めたベクトルが基準方向ベクトル $b(t)$ となる.

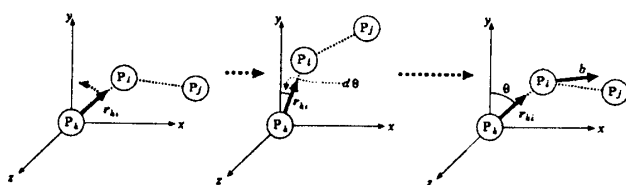


図3. 基準方向の計算

2.3.3 外力の計算

風による力 時刻 t に風が節点 P_i に与える力を $F_{wind}(t)$ とすると, $F_{wind}(t) = K_{wind} \cdot 2d_i l v_{wind}(t)$ となる. ここで, K_{wind} は比例係数, $v_{wind}(t)$ は風のベクトルである.

重力 節点 P_i にかかる重力を F_{grv} とすると, $F_{grv} = g m_i$ となる. ここで, g は重力加速度ベクトルである.

2.3.4 節点の運動

風, 重力による外力と, 方向のずれによる復元力を合わせた力を移動力と呼ぶ. 移動力が与えられると節点はそれに従って運動を行なう. ただし, 移動力 F_i は外力, 復元力の合力のうち, r_{ki} に直交する成分のみとする. 時刻 t に節点 P_i が位置 $P_i(t)$ にあり, 速度 $v_i(t)$ で運動しており, 節点 P_i に対して移動力 $F_i(t)$

が与えられたとする. このとき, 時刻 $t + dt$ における節点 P_i の位置 $P_i(t + dt)$ と速度 $v_i(t + dt)$ を求める. ここで, dt は1タイムステップの間隔であるとする. 移動力 $F_i(t)$ によって節点 P_i に生じる加速度を $a_i(t)$ とすると, $a_i(t) = \frac{F_i(t)}{m_i}$ である. $a_i(t)$ を用いて時刻 $t + dt$ における速度を計算すると, $v_i(t + dt) = K_{vdel} v_i(t) + a_i(t) dt$ ここで, K_{vdel} は樹木の抵抗による速度の減衰率である. さらに, 時刻 $t + dt$ における節点の位置を計算すると, $P_i(t + dt) = P_i(t) + v_i(t + dt) dt$ となる.

2.3.5 距離のずれの修正

節点の運動により, 時刻 $t + dt$ における親の節点 P_i と子の節点 P_j との距離 $l(t + dt)$ は初期状態における距離 $l(0)$ から変化する. それを元に戻すため, 節点 P_i からみて節点 P_j を距離 $l(0)$ の位置に修正する.

3 アニメーション

以上の方法を用いたプログラムを作成し, 樹木のアニメーション表示を試みた. 風は左から右に一定の速度で与えた. 結果を図4に示す.

4 まとめ

本研究のモデルを用いて樹木の揺れる様子をアニメーションで表現することが可能であることを確認した. 今後は高速化やレンダリングを行なう予定である. また, 今回は風を樹木全体に同じ方向, 同じ速度で与えたが, よりリアルな揺れのアニメーションを行なうには風の流れの場の計算も行なう必要がある. このことについては検討中である.

参考文献

- [1] 新谷幹夫: “風による草木の運動モデル”, 平成3年後期情処全大 2-465 (1991)
- [2] 河野充, 佐藤義人, 千葉則茂: “拘束節点による樹木の揺らぎのシミュレーション”, 情処グラフィックスとCAD, 92-CG-59, pp. 9-16 (1991年10月)
- [3] 金山知俊: “様々な樹種に対応可能な樹木の生長シミュレーションに関する研究”, 平成6年度 豊橋技術科学大学 修士論文 (1995)



図4. 樹木が揺れる様子