

力学的挙動の効率的表現が可能な樹木の三次元モデリング法の検討 Study of 3D Botanical Tree Modeling That Enables Efficient Animations of Dynamic Behaviors

神田 仁† 大谷 淳‡
Hitoshi Kanda Jun Ohya

1. はじめに

近年, 科学的な事象の視覚化, 工業デザインにおける省力化, 商業アニメーションでの特殊効果, 美術・芸術での創造などの点で CG が活躍し, 急速に発展してきている。そうした中で筆者は, 距離を隔てた人物同士の仮想的環境を介したコミュニケーション手段の研究に興味を持っている。仮想空間上では, メインとなる人物とその動きの視覚的表現が重要となるが, より実際に近い環境を提供する意味で仮想空間における背景も同様に重要となる。物体や建物のような剛体に関しては変形しないという点で実写に基づいた高度な CG の視覚的表現が可能となっているが, 風に揺れる草木などのような柔軟体は環境に応じて変形し, その表現は難易度が高い。特に樹木は枝や幹のような内部構造が葉に覆われて隠れているため, 実写に基づいた CG 作成方法では再現しきれない。そこで近年では樹木を有限の節点を持った構造体, 或いは細かいセグメントの集合体に近似し, 各節点或いは各セグメントに対し, 運動の解析を行うことで風に揺れる挙動を力学的アプローチから導き出すという方法が一般的となっている[1],[2],[3]。しかしながら, モデリングの複雑性, 膨大な計算量によって起こる非リアルタイム性などの点から問題点も多く, 現在においても研究が急務となっている。

そうした背景の中で, 筆者は現実の空間に存在する樹木を仮想空間に再現する上で, モデリングの複雑性の軽減, リアルタイム性の実現を目的に研究を行っている。具体的には, 計算量膨大の原因となる数値解析の大幅な削減に向け, 三次元運動を二次元運動方程式から導くアプローチ, 全セグメントの解析を避け, 変形において中心的役割を担うセグメントだけを数値解析し, 残りはそれに連動するように幾何学的な位置を決定するというアプローチ, を用い, 予備的実験的検討として外力を受ける観葉植物モデルのCGアニメーションを作成した。

2. 従来法と提案手法

2.1 従来法の問題点

上述のように外力を受ける樹木のCGアニメーション作成に関する研究[2],[3]では, 細かく分割された各セグメントの運動をそれぞれ解析し, 最終的にそれらの運動を統合することで樹木全体としての挙動を実現している。自然で滑らかな変形を表現するためにはセグメント分割を細かくする必要がある。しかし, その代償として計算量は膨大となる。計算において最も大きな負担となるのは運動方程式の数値解析における逆行列の繰り返し計算である。以上を考慮すると, 改善すべき点として計算量が分割セグメント数に依存しないモデリング法の提案かつ数値解析の効率化

† 早稲田大学大学院国際情報通信研究科

‡ 早稲田大学大学院国際情報通信研究科

が必要であると言える。

2.2 提案手法

2.2.1 二次元運動方程式による三次元運動の導出

本手法では風による外力が二次元的であり, セグメントは根元側節点を固定端に回転運動をするという想定を必要とする。ここで外力を二次元的と表現したが, これは外力が平面上に働くという意味であり, 三次元空間上の任意の方向に設定することが可能である。

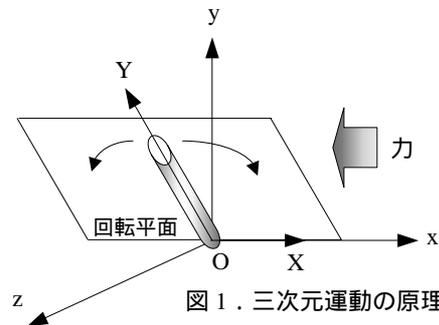


図1. 三次元運動の原理

この想定の下でセグメントは図1のように外力が働く回転平面 X-Y で回転運動をする。そこで, この平面における二次元運動方程式を数値解析することで単位時間刻みの重心変位(X, Y)を得る。それを三次元空間における変位(x, y, z)に変換することでセグメントの三次元的挙動が得られる。以上より, 変数と条件式等の削減が実現され, 数値解析における逆行列計算の負担を軽減することが可能となる。

2.2.2 効率的なセグメントの運動解析

全セグメントに運動方程式を立てることは非効率的である。そこで変形において中心的役割を担うセグメントのみに力学的解析を適用する方法を提案する。一本の枝における変形の流れを図2に示す。

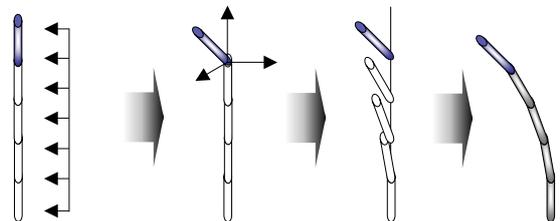


図2. 効率的な枝の変形

まず風による分布荷重を設定する。変形において中心的役割を担うセグメント(例では最上部)に対し, 運動方程式の定式化・数値解析を行う。残りは幾何学的に自然な変形になるように位置を設定する。根元側のセグメントから順に結合する。

本手法は幹や枝単位で一本の運動方程式を導くことになる。これにより, 計算量がセグメント分割の細かさに依存せず, 滑らかな変形かつ計算量の大幅な削減が実現される。

3. アニメーション実験

3.1 対象モデル

樹木アニメーションの予備的検討として、図3に示す観葉植物(左:ベンジャミン, 右:ゴールドクレスト)を対象モデルとした。



図3. 対象モデル

これらに対し、忠実な力学モデルを再現した。各セグメントは始点・終点の座標、太さの入力により簡単に配置されるようなプログラムとなっている。

3.2 運動方程式の定式化と計算条件

力学的解析を施すセグメントに対する運動方程式はラグランジュの未定乗数法を用い、以下のように定式化した。

$$M \dot{v} = F - G^T \lambda, \quad v = \dot{q}, \quad \phi(q) = 0 \quad (1)$$

ここで、 q は一般化座標、 M は質量行列、 F は合力、 λ はラグランジュの未定乗数、関数 $\phi(q)$ は拘束条件である。また拘束行列 G は拘束条件 $\phi(q)$ のヤコビ行列であり、 $G = \partial \phi(q) / \partial q$ で与えられる。

運動において重要となるパラメーターは合力 F であり、 F は外力 P 、曲げに対する抵抗力 K 、回転軸での摩擦力 R を用いると、 $F = P - K - R$ で表される。更に曲げに対する抵抗力 K 、回転軸での摩擦力 R は、

$$K = k_1 \theta, \quad R = k_2 \dot{\theta} \quad (2)$$

で定義した。 k_1 は抵抗係数、 k_2 は減衰係数であり、これらのパラメーターを変えることで枝の曲げ剛性、運動の減衰を自由に設定できる。パラメーター設定は解析対象であるセグメントを含む枝の体積とその枝が生える親枝の体積に基づいて行った。

以上の定式化に基づき、上述の二つの提案手法による風に揺れる観葉植物のCGアニメーションを実演した。なお、本実験では葉の描画を考慮していない。

3.3 実験結果と考察

アニメーションの例として図4に風に揺れるベンジャミンモデルのCGアニメーションを示す。右方向から風を受けた際の変形の例である。

本実験では風による力の設定、運動や変形を制御する各種パラメーターを変えた際のリアルタイムでの描画を実現した。また、描画中のリアルタイムでの視点変更、サイズ変更等が可能となっている。

各枝のセグメント分割数は枝により様々であるが、平均して約6個とした。これにより、計算量は全セグメントを

解析した際の約6分の1ということになる。更に、二次元運動方程式の解析であるため、三次元に比べ、高速かつ数値的安定な解の導出が可能となり、以上2つの手法により大幅な計算量の削減を実現できたと言える。また、単セグメントからなる細かい小枝に関しては数が多いために最低限必要とされるセグメントのみを解析し、残りはそれらを代用する形で配置した。

各種パラメーターの設定に関しては、実際の植物の運動を再現するような値を設定するために数回のアニメーション実験を必要とした。しかしながら、この作業によりモデルの条件設定が定まれば、後は風の定義を自由に変更するだけで、それに対応した挙動を表現するリアルタイムの描画が実現できた。



図4. ベンジャミンモデルのアニメーション

4. むすび

外力の働く方向が一定という条件の下で、三次元運動を二次元運動方程式から導くアプローチ、変形において中心的役割を担うセグメントのみを定式化するアプローチから計算量の大幅な削減を実現し、風に揺れる実際の観葉植物の挙動に近いCGアニメーションをリアルタイムで実現した。

今後の展開としては、まず風を受けて運動する葉の効率的なレンダリングを行う必要がある。また、対象モデルを樹木とし、風速計を介したシステムの構築により風に揺れる実際の樹木の挙動を仮想空間における三次元樹木モデルにリアルタイムで再現させることで本来の目的の実現を計る。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(C)(2) 13650432の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] 金山知俊, 増山繁: “樹木の揺れのアニメーション,” 電子情報通信学会論文誌 D-, Vol. J80-D-, No. 7, pp. 1843-1851, July 1997.
- [2] 坂口竜巳, 大谷淳: “風による樹木の運動アニメーション,” システムソサイエティ大会講演論文集 D-11-77, 1998.
- [3] 青木政勝, 新谷幹夫, 筒口拳: “力学シミュレーションによる2次元アニメーション自動生成,” 電子情報通信学会論文誌 D-, Vol. J84-D-, No. 9, pp. 2040-2047, Sept. 2001.
- [4] 神田仁, 村上武史: “微分代数方程式系の拘束安定化法に関する検討,” 早稲田大学理工学部卒業論文(学士), April 2000.