

# PDAによる2次元GUIを用いた 3次元仮想樹木群生成に関する一検討

A Study of Generating 3D Tree Models using 2D GUI on a PDA

櫻井智史<sup>1)</sup>, 大西克彦<sup>1)</sup>, 村上礼繁<sup>1)</sup>, 北村喜文<sup>1)</sup>, 岸野文郎<sup>1)</sup>

Satoshi SAKURAI, Katsuhiko ONISHI, Norishige MURAKAMI, Yoshifumi KITAMURA and Fumio KISHINO

1) 大阪大学大学院情報科学研究科

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1, {sakurai.satoshi, onishi, norisige, kitamura, kishino}@ist.osaka-u.ac.jp)

**Abstract:** In this paper, we propose a generation system that enables users to create 3D tree models (a forest) using 2D GUI on a PDA. In this system, we use the PDA to direct rough distribution of trees and to edit tree positions. By using the PDA as an interaction device in the 3D environment, users can generate tree models without occluding their views, with adequate stereoscopic view, and edit tree models in their hands easily.

**Key Words:** 3D Environment, 2D GUI, PDA, Tree Models

## 1. はじめに

近年、3次元仮想自然環境が建築やエンタテインメントなどのさまざまな分野で利用されている。このような環境内において、植物などの複雑な形状を持つ自然物を扱う例が増加してきている。中でも、樹木モデルは特に複雑な形状を持ち、周囲の環境や条件によってもその生長過程がさまざまに変化する特徴があるため、場に応じた樹木モデルを容易に生成することは困難であった。

これまで、我々はこれら樹木の持つ植物学的特徴を保ちつつ、ユーザの意図に応じてインタラクティブに仮想自然環境を構築するシステムを検討してきた[1]。これは、樹木同士の相互干渉に注目し、確率密度分布を利用することで群生などの性質を考慮に入れて樹木を配置できる。また、Interactive L-system[2]を利用して、相互の日照妨害による成長過程の変化などを考慮に入れた上で樹木モデル群を生成できる。利用者は、樹木の生えやすさを確率密度分布として2次元GUIによって指定することで、インタラクティブに樹木群を生成できるが、さまざまなメニューやダイアログボックスを樹木モデル群と同一のディスプレイ上に表示していたため、表示領域が制限され、また、立体感を阻害されるといった問題があった。

そこで本稿では、PDAをインタラクティブデバイスとして用いることで、樹木の分布や編集メニューなどをPDAの画面上へ移し、利用者が環境全体を把握しつつ容易に樹木モデル群を生成できるシステムを提案する。そのために、メニュー形式のGUIや仮想自然環境の構築サーバとPDAとのインタラクティブデータの通信等を検討し、容易な操作で複雑な樹木モデル群を生成するシステムを構築する。

## 2. 関連研究

### 2.1 樹木モデル群生成

複雑な樹木モデル群や仮想自然環境を容易に構築するため、これまでさまざまな研究が行われている。Prusinkiewiczらは、フラクタルの一種であるL-system[3]を利用し、リアルな自然環境をモデリングする手法を提案している[4][5]。これらは、L-systemに環境パラメータを取得できるシンボルを追加し、日照量や土壌の水分量などを取得することで、周囲の環境に応じて生長する樹木モデルを生成する。また、架空の植物ホルモンを定義することで、向日性や枝刈りなどによる頂点枯死などを表現できるシミュレーション手法も提案されている[6]。これらの手法では、あらかじめさまざまなパラメータなどを入力することで、複雑でより現実感のある樹木モデルが生成されるが、パラメータに関する専門的知識などが利用者に求められる。

### 2.2 3次元仮想空間内でのモバイルデバイスによるインタラクション

3次元仮想環境でのインタラクションにモバイルデバイスを利用する研究も数多く行われている。Watsenらは、ハンドヘルドコンピュータで3次元仮想環境内の物体を操作する手法を提案している[7]。これは、ディスプレイを持つ小型のコンピュータをインタラクティブデバイスとすることで、操作対象となる3次元オブジェクトの一部を隠してしまうようなウィジェットやメニュー用ウィンドウを3次元仮想環境用のディスプレイに表示することなく、2次元GUIによるインタラクションを行うことができるものである。こうしたウィジェットやメニューによる表示領域

の制限について、Gutiérrezらは、共有仮想環境内における多人数での PDA 利用に注目し、協調作業の可能性についても述べている[8]。また、Beniniらは、没入型の仮想環境内でのナビゲーションにパームトップコンピュータ (PDA) を用いるシステムを提案している[9][10]。利用者の手元の PDA 上に 2D マップを表示することで、容易に 3 次元仮想空間内のナビゲーションを行い、スクロールバーや単純なメニューを用いたインタラクションにより周囲の情報の取得や 3 次元物体の操作ができる。このように PDA などのモバイルデバイスを利用することで、表示領域とインタラクション領域を分離し、かつ、利用者の手元でのインタラクションにより容易な仮想環境内の操作が行えるため、提案手法においても、デバイスとして PDA を利用する。

### 3. PDA を用いた樹木モデル群生成

#### 3.1 2次元 GUI による樹木群生成

これまで、我々は、3 次元仮想環境において自然環境を容易に生成するために、複雑な形状を持つ樹木モデル群を単純な 2 次元 GUI から容易に生成できる手法を提案してきた[1]。利用者は、図 1 に示すように 3 次元仮想環境用ディスプレイに重なる形で表示されるウィンドウ内で、地面に見立てた 2 次元平面上にユーザが樹木の生えやすさを表す分布を作成することで、確率密度分布に応じて群生・日照妨害を考慮した樹木配置を行い、生長シミュレーションを利用して樹木モデル群を生成する。たとえば図 1 中の左上のウィンドウにおいて、確率密度が高く樹木が生えやすい領域を緑に塗り、生えにくい領域には薄い緑または白を塗る。

樹木の配置を決定するには、確率密度分布による配置 [11] を応用する。まず、利用者が作成した生えやすさの分布を正規化し、結合確率密度関数  $f(x, y)$  とする。結合確率密度関数とは、点  $(x, y)$  周辺の微小領域に樹木が配置される確率が  $f(x, y)dxdy$  となる分布関数である。ここで、 $y$  座標に関する確率密度関数  $f_y(y)$  を式(1)とする。 $f_y(y)$  は、 $y$  周辺の微小領域に樹木が配置される確率が  $f_y(y)dy$  となる  $x$  に依存しない 1 次元の確率分布である。この分布に基づき、乱数を用いて  $y$  座標  $y_i$  を決定する。

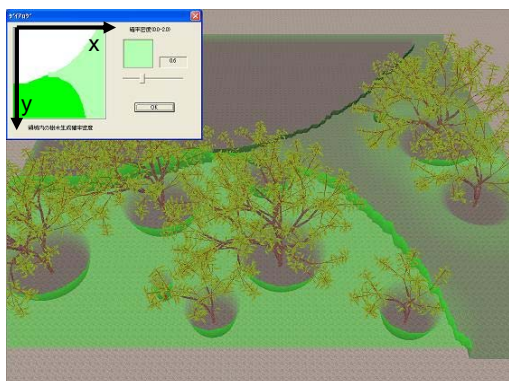


図 1 2次元 GUI による樹木群生成

$$f_Y(y) = \int_0^{x_{\max}} f(x, y)dx \quad (1)$$

$y = y_i$  での  $x$  に関する条件付き確率密度関数  $f_{x|Y}(x|y_i)$  は式(2)となり、点  $(x, y_i)$  周辺の微小領域に樹木が配置される確率は  $f_{x|Y}(x|y_i)dx$  となる。 $y_i$  と同様、この分布に基づき、乱数を用いて  $x$  座標  $x_i$  を決定する。

$$f_{x|Y}(x) = \frac{f(x, y_i)}{\int_0^{x_{\max}} f(x, y_i)dx} \quad (2)$$

$f(x, y)$  は点  $(x_i, y_i)$  に配置された樹木からの日照妨害、群生の影響により変化する。この変化量を樹木の中心位置からの距離  $r$ 、樹木のサイズ  $size$  の関数  $k(r, size)$  として定義し、 $f(x, y)$  との積をとることで、新たな確率密度関数  $f_{next}(x, y)$  を得る (式(3))。

$$f_{next}(x, y) = f(x, y)k\left(\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}, size\right) \quad (3)$$

$f(x, y)$  を  $f_{next}(x, y)$  に置き換え、同様の手順を繰り返すことで複数の樹木位置を順次決定する。

上記の手法により生成した樹木位置に、生長シミュレーションの一手法である Interactive L-system を応用し、日照妨害を考慮した樹木モデル群を生成する。

#### 3.2 PDA を用いた樹木群生成

3.1 節の樹木モデル群生成手法[1]では、図 1 左上に示すように 2 次元 GUI を利用しているため、ディスプレイ上に新たなウィンドウを生成し、インタラクションを行う必要があった。そのため、生成結果の表示領域の制限や、立体視による表示が困難といった問題があった。そこで、図 2 に示すように PDA をインタラクションデバイスとし、PDA 上の 2 次元 GUI によって利用者が仮想環境内のインタラクションを行うことで、環境全体を把握しながら樹木モデル群を生成・編集操作するようにする。

利用者が持つ PDA は、環境内の樹木モデルの分布情報を表示し、仮想環境を生成するサーバへ利用者からの操作結果を送信する。このとき、PDA およびサーバが保持する分布情報と通信情報は、図 3(a) ようになる。PDA は生えやすさの分布を保持し、ペンによる描画やブラシによる塗りつぶしなどといったユーザからのインタラクションによりこの分布が変更されたとき、変更された分布をサーバへ転送する。サーバはこれを樹木位置算出のための確率密

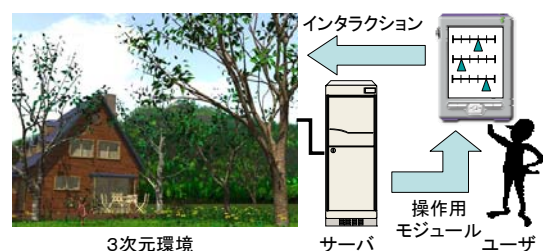


図 2 システム概念図

度分布へと変換する。しかし、PDA の処理性能や、通信性能の制限から、この通信には時間がかかることがある。そこで、よりスムーズなインタラクションを行うため、図 3(b) のようなデータ構造をとる。これは、PDA とサーバ間のデータ通信を最小限にするため、サーバ上にプロキシ分布、すなわち生えやすさの分布と同様のデータを保持させる。そして、ユーザによるインタラクションが行われた際、選択されているインタラクションツールの種類、タッチされた点、ペンの色などといった最小限の入力情報のみを転送する。そして、PDA 上と同様の処理をサーバ上においても平行して行い、その結果を確率密度分布へと反映させる。これにより、インタラクションのボトルネックとなるデータ通信量を減少し、インタラクションをスムーズに行うことができる。

## 4. 実装システム

### 4.1 実装システム概要

提案手法を用いたシステムを PC (CPU Pentium4 3.2GHz, Mem 1GB, WinFast PX6600TD, Microsoft Visual C++ 6.0), および PDA (TOSHIBA GENIO e830, CPU PXA272 520MHz, Microsoft Embedded Visual C++ 4.0) 上に実装した。また、PDA とサーバ間の通信には無線 LAN (IEEE802.11b) を用いた。

PDA 上の画面を図 4 に示す。画面上には生えやすさの分布、樹木位置、現在選択されているインタラクションツールが表示されている。また、選択されたツールのアイコンをタッチすることで、図 5 のような画面となり、インタラクションツールを変更することができる。インタラクションツールには、ペン、ブラシ、スポイト、樹木配置、消しゴム、クリア、アンドゥの 7 種類がある。ペン、ブラシ、スポイトは、生えやすさの分布を指定するためのツールで、ペンにより線を引き、ブラシにより塗りつぶしを行う。また、スポイトにより指定した点の色を取得することができる。樹木配置ツールは樹木分布を生成するツールで、確率密度分布に応じた樹木位置の自動決定、任意の位置への樹木配置、生長シミュレーションによる樹木モデル群の生成

を行うことができる。さらに消しゴムにより樹木の消去、クリアにより初期化、アンドゥにより前状態へ復元させることができる。

### 4.2 樹木モデル群生成例

提案システムを利用して樹木群を生成する様子を図 6 に示す。また、実行例を図 7 に示す。利用者は図 7 (a) のように、ペン、ブラシ、スポイトを用いて生えやすさの分布を生成する。さらに図 7 (b) のように樹木配置ツールにより樹木を配置する。追加する本数をスピンドットにより選択し、樹木追加ボタンで追加する。また、分布上の点をタッチすることで任意の位置に樹木を追加することができる。最後に、生長開始ボタンにより生長シミュレーションが開始され、図 7(c) のように樹木モデル群が生成される。PDA により指定された生えやすさの分布が 3 次元仮想空間内における地面上の確率密度分布に反映され、その結果として生成された樹木群により確率密度分布が変化していることがわかる。

また、生えやすさの分布を指定する際のデータ転送での遅延時間は、3.2 節における図 3(a) のデータ構造と通信方法を用いた場合、1 回のデータ通信において約 16KByte のデータ量を通信する必要があるため、平均 0.5 秒程度の遅延があり、無線 LAN の状態などにより最大 4 秒程度の遅延がみられた。しかし、図 3(b) のデータ構造と通信方法を用いた場合、1 回の通信で転送されるデータ量は数 Byte から最大数百 Byte 程度となった。この通信によって起こる遅延は最大でも 0.2 秒程度であり、ユーザが PDA の画面を見



図 4 PDA 画面

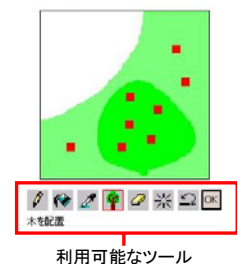
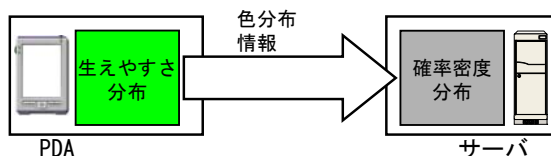
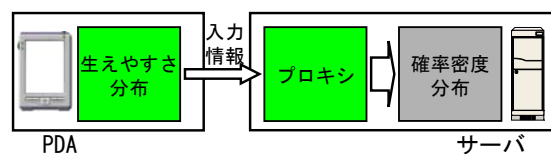


図 5 ツール選択画面



(a)



(b)

図 3 PDA-サーバ間通信

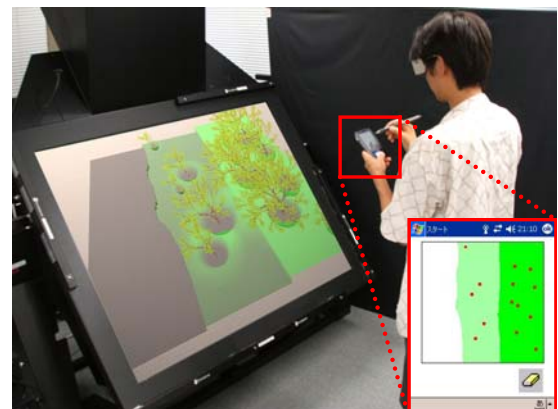


図 6 システム概観

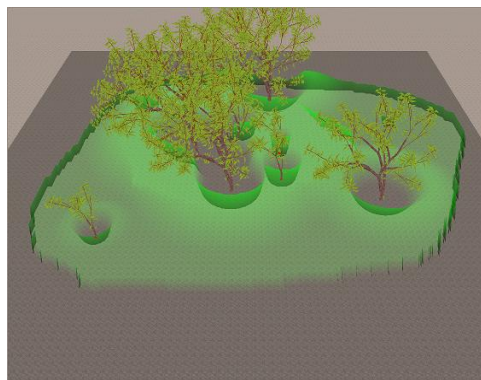
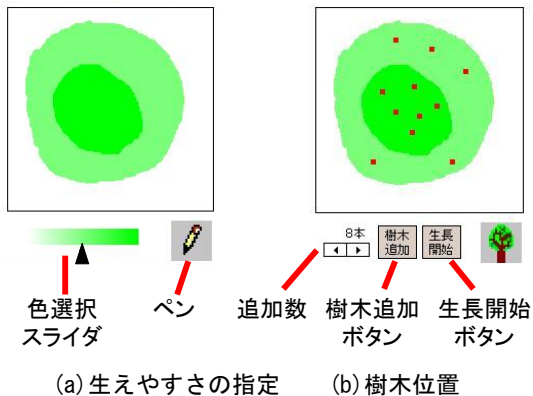
ながら描画し、結果を確認するために3次元仮想環境へと目を向けたときには、すでに描画結果が反映された状態となっているため、遅延を気にせずにインタラクションを行うことができた。

## 5. おわりに

本稿では、3次元仮想樹木モデル群を容易に生成するためにPDAをインタラクションデバイスとし、PDA上の2次元GUIから樹木モデル群を生成するシステムを構築した結果について述べた。またPDA上のインタフェースを利用することで、仮想環境の表示領域の制限をなくし、利用者の手で容易に操作ができることを確認した。

今後、2次元的なインタラクションだけでなく、3次元的なインタラクションやテキスト、音声といったインタラクションを用いた多様な操作や、樹木モデル以外のモデリングなど、さまざまな目的での3次元仮想環境とのインタラクションへの応用を図る予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省21世紀COEプログラム(研究拠点形成費補助金)の助成を受けた。



(c) 生成された樹木モデル群  
図7 樹木群生成例

## 参考文献

- [1] 櫻井智史, 大西克彦, 村上礼繁, 北村喜文, 岸野文郎: 相互干渉を考慮した樹木モデル群のインタラクティブな生成に関する一検討, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集, pp. 245-248, 2004.
- [2] K. Onishi, S. Hasuike, Y. Kitamura, and F. Kishino: Interactive modeling of trees by using growth simulation, Proceedings of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2003, pp. 66-72, 2003.
- [3] A. Lindenmayer: Mathematical models for cellular interaction in development, Journal of Theoretical Biology, Part I and II, pp. 280-315, 1968.
- [4] R. Měch and P. Prusinkiewicz: Visual models of plants interacting with their environment, Proceedings of SIGGRAPH 96, In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, pp. 397-410, 1996.
- [5] O. Deussen, P. Hanrahan, B. Lintermann, R. Mech, M. Pharr, and P. Prusinkiewicz: Realistic modeling and rendering of plant ecosystems, Proceedings of SIGGRAPH 98, In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, pp. 275-286, 1998.
- [6] 千葉則茂, 村岡一信, 大川俊一, 三浦守: CGのための樹木の生長モデル - 架空の「植物ホルモン」による自然な樹形の生成 -, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J76-D-II, No. 8, pp. 1722-1734, 1993.
- [7] K. Watsen, R. Darken, and W. Capps: A handheld computer as an interaction device to a virtual environment, Proceedings of Third International Immersive Projection Technology Workshop, 1999.
- [8] M. Gutiérrez, F. Vexo, D. Thalmann: The mobile animator: Interactive character animation in collaborative virtual environments, Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2004, pp. 125-132, 2004.
- [9] L. Benini, M. E. Bonfigli, D. Brunelli, E. Farella, M. Gaiani, B. Riccò: Using palmtop computers and immersive virtual reality for cooperative archaeological analysis: the Appian way case study, Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, 2002.
- [10] L. Benini, M. E. Bonfigli, L. Calori, E. Farella, B. Riccò: Palmtop computers for managing interaction with immersive virtual heritage, Proceedings of EUROMEDIA 2002, pp. 183-189, 2002.
- [11] B. Lane and P. Prusinkiewicz: Generating spatial distributions for multilevel models of plant communities, Proceedings of Graphics Interface '02, pp. 69-80, 2002.