

## 画像類似度に基づく部品組み立て式3D植物モデルの生成

Ganzurkh Bilguun<sup>†</sup> 細田 侑也<sup>†</sup> 大星 仁<sup>†</sup> 後藤 仁志<sup>†</sup>豊橋技術科学大学<sup>†</sup>

## 1. はじめに

3D植物モデルは、農業メタバースなどの幅広い用途が想定される。ただし、実際の植物から3D植物モデルを生成するとき、内部構造を再現しにくいことや撮影コストがかかることが課題である。本研究では、植物の部位ごとに撮影された3Dモデルを組み合わせることで、内部構造も再現された3D植物モデルを自動的に生成する。さらに本研究では、実際の植物と類似する植物3Dモデルを検索するシステムも開発する。まず、画像認識モデルを用いて複数方向からの射影から特徴ベクトルを取り出す。そして、特徴ベクトルのcos類似度を算出することで、三次元構造の類似性を評価する。このとき、演算量および検索時間を削減するために、特徴ベクトルの次元削減およびクラスタリングを導入する。

## 2. 部品組み立て式3D植物モデルの生成

本研究では、葉が八枚であるスイートバジルを対象に3D植物モデルを生成する。まず、第一本葉、第二本葉、その他の三つの部位に植物を分解する。そして、キーエンス社のVL-500でそれぞれ3Dモデルを撮影する。このとき、3Dモデルはメッシュ情報のみで構成されている。これらの3Dモデルに対して、枝の方向ベクトルおよび結合位置を与えたものを部品とする。方向ベクトルと結合位置が一致するように部品を組み合わせることで3D植物モデルを生成する。図1は、そのまま撮影された3D植物モデルと部品組

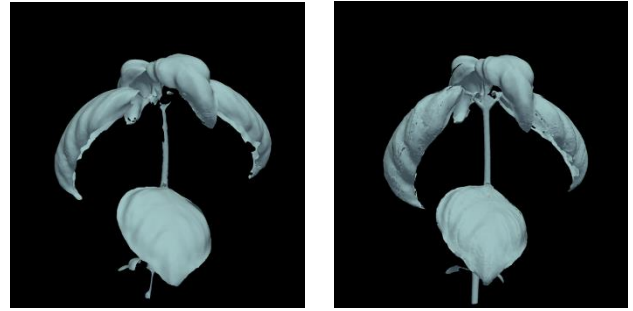


図1 植物3Dモデル(左)と部品組み立て式植物3Dモデル(右)

表1 実際の植物と3D植物モデルのcos類似度

		3D植物モデル				
		株A	株B	株C	株D	株E
実際の植物	株A	0.86	0.85	0.83	0.80	0.80
	株B	0.82	0.86	0.80	0.80	0.79
	株C	0.82	0.81	0.84	0.80	0.78
	株D	0.81	0.82	0.81	0.84	0.82
	株E	0.77	0.79	0.79	0.79	0.83

み立て式3D植物モデルを表す。部品を結合することで、茎や細い枝も再現できている。また、シソ科であるスイートバジルは、葉が生える位置や方向が共通である。つまり、これらの部品を付け替えることで、実際の植物のような3D植物モデルを自動的に生成できる。

## 3. 画像類似度に基づく3D植物モデル検索

## 3.1 実際の植物と3D植物モデルの類似性

もし実際の植物と3D植物モデルで三次元構造が類似しているならば、同方向からの見え方も類似している。そこで提案法では、複数方向の射影に関して画像類似度を算出する。

まず、茎を回転軸として側面から射影をいくつか取得する。ただし、それぞれ撮影環境が異なるため、ガウシアンフィルタを施す。つづい

Generation of part-assembled 3D plant models based on image similarity.

<sup>†</sup> Ganzurkh BILGUUN

<sup>†</sup> Yuya HOSODA (hosoda.yuya.ho@tut.jp)

<sup>†</sup> Jin OBOSHI

<sup>†</sup> Hitoshi GOTO

Toyohashi University of Technology (<sup>†</sup>)

て、ImageNet [1] で事前学習された画像認識モデル VGGNet [2] の最終層から特徴ベクトルを取得する。これらの特徴ベクトルを連結した行ベクトルに関して  $\cos$  類似度をもとめる。表 1 は、実際の植物と 3D 植物モデルの  $\cos$  類似度を表す。実際の植物に対して  $\cos$  類似度が最大となる 3D 植物モデルは同じ株を対象としている。つまり、画像類似度に基づいて実際の植物と類似する 3D 植物モデルを検索できる。

### 3.2 3D 植物モデルのベクトル検索システム

射影から取り出された特徴ベクトルを用いて検索システムを構築する。ただし、特徴ベクトルの次元数および射影の枚数に比例して計算量が、3D 植物モデルの数に比例して検索時間が増加する。そこで、特異値分解による次元削減と k-means 法によるクラスタリングを導入する。

まず、 $N$ 個の射影から $K$ 次元の特徴ベクトルをそれぞれ取り出し、大きさ $1 \times NK$ の行ベクトルを作成する。そして、 $P$ 個の植物 3D モデルにおける行ベクトルを結合して大きさ $P \times NK$ の行列を作成する。ここで本研究では、上位 $\gamma\%$ の特異値を用いて特異値分解で行列の次元を削減する。さらに、 $C$ 個のクラスタに次元削減された行ベクトルを用いて植物 3D モデルを分類する。

検索では、実際の植物から得られた特徴ベクトルを同様に次元削減する。そして、次元削減された行ベクトルを用いて、最適なクラスタを検索する。さいごに、クラスタ内で各 3D 植物モデルとの画像類似度を算出する。このとき、上位に位置するものを検索候補として出力する。

## 4 実験

本研究では、スイートバジルの 26 株を用いて 3D 植物モデル検索システムの有効性を検証する。ここで、16 株から部品組み立て 3D 植物モデルを 4096 個生成して、10 株は検索システムの検証用に使われた。また、植物は 45 度ずつ回転させながら撮影された。このとき、0 度となる正面の向きはそれぞれ同一となるように設定している。

表 2 ベクトル検索システムの性能評価

	構築 時間 [s]	検索 時間 [s]	MRR
なし	-	0.030	1.00
次元削減 ( $\gamma = 12.5$ )	-	0.030	1.00
クラスタリング ( $C = 8$ )	5.297	0.007	0.90
次元削減 & クラスタリング	0.075	0.008	0.90

表 2 は、3D 植物モデルのベクトル検索システムの性能評価を表す。まずベクトル検索システムの構築にかかる時間は、次元削減により 90 % 以上削減した。また、一回のクエリに対する平均検索時間はクラスタリングで 70 % 以上も削減した。つまり、次元削減による計算量の削減およびクラスタリングによる検索範囲の制限により効率的な検索機能が実現した。ここで、検証用の株をそのまま撮影した植物 3D モデルとの画像類似度で上位 5 位の部品組み立て 3D 植物モデルを正解モデルとする。検索候補でヒットした正解モデルの最高順位に関して Mean Reciprocal Rank (MRR) で評価する。次元削減およびクラスタリングを用いる手法では MRR で 0.90 を達成した。したがって提案法では、実際の植物と三次元構造が類似している 3D 植物モデルを検索できることが示された。

## 5 おわりに

本研究では、スイートバジルの部品組み立て式植物 3D モデルの生成手法およびベクトル検索システムを提案した。今後は、仰角方向からも射影を取得して、三次元構造の類似性をより明確に解析することに取り組む。

## 参考文献

- [1] J. Deng et al., "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," CVPR, 2009.  
 [2] K. He et al., "Deep Residual Learning for Image Recognition," CVPR, 2016.