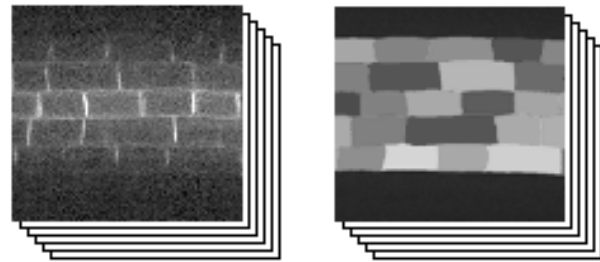


輝度投影法を用いた *Arabidopsis* 根の三次元画像からの細胞領域分割法の開発

植物全能性制御システム解析学分野 学籍番号 47-096325 高野 惇
指導教員 馳澤 盛一郎

序

成熟した植物細胞は細胞壁によってその形状が固定されるため、植物にとって生長過程における細胞の形態・空間配置の決定は極めて重要であるといえる。したがって、植物の組織や器官の形態形成機構を探る上で、発生・生長過程における細胞の形態や空間配置の定量的解析を行うことは必須である。しかしながら、三次元空間における細胞の領域分割は



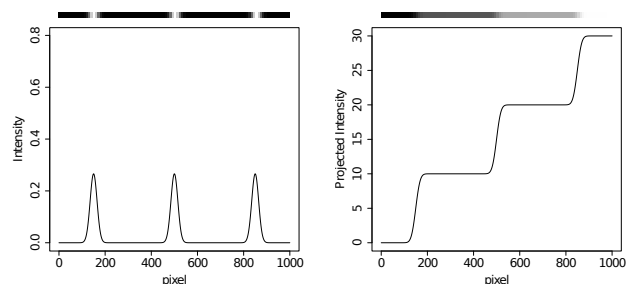
(a) *Arabidopsis* 根の画像 (b) 人力による分類結果
図1 *Arabidopsis* 根の三次元画像と人力による分類

多くの場合人力による処理が必要とされ、自動化処理による大規模な解析は行われていない。

本研究では図1(a)のような、細胞膜を可視化した *Arabidopsis* 根の三次元画像から個々の細胞領域を分割するシステムを開発することを試みた。最終的には、図1(b)のような人力での分割に近い分割を自動的に行えるようにすることが目的である。なお、プログラムは画像処理ソフトウェア ImageJ の拡張機能として、プログラミング言語 Scala によってコーディングした。

結果と考察

本研究では、画像を構成する画素を分類するために投影輝度分布という特徴量を算出して用いる方法を開発した。一次元の場合について考えると、膜画像は図2(a)のようになり、高輝度のピークが膜を、低輝度の領域が細胞内を表す。ここで、細胞領域を区別できるようにするために投影を行う。投影とは、一定方向に向



(a) 一次元の膜画像とその輝度分布のプロット (b) 画像を左から右に投影した投影輝度

図2 一次元での輝度投影

かって輝度を積算する操作であり、それにより図2(b)のような投影輝度が得られる。投影輝度を用いることにより各細胞内領域の輝度に差が生じ、区別できるようになる。二次元、三次元画像の場合には、同様の原理で投影方向を変えながら多数の投影を行うことで細胞領域分割のための特徴量としての投影輝度分布を生成できる。

自動分割には *k*-means 法を用いたが、分割性能が悪く細胞領域が正しく分割されないこ

とが多かった。そこで k -means 法の初期値を最適化するよう改良した PSO-KM 法を用いて分割を行うことで改善を試みた。

図 3(a) に *Arabidopsis* 根の組織を模した人工の三次元画像を、図 3(b) にその画像を本手法を用いて領域分割した結果を色分けして表したものを示す。

図 3(b) から、多くの細胞が分割できていることが分かる。その一方で、2つの隣り合う細胞領域が融合してしまうといった誤分割も起きており、特に k -means 法による分割時に多かった。

図 4 に分割を 10 回行い、細胞領域が正しく認識された回数を示す。横軸の数字は画像に含まれる 28 個の細胞をその体積の小さい順に番号を振ったものを表す。輝度投影分布の分割法として k -means 法の改良である PSO-KM 法を用いることにより k -means 法に比べて分割の成功率が大きく改善された。ただし、図 4 から分かるように、体積の小さい細胞、すなわち画像の端で途切れた細胞に

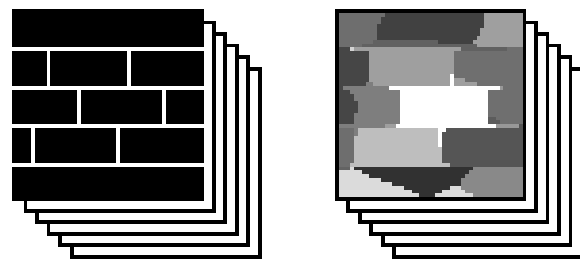
関しては k -means 法、PSO-KM 法ともに分割の成功率が低く、本手法が画像の端付近で分割性能が低下する可能性があることが示唆された。

結論

本研究では、植物組織の三次元画像から細胞の空間配置を解析する新たな手法を開発し、その原理的な可能性を示した。人工画像への適用結果から、画像の端付近での分割性能の低下といった問題点があるものの、多くの細胞を自動分割できることが示された。

この手法は四次元以上の次元に簡単に拡張できるため、将来的には (x, y, z, t) の四次元画像、すなわち三次元の経時観察画像に対して適用することで、植物組織の生長に伴う各細胞の三次元的空間配置の追跡を可能とすることが期待される。

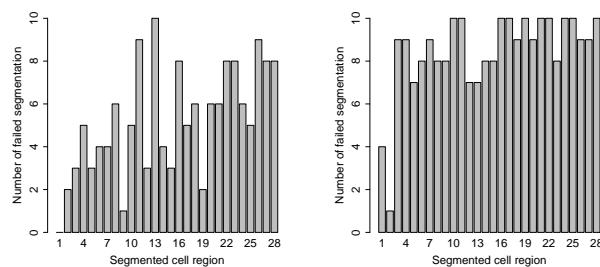
今後の研究では、分割後の後処理による誤分割の修正といった計算アルゴリズムの改良や顕微鏡画像への実用性の向上、三次元経時観察画像への応用による細胞追跡の実現可能性の追求を行っていきたい。



(a) 人工の膜画像

(b) 自動分割結果

図 3 人工のサンプル画像とその自動分類結果の一部



(a) k -means 法

(b) PSO-KM 法

図 4 10 回の自動分割を行い、各細胞が正しく認識された回数。横軸は各細胞領域を、体積の小さい順に番号を振ったもの。