

D-34 葉内部領域の可視化を目的とした葉画像における葉脈トポロジーの抽出手法

渡辺拓哉*, 李根浩*, 柿内隆成**

(*宮崎大学大学院工学研究科, **宮崎大学工学部)

1. 緒言

国内外での農業従事者の減少・高齢化により、作物の生産性向上や品質維持、省力化の重要性が増している。特に、労働集約的な作物管理は生産性や品質に直結するため、植物の状態に応じた対応が不可欠である。生理的機能が集中し花や果実の発育基盤である「葉」は、植物状態の判断基準として重要である。近年、画像データを用いた非侵襲的な葉のセンシング手法が発展してきたが、葉長や葉幅、色といった大域的な特徴に偏り、潜在的な情報が十分に考慮されていない[1]。

そこで本研究では、葉内部領域の詳細な可視化に取り組む。特に、葉に網羅的に存在し、機能的価値の高い葉脈に注目する。葉脈の分岐点・端点をノード、ノード間の部分葉脈をエッジとするグラフ表現を構築し、その接続情報である葉脈トポロジーを取得することで、葉内部領域を構造的かつ網羅的に捕捉することを目的とする。

2. 提案手法

提案手法は、葉画像を入力とし、葉脈トポロジーを出力する。葉脈トポロジーの抽出に際し、画像内葉脈について説明する。図1(a)のように葉画像が得られたとき、画像内における全体の葉脈ピクセル P_s は葉脈上のピクセル p_k の集合として扱う(図1(b)参照)。ここで、葉脈における分岐点と端点は特徴点とする。図1(c)に示すように、 P_s にある特徴点を p_{fi} とし、葉上に存在する特徴点集合を P_f とする。 p_{fi} は P_s 上で得られることから、特徴点間には p_k が存在する。そこで、特徴点間の p_k の集合を部分葉脈 P_i とし、ある部分葉脈は P_i とする。さらに、 P_i の両端近傍に存在する2つの p_{fi} を包含する葉脈を接続葉脈 Q_i とする。

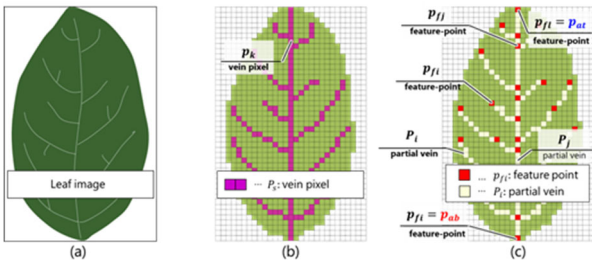


図1 画像内葉脈に関する説明。

(a)入力画像, (b)葉脈ピクセル, (c)葉脈ピクセル上の構成。

続いて、葉脈トポロジーの抽出手順について記述する(図2参照)。ここで、葉脈トポロジーは P_s の要素同士の接続情報とする。まず、画像から P_s を抽出し、既存の画処理技術を基に P_s から p_{fi} の検出を行う。次に、検出された p_{fi} と P_s に基づいて P_i を生成する。さらに、各 p_{fi} を P_i に重複させることで Q_i に変換する。このとき、 Q_i は p_{fi} 間の隣接関係や p_{fi} と P_i の接続関係といった接続情報を有する。したがって、 P_s における Q_i を導出することで、画像上における葉脈トポロジーの抽出が可能となる。

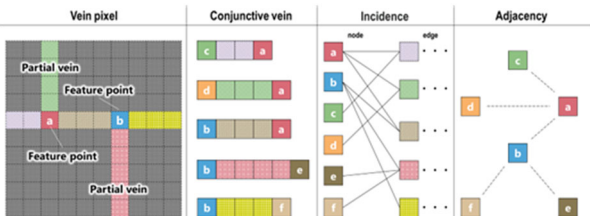


図2 画像内における葉脈トポロジーの抽出

3. 評価実験

提案手法の有効性を検証するため、葉脈トポロジー抽出(図3(a)参照)の精度について3種類の実験を実施した。実験1では、撮影画像を段階的にダウンサンプリングし、解像度変化の影響を評価した。図3(b)の結果より、黒線で示す植物は最大解像度から約7割まで解像度を低下させても90%以上の精度を維持し、赤破線の別種においても同様の傾向が得られた。このことから、本手法の葉脈上のピクセル数変化に対する頑健性が示唆された。

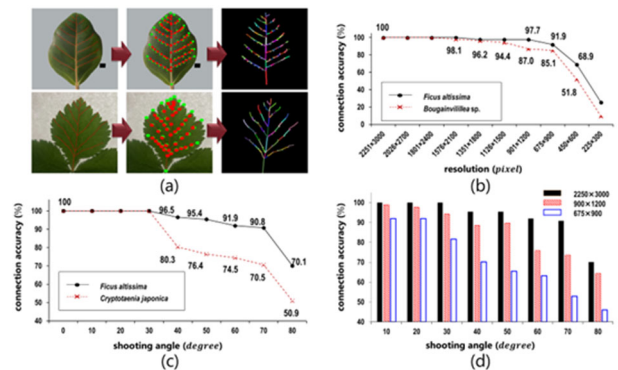


図3 評価実験結果。(a)葉画像内の葉脈トポロジー抽出の様子、(b)実験1の結果、(c)実験2の結果、(d)実験3の結果。

実験2では、葉に対して水平に設置したカメラを基準とし、撮影角度を段階的に変化させて斜め方向から撮影した画像を用いた。図3(c)の結果より、黒線で示す植物は70度まで90%以上を示し、赤破線の別種は40度まで80%以上の高精度を維持した。これにより、本手法の撮影角度の変動に対する堅牢性が確認された。

実験3では実験1・2を融合した条件下で評価した。図3(d)に示すように、高解像度では70度、中解像度は50度、低解像度は30度まで80%以上の高精度が維持された。したがって、本手法は撮影時の内外的要因に伴うジオメトリ的变化に依存せず、葉脈トポロジーの抽出が可能であることが示唆された。

4. 結言

本論文では、葉内部領域を詳細に可視化するために、葉脈トポロジーの抽出手法を提案した。葉脈のグラフ表現により、特徴点と部分葉脈を接続葉脈へと変換し葉脈トポロジーを抽出した。評価実験より、解像度や撮影角度の変化に対する堅牢性が確認されたことから、本手法は森林や水中など実環境への活用が見込まれる。今後は、葉脈トポロジーの経時的追跡による、葉の成長・健康状態のモニタリングを目指す。将来的には、ドローンによる野生植物のリモート解析や、健康状態に応じた植物管理の自動化など、農業デジタル化への貢献が期待される。

5. 参考文献

[1] M.J.M. Marques, L. Mingxin, K.T. Shiojiri, T. Hagiwara, K. Hirose, K. Shiojiri, and S. Umezu, "Plant Doctor: A hybrid machine learning and image segmentation software to quantify plant damage in video footage," Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, vol. 249, art. 117094, May 31, 2025.