

3次元ブドウ房再構成に基づく自動摘粒選択

山崎 匠真[†] 梁 誠[†] 田所 晃汰[‡] 内海 ゆづ子[†] 三輪 由佳[‡] 岩村 雅一[†]

[†] 大阪公立大学大学院情報学研究科 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1番1号

[‡] 大阪府立環境農林水産総合研究所 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

E-mail: [†] [‡] sc24951c@st.omu.ac.jp,

あらまし 生食用ブドウ生産における摘粒作業は、果粒の肥大促進や房の整形を目的として成長前のブドウの粒数を減らす重要な作業である。しかし、複雑な判断基準と迅速な作業が求められるため、未経験者の習得には相当な時間を要する。本研究では、新規就農者の摘粒作業習得を支援するため、ブドウの3次元復元から最適な摘粒選択まで行うシステムを提案する。従来の深度センサーや画像ベースの3次元復元手法は、照明環境の変動や果粒のテクスチャレスな表面特性により、圃場環境での実用が困難であった。本研究では、3D Gaussian Splatting と Random Sample Consensus (RANSAC) ベース球体検出を組み合わせた新しいブドウの房の3次元復元を提案する。さらに、果粒の位置推定結果に対して遺伝的アルゴリズムによる組合せ最適化を適用し、果粒間距離最大化を目的とした最適化により摘粒すべき実を自動決定する。

キーワード 摘粒作業, 3D Gaussian Splatting, RANSAC, 農作業支援

Automatic Thinning Selection Based on 3D Grape Bunch Reconstruction

Takuma Yamasaki[†] Sei Ryo[†] Kota Tadokoro[‡] Yuzuko Utsumi[†] Yuka Miwa[‡] Masakazu Iwamura[†]

[†] Osaka Metropolitan University 1-1 Gakuen-cho, Naka, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

[‡] Local Incorporated Administrative Agency Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefecture 442 Shakudo, Habikino, Osaka 583-0862, Japan

E-mail: [†] [‡] sc24951c@st.omu.ac.jp,

Abstract Berry thinning in table grape production is a crucial operation that reduces the number of grapes before growth to promote berry enlargement and bunch shaping. However, the complex judgment criteria and need for quick decision-making make it extremely time-consuming for inexperienced workers to master this skill. To assist farmers in learning berry thinning expertise, this study proposes a system that performs 3D reconstruction of grape bunches and automatically identifies optimal berry selection for thinning. Conventional depth sensor-based and image-based 3D reconstruction methods have proven impractical in field environments due to lighting variations and the textureless surface characteristics of grape berries. Therefore, we propose a novel 3D reconstruction method for grape bunches combining 3D Gaussian Splatting with Random Sample Consensus (RANSAC)-based sphere detection. Furthermore, combinatorial optimization using genetic algorithms is applied to the estimated berry positions, automatically determining which berries to thin by maximizing inter-berry distances.

Keyword Berry thinning, 3D Gaussian Splatting, RANSAC, Agricultural Support

1. はじめに

日本の生食用ブドウ栽培では、房から果粒を間引き数や形を整える摘粒作業が不可欠である。例えば巨峰では果粒数を36個程度まで減らし、果粒間隔を確保することで肥大化を促し理想的な形状を実現する。しかし基準が複雑で習得に時間を要するうえ、熟練農家の高齢化で技術継承が困難になっている。

近年、摘粒支援に関する研究が進んでいるが、既存手法は2次元画像解析に基づいており、房の3次元構造や果粒間の空間的關係を考慮していない[2,3]。そのため、画像上で近接して見える果粒が異なる深度にある場合、適切な摘粒判断が困難となる。本研究では、この課題を解決するため、多視点画像から房全体の3次元構造を復元し、果粒間の空間配置を把握した上で摘粒対象を自動選択する手法を提案する。これにより



図1: システム概要図

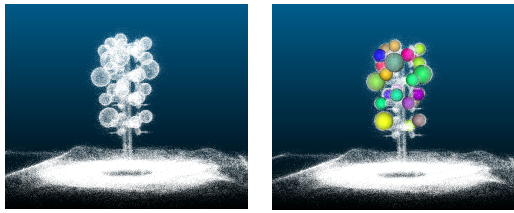


図 2：3次元復元結果（左）と果粒位置推定結果（右）

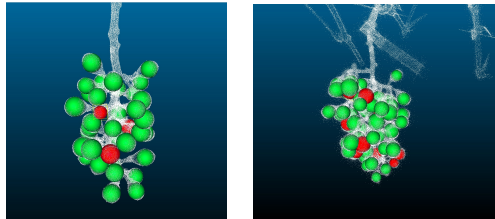


図 3: 摘粒すべき実の選定結果

適切に摘粒対象を作業者に示すことができ、新規就農者の摘粒作業習得支援に貢献できる。

2. 手法

提案手法の全体構成を図 1 に示す。提案手法は 4 段階から構成される。第 1 段階では単眼カメラでブドウの房の周りを 360 度撮影し、撮影した画像から Structure from Motion (SfM)[1]を用いて疎な初期点群とカメラパラメータを推定する。第 2 段階では 3D Gaussian Splatting[4]を適用し、ブドウ房の高密度 3 次元点群を生成する。従来の SfM は特徴点の対応を基に 3 次元復元をしているため、テクスチャの乏しい果粒表面では特徴点抽出が困難で復元精度が低い。一方、3D Gaussian Splatting は多視点画像との整合性をもとに 3 次元のシーンを最適化するため、テクスチャレスな果粒でも高精度な 3 次元復元が可能である。第 3 段階では果粒を球とみなし、3 次元復元結果に Efficient RANSAC[5]の球体検出を適用し、果粒の位置を推定する。最終段階では組み合わせ最適化により摘粒対象を選択する。

摘粒対象の選択では、1 房あたりの果粒の数が目標の数となるよう、かつ果粒同士の距離が最大となるように、間引く実を決定する。間引く実と残す実を選択する問題を、制約付き組み合わせ最適化問題として定式化する。この問題を遺伝的アルゴリズムを用いて解き、最適な摘粒対象を自動決定する。

3. 実験

3 種類の実験で提案手法を評価した。実験 1 では模型を用いた果粒位置精度、実験 2 では冷凍保存されたシャインマスカットを用いた摘粒する実の推定、実験 3 では圃場環境下での手法の有効性を評価した。

実験 1：模型を用いた精度評価

半径 10mm および 15mm の発泡スチロール球 24 個

を配置したブドウ模型を iPhoneXS で撮影した 1030 枚の画像を用いて、実の検出と位置推定の精度を評価した。図 2 に模型を用いた 3 次元復元と果粒検出の結果を示す。24 個全てが検出され、位置推定誤差は平均 $4.03 \pm 0.97\text{mm}$ (最大 6.34mm, 最小 2.26mm) であった。

実験 2：摘粒果粒選択の評価

冷凍保存された摘粒前の 60 個の果粒があるシャインマスカットの房の画像を撮影した 1146 枚の画像に手法を適用した。摘粒すべき実の選定結果（赤い点が摘粒対象）を図 3 に示す。果粒の検出成功率は 98.3% (59/60 個) で、提案手法の最適化により目標 47 個の果粒を残すよう摘粒対象を選択した。密集部分から適切に間引く果粒が選択され、果粒同士の距離が大きくなるように間引く果粒を選択できていることがわかる。

実験 3：実環境下での評価

圃場で栽培中のシャインマスカットを撮影した 1298 枚の画像に対して提案手法を適用した。摘粒すべき実の選定結果を図 5 右に示す。果粒の検出率は 97.4% (38/39 個) で、未検出の 1 個は軸内側の果粒であり、このように軸の内側に入り込んだ果粒は、成長すると軸に接触して割れることが確実であり、通常は摘粒対象となる。そのため、作業に慣れていない人でも容易に摘粒すべき果粒と判断ができる。目標果粒数 35 個として摘粒対象を選択した結果、間引く果粒として選ばれたのは果粒が密集した部分であり、提案手法が適切に機能していることが確認された。

4. まとめ

本研究では、3D Gaussian Splatting と RANSAC による球体検出を組み合わせ、テクスチャレスなブドウ果粒の位置を高精度に推定する手法を提案した。組み合わせ最適化により目標果粒数と果粒間距離を同時に考慮した摘粒対象の自動選択を実現した。模型で平均誤差 4.03mm、実際の房で 98.3% の検出率を達成し、実環境下でも有効性を確認した。今後の課題は、実際にシステムが提示した通りに摘粒し、収穫期の房の状態を評価することと、作業者への提示方法の検討である。

文 献

- [1] S. Agarwa et al. Building rome in a day. Commun. ACM, Vol. 54, No. 10, p. 105–112, 2011. 1
- [2] P. Buayai et al. End-to-End Automatic Berry Counting for Table Grape Thinning. IEEE Access, Vol. 9, pp. 4829–4842, 2021.
- [3] P. Buayai et al. Supporting table grape berry thinning with deep neural network and augmented reality technologies. Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 213, p. 108194, 2023.
- [4] B. Kerbl et al. 3D gaussian splatting for real-time radiance field rendering. ACM Trans. on Graphics, Vol. 42, No. 4, July 2023.
- [5] R. Schnabel et al. Efficient RANSAC for point-cloud shape detection. Computer Graphics Forum, Vol. 26, No. 2, pp. 214–226, 2007.