

令和元年6月20日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K20034

研究課題名(和文)汎用センサを用いた果物・野菜の状態推定に関する研究

研究課題名(英文) Study on freshness estimation of fruit and vegetable using general-purpose devices

研究代表者

平林 晃 (HIRABAYASHI, AKIRA)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：50272688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、果物の鮮度や硬度といった状態を消費者が手軽に推定できる手法の実現を目的とし、音プローブを利用する手法の研究を行った。具体的には、小型スピーカーから計測対象に線形スイープ音を照射し、小型マイクを用いて反射音を計測する。多様な状態の果物に対する反射音データを蓄え、得られたデータに対して回帰を行うことで未知の果物の状態推定を試みる。提案法によりトマト・みかん・りんごの貯蔵日数を推定する実験を行なったところ、比較的高い推定精度を確認できた。ただし、データ収集日の器材の状態に起因する特徴が識別に強い影響を与えている可能性も確認できており、現在追試を行なっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鮮度・硬さ・食べごろといった果物の状態は、農業従事者だけでなく、一般消費者にとっても重要な関心事であり、農作物の状態を手軽に計測できるツールの需要は少なくない。本研究課題は、小型スピーカー・小型マイクといった安価な汎用センサのみで、果物の状態を推定できるシステムの実現を目指している。2年の研究期間中に蓄えた実験結果やノウハウに基づき、今後さらに実験を実施する予定である。本研究課題が実現できれば、果物の貯蔵日数や硬さを手軽に推定できるようになり、その社会的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to develop a new technique for estimating conditions of fruits (e.g. firmness and storage time) by using small and common sensors. Key idea is to use sound signal; we hit a linear sweep signal to a target fruit by using a small speaker and capture a reflected signal with a small microphone. We collect reflected signals from fruits in various conditions and use it to perform regression. In this study, we have performed various experiments. For instance, we collected reflected signals of tomatoes, mandarin oranges and apples to estimate their firmness and storage time. We conducted cross validation for the collected dataset and found relatively accurate estimation results. We recently found some results indicating a possibility that conditions of our measurement devices had an influence to the estimation results. We are continuing experiments to clarify this point.

研究分野：信号処理

キーワード：食物 鮮度 汎用センサ 機械学習 トマト リンゴ みかん

1. 研究開始当初の背景

鮮度・食べごろ・栄養・病気など、野菜・果物の状態は、農業従事者だけでなく、一般消費者にとっても重要な関心事であり、農作物の状態を手軽に計測できるツールの需要は少なくない。実際、農作物の状態推定のため様々な手法が開発されているが、既存手法の多くは主に生産者や流通業者が利用するためのものであり、高価かつ大掛かりな装置を必要とすることが多い。既存の農作物状態推定法はその計測法から大まかに、光学的な計測を行うもの、化学的な計測を行うもの、機械的な計測を行うものに分けられる。光学的計測を行う手法には、近赤外分光法により含有栄養量を測定するものや、果汁の屈折率により糖度を推定する糖度計が含まれる。化学的な計測を行う手法には、果物から放出されるエチレンガスの量よりその熟度を推定する手法などが知られる。また、機械的な計測を行う手法には、対象にプローブを押し付けて硬度を測る果物硬度計などが含まれる。しかし、これら既存手法は特殊な装置を必要とし、本研究が対象とする一般的な消費者が手軽に利用できるものではない。

前述の機械的な計測を行う手法では、計測対象を、直接叩く・音を当てるなどしてインパクトを与えその応答を計測することで対象の状態を推定するインパクトレスポンス型の計測手法も研究されている。特に、実際に果物を叩き反響音を計測することで、スイカの『す』の有無を推定する手法(Diezma-Iglesias et al. Biosystems Engineering 2004)、桃の硬度(Diezma-Iglesias, et al. Journal of Food Engineering 2006)、トマトの硬度(Schotte et al. Postharvest Biology and Technology 1999.)を推定する手法が知られる。また、音によりインパクトを与えその反射音を利用することで容器内の残量を推定する試み(Fan et al. UBICOMP 2015)も行われている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、一般の消費者でも農作物の状態を手軽に知ることができる情報処理技術の確立を目的とし、一般的かつ安価なセンサのみを用いて農作物を低侵襲に観察し、得られた情報から農作物の状態を推定できる技術の実現を目指す。具体的には、スピーカー・振動アクチュエータを用いて農作物にインパクトを与え、マイクを用いて透過してきた音・振動を計測し、蓄積した計測データを用いて識別器を訓練することで農作物の状態を推定する。特に、本研究では、農作物の鮮度(貯蔵日数)・硬度に着目し実験を行う。

本研究は前述のインパクトレスポンス型の計測手法に含まれる。ただし、容器内の残量を推定した既存研究(Fan et al. UBICOMP 2015)にならい、果物を実際に叩くのではなく、音・振動によりインパクトを与えることで、低侵襲に計測できる。また、インパクトを与える装置も、物理的に「叩く」のではなく、スピーカーより音を照射するため小型化が可能である。

3. 研究の方法

本研究では、消費者が手軽に果物の状態を推定できる方法の実現を目指し、音・振動を利用した手法を提案する。以下では、提案する計測手法について説明した後、特徴ベクトルの抽出法、教師データから推定を行う際に利用する回帰器・識別器について説明する。その後次節にて、提案法を利用して(1)リンゴを対象とし反射音から貯蔵時間を推定する実験、(2)トマト・みかんを対象とし反射音から貯蔵日数と硬度を推定する実験、(3)スイカを対象とし反射音から『す』の有無を推定する実験の3種の結果を述べる。

音・振動プローブ。本研究の目的は消費者が手軽に利用できる果物の状態推定法の実現であるため、安価で小型な汎用センサのみで計測デバイスを構築できることが望ましい。実験(1, 2)では、図 1a に示すような箱型の計測デバイスを構築した。このデバイスは計測対象に音を照射するスピーカー(汎用イヤホン SONY MDR-EX150 を利用)と、シリコンマイク(汎用 silicon microphone, Knowles SPU0414HR5H-SB を利用)より構成される。果物の側面にスピーカーが軽く触れるようにデバイスを配置し、スピーカーから音を発生させ、反射音をマイクにより録音する。また、実験(3)では、対象とするスイカは皮が厚いため音ではなく振動をインパクトとして利用する。本研究では、Tectile toolkit を利用した。図 1c のように Tectile toolkit とマイクをスイカの赤道上に配置し、Tectile toolkit より振動を発生させ、スイカ内を透過した振動をマイクにより録音する。

入力信号と反射音の特徴ベクトル変換。対象に照射する音信号について、この課題に適した信号は不明であるため、可聴域において周波数走査したスイープ信号や単一周波数からなる正弦波など複数種類を用意し、その推定精度を比較することとした。また、収録した反射音から回帰・識別を行うために必要な特徴ベクトルについても、以下の手順により抽出した複数のものを利用し、その精度を比較することとした。まず、収録音(図 2a)をスペクトログラムに変換し(図 2b)、これに対してテンプレートマッチングを施すことで入力音が鳴っている部分を切り抜き(図 2c)、この音源より、スペクトル(図 2d)、スペクトログラム、メル周波数ケプストラム係数(MFCC)

(図 2e) を抽出しこれを特徴ベクトルとして利用する。

教師データを利用した推定 . 多様な状態 (貯蔵日数, 硬度, 『す』の有無など) の果物に対し, 反射音を収集することで教師データのセットを構築する. この教師データを利用して, 回帰器や識別器を訓練することで, 未知のデータの状態推定を行う. 本研究では回帰には主に Support vector regressor を 識別には Support vector machine (SVM) や SVM を弱学習器に用いた Balance Bagging Classifier (BBC) 法を利用した.

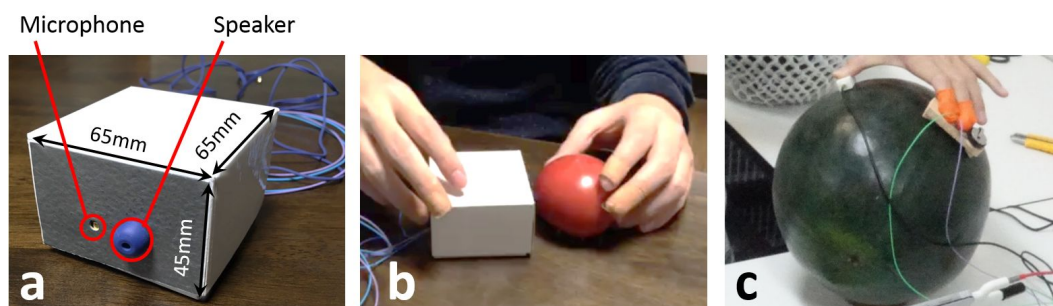


図 1. 提案法の計測環境.

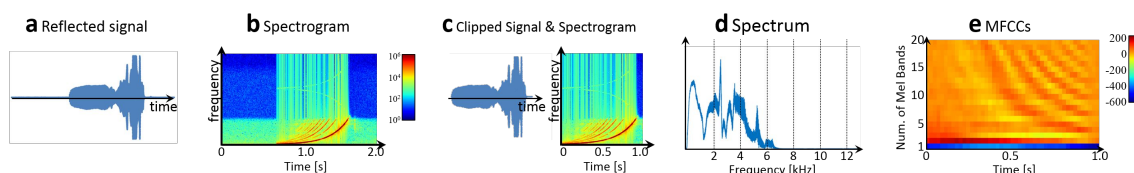


図 2. 特徴ベクトルの抽出方法.

4. 研究成果

(1)音を利用したリンゴの貯蔵日数推定 . リンゴを対象として, 提案法により貯蔵日数を推定する実験を行った. リンゴ (秋映) を 32 個用意し, 43 日間にわたり 3 日ごとに反射音の収集を行った. 各サンプルに対して一度の計測において赤道上の 5 か所にて反射音を計測した (計 2,500 データ = 32 サンプル × 15 計測日 × 5 計測箇所). この実験では, 2kHz の正弦波を 1 秒, 5kHz の正弦波を 1 秒, 20Hz から 10kHz を 1 秒かけて周波数走査したスイープ音を入力に利用し精度を比較することとした.

提案法の精度を評価するため, 収集したデータを利用し 1 個抜き交差検証を行った. ここで, 本研究では, 32 個のリンゴのうちあるひとつのリンゴのデータをすべて除いて識別器を訓練し, 除いたリンゴデータの推定を行い, 正解と比較した. この実験では, 3 日おきに行った 15 回の測定日をラベルとし, そのラベルを識別器 (SVM) により予測した.

結果, スイープ音を利用した際の平均識別誤差は約 1.52 日, 2kHz の正弦波を用いた際の平均識別誤差は約 6.09 日, 5kHz の正弦波を用いた際の平均識別誤差は約 10.07 日であった. これより, 既存研究 (Fan et al. UBIComp 2015) と同様に, 単一周波数ではなく多くの周波数成分を含む信号をスピーカーより照射した方が精度の高い推定を行える可能性が示唆された.

(2)音を利用したトマト・みかんの硬度・貯蔵日数推定 . トマト・みかんを対象として, 提案法により貯蔵日数・硬度を推定する実験を行った. トマトを 162 個用意し, 35 日間にわたり 2 日ごとに硬度・反射音を計測した. また, みかん 152 個を用意し 60 日間にわたり 3 日ごとに硬度・反射音を計測した. 硬度および反射音は, 各サンプルの赤道 4 か所にて計測する. 硬度計測には果物硬度計を利用した. 果物硬度計による計測ではサンプルに穴が開いてしまうため, 一度計測したサンプルの再計測は行わなかった. この実験では, 入力音に, 5kHz の正弦波, 3.5/5.0/6.5kHz の三種の正弦波を重ねたもの, 100Hz から 10kHz を線形に走査したスイープ音, 100Hz から 10kHz を指数関数的に走査したスイープ音, といった 4 種類を利用し, それぞれに対して反射音を収集した. また, この実験では, スペクトル・MFCC の二種類を特徴ベクトルとして利用し, SVR・GBR (gradient boosting regression) により回帰を行った.

提案法の推定精度を確認するため, k 分割交差検証 (k=3) を行った. 結果, トマトについて, 貯蔵日数の平均推定誤差は 0.89 日, 硬度の平均推定誤差は 9.47 g/mm² であった. また, みかんについて, 貯蔵日数の平均推定誤差は 1.67 日, 硬度の平均推定誤差は 15.67 g/mm² であった. 以上より, トマト・みかんの双方について比較的高い精度で貯蔵日数・硬度を予測できる可能性が示唆された.

ただし、上記(1, 2)において、実験後、反射音収集時の器材状態に起因する特徴が識別結果に強い影響を与えている可能性が浮上した。つまり、この高い推定精度は、サンプルではなく器材の状態に影響を受けている可能性がある。今回の実験では、研究目的に合わせて非常に安価なマイクを利用した。しかし、周囲環境に依存せず安定した計測の行える比較的高価なスピーカー・マイクを利用し、さらに、機材の状態に起因する反射音データの変化を打ち消すことができるような正規化方法を設計し再度実験を行う計画を立てている。実験(2)については、実験方法・推定方法・推定結果等の詳細をテクニカルレポートにまとめ公開した。

(3)振動を利用したスイカの『す』の推定。提案手法によりスイカの『す(内部の空洞)』の有無を推定する実験を行った。49個のスイカを用意し、これに振動を当て、その反射音を収集し、得られたデータセットより『す』の有無を推定する。用意した49個のスイカは、半数が『す』ありとなるように農家に依頼し栽培してもらったものであったが、天候等の影響により生育状態の制御が難しく、最終日に確認したところ、実際は6個が『す』あり、43個が『す』なしであった。この実験では、20~1kHzを5秒間かけて走査するスイープ音を Techtile toolkit により振動に変換したものを入力とした。また、反射音は、サンプルの赤道上の5か所にて収集するものとし、4日間毎日計測を行った。収集データに偏りがあるため、識別器には、SVMを弱識別器としたBBC法を利用した。

提案法の精度を評価するため、上記の通り収集した965個の音データに対し、1個抜き交差検証を行った。結果、正確度は約0.8、F値は約0.4と、高い推定精度が得られなかった。この理由として、用意したサンプルに偏りが大きかった(『す』を含むスイカを十分な数準備することができなかった)こと、与える振動が弱かったことなどが挙げられる。サンプル準備方法、及び、インパクトを与える方法について改善する必要がある。

また、本研究課題を実施する過程において、主となる課題に関連する信号処理・画像処理に関する基礎技術の研究開発を行い、その成果は国内外の学会にて発表済みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

1. D. Kitahara, L. Condat, and A. Hirabayashi, One-dimensional edge-preserving spline smoothing for estimation of piecewise smooth functions, 2019 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2019.
2. 山本宏哉, 北原大地, 平林晃. 客観品質を考慮した敵対的生成ネットワークによる画像超解像. 電子情報通信学会信号処理研究会, 2019.
3. 北原大地, 小田亮太, 平林晃. 混合過程推定にスパース性を利用したブラインド音源分離. 第62回システム制御情報学会研究発表講演会, 2018.

〔図書〕(計0件)

〔テクニカルレポート〕(計1件)

Hidetomo Kataoka, Takashi Ijiri, Kohei Matsumura, Jeremy White, Akira Hirabayashi: Acoustic Probing for Estimating the Storage Time and Firmness of Tomatoes and Mandarin Oranges. CoRR abs/1809.10581, 2018.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ms.is.ritsumeai.ac.jp/audio.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：井尻 敬

ローマ字氏名：(Takashi Ijiri)

所属研究機関名：芝浦工業大学

部局名：工学部情報工学科

職名：准教授

研究者番号(8桁): 30550347

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。