

スマート食洗機のための食器配置最適化サポートシステム

倉田 優里¹ 前田 雄介^{2,a)}

概要: 本報告では、食器の最適配置をユーザに提示することにより、食洗機の利用をサポートするシステムを提案する。このシステムでは、スマートフォンなどで撮影した画像から、対象の食器の種類と枚数を認識する。そして、組み合わせ最適化により、どのように食器を配置すべきかを決定し、3Dグラフィックス表示でユーザに示すことができる。開発したプロトタイプの内容について紹介する。

Toward a Smart Dishwasher: A Support System for Optimizing Dishwasher Loading

KURATA YUURI¹ MAEDA YUSUKE^{2,a)}

1. 序論

多くの家電製品が普及して各家庭に定着する中、食器洗い乾燥機(以下、食洗機)は他の主要家電製品のような普及率に至っていない。原因の一つとして、食洗機を利用する際の手間がユーザにとって負担に感じられていることが考えられる。

一方、高齢者世帯や共働き世帯が増加している現在、生活をサポートする様々なロボットやシステムなどの導入が期待され、数多く研究開発されている。その中に、食洗機を用いた食器洗いの自動化に関する研究がある。小菅らは画像計測 [1] によって食器を認識し、洗浄・収納するロボットシステムを開発している [2]。佐藤らはロボットが食後の食器片付けを行う際に必要な食器の位置・種類の情報を得る画像処理システムの提案を行った [3]。Srinivasaらは、マグカップを認識して移動マニピュレータにより食洗機ラックに置くシステムを実装した [4]。太田らは食器を画像認識し食器かごに片付けるシステムを提案している [5]。また、水内らはロボットハンドによる食器の把持戦略を提

案し、キッチンに置かれた食器を食洗機へ配置するシステムの実現を行った [6]。

他にも様々な研究が行われているが、多くは、佐藤らのような画像中の食器認識に関する研究や水内らのような食器の把持戦略に関する研究である。これらの研究は「食洗機に食器を物理的に配置する作業」に焦点を当てており、「食洗機を上手く用いるための食器の適切な配置場所を考える作業」についてはあまり検討していない。そこで本研究では、後者の作業に注目して、「食洗機における食器の最適配置を提示するシステムの構築」を目的とする。

2. 食器配置最適化サポートシステムの提案

本研究では家庭用の食洗機を対象とする。食器の配置場所の数は食洗機によって一意であり、ある配置場所に入る食器の食洗機座標系での位置・姿勢も一意であるとする。

本研究では食器配置最適化サポートシステムとして、スマートフォンなどで撮影した食卓画像から食器を認識し、その結果をもとに、食器配置最適化(食洗機を上手く用いるための食器の適切な配置場所を考える作業)を行い、最適化した配置結果を提示するシステムを提案する。

3. 画像による食器認識手法の提案と検証

食卓にある食器を認識する方法として、あらかじめ取得してある各食器の画像(図 1a)を、ユーザが撮影したその

¹ 横浜国立大学大学院工学府
Graduate School of Engineering, Yokohama National University

² 横浜国立大学大学院工学研究院
Faculty of Engineering, Yokohama National University, 79-5
Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501, Japan

a) maeda@ynu.ac.jp

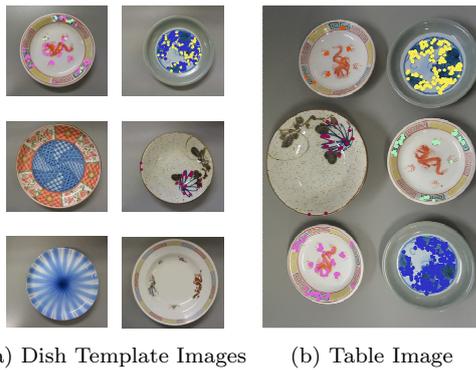


図 1: Dish Recognition

時々の食卓画像 (図 1b) から検出する方法を提案する。本研究では、画像の回転・スケール変化・照明変化・オクルージョンなどに強い局所特徴量として SURF [7] を用いた。各食器画像ごとに食卓画像と特徴点の対応を求め、それを利用して食卓画像中の食器画像の食器の検出を行った。

図 1b は食卓画像の例であり、各食器に分布している点はそれぞれの認識に用いられた SURF 特徴点である。この図は、雷紋の食器が 3 点 (ピンク・薄緑・橙)、グレーの食器が 2 点 (青・黄)、白茶色の食器が 1 点 (赤紫) という認識結果を示している。

この例においては食器認識に成功しているが、本手法は簡易的なものであって、食器特徴点の数や撮影角度の変化などには十分に対応できていない。ただし、食器認識で正しい解が得られない場合は、認識結果を容易に修正できるインタフェースを用意してユーザーに修正してもらうことも考えられる。

4. 食器配置最適化問題

4.1 最適化問題の定義

n 種類の食器を、食洗機の m 箇所の配置場所に配置する問題を考える。食器の種類に $1, \dots, n$, 配置場所に $0, \dots, m-1$ の番号を振る。

食器配置最適化問題の解は、食洗機の m 箇所それぞれに、どの種類の食器を配置するのかわすベクトル z で与えることができる。つまり、解 z は要素数 m で、 j 番目の要素の値 z_j は、配置場所 j に配置する食器の種類番号を示す。なお、配置場所 j にいずれの食器も配置しない場合は $z_j = 0$ とする。

食器の集合 $D = \{0, \dots, n\}$ と配置場所の集合 $P = \{0, \dots, m-1\}$ を定義すると、食器配置最適化問題は、食器 $z_j (j \in P, z_j \in D)$ の組合せが適切となる解 z を求めるという、組合せ最適化問題と定義できる。

4.2 制約条件

制約条件は「対食洗機干渉判定」と「対食器干渉判定」の

両者を満たすものである。前者は食器 z_j が配置場所 j に入るか否かを判定するものであり、後者は配置する食器同士がぶつかり合ってしまうか否かを判定するものである。

4.3 目的関数

食器配置最適化目標は「食洗機を上手く用いるための食器の適切な配置場所」を求めることであり、「上手く」の定義はユーザによって様々であると考えられる。本研究では、「合計配置枚数」と「優先食器枚数」の 2 つの評価指標を目的関数として扱った。前者は食洗機に配置する食器の合計枚数の評価であり、後者は優先して入れたい食器の枚数を評価するものである。

4.4 必要な入力情報

本研究では、食器配置最適化において必要な情報を基本情報・設定情報・食卓情報に大別しまとめた。

基本情報は、食器種類・合計配置場所数・各食器形状・全食器コンフィギュレーションである。全食器コンフィギュレーションとは、各食器が各配置場所に入るか否かの bool 値と、入る場合の食洗機座標系における食器の位置・姿勢情報のことである。基本情報は食器と食洗機によって一意に求めることができる情報である。

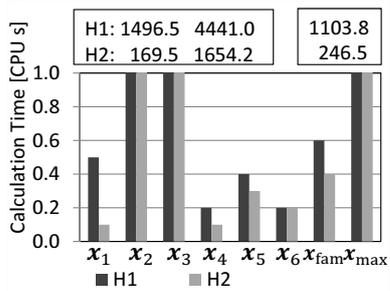
設定情報は、優先食器ベクトル・目的関数ベクトルである。優先食器ベクトルは食器の優先順位を示すベクトルであり、目的関数ベクトルは「合計配置枚数」と「優先食器枚数」のどちらを優先するかを示すベクトルである。設定情報はユーザによって適宜変更することができる情報である。

食卓情報は、食卓にある食器の種類ごとの枚数を示す食卓情報ベクトルのことであり、提案するシステムでは画像による食器認識から得る情報である。この食卓情報は毎回変動する情報である。

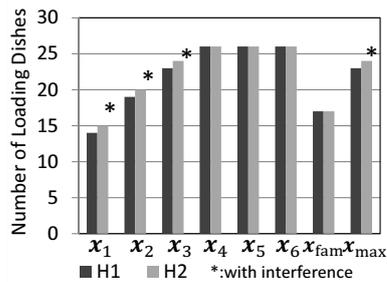
5. 食器配置最適化問題の探索アルゴリズムの提案

本研究では以下の 5 つの探索アルゴリズムを実装した。まず「FULL」は合計配置枚数が多い解から全探索するものである。「SUM」は合計配置枚数を評価関数とするときに使用するもので、「FULL」と同じ列挙順で、制約条件を満たす最初の解が見つかった後、それと等しい合計配置枚数の解の探索を終えたら、以降の探索は行わない。「PRI」は本来、優先食器枚数を評価関数とするときに使用するもので、優先食器枚数が多い解から列挙して、制約条件を満たす最初の解が見つかったら、それと等しい優先食器枚数を含む解までで探索を終了する。以上 3 つの中では「PRI」が最も列挙数が少なく解を得ることができる。

「H1」は一連の配置場所をグルーピングして複数の領域に分け、その領域ごとに「PRI」を用いて探索を行い、全体としての近似解を求める。その際、領域間での食器の干

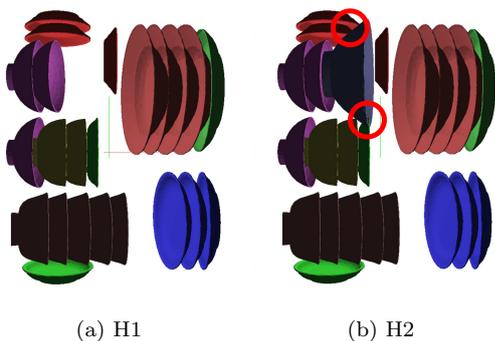


(a) Calculation Time



(b) Number of Loaded Dishes

図 2: Optimization Results



(a) H1

(b) H2



(c) H1 (Loaded)

図 3: Optimized Results

渉をチェックする。「H2」は「H1」と同様の探索方法だが、領域間の干渉をチェックしない。したがって全体で見たとときに実行できない解が導かれてしまうことがあるが、「H1」より早く解を導くことができる。

6. 食器配置最適化問題の検証

6.1 検証環境

食器配置最適化の検証には、配置場所が計 28 箇所ある、パナソニック製の食洗機用カゴ SEP1N4590 を用いた。本研究ではこの食器カゴを、底面が 335[mm] × 440[mm] の段ボール箱に入れて、高さの上限はないものとして検証を行った。食器は 16 種類用いた。また、食器配置最適化には PC (OS: Ubuntu 12.04, CPU: Intel Core i5 CPU 650@3.20GHz) を用いた。

6.2 検証結果

共通の基本情報・設定情報のもと、探索アルゴリズム「H1」と「H2」を用いて、計 8 通りの食卓情報ベクトル x について食器配置最適化を行った。食器の種類は 9~16 種類、食器の合計枚数は 16~61 枚である。図 2a と図 2b は、それぞれの場合の計算時間と、導出した近似解の合計配置枚数のグラフである。また、図 3 は、16 種類・計 61 枚の食器がある食卓情報ベクトル x_{max} のケースについて、食器配置最適化を「H1」または「H2」を用いて行ったときに得られた解である。3D CG モデルで表示した配置結果と、「H1」のときの解通りに実際に食器を配置したときの様子が示されている。なお、この検証の規模の場合、「FULL」「SUM」および「PRI」では計算時間が膨大になってしまい、解を得ることができなかった。

図から分かるように「H2」の方は領域間の干渉がある解を導出してしまふことがあるものの、「H1」より高速に解を求めることができた。「H2」を用いて食器配置最適化を行う場合は、求めた解から干渉している食器を求めて、その食器を削除することができれば干渉のない解を確実に得ることができる。このとき、「H1」より早く実現できる解を導出できる可能性がある。

7. 結論

食洗機における食器の最適配置を提示するシステムの構築を目的として、システムの全体像の提案、画像による簡易的な食器認識手法の提案と検証、食器配置最適化問題の定義および探索アルゴリズムの提案と検証を行った。食器認識に関しては、成功例を示すことができたが、改善すべき点が多く挙げられた。食器配置最適化に関しては、食卓情報ベクトルによっては近似解を数秒で導くことができたが、規模が大きくなると計算時間が非常に長くなってしまっている。今後は、食卓情報に関わらず近似解を短時間で求める探索手法などの提案が必要である。また、「H1」や「H2」で得た解は近似解に過ぎないので、これらを初期解として、ユーザが探索終了させるまで anytime アルゴリズムによってよりよい解を求めることも考えられる。

参考文献

- [1] 林 悠, 鏡 慎吾, 橋本浩一: 食器洗浄作業自動化のための画像計測システム, 計測自動制御学会東北支部第 249 回研究集会講演資料, 249-10 (2009).
- [2] 小菅一弘: 食器洗浄・収納パートナロボット, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 10, p. 1097 (2009).
- [3] 佐藤知正, 門脇啓太, 森 武俊, 杉 正夫, 福井 類: 食器片付けロボットのための画像処理システム—複数手法からの選択・組合せによる食器検出と多様な動作環境対応へのアプローチ—, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2009AC2R1-06 (2009).
- [4] Srinivasa, S. S., Ferguson, D., Helfrich, C. J., Berenson, D., Collet, A., Diankov, R., Gallagher, G., Hollinger, G., Kuffner, J. and Weghe, M. V.: HERB: a home exploring robotic butler, *Autonomous Robots*, Vol. 28, No. 1, pp. 5–20 (2010).
- [5] 太田正輝, 杉山正治, 吉川恒夫: 食器の高さを考慮した 3 本指ロボットハンドによる食器片付け動作の実現, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC3B1-6 (2010).
- [6] 水内郁夫, 藤本純也, 袖山慶直, 山本邦彦, 岡田 慧, 稲葉雅幸: 近接覚・触覚によるなぞり形状推定に基づく多種食器操作キッチンアシストシステムの実現, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 9, pp. 889–898 (2012).
- [7] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. and Gool, L. V.: Speeded-Up Robust Features (SURF), *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 110, No. 3, pp. 346–359 (2008).