

1. はじめに

物体把持は産業用や生活支援のロボットにおいて重要なタスクである。このタスクを解くために、Fast Graspability Evaluation(FGE)[1]が提案されている。FGEは、対象物体領域にハンドモデルの2値画像を畳み込むことにより高速な物体把持を実現している。一方で、高精度に把持位置を検出するにはハンドの回転角度及び開き幅等の状態数を増やす必要がある。状態数が増えると計算コストが増加することになる。そこで本研究では、ハンドテンプレート群に対して特異値分解を適用することで、ハンドテンプレート群をコンパクトに表現し、高速化する手法を提案する。

2. 提案手法

提案手法では、FGEで用いるハンドテンプレート群を2次元の行列で表現し、特異値分解を行うことでハンドテンプレートと物体領域の畳み込み後の画像を近似計算により算出することで、高速な把持位置検出を実現する。

2.1. 特異値分解による固有値テンプレートの算出

ロボットハンドの衝突領域と接触領域それぞれに対して特異値分解を適用するため、衝突領域のハンドテンプレート324枚と接触領域のハンドテンプレート324枚をそれぞれ2次元の行列 M_c, M_t で表現する。行列 $M_c \in \mathbb{R}^{E \times F}, M_t \in \mathbb{R}^{E \times F}$ の各列ベクトルにはベクトル化した324枚のハンドテンプレート $m_c^{(d,\theta)} \in \mathbb{R}^E, m_t^{(d,\theta)} \in \mathbb{R}^E$ で構成される。行列 M_c, M_t に対して特異値分解を適用することで式(1)のようにそれぞれ3つの行列に分解できる。

$$M_c = U_c S_c V_c^T, M_t = U_t S_t V_t^T \quad (1)$$

ここで、 $u_{c_i} \in \mathbb{R}^E, u_{t_i} \in \mathbb{R}^E$ を行列 U_c, U_t の i 番目の列ベクトル、 $\delta_{c_i} \in \mathbb{R}^F, \delta_{t_i} \in \mathbb{R}^F$ を行列 S_c, S_t の i 番目の行ベクトルとすると、ハンドパラメータ (d, θ) のテンプレート $m_c^{(d,\theta)}, m_t^{(d,\theta)}$ は式(2)のように定義できる。

$$m_c^{(d,\theta)} \approx \sum_{i=1}^N \delta_{c_i}(d, \theta) u_{c_i}, m_t^{(d,\theta)} \approx \sum_{i=1}^N \delta_{t_i}(d, \theta) u_{t_i} \quad (2)$$

u_{c_i}, u_{t_i} は2次元のテンプレート画像とみなせるため、ここでは固有値テンプレートと呼び、重み係数となる $\delta_{c_i}, \delta_{t_i}$ を固有関数と呼ぶ。固有関数 $\delta_{c_i}, \delta_{t_i}$ は離散的な値をとる関数で、分解前のロボットハンドのテンプレート枚数分の値を持つ。ここで、行列 S_c, S_t は対角成分に特異値 s_{c_i}, s_{t_i} を持つ対角行列であり、 i が大きくなるにつれて特異値は0に近い値となる。そのため、主要な N 枚の固有値テンプレートと固有関数で元のハンドテンプレートを十分に近似できる。

2.2. 固有値テンプレートによる Graspability の効率的な計算

対象物の画像 O_t, O_c と固有値テンプレート u_{c_i}, u_{t_i} はあらかじめ畳み込みが可能である。これを p_{c_i}, p_{t_i} と定義する。これにより、固有関数の値のみを変化させて p_{c_i}, p_{t_i} との積をとることで、全てのロボットハンドの状態の畳み込み画像を計算することができる。衝突領域または接触領域の畳み込み画像 $C^{(d,\theta)}, T^{(d,\theta)}$ は図1のように効率的に計算することができる。

2.3. 線形補間による固有値テンプレートの高精度化

ハンドパラメータの開き幅を20mmから60mmの間で5mm間隔、回転角度を0°から179°の間で5°間隔で変化させたときを[5mm, 5°]とする。[5mm, 5°]のハンドパラメータでハンドテンプレートを作成した時、特異値分解により得られる固有関数では、分解前のハンドパラメータでしか近似出来ない。そこで、固有関数に対して線形補間

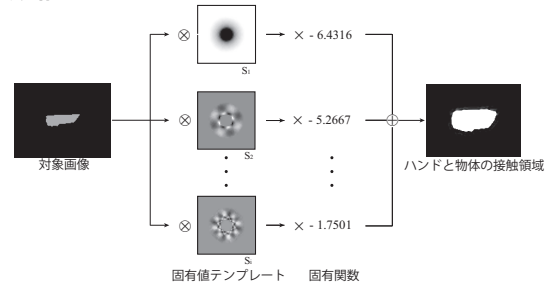


図1: 接触領域の効率的な計算

して[5mm, 5°]のハンドパラメータを[1mm, 1°]まで補間を行うことで高精度化を行う。

3. 評価実験

提案手法の有効性を確認するためにFGEと検出誤差及び処理時間の比較を行う。FGEのハンドパラメータ[1mm, 1°]を基準とし、各ハンドパラメータにおける検出誤差の評価を行う。この時、提案手法は[5mm, 5°]のハンドパラメータで固有値テンプレートを算出し、固有関数に線形補間を行うことで高精度化を行う。従来手法と提案手法の平行ハンドの開き幅を20mmから60mmまで5mm刻み、回転角度を0°から175°まで5°刻みで変化させる。

提案手法とFGEのハンドパラメータを変化させたときの検出誤差を図2、把持位置検出処理時間を図3に示す。図2より、各ハンドパラメータにおける検出誤差は[1mm, 1°]を除き微小。[1mm, 1°]では、線形補間により固有関数を近似したため近似精度が低下したことで誤差が増加したと考えられる。また図3では、提案手法は従来手法に比べ約54%処理時間を短縮できることを確認できた。

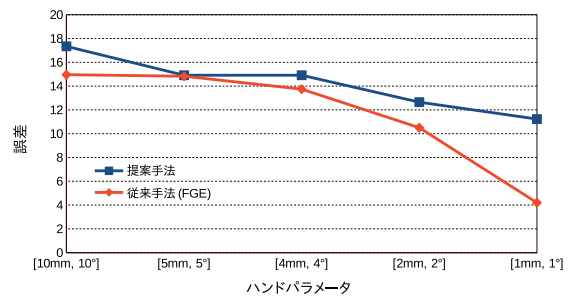


図2: 各ハンドパラメータにおける検出誤差

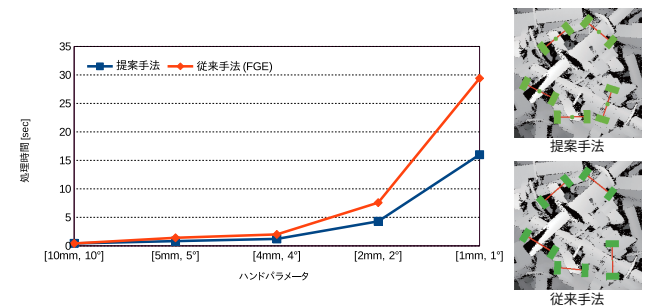


図3: ハンドパラメータの変化による処理時間の比較

4. おわりに

FGEに固有値テンプレート法を導入した高速かつ高精度な物体把持位置検出を提案した。今後はGraspabilityを連続関数を用いて計算することで効率的な把持位置探索と、ロボットマニピュレータを用いた評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Y. Domae, et al., "Fast graspability evaluation on single depth maps for bin picking with general grippers", ICRA, pp.1997-2004, 2014.