

# 動的マニピュレータに対する不確実性分散の拡張についての検討

TD18K001 高谷秀明

## 1 はじめに

マニピュレータがアーム長さのようなパラメータに不確かさを持つ場合、不確かさは手先へと伝播し、その結果手先位置も不確かさを持つようになる。先行研究では手先位置の確率分布の大きさを表す評価関数として不確実性分散 (UV) を設計し、この評価関数を用いてマニピュレータの不確かさ解析や姿勢最適化を行った。

しかし UV は静的マニピュレータに対して定義した評価関数であるため、動的マニピュレータには適用することができないという問題を持つ。この問題を解決するアプローチとして、(A) 動的マニピュレータに対応する既存の評価関数に不確実性分散の性質を取り入れる、(B) 不確実性分散を動的マニピュレータへ拡張する、などが考えられる。

本報告書では、アプローチ (A) として吉川が提案した可操作度に不確かさの影響を取り入れる方法を提案する。可操作度は簡単な式変形で動的な可操作度に拡張することが可能であるため、不確かさを取り入れた可操作度が有効であれば動的マニピュレータへの拡張も可能であると考えられる。手法の提案に加えて、本報告書では 2 リンクマニピュレータに手法を適用した結果を示す。

## 2 静的マニピュレータと可操作度

静的マニピュレータは姿勢  $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^m$  から手先位置  $\mathbf{r} \in \mathbb{R}^n$  を求める関数  $\mathbf{f}$  としてモデル化される。

$$\mathbf{r} = \mathbf{f}(\mathbf{q}). \quad (1)$$

式 (1) の両辺を時刻  $t$  で微分すると、

$$\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}. \quad (2)$$

ここで  $\mathbf{J} = [\partial f_i / \partial q_j]_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n}$  はマニピュレータのヤコビアンである。

式 (2) のマニピュレータに対する可操作度  $M$  は次式で与えられる。

$$M(\mathbf{q}) = \sqrt{\det(\mathbf{J}(\mathbf{q})\mathbf{J}^T(\mathbf{q}))}. \quad (3)$$

可操作度は速度  $|\mathbf{v}| \leq 1$  における手先  $\mathbf{r}$  がなす楕円体の面積に比例する。したがって可操作度が大きい方がマニピュレータの運動性能が高い。 $M = 0$  となる姿勢は特異姿勢と呼ばれ、マニピュレータの関節の動きが急激に大きくなるため避けるべきである。

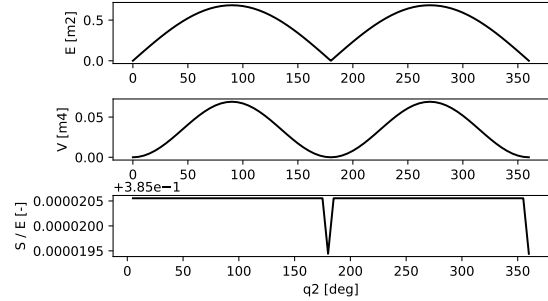


図 1 (I) の場合における拡張可操作度の期待値、分散、標準偏差/期待値

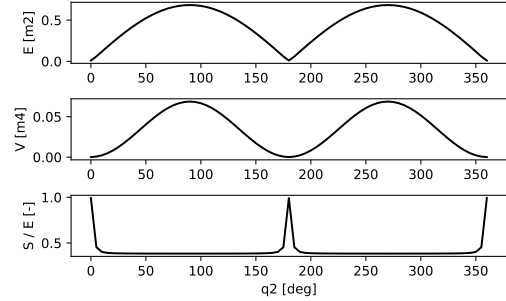


図 2 (II) の場合における拡張可操作度の期待値、分散、標準偏差/期待値

指標  $M$  は姿勢  $\mathbf{q}$  の変化に対する  $\mathbf{r}$  の変化の大きさを表す。可操作度が大きいことはマニピュレータの運動性能が高いことを意味する。

## 3 不確かさを取り入れた可操作度

マニピュレータが確率変数を  $\boldsymbol{\xi} \in \mathbb{R}^l$  で表される不確かさを持つ場合、式 (2) は次式で書き換えられる。

$$\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J}^*(\mathbf{q}, \boldsymbol{\xi})\dot{\mathbf{q}}. \quad (4)$$

ここで  $\mathbf{J}^*$  は不確かさもモデル化したヤコビアンである。このときの可操作度は、

$$M(\mathbf{q}, \boldsymbol{\xi}) = \sqrt{\det(\mathbf{J}^*(\mathbf{q}, \boldsymbol{\xi})\mathbf{J}^{*T}(\mathbf{q}, \boldsymbol{\xi}))}. \quad (5)$$

以下ではこの  $M$  を拡張可操作度と呼ぶことにする。

## 4 拡張可操作度の検証

2 リンクマニピュレータに対して、(I) アームの長さに不確かさがある場合、(II) リンク角度に不確かさがある場合、について計算した拡張可操作度を図 1, 2 に示す。標準偏差/期待値にわずかな差異が生じているが、その他の変化ほとんど確認することができなかった。