

# 汎用ロボットに対する異常検出システムの実現

室蘭工業大学 情報工学科 認知ロボティクス研究室 黒滝 麗子

平成 21 年 2 月 16 日

## 1. 序論

近年、ロボット開発技術の進歩により、ロボットが工場や家庭でも用いられるようになってきた。よって、これからロボットは様々な場所で用いられることが想定される。このことから、ロボットが置かれる状況も多種類想定され、それに応じて、ロボットの異常も多種類存在していることが考えられる。

このようなロボットの異常に対して、実際にデバイスごとに対策がなされている。対策には、タスクが正常に行われているかを検知するセンサの設置などがある。

実際に行われている異常への対策には共通してある流れがある。まず、ロボットが置かれる状況を想定する。そこから起こりうる異常を想定出来る限り挙げていく。そして、その異常を検出できるようなセンサの設置を行い、異常を検出する。異常を想定できるということは、センサデータがどの程度の値であれば異常であるかも想定できるということなので、一定の値の閾値を用いて検出を行っている場合が多い。これが、ロボットが置かれる状況が想定できる場合の対策の流れである。

しかし、これからのロボットは、様々な場所でタスクを行うことが要求される。様々な場所でタスクを行うと、ロボットが置かれる状況も複数存在することになり、状況の想定が困難になる。状況の想定が困難となるのであれば、それに応じてロボットの異常の想定も困難になり、同様に異常検出も困難になるという問題点が生じる。

そこで本研究では、ロボットが置かれる状況が困難な場合であっても異常検出可能なシステムの実現を目的とする。

## 2. ロボットの異常の検出方法

本研究では、過去に蓄積したセンサデータを基にした閾値の設定を統計学的に行うことで異常検出を行う。

異常検出を行うために、まず正常な状態でのデータを取得する。ロボットは通常、自身の状態をセンサデータから把握する。よって、このセンサデータから情報を取得し、正常と異常の判断を行う。判断を行うために、タスクを複数回を行い、正常な状態でのデータを取得する。その測定したデータから平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  を算出し、 $\mu$  と  $\sigma$  を基に正常な範囲と異常な範囲を設定することで、正常と異常の判断を行うシステムを実現する。

本研究では異常を判断するためのセンサデータとして、負荷と角度を使用する。また、静止状態での異常検出と動的状態の 2 つの場合について異常検出の検証を行っている。静止状態では、ロボットの姿勢に関する異常の検出を行い、動的状態では、ロボットにタスクを与え、タスク内

での単位時間毎の異常検出を行っている。システムの動作内容を図 1 に示す。

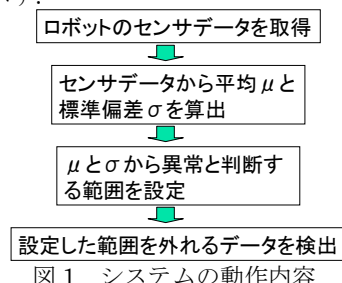


図 1 システムの動作内容

## 3. 異常を判断する範囲

異常を判断する範囲の設定には、過去のデータから平均  $\mu$ 、標準偏差  $\sigma$ 、相関係数  $\rho$  を用いて設定を行う。範囲は、静止状態では 1 次元正規分布を使用し、動的状態では 2 次元正規分布を使用した。本発表では、動的状態に対する異常検出について発表するため、2 次元正規分布について述べる。2 次元正規分布での確率密度関数(データの密度を表す関数)の等高線は式(1)で求められる。[1][2]

$$f_k(x,y) = \frac{(x-\mu_x)^2}{(k\sigma_x)^2} + \frac{(y-\mu_y)^2}{(k\sigma_y)^2} - \frac{2\rho_{xy}(x-\mu_x)(y-\mu_y)}{k^2\sigma_x\sigma_y} \quad (1)$$

$f_k(x,y)=1$  の時、図 2 に示すような平均を中心とした楕円の形となる。図 2 より、青い楕円は式(1)で  $k=1$  の場合である。このとき、楕円内にあるデータの割合は全体から比べて 68.27% 存在している。同様に  $k=2$  の場合は 95.45%、 $k=3$  の場合には 99.73% のデータが楕円内に存在している。

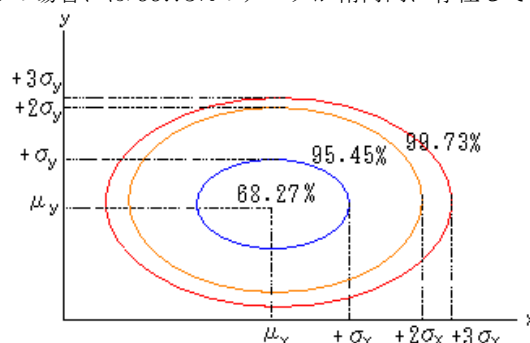


図 2 2次元正規分布におけるデータの分布の割合

## 4. 異常を判断する範囲との比較

2次元正規分布を用いる場合、入力されたセンサデータが図 2 の楕円内に存在しているかどうかで異常検出を行う。入力データが楕円上もしくは楕円内に存在する場合、正常と判断し、楕円外に存在する場合異常と判断する。その判断には以下の条件を用いる。入力データが楕円上もしくは楕円内に存在する場合は、

$$f_k(x,y) \leq 1$$

となり、楕円外に存在する場合は

$$f_k(x, y) > 1$$

となる。

## 5.実験

動的状態の異常検出について述べる。ロボットが荷物を上げ下げするタスクでの単位時間毎の異常検出を行う。タスクを複数回行い、単位時間毎でのロボットのサーボの負荷と角度を測定する。この動作を複数回行い、取得したセンサデータから平均、 $\mu$ 、標準偏差 $\sigma$ 、相関係数 $\rho$ を算出する。算出した結果を図3及び図4に示す。

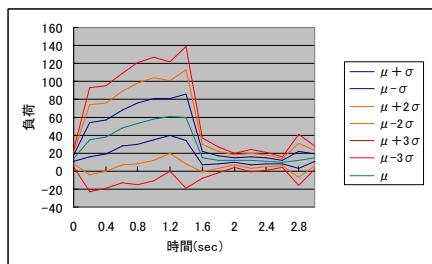


図3 負荷の平均 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ の関係

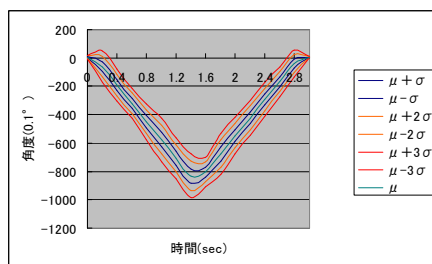


図4 角度の平均 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ の関係

算出した $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $\rho$ から式(1)を求め、異常を判断する範囲を算出する。その後 $\mu$ や $\sigma$ を算出したタスクと同じタスクを行い、異常を検出できるか検証を行う。実験では、正常にタスクを行った場合(図5)と意図的にタスクを妨害した場合(図6)について比較を行っている。タスクの妨害方法は、ロボットがタスクを行っている最中にロボットの腕を押さえるという方法である。妨害を行った時間はタスク内での0.6秒~1.0秒である。比較はそれぞれ5回のタスクと行っている。本実験では、式(1)の $k$ の値が1及び2, 3の場合と比較して検証を行っている。式(1)の $x$ と $y$ にはそれぞれ負荷のデータと角度のデータを用いる。

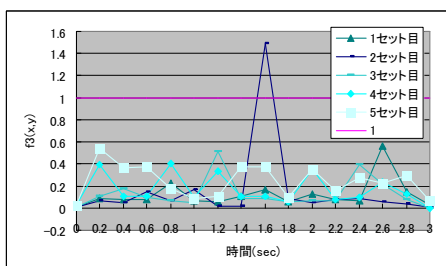


図5  $k=3$  の場合の比較結果(妨害無し)

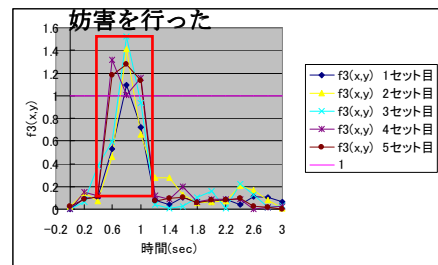


図6  $k=3$  の場合の比較結果(妨害有り)

図5より、5セット合計で得られたデータ数80に対し、正常と判断したデータは79であった。正常と判断したデータの割合は全体のうち98.75%である。式(1)において $k=3$ の場合の楕円には全体のうち99.73%のデータが含まれている。この理論値と実測値との差は0.98%となった。また、タスクの妨害を行っていない1.6秒の時点で異常を検出している。

タスクの妨害を行った実験結果について、図6より妨害を行った0.6秒~1.0秒に着目する。 $f_3(x,y)$ の値は1を超えているので異常と判断している部分がある。しかし、1, 2, 3セット目の0.6秒と1.0秒に着目すると、タスクを妨害しているのにも関わらず誤差範囲内であると、異常ではないという判断をしている。

## 6.考察

動的なタスクに対する異常について、平均、標準偏差、相関係数を用いることによって、異常の検出が出来ることがわかった。このことから、ロボットのセンサデータから統計学的な異常の検出を行うことが出来ると考える。

また、タスクを妨害していない場合のセンサデータを異常と判断してしまうことや、タスクを妨害している時点のデータを誤差範囲内と判断してしまう場合があった。このことから、異常検出を行う際には式(1)で適切な $k$ の値を設定する必要があると考える。

## 7.結論

本発表では、様々な場所でタスクを行う汎用ロボットの異常検出について着目し、実験、考察を行った。実験は、ロボットの静止状態と動的状態の2種類を行った。結果、両方の場合について統計学的に異常を検出することが可能であることを確認した。

## 参考文献

[1] 杉山 将, 確率統計 多次元の確率分布(第7章)

参考 URL:

<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/>

[2] 柴田 義貞, 正規分布,

参考 URL:

<http://www.thinkto.co.jp/common/img/E4.pdf>