

複合センサを用いた遠隔監視装置の開発

機械システム科 科長 田口 喜 祥

機械装置、移動ロボット、農業用ロボットなどの動作異常を離れた場所で把握したいという要望がある。従来このような要望に対して、TVカメラの映像による異常判別や、センサでの計測値を基にした異常判別が行なわれていた。一方、人間が機械装置の異常を調べる場合は、目視による観察と同時に作動音や振動などにも気を配り、総合的に判断して異常診断を行っている。そこで本研究では、画像情報と複数のセンサ信号の情報を複合して処理することで異常を検出する遠隔監視装置の開発を行った。実証試験の結果、有効性を確認した。

1. 諸 言

NC工作機械、天井クレーン、移動ロボット、農業用ロボットなど、常時人間が監視することが難しい機械装置が正常に動作しているかを把握したいという要望がある。このような要望を実現する手段としてTVカメラの映像を用いる手法や、特定のセンサを用いて現象を観察する手法が知られている。画像から異常を検出する手法としては、大津により提案された高次自己相関(High order local autocorrelation、以下HLACと記す)特徴^[1]や、これを動画像に対応できるように拡張した立体高次局所自己相関(Cubic higher order local autocorrelation、以下CHLACと記す)特徴^[2]と部分空間法を組み合わせた異常検出法が多く使用され、成果を上げている。

一方、人間が機械装置の異常を調べる場合、目視による観察と同時に機械の作動音や振動などを観察し、総合的に判断して装置が正常に動作していることを確認している。

そこで本研究では、画像情報と同時にセンサ信号からの情報を取得し、コンピュータにより複合処理を行うことで異常を検出し、携帯電話やスマートフォンに通知を行うことで、異常を遠隔地で検出可能な遠隔監視装置の開発を行うことを目的とする。そのために、平成22年度は、複合センサを用いた遠隔監視装置の基本となる画像からの特徴量の抽出と異常検出を行うプログラムの開発を行った。平成23年度は、各種センサを複合して処理する装置を開発するために必要な複合処理プログラムの開発を行った。また、開発したプログラムを、画像と距離画像を同時に取得できるKinectセンサ^[3]に応用した。Kinectセンサは、もともとはゲーム機用のモーションセンサとして発売されたが、リアルタイムで画像と距離画像を取得可能であり、安価に入手できるため、認識用センサやロボット用センサとして応用するための研究が数多くなされている^{[4] - [6]}。

平成24年度は、複合センサを用いた遠隔監視装置のデモ装置を製作するとともに、県内企業の要望に合わせた改良を行い、実証試験を行った。

2. システム構成

開発する遠隔監視装置のシステム構成を図1に示す。画像はTVカメラで取得し、センサ信号はワンチップコンピュータなどで構成された信号処理装置で前処理を行った後、パソコンへ送られる。パソコンではTVカメラで取得した画像から特徴量を抽出し、信号処理装置から得られたセンサ信号の特徴量と複合して処理することで異常を検出する。異常を検出した場合は、スマートフォンや携帯電話に電子メールなどで通知する。

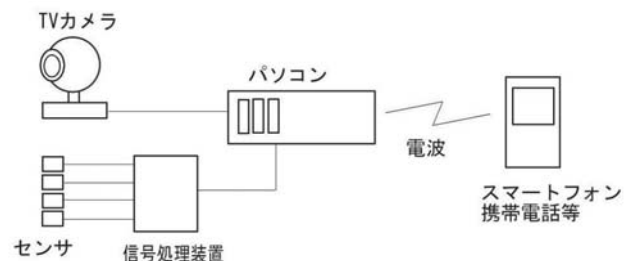


図1 遠隔監視装置のシステム構成

このような監視装置を開発するために、以下に示す3種類の異常検出プログラムを開発した。

- 1) 画像からの異常検出
- 2) 画像と距離画像からの異常検出
- 3) 画像とセンサ信号からの異常検出

それぞれについて以下に詳しく記術する。

2.1 画像からの異常検出

初めに、画像から異常を検出するプログラムについて

て検討を行った。検討の結果、汎用性の高さから大津により開発されたHLAC^[1]を用いて画像から特徴点を抽出し、HLACの特徴ベクトルと部分空間法を組み合わせ異常を検出するプログラムを開発することにした。取得した画像を差分処理した後、ラプラシアンフィルタやCANNYフィルタにより境界抽出を行い、その後二値化処理をして、得られた二値画像からHLAC特徴を求めた。HLAC特徴は図2に示す25個の画像マスク^[1]を用いて25次元のベクトルを抽出することで取得する。25次元の特徴ベクトルを取得後、統計的手法により判別関数^[7]を導出して異常の検出を行った。

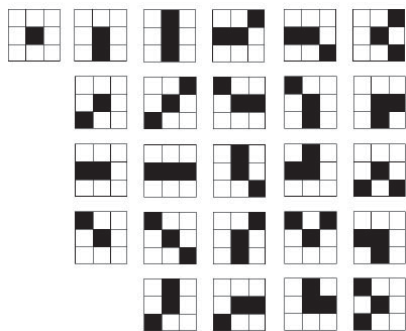


図2 二値化画像に対するマスクパターン

HLACで取得する特徴量は、図2に示した3×3ピクセルの画像マスクにより取得するが、画像のサイズによってはテクスチャ情報による判定のみが実施され、形態情報が十分に反映されない可能性が考えられる。そこで、画像ピラミッド^[8]の手法を用いて解像度が異なる3枚の画像からHLACを用いてそれぞれ25次元の特徴ベクトルを抽出し、合計75次元のベクトルにより判定を行うこととした。このときの画像の画素数はそれぞれ640×480、320×240、160×120とした。教師画像から画像ピラミッドとHLAC特徴を75次元のベクトルとして抽出し、部分空間法により教師画像との違いを異常の評価指標として検出した。また、同様に動画に対応したCHLAC^[2]を用いて251次元の特徴ベクトルを抽出し異常を検出するプログラムの試作を行った。

2.2 画像と距離画像からの異常検出

平成22年11月にマイクロソフト社から発売されたKinectセンサ^[3]は、もともとはゲーム機用のモーションセンサであるが、リアルタイムで画像と距離画像を取得可能であるうえ、安価に入手できるため、認識用センサやロボット用センサとして使用するための研究が数多くなされている^{[4] - [6]}。そこで、開発していた画像から異常を検出するプログラムを、画像と距離画

像を同時に取得できるKinectセンサに適用する試みを行った。Kinectセンサで取得した画像(画素数: 640×480)および距離画像(画素数: 640×480)は、USB2.0でパソコンに送られる。パソコンでは画像および距離画像を複合処理し、異常と判断したらその時点での画像を記録し、あらかじめ設定しておいたスマートフォンや携帯電話へ通知を行う。試作した監視装置システムの概要を図3に示す。

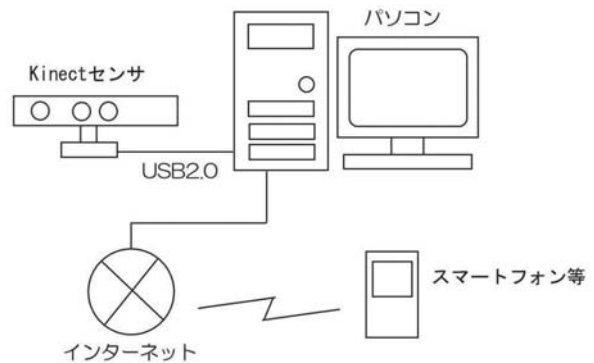


図3 Kinectセンサを用いた監視装置

画像のみを用いて異常を検出する場合、背景画像の影響や明るさの変化による影響を受ける可能性が高い。しかし、距離画像を用いれば、これらの影響を受けずに対象物を抽出することが可能になると考えられる。ただし、距離画像のみでは監視対象の形状情報の取得は可能であるが、表面のテクスチャ情報を取得することができない。そこで、画像と距離画像の双方から特徴を抽出し、異常を監視する複合処理プログラムを製作することとした。

開発当初、画像と距離画像双方からCHLACを用いてそれぞれ251次元の特徴ベクトルを抽出し、合計502次元の特徴ベクトルから異常の監視を行えないか試みた。しかし、502次元の特徴ベクトル処理に要する計算量が膨大となり、リアルタイムでの監視を実現するには至らなかった。そこで、動作に関連する情報は距離画像のみからでも取得可能であると考え、距離画像からCHLACを用いて251次元の特徴ベクトルを抽出し、画像は静止画として処理しHLACを用いて25次元の特徴ベクトルを抽出して処理することとした。まず、Kinectセンサから取得した画像、距離画像を縮小処理した後、それぞれ差分を求め、二値化処理後、CHLAC特徴とHLAC特徴に基づく276(251+25)次元の特徴ベクトルを求める。取得した特徴ベクトルを用いて通常動作の部分空間を求めるために主成分分析を行い、直交補空間への射影成分の距離を算出し異常であ

るかどうかの指標にした^[7]。開発した画像と距離画像から異常を検出するプログラムのフローチャートを図4に示す。

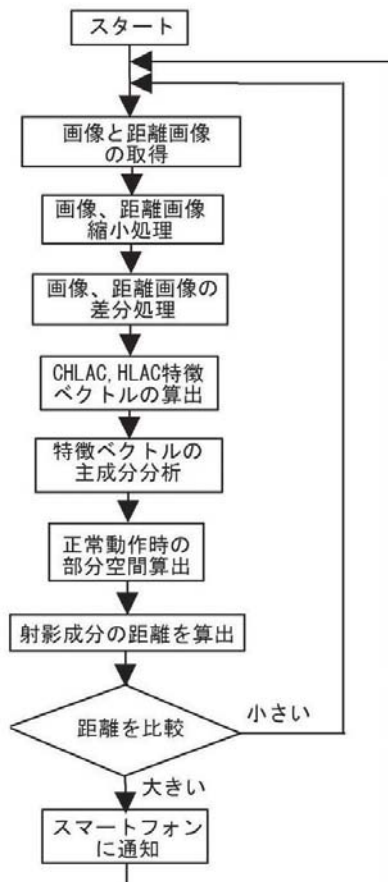


図4 画像と距離画像による異常検出

2.3 画像とセンサ信号を用いた異常検出

画像とセンサ信号を用いて異常検出する場合は、TVカメラの他に各種センサで取得したデータを前処理する信号処理装置を用いる。信号処理装置とパソコンはイーサネット接続し、データの授受を行うことが可能となっている。また、インターネットにも接続が可能であり、監視対象である機械装置の異常を検出し、事前に設定されているアドレスへ警告メールを通知することができる。

信号処理装置は、オープンソース、オープンハードウェアのマイコンボードであるArduino^[9]を用いて開発した。Arduinoには、イーサネットに接続するための拡張基板であるEther Shieldが発売されており、無償ライブラリも用意されている。イーサネットを用いてパソコンにセンサ情報を効率的に送るために、信号処理装置では、各種センサで取得したデータから特徴ベクトルを抽出するなどの前処理を行う。

前処理の一例として、電流の計測について記述する。

電流の計測はカレントトランス(以下CTと記す)からの出力をオペアンプでレベル変換した後、信号処理装置のAD変換器で読み込むことで行う。交流モータの電流を計測したときの信号例を図5に示す。

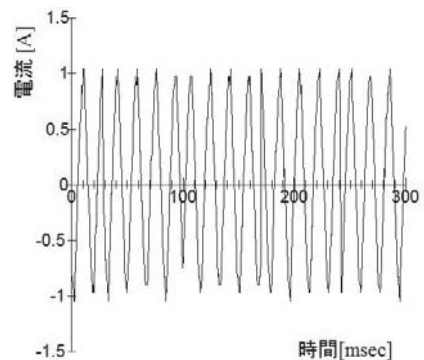


図5 電流信号の例

CTを用いて計測した電流信号はノイズの影響などにより変動があり、そのまま特徴ベクトルとして使うことは難しい。そこで、信号の絶対値を1秒間積算処理した積算値を特徴ベクトルとして用いることを考えた。図6に計測した積算値とクランプ電流計での実測電流との相関結果を示す。最少二乗法を用いて1次関数で近似したところ、積算値と実測電流の寄与率は99.96%と十分高かったので、積算値を電流の特徴ベクトルとして用いることとした。

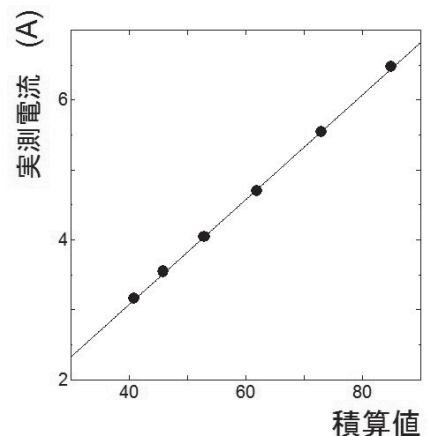


図6 積算値と実測電流の相関

3. 実験

複合センサを用いた遠隔監視装置として、画像と距離画像を複合して処理するKinectセンサを用いた監視装置と画像とセンサ信号を複合して処理する監視装置を試作した。装置の有効性を確認するためにそれぞれの監視装置で実験を行った。実験の結果を以下に記述する。

3.1 Kinectセンサを用いた監視

Kinectセンサを用いた監視装置を評価するために、入室管理を対象とした実験を実施した。部屋のドア部分の画像および距離画像を、Kinectセンサを用いた監視装置で取得し入退出の監視を行った。ほとんど人の入退出がない状態で装置を動かすことで入退出がない状態を正常値として記憶させ、入退出があった場合電子メールで通知を行わせた。監視中の画像および距離画像の例を図7に示す。



(a)監視画像



(b)監視距離画像

図7 Kinectセンサによる監視画像の例

監視中に取得した特徴ベクトルのヒストグラムを図8に示す。なお、図8では縦軸に特徴ベクトル、横軸に時間、濃度で頻度を表している。距離画像から取得したCHLAC特徴のヒストグラムに変動が多いのは、測定対象物の境界で発生する距離画像のノイズ成分の影響であると考えられる。これらの特徴ベクトルを基に異常の検出を行った結果を図9に示す。ここでは、事前に設定した閾値を超えた場合に入退室があったと判断している。画像のみの監視装置では、監視が難しいとされている明るさの変化が大きい環境での評価を行った。明るさの変化が激しいと考えられる日没前1時間から3時間の監視を行わせた結果、開発した装置では入退出の回数を間違いなく監視できた。

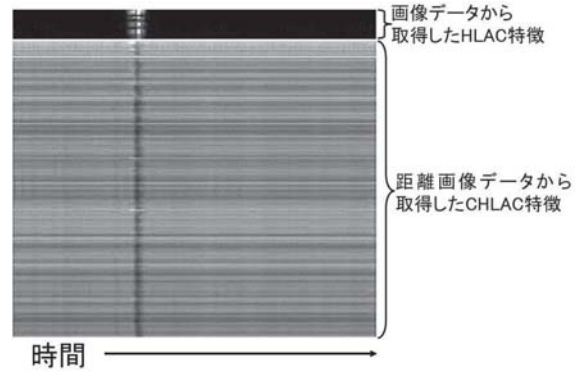


図8 特徴ベクトルのヒストグラム



図9 異常検出結果

3.2 画像とセンサ信号の複合監視

開発した装置の有効性を確認するために卓上ボール盤の監視を行うデモ装置を試作し実験を行った。試作した監視システムデモ装置の写真を図10に示す。穴あけ作業を繰り返し行い、正常動作時の画像および電流値の特徴ベクトルから通常動作の部分空間を求めた。監視プログラムの動作画面を図11に示す。実験の結果、卓上ボール盤の過負荷などの異常を検出し通知を行えることを確認した。

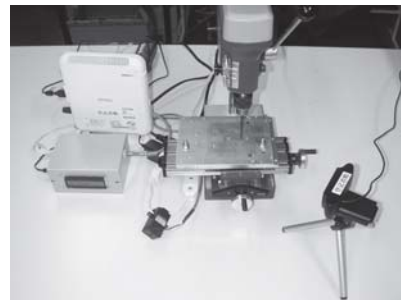


図10 試作監視システム



図11 監視プログラム動作画面

4. 実証試験

試作した遠隔監視システムデモ装置で有効性が確認できたので、実際の工場で使用されている機械に対して効果があるか確認するための実証試験を実施した。実証試験として県内企業で使用しているNC工作機械の監視を行った。監視対象のNC工作機械の写真を図12に示す。



図12 NC工作機械での実証試験

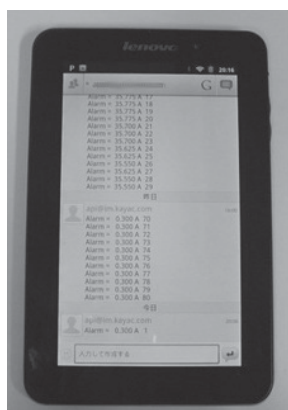


図13 タブレット端末での監視

実証試験を行うための打ち合わせの結果、試作していた監視装置を基に以下に示す機能を満足するための改良を行うこととなった。

- 1) 装置を安価にするため、センサ信号のみで監視を行う。
- 2) 異常の通知はGoogle talkにより行う。
- 3) 異常状態の緊急度を分けて通知する。
- 4) 一定時間以上異常状態を検出したら機械を停止する。

上記機能を搭載した遠隔監視装置をNC工作機械に取り付け、実証試験を行った。タブレット端末で異常通知を受けたときの画面例を図13に示す。

約6箇月の実証試験の結果、開発した装置によりNCプログラムのミスによる過負荷、工具摩耗による過負荷、NCプログラムの終了などを遠隔監視できることを確認した。

5. 結言

複数のセンサ信号を複合処理することで異常を自動検出してスマートフォンなどへ通知を行う複合センサを用いた遠隔監視装置を開発した。Kinectセンサを用いることで画像と距離画像により監視を行う遠隔監視装置と、画像とセンサ信号を複合処理して監視する遠隔監視装置を試作した。試作した監視装置をもとに、現場の要望に合わせた改良を実施した。約6箇月間の実証試験を行い有効性を確認した。今後、開発した装置を使用する現場に合わせて改良し、多くの県内企業の要望に沿った遠隔監視装置を提案していきたい。

文献

- [1] 大津, "パターン認識における特徴抽出に関する数理的研究", 電子技術総合研究所研究報告, pp.31-45, 1998.
- [2] 南里, 大津, "複数人動画像からの異常動作検出", 情報処論, 46(SIG_15(CVIM_12)), pp.43-50, 2005.
- [3] 川西, "Kinect for Windows SDK beta 概要", http://download.microsoft.com/download/0/7/5/07571244-F612-4936-8D0F-E6EE2839C7AE/20110711TF_UX_hiroyuk.PDF, Accessed 2011.
- [4] 栗原, 岡部, 尾内, "Kinectセンサを用いた物探し支援システムの試作", Proceedings of WISS2011, 2011.
- [5] L. Xia, C.-C. Chen, and J. K. Aggarwal, "Human Detection Using Depth Information by Kinect", Proceedings of HAU3D, pp.15-22, 2011.
- [6] 鄭, 石橋, 倉爪, 岩下, 長谷川, "4台のKinectを搭載した全方向計測ロボットによる環境計測", Proceedings of RSJ2011, 103-4, 2011.
- [7] 田中, 垂水, 脇本: パソコン統計解析ハンドブック2多変量解析編, 共立出版ISBN4-320-01331-X, 1984.
- [8] N.Nomoto, Y.Shinohara, T.Shiraki, T.Kobayashi, N.Otsu: A New Scheme for Image Recognition Using Higher-Order Local Autocorrelation and Factor Analyssis, MVA2005 IAPR, pp16-18, 2005.
- [9] <http://www.arduino.cc/>, Accessed 2010.