

機械装置知的遠隔監視装置の開発

機械システム科 科 長 田 口 喜 祥

県内中小製造業では、生産性を上げるため多くの機械装置を長時間稼働させたいという要望がある。特に、NC 工作機械を用いて機械加工を行っている企業では、工作機械の稼働状況、工具摩耗や交換時期、不具合の発生を遠隔監視して早急に対策を行いたいとの要望が強い。これまでは、複数の機械装置を担当者が個別に確認し、対策を行っていたが、ICT の技術を応用することで、複数の機械装置の状況を遠隔監視する装置開発が可能である。そこで、本研究では、既存の NC 工作機械に後付け可能な装置を用いて、工作機械の状態をセンサにより計測し、センサ情報の履歴を解析することで、工具交換時期などを予測する知的遠隔監視装置の開発を行うことを目的とする。

1. 緒 言

県内中小製造業では、生産性を上げるため多くの機械装置を長時間稼働させたいという要望がある。特に、NC 工作機械を使用している企業では、少人数で複数の NC 工作機械を動かすことにより生産効率を上げることが可能であるため、工作機械の稼働状況、工具摩耗や交換時期、不具合の発生を遠隔監視し対策を行いたいとの要望が強い。

近年、工作機械を対象として品質工学の一手法である MT 法 (Mahalanobis-Taguchi Method) を用いてオンラインで取得したセンサ情報を基に、機械装置の寿命を予測することが試みられている^[1]。この手法は有望であるが、既存の工作機械に用いる場合、複数のセンサ装置を取り付け、取り付けた工作機械に対応した解析をすることが求められる。

そこで、本研究では、県内企業が保有している既存の NC 工作機械に、追加設置可能なセンサユニットを工場内に設置し、センサユニットからの情報を集計するサーバユニットを試作し、複数のセンサユニットから収集した情報から工具交換時期などを予測することを特徴とする知的遠隔監視装置の開発を行うことを目的とする。

このような知的遠隔監視装置を開発するために、平成25年度は、複数のセンサ情報を収集するための多チャンネルセンサユニットを試作した。平成26年度は、多チャンネルセンサユニットのデータを収集し管理するサーバユニットの試作を行った。平成27年度は、センサユニット、サーバユニットで構成される知的遠隔監視装置を用いて、機械装置から集めたデータを時系列と共に記録し、工具交換時期の予測を行うプログラム開発を行った。また、実験により有効性を確認にした。

2. システム構成

開発する知的遠隔監視装置のシステム構成を図1に示す。各種センサで取得する信号はコンピュータボードとセンサ処理回路で構成されたセンサユニットで取得し、Ethernetによりサーバユニットに送られる。サーバユニットではデータ収集、保存、メール送信などを行うサーバプログラムを起動しており、複数のセンサユニットで取得した各種データの管理を行う。また、距離画像センサやTVカメラなどの画像センサはサーバユニットに直接接続されており、センサユニットから送られてきたセンサデータと複合して処理を行うことで異常の発生を予測し、メールなどで通知する。

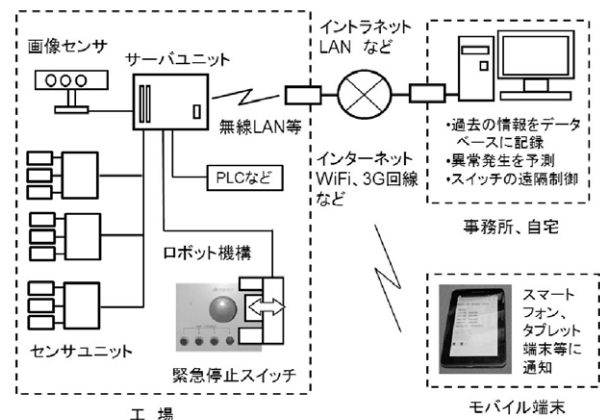


図1 知的監視装置のシステム構成

さらに、収集したデータから機械装置を緊急停止させる必要があると判断した場合は、メールなどで通知を行うと共に、サーバユニットから直接もしくはセンサユニットを介して機械装置の制御を行うプログラマブルロジックコントローラ (Programmable Logic Controller、通称シーケンサと呼ばれる。以下PLCと記

す。)や機械装置のスイッチを動かすロボット機構へ緊急停止信号を送信する機能を有する。

3. センサユニット

回線使用コストを考えると、センサユニット自体で取得したセンサ情報を事前に処理し、情報量を減らすことが求められる。また、安価なコンピュータボードを使用する場合、演算速度やAD変換器のサンプリング速度が問題となり、多チャンネルでのセンサ情報を処理することは難しい。

そこで、試作するセンサユニットは、電流波形なども計測するために高速なサンプリング周波数に対応する高速センサユニットと複数個所のデータを同時に収集することを想定し、安価なコンピュータボードを用いて複数チャンネルへの対応を可能にした多チャンネルセンサユニットの2種類を開発した。

高速センサユニットは、センサ信号を増幅した後、すぐにコンピュータボードでAD変換を行い、その後の処理は全てデジタル演算処理で行った。

一方、多チャンネルセンサユニットは、全ての処理をコンピュータボードによるデジタル処理で行うのではなく、一部の信号処理をアナログ演算回路で実現することで、低機能なコンピュータボードでも多チャンネルのセンサ情報を同時に取得することを試みた。さらに、アナログ演算回路を設計するとき問題となる、使用する部品のばらつきや使用時間による性能変化に対応するため、品質工学の手法^[2]を導入して多チャンネルセンサユニットを開発した。

一例として、工作機械の主軸電流を計測する多チャンネルセンサユニットの設計手法について述べる。このユニットはクランプ式のCT電流センサで取得した電流信号をアナログ演算回路により増幅、絶対値への変換、平滑化した後、コンピュータボードのAD変換器で読み込み、平均電流と相関がある積算値を算出する。

表1に示すアナログ演算回路の設計パラメータである抵抗値、コンデンサの容量などを制御因子とし、表2に示すアナログ演算回路で問題となる外乱ノイズを誤差因子として、L18直交表を用いて図2の要因効果図を作成した。

要因効果図を基にアナログ演算回路を設計し、平均電流と相関がある積算値を算出し、クランプ電流計で計測した値との相関について調べた。実際に流れている電流をセンサユニットとクランプ電流計で計測し、センサユニットで取得した平均電流と相関があると考えられる積算値とクランプ電流計で計測した電流値の

相関を調べた。相関図を図3に示す。積算値とクランプ

表1. 制御因子

| | 1 | 2 | 3 |
|--------|---|---|---|
| 負荷抵抗位置 | A | B | - |
| ケーブル長 | 小 | 中 | 大 |
| 抵抗1 | 小 | 中 | 大 |
| 抵抗2 | 小 | 中 | 大 |
| 抵抗3 | 小 | 中 | 大 |
| 抵抗4 | 小 | 中 | 大 |
| コンデンサ1 | 小 | 中 | 大 |
| 処理手法 | A | B | C |

表2. 誤差因子

| | |
|------|------|
| 最良条件 | ノイズ無 |
| 最悪条件 | ノイズ有 |

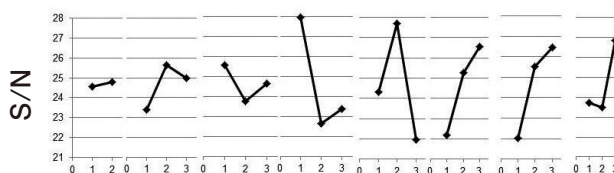


表1に基づく制御因子

図2. 要因効果図

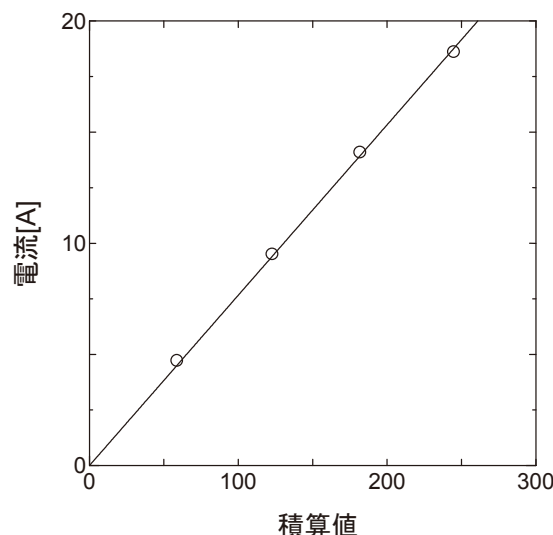


図3. 積算値と電流の相関図

電流計で計測した電流値について回帰分析を行ったところ、決定係数 R^2 は0.999であり、開発した多チャンネルセンサユニットを用いて、電流を計測可能であることが明らかとなった。

4. ロボット機構

監視を行っている機械装置の不具合を検出した場合、緊急性を伴わない不具合であれば電子メールなどでの通知で十分であるが、過負荷や異常温度上昇など緊急性を伴う異常を検出した場合は、直ちに機械装置を停止するなどの処理を行うことが必要になる。通常の機械装置はPLCにより制御されているため、PLCに、外部からの信号により機械装置を停止する機能が有る場合は、監視装置からこの機能を用いること機械装置を停止することが可能となる。

しかし、PLCに外部からの信号により機械装置を停止する機能が無い、PLCへのユーザーからのアクセスが禁止されている、もしくはPLCに関する情報が得られない場合は、この方法により機械装置を制御することは難しい。

一方、ほとんどの機械装置は緊急時に手動により装置を強制停止させるためのエマージェンシースイッチやブレイカースイッチなどが取り付けられている。そこで、監視装置からの信号によりエマージェンシースイッチやブレイカースイッチの操作を行うロボット機構を開発することで、緊急停止動作を実現することとした。

開発したロボット機構は、スライドスイッチの操作を想定したスライドロボット機構と、押しボタンスイッチの操作を想定した押しボタンロボット機構の2種類である。試作したスライドロボット機構の写真を図4に、ブレイカースイッチにスライドロボット機構を取り付けたときの写真を図5に示す。



図4 スライドロボット機構



図5 スライドロボット機構(取り付け時)

スライドロボット機構を、ブレイカースイッチなどに取り付けることで、機械的にブレイカースイッチの制御を行うことが可能となる。今回、スライドロボット機構で使用したアクチュエータは、自動車のドアロック用スライド型アクチュエータで、電源電圧DC12V、消費電流4Aでストローク22mmのものを2セット用いた。スライドロボット機構の制御はワンボードコンピュータとモータードライバICを用いて試作した。

一方、押しボタンスイッチを想定した押しボタンロボット機構の試作も同様に行った。試作した押しボタンロボット機構の写真を図6に、取り付けたときの写真を図7に示す。

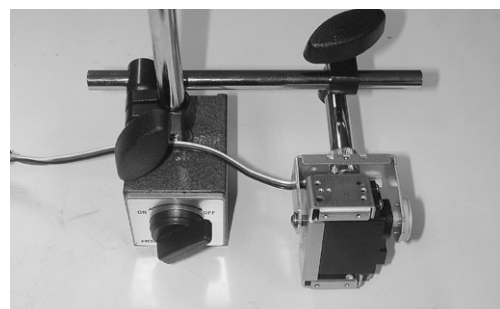


図6 押しボタンロボット機構



図7 押しボタンロボット機構(取り付け時)

今回、押しボタンロボット機構のアクチュエータとして、ラジコン用のサーボモータを利用した。ラジコン用のサーボモータは、数多くの種類が市販されており、大きさ、トルク、速度を対象とするスイッチに合わせて選定することが容易である。また、比較的安価で入手性も良いという特徴がある。今回は、コストを考慮し、ラジコン用サーボモータ1個で押しボタンスイッチを操作することとした。マグネットクランプにラジコン用サーボモータを取り付け、ラジコン用サーボモータの回転運動により押しボタンを作動させることとした。また、ラジコン用サーボモータの制御はワンボードコンピュータを用いてパルス信号を生成することで行った。

5. サーバユニット

サーバユニットは、複数設置されたセンサユニットからの情報を収集する機能、距離画像センサや画像センサから情報を読み取る機能、各種センサから送られてきたデータを基に特徴量を検出し複合処理して不具合予測を行う機能、不具合予測の結果をスマートフォンや携帯電話などに通知する機能が求められる。今回は、距離画像センサ (Microsoft Kinect v1^[3]) のデータを処理可能な Windows7 32bit Home Premium を OS として用いるサーバユニット1と、Webカメラのみに対応する安価な Raspberry Pi B+ マイコンボード^[4] を用いたサーバユニット2の2種類を試作した。試作したそれぞれのサーバユニット仕様を表3に示す。

表3 試作サーバユニットの仕様

| | サーバユニット1 | サーバユニット2 |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|
| CPU | Intel Core i7 950 3.06GHz | ARM1176JZF-S 700 MHz |
| OS | Windows7 32bit Home Premium | Raspbian |
| 画像センサ | Kinect V1 Webカメラ | Webカメラ |
| 緊急停止信号の出力方法 | センサユニット 経由で出力 | センサユニット 経由および GPIO 出力端子 |

サーバユニット1の写真を図8に示す。サーバユニット1はEPSON製パソコンEndeavor NP25S にWeb、メール、FTPなどのサーバソフトをインストールすることで構築している。



図8 サーバユニット1 (Windowsコンピュータ)

一方、サーバユニット2は、安価な Raspberry Pi B+

マイコンボードを用いた。距離画像センサの接続はできないが、電気信号を出力可能なGPIO端子を搭載しているという特徴がある。そのため、直接緊急停止信号をGPIOから出力することが可能であり、機械装置の制御を行っているPLCに制御信号を直接送信できるという利点がある。

なお、Raspberry Pi B+マイコンボードは、電源切断時には、シャットダウンコマンドを実行しOSを停止した後に電源を切断しなければ、SDカードのデータが壊れて起動できなくなる場合がある。このような不具合を防ぐために、Raspberry Pi B+マイコンボードの電源をワンチップマイコン (Microchip社製 pic12F675) により制御する電源制御装置を製作して対策した。

試作した電源監視装置の構成を図9に、電源監視装置を組み込んだサーバユニット2の写真を図10に示す。電源制御装置は、電源スイッチの位置をワンチップマイコンで監視し、電源スイッチが切りから入りに変わった時に、Raspberry Pi B+マイコンボードにDC5V電源を供給する。一方、電源スイッチが入りから切りに変わった時は、Raspberry Pi B+マイコンボードへシャットダウン信号を送信し、シャットダウン処理終了後に電源を切る。なお、Raspberry Pi B+では、起動時にシャットダウン信号を監視し、シャットダウン信号を検出したら、シャットダウンを実行するプログラムを自動実行させている。

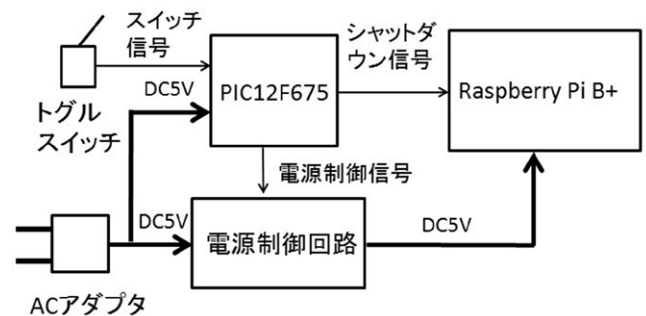


図9 電源制御装置の構成

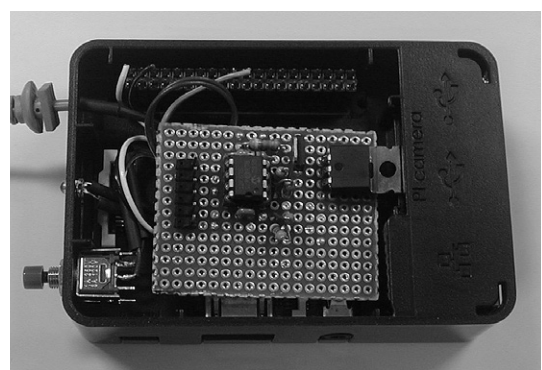


図10 サーバユニット2 (Raspberry Pi B+)

6. 予測監視プログラム

センサユニットおよびサーバユニットで構成される知的監視装置を用いて工具交換時期を予測するために予測監視プログラムを開発した。予測監視プログラムはMicrosoft社製Visual Studio 2010で開発し、サーバユニット1もしくは別に設置したWindowsパソコン上で作動する。なお、開発言語はC#を用いた。

開発したプログラムは、サーバユニットで収集したセンサデータを用いて工具交換時期を予測する機能を有する。工具交換時期を予測するために、工具が切削対象物から受けるエネルギーが工作機械主軸の消費電力と相関があるとの仮定のもとに、電力と時間の積算が規定値を超える前に工具交換の警告信号を発生するプログラムを開発した。開発したプログラムの起動画面を図11に示す。図11は高速センサユニットを用いて、工作機械の主軸電流を計測しているときの画面であり、高速センサユニットを用いた場合、電流波形の観測も可能となる。一方多チャンネルセンサユニットを用いた場合は電流の平均値を基に処理を行う。

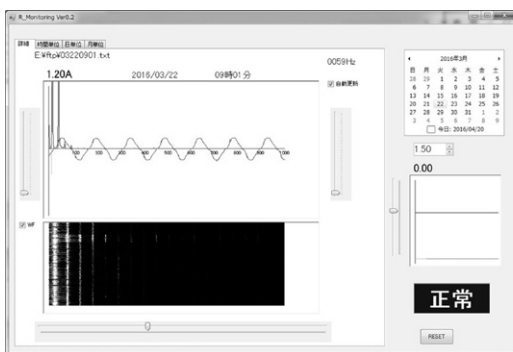


図11 予測監視プログラム

7. 実験

開発した知的監視装置の有効性を評価するために実験を行った。まず、図12に示した卓上型ボール盤(Hozan K-21)に図13に示すφ2.0mmのアルミカッターを取り付け、アルミ板(材質:A1050A)に穴を空ける。

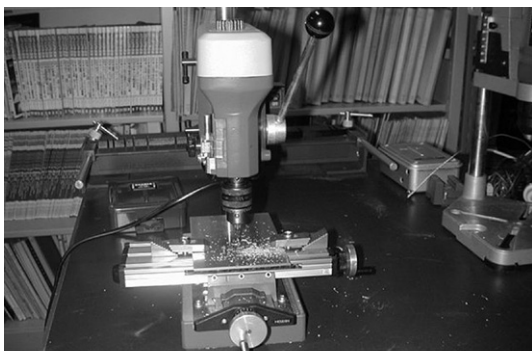


図12 実験に用いたボール盤



図13 アルミカッター

事前に工具に異常が発生し、工具交換を行う必要がある電力と時間の積算を実験により調べた後に、閾値を予測監視プログラムに入力し、工具交換時期の予測が可能かの実験を実施した。実験の結果、図14に示したように提案した手法により工具交換時期の予測が可能であることを確認した。

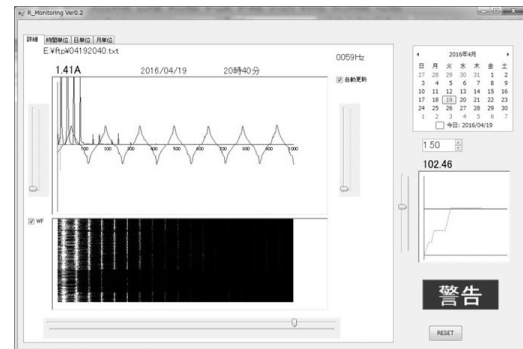


図14 工具交換時期予測実験

8. 結言

NC工作機械の工具交換時期を予測する知的遠隔監視装置を開発した。開発した知的監視装置を用いることで、工具交換時期の予測、NC工作機械の稼働時間の管理、不具合の通知などを行えることを確認した。

新たに実施する研究では、本研究の成果を基に、振動データを用いた予測の高精度化を行う予定である。

文献

- [1] 加藤, 堀口, 前田他: MT法による主軸寿命予知システムの開発(第2報), 品質工学研究発表大会論文集20, pp.206-209, 2012.
- [2] 田村: よくわかるMTシステム, 日本規格協会, ISBN978-4-542-51133-0, 2009.
- [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] <https://www.raspberrypi.org/>, Accessed 2013.