マルチベンダ生産ライン向け 3-D表示遠隔監視システムの開発*

木村利明** 犬飼利宏*** 由井大介*** 神田雄一†

A Development of 3-D Remote Monitoring System for Multi-vendor Manufacturing Systems

Toshiaki KIMURA, Toshihiro INUKAI, Daisuke YUI and Yuichi KANDA

Many remote monitoring systems are proposed from machine tools vendors and robot vendors. However, these remote monitoring systems are usually dependent on individual machine tool vendors or robot vendors.

On the other hand, conventional monitoring methods are indicating of camera images and control information to personal computers. However, there are monitoring limitations of network cameras because of lighting problems and/or the installation limitations of the cameras.

Therefore, 3-D remote monitoring system (3-D LIVE or 3-D Layered Information Viewing Environment) for multi-vendor manufacturing systems was developed. The 3-D LIVE uses ORiN (Open-Robot Interface for the Network), which is a de facto standard for accessing the robot system information for gathering information data at the multi-vendor device level consisting of robot controllers and machine tool's NCs. The 3-D LIVE manages information from the whole manufacturing line level to the device level of manufacturing systems by using linked multi-media data consisting of 3-D modeling, network camera's pictures and character's data. Then the 3-D LIVE can provide a visual monitoring environment, which is easy to understand for remote operators.

In this paper describes a configuration of the 3-D LIVE. A development of a prototype and results of test operation of the system are discussed.

Key words: remote monitoring, multi-media, 3-D model, internet, multi-vendor

1. 緒 言

生産システムにおける遠隔監視は、いくつかの生産ラインを同時に操作したり、生産ラインを無人運転したりする場合、あるいは、熟練作業者が遠隔地から工場の作業者に対して操作の支援を行う場合などにおいて必要である。

しかし、従来の遠隔監視システムは、装置をネットワーク接続するための標準仕様がロボット、工作機械などの装置業界毎に策定されがちであり、また装置メーカーもおのの自社製品用にのみシステム開発をしているため、複数メーカーの装置が混在し、しかもロボットや工作機械などの異機種種の装置から成る生産ラインを対象にできるものは少ない。

また、従来の監視方式は、カメラ画像や制御装置の情報を通信回線経由で取得し、パソコンに表示する方法が主である。そのため、例えばカメラ画像の場合、表示が実画像であるため臨場感はあるものの、カメラの設置位置や照明などの条件により監視箇所に制限がある。また、制御装置の情報は、詳細な数値や文字情報として取得できるが、臨場感に欠け、直感的な状況把握が困難である。このように従来の遠隔監視は、使用メディアにより利点もあるが、欠点もあることが課題である。

そこで、様々なメーカーのいわゆるマルチベンダで、しかも異

機種種の装置から状態情報を取得する仕組みに、ロボットの他、OPC^①などの他の業界標準との接続方法の開発が積極的であるORiN(Open Resource Interface for Network^{②③})を、工作機械まで適用させて利用し、遠隔地からインターネットや電話回線を用いて生産ラインのLAN(Local Area Network)に接続して監視する3-D表示遠隔監視システム(3-D LIVE or 3-D Layered Information Viewing Environment)を開発した。この3-D LIVEは、監視のメディアによる課題に対応するため、各装置の状態に追従動作する3次元モデル、カメラ画像、および制御装置情報などのマルチメディア情報を統合表示することで、各メディアのメリットを生かしながら利用できる特長を持つ。

これにより、例えば従来のカメラ画像では、カメラの設置位置や照明などの制限で監視が出来なかった箇所でも、3次元モデルで任意の視点や拡大率で自在に表示可能となり、また、制御装置の情報表示だけでは不十分であった臨場感もカメラ画像や3次元モデルにより同時に提供可能となった。この3-D LIVEの臨場感ある監視環境は、無人運転時の遠隔監視の他、人数が限られることが多い熟練作業者などの人的資源を有効活用した遠隔作業支援や遠隔保守支援などにも有効である。

さらに、3-D LIVEは、3次元モデルを用いた監視であることの特徴を生かし、装置の運転状態表示灯や稼働率表示板などの可視化設備が現場に実在しなくても、これらを仮想的にモデル化して表示可能である。そのため、3-D LIVEは、それらの可視化設備の代替としても現場で利用可能であり、設備コスト削減の一助となる。

* 原稿受付 平成16年5月7日

** 正会員 (財)機械振興協会技術研究所 (東京都東久留米市八幡町1-1-12)

*** (株)デンソーウェーブ (愛知県刈谷市昭和町1-1)

† 正会員 東洋大学工学部 (埼玉県川越市鯨井2100)

また、3次元モデルや制御装置情報を統合して扱うため、監視の用途のみならず、故障原因の究明や復帰処理などの仕組みを組み込んだ遠隔保守の基盤技術としても利用の可能性がある。

本報告では、開発した 3-D LIVE の基本構成、プロトタイプシステムの開発、および検証実験の結果について報告する。

2. 基本構成

3-D LIVE の基本構成は、図 1 に示すように工場側の生産ラインと、遠隔地側のクライアントから成る。

工場側の生産ラインでは、ロボットや工作機械などの各装置を 3次元モデルで表示するための形状データとして、予め CAD を用いて作成しておくが、軽いデータサイズで 3次元形状を表現し、インターネット環境で活用するために、本研究では XVL(eXtensible Virtual world description Language¹⁾) 形式を採用して、工場側のウェブサーバに格納しておく(図 1 ①)。生産ラインの各装置は、ORiN を用いて LAN に接続され、各装置の制御装置の情報をウェブサーバ上の ORiN が逐次獲得する(図 1 ②)。ORiN は、従来ロボットを対象に開発された標準仕様であるが、図 2 に示すように、ORiN の装置モデルである RAO(Robot Access Object)のプロバイダコンポーネントとして工作機械との通信モジュールを実装することで、ロボットのみならず、工作機械にも適用可能とした。具体的には、プロバイダの Controller クラスのインスタンスに現在時刻、移動時間な

どの NC 全体の情報をマッピングし、Task クラスのインスタンスには、NC プログラム番号やシーケンス番号などの NC プログラム情報をマッピングした。同様に Variable クラスには、NC 内の I/O や汎用レジスタ情報、Robot クラスには現在位置や軸速度などの制御軸情報をマッピングした。

遠隔地側では、ウェブブラウザを含むクライアントを用意し、監視時に VPN(Virtual Private Network)などによってセキュリティを考慮した上で、インターネットや電話回線を用いて工場側の LAN に接続する。

クライアントは、工場側のウェブサーバから各装置の XVL データを一括して得て表示し(図 1 ③)、その後 ORiN が用いる DCOM(Distributed Component Object Model)(図 1 ④-1)、または、SOAP(Simple Object Access Protocol)(図 1 ④-2)により各装置の機械座標などの状態情報を周期的に得ることで、3次元モデルを実際の装置の動きに追従動作させる。また、クライアント側で、この 3次元モデルの表示を任意の視点や拡大率に自在に変更することが出来ると共に、従来のカメラ画像、各制御装置の情報、および MES(Manufacturing Execution System²⁾) の生産管理情報などを同時に表示することで、より多角的な状況把握が可能であり、さらに監視する箇所を工場、生産ライン、装置単位と階層的に切り替えて全体把握と部分把握を行うことも可能である。

Fig.1 Configuration of 3-D LIVE

Fig.2 Provider component for machine tool

Fig.3 Prototype system of the 3-D LIVE

Fig.4 3-D model of indication lamps

Fig.5 Menu configuration of the 3-D LIVE

3. プロトタイプシステムの開発

3-D LIVE のプロトタイプシステムを開発したので、その概要を示す。

図 3 は、開発したプロトタイプシステムによる表示例を示している。図 3 左上がカメラ画像による監視画面例であり、左下は 3 次元モデルによる表示例である。また、図 3 右上がマシニングセンタの制御装置情報の表示例であり、右下が左下の 3 次元モデルの視点と拡大率を変更して得たマシニングセンタの拡大表示例である。

また、3-D LIVE が 3 次元モデルを用いた監視であることの特徴を生かして、図 4 に示すように、現場に実在しない可視化設備である搬送装置の運転状態表示灯などをモデル化することで、装置の運転状態が一目で把握可能となった。

さらに、図 5 は、監視する箇所を工場、生産ライン、装置単位と階層的に切り替えることで、全体把握と部分把握を行う際の画面の表示切り替え例を示している。本システムを試験動作

させた結果、従来のカメラ画像では、カメラ設置位置や照明の制限で、監視が出来なかった箇所でも、任意の視点や拡大率で、かつ各装置に追従動作する 3 次元モデルと、カメラ画像や各制御装置の情報とを統合させて表示可能であった。

4. 検証実験

開発した 3-D LIVE のプロトタイプシステムを、図 6 に示すような異なるメーカーの 2 台のマシニングセンタと 1 台のガントリーロボット型搬送装置から成る生産ラインに適用した。さらに、3 次元モデルや制御装置情報の表示更新時間のパフォーマンス試験、および生産ラインの夜間無人運転時の遠隔監視を想定した検証実験を行った。

まず、3 次元モデルや制御装置の情報について、表示の更新時間のパフォーマンス試験を行った。本試験は、工場内にクライアントを設置して監視を行うことを想定し、クライアントとウェブサーバ間の回線を LAN (100Mbps) で接続した場合(図 6 ①)において行った。また、遠隔地からの監視を想定して、クラ

Fig. 6 Configuration of the prototype system

Table 1 Test results of performance test

Items	Conditions	LAN connection (100Mbps)	ADSL WAN connection (100Mbps)	PHS FIAFS (64kbps) RAS connection	ISDN (64kbps) RAS connection
Download time of XVL file	XVL file size = 283 kb	Approx. 9. 0 sec	Approx. 15. 1 sec	Approx. 56. 0 sec	Approx. 50. 6 sec
Re-display cycle time of 3-D model	System default value = 0. 2 sec	Approx. 0. 3 sec	Approx. 1. 9 sec	Approx. 3. 1 sec	Approx. 1. 7 sec
Re-display cycle time of condition indication	System default value = 1. 0 sec	Approx. 1. 0 sec	Approx. 2. 7 sec	Approx. 6. 0 sec	Approx. 4. 0 sec

クライアント側に ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)12Mbps(上り 12Mbps/下り 1Mbps),サーバ側に ADSL 8Mbps(下り 8Mbps/上り 1Mbps)を用い,IPSec 準拠の VPN を用いた WAN(Wide Area Network)で接続した場合(図 6 ②),サーバ側に ISDN(Integrated Services Digital Network)64kbps 回線による RAS(Remote Access Service)サーバを準備して,クライアント側から PHS(Personal Handy-phone System)PIAFS(PHS Internet Access Forum Standard)64kbps(図 6 ③),および ISDN 64kbps(図 6 ④)により RAS 接続した場合においても行った. この試験では,クライアント側で図 2 左下のような 283kb の XVL ファイルの 3 次元モデルを表示するまでの時間を「XVL ファイルダウンロード時間」として計測した. また,3 次元モデルの表示後,システム上 0.2 秒と設定している 3 次元モデルの表示が実機に追従動作する時間間隔に対し,実際に再表示される時間間隔を「3 次元モデル追従リフレッシュ時間」,システム上 1 秒としている各制御装置の状態情報の再表示時間間隔に対して,実際の再表示時間間隔を「状態表示リフレッシュ時間」として計測した.

計測の結果,表 1 に示すように,「XVL ファイルダウンロード時間」が LAN 接続で約 9.0 秒,ADSL による WAN 接続で約 15.1 秒,PHS FIAFS で約 56.0 秒,ISDN で約 50.6 秒,「3 次元モデル追従リフレッシュ時間」が LAN 接続で約 0.3 秒,ADSL による WAN 接続で約 1.9 秒,PHS FIAFS で約 3.1 秒,ISDN で約 1.7 秒,「状態表示リフレッシュ時間」が LAN 接続で約 1.0 秒,ADSL による WAN 接続で約 2.7 秒,PHS FIAFS で約

6.0 秒,ISDN で約 4.0 秒であった. この結果から,本システムは ADSL,PHS PIAFS,ISDN などの遠隔地からの接続を考慮した回線を使用した場合でも,監視結果に応じて装置を非常停止させるなどの即時応答が必要な操作のための監視の用途には難があるものの,そのような操作を伴わないラインの無人運転時の遠隔からの状態確認などの用途において,十分な性能が得られた. カメラ画像の場合も,同様な遅延が生じるが,それと共に大きな通信帯域が必要となるため,用途に応じて 3 次元モデルとの切り替え表示や通信回線の適正な選択が必要となろう.

次に,生産ラインの夜間無人運転時の遠隔監視を想定し,本プロトタイプシステムの検証実験を行った. この検証実験は,3-D LIVE を,別途開発した携帯電話を用いた遠隔監視システム⁶⁾や,遠隔監視に基づく作業負荷平準化システム⁷⁾などと連携して用いて,無人運転中に発生した生産ラインの不具合や生産遅延による装置間の作業負荷の不均衡を平準化することを想定したシナリオに基づいた.

携帯電話を用いた遠隔監視システムは,複数のメーカーの装置が混在する生産ラインで発生した不具合や生産遅延の通知などの一次的な情報を取得するため,可搬性に優れた携帯電話を用いた監視システムである.

遠隔監視に基づく作業負荷平準化システムは,工場の各時点で動作可能な装置の能力を最大限に生かして,特定の機械だけに作業が集中しないようにするための運用を遠隔操作で管理するシステムである. 基本的な方式は,発生した作業負荷の不均衡に対し,自動あるいは,作業員による遠隔操作で生産スケジ

Fig.7 A Usage scenario of the 3-D LIVE

Fig. 8 An example of usage scene of the 3-D LIVE

ルールを調整することで行うものであり、これにより、作業員自らの判断を加味した平準化が行えることを特徴としている。

検証実験のシナリオは、図 7 に示すように、携帯電話を用いた遠隔監視システムによる作業負荷の不均衡発生に関する一次的通知、3-D LIVE による工場の詳細な状態把握、および遠隔監視に基づく作業負荷平準化システムによる作業負荷不均衡の是正から成る。

この検証実験において、遠隔監視に基づく作業負荷平準化システムにより、故障で停止したマシニングセンタの作業を、正常稼働中のマシニングセンタへ割り付け直して、搬送装置の動作を再開することで作業負荷の不均衡の是正を試みる前に、図 8 に示すような搬送装置が故障したマシニングセンタと干渉する位置関係にないかの確認など、現場の詳細な状態監視が必要な場面などに、3-D LIVE による 3 次元モデル、カメラ画像などのマルチメディアを用いることで、良好な結果を得た。

5. 結 言

様々なメーカーのロボットや工作機械などの装置から成るマルチベンダの生産ライン向けに、遠隔地のクライアントからインターネットや電話回線を用いて生産ラインの LAN に接続し、各装置の状態に追従動作する 3 次元モデルとカメラ画像、各制御装置の情報とを統合して表示できる 3-D LIVE を提案し、プロトタイプシステムを構築した。構築したプロトタイプを 2 台のマシニングセンタと 1 台のガントリロボット型搬送装置から成る生産ラインに適用し、3 次元モデルや制御装置情報の表示更新時間のパフォーマンス試験、および生産ラインの夜間無人運転時の遠隔支援を想定した検証実験を行った。

これら 3-D LIVE のプロトタイプシステムの構築、検証実験の結果から、次のことが明らかとなった。

- (1) 装置の状態情報収集に ORiN を用いることで、マルチベンダで、しかもロボットや工作機械などの異機種のネットワーク接続が可能であった。
- (2) 従来のカメラ画像では、カメラ設置位置や照明などの制限で監視が出来なかった箇所でも、3-D LIVE の 3 次元モデルで、任意の視点や拡大率で自在に表示可能であった。
- (3) また、制御装置の情報表示だけでは不十分であった臨場感

もカメラ画像と 3 次元モデルにより、同時に提供可能な監視の仕組みを実現した。

- (4) 装置の運転状態表示灯や稼働率表示板などの可視化設備が現場に実在しなくても、これらを 3 次元モデルにより仮想的にモデル化して表示可能であるため、可視化設備の代替としても現場で利用可能な仕組みを実現した。
- (5) 3 次元モデルや制御装置の情報に関する表示の更新時間などのパフォーマンス試験を行った結果、監視結果に応じて装置を非常停止させるなどの即時応答が必要な操作のための監視の用途には難があるものの、そのような操作を伴わないラインの無人運転時の遠隔からの状態確認などの用途には十分な性能が得られた。
- (6) 生産ラインの夜間無人運転時の遠隔監視を想定した検証実験を行った結果、3-D LIVE を、別途開発した携帯電話を用いた遠隔監視システムや、遠隔監視に基づく作業負荷平準化システムなどと連携して用いて、現場の詳細な状態監視を行う場面で良好な結果を得た。

今後は、製造実行システムなどの生産管理情報との連携、保守説明書や操作説明書などのドキュメント類と 3 次元モデルとの連携表示による利用用途の拡大、故障原因の究明や復帰処理などの仕組みを組み込んだ遠隔保守システムの開発などの応用研究を進める予定である。

参 考 文 献

- 1) <http://www.opcjapan.org/>
- 2) <http://www.orin.jp/>
- 3) 犬飼利宏, 榎原聡: FA オープン化が自動車製造業にもたらすもの, 自動車技術, 58, 5 (2004).
- 4) <http://www.lattice.co.jp/>
- 5) 中村実, 正田耕一: MES 入門, 工業調査会.
- 6) T. Kimura, Y. Kanda: Development of Manufacturing Support System using Open-oriented Information Technologies, 7th International Conference on Production Engineering, Design and Control, vol. I, (2001) 201.
- 7) T. Kimura, Y. Kanda: Development of a Remote Monitoring and Management system, Proceedings of the IFIP 5.7 Working Conference on Human Aspect in Production Management - volume 1, (2003) 13.