

가상기계 구현을 위한 공작기계 모니터링

배완준*(성균관대학교 대학원), 강무진(성균관대학교 기계공학과)

Machine monitoring for implementing a virtual machine

W. J. Bae(Graduate School, Sung Kyun Kwan University)

M. Kang(School of Mechanical Engineering, Sung Kyun Kwan University)

ABSTRACT

In this paper, a remote machine monitoring system for a virtual machine is proposed. The monitoring system is one of the core functions of a virtual machine that provides a modeling and simulation environment for machining processes and management of the machine life cycle. The proposed system contains the modules for investigating tool wear using neural network and web-based real time process monitoring. An example implementation for tool wear and machining status monitoring is illustrated

Key Words : Virtual machine(가상기계), Remote monitoring(원격 감시), Tool wear monitoring(공구감시), Artificial neural network(인공신경망)

1. 서론

가상 생산(Virtual Manufacturing)시스템은 생산시스템을 컴퓨터 모델화하여 생산공정의 시뮬레이션을 통해 생산 공정, 공정 계획, 스케줄링, 조립 계획 등 생산라인에서부터 회계, 구매, 관리 등 기업 전체간의 상호작용을 가상화함으로써 제품 생산에 관계된 모든 변수를 고려할 수 있고, 따라서 설계와 제조에서 효율을 증가시킬 수 있는 시스템으로서 주목 받고 있다. 가상 생산시스템은 조립 및 공정 등의 정보를 설계과정에 제공함으로써 제품의 설계를 최적화하는 설계 중심 가상 생산(Design-centered VM), 시뮬레이션을 이용하여 공정 계획과 생산 계획의 최적화를 추구하는 생산 중심 가상 생산(Production-centered VM), 실제 공정 과정에서의 최적화를 목적으로 하는 제어 중심 가상 생산(Control-centered VM)으로 나눌 수 있다.^[1] 제어 중심의 가상 생산은 생산통제를 목적으로 가상 모델을 구축하여, 공정 제어를 시뮬레이션함으로써 실제 공정 제어의 효율을 증대 시키는 관점과 시스템의 원격 감시 및 제어를 통해 운용의 최적화를 추구하는 관점을 포함하며, 이는 차세대 무인 공장

구축을 위한 초석이 될 수 있다. 생산시스템의 중요한 구성 요소인 CNC 공작기계를 가상기계(Virtual Machine)로 구현하는 것은 가상생산시스템 실현을 위한 핵심 요소 중 하나라 할 수 있다.

가상기계는 실제의 공작기계의 기능을 모사한 컴퓨터 모델로서, 원격거리에서도 마치 현장에 있는 것과 같이 공작기계의 상태를 모니터링하고 이상과 고장을 진단하여 대책을 조치하며 예방적 유지 보수를 할 수 있을 뿐 아니라 원격 제어를 수행할 수 있는 시스템으로 이해할 수 있다.

본 연구의 목적은 가상 기계가 가져야 할 기능 중 필수 기능인 모니터링 시스템을 구축하는 방안을 제시하고 프로토타입을 구현하여 타당성을 확인하는 것이다.

2. 관련 연구

가상기계와 관련된 연구로는, 첫째로 시스템의 구조화와 모델링, 상태 신호의 획득 및 처리, 공정의 시뮬레이션, 정보의 표현 및 가상화, 데이터의 통계적 분석 및 처리 등 다양한 기술을 통합하는 시스템의 제안 및 설계하는 연구를 들 수 있다. Shi

등^[2]은 설비의 가동상태를 인터넷을 통하여 원격지에서 모니터링하여 고장대책, 유지보수 계획, 기계 제어 등의 조치를 취하기 위한 시스템 아키텍처를 제안하여 연구 중이다. Lee 등^[3]은 고객의 주문으로부터 설계, 공정설계, 일정계획, 공정관리 등 생산시스템의 제 기능을 포괄하는 가상생산시스템의 Test bed 를 실험한 바 있다. 김선호 등^[4]은 CIM 환경에서 생산 장비의 통합과 장비들간 정보흐름의 유연성을 해결하기 위해 생산 장비인 NC 장치를 객체로서 정의한 MMS(Manufacturing Message Specification)동반 표준을 중심으로 CIM 을 구축하기 위해 CNC 공작기계의 VMD(Virtual Manufacturing Device)를 구축하는 연구를 수행하였고, 배완준^[5] 등은 가상기계가 갖추어야 할 기능들을 추상화 하여 전체 시스템의 프레임워크를 제안한 바 있다.

공작기계의 모니터링에 관한 연구는 대상에 따라 공구, 공작물, 가공 공정으로 분류할 수 있다.^[6] 공구 모니터링은 공구의 마모나 파손 상태를 감시한 것으로, 마모를 직접 측정하거나 공구 마모로 인한 공구 체적의 손실을 평가하는 직접 측정방법과, 광학적(optical), 접촉저항(contact resistance), 방사능(radioactive)방법 등을 이용하는 간접 측정방법으로 나눌 수 있다. 광학적 방법으로는 공구 날에 빛을 투사하여 공구의 표면 마모에서 기인되는 반사광의 특징을 통해 공구의 마모를 측정하는 연구가 주를 이루고 있었으며 접촉 저항을 이용하는 방법에는 공구의 여유면 위에 전기 박판을 설치하여 전기적인 저항의 감소를 통해 측정하는 연구가 있었다. 공작물의 모니터링에 관한 연구는 치수와 윤곽 측정법, 표면 거칠기 측정법으로 나눌 수 있으며, 가공공정 모니터링은 생산성 향상 및 기계 효율 상승에 영향을 주며, 이에 관한 연구로는 절삭력 검출과 채터링 탐지 등이 있다. 설비의 가동상태나 공정 과정을 감시하는 모니터링 시스템은 자동차 생산라인, 반도체 제조공정, 정수 처리 공정 등과 같은 자동화 설비에 구축되어 왔다. 이들 시스템은 설비로부터 공정데이터를 수집하여 가동상태를 2차원 그래픽으로 가시화하는 기능을 가지고 있었는데, 근래의 인터넷 기술의 발전과 더불어 VRML 과 Java 를 이용하여 웹 환경에서 3 차원 원격으로 모니터링하는 모델을 제시하는 연구들^[7]이 새롭게 등장하고 있다.

공작기계의 진단에 관한 연구를 살펴보면, 서동규^[8]는 off-line 방식으로 전문가의 지식을 지식베이스화하여, 고장 증상으로부터 고장 원인을 진단하기 위한 연구를 수행하였고, 강대천^[9]은 이를 바탕으로 인터넷을 이용하여 원격지에서 고장을 해결하는 시스템을 제시하였다. Takata 등^[10]은 설비의 수명 주기(Life cycle)을 관리하는 information

infrastructure 를 제안하여, 설비의 전주기에 걸쳐 유지보수정보를 공유하고, 설비 관리에 필요한 분석 및 평가 기능을 지원할 수 있게 하였고, 이를 통하여 설비의 유지보수를 전주기를 통하여 효율적이고 일관되게 수행할 수 있음을 보였다. 김동훈 등^[11]은 시중에 판매중인 개방형 CNC 를 대상제어기로 선택하고, 제어기에서 나오는 공작기계 동작 상태를 나타내는 감시용 파라미터를 자료구조화하여 공작기계의 고장을 진단 프로세스를 통해 웹상에서 감시하고 진단할 수 있는 시스템을 제안한 바 있다.

3. 가상기계 구현을 위한 공작기계 모니터링 시스템

3.1 가상 기계 개요

가상기계는 Fig. 1 과 같이 공작기계의 상태 감시, 고장 예방, 진단, 유지보수, 제어 기능을 포괄하는 시스템의 형태로 나타내어 진다. 생산현장에 설치된 공작기계의 PLC로부터 얻은 가공 상태 및 기계 상태를 나타내는 데이터와 주요 부위에 장착된 센서에서 발생한 상태 신호는 가공되어 데이터베이스에 저장되고, 이로부터 공작기계의 이상 상태를 검출하고, 이상 상태 발생시 지식베이스에 의하여 증상을 추론하여 얻은 해결책과 유지보수 계획이 원격지에 전달된다. 이에 따라 가상기계는 관리자에게 공작기계의 상태 및 진단, 유지보수일정을 통보해 주므로, 관리자는 장소에 구애 받지 않고 생산라인의 공작기계를 관리하고 제어할 수 있다.

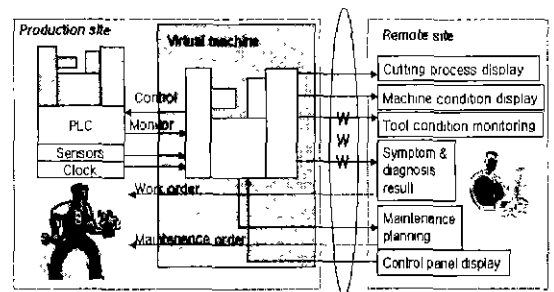


Fig. 1 Total view of virtual machine

3.2 공작기계 모니터링 시스템

모니터링 시스템이 가져야 할 기능을 분석해보면 Fig. 2 와 같다. 가상기계는 실제 공작기계와 같은 동작상태와 기계상태를 나타내어야 하므로 가능한 실제 공작기계의 정보를 획득하는 것이 우선된다. 가공상태의 정보는 제어기에서 나오는 정보

와 감시하고자 하는 부위에 장착한 센서로부터 나오는 신호로 나뉠 수 있다. 제어기 신호는 디지털화 되어있기 때문에 작업 과정이나 상태신호는 추가적인 모듈에 의하여 곧바로 데이터베이스에 저장 가능하다. 그러나 센서로부터 나오는 신호는 연속적이며, 데이터가 방대할 뿐 아니라 이상상태를 명확히 나타내주지는 못하는 경우가 대부분이므로, 특징치를 추출하고 추출된 특징치로부터 이상상태를 판별하는 과정을 거쳐야 한다. 가공된 정보는 데이터베이스에 자동적으로 저장되어야 하며, 데이터베이스의 과부하를 막기 위해 시간이 오래 경과된 데이터는 주기적인 간격을 두고 자동으로 제거되어야 한다.

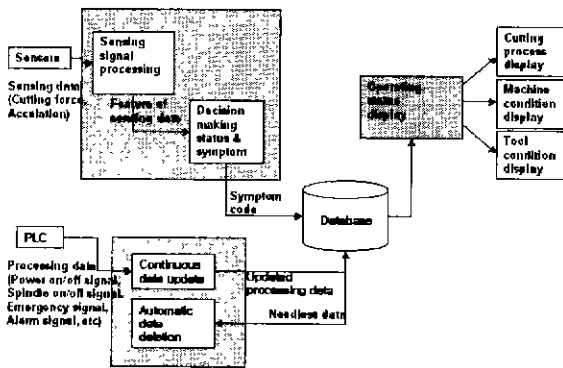


Fig. 2 Functional flow in machine monitoring

3.2.1 공구 마모 상태 판별

공구의 마모는 공작물에 직접적으로 영향을 끼치기 때문에 공작기계 감시 대상 중 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 공구 상태 감시는 전술한 바와 같이 센서 신호를 획득하고 이상 상태와 연관된 특징치를 추출하여 이상 상태를 판별하는 과정을 갖는다. 본 연구에서는 절삭력을 측정할 수 있는 dynamometer 와 절삭동력 및 진동을 측정할 수 있는 accelerometer 를 사용하여 공구와 마모와의 상관 관계를 실험한 데이터를 사용하였다. 이 실험에서 특징치로는 3축 절삭정력, 3축 절삭동력, 진동, 절삭속도, Feed rate. 이렇게 총 11 종류의 데이터로 선정하고, 이상상태로는 공구의 플랭크 마모의 발생 여부로 선정하였다. 3축 절삭 정력은 매 실험시의 평균값이고, 3축 절삭동력이나 진동신호는 시영역(Time domain)에서는 명확한 값은 나타내지 못하기 때문에 FFT 알고리즘을 통해 나타난 값이다. 판별 알고리즘으로는 오류 역전파(Back propagation) 신경 회로망(Neural Network)을 사용하였다. 신경 회로망은 인간의 뇌를 모델로 하여

개발된 알고리즘으로 많은 수의 서로 연결된 뉴런들로 구성되어 있다. 각각의 뉴런들은 입력을 받아 학습에 의한 가중치를 곱하게 되고 이들의 합은 시그모이드(sigmoid) 함수를 거쳐 출력된다.

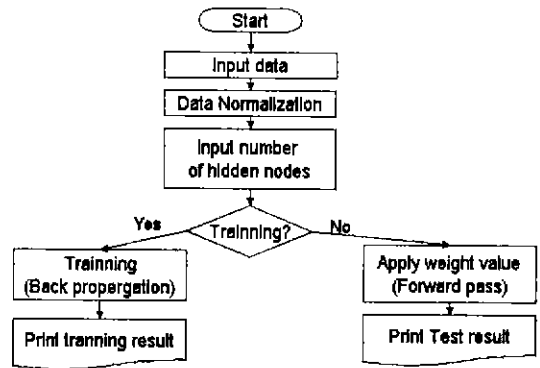


Fig. 3 Algorithm for investigating tool wear

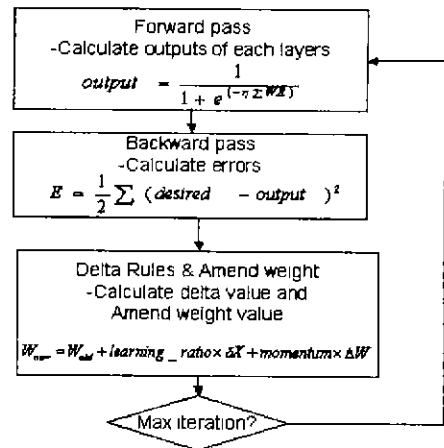


Fig. 4 Backpropagation algorithm

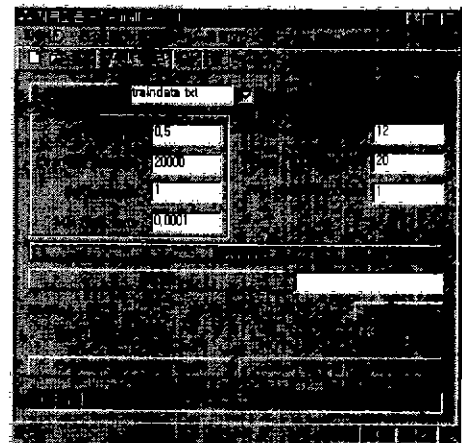


Fig. 5 GUI for tool wear investigation

신경 회로망의 적용은 사전 지식이나 내부시스템의 동작에 대한 지식이 거의 필요없고, 경향이 뚜렷한 샘플(Sample)로부터의 학습경험에 바탕을 두고 새로운 유사입력 패턴들이 주어질 경우에 그 출력 패턴을 추정할 수 있도록 자기조직화(Self-organization)하는 잇점이 있다. Fig. 3 은 공구 상태 판별 모듈의 전체적인 순서도를 나타내고 있고, Fig. 4 는 학습시 사용되는 오류역전파(Back propagation)방법의 흐름을 나타내고 있다. Fig. 5 는 학습 기능과 학습된 후의 마모 판단 기능으로 구성된 모듈의 인터페이스를 보여준다.

실험된 47 개의 샘플 데이터를 학습 시킨 결과, 은닉층의 노드수가 20 개, 학습 횟수가 50000 번 일 때 가장 좋은 학습결과를 나타냈으며, 그때 RMS 에러는 3.2%였다. 마모 판별 기준을 경사면 마모 길이가 0.15 이상일 때, 마모 발생이라고 가정한 경우에는 Fig.6 과 같이 47 개의 데이터 중 12 번째의 경우에만 정상상태를 마모 발생이라 오판함으로써 에러율은 2%로 볼 수 있다. 이렇게 학습된 가중치로부터 학습에 사용되지 않은 10 개의 샘플을 이용하여 마모 판별을 테스트 한 결과 모두 정확한 판단임을 알 수 있었다.(Fig. 7)

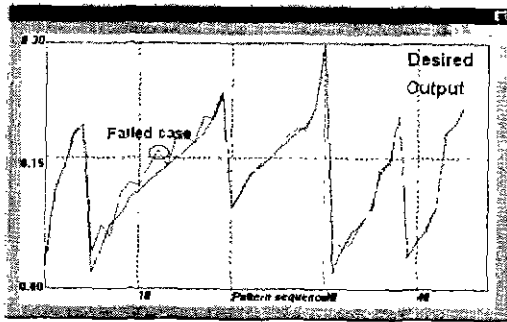


Fig. 6 Training result

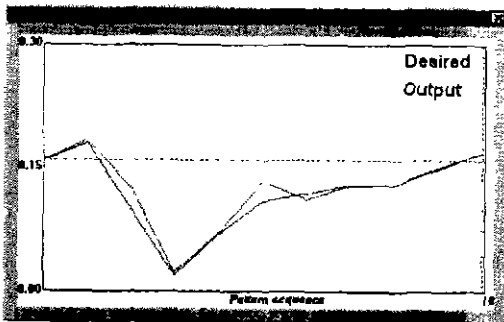


Fig. 7 Test result

3.2.2 가공 공정 모니터링

Fig.8 은 인터넷과 웹 브라우저를 통하여 가공 공정을 원격 모니터링 할 경우의 시나리오를 보여 준다.

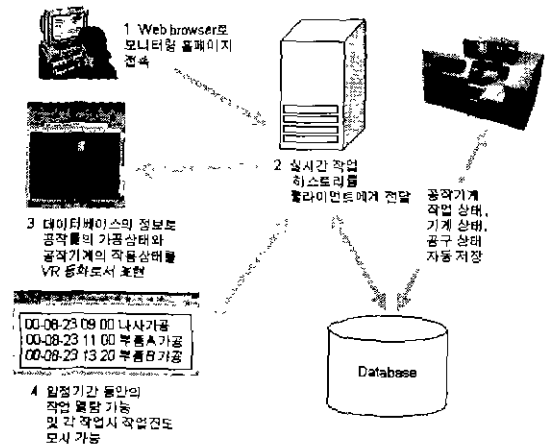


Fig. 8 Scenario in process monitoring

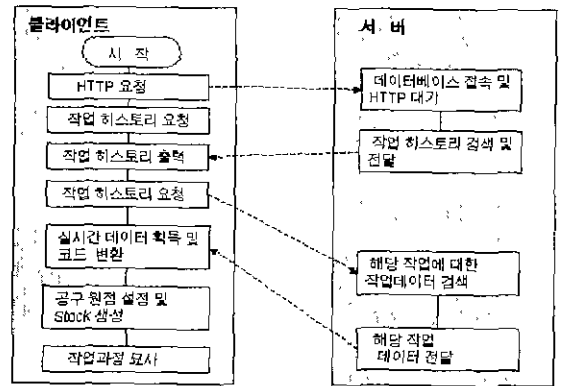


Fig. 9 Interaction between server and client in Process monitoring

생산환경에는 공작기계로부터 공작기계가 가공 시 발생하는 작업 정보와 기타 상태 정보를 가공하여 데이터베이스에 자동으로 업데이트시키는 모듈이 존재한다. 일단 클라이언트와 서버간의 접속이 이루어지면 클라이언트는 실시간으로 서버로부터 데이터를 요구하게 되고, 서버는 데이터베이스를 검색하여 데이터를 넘겨주게 된다. 이후 클라이언트는 서버로부터 얻은 데이터로 작업 히스토리를 출력하고 선택된 작업에 대한 가공 과정을 묘사하는 역할을 하게 된다. Fig.9 는 이러한 시나리오를 바탕으로 구현된 시스템의 흐름을 보여주고 있다.

가공 상태를 모사하기 위해서는 가공시 공구의 위치 정보와 공작물의 형상정보가 필요하다. 이를 얻기 위한 방법으로는 CCD 카메라를 이용하는 방법이 주를 이루고 있었는데, 이 방법은 관점이 고정되어 있고, 인터넷의 밴드폭 등이 장애가 되기 때문에 본 논문에서는 VR(Virtual Reality)모델 구동형 방법을 이용하였다. VR 모델 구동형은 실제 가공장면을 대체할 수 있는 3 차원 그래픽스 모델을 만들어 놓고, 한정된 파라미터로 모델을 구동, 동화상으로 가공상태를 표현하는 것이다. 3 차원 모델은 웹상에서의 VR 표준인 VRML 을 이용하였고, 데이터베이스는 MS Access, 클라이언트는 자바 애플릿, 서버는 자바 서블릿, 웹서버는 Window NT 기반의 MS IIS(Internet Information Server) 4.0 을 이용하여 구현하였고 Fig 10 은 클라이언트측의 GUI 와 모니터링 환경을 보여주고 있다.

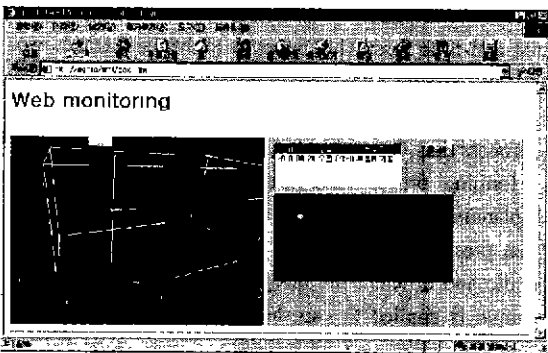


Fig. 10 Screenshot of a process monitoring system

4. 결론

본 논문에서는 생산 현장에서 작동되는 공작기계를 원격지에서 감시, 진단, 유지 보수, 제어를 할 수 있는 가상기계를 구현하기 위한 핵심 기능인 모니터링 시스템 개발의 일환으로 이상상태 판별 모듈과 웹 기반의 원격 가공 공정 모니터링 모듈을 구현하여 가능성을 확인하였다. 차후에는 실제 산업현장의 설비와 연계된 전체 시스템을 구현하여 신뢰성 테스트 및 문제점 보완이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. National Security Industrial Association, Technical

Report of Virtual Manufacturing Technical workshop, October, 1994.

2. Shi, J., Ni, J., "Research challenges and opportunities in remote diagnosis and system performance assessment", 4th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems:IMS'97. pp.213-218,1997.

3. Lee, K.I., Noh, S.D., "Virtual Manufacturing System-A Test Bed of Engineering Activities, CIRP, Vol.46, No.1, pp.347-350, 1997.

4. 김선호 외, "VMD(Virtual Manufacturing Device)를 이용한 공작기계 객체화", 97 년도 춘계 정밀공학회 학술대회 논문집, pp. 947-951, 1997.

5. 배완준 외, "가상기계 구현을 위한 프레임워크", 2000 년도 춘계 정밀공학회 학술대회 논문집, pp.270-274, 2000.

6. Cho, D.W., Lee, S.D., Chu, C.N., "The state of machining process monitoring research in Korea", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.39. No.10, pp.1697-1715, 1999.

7. 김봉선 외, "자바 기반 3 차원 웹 모니터링의 최적화 연구", 제 7 회 첨단생산시스템 Workshop, 1999.

8. 서동규, 공작기계 고장 진단 전문가 시스템 개발에 관한 연구, 성균관대학교 석사학위 논문, 1998.

9. 강대천, 인터넷 기반의 공작기계 원격 고장 진단 시스템 개발에 관한 연구. 성균관대학교 석사학위 논문, 1997.

10. Takata, S., Yamada, A., Inoue, Y., "Computer-Aided Facility life Cycle Management", IEEE. pp. 856-861, 1999.

11. 김동훈 외, "Web based 공작기계 원격감시, 진단 시스템 설계", 2000 년도 춘계 정밀공학회 학술대회 논문집, pp.1005-1010, 2000.

12. 강호원 외, "CIM 시스템의 Infrastructure(DLU & DAU)구성을 위한 통합 모니터링 시스템의 개발 (I)", 한국정밀공학회지 제 12 권 제 10 호, pp.18-23, 1995.

13. Kelly, A., "Maintenance organization and systems", Butterworth Heinemann,1997.

14. 현웅근 외, "공작기계에서의 원격고장진단 시스템 개발에 관한 연구", 97 년도 춘계 정밀공학회 학술대회 논문집, pp.708-713. 1997.

15. Goncharenko, I., Kimura, F., "Remote Maintenance for IM", IEEE, pp. 862-867, 1999.