웹기반 힘관리시스템의 구현

박철호†· 강철구* · 남현도**

Implementation of Web-based Force Management System

Chol-Ho Park, Chul-Goo Kang and Hyun-Do Nam

Key Words: Force management system (힘관리시스템), Force/torque sensor (힘/토크센서), LabView (랩뷰), TCP/IP (TCP/IP)

Abstract

For factory automation using force/torque control, we need a networked-force management system as well as good force sensing and force generation. In this paper, we present a web-based force management system including 6-axis force/torque sensing system. Performance of the force-torque sensor is affected significantly by analog noise that is included in a sensor signal, and the noise should be reduced appropriately to obtain an adequate performance of the sensor. Moreover, the sensor itself should be convenient to install to a real application system. It should be compact in size and also easy to wire in real situation. In this viewpoint, we developed usb-based compact sensor system which is well communicated using web between two computers that exist far away. Software is programmed using LabVIEW and CCS-C. PIC microcontrollers are used for implementing a compact hardware. The proposed system is verified through experimental works.

1. 서 론

로봇이 사용되는 공정에 있어서 로봇의 힘제어, 특히 로봇의 말단장치의 힘제어는 가공물 혹은 피조립물의 보호나 로봇 자체의 보호를 위해 필수적이고, 로봇이 좀 더 인간의 감각에 가까워질 수 있도록 하여야 한다. 힘제어를 위해서는 힘을 측정할 수 있는 다축 힘/토크 센서가 필요하다. 또 여기에서 통합 공정시스템은 한곳에서 여러 로봇을 제어할 수 있어야 한다. 여러 가지 방법으로 이를 구현할 수 있겠으나, 새로운 네크워크를 구축하지 않고도 사용할 수 있는, 기존의 LAN을 활용하는 웹 기반 힘관리 시스템이 효율적일 수 있다.

먼저, 다축 힘/토크 센서에서 나오는 정보는 여러 신호라인을 가진 아날로그 신호이거나 디지털 신호로 구성되어 있다. 그래서 컴퓨터를 이용하여 신호를 받을 때 고가의 I/O 보드를 이용해야 한다. 이 경우 아날로그 신호를 받을 때는 데이터 라인에서 노이즈 문제를 발생할 수 있으며, 디지털 신호는 신호라인이 채널 당 한 개의 라인이 필요하게 되어서 선 처리에 많은 문제가 발생한다.

힘/토크센서와 컴퓨터 사이의 인터페이스는 RS 232C 시리얼통신, 패러럴통신, USB 시리얼통신 등으로 구현할 수 있다. 본 논문에서는 사용상의 편리성과 고속의 시리얼통신을 실현할 수 있는 USB통신을 활용한다. USB통신을 이용하여 다축 힘/토크 센서에서 나오는 정보를 받으면 노이즈 문제, 간단한 회로구성, 비용의 절감에 도움을 준다. 즉, 웹 기반으로 한 다축 힘/토크 센서의 데

† 건국대학교 기계공학과
Email: tgvfd@hanmail.net
TEL: (02)450-3473 FAX: (02) 447-5886
* 건국대학교 기계공학과
** 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부

이터 수집의 간결화를 이룰 수 있다.

본 논문에서는 원 구멍이 있는 십자형 탄성구조물, 스트레인게이지, Wheatstone 브리지, Differential Amplifier, PIC 마이크로컨트롤러 등으로 구성된 6축 힘/토크센서를 간단히 정리하고, 통합 공정 시스템에서 로봇의 힘제어의 기초가 되는 웹 기반 다축 힘/토크 센서를 제시하고, 또 노이즈 신호에 의한 센서 성능의 영향을 줄일 수 있는 디지털 통신 방법인 USB통신을 제시한 후, 이를 실험연구를 통하여 검증한다.

다축 힘/토크센서는 스트레인게이지 이용시 힘 또는 토크가 주어질 때 생기는 저전압 신호를 증폭하여 힘/토크의 정보를 얻게 된다. 이 과정에서 유용한 정보를 각종 노이즈의 영향 없이, 신속히 힘의 정보를 획득하는 것과 공정 시스템에서 힘의 정보를 중앙처리장치로 보내는 것이 중요하다.

본 논문에서는 스트레인게이지를 이용한 6축 힘/토크 센서의 전압신호를 컴퓨터로 읽어 들이는 과정에서 I/O카드를 이용하지 않고 USB통신을 이용하여 바로 읽어 들이는 과정에서 데이터 수신 속도의 향상, TCP/IP 통신 프로토콜을 이용한 시스템을 개발하고자 한다.

CCS-C 프로그래밍을 한 다음 PIC 마이크로컨트롤러에 다운로딩하고, 이로부터 6채널의 센서 신호를 디지털화한 다음 USB칩을 이용하여 USB 통신을 통해 읽어드린다. 이 6채널의 센서 신호를 다시 LabView 프로그램으로 디커플링하여 6축의 힘과 토크 성분을 추출한 다음에 TCP/IP 모듈을 이용하여서 멀리 떨어져 있는 다른 컴퓨터로 정보를 보내게 된다. 또는 이 6채널의 신호를 바로 멀리 떨어져 있는 컴퓨터로 웹을 통해 보내게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 다축 힘/토크 센서의 원리를 간단히 기술하고, 3절에서는 USB 통신과 웹기반의 힘정보 교환에 대하여 논의한다. 4절에서는 실험결과를 논의하고, 5절에서는 결론을 기술한다.

2. 다축 힘/토크센서의 힘감지 원리

일반적으로 힘/토크 측정 방법에는 힘 측정을 위해 만든 탄성 구조물에 여러 개의 스트레인게이지를 부착하여 구조물에 힘/토크가 가해 졌을 때 그에 비례하는 스트레인게이지의 변화량을 측정하여 힘/토크를 계산해 낸다. 즉, 힘과 탄성체 표면변형률의 선형 관계식으로부터 세 방향의 힘과 세 방향의 토크를 구하는 것이다.

스트레인게이지를 이용한 6축 힘/토크 감지과정을 도식적으로 나타내면 **Fig. 1**과 같다.

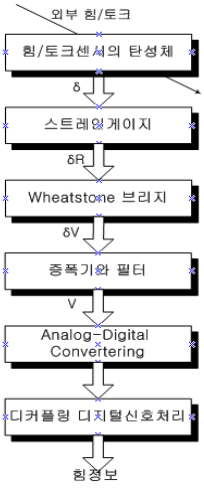

Fig.1 Detecting method of force/torque information

이때 변형률은 Hooke의 법칙을 만족시키는 탄성영역에서 일어난다고 가정하고 온도의 영향에 의한 출력변화는 배제하면, 힘/토크와 변형률의 관계는 다음과 같은 선형 시불변 시스템으로 나타낼 수 있다[1].

$$\varepsilon = Cf$$

여기서 f 는 센서에 작용하는 3개의 힘성분과 3개의 모멘트성분으로 구성된 힘 벡터이고 ε은 탄성 구조물의 6지점에서 측정되는 표면변형률벡터이고, C는 이 두 벡터 사이의 관계를 표시하는 컴플라이언스 행렬이다. 컴플라이언스 행렬은 상수 행렬로써 FEM 해석으로부터 얻어 질 수 있어나[4] 실험에 의하여 구하는 것이 힘감지 오차를 줄일 수 있다. 일차독립인 6개의 힘 f에 대한 6번의 실험을 수행하고, 이 때 얻어지는 ε으로부터 C를 얻을 수 있다.

또 여기에서 사용되는 탄성구조물은 x, y, z축 중의 한 방향으로 힘/토크가 주어질 때, 각각 한 곳에서만 변형률이 일어나는 축 간의 커플링이 없는 것이 이상적이나, 이는 실제로 불가능하다.

따라서, 구조적으로 커플링이 커지 않도록, 즉 컴플라이언스 행렬의 상태수가 아주 커지 않도록, 탄성 구조물을 설계한 뒤 컴플라이언스 행렬과 고속 디지털 연산을 통하여 디커플링 된 힘과 토크를 얻는다[2,3].

3. USB통신과 힘/토크센서 네트워크

3.1 USB통신

다축 힘/토크 센서의 성능은 구조적 오차와 더불어 미소전압을 이용한 아날로그 신호처리에 의한 노이즈신호에 큰 영향을 받는다. 그래서 센서 본체에서 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터에 일반적으로 사용하고 있는 USB통신으로 받는다면 컴퓨터 전원에서 오는 60Hz의 노이즈와 컴퓨터가 방출하는 전자파에 대한 노이즈신호의 영향을 줄일 수 있고, 고가의 I/O보드를 사용하지 않아서 비용절감 효과를 가져 올 수 있다. Fig.2는 이를 구현하기 위한 실험장치의 개략도를 보여주고 있다.

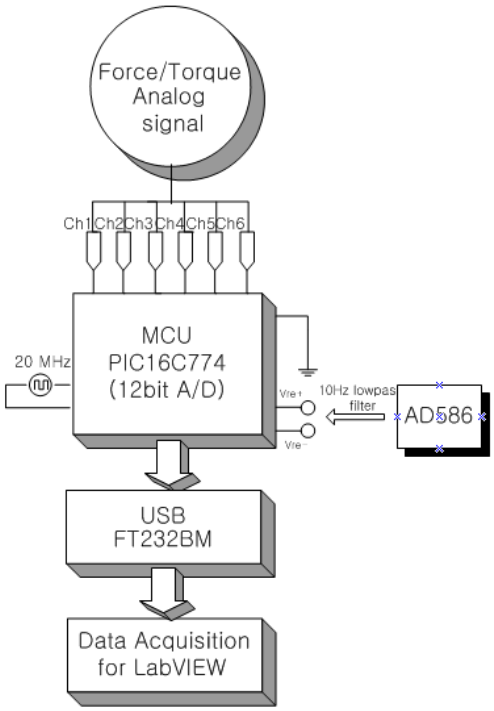

Fig. 2 Schematics of the experimental setup for USB digial data acquisition

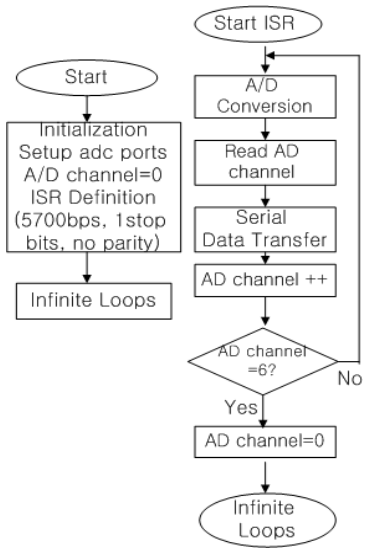

Fig. 3 Flowchart of PIC microcontroller program

본 연구에서는 Microchip사의 8비트 PIC 마이크로컨트롤러를 사용하여 6채널의 아날로그 전압신호를 12 비트 A/D컨버팅 한 다음에 시리얼 통신으로 이 디지털 신호를 UART IC칩에 보내면 이 IC칩은 컴퓨터와 USB 통신 중에서 Asynchronous serial Data 전송방식으로 통신을 하게 된다. 컴퓨터에 받아진 시리얼 데이터는 LabView 소프트웨어의 소프트웨어 타이머를 사용하여 일정시간 마다 읽는다. 본 연구에서 실행한 마이크로컨트롤러의 C 언어 프로그램 순서도는 Fig. 3과 같고 Labview 프로그램은 Fig.4 와 같다.

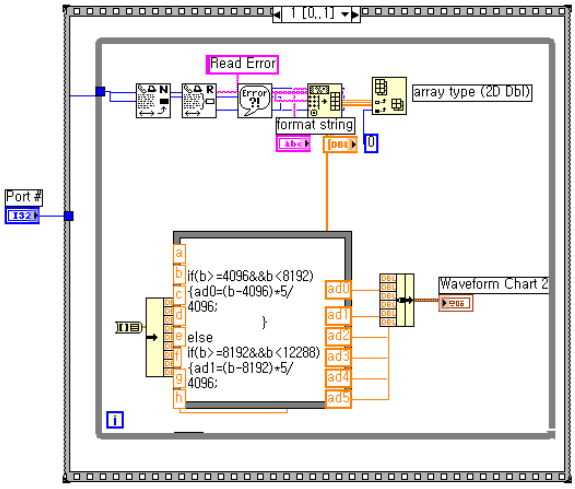

Fig 4.LabView for data reading and plotting

3.2 힘/토크 센서의 네트워크

공장 자동화나 공정 시스템에서 여러 공정을 효율적으로 관리하기 위해서는 네트워크를 기반으로 한 실시간 제어가 필요하다. 특히 복합적인 공정을 가진 시스템에서 각종 센서들의 정보는 가장 중요한 제어를 하기 위한 기초 요소들이다.

다축 힘/토크 센서는 로봇의 말단장치에 부착되는 경우가 많아서 연속 공정 시스템에서 가장 먼저 알아야 되는 정보라 할 수 있다. 여기서는 가장 일반적인 네트웍 방법 중 하나인 TCP/IP 프로토콜을 사용한다. 관리자가 어디서든지 장치의 IP주소만 알면 이 공정을 제어 할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 TCP/IP 통신 프로토콜을 이용한 웹 기반 다축 힘/토크 센서을 구성하고 있다. TCP/IP는 서버와 클라이언트로 구성되어지며, DataSocket에서는 서버라는 응용프로그램이 있어서 이것을 실행시켜서 서버를 만들고, LabVeiw에서는 클라이언트를 만들어 이 서버에 접속 하는 형식으로 통신이 이루어진다. 그러나 TCP/IP에는 DataSocket이 없기 때문에 서버도 만들어 주어야 된다.

우선, 다축 힘/토크 센서에서 USB통신으로 컴퓨터에 LabView 프로그램에 의해서 각 채널의 힘의 정보를 서버 프로그램에 옮겨진다. 서버설정은 LabView에서 제공하는 TCP모듈에서 포트번호를 정하고, 포트를 열어 두고 클라이언트가 접속하기를 기다렸다가 접속하면 하나씩 접속시켜준다. 클라이언트는 TCP모듈에서 서버의 IP와 같은 포트번호를 입력하고 서버에 접속하여 데이터를 읽어 들이는 것이다. 처음에는 헤더의 정보를 먼저 읽고 다음에 데이터를 읽는 순이다. 본 연구에서 실행한 서버는 Fig.5 과 같고, 클라이언트는 Fig.6 와 같다.

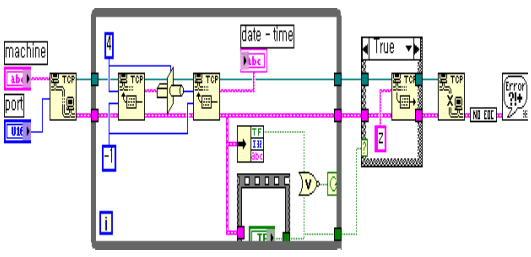

Fig.5 Data Server

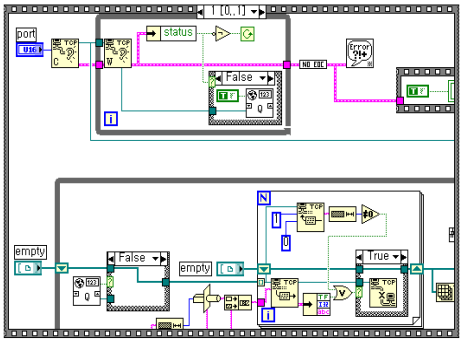

Fig. 6 Data Client

4. 실험결과

이 절에서는 본 논문에서 제안한 힘관리시스템이 실제로 작동하는지 알아보기 위하여 Remote 컴퓨터에서 힘센싱 실험을 수행한다. USB 통신을 통해 수집된 힘정보는 Local 컴퓨터에 저장되고, 이 정보는 다시 TCP/IP를 통해 웹으로 Remote 컴퓨터로 전송되는 과정을 반복 실험하였다.

그 중 한 케이스로 10 Kgf를 센서에 가했을 때 힘의 정보가 정확하게 Remote 컴퓨터에서 센싱되는 실험결과를 도시한다. 이 경우에 Remote 컴퓨터에서 6 채널의 신호는 Fig. 7과 같다. Fig. 7의 신호는 Local 컴퓨터에서 6축의 힘토크 성분으로 변환된 뒤 Remote 컴퓨터로 전송될 수 있으나, 여기서는 비교를 위하여 Remote 컴퓨터로 바로 보내진다. Fig. 8은 전압을 숫자로 읽어 들여서 환산한 것이다. 이 그림은 LabView 창에서 자동으로 생성된 것을 화면 캡처한 것이다.

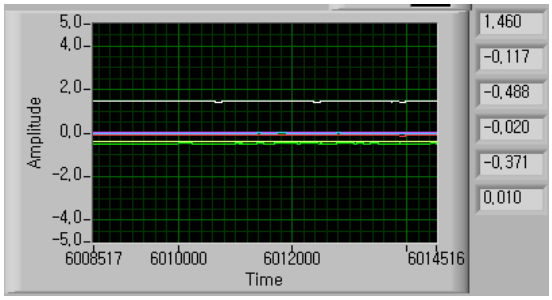

Fig. 7 Experimental 6 channel values when 10kgf is applied in x direction

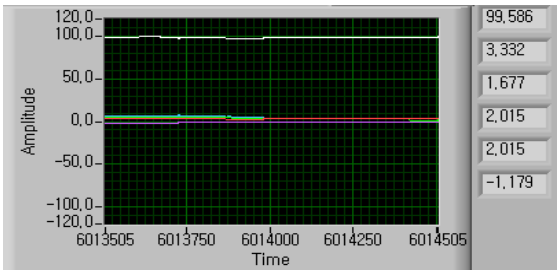

Fig. 8 Force senor output when 10kgf is applied in x direction

이 실험결과로부터 본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 알 수 있다. 주어진 10 Kgf의 힘이 실시간으로 잘 감지되고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 웹기반 힘관리시스템의 구성과 구축에 대하여 논의하였다. 다축 힘/토크 센서 안에서 아날로그신호를 PIC 마이크로컨트롤러를 이용하여 디지털신호로 변환한 후, USB 통신을 통해 Local 컴퓨터로 보낸 다음 이를 기존의 웹을 통해 Remote 컴퓨터로 통신함으로써, 노이즈 감소 뿐만 아니라, 고가의 I/O보드를 사용하지 않아도 되도록 하였다. 따라서 센서의 성능뿐 아니라 비용 절감의 효과를 얻을 수 있게 되었다. 또 인터넷을 기반으로 하는 시스템을 구성하여, 네트워크를 기반으로 하는 통합 시스템에 쉽게 접목시킬 수 있게 되었다.

후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2002-000-00124-0) 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] Kang, C.-G., 2001, "Maximum Structural Error Propagation of Multi-Axis Force Sensors," *JSME International Journal Series C-Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, Vol. 44, No. 3, pp. 676-681.

[2] Kang, C.-G., 1998, “Analysis on Force Sensing Errors of Force-Torque Sensors,” *Trans. Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 22, No. 7. pp. 1250-1257.

[3] Kang, C.-G., 2000, "Force-Sensing Error Propogation in Multi-Axis Force Sensors," *Trans. Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 24, No. 11, pp. 2688-2695.

[4] Kimg, J.-Y., Kang, C.-G., 1999, “Strain Analysis of a Six Axis Force-Torque Sensor Using Cross-Shaped Elastic Structure with Circular Holes,” *J. of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp. 5-14.