2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20

필드버스를 이용한 실시간 로봇 제어 시스템의 설계

김형석*, 김영신**, 권욱현*
*서울대학교 전기공학부, **삼성전자

A Design of a Real-time Robot Control System employing fieldbuses

Hyung Seok Kim*, Young Shin Kim**, Wook Hyun Kwon*
*School of Electrical Engineering, Seoul National Univ., **Samsung Electronics

Abstract - 본 논문은 필드버스를 이용한 실시간 로봇 제어 시스템의 설계와 체계적인 설계 방법을 제안한다. 설계의 주요 잇점은 케이블링 비용의 절감과 유지 보수의 용이함을 들 수 있다. 최악 시간 분석에 의하여 필드버스를 이용하는 로봇 제어 시스템이 주어진 시간 제한 요구를 만족할 수 있는지를 검증하기 위하여 실시간 제어 시스템의 패러미터들을 어떻게 결정할 수 있는지 보여주며, 태스크와 메시지의 실시간 스케쥴링 방법을 제안한다.

1. 서 론

일반적인 로봇 제어 시스템은 주제어기, 축제어기들, 인코더, 모터들로 구성된다. 세 종류의 점대점 연결이 로봇 제어 시스템에 존재한다. 주제어기와 축제어기 간의 연결이 그 하나이며, 또한 축제어기와 액튜에이터 간의 연결, 축제어기와 센서 간의 연결 등이 그것들이다. 주제어기는 축제어기에 사용자 명령과 참고값 등의 메시지들을 주며, 축 제어기는 출력 구동기를 사용하여 액튜에이터의 출력을 구동한다. 센서는 모터의 위치와 각속도를 주기적으로 측정한다. 이 측정된 입력값들은 축제어기로 전달된다. 상용 산업용 로봇은 충분한 자유도를 위해 6개의 축으로 구성되며[1], 따라서, 전체적으로 열여덟개의 데이터 교환을 위한 연결이 있게 된다. 복잡한 연결선들은 케이블링의 비용을 증가시키고 로봇의 유지를 어렵게 만든다.

유사한 문제가 제조 시스템과 공정 시스템에서도 알려져 있다[2,3]. 이러한 영역에서, 다양한 필드버스가 이 한 문제를 해결하기 위해 제안되어 왔다. 필드버스는 거리상 떨어져 있는 제어기, 변환기, 액튜에이터, 센서 등의 고립된 필드 디바이스들을 상호 연결하기 위한 디지털, 양방향성, 멀티드롭 통신망이다. 아날로그 신호를 이용하는 기존의 통신 방식에 비해 훨씬 더 정확한 전달이 가능하다. 필드 버스를 이용한 로봇 제어 시스템의 주요 잇점은 케이블 비용의 절감과 유지 보수의 용이함이다. 또한 특정 로봇 제어 시스템의 의존성이 떨어지며 지능 디바이스들에 제어 기능을 분산시킬 수 있다.

결정적인 동작을 요구하는 로봇 제어 시스템의 설계는 실시간 특성을 고려해야 한다. 시간에 대한 제한사항은 타 실시간 제어 시스템과 마찬가지로 입력과 출력 데이터의 전송에 있어 요구된다. 이들 요구 사항들은 로봇 팔의 정확한 구동을 위해 필수적이다. 필드 통신망을 로봇 제어 시스템에 적용하는 경우에, 설계와 구현은 항상 시간 제한 사항들의 결정과 실시간 스케쥴링을 필요로 한다. 축 간의 시간 동기화 또한 로봇의 올바른 동작을 위하여 중요하다. 그것은 축들이 동시에 명령을 받고 동시에 움직이는 것을 의미한다.

그림 1은 논문에서 제시되는 설계 방법을 보여준다. 이 방법은 모델링, 패러미터의 할당 및 결정과 실시간 스케쥴링 등의 하부 프로세스들로 구성된다. 설계 프로세스의 성공 여부는 설계 프로세스가 잘 정의된 하부 프로세스들로 분리될 수 있느냐에 강하게 의존한다. 제안된 접근 방법에서 사용한 통신망은 FIP(factory instrumention protocol)이며 이를 사용하여 실시간 로봇 제어 시스템을 설계하는 과정을 설명한다. FIP는 IEC 61158 타입 7의 IEC 표준 필드버스이다. 패러미터 할당과 스케쥴링 계획 등이 필드버스 적용 이전에 갖춰진다면, 타 필드버스들도 역시 적용 가능하다.

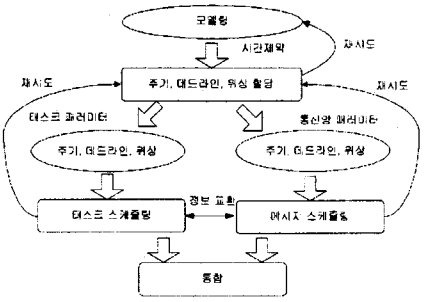

그림 1. 체계적인 설계의 순차 과정

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 일반적인 6축 로봇 제어 시스템에 대하여 서술하고, 3장은 로봇 제어 시스템에 대해 사용 가능한 실시간 통신망인 FIP의 간략한 소개와 분석을 한다. 4장에서는 필드버스를 적용한 로봇 제어 시스템의 설계를 제안하고, 통신 지연 등을 분석한다. 5장에서는 결론을 제시하도록 한다.

2. 다축 로봇 제어 시스템

일반 n축 로봇 제어기의 구성은 그림 2와 같다. 대부분의 산업용 로봇은 충분한 자유도를 위하여 6축으로 이루어져 있으므로, 본 논문에서는 6축 로봇 제어 시스템을 다루도록 한다. 이러한 로봇의 예제로 PUMA 560 로봇, ST R16 로봇, Merlin 로봇 등을 들 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 여러 개의 구성 요소들이 하나의 축 모터를 제어하기 위하여 필요하다. 주제어기, 축제어용 마이크로프로세서, 디지털-아날로그 변환기, 전류 증폭기, 축 인코더 등이 이러한 구성요소들이다. 주제어기는 로봇의 움직임을 관장하고, 6축 제어기들은 각각 그들의 축을 제어한다.

주제어기는 두가지의 주요 기능을 수행하는데, 하나는 사용자의 지시로부터 하부태스크 스케쥴링을 수행하는 사용자 인터페이스이다. 사용자 인터페이스로는 여러 가지 사용자 명령을 해석하고 메시지로 각종 에러를 보고하는 기능을 가지고 있다. 또한 전체 이동 경로가 올바르게 이루어지도록 각 축의 위치 이동에 대한 지시를 따로따로 각 축에 차례대로 전송한다. 이에 대한 응답으로 주제어기는 각 축에 요구된 증감분의 동작을 완료했는지에 대해 | 인 메시지를 받는다.

각 축제어기는 디지털 서보 보드, 아날로그 서보 보드, 전류 증폭기로 구성된다. 마이크로프로세서는

각 축 제어에는 Ts마다 축제어 마이크로프로세서가 각

회전축에 올려진 인코더로부터 증가분을 저장해놓는 레지스터값을 읽어서 위치에러정보를 공급하는 서보 루프가 있다. 또한, 주기 Tc마다 축 제어기는 주제어기로부터 트래잭토리 셋 포인트를 받는다.

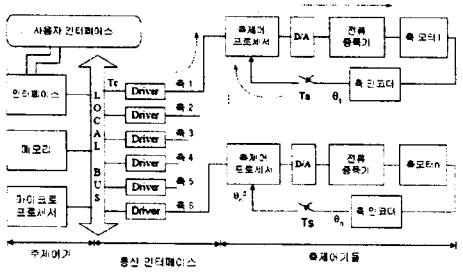

그림 2. 일반적인 로봇 제어시스템의 구조

주제어기와 축제어기 간의 연결은 점대점으로 이루어지며 데이터 전달이 하나씩 교대로 이루어지기 때문에 축간의 시간적 일관성이 지켜지기 어렵게 되는 동기화의 문제가 있다.

3. 필드버스

필드버스는 디지털, 양방향, 멀티드롭 통신망이다. 분산된 제어기들 중의 한 노드를 제어 대상에 있는 센서와 액튜에이터들에 연결하는 것이다. 표준 UART(Univers Asynchronous Receiver/Transmitter)인터페이스를 는 단일 마이크로칩에 의해 센서와 액튜에이터들이 제어된다. 필드버스의 데이터는 보통 2바이트의 상태 정보를 전달하며, 전송 지연에 대한 엄격한 실시간 요구를 가지고 주기적으로 또는 비주기적으로 전달된다. 따라서, 정확한 클럭 동기화가 필드버스 통신망에서 제공되어야 한다.

필드버스의 주요 특징은 제어기들과 케이블에 있어 저가이며, 실시간 통신이 가능하다는 점으로, ATM과 FDDI, Ethernet 등과 다른 점이기도 하다. F Profibus, CAN(controller area network)[4] 등이 적인 필드버스로 응용 영역의 특성에 따라서 알맞은 것이 사용된다. 본 연구에서 사용된 필드버스는 FIP로, 이것은 오프라인 스케쥴링의 특성으로 주기적 메시지의 결정적인 전송에 매우 적합하다. 이 특성은 실시간 시스템의 구현에 도움이 된다.

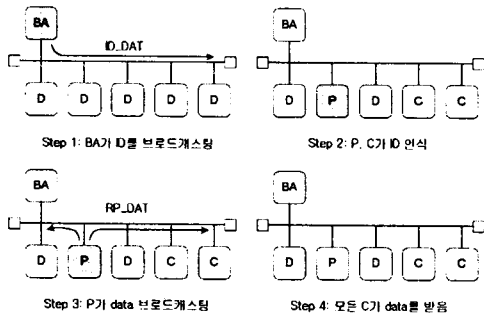

그림 3. FIP의 매체 제어 동작

FIP[5][6]는 IEC 표준 필드버스로 IEC 61158 typ며, 유럽 표준 EN50170 필드버스이다. 생산자-소비자 태의 프로토콜 모델을 취하며 BA라는 버스 조정기가 통신망의 각 생산자의 억세스 권한을 조정한다. 주기적 전송은 네 단계를 거친다. BA가 먼저 identifing 프레임(IDDAT)을 브로드케스팅한다. 그리고나서, 하나의 생산자와 다수의 소비자가 ID를 인식하게 된다. 그 생산자는 응답 프레임(RPDAT)을 브로드캐스팅하여 다수의 소비자가 가져가도록 한다. FIP 생산자-소비자 모델 프로토콜의 이러한 과정이 그림 3에 보여진다.

4. 필드버스를 이용한 로봇 제어 시스템

일반적인 로봇 제어 시스템은 D/A 변환기와 A/D 변환기를 데이터 교환을 위한 접속 도구로 가지고 있다. 이러한 접속은 점대점 연결로 이루어진다. 필드버스를 이용한 로봇 제어 시스템은 데이터 교환 접속부를 필드버스 네트워크의 접속부로 교체함에 의해 실현되어진다. 필드버스 네트워크 접속부는 단순하며, 하드웨어 구조가 복잡하지 않아서 그 크기는 보통 작다. 필드버스의 매체로서 UTP(unshielded twisted pair) 선이 센서와 액이터 등과 연결하기 위해 흔히 사용되는데, 전자기의 영향으로 발생하는 에러를 방지하고자 하면, 광케이블이 연결을 위해 적합하다.

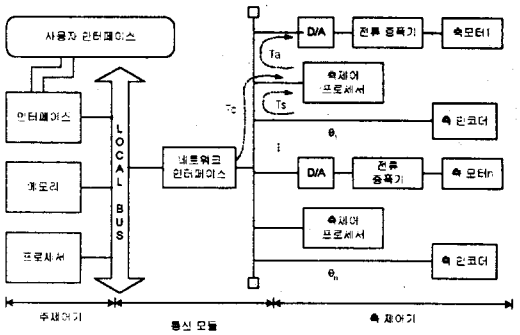

그림 4. 필드버스 기반 로봇제어시스템의 구조

필드버스를 적용한 로봇 제어 시스템의 구조가 그림 4와 같다. 축제어프로세서, ACP(Axis Control process 이상 ACP), MCP, 센서와 액튜에이터 사이의 세 종류의 데이터 통신이 있다. MCP로부터 ACP로의 데이터 전송은 각 축에 대한 참조각이 매 Ts마다 이루어진다. 표 1에서 보여지듯이, MCP는 16비트의 메시지를 6개의 ACP에 준다. 축간의 공간적 일치성을 만족시키고 통신속도를 증가시키기 위해 MCP는 메시지들을 그룹화하고 6개의 ACP로 그룹화된 96비트의 메시지를 동시에 보낸다. 메시지를 그룹화하는 경우에 대한 언급은 3장에서 보여졌다.

표 1. 통신망 지연 분석

데이터 흐름	S→MC,AC	MC→AC	AC→A
데이터길이(bits)	16	96	16
오버헤드길이(bits	162	162	162
프레임길이(bits)	178	258	178
전송 속도(Mbps)	2.5	2.5	2.5
전송 시간(msec)	0.0712	0.1032	0.0712
데이터 수	6	1	6
전체 시간(msec)	0.4272	0.1032	0.4272
전송 주기	Ts	Tm	Ta

S : sensor, A: actuator
MC : main controller, AC : axis controller

두번째의 통신으로 ACP에서 액튜에이터로의 데이터 흐름이 있는데, 그것은 액튜에이터 구동을 위해서 필요

하다. 디지털 데이터가 필드버스를 통하여 전송되기 때문에, D/A 변환기는 액튜에이터 노드에 포함되어져야 한다. Ta를 액튜에이터 노드의 전송 주기라고 놓는다. 세 번째 통신으로 센서로부터 측정된 액튜에이터의 상태가 ACP와 MCP 모두로 전송된다. MCP는 센서에서 측정된 데이터를 직접 받기 때문에 ACP에서 MCP로의 센서 데이터의 전송은 더 이상 필요없게 된다. 매 샘플링 주기 Ts마다, 각 축의 위치에 대한 정보가 전송된다. 표 1은 필드버스를 이용한 로봇 제어 시스템의 구조에서 통신 지연 시간 분석 결과이다.

이 표에서 모든 통신 데이터의 크기는 16비트로 가정되는데, 이 값은 로봇팔의 위치를 나타내기에 충분한 크기이다. 오버헤드 비트수는 데이터 비트수보다 많아서 비효율적이기는 하나, 전송의 신뢰성과 확장성을 위하여 그대로 사용한다. 프레임 구조는 전송 시간이 시간 제약을 어기지 않는다면 그대로 사용하여도 무방하다. FIP의 보레이트는 2.5Mbps로 선택한다. 광매체를 사용함에 의해 5Mbps로 올리는 것도 가능하다. 센서로부터 주제어기와 축제어기까지의 전송 지연은 0.4272msec이며, 주어기로부터 축제어기까지의 지연은 0.1032msec이다. 제어기로부터 액튜에이터로 프레임을 전송하는 것은 0.4272msec가 소요되는 것으로 분석된다.

통신망 설계를 위해서는 통신망 이용율의 계산이 필수적이다. Cn을 각 데이터 흐름의 전송 시간이라 하고 Tn을 각각의 주기라고 하면, 표 1의 결과에 의해 이용율 이용률 U는 다음과 같다.

$$U = \sum_n \frac{C_n}{T_n} = 0.0$$

$$= \frac{0.0712}{T_s} + \frac{0.1032}{T_m} + \frac{0.0712}{T_a} \quad (2)$$

다른 종류의 로봇들의 패러미터인 주기와 통신 지연시간들을 식 (1)에 적용할 때, 이용율은 제약값을 초과할 수도 있다. 이러한 경우에는, 제약을 만족시키기 위해 통신 속도나 패러미터들을 조정하여야 한다.

5. 결론

본 연구는 필드버스 통신망을 이용한 실시간 로봇 제어 시스템의 구조를 제안하였다. 통신망 기반 로봇 제어 시스템의 체계적인 설계를 위하여 하부 프로세스의 분리에 의한 설계 방법을 제시하였다. 본문에서는 모델링과 간략한 통신망 지연의 계산에 대해 다루었으며, 더 나아가서 시스템 패러미터의 분석과 결정, 실시간 스케쥴링 등은 확장된 논문에서 다루고 있다. 최악 경우의 통신 지연 계산을 통하여 실시간 로봇 제어 시스템의 필드버스의 부가에 의한 영향을 분석하였다. 통신망 기반 로봇 제어 시스템의 전체적인 설계 방법을 제시하여 로봇 제어 시스템에 필드버스가 적용될 때 결정적인 동작을 지원할 수 있는 방법을 제시한 데에 중점이 있다 하겠다.

[참 고 문 헌]

[1] K. S. Fu and R. C. Conzalez and C. S. G. Lee Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill, 1987

[2] J. D. Decotignie and P. Pleinevaux, "A survey on industrial communication networks", Industrial Communication Networks, ANN. TELECOMMUN.}, 1993, Vol. 43, pp.435-448

[3] P. Pleinvaux and J. D. Decotignie, "Time Critical Communication Networks: Field Buses", {\it IEEE Network}, vol.2, May, 1988

[4] ISO, Road vehicles--Interchange of digital information Controller area network (CAN) for high-speed communication}, 1993

[5] WorldFIP, General Purpose Field Communication System}, prEN 50170, 1995

[6] Y. S. Kim and S. K. Jeong and W. H. Kwon, "A Pre-run-time scheduling method for distributed real-time systems in FIP environment", Control Engineering Practice, no.6, 1998