

# 실시간 통신을 사용한 Intelligent Robot

## Workcell의 구성에 관한 연구

\*김 동 준\* 김 갑 일\* 장 혁 수\*\* 이 병 도\*  
명지대학교 전기공학과\* 정보통신공학과\*\*

A study on the Integration of Intelligent Robot Workcell  
using Real Time Communication

Dong Jun Kim \* Kab Il Kim\* Hyuk Soo Jang \*\* Byung Do Lee\*  
Dept. Electrical Eng.\* Inform. and Comm. Eng.\*\* Myung Ji University

**Abstract** - Integration of intelligent robot workcell is now a hot issue in CIM and robotics area. This paper dealt with relatively low level essential topics, i.e., multi-robot coordination and real-time communication for the integration of intelligent robot workcell. For the coordination of multi-robot system, the tightly-coupled coordination is proposed using the various sensors. In order to handle the numerous communication data, time-critical communication network (field-bus) is introduced and investigated. Finally, intelligent robot workcell is suggested using the mini-MAP and field-bus.

### 1. 서론

생산 자동화 시스템은 한 범주에서 할 수 있는 작업을 모아서 실행하는 workcell들로 이루어져 있다. 이러한 workcell들은 하나의 로봇으로 이루어진 간단한 것에서부터 여러 개의 로봇, CNC, PLC 등으로 이루어진 복잡한 것까지 다양한 형태를 지닐 것이다. 작업의 기계 의존도를 높이기 위해서는 필연적으로 workcell은 점점 더 복잡해지며 많은 센서의 사용과 장비들 사이의 자료의 교환이 필요하게 된다. 궁극적으로는 이러한 workcell들이 많이 모여서 무인 자동화 시스템 혹은 CIM 시스템을 이루게 된다. 이러한 시스템을 이루는 기본은 workcell 이 되며 workcell 내에서의 작업을 자동화 하고 조직적으로 관리하지 않고서는 도저히 복잡한 시스템을 구성할 수가 없다. 이러한 workcell의 구현을 위해서 해결하여야 할 문제가 많이 있지만 본 논문에서는 비교적 low level 에 속하는 장비나 로봇들의 협동(coordination) 과 workcell의 조직화를 위한 실시간 통신망의 구축에 대해서 관심을 가지고 언급하고자 한다.

Workcell 내에 여러 개의 장비들이 공존해서 작업을 할 때 두개 이상의 장비들이 같은 작업을 공동으로 수행할 필요가 있거나 혹은 공동 작업에 의해서 효율을 높일 수 있는 경우가 생기게 된다. 이러한 경우에 장비들 특히 로봇들의 동작을 협동(coordination) 시키기 위해서는 필요한 센서들을 사용하여야만 한다. 예를 들어 움직이는 작업대의 물건을 로봇가 집어 가야 하는 작업은 시각 센서의 도움을 받아야 제대로 수행할 수가 있다. 또 두개 이상의 로봇들의 협동에 의해서 수행해야 하는 작업의 경우에는 종래의 산업용 로봇의 명령어(command) 만으로는 도저히 수행이 불가능하며 반드시 힘/토크 센서의 도움을 받아서 힘을 조절해 주어야만 한다. 즉 센서의 자료에 의해서 로봇의 동작을 보정 내지는 지시하기 위해서는 kinematics 나 inverse kinematics 를 계산해야만 로봇의 동작을 보정 내지는 지시를 할 수가 있다.

한편 이러한 센서의 도움에 의해서 자체적으로 에러를 보정할 수 있는 이점이 있다. 로봇나 장비들은 아무리 초기의 calibration 이 잘 되어 있고 정밀하다 할지라도 반복해서 오래 사용하면 에러의 누적이 의해서 자동적으로 발생하게 된다. 이러한 보정도 역시 센서의 도움을 받아서 에러의 누적을 피할 수가 있다.

이와 같이 작업의 협동 및 에러의 소멸은 센서를 사용하여 각각의 경우에 맞는 보정 작업을 해 줌에 의해서 실현될 수가 있다. 물론 이 이외에도 장비 자체의 정밀도 및 구조적 개선 등을 통한 workcell의 협동 및 에러의 극소화를 꾀할 수 있지만 한계가 있으며 현재의 기술 상황 및 경제성에 비추어 볼 때 센서의 사용에 의한 노력이 훨씬 더 합리적이라 할 수 있다.

한편 workcell의 조직화를 위해서는 우선 네트워크 개념을 사용하여 장비나 센서들은 연결해 주어야 한다. Workcell 이 복잡해짐에 따라 많은 자료를 통신하기 위해서는 종래의 point-to-point 방식에 의한 serial/parallel 연결에 의해서는 통신 매체의 수가 너무 많아져서 workcell의 실현이 불가능하게 된다. 최초로 생산 시스템에 도입된 네트워크 개념은 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 이 있으며 현재 많이 사

용되어지고 있다. 하지만 workcell내에서의 통신을 위해서는 OSI의 7계층을 다 가지고 있는 MAP을 사용해서는 실시간 통신을 이룰 수가 없으며 이중 1,2,7 계층만 사용한 mini-MAP 이 사용되어지고 있다.

그러나 workcell내의 장비 (로봇, CNC, PLC)와 센서들을 자세히 살펴보면 장비들은 주로 자료의 입출력을 실행하며 비교적 자료의 통신량이 센서들에 비해서 적은 반면에 센서나 actuator 들은 많은 자료를 대부분의 경우에 출력만 한다. 이러한 성질에 따라 많은 자료의 출력만을 목적으로 하는 time-critical한 통신망 (field bus)의 필요성이 대두 되었으며 현재 외국에서는 많이 연구되어지고 표준화 작업이 추진 중에 있다. [1] 본 논문에서는 이에 따라 mini-MAP과 field-bus에 의해 조직화된 workcell의 구성을 제안하고자 한다.

로봇의 coordination에 관해서 다른 논문이나 생산 시스템의 운용에 관한 논문은 많이 있으나 통신망의 운용을 전제로 workcell의 개념을 도입해서 로봇의 협동 방식에 관해서 다른 논문은 그리 많지 않다.

[2]는 로봇의 협동을 구현한 시스템에 관해서 언급하고 있다. 여기서는 두개의 PUMA 로봇을 하나의 컴퓨터에서 동시에 구성하는 방법을 취하였지만 전혀 센서를 사용하지 않고 단지 한 컴퓨터에서 두개의 로봇을 구동시켰을 따름이다. 이것은 다음에 언급할 trajectory-wise coordination의 실현이긴 하지만 진정한 의미의 협동 체계를 갖추지는 못하였다. 보다 진보된 형태의 협동 체계는 힘/토크 센서를 사용한 trajectory-wise coordination으로 하나의 로봇의 동작에 의해서 다른 로봇의 동작이 영향을 받는 tightly-coupled가 된다. [3] 한 로봇의 동작에 의한 영향은 힘의 형태로 다른 로봇에 나타나며 이 힘의 측정에 의해서 다른 로봇의 동작을 하게 된다. 그러나 위의 두 논문은 실시간 처리 문제를 다루었으나 아직 통신망 개념이 도입되지 못하고 그저 중앙 컴퓨터에 의한 집중식 제어가 이루어지고 있으며 다른 장비의 추가에 대한 유연성이 전혀 없다.

실시간 통신망을 사용한 복수 개의 로봇 시스템에 관해서 다른 논문은 [4]이며 port directed 통신[7]에 의한 로봇 시스템의 integration에 중점을 두어서 distributed module architecture를 제안하고 있다. 그러나 아직 workcell의 구성 및 운용에 관해서는 전혀 언급이 없다. [5]는 workcell에서의 실시간 통신 문제를 다루고 있다. 여기서는 polled bus라는 새로운 개념의 버스 액세스 메커니즘을 제안하여 통신 중에 정보를 손실하는 율을 토크 버스보다 현저히 줄였다. 그러나 polled number의 사용에 의한 부하 시간을 생각하면 같은 토크 버스 scheme을 사용했을 때 통신 시간 자체의 감소는 별로 상각할 수가 없다. 그리고 [6]은 토크 버스 접근 메커니즘을 갖는 기존의 LAN을 사용하여 두개의 로봇의 협동 체계를 갖는 실시간 통신망을 구축하고 토크 passing 율의 하한 시간 안에 실시간 처리를 할 수 있는지 여부를 성능 평가해 보았다. 그러나 여기서는 중앙 관리 컴퓨터를 둔 고정된 workcell의 구현에만 관심을 두고 기존의 LAN의 적용 여부를 검토했을 따름으로 다른 장비의 추가에 따른 언급은 전혀 없다.

한편 국내에서 최근에 발표된 복수 개의 로봇과 다중 센서를 이용한 정밀 조립용 로봇 시스템의 개발에 관한 논문 [10]은 로봇사이의 협동 체계를 이루지 못하고 있으며 힘/토크 센서의 정보도 실제로 로봇의 동작에 feedback 되어서 사용되어지고 못하고 있다.

본 논문은 현재까지의 이러한 연구를 바탕으로 장비(로봇)의 협동 문제에 관해서 새롭게 정의 하고 mini-MAP과 field-bus로 이루어진 통신망을 통해서 자유롭게 장비나 센서들을 추가할 수 있는 유연성 있는 시스템의 구축을 통해 intelligent robot system을 제안하고자 한다. 그리고 아직 세계적으로 표준화가 되어 있지 않은 field-bus에 대한 소개를 하고 사용 가능한 통신 방법에 대해서 언급하고자 한다.

## 2. 로봇의 협동 방안

Workcell 내의 장비 중 협동(coordination)이 가장 문제가 되는 것은 로봇들 간의 협동이다. 여기서는 로봇들 사이에 생길 수 있는 모든 협동 방안에 관해서 논하고자 한다. 로봇과 다른 장비(예를 들면 conveyor)들 간의 협동도 여기에 준해서 생각할 수가 있다.

로봇의 협동 방안에는 크게 2가지로 생각할 수가 있다. 즉 로봇들간의 동작이 독립적이거나 순서적인 동작에 따른 협동 방안(point-wise coordination)과 로봇들간의 동작이 아주 밀접하게 서로 결합되어 있는 경우의 협동 방안(trajecy-wise coordination)이다.

### 2.1. Point-wise coordination

이 협동 방안은 종래의 산업용 로봇에서 제공하는 명령어(command)만을 사용해서 이를 수행할 수 있는 협동 방안이다. 여기서 로봇들이 각각의 제어기에 의해서 주어진 위치까지 직접 동작으로 각각 독립적으로 이동한다. 그러나 로봇들이 같은 작업 공간 내에서 움직이게 되므로 이동간의 제속의 충돌이 생길 가능성이 있고 또 작업의 순서에 따른 기다림 등이 생기게 되므로 로봇들간의 동작의 협동이 이루어져야 한다. 물론 이러한 것은 엄밀한 의미의 협동은 될 수 없지만 넓은 의미에서 보면 로봇들간의 동작을 조정 내지는 배렬하여야 하므로 협동의 의미라고 생각할 수 있다. 현재 산업계에서 사용되고 있는 다중 로봇에 의한 workcell의 운용은 대부분 이러한 수준의 것이다. 이 협동 방안은 독립적인 이동(independent motion)에 의한 것과 순서적인 이동(serialized motion)에 의한 것으로 구분할 수 있다.

#### 2.1.1. 독립적인 이동에 따른 협동

로봇들이 한 작업 공간 내에서 각각 독립적인 일을 수행하며 한 로봇의 작업 오차(error)가 다른 로봇의 작업에 직접적인 영향을 주지 못하는 경우에 독립적인 이동이라고 한다. 이 작업에서의 협동은 이동에 따른 충돌의 회피(collision avoidance)를 생각할 수 있다. 이것은 상당한 중요한 문제로서 여러 가지 관점에서 다룰 수 있으나 여기서는 본문의 주제와 다소 거리가 있으므로 미리 사전에 조정하는 정도로 간단히 해결이 되는 것으로 간주한다.

#### 2.1.2. 순서적인 이동에 따른 협동

로봇들이 여러 개의 부품을 조립하는 작업은 순서에 따라 하여야 하며 한 로봇의 작업 오차가 다른 로봇의 작업에 직접 영향을 주므로 독립적인 이동과 구분하여 다루는 것이 편리하다. 여기서는 이동에 따른 충돌의 회피 뿐만 아니라 동작의 순서에 관한 배렬 상의 문제가 생기게 된다. 이러한 조립의 작업에서의 작업의 배렬에 관한 문제는 부품의 조립의 공정을 만족할 수 있는 방안에 관해서 현재 많은 연구가 되어지고는 있으나 여기서는 위와 같은 이유로 깊이 다루지 않기로 한다.

### 2.2. Trajectory-wise coordination

로봇들이 한 물체를 동시에 옮기는 것과 같은 작업은 앞에서 언급한 point-wise한 이동 방법으로는 가능하지 않고 각 로봇들의 동작을 동기(synchronization)시켜 주어야 한다. 이러한 경우는 기존의 산업용 로봇에서 공급하는 명령어를 이용해서는 실현할 수가 없고 따로 로봇의 경로(trajecy)를 계산해서 로봇들의 이동을 동기 시켜 주어야 한다. 이와 같이 하기 위해서는 로봇의 써보 제어기(servo controller) 측에 들어 PID controller)에 직접 필요한 신호를 주어서 관절의 모터를 움직여야 한다. 이러한 경우에는 주어진 end-effector의 위치를 관절의 회전 동작으로 바꾸어 주는 inverse kinematics와 같은 복잡한 계산을 로봇 제어기의 밖에서 수행하여 써보 제어기 로 통신하여야 한다. 이러한 계산 및 통신에 관한 모든 작업이 써보 제어기의 한 주기(sampling time) 내에 전부 수행이 되어야 한다. 예를 들면 PUMA 로봇의 경우는 한 주기의 시간이 28ms 이다. 한편 이 중의 로봇들간의 협동을 위해서는 각각의 주기가 다르므로 이것을 맞추어 주는 작업을 행해야 한다. 현재는 이와 같은 작업을 위해서 로봇 내부의 제어기에 대한 정보가 공개되어 있고 따로 통신에 필요한 hardware나 software를 구비하지 않아도 가능한 로봇들이 다수 판매가 되고 있다. 이와 같이 직접 제어기 밖에서 로봇들을 구동할 수 있는 기능의 첨가에 의해서 로봇에 각종 센서의 자료를 feedback 시켜서 여러 가지 감각을 지닌 지능형 로봇 시스템(intelligent robot system-IRS)을 실현할 수가 있다. 이와 같이 각종 센서를 첨가하여 이루어진 IRS는 많은 자료를 취급하여야 하므로 통신상의 문제가 생기게 된다. 이와 같은 문제는 다음 장에서 다루게 된다. 여기서는 이러한 IRS를 이루기 위해서 각 로봇들 간의 협동 방안에 관한 문제만 다루기로 한다. 이러한 trajectory-wise coordination 문제는 각각의 로봇들이 센서의 도움이 없이 각각의 써보 제어기를 구동하기만 하면 가능한 loosely coupled된 경우와 센서의 도움을 받아서 각각의 써보 제어기의 동작에 영향을 미치는 tightly coupled된 경우를 생각할 수가 있다.

#### 2.2.1. Loosely-coupled coordination

이 협동 방안은 전혀 센서를 사용하지 않는 방법으로 각 로봇들의 경로를 계산해서 동기가 이루어지기는 하나 동기되어 움직이는 도중에 생기는 오차는 전혀 고려할 수가 없다. 즉 로봇들이 한 물체를 움직일 때 각 로봇들이 부담하는 부하에 관한 해석은 전혀 할 수가 없는 것이다. 이러한

로봇의 이동은 완전한 동기라고는 보기가 어렵고 단지 경로의 이동에 관한 동기만 이루어지게 되어 실제로는 각 로봇들이 전혀 물리적인 결합을 하고 있지 않은 상황이다. 이러한 협동 방안은 간단한 협동 동작인 경우는 무리 없이 수행이 되어질 수 있다. 그러나 협동 동작이 복잡한 경우는 동기되어 이동하는 도중 생기는 오차에 의해서 특정한 로봇에 과중 부하의 부담이 생기거나 물체의 찌그러짐과 같은 현상이 발생할 수 있다. 이와 같은 현상을 방지하기 위해서는 아래와 같은 tightly coupled 방법을 사용하여야 한다.

#### 2.2.2. Tightly-coupled coordination

이 협동 방안은 경로 계산을 하여 동기를 이루는 외에 각종 필요한 센서를 사용하여 동기 이동 중 생기는 오차를 보정하는 방법이다. 이러한 방법에 의해서 비로소 위에서 언급한 IRS를 이용할 수가 있으며 앞으로 무인 자동화 시스템을 이루는데 반드시 해결하여야만 하는 과제이다.

위에서 가능한 모든 로봇들의 협동 방안에 관하여 언급해 보았다. 이러한 협동 방안을 중심으로 여러 가지 명령어 레벨의 동작을 MMS(Manufacturing Message Specification)의 관점에서 생각해 볼 수가 있으며 현재 이러한 시스템을 꾸미기 위한 작업을 수행하고 있다. 과거에 [4]나 [6]에서 행한 로봇의 협동 방안이 있으나 여기서는 독자적인 방법으로 구분하였다. 다음은 이러한 협동 방안을 기초로 하여 전방적인 로봇 workcell의 구성에 관하여 언급하고자 한다.

### 3. 로봇 workcell의 구성

본 절에서는 앞에서 살펴본 로봇들의 협동 방안이 포함되는 workcell들이 어떻게 구성이 되며 이 workcell내의 통신망의 구축에 관하여 언급하고자 한다. 실제로 이러한 workcell에서 실시간 처리가 가능하도록 하기 위해서는 workcell 내에서의 통신 메커니즘도 중요하다. 이 점은 다음 절에서 논한다.

#### 3.1. 구성 요소

일반적으로 로봇 workcell에는 1개 이상의 로봇, 센서들(접촉, 시각, 힘/토크 등등), CNC(Computer Numerical Controller), PLC(Programmable Logic Controller), 각종 PC 및 워크스테이션, 그리고 CAD/CAM을 위한 장비 등이 포함될 수 있다. 본 연구실에서는 로봇 힘/토크 센서, 시각센서 등의 실험 장비를 갖추고 있기 때문에 이것만으로 하나의 workcell을 구성하여 본다.

#### 3.2. 통신망의 구축 제안

전체 생산 자동화 시스템간의 통신을 위해서 GM에서는 OSI 참조 모델인 7계층의 통신 프로토콜 MAP을 제안했다. 이것의 목적은 순차적인 통신의 순서 구성 제공과 장비의 비호환성을 해결하는 것이 주목적이다. 그러나 MAP은 OSI의 7계층을 전부 사용하므로 실시간 통신에 부합하지 못하기 때문에 계층 수를 줄이고 비교적 속도가 빠른 통신 프로토콜로서 새로 mini-MAP이 제안되었다. 이 mini-MAP은 MAP의 7계층중 1, 2, 7계층만을 사용한다. 그러나 많은 센서와 actuator들을 사용하는 시스템에서는 통신의 양은 많지만 대부분의 데이터를 출력만 하기 때문에, 이것들을 mini-MAP에 장착하는 것보다는 구조가 간단하고 비교적 저렴한 field-bus를 통합하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 표 1에 이들이 갖추어야 할 규격을 보인다.

따라서 본 논문에서는 센서나 actuator 들, 즉 비교적 단방향성의 데이터가 많은 장치들을 통합하는 field-bus를 도입한 2가지의 통신망을 제안한다.

첫번째 방법은 전체적인 통신망을 관리하는 단계에는 MAP을 사용하고 이 MAP에는 여러 가지 공정을 포함하는 개개의 workcell이 위치하도록 구성된다. 그 하부 통신망으로서 mini-MAP을 사용한다. 이 mini-MAP에는 로봇이나 CNC 또는 PLC와 같은 일출력 장치들이 장착된다. 그리고 마지막에 field-bus가 위치한다. 이 field-bus는 주로 단방향의 데이터만을 취급하며, 센서와 actuator와 같은 장치들이 장착되게 된다. 그리고 workcell은 mini-MAP과 그 하위 통신망을 포함한다. 지금까지 설명한 workcell에서의 통신망의 구조는 그림 1과 같다.

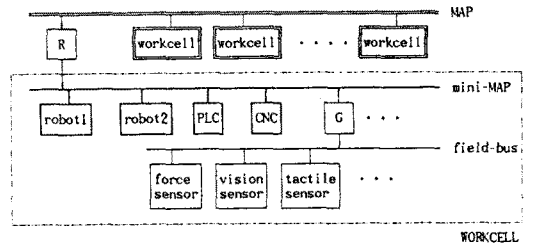


그림 1 시스템 구성 1

두 번째 방법은 네트워크의 workcell 전체를 field-bus로 구성하는 것이다. 즉 workcell 내에서의 통신에서 기기간의 데이터들은 같은 영역에서 연결이 되기 때문에, 송수신시 데이터에 붙는 오버헤드를 줄일 수 있다. 이 field-bus에 의한

통신망의 구축은 아래 그림과 같다. 즉 MAP은 공장 전체를 관리하고 mini-MAP에 workcell이 위치하게 되며 workcell field bus로만 구성되게 된다.

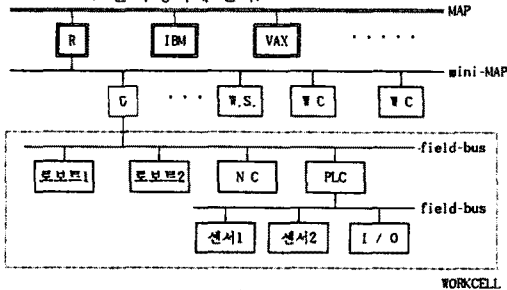


그림 2. 시스템 구성 2

#### 4. Field-bus

이 절에서는 field-bus가 채용하고 있는 구조 (architecture)에 관하여 설명한다. 즉 OSI의 1,2,7계층에 대하여는하고 이들을 고려한 가능한 field-bus의 구조에 대하여 설명한다. 그리고 이 field-bus의 특성을 고려하여 field-bus에 적용 가능한 통신망을 고찰한다. 그리고 나서 제한된 통신망에서 사용할 수 있는 현재 표준화 작업 중에 있는 field-bus들을 소개한다.

##### 4.1. Field-bus architecture

OSI 참조 모델은 다른 특성을 갖는 컴퓨터 시스템의 상호 접속을 위해 7계층의 구조를 정의한다. 그러나 field-bus에서는 실시간 통신을 구현하고자 하기 위하여 OSI 참조 모델의 7계층 중에 1, 2, 7계층인 physical, data link, application 계층만을 사용한다. 이 절에서는 field-bus의 architecture에 관하여 살펴보고 이러한 field-bus를 이용하여 구성할 수 있는 통신망 (네트워크)이 그 다음으로 고찰된다. 자세한 사항은 [9]를 참조.

##### 4.1.1. 물리 계층

물리 계층은 세그먼트당 32 개의 스테이션을 지원하는 버스 구조를 지니고 있고 주로 저가의 twist-pair나 동축케이블이 있다.

##### 4.1.2. 데이터 링크 계층

링크 계층의 하부구조에는 MAC (Medium Access Control) 의 표준 모델로 2가지의 매체 액세스 방법이 있다. 하나는 중심 제어인 master/slave 액세스 방법이고 다른 하나는 IEEE 802.4의 토큰패싱 방법이다. Master/slave 액세스 방식은 주 스테이션이 버스 상의 모든 통신과 데이터를 관리하지만 이 스테이션이 고장날 경우 네트워크가 실패하는 결점이 있다. 이것의 보완으로 IEEE 802.4의 토큰패싱을 사용한다. 이 토큰패싱은 master 스테이션이 없고 로직 링에 포함된 스테이션들이 매체를 분할 소유하면서 제어한다. 이 방법은 처음의 방법보다는 더 복잡하다.

링크 계층의 상부 구조인 LLC(Logical Link Control) 계층은 SDN(Send Data with No acknowledgement), SDA(Send Data with Acknowledgement), RDR(Request Data with Response) 등의 서비스를 제공할 수 있도록 한다. SDN은 하나의 스테이션이 네트워크 내의 모든 스테이션에 수신 확인 없이 데이터 전송에 사용된다. 그리고 SDA는 송신에 대한 수신 확인(acknowledgement)이 필요할 때 사용한다. 그리고 RDR은 원격 스테이션을 폴링하여 데이터를 요구할 때 사용한다. 그리고 SDR (Send Data with Response)은 SDA와 RDR을 통합한 것으로 데이터의 송수신을 한번에 처리할 필요가 있을 경우에 사용된다.

##### 4.1.3. 응용 계층

응용 계층의 기본적인 서비스로는 장치들의 파라미터값을 지정 및 변경하고 변수 값을 주기적으로 입출력할 수 있는 기능, 동기화 등과 같은 시스템의 운용에 필요한 기능 등을 포함한다. 그래서 고려되는 것이 MAP의 MMS (Manufacturing Message Specification)기능 중 remote variable access와 event management 기능들이다. Remote variable access는 센서의 데이터를 제어기에 전달해 주고 그에 대한 제어기의 출력을 actuator에 전달해 주는 기능을 제공한다. 그리고 event management 기능은 workcell안에 처리 상태를 점검하고 수행하는 기능이다.

이들 기능들을 field-bus에서 수행하기에는 능력적인 면에서 문제가 있으므로 각 기능들을 field-bus에 맞도록 선택하여 적용하는 것이 필요하다.

##### 4.2. Field-Bus에서 가능한 Access Mechanism

Field-bus에서 사용 가능한 네트워크의 구성 형태에는 선형, 링, 버스 네트워크들이 있다. 이 네트워크들 중에 선형 네트워크는 주 스테이션 아래 여러 개의 부 스테이션들이 point-to-point로 연결되어 있고 각각의 부 스테이션은 오직 주 스테이션과만 연결되어 있어 통신을 하려면 모두 주 스테이션을 거쳐야만 한다. 따라서 주 스테이션에 통신의 부하가 많고 주 스테이션이 동작을 하지 않을 경우 전체 시스템이 운영불능

상태가 되는 단점이 있다. 이 링 네트워크는 주, 부 스테이션이 종적으로 나뉘는 것이 아니라 하나의 링에 위치하고, 송신 스테이션은 데이터를 링상에 전송하고 그 데이터를 받고자 하는 스테이션은 링상에 있는 데이터를 수신하면 된다. 그리고 송신 스테이션은 링을 통해 되돌아온 데이터를 확인함으로써 올바른 수신 여부를 확인할 수 있다. 이 링 네트워크의 대표적인 것이 토큰링 네트워크이다. 그러나 이 방식의 단점은 통신을 하는 논리적인 순서가 통신 네트워크 구성시 결정되어 버리고 수정이 번거롭다는 것이다.

버스 접속 형태는 버스라는 양방향 신호 전송 매체에 스테이션들을 단순하게 접속한 형태이다. 여기서는 버스 접속 방식에 사용되는 액세스 매커니즘을 설명하고 이 방식들 중에서 주로 토큰 버스 방식과 이 방식의 변이인 polled 버스에 대해 설명한다.

초기의 버스 방식에서의 매체 액세스 매커니즘으로는 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 가 있다. 이 매커니즘은 CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 방식에 충돌이 발생할 경우의 해결적인 충돌 감지 기능이 추가된 것이다. 그러나 이 방식은 통신 매체의 액세스 시간이 유한하지 않을 수 있다는 단점을 가지고 있다. 이의 보완으로 다음의 토큰 버스가 사용되어진다.

토큰 버스는 물리적으로는 버스 구조를 이루며, 토큰을 버스 상의 각 스테이션으로 주고받는 논리적 기능은 링 형태의 동작 특성을 갖는다. 토큰 버스는 버스에 접속된 스테이션들에 로직 링을 구성하고 토큰을 우선순위로 확보하게 하여 메시지를 전송하는 방식이다. 즉 토큰 확보 스테이션만이 전송할 수 있는 권한이 있는 것이다. 또한 링 네트워크의 단점의 보완으로서 토큰을 다음 스테이션으로 넘길 때 새로운 논리적인 링을 재구성할 수 있는 기능이 있다.

버스 액세스 매커니즘의 또하나의 방식은 polled bus 이다. [5] 이 방식은 전송할 스테이션들이 자기에게 맞는 polled number라는 신호를 버스 상에 내보낸후 다시 그 값을 샘플링하여 되돌아온 값과 비교하여 그 값이 같으면 전송을 시작하고, 그렇지 않는 대기 상태에 들어가는 형식이다. 버스가 사용 중이 아닐 때는 각각의 스테이션들은 버스를 확보하기 위하여 poll number를 계산한다. 이 poll number는 일종의 우선 순위로 작용하여 버스를 확보하는 순서를 제공한다.

이상의 고찰에서 field-bus에 가능한 액세스 매커니즘중 현실적으로 가장 타당성이 있는 것은 토큰 패싱과 폴드 버스 방식이다. 우리가 제안한 workcell에서는 이 2가지의 방식중 한가지를 선택하여 사용할 수 있다. 다음은 이들 네트워크에서 사용할 수 있고 현재 표준화가 추진 중인 field-bus들에 대해 고찰한다.

#### 4.3. 현재 발표 중인 field-bus

통신망의 계층 구조중 가장 하위 계층인 field-bus는 통신의 부하를 증가시키는 센서와 actuator를 따로 통합하는 것을 목적으로 하고 있다.

현재 발표되어 있고 표준화 단계에 있는 field-bus 들은 PHOEBUS, MIL-STD-1553, FIP(Fractional Instrumentation Protocol), BITBUS, PROFIBUS(ProProcess Field BUS), 그리고 ME-NET (Mechatronic-Network) 등등이 있다. 이들에 대한 자세한 내용은 표 2에 있다.

#### 4.4. Field-bus의 표준화 상태

현재 field-bus의 표준화를 추진하는 기구는 IEC (International Electrotechnical Commission) TC85C WG3, ISA (Instrument Society of America) SP 50, IEEE P1118 등이 있으며 각각은 표 3에 자세한 규격이 명시되어 있다.

#### 5. 결론

지금까지 로봇의 협동 방안과 field-bus를 사용한 생산 시스템에 관하여 2가지를 제안하였다. 로봇의 협동 방안은 크게 point-wise 협동 방안과 trajectory-wise 협동 방안이 있으며 이중 후자는 다시 loosely-coupled 된 것과 tightly-coupled된 것으로 나눌 수 있다. IRS (Intelligent Robot System)를 구현하기 위해 여러 가지 장비 및 센서들을 유연성 있게 연결하며 또 조직적인 관리를 위해서 workcell 단위로 mini-MAP과 field-bus를 사용하였다. 앞으로의 연구 과제는 지금 제안한 시스템을 계속 발전시키고 또 실제로 구현해 보는 것이다. 또한 실제로 구현하기 전에 simulation이나 계산을 통한 통신망의 성능 평가 및 field-bus의 지연 시간을 줄이는 방안의 연구가 선행되어야 할 것이다.

#### Reference

[1] P. Pleinevaux and J. D. Decotignie, "Time Critical Communication Networks: Field Buses," IEEE Network, Vol.2, No.3, May, 1988, pp.55-63.  
 [2] Y. F. Zheng, J. Y. S. Luh, and P. F. Jia, "Integrating two industrial robots into a coordinated system," Computers in Industry, Vol.12, 1989, pp.78-97.  
 [3] Kab I. Kim and Y. F. Zheng, "Two strategies of position and force control for two industrial robots handling a single object," Robotics and Autonomous Systems, Vol.5, 1989, pp.395-403.

[4] Kang G. Shin and Mark E. Epstin, " Intertask communications in integrated multirobot system," IEEE Journal of Robotics and automation, Vol. RA-3, No.2, April, 1987, pp. 90-99.

[5] Kang G. Shin, " Real-time communications in a computer-controlled workcell," IEEE Trans. on robotics and automation, Vol. 7, No.1, February, 1991, pp.105-113.

[6] Qichao Yin and Y. F. Zheng, " Performance analysis of token bus LAN in coordinating multiple robots," Proceedings of the 1992 IEEE international conference on robotics and automation, Nice, France, May, 1992, pp. 455-460.

[7] A. Silberschatz, " Port directed Communication," Comput. J., Vol. 24, pp. 78-82, 1981.

[8] 한국 자동화 표준 시스템 연구 조합, " 자동화 표준 시스템 연구 조합 소식," 제 1, 2, 3호, 1992.11, 1993.2, 1993.6.

[9] ISA/SP-50, 1991-1992, Draft Standard, Instrument Society of America.

[10] 임 미섭 외, " 복수 개의 로봇과 다중 센서를 이용한 정밀 조립용 로봇 시스템 개발에 관한 연구," 1992년도 하계 학술 대회 논문집(A), 대한 전기 학회, 1992.7.23-25, pp. 422-424.

표 1. 통신 프로토콜들의 특징

통신위선의 종류	Field Bus	Mid-MSP	Full-MSP
전송매체	31, 33kbit(FA종) 1, 1.25Mbit	5kbit(GB 종속, 광 fiber) 10kbit(GB종속, 광 fiber) 750Ω 동축 케이블	5kbit(GB 종속, 광 fiber) 10kbit(GB종속, 광 fiber) 750Ω 동축 케이블
전송매체	트위스트페어 케이블	50/125μm 광 fiber 62.5/125μm 광 fiber 100/140μm 광 fiber	50/125μm 광 fiber 62.5/125μm 광 fiber 100/140μm 광 fiber
Topology	스타형식, 버스형식	버스형식(CB, GB) 스타형식(광 fiber) 수직 μ-구조 (GB종속)	버스형식 (CB, GB) 스타형식 (광 fiber) 수직 μ (GB종속)
최대 전송 거리	100m(FA종) 750m(10kbit) 900m(1.25Mbps)	수직 μ-구조 (GB종속, 설계가 없다) 수: 모두 조건에 따라 다르다.	수직 μ (GB종속) 수직 μ-구조 (GB종속, 설계가 없다) 수: 모두 조건에 따라 다르다.
최대 노드 수	32	32 (제한 없음)	32(GB의 경우)
프로토콜 구조	3중 구조 (물리, 데이터링크, 응용계층)	3중 구조 (물리, 데이터링크, 응용계층)	7중 구조
access method	token passing	token passing	token passing
표준화 level	국가기준의 정의	국제 표준	국제 표준
PA: Process Automation	CB: Controller Bus	GB: Functional	

표 2. Comparison of Several Field Bus Protocols(\* error detection by parity, \*\* by CRC)

종류	MIL-STD 1553	FIP	PRIME C	BITBUS	TRC BUS	PROFIBUS	ME-NET
속도(Mb/s)	1	3	1	0.375	0.375	5.5	1.25
통신 거리	100m	600m	600m	600m	255	120m	64
비대칭성	21 k	16 k	6.8 k	7.4 k	11.6 k	6.5 k	
격자	이분, 직선	브랜치	직	비-직	스타	수직	직선
데이터 단위	1000bit	1000bit	1000bit	8bit	1000bit	1000bit	1000bit
전송 프로토콜	비-직선	직선	직선	직선	직선	직선	직선
통신 매체 연결	Bus Controller	Bus Controller	Bus Controller	Bus Controller	Bus Controller	Bus Controller	Bus Controller
버스 규격	ANSI	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC
버스 규격	ANSI	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC

표 3. Comparison of standard bodies requirement for a field-bus (N.S: Not Specification)

	IEEE 1118	ISA SPS9	IEC 1105
Topology	Multi-drop	Single-drop	Multi-drop
Physical Medium	트위스트페어, 동축케이블, Fiber Optics	트위스트페어, Fiber Optics	트위스트페어, 동축케이블, Fiber Optics
Number of Devices	< 255 (32/segment)	32	> 30; 60 final
Connected Devices	On Line Add & Remove	On Line Add & Remove	On Line Add & Remove
Reliability	Error Detec.	Error Detec.	Error Detec.
Bus Redundancy	Supported	Supported	Supported
Isolation	> 250V	> 250V	> 250V
Power via Signal Lines	Option	Possible	Option
Bus Length[m]	2000 to 5000	< 1000	< 1500
Message rate[Mb/s]	max. possible		150~16k(350n); 5k(< 10n)
Scan rate/Access Time	10 to 50 ms	> 10 times/s	5 to 20 ms
Access Arbitration	single master multi (option)	single master	single master transferable
Broadcast/Multicast	Yes/Option	Yes/No	Yes/N.S
Time Slicing	N.S	< 10 ms	N.S
Bus Configuration	N.S	Dev. Config.	Dev. Config.
Peer to Peer Communication	N.S	Yes	Option