PC 기반 제어용 I/O 시스템 구축에 관한 연구

변승현, 장태인, 곽귀일, 조지용
전력연구원 시스템통신연구소 정보통신그룹
대전광역시 유성구 문지동 103-16
little@kepri.re.kr

An Implementation of PC based I/O System for control applications

S.H.Byun, T.I.Jang, K.Y.Gwak, J.Y.Cho
KEPRI, KEPCO
103-16 MunJi-Dong, YuSeong-Ku, Taejeon, 305-380
little@kepri.re.kr

Abstract

Due to the improvement of PC Performance and Windows-based OS, PC-based control system is gradually taking over industrial control in the industry site, replacing the closed proprietary system. PC-based system gives the advantages of ease-of-use, cost-effectiveness, simplicity of maintenace and the flexibility to design I/O system using standard technology. While there are many real time software solutions, most of hardware solutions are closed, vendor-dependent, proprietary systems for large scale plants. In this paper, we suggest the method to configure PC-based I/O system based on standard technology which gives the advantages to use off-the-shelf products for system integration.

1. 서 론

지난 몇 년동안 윈도우즈 기반의 OS의 발전과 PC 성능의 향상으로 인해 산업에서의 PC 활용이 가속화되어 PC 기반의 분산제어 시스템이 등장하였으며, 국내 발전소 탈황제어설비에까지 적용이 되고 있다. 또한 개방화되고 모듈화된 PC 기반의 제어 시스템이 폐쇄적이고 벤더 독점적인 제어 시스템 영역을 점진적으로 대체하고 있는 추세에 있다. 산업 전반에 걸쳐 활용 범위를 넓혀가고 있는 PC 기반 제어 시스템의 장점을 살펴보면 윈도우즈 기반 프로그래밍 툴로 인해 진보된 기능을 쉽게 이용할 수 있고, 시스템 설계나 유지 보수가 용이하며, 일반화된 표준 통신 네트웍으로 인해 통합이 용이한 점을 들 수 있다. 또한 다양한 종류의 I/O 패밀리를 조합하여 시스템을 구성할 수 있으므로 좀 더 융통성 있는 시스템을 구축할 수 있으며, 독점의 하드웨어를 사용하는 고가의 벤더 종속의 특정 솔루션보다 훨씬 경제적인 효과를 거둘 수도 있다.

이런 PC 기반 시스템의 장점들과 윈도우즈 NT OS로 인해 윈도우즈 NT를 OS로 그대로 활용하거나 실시간 운영체제를 NT에 탑재한 PC 기반 시스템이 널리 적용되고 있다. HMI를 포함한 많은 실시간 소프트웨어 솔루션들이 제공되는 시점에서, 특정 벤더 규격에 종속되지 않고 일반적인 표준을 따르는 off-the-shelf 제품을 이용하면서, 대규모 시스템의 I/O 점수를 수용할 수 있는 I/O 시스템의 구축에 관한 연구가 요구된다.

본 논문에서는 H화력 시뮬레이터의 I/O 점수를 채용할 수 있는 PC 기반 I/O 시스템을 표준 기술에 근거하여 구축할 수 있는 방법론에 대해 하드웨어 관점에서 논하고자 한다.

2절에서는 본 논문에서 구축하고자 하는 I/O 시스템의 요구사항을 알아보고, 3절에서는 2절에서 언급한 요구사항을 만족하는 I/O 시스템을 구축하기 위해서 필요한 하드웨어 사양들을 알아보고, 4절에서는 3절에서 선택한 ISA버스를 이용한 시스템 구축시 고려해야하는 사항들을 기술하고, 5절에서는 3절과 4절에서 알아본 사항들을 고려해서 구성할 수 있는 I/O 시스템의 구성방안을 제시하고, 6절에서는 결론을 기술하고자 한다.

2. I/O 시스템 요구사양

본 논문에서는 시스템 구성을 위해서 대략 3,200개의 I/O 점수를 필요로 하는 H화력 시뮬레이터의 자료를 토대로 I/O 시스템을 구축하는 방안에 대해서 살펴보기로 하겠다. 시스템 요구사양을 살펴보기에 앞서 구축의 용이성을 위해 몇 가지 가정을 하면 다음과 같다. 일단 시스템의 이중화는 고려하지 않으며, I/O 시스템은 그림 1과 같이 여러 개의 서브 노드와 한 개의 마스터 노드로 구성되어진다. 서브 노드는 I/O를 직접 처리하는 노드이며, 마스터 노드는 I/O는 직접 다루지 않지만 서브 노드간의 통신과, 시뮬레이션 컴퓨터와 같은 외부 시스템과 서브 노드간의 통신을 관장하며, 서브 노드를 관리한다. I/O 시스템에서 요구하는 I/O 점수는 서브 노드간에 균등하게 분배된다.

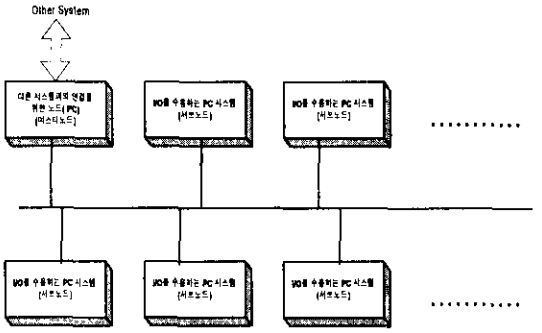

그림 1. I/O 시스템 구성

다음으로 구축하고자 하는 I/O 시스템의 요구사항을 기술하면 다음과 같다.

가. 표 1의 점수를 수용하는 PC 기반 I/O 시스템이어야 한다. H화력 시뮬레이터에서 요구하는 I/O 점수를 토대로 작성하였는데 시뮬레이터 특성상 아날로그 입력은 없다.

표 1. 시스템에서 수용해야하는 I/O 점수

신호유형	DI	DO	AI	AO	Total
I/O 점수	782	1,780	0	636	3,198

나. 마스터 노드를 제외한 서브 노드는 4개로 제한한다.

다. 마스터 노드는 I/O 시스템의 데이터를 외부 시스템에서 1초에 12번 스캐닝할 수 있게 한다.

라. I/O 시스템은 네트웍에서 시스템 아키텍처까지 벤더 종속의 인터페이스 방식이 아닌 표준 인터페이스 방식을 사용하여 유지 보수 및 시스템 확장이 용이하도록 하며, off-the-shelf 제품을 사용하여 구축하도록 한다.

3. 하드웨어 사양의 선택

채용하는 I/O 점수에 따라서 노드의 수는 늘어날 수도 있고, 줄어들 수도 있다. 그리고, 노드에서 어떠한 시스템 아키텍처를 가지느냐에 따라서도 같은 I/O 점수에 대해서도 노드의 수가 달라질 수 있다. 따라서 시스템 아키텍처의 선택이 중요하다.

3.1 버스 규격의 선택

시스템 구축시 우선 고려해야할 사항은 시스템 아키텍처와 연관된 버스 규격을 선택하는 것이다. 본 논문에서 고려하고 있는 I/O 시스템이 PC 시스템이므로 PC에서 활용되고 있는 I/O 버스 중 하나를 선택해야 한다. PC의 I/O 버스를 나열하면 ISA(Industry Standard Architecture)버스, MCA(Micro channel) 버스, EISA(Extended ISA) 버스, VL(Video Electronics Standards Association Local) 버스, PCI(Peripheral Component Interconnect) 버스, PCMCIA(Personal Computer Memory Card International Association)버스 등을 들 수 있다. ISA, MCA, EISA 버스 등의 확장버스는 다수의 물리적 디바이스를 허용하고, 과거 ISA 보드와의 호환을 위한 클럭 속도 채용으로 인해 과거의 보드와 호환 기능(ISA와 EISA버스)하나, Video 어댑터, 네트웍 등의 고속 데이타 전송을 요구하는 분야의 bandwidth는 만족시키지 못한다. 그래서 나온게 로컬 버스이다. 로컬버스는 마이크로프로세서에 직접 연결되는 데이타 버스로 VL(베사로컬) 버스와 PCI 버스를 들 수 있다. I/O 버스에 대해서 bus width, bus speed를 고려한 Bus Bandwidth를 토대로 이론적인 버스 성능을 나타내면 표2와 같다.

표 2. I/O 버스별 Bandwidth 비교

Bus	Width(Bits)	Speed(MHz)	Bandwidth(MB/sec)
8bit ISA	8	8	4
16bit ISA	16	8	8
EISA	32	8	32
MCA	32	10	40
VLB	32	33	133.3
PCI	32	33	133.3

앞에서 언급한 PC I/O버스들 중에서 현재 가장 많이 쓰이고 있는 버스로는 ISA와 PCI 버스를 들 수 있다. 최근의 펜티엄 PC를 보면, 대부분 ISA버스와 PCI 버스를 채용하고 있다. PCI 버스의 장점은 빠른 버스 속도와 넓은 데이타 패스이다. 하지만 PCI 버스의 단점은 카드들이 ISA 버스보다는 고가이고, 많은 카드들을 수용하지 못한다는 점이다. 따라서, PCI 버스는 아주 고속의 대용량 Bandwidth를 요구하지 않으면서 많은 I/O 카드의 채용을 요구하는 대규모 플랜트의 I/O 시스템에는 부적합하다. 반면에, ISA 버스의 장점은 데이타 수집과 제어 분야에서 가장 널리 이용되어지고 있는 사실상의 산업표준이라는 사실과, 백플레인 상에서 다수의 카드를 채용할 수 있다는 점을 들 수 있다. 또한 ISA버스 상의 데이타 처리 Bandwith가 PCI에 비해 훨씬 느리지만 I/O 데이타를 처리하는데는 충분하므로, 본 논문에서는 I/O 시스템 각 노드의 버스 아키텍처로 ISA버스를 채용하도록 하겠다.

3.2 노드 간의 네트웍 프로토콜 선정

본 논문에서는 시스템 구성상 표준을 따르면서 실시간 요구사양을 만족시켜야 하므로, 저가이면서 표준으로 널리 쓰이고 있는 이더넷을 서브노드와 마스터 노드간의 네트웍 프로토콜로 채택한다. 물론 이 I/O 시스템에 실시간성을 중시하는 필드버스 제품들을 사용할 수 있지만, 필드버스의 경우 국제표준이 제정되지 않된 상태에서 지역별로, 적용영역별로 매우 다양한 종류의 필드버스가 존재하며, 또한 구현시 벤더 종속의 고가의 하드웨어와 소프트웨어를 이용해야한다는 단점이 있다. 일반적으로 필드버스 시스템을 구현할 경우, 일단 필드버스를 탑재한 하드웨어를 구입하거나, 필드버스 일부 기능을 탑재한 ASIC을 구입해 보드를 설계한 후, 라이브러리를 사던지, 필드버스 규격에 맞게 코딩을 해서 구현해야하기 때문에 많은 비용의 부담과 유지보수의 어려움을 안고 있다. 따라서 쉽게 구할 수 있고, 저가이면서, 표준으로 널리 쓰이고 있는 이더넷을 채용하면서, 이더넷의 실시간성 저해요인으로 작용하고 있는 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection)를 폴링 방식 등을 이용하여 충돌이 발생하지 않게 하면 실시간성을 보장할 수 있다. 실제로 이더넷

을 사용하면서도 deterministic한 특성을 보장하는 솔루션을 구할 수 있으며 또한 구현할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 노드간의 네트웍 프로토콜로 쉽게 구할 수 있으며 표준으로 활용되고 있는 이더넷을 채용하기로 하겠다. 그렇다면 이더넷 프레임 관점에서 시스템에서 요구하는 실시간성을 만족시키기 위해서 필요한 사항들을 점검해보도록 하겠다. 먼저, 노드당 균등분배를 가정하였으므로 196점의 DI, 445점의 DO, 159점의 AO를 노드당 처리해야한다. 아날로그 데이타는 2바이트를, 디지탈 데이타는 1비트를 데이타 전송시 필요로 한다고 하면, 전송되는 데이타 길이는 25byte(DI) + 56byte (DO) + 318byte(AO) = 399byte이다. 마스터 노드 관점에서의 입력과 출력 데이타를 구분하여 정리하면 입력 데이타는 25byte, 출력 데이타는 374byte이다. 여기에 데이타 프레임에 들어가는 가외 필드와 오버헤드를 합하면 마스터 노드는 402byte를 서브 노드에 보내고, 서브노드로부터 72byte의 데이타를 받아들인다. 앞절에서 언급한 4개의 서브노드와 1개의 마스터 노드를 고려하고, 각 노드의 TR(turn around) time은 같다고 가정한다. 또한, 10Base2나 10BaseT의 케이블을 이용하는 10Mbps의 이더넷 사용을 가정하고, 마스터 노드가 4개의 서브노드를 폴링하는데 걸리는 시간을 전송지연시간을 무시하고 계산하면 식 (1)과 같다.

8TR + 402*8*4/10M + 72*8*4/10M = 1.52ms + 8TR (1)

식 (1)은 실시간 요구조건은 83ms을 만족시켜야 하는데, 마스터 노드는 외부 시스템과의 통신을 통해서 서브노드들의 데이타를 전송해야 하므로, 40ms을 외부 시스템과의 통신을 위해 허용하면, TR < 5.1ms이어야 한다. 그런데 TR은 PC 시스템의 성능에 좌우되므로 PC 성능이 좋으면 좋을수록 좋다. 서브노드 관점에서 네트웍과 관련되어진 시간을 계산해보면 TR + 0.38ms이며, TR을 5ms을 가정하면 74ms 정도의 시간이 I/O를 처리하는 시간에 허용된다.

3.3 적당한 PC 선정

산업용 I/O 시스템에 적용될 PC 시스템이므로 진동, 충격, 노이즈, 먼지, 온도 습도, 24시간의 풀가동 등과 같은 열악한 현장에서 버틸 수 있는 산업용 PC의 채용을 요구한다. 산업용 PC는 크게 Active Type과 Passive Backplane Type으로 나눌 수 있다. Active Type은 CPU보드와 확장 슬롯을 일체형으로 설계하고 내구성을 강화시킨 Type이며, Passive Backplane Type은 충분한 확장 슬롯을 확보하고 보드의 설치 교체 유지보수 등을 손쉽게 할 수 있도록 CPU 보드와 확장 슬롯을 독립적으로 분리시키면서 내구성을 강화시킨 Type이다. 영동화력 탈황설비 제어 시스템에 적용된 PC 기반 분산제어시스템에는 Active Type의 산업용 PC가 적용되었으며, 월성 원전 시뮬레이터에 적용된 I/O 시스템에는 Passive Backplane Type의 산업용 PC가 적용되었다. 본 논문에서는 off-the-shelf 제품의 사용으로 인해 시스템의 유지, 보수를 용이하게 하며, 확장성을 제공하는 Passive Backplane Type의 산업용 PC를 채용하기로 하겠다. 그러면 이제 산업용 PC를 선택하고자 할 때 고려해야하는 사항들에 대해서 살펴보도록 하겠다.

가) 선정시 고려사항

① 먼저, 지속적인 엔지니어링 지원이 가능하고, 생산 공정에 있어서 ISO-9001, ISO-14001과 같은 인증을 받았으며, 많은 적용 사이트를 가지고 있는 벤더를 선택한다.

② 시스템에서 요구하는 주변기기들을 지원하는 제품을 구입한다.

③ 선정 OS상에서 응용에서 요구하는 실행 속도를 만족하는 충분히 빠른 PC를 선정해야 한다. 이 부분은 CPU 타입과 메모리의 용량과 관련이 있다. 속도와 환경적인 관점에서 하드디스크대신 플레쉬 메모리의 사용과 NIC를 탑재한 CPU카드의 선택도 고려대상에 속한다.

④ PC에서 채용하는 BIOS의 벤더를 체크해야 한다.

⑤ 선정한 버스용 CPU 카드를 선택한다.

나) PC 선정 : 산업용 PC의 경우, 486이나 586이나 가격면에서는 큰 차이가 없다. 따라서 본 논문에서는 앞 절에서 언급한 TR 시간의 최소화를 위해 최신 기종인 펜티엄 MMX 200MHz에 32M의 RAM, PCI 이더넷 카드를 채용한 산업용 PC 카드를 채용하도록 하겠다.

4. ISA 시스템 구축시 고려 사항

앞절에서 ISA 버스를 아키텍처로써 선택하였다. 따라서 본 절에서는 ISA버스를 이용한 시스템을 구축하는데 있어서 제약으로 작용할 수 있는 사항이나 고려해야할 사항에 대해서 기술하도록 하겠다.

가. POWER : 시스템의 안정적이고 정상적인 운용을 위하여 시스템이 채용한 각 I/O 카드 등 슬롯에 꽂힌 카드들이 요구하는 정격 파워의 합을 만족하는지 고려해야 한다.

나. 전송 속도 문제(Bandwidth) : 시스템이 요구하는 bandwidth를 만족하는지 체크할 필요가 있다. 만약 고속의 데이타 교환을 요구하며, 실시간 요구 정도의 시간이 매우 짧은 시간이라면, ISA 버스로 요구하는 실시간 정도를 만족하는 지 체크해야 하며, 만약에 만족을 시키지 못할 경우, PCI 등의 다른 버스의 채용을 고려해볼 필요가 있다. ISA 버스상에서 표준 8비트와 16비트 I/O 디바이스의 억세스 동안에 삽입되어지는 웨이트 스테이트의 수는 각각 4개와 1개이다. ISA버스상에서의 데이타 전송 속도를 8MHz의 버스 클럭 주파수와 8비트 I/O 표준 디바이스 관점에서 케이블에서의 전송시간지연 등을 무시하고 살펴보면 4개의 웨이트 스테이트의 수의 삽입으로 인해 1.3MByte/sec의 데이타 전송속도를 얻을 수 있다. 이 전송속도를 3절에서 언급한 I/O 시스템의 노드당 데이타에 적용하면, 노드당 I/O 데이타가 ISA버스상에서 이동하는데 걸리는 시간은 0.31ms정도이다. 따라서 ISA버스의 전송속도는 본 논문에서 구축하고자 하는 I/O 시스템 구축에 있어서 네트웍이나 I/O 카드에서 처리하는 시간에 별 부담을 주지 않음을 알 수 있다. 본 시스템의 구축에 있어서 ISA 버스 채용은 문제가 없으며, I/O 처리 시간은 채용하는 I/O 카드의 성능에 달려 있다고 볼 수 있다.

다. 이용가능한 어드레스 공간

시뮬레이터와 같은 대규모 시스템에 적용시킬 경우에는 이용가능한 어드레스의 공간도 중요한 요소로 작용한다. 이용가능한 어드레스가 충분하지 않으면 그만큼 노드 수가 증가하여 비용이 올라가고, 네트웍에 부담을 주기 때문이다. 보통 ISA카드의 경우 A0부터 A9까지의 어드레스를 DIP 스위치에 의한 조정에 의해 이용할 I/O어드레스를 선택하도록 되어있다. 따라서 I/O MAP상으로는 0000H~FFFFH까지의 어드레스를 I/O용으로 활용할 수 있지만 보통 3FFH까지의 어드레스를 활용할 수 있다. FFH까지는 시스템에서 활용하므로 100H에서 3FFH까지에서 다른 카드나 시스템에서 활용하지 않는 어드레스 공간을 찾아서 어드레스를 활용해야 한다. 보통의 시스템에서 600~620바이트정도의 I/O 어드레스 공간을 활용할 수 있다. 그런데 2절에서 언급한 시스템 요구사양 중의 I/O 점수를 노드간 균등분배하면 399바이트정도이므로 노드에서 요구하는 I/O 점수를 충분히 수용할 수 있음을 알 수 있다. 또한 백플레인의 슬롯 수도 카드 수용에서 문제가 되는데, 보통 ISA의 경우 20개까지의 상용화 제품이 있으며, 계층 구조를 취함으로써 문제를 해결할 수 있다.

라. 이용가능한 IRQ, DRQ의 수

시스템을 구성하다보면, 응용에 따라서 보드에 따라서 인터럽트를 이용한다거나, DMA를 이용할 경우가 발생하는데, 이 경우 역시 이용가능한 IRQ의 수와 DRQ의 수를 고려해야 한다. ISA 버스상에서 이용가능한 IRQ의 수는 15개, DRQ의 수는 7개이며, 시스템 보드에서 사용하고 있는 부분을 빼면, 보통 이용가능한 IRQ는 보통 6~10개 정도이며, DRQ는 2~5개정도이다. 이더넷 카드와 같이 인터럽트를 채용하는 카드의 수가 많을 경우에는 이용가능한 IRQ의 수를 고려해야한다. DMA도 마찬가지다. 본 논문의 I/O 시스템에서는 이더넷 카드이외의 경우에는 인터럽트를 채용하지 않기 때문에 충분한 사용이 가능하다.

마. I/O 카드의 처리 점수 용량과 성능 고려

디지탈 입출력 카드의 경우에는 거의 즉시로 데이타 처리가 이루어지며, 아날로그의 경우 settling time, conversion speed를 고려하여야 하며, 노드에서 채용한 모든 I/O 카드의 데이타 처리시간이 실시간성을 만족해야 하므로, 실시간성을 만족하는 빠른 억세스가 가능한 I/O 카드가 요구된다. 또한 하나의 카드에서 처리하는 I/O 점수가 적을 경우 많은 카드와 슬롯을 요구하므로 되도록이면 많은 점수를 채용하는 I/O 카드의 채용이 요구된다.

5. I/O 시스템 구성방안

2절에서 언급한 시스템 요구사항을 만족하는 I/O 시스템을 구축하기 위해서 3~4절을 통해서 하드웨어 사양과 시스템 구축시 고려해야하는 사항들을 살펴보았다. 본절에서는 앞절에서 살펴본 사항들을 이용하여 시스템 구성방안을 제시하도록 하겠다. 전체시스템 구성도는 2절에서 살펴보았으므로 본절에서는 서브 노드에서의 시스템 구성방안을 제시하면 그림 2와 같다. 그림 2에서 I/F Card는 ISA 버스 expansion 카드로 각 Rack내지는 Shelf간의 병렬 통신 수단으로 서브노드에서의 계층 구조를 허용한다. AOC는 Analog Output Card, DIC는 Digital Input Card, DOC는 Digital Output Card를 의미한다. 디지탈의 경우에는 그림 2에서 보는 바와 같이 부분적으로 RS-485나 필드버스 인터페이스 카드를 사용하고, 그 카드를 RS-485나 필드버스를 채용하는 Active I/O remote 모듈과 멀티드롭으로 연결함으로써 PC 시스템의 백플레인에서 채용해야하는 카드의 수를 줄일 수도 있다.

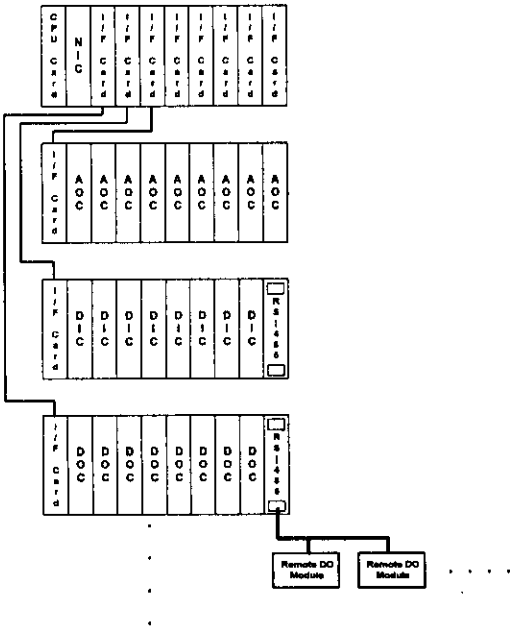

그림 2. 서브 노드의 I/O 시스템 구성방안

6. 결 론

본 논문에서는 제어용 시스템 구축과 활용, 유지보수에 많은 이점을 제공하는 PC기반 I/O 시스템을 구축하는데 있어서 고려해야할 사항들과 시스템 구성방안을 하드웨어 관점에서 제시하였다. 서브노드에선 계층화된 ISA 버스를 채용하고, 노드간에는 이더넷을 채용하는 시스템 구성방안을 활용함으로써 3,000~15,000개의 I/O 점수를 필요로 하는 대규모 시스템에 PC기반 I/O 시스템을 구축할 수 있으리라 본다.

참고문헌

[1] "The Personal Computer Takes Control", Control Engineering, pp64-70, July, 1997

[2] "STEEPLECHASE HANDBOOK", Steeplechase Software, Inc, 1997

[3] Tom Shanley and Don Anderson, "ISA System Architecture", Addision Wesley, 1995

[4] T.J.Byers, "Inside the IBM PC AT", McGrawHill, 1988