2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

TCP/IP를 이용한 다중PC의 고장허용 제어기 설계

박 기광*, 김 홍필**, 양 해원*
*한양대학교 전자컴퓨터공학부, **경일대학교 전기과.

Design of A Fault-Tolerance Controller of A Multiplex PC Using TCP/IP Internet protocol

Ki - Kwang Park*, Hong - Pil Kim**, Hai - Won Yang*
*Dept.of Elec. Eng and Computer Science, Hanyang Univ., **Dept.of Elec.Eng. Kyungil U

Abstract - Redundant Programmable Logic Controllers are used in practice with the aim of achieving higher degree of availability or fault tolerance. In the paper, a proposed Multiplex-PC is controled for fault tolerance design. In order to select a Different-Vender by a Supervisor computer, a Multiplex-PC is designed by TCP/IP internet protocol[1]. Because TCP/IP internet protocol can not connect to CPU, We use TCP/IP internet protocol to join CPU. We have to use TCP congestion control to select Different-Vender[4]. The reliability of the fault tolerant is measured with MTBF(Mean Time Between Failures)[3].

1. 서 론

고장허용 시스템이란 주어진 시스템에 일부 결함이 발생되어도 이것이 동작중지로 이어지지 않고, 계속적인 정상동작이 가능한 시스템을 말한다. 고장허용 시스템의 목적은 안전한 신뢰성과 성능으로 크게 나누어 질 수 있다. 이 두 가지 요구를 한꺼번에 모두 충족시키는 것은 어려운 일이므로 그 동안 그에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 자동화제어 시스템에서 이중화 PLC 제어시스템은 실제 고장허용의 모델로 사용되고 있다.

현재의 이중화 PLC 제어시스템에서는 마스터-스탠바이마스터의 구조로써 한 대의 PC에 연결된 마스터 PLC가 결함이 일어날 경우 스탠바이마스터 PLC가 그 역할을 대신하는 방법을 채택하고 있다. 따라서 만일 PLC에 연결된 PC가 오류를 발생할 경우 마스터 PLC와 스탠바이마스터 PLC가 연속운전을 대신할 수 없는 경우가 발생한다. 또한 Different-Vender의 상황에서도 연속운전을 할 수 없는 경우가 생긴다.

본 논문에서는 이러한 경우에 대처할 수 있는 다중 PC 구조를 제안하였다. 다중PC구조는 각각의 마스터-스탠바이마스터 PLC의 CPU에 연결되며 각 PC의 PLC CPU연결 필드가 다르게 구성된다. 이것은 CPU에 연결된 필드들이 서로에 대한 영향을 줄이는 역할을 한다. 마스터 CPU와 PC간은 USB로, 스탠바이마스터 CPU와 PC간은 RS-232C로써 연결하였다. 그리고 두 PC간은 TCP/IP 인터넷 프로토콜로써 연결되는데, 그러면 두 PC가 각각 상호 독립적으로 존재하게 된다. 두 PC가 각각 독립적으로 존재하게 되면 마스터에 연결된 PC가 다운되더라도 스탠바이마스터에 연결된 PC가 PLC의 CPU를 통하여 자료를 받을 수 있고 다운된 PC의 영향을 받지 않게 된다.

또한 다중PC구조가 구성되면 분산 모니터링도 가능해진다. 분산 모니터링은 각각의 PC가 같은 데이터를 공유하며, 만일 마스터 PC가 오류로 인해 다운되는 경우 스탠바이마스터 PC가 그 역할을 대신하게 된다. 데이터의 공유를 위해 공유 CPU가 필요하고, TCP/IP 인터넷 프로토콜이 공유된 데이터들을 관리하게 된다. TCP/IP 프로토콜은 현재 널리 쓰여지는 인터넷 프로토콜이다. 현재 이 분야에 대한 고장허용 TCP/IP도 연구중에 있다.

2. 다중 PC 설계

2.1 시스템 설계사양

시스템 구성은 CC-Link(Control & Communication Link)에 기반을 두고 있다. CC-Link는 오픈 필드 네트워크로서 Broadcast Polling Method 전송방식을 사용한다. 연결할 수 있는 모듈은 최대 64국까지이다. 전송 속도는 10M, 5M, 2.5M, 156kbps이다. 동기 방법은 Frame 동기방식이다. Encoding은 NRZI(Non-Return to Zero-inverted

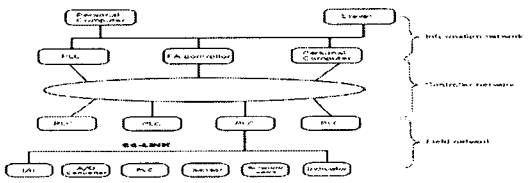

그림 1. CC-Link의 전체적인 구성도

그림 1은 CC-Link의 전반적인 구조를 보여주고 있다. CC-Link는 Data Link layer의 필드네트워크이다.

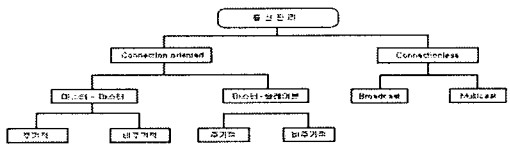

그림 2. 일반적인 통신 시스템의 관계도

그림 2에서는 일반적인 통신 시스템의 네트워크간 관계를 나타내고 있다. CC-Link는 Master-Slave의 관계이다. Broadcast는 모든 데이터를 동시에 모든 스테이션으로 전송하며, Multicast는 미리 정의된 스테이션 집단으로 전송하는 방식이다.

2.2 이중화 PLC 설계

PLC의 고장허용에 사용되는 이중화 PLC는 현재 현장에서 자동화 제어기술로서 많이 사용되고 있다. 그러나 이것은 Different-Vender가 아닌 단지 같은 회사 제품

의 단일 제품으로만 가능하였다. 그림 3은 본 논문에서 제시하는 기본적인 이중화 PLC의 구조이다.

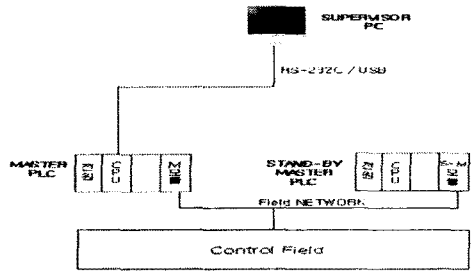

그림 3. 일반적인 고장허용 이중화 PLC구조

마스터 PLC에 이상이 발생하면 스탠바이마스터 PLC가 그 역할을 대신하여 필드네트워크를 제어한다. 하지만 이 경우에는 두 대의 PLC가 같은 회사의 제품일 경우 별도의 인터페이스가 필요 없기 때문에 고장허용 이중화 PLC설계가 용이하였다. 그러나 오픈 네트워크의 Different-Vender를 위해서는 별도의 다른 인터페이스가 필요하다. 이 경우에 각각의 PLC에 대한 인터페이스카드를 설치해야 한다는 단점이 생긴다. 또한 각 Vender에 대한 CUP들의 메모리 할당이나 프로그램의 차이로 서로의 데이터 값들을 직접적으로 인식할 수 없다. 따라서 별도의 Different-Vender를 위한 설계가 필요하다.

2.2 다중 PC 시스템 구성

Different-Vender를 위해 본 논문에서 제안 하고자 하는 TCP/IP를 이용하여 LonWork(Echelon,1988 USA)처럼 각각의 노드성격에 상관없이 표준 프로토콜과 상호 운영 가능한 기능을 갖추도록 하는 것이다.

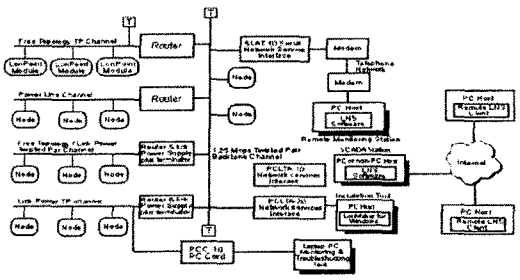

그림 4. LonWork 구성도

LonWork에서는 TCP/IP대신에 LonTalk을 사용하며 CPU에 해당하는 칩으로는 모토로라(Motorola)와 도시바(Toshiba)가 생산하는 뉴론칩(Neouron chip; 론칩이라고도 부름)을 사용한다[6].

그림 4은 LonWork의 계통도이다. LonWork은 개방형 제어 프로토콜인 LonTalk를 기반으로 한 시스템이다. LonWork의 개념은, 최하위 센서, 액츄에이터 같은 디바이스와 통신·모니터/콘트롤기능을 담당하는 디바이스를 마치 데이터 네트워크처럼 하나의 동일한 프로토콜(예: Ethernet, TCP/IP)로 묶어 하나의 라인으로 통신하는 것이다.

본 논문에서는 고장허용 제어를 이중화 PLC에 기반하여 시행하고, Different-Vender 문제는 TCP/IP 인터넷 프로토콜을 사용하여 해결하고자 한다. 이를 위해 다중 PC 구조가 제안되었고 각각의 PC는 별도 IP를 부여받는다. 이 IP를 통하여 각각의 PC들은 인터넷 프로토콜에 접속하게 되며, TCP를 통하여 데이터들을 공유하게 된다. 그러면 Supervisor 컴퓨터를 통하여 어느 장소에서나 모니터링이 가능해진다. 이 때 그림 5에서처럼 Supervisor 컴퓨터에는 모든 대응되는 소프트웨어가 설치되어 있어야 한다. 마스터 PC가 다운이 되었을 경우 TCP로 데이터 전송의 이상 여부를 판단하고 이상이 생겼을 경우에 스탠바이마스터가 그에 대응하는 소프트웨어로써 연속적인 작동을 하게된다.

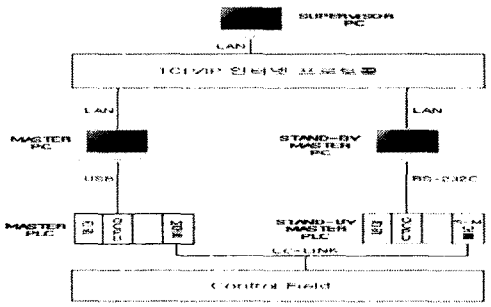

그림 5. 제안된 다중PC 고장허용 이중화 PLC구조

2.3 다중PC의 Congestion 제어

TCP/IP를 사용함에 따라 어떤 PC의 데이터를 먼저 받아 들일 것인가에 대한 제어가 필요하다. 이것은 마스터로 규정된 PLC 이외에 고장허용제어를 하기 위한 여러 대의 PLC가 스탠바이마스터의 역할을 할 경우 어떤 PLC를 가장 먼저 선택하는가에 대한 문제이다.

이 경우 TCP Congestion Control로써 그 순위를 정하게 된다. TCP/IP를 통하여 Supervisor의 PC에 연결된 각각의 Different-Vender PLC들은 마스터를 제외한 그 어떤 것도 우선 순위를 갖지 못한다. 다만 국을 설정할 경우에는 그 국의 순서에 따라 스탠바이마스터의 순서가 정해진다. 우선 순위를 갖지 못하는 경우에는 어느 특정한 Vender의 제품을 사용하기 위함인데, 이것은 어느 Vender의 제품이 현 시점에서 가장 좋은 네트워크 과정을 보이는 가에 따른 것이다. 물론 사용자가 어느 특정 한 회사의 vender를 선택적으로 사용 하고자 할 때도 마찬가지이다. 전자의 경우에는 TCP의 RTT(Round Trip Time)값에 의해 우선 순위가 정해지고[4], 후자의 경우에는 그럴 필요가 없이 원하고자 하는 PLC를 가장 우선 순위가 높은 국으로 설정하면 된다. 그림 6은 가장 낮은 RTT 값을 갖는 스탠바이

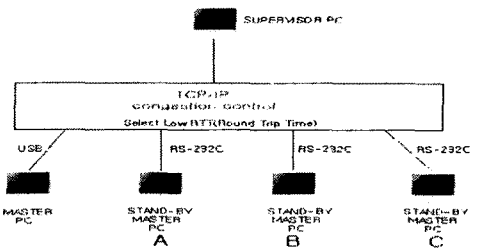

그림 6. RTT값에 의한 STAND-BY Master PC의 선택

마스터가 선택되는 것을 보여준다.

2.4 MTBF 분석

MTBF(Mean Time Between Failures)는 하드웨어나 구성요소가 고장이 없는 시간, 즉 무고장 시간이 얼마나 되는지에 관한 척도이다. 이 척도는 대부분의 하드웨어나 구성요소들을 선택하는데 있어 중요한 요소로 작용하는데, 무고장 시간이 대개 수천 또는 심지어 수만 시간까지도 될 수 있다[3].

PLC의 신뢰도는 이중화 모듈을 사용하여 MTBF를 연장하므로써 높일 수 있으며, 1채널 1시스템(1-out-of-1)을 기준으로 하여 2 채널(1-out-of-2) 시스템에 대한 신뢰도를 식 1과 식 2로 나타낼 수 있다.

$$MTBF_{1002} = \frac{MTBF^{2}_{1002}}{2MDT + 2(1-dc).\ MTBF_{1001}} \quad (1)$$

$$A_{1002} = \frac{MTBF_{1002}}{MTBF_{1002} + MDT} \quad (2)$$

$MTBF_{1002}$는 2채널(1-out-of-2) 시스템의 MTBF이고, $MTBF_{1001}$ 은 1채널(1-out-of-1) 시스템의 MTBF이다. A_{1002}는 2채널 시스템에서의 가용성을 나타낸다. 여기서 dc(diagnostic coverage)는 일반적으로 약 95(%)가 되고, MDT(Mean Down Time)는 에러발견시간 및 수리에 소요되는 시간 또는 고장난 모듈의 교체에 소요되는 시간이므로, 결국 이중화 시스템의 MTBF는 MDT에 의해 결정된다. 그리고 PLC 모듈에서 PLC 구성 요소 중 CPU의 MTBF는 약 15년, 입력 및 출력 모듈의 MTBF는 약 50년 정도이다. PLC의 시스템 구성에 따른 MTBF을 비교하기 위하여 초기 조건을 다음과 같이 정의한다. 여기서 MDT는 4시간, 주위온도는 40 ℃, 버퍼(buffer) 전압은 정상적인 상태이고 1채널(1-out-of-1) 시스템을 표준으로 하였을 때 MTBF는 1로 설정한다. 여러 가지 경우에 따라서 MTBF는 결정된다. 다음은 그 경우에 대한 서술이다.

(1) 스프리트 마운틴 랙(Split Mounting Racks)을 사용한 CPU 이중화 시스템의 MTBF는 59배이다.

(2) 입출력 모듈을 분리한 경우의 시스템 구성 방법인 경우는 다음과 같이 분류할 수 있다.

1) 이중화 CPU 및 전환 분산 입출력(Switched Distrbuted I/O)모듈인 경우 MTBF는 3배이다.

2) 이중화 CPU 및 중복 단독 입력 모듈인 경우 MTBF는 65배이다.

3)이중화 CPU 및 중복 전환 분산 입출력 모듈인 경우 MTBF는 70배이다.

3. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 제시하는 것은 현재의 이중화 PLC 구조는 단지 하나의 PC만이 한 블록 단위의 고장허용제어 밖에 할 수 없으므로, 다중 PC구조로 TCP/IP인터넷 프로토콜을 사용하면 PC의 오류로 생기는 고장뿐만 아니라, Supervisor PC에서 모든 고장허용제어 PLC를 감독 할 수 있다는 것이다. 단지 공간적 제약이 없이 수행해야 하기 때문에 실행 속도가 늘려 질 수 있다. 만약 다중 PC를 사용하지 않고 직접 CPU에서 Supervisor PC에 연결 할 수 있다면 다중 PC구조는 필요 없을 것이다. 또한 필드 네트워크 안에서 직접 TCP/IP 인터넷 프로토콜을 사용 할 수 있다면 향상된 이중화 PLC 구조를 만들 수 있을 것이다.

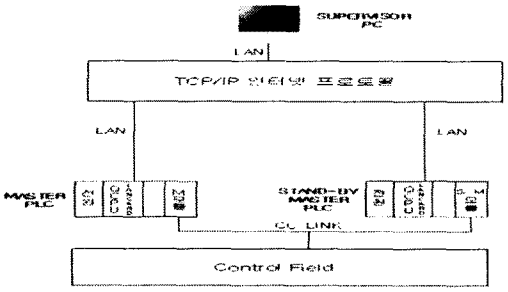

그림 7. 향후 개선 되야 할 고장허용 제안 모델

그림 7에서는 향후 추구 해야할 과제를 나타내었다. PLC CPU에 직접 Lan Card가 연결되고 별도의 인터페이스 없이 상위 개념인 Supervisor 컴퓨터에 연결된다.

[참 고 문 헌]

[1] Dougls E., Comer, *Internetworking With TCP/IP Volume I*, Third Edition, Prentice Hall, 1995

[2] Mitsubishi Electric Corporation, *CC-Link 시스템 마스터 로컬 모듈*, 2000.9

[3] 이석용, 이홍규 "PLC 제어시스템의 신뢰도 향상에 관한 연구." 전기설비학회 학술대회 논문집, PP. 267-272, 1999.11

[4] Floyd, S., "A Report on Recent Developments in TCP Congestion Control," IEEE Communications Magazine, Vol. 39, no. 4, pp. 84-90, April 2001.

[5] Voas, J., "Fault Tolerance," IEEE Software , Vol. 18, no. 4, pp. 54-57, July-Aug 2001.

[6] Alonso, J.M., Ribas, J., Coz, J.J.D., Calleja, A.J., Corominas, E.L., and Rico-Secades, M., "Development of a distributive control scheme for fluorescent lighting based on LonWorks technology," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 47, no. 6, pp. 1253-1262, Dec 2000.