

네트워크 관리 소프트웨어와 매체 접속 계층의 결함 감지 및 이중 채널 관리기를 이용한 제어 통신망의 매체 이중화 관리 방법

Medium Redundancy Method of a Control Network Using Network Management Software, Fault Detection of Medium Access Control Layer, and Dual Channel Manager

°문홍주*, 신창훈*, 이병윤*, 이성우*, 윤명현*, 이재민**, 김광현**, 권옥현**

* 한국전력공사 전력연구원 원자력연구실 (Tel: 042-865-5642; Fax: 042-865-5504 ; E-mail: hjmoon@kepri.re.kr)

** 서울대학교 전기공학부 (Tel: 02-873-2279; E-mail: whkwon@cisl.snu.ac.kr)

Abstract : This paper proposes a medium redundancy method of a control network to achieve a reliable communication in a cost-effective way. The network medium is duplicated and the network faults are detected by using the ring maintenance mechanism of the IEEE 802.4 protocol. A dual channel manager controls the switching function between the redundant media. A network management software is implemented to provide the network management functions such as the fault diagnosis and the fault repair.

Keywords: medium redundancy, fault detection, network management, IEEE 802.4

1. 서론

발전소 제어 시스템, 공장자동화 시스템을 비롯한 각종 분산 제어 시스템 등은 고신뢰성을 요구하는 경우가 많아서, 흔히 결함 허용(fault-tolerant) 시스템으로 구성된다 [1,2]. 시스템의 결함(fault)은 시스템의 하드웨어나 소프트웨어의 어느 한 부분에 이상이 있는 것을 말하며, 결함의 결과로 오동작(error)을 하게 되고, 이로 인하여 시스템이 주어진 기능을 수행하지 못하게 되면 고장(failure)이 발생하게 된다 [3].

특히 통신망은 정보의 교환을 담당하는 매우 중요한 부분이므로, 고신뢰도를 요구하는 시스템에 적용되는 통신망의 경우 여러 종류의 결함 허용 통신망이 개발되어 사용되고 있다 [1, 4-8].

이의 일환으로 매체의 이중화 방식이 많이 연구되어 왔으나, 실제 현장에서의 성공적인 적용에 있어서의 많은 문제점을 안고 있으며, 그것을 구현하는데 적지 않은 비용이 소요된다. 본 논문에서는 IEEE 802.4 프로토콜을 효율적으로 이용하여 물리계층을 이중화함으로써, 실제 적용에서 빠른 성능을 보장하면서 적은 비용으로 구현할 수 있도록 해주는 매체 이중화 방법을 제안한다. 또한 결함 매체의 정상화 여부를 사용자의 입력없이 자동으로 감지하여 이중화 기능을 활성화하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 통신망의 물리 매체의 직접적인 상태 감시, 매체 관리 기능을 사용한 상태 감시 및 주기적인 상태 감시 기능을 효과적으로 결합함으로써 빠르고 신뢰성있는 통신망 상태 감시 기능을 구현한다.

2장에서 결함허용성을 구현하기 위한 통신망의 특징 및 통신망의 결함의 종류에 대해 논의하고, 3장에서 결함 감지 방법 및 결함 복구 방법을 제안한다. 4장에서 구현방법을 논술하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 통신망의 특징 및 결함의 종류

대상이 되는 제어 통신망은 그림 1과 같은 제어시스템 구조에서

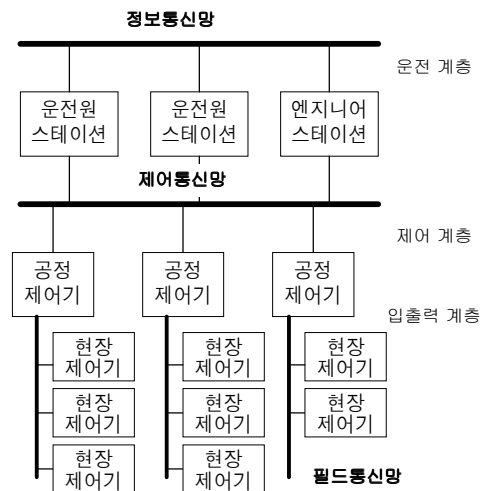


그림 1: 분산제어시스템의 구성

제어통신망 또는 필드통신망으로 표시된 부분과 같이 각 제어감시 기기들을 연결하는 통신망이다.

본 논문에서는 물리계층의 이중화를 하기 때문에 물리계층의 결함이 대상이 된다. 통신망의 구성은 그림 2와 같은 경우를 고려한다.

통신망에 연결되는 각 스테이션은 통신망 접속 장치 (NIU; Network Interface Unit)을 통하여 연결된다. 하나의 통신망 접속장치는 케이블에 바로 연결되는 신호 송신 및 수신부 위에 매체 접속 제어부가 올라가고 그 위에 논리적 연결제어부, 응용계층 등의 통신망 구조의 상위 계층으로 구성된다. 본 논문에서는 매체제어부계층으로 IEEE 802.4 방식을 사용하는 경우를 가정하며 물리 계층에서는 버스 구조, 스타구조를 포함한 혼합형 구조를 제공하는 경우를 가정한다.

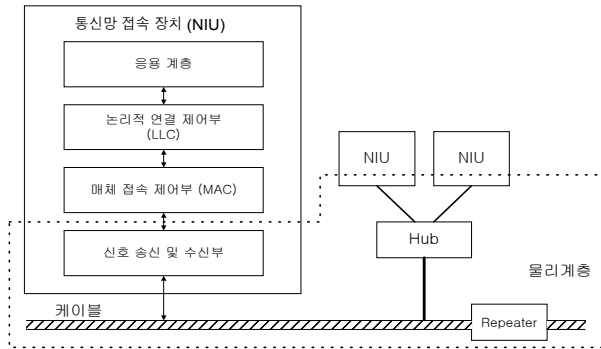


그림 2: 통신망 접속장치의 구성

케이블의 연결은 버스형태로 구성하는 경우에는 NIU들이 케이블들만으로 서로 연결되거나 허브 (Hub)를 사용하여 스타 형상등으로 구성할 수도 있다. 그림에서 물리계층은 NIU 내부의 신호 송신 및 수신부, 케이블, 허브 및 추가로 연결될 수 있는 리피터를 지칭한다.

본 논문에서 통신망 물리계층의 결합이라함은 ‘새로운 조치나 사건의 개입이 없는 경우 영구히 지속되는 형태로서, 해당부분이 사용되는 경우의 통신에서, 어떠한 방식으로든 정상적인 통신 동작을 방해하는 물리계층의 요인’을 의미한다. 정상적인 통신 동작을 방해한다는 것은 다음과 같이 정의된다. 먼저 매체에서의 신호의 종류를 $d(1), d(2), \dots, d(K), \text{non-data}, \text{silence}$ 로 구분한다. $d(i)$ 는 정의된 데이터의 종류를 가리키고, silence 는 아무런 activity가 없는 상태를 가리키며, non-data 는 silence 상태가 아니면서 정의된 데이터가 아닌 경우를 가리킨다. 매체로의 데이터 송신이나 매체로부터의 데이터 수신에서, 원래 데이터의 흐름이 다른 종류의 데이터 흐름으로 바뀌는 경우를 정상적인 통신 동작을 방해한 결과로 정의한다. 다음과 같이 몇가지로 나누어 볼 수 있다.

- FR1) 정의된 데이터가 다른 종류의 정의된 데이터로 변환되는 경우
- FR2) 정의된 데이터가 의미없는 non-data 로 변환되는 경우
- FR3) 정의된 데이터가 silence 상태로 변환되는 경우
- FR4) non-data 상태가 정의된 어떤 데이터로 변환되는 경우
- FR5) non-data 상태가 silence 상태로 변환되는 경우
- FR6) silence 상태가 정의된 어떤 데이터로 변환되는 경우
- FR7) silence 상태가 non-data 상태로 변환되는 경우

여기서 FR4), FR6)의 경우는 수동적 결합 요인에 의해서는 매우 발생하기 어려우며, 능동적 결합요인에 의해서 발생하기 쉽다. 예를들어, 신호 송신부가 고장나서 계속 같은 데이터를 송신하게 되는 경우 등이 이에 해당된다. 여기서 수동적 결합은 원래 정의된 혹은 의도된 동작이나 데이터가 변질되어 축소되는 방향으로 결과가 나타나게 되는 결합을 의미하며, 능동적 결합은 원래 정의된 혹은 의도된 동작이나 데이터 이외에 새로운 동작이나 데이터를 생성하게끔 하는 결합을 의미한다.

물리계층의 구성요소별로 결합의 발생 대상이 되는 것은 다음과 같다.

- 1) 통신케이블 (커넥터, 터미네이터 등 케이블링 관련 부속 포함)
- 2) 신호 송신 및 수신기
- 3) 허브 및 리피터

본 연구에서 결합을 허용하는 범위는 다음과 같이 정의한다.

“이중화된 통신망의 한쪽부분에 앞에서 고려 대상으로 정하고 있는 결합이 발생하는 어떤 경우에도 일회의 일정 시간 이내 동안의 정상적인 통신 동작의 방해만이 발생하여야 한다. 일단 결합이 발생한 후에 같은 통신망에 새로운 결합이 다시 발생하는 경우 새로운 통신 동작의 방해와 같은 현상이 발생하지 않아야 한다.”

통신망을 이중화하여 전환하는 방식을 사용하는 경우 양쪽의 통신망에서는 시간지연의 차이나 동작상의 차이가 존재할 수 있으므로, 버퍼링 기능을 사용하는 등의 방법을 사용하여 전환하지 않으면, 완벽하게 어떠한 데이터 비트의 손실 또는 손상도 방지하는 것이 현실적으로 구현이 곤란하다. 그러나, 정상적인 통신 기능은 일정시간 이내에 재전송을 포함한 동작을 통하여 데이터의 전달이 이루어지면 되므로, 이와같이 정의하여 적용할 수 있다.

3. 결합감지 및 결합복구 방법

본 연구에서는 결합을 감지하기 위하여 IEEE 802.4의 매체제어기에서 제공하는 통신망관리기능을 이용한다. IEEE 802.4와 같은 토큰 전달 방식의 매체제어기는 미디어의 사용 권리를 부여하기 위해서, 논리적 링을 구성하고 이 논리적 링의 순서에 따라 토큰을 차례로 전달하여 미디어의 사용권리를 전달하며 이 논리적 링을 유지 보수하는 기능을 갖는다. 고장이나 외란을 고려한 매체제어기의 논리적 링의 유지 보수 기능은 다음과 같다 [8,9].

매체제어기는 토큰을 다음 스테이션에 전달할 상태가 되면 일단 토큰을 전송하고 나서 토큰이 제대로 전달되었는지를 검사한다. 다음 스테이션이 링에서 빠져나가거나 고장으로 인해 토큰을 받지 못하는 경우, 매체제어기에서는 token_pass_failed 의 사건이 발생하고 재전송한다. 토큰의 재전송에서도 실패하면 논리적 링 상에서의 새로운 다음 스테이션을 찾기 위해 who_follows 프레임을 전송한다. 그 다음 스테이션도 who_follows 프레임에 대한 응답이 없으면 내부변수 링 상에 존재하는 모든 스테이션에서 새로운 후속자를 선정하게 된다. 만약 링 상의 모든 스테이션들이 전부 사라지거나 자신이 수신 불능 상태에 빠지게 되면 $\text{bus_idle_timer_expired}$ 라는 사건이 발생하여 새롭게 링을 구성하려 하거나 새로운 스테이션이 링에 추가되기를 기다린다.

이와 같은 매체제어기의 논리적 링 유지 및 보수 기능은 토큰 전달방식의 링 상에서 논리적 링 안에 추가 및 탈퇴가 각 스테이션마다 독립적으로 이루어지도록 하기 위한 것이다. 그러나, 버스 상에 연결된 스테이션들이 고정된 상태로 있어서 정상적인 이유로 는 추가 및 탈퇴가 발생하지 않을 경우에는 위에서 설명한 동작들을 감시함으로써 물리매체의 결합감지에 사용할 수 있다.

라이브카운트	A매체상태	B매체상태	호스트상태	이중화상태
--------	-------	-------	-------	-------

그림 3: 상태 프레임의 구조

이외에 추가로 이중화된 매체를 감시하여 정상적인 프레임이 수신되고 있는지를 검사하고, 깨진 프레임의 발생빈도를 수집하여 통신망 결합상태의 감시에 사용한다. 또한, 그림 3과 같은 상태프레임을 주기적으로 다른 스테이션들에서 브로드캐스트함으로써 안정

적인 통신망 결합상태감시기능을 제공한다.

결합의 복구를 위해서 이중화된 매체를 사용하는 방법으로는 양 쪽으로 동시에 송신하고 선택적으로 한쪽의 매체로부터 수신하는 방법을 채택한다. 매체의 절체는 그림 4와 같은 상태도를 따라 이루어진다. 통신망에 결합이 발생한 것이 확인되면 일단 수동 전환 모드로 설정하여 더 이상 불필요한 통신망 전환동작을 중지시킨다. 자동 전환동작이 중지된 상태에서 관리자로부터 자동전환모드로 전환하라는 명령이 오거나 결합이 발생했던 통신망이 정상적인 동작을 재개한 것이 확인되면 다시 자동전환모드로 전환한다.

4. 구현

매체 이중화 기능은 그림 5와 같이 이중 채널 관리기 (DCM: Dual channel manager), 매체 접속 제어부, 논리적 연결 제어부 (LLC), 응용 계층, 그리고 네트워크 관리 이중화 모듈의 기능들이 복합적으로 작용하여 구현된다. DCM은 A 매체 전송 및 수신부, B 매체 전송 및 수신부와 연결되어 있으며, 네트워크 접속 장치(NIU)의 매체 접속 제어부(MAC)로부터 내려온 데이터를 각각에 전송시키고, 두 개의 전송 및 수신부로부터 수신된 데이터 중에서 하나를 선택하여 네트워크 접속 장치의 매체 접속 제어부로 전달한다. 네트워크 접속 장치에서의 전송 과정은 응용 계층, 논리적 연결 제어부, 매체 접속 제어부를 순서대로 거치면서 이루어지며, 수신 과정은 매체 접속 제어부, 논리적 연결 제어부, 응용 계층을 순서대로 거치면서 이루어진다. 송수신을 동시에 행하는 매체를 사용 매체라고 정의하며 송신만 행하는 매체를 여분 매체로 정의한다. DCM은 여분 매체로부터의 프레임의 수신상태를 점검하여 매체 상태의 정상/비정상 여부를 판단하는 기능을 가진다.

매체 절체는 DCM에서 수신하고자 하는 매체를 선택하는 작용으로, 네트워크 관리 이중화 모듈에서 DCM의 레지스터에 적절한 값을 지정함으로써 이루어진다. 네트워크 관리 이중화 모듈은 매체 접속 제어부, 논리적 연결 제어부 그리고 응용 계층의 동작 상태를 체크하고 매체 접속 제어부의 상태 천이에서 발생한 사건을 감지

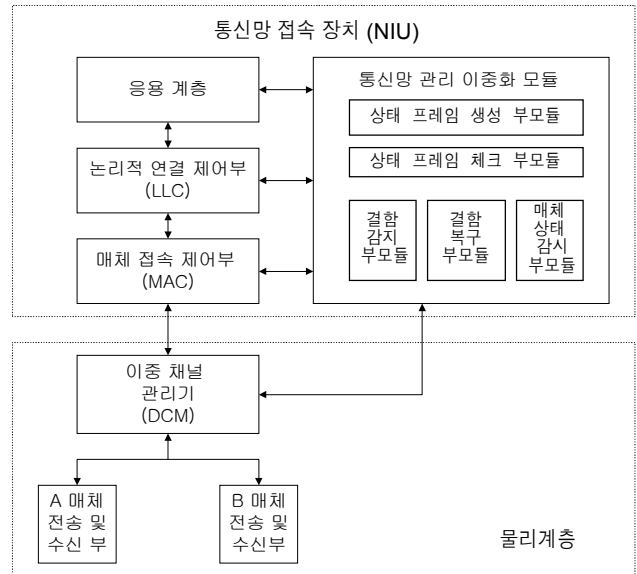


그림 5: 이중화 통신망의 구조

하여 현재 수신하는데 사용하는 매체의 상태가 정상/비정상인지를 판별한다.

네트워크 관리 소프트웨어에서 구현된 매체 이중화 모듈은 결합 감지 부모들과 매체 상태 감시 부모들, 결합 복구 부모들, 상태 프레임 체크 부모들, 상태 프레임 생성 부모들로 구성된다. 결합 감지 부모들은 매체접속 제어부와 연결되어 있고 매체 상태 감시 부모들은 DCM과 연결되어 DCM의 매체 상태 레지스터의 값을 읽고 결합 복구 부모들은 결합 감지 부모들과 매체 상태 감시 부모들, 상태 프레임 체크 부모들과 연결되어 상태 천이 기반의 방법에 의해 결합을 복구한다. 상태 프레임 체크 부모들은 논리적 연결 제어부와 응용계층에 연결되어 상태 프레임을 체크하여 각각의 스테이션과 그외의 스테이션간의 매체 상태를 체크한다. 상태 프레임

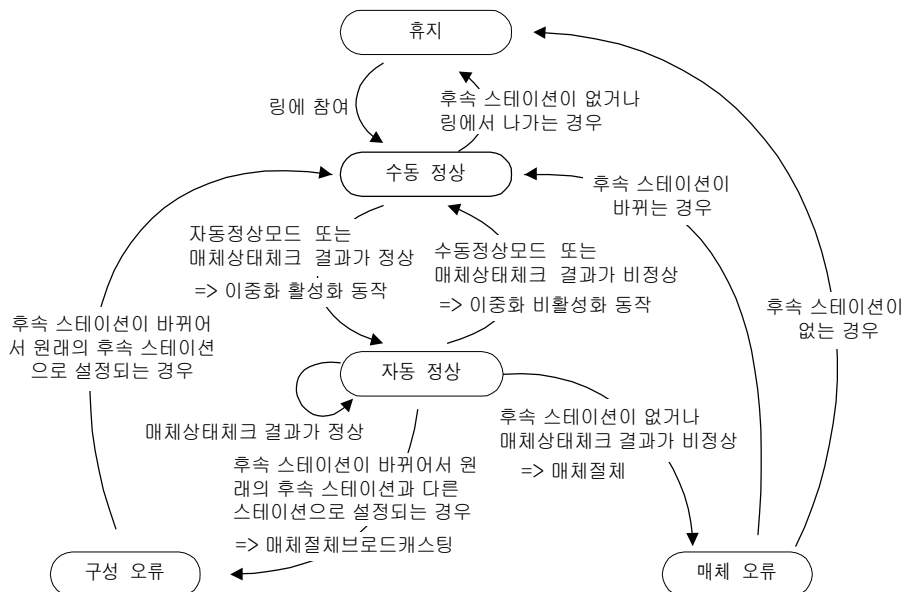


그림 4: 매체 절체 동작

생성 부모들은 논리적 연결 제어부와 매체 상태 감시 부모들과 연결되어 있고 매체 상태 감시 부모들의 결과를 포함한 상태 프레임 생성하여 다른 스테이션으로 브로드캐스트한다.

고려한 모든 결함의 발생은 최소한 후속스테이션이 바뀌거나 후속스테이션이 없는 결과로 나타난다고 하면 결함을 감지하여 매체를 절체하는 시간은 후속스테이션이 변경 또는 부재에 대한 감지 시간에 좌우된다. 결함을 감지하는데 걸리는 최대시간은 마지막으로 토큰을 전달한 스테이션이 토큰을 전달한 직후 전송부에 결함이 발생하게 되어 다시 토큰을 획득한 후 결함이 감지되는 경우이다. 이 경우는 최대토큰회전시간 정도의 값을 갖게 된다. 그러나, 이 경우의 결함은 결함이 감지되지 않은 동안에 정상적인 통신 동작에 영향을 주지 않으므로, 결함에 대해 노출되어 있는 기간을 평가하기 위해서는 물리적으로 결함이 발생한 이후에 정상적인 통신에 영향을 줄 수 있는 시점을 기준으로 하여야 한다.

이 경우에 수신대기중에 수신채널에 대한 결함이 발생한 시점으로부터 이 결함을 감지하기까지의 시간이나 토큰을 획득한 후 전송채널에 대한 결함이 발생한 시점으로부터 이 결함을 감지하기까지의 시간을 평가한다. 후자의 경우 결함의 영향을 받는 것은 수신측이므로 수신하는 스테이션에서의 결함감지 시점이 기준이 된다. 이때 수신대기중에 있는 스테이션들이 새로운 토큰을 생성하는 과정을 진행시키게 되는 경우를 고려하면 결함을 감지하여 복구하는데 걸리는 시간은 한 스테이션에서의 최대 토큰보유시간과 토큰을 재생성하는데 걸리는 시간의 최대값 정도가 된다. IEEE 802.4 방식의 경우, 최대 토큰보유시간은 최대 목적토큰회전시간과 최대 최상위토큰보유시간의 최대값으로 결정되며, 토큰의 재생성시간은 최상위 주소를 갖는 스테이션의 주소에 관련되며 2 바이트의 주소를 가정하면 수 ms이하의 값을 갖게 된다 [10]. 따라서, 결함복구까지 걸리는 최대시간은 최대토큰회전시간보다 작은 값을 갖게 되며, 대개의 경우 최대토큰회전시간보다 충분히 작은 값을 갖게 된다.

5. 결론

제안된 통신망 이중화 방법을 사용함으로써 산업용 응용에서 많이 사용하는 IEEE 802.4 MAC 프로토콜을 이용한 매체 이중화를 적은 비용으로 구현할 수 있다. 또한 매체와 관련된 결함에 대해서는 더욱 빠른 결함 감지 및 대처 효과를 나타내며, 이를 이용하면, 매체의 안정성이 떨어지는 현장에서의 산업용 통신 응용을 보다 안정적으로 구현할 수 있다.

본 연구는 산업용 응용에서 많이 사용하는 IEEE 802.4 매체 접속 방식에서 안정적이고 효과적인 매체 이중화를 구현하기 위한 것으로 이를 위해서 이중 채널 관리기와 매체 접속부, 제어칩, 그리고 네트워크 관리 소프트웨어의 이중화 관리 모듈 등의 작용이 복합적으로 이루어지게 된다. 이에 따라 이중화 기능으로 인한 통신 기능의 불안정성을 유발시키지 않는 범위에서 빠른 매체 절체 효과를 얻을 수 있다. 또한 NIU 이중화에 의한 매체 이중화에 비해서 저렴한 비용으로 매체 이중화를 구현할 수 있다.

참고문헌

[1] U. Minoni, G. Sansoni, and N. Scarabottolo, "A Fault Tolerant Microcomputer Ring for Data Acquisition in Industrial Environments," IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No. 1, pp. 32-36, Feb. 1989.

[2] M. R. Basila Jr., G. Stefanek, and A. Cinar, "A Model-Object Based Supervisory Expert System for Fault Tolerant Chemical Reactor Control," Computers and Chemical Engineering, Vol. 14, Iss. 4-5, pp. 551-560, 1990.

[3] Barry W. Johnson, Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems, Addison-Wesley, 1989.

[4] Jean-Michel Ayache, Jean-Pierre Courtiat, and Michel Diaz, "REBUS, A Fault-Tolerant Distributed System for Industrial Real-Time Control," IEEE Trans. on Computers, Vol C-31, No. 7, pp. 637-647, July 1982.

[5] Yasuhisa Shiobara, Takayuki Matsudaira, Yoshio Sashida and Makoto Chikuma, "Advanced MAP for real-time process control," Proceedings of IECON, pp. 883-891, Cambridge, Massachusetts, Nov. 5-6, 1987.

[6] H. Kleines and K. Zwoell, "MAP Mining - A Communications System for Mining Applications," EMUG MAP/TOP EVENTS Conference Proceedings, SYSTEC 92, 1992.

[7] 문 홍주, 박 홍성, 권 옥현, "결함 허용 Mini-MAP 시스템의 구현 및 성능해석," 전자공학회지, 제 32권 B편, 제 3호, p. 1-10, 3월, 1995년.

[8] 문홍주, 권옥현, "Mini-MAP 시스템의 결함 허용성을 위한 결함 감지 및 복구 기법," 제어 자동화 시스템 공학회 논문지, Vol. 4, No. 2, 1998년 4월, pp. 264-272.

[9] ISO/IEC 8802-4, Information processing systems - Local Area Networks - Part 4: Token-passing Bus Access Method and Physical Layer Specification, IEEE, Inc., 1990.

[10] Hong-ju Moon, Hong-Seong Park, Sang Chul Ahn, and Wook Hyun Kwon, "Performance Degradation of the IEEE 802.4 Token Bus Network in a Noisy Environment," Computer Communications, Vol. 21, Iss. 6, 1998, pp. 547-557.