

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 신진교수과제 연구비에 의하여 연구되었음

컴퓨터 통합생산을 위한 토큰버스 네트워크의 성능관리

이 상 호*, 이 석**

Performance Management of Token Bus Networks for Computer Integrated Manufacturing

Sang-Ho Lee* and Suk Lee**

ABSTRACT

This paper focuses on development and evaluation of a performance management algorithm for IEEE 802.4 token bus networks to serve large-scale integrated manufacturing systems. Such factory automation networks have to satisfy delay constraints imposed on time-critical messages while maintaining as much network capacity as possible for non-time-critical messages. This paper presents a network performance manager that adjusts queue capacity as well as timers by using a set of fuzzy rules and fuzzy inference mechanism. The efficacy of the performance management has been demonstrated by a series of simulation experiments.

Key Words : Manufacturing Automation Protocol(공장자동화용 프로토콜), Computer Integrated Manufacturing (컴퓨터 통합생산), Local Area Network(근거리 통신망), Data Latency(전송지연), Queue Capacity (큐용량), Token Circulation Time(토큰순환시간), Priority Mechanism(우선순위도구), Fuzzy Network Performance Manager (퍼지 네트워크 성능관리기)

1. 서 론

최근, 기업의 경쟁력 강화와 유지를 위해 공장에서는 각종 프로그래머블 컨트롤러와 산업용 로봇, 수치 제어 공작기계 등과 같은 기구들이 광범위한 분야에 수없이 사용되고 있다. 그러나, 이와 같은 기구들은 제한된 종류의 기구를 위한 컨트롤러 특성을 갖고 있기 때문에, 다른 기구와의 인터페이스를 가지고 있지 않거나, 혹은 인터페이

스를 가지고 있어도 각 회사마다 서로 다른 접속 방식을 사용하며, 이로 인하여 시스템 구축에 있어서 유연성의 결여, 신뢰성의 감소와 같은 여러 가지 어려운 점이 발생하였다. 이것은 각종 기구를 사용한 기존의 자동화가 전체적인 생산 과정에 초점을 두어 구축된 것이 아니라, 독립적인 생산 단위의 형태로 형성되었기 때문에 각각 자동화의 섬들(islands of automation)을 양산하는 결과를 초래하였다.⁽¹⁾

* 부산대학교 대학원 생산기계공학과

** 부산대학교 생산기계공학과 및 기계기술연구소

따라서, 이러한 자동화의 섬들을 유기적으로 연결하기 위한 방안이 검토되었으며, 그 중 미국의 자동차 회사인 GM(General Motors)에서는 공장 내부에서 부분적으로 이루어져 온 자동화를 유기적으로 결합하여 공장 전체를 하나의 시스템으로 통합하기 위한 네트워킹 시스템을 연구하였다. 즉, 규격화된 통신 프로토콜을 채용한 환경에 의해 공장 내에 분산되어 있는 여러 기기들을 하나의 공통된 전송매체로 연결하여 상호간의 정보교환을 가능하게 함으로써, 컴퓨터 통합생산(Computer Integrated Manufacturing, CIM)의 기틀이 확립되었다.⁽²⁻⁴⁾

공장자동화용 네트워킹은 크게 전송 매체(transmission medium)와 통신 규약(communication protocol), 토폴로지(topology) 등의 여러 가지 사항을 고려하여 설계되는데, 특히 생산 현장에서는 메시지의 긴급성과 함께 전송의 정확성이 요구되며, 생산 라인의 고장 등으로 인하여 트래픽이 급증할 때에도 일정한 응답 시간이 요구되는 것을 고려하면 토큰패싱(token passing)과 같은 결정론적 운용 방식이 바람직하다.

하지만, 토큰패싱을 위한 통신 규약 변수에 적절한 값을 초기에 부여하여 시스템을 설계하였다고 할지라도, 네트워킹이 실제로 적용될 때에는 트래픽이 시간에 따라 항상 변화하는 특성을 가지므로 예측하기 어려운 상황에 처하는 것은 피할 수 없는 사실이다. 그러므로, 공장자동화를 위한 네트워킹은 항상 변화하는 주변 여건에 대처해야 할 필요가 있고, 이러한 적응 능력은 전자 장비의 발달과 광통신의 개발로 인하여 하나의 네트워킹이 대규모의 전체 시스템을 통합시키는 추세에 따라 더욱 요구되는 실정이다.⁽³⁻⁶⁾

따라서, 본 논문은 성능 관리 전문가가 갖고 있는 지식에 바탕을 두고 퍼지 논리(fuzzy logic)를 사용하여 관리 기능을 구현하는 것이다. 즉, 성능 관리 전문가가 갖고 있는 네트워킹의 성능과 통신 규약 변수의 관계에 대한 지식과 새로운 변수 값의 결정에 관한 지식을 퍼지규칙이 내포하도록 하는 것이다.

공장자동화용 네트워킹인 IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜로 운영되는 네트워킹의 성능관리기를 위해 네트워킹 설계 변수인 각 우선순위의 타이머를 퍼지 논리에 의해 조정하는 퍼지 네트워킹 성능관리기(Fuzzy Network Performance Manager, FNPM)를 이미 구축한 바 있다. 그러나, 기존에 개발된 FNPM은 전반적으로 만족스러운 결과를 도출하였지만, 네트워킹의 트래픽에 대하여 관리자의 요구전송지연이 무리하게 설정된 경우에 있어

서는 각 우선순위의 타이머 조정에 의한 결과에 한계가 있음을 확인하였다.⁽⁷⁻¹¹⁾

따라서, 본 논문에서는 기존 FNPM의 한계를 극복하기 위하여 통신 가능 시간을 결정하는 타이머 뿐만 아니라, 메시지의 대기 장소인 큐의 용량(queue capacity)을 복합적으로 조절하는 규칙 베이스를 기초로 하여 개발된 QTFNPM(Queue/Timer-adjusting FNPM)을 소개하고,^(12,13) SIMAN에 의해 개발된 토큰버스 네트워크 시뮬레이션 모델을 통해 그 효용성을 입증하였다. 이러한, QTFNPM은 사용자가 임의로 선정한 전송지연(data latency, 큐에서의 메시지 대기 시간과 메시지 전송 시간의 합)을 만족시킬 수 있도록 프로토콜 변수를 동적으로 조절하는 기능을 수행하는데, 사용자의 요구가 네트워킹의 용량과 트래픽에 비하여 지나친 경우에 최하위 우선순위의 큐용량을 감소시켜서 상위 우선순위의 성능을 향상시키는 기능을 갖고 있다.^(13,14)

본 논문은 모두 다섯 절로 이루어져 있으며, 2절에서는 SIMAN에 의해 구축된 공장자동화용 네트워킹의 시뮬레이션 모델에 관해서 설명한다. 그리고 3절에서는 기존의 FNPM과 큐용량과 타이머를 복합적으로 조정하는 QTFNPM의 구성과 특징을 보이고, 4절에서는 이들을 네트워킹 시뮬레이션 모델과 결합하여 각각의 효용성을 평가함으로써 QTFNPM이 네트워킹의 전반적인 성능 관리에 효과적인 수단임을 보인다. 끝으로 5절에서는 4절에서 얻어진 결과를 토대로 결론을 요약하고 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 공장자동화용 네트워킹 시뮬레이션 모델

2.1 공장자동화용 네트워킹

공장자동화용 표준 통신 프로토콜인 MAP(Manufacturing Automation Protocol)은 국제적으로 널리 받아들여지고 있는 국제 표준화 기구(International Standard Organization)의 OSI(Open Systems Interconnection)를 구조의 기본으로 정하고 있다. 이러한 MAP은 Table 1과 같이 OSI의 7계층 구조를 채용하고 있으며, 매체 접속 제어(Medium Access Control, MAC)의 표준으로 IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜을 선정하였다.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾

또한, 국제 표준화 기구에 따른 네트워킹의 관리기능은 오류관리(fault management), 구성관리(configuration management), 성능관리(performance manage-

Table 1. MAP specification and OSI layer

OSI layer	MAP specification
Layer 7	Application File transfer access and management(ISO 8571) Manufacturing message specification(ISO 9506) MAP/TOP network management Directory service(ISO 9594) Association control service element(ISO 8649)
Layer 6	Presentation Presentation kernel(ISO 8822)
Layer 5	Session Session kernel(ISO 8326)
Layer 4	Transport Transport class 4 service(ISO 8072)
Layer 3	Network Connectionless network service(ISO 8348)
Layer 2	Data Link Logical link control classes 1 and 3(ISO 8802/2) Token bus medium access control(ISO 8802/4)
Layer 1	Physical Token bus 10Mbps broadband(ISO 8802/4) Token bus 5Mbps carrierband(ISO 8802/4)

ment) 등의 세부 기능으로 구분된다.⁽¹⁸⁾ 특히, 성능관리를 위한 기능은 하나의 네트워크에서 제어 신호의 긴급성과 파일 전송의 정확성, 다양한 성능 요건을 만족시키기 위하여 매우 중요하며, 통신 규약의 변수들을 적절히 조정하여 네트워크의 성능을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다.

그리고, 성능 관리 기능은 성능 평가(performance evaluation)와 의사 결정(decision making)으로 분류될 수 있다. 성능 평가는 이산 사상 동적 시스템(Discrete Event Dynamic System, DEDS)인 컴퓨터 네트워크의 성능이 네트워크의 부하와 통신 규약 변수들의 변화에 따라 어떠한 영향을 받는지를 밝히는 것으로,⁽⁵⁾ 연속 변수 동적 시스템(Continuous Variable Dynamic System, CVDS)의 해석에 쓰이는 미분 또는 편미분 방정식 같은 건설한 해석 방법이 없는 것이 매우 어려운 점이다. 즉, 대기 이론(queueing theory)⁽¹⁹⁾과 같은 수학적 기법은 어려운 가정을 요구하는 경우가 많으며, 비교적 새로운 기법인 Perturbation Analysis(PA)⁽²⁰⁾는 이산 사상 동적시스템의 시간에 따른 진행을 관찰해야 하기 때문에 현실적인 구현에 어려움을 겪을 소지가 있다.

의사 결정 기능은 관찰된 네트워크의 성능과 성능 평가의 결과를 토대로 새로운 변수 값을 결정하는 것으로, 네트워크의 성능은 한정된 시간동안 관찰된 것이므로 미지의 분포를 갖는 랜덤변수로 간주할 수 있고, 이를 토대로 얻어진 통신 규약 변수에 대한 네트워크 성능의 구매는 상당한 오차를 포함하고 있기 때문에 Stochastic Approximation(SA)이나 Monte Carlo method와 같은 최적화 알고리즘을 사용하여야 하는데, 이 같은 기법은 수렴 속도가 빠르지 못한 단점을 갖고 있다.⁽⁶⁾ 이와 같

이 성능 평가와 의사 결정은 적절한 기법의 부재로 인하여 어려움을 겪고 있으며, 이러한 난관을 극복하기 위하여 다양한 기법을 융합하여 성능 관리를 구현함으로써 어느 정도 성공적인 결과를 얻은 연구가 발표되기도 하였다.^(4,6)

공장자동화용 네트워크인 IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜은 버스(bus)나 트리(tree) 구조상에 접속된 스테이션들이 논리적 링(logical ring)을 형성하여 상호 통신하는 방식으로, 토큰을 할당받은 스테이션은 규정된 시간동안 매체의 제어권을 갖는다. 이 경우 정해진 시간동안 패킷(packet)을 전송할 수 있으며, 다른 스테이션을 폴(poll)하거나 응답(response)을 수신할 수도 있다.

또한, 각 스테이션은 Fig.1과 같이 네개의 큐와 네개의 카운트-다운 타이머, 즉 Token Holding Timer(THT), Token Rotation Timer 4, 2, 0(TRT4, TRT2, TRT0)을 갖는다. 이들을 이용한 우선 순위 도구는 우선 순위6의 메시지를 THT의 시간 동안 전송할 수 있는 반면, 세 가지의 하위 순위의 메시지는 해당 TRT에서 토큰이 논리적 링을 순환하는데 걸린 시간을 삭감한 시간동안 전송될 수 있다. 또한 IEEE 802.4 표준에서는 $TRT4 \geq TRT2 \geq TRT0$ 가 만족되는 타이머 할당을 요구한다.

이와 같은 우선 순위 도구의 목적은 한정된 네트워크 용량을 상위 우선순위의 메시지에 우선적이고 고정적으로 할당하고, 하위 우선순위의 메시지는 여분의 용량이 있을 때만 전송하도록 하는 것으로, 메시지의 전송 지연에 관한 상이한 요구 조건을 만족시킬 수 있도록 네트워크의 용량을 우선순위에 따라 적절히 할당하는 기능을 수행한다.

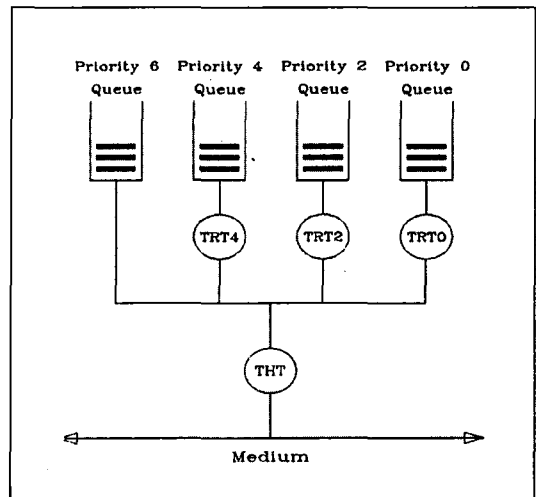


Fig. 1 Schematic Structure of Station

2.2 시뮬레이션 모델

공장자동화를 위한 IEEE 802.4 토큰버스 통신망 시뮬레이션 모델은 SIMAN을 이용하여 이산 사상 시뮬레이션(discrete event simulation)으로 모델링 되었으며, (21,22) 시뮬레이션 모델은 메시지 발생 서브 모델(message generation submodel)과 프로토콜 서브 모델(protocol submodel)로 나뉘어진다. 메시지 발생 서브 모델은 사용자가 정의한 확률 분포에 따라 네트워크 트래픽(메시지 발생 간격, 메시지 길이)을 발생시키고, 프로토콜 서브 모델은 스테이션의 상태에 따라 프로토콜 로직을 실행시킨다. 즉, 메시지 발생 서브 모델은 각각의 큐에 메시지를 채우고, 프로토콜 서브 모델은 전송 큐로부터 이들 메시지를 제거한다고 할 수 있다.

Table 2는 IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜 시뮬레이션 모델의 각 우선순위에 대한 파라미터를 보이는데, 발생된 메시지의 길이가 IEEE 802.4 표준의 최장 메시지 길이인 8194byte을 초과하면 하나 이상의 패킷으로 분할된 메시지의 형태로 전송 큐에 입력되도록 하였으며, 시뮬레이션 모델의 스테이션 개수는 10개이며, 각 스테이션에서는 Table 2의 확률 분포를 사용하여 메시지를 생성시킨다.

Table 2. Simulation Parameters

	TH1	TRT4	TRT2	TRT0
Number of Stations	10			
Number of Queues per Station	4			
Maximum Packet Length(byte)	8194			
Token Processing & Transmission Time(usec)	12			
Type of Probability Distribution for Message Generation Interval	uniform	uniform	exponential	exponential
Average Message Generation Interval(usec)	10 ⁴	5×10 ⁴	10 ⁵	5×10 ⁶
Type of Probability Distribution for Message Length	uniform	uniform	exponential	exponential
Average Message Length(bit)	2×10 ³	10 ⁴	2×10 ⁴	10 ⁶

시뮬레이션에서 사용한 확률 분포와 평균값은 Fig.2에 나타난 것과 같이 대규모 생산 시스템에서 생성되는 다양한 종류의 데이터를 모사하기 위하여 선정되었다. 즉, 최상위 우선순위(Priority 6)에서는 작업장 레벨의 통신으로 여러 생산 장비들의 상태를 알리는 센서신호나 제어신호 등의 통신이 이루어지며, 짧은 메시지가 대체로 일정한 메시지 발생 간격의 형태로 빈번히 발생한다. 그리고, 이러한 메시지들의 전송지연에 대한 허용 범위도 10-100msec 정도로 대부분의 실시간 메시지를 포함하고 있다.

다음의 상위 우선순위들(Priority 4와 Priority 2)은 생산 주문이나 신제품에 관한 텍스트 파일(text file)과 NC 공작 기계의 프로그램 등을 송수신하는 것으로, 우선순위 4는 비교적 일정한 메시지 간격과 길이를 가지는 경우로써, 균일 분포로 하였으며, 우선순위 2는 메시지 간격과 길이에 있어 불규칙한 특성을 반영하기 위하여 지수 분포로 설정하였다. 그리고, 우선순위 0는 장기 계획이나 CAD파일, 공정 총괄 등을 전송하기 위한 것이며, 비교적 긴 메시지 길이와 발생 간격을 지수 분포에 의해 일어나도록 설정하였다.

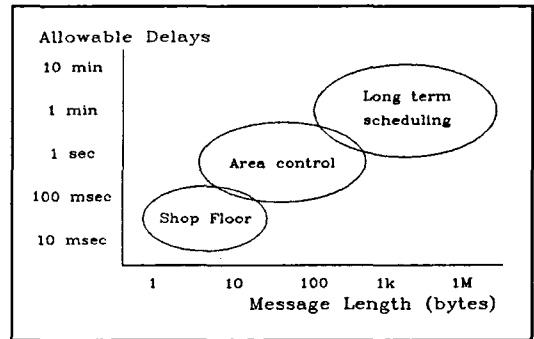


Fig. 2 Disparate Data Groups

3. 큐용량과 타이머의 조정에 의한 퍼지 네트워크 성능관리기

3.1 공장자동화용 네트워크의 특성

네트워크의 성능 관리는 프로토콜 변수와 네트워크 성능사이의 일반적인 관계가 잘 알려져 있지 않고, 변수의 조정을 위한 체계적인 접근 방법 역시 존재하지 않기 때문에, 네트워크 전문가가 그의 경험을 바탕으로 이러한 변수를 조정하는 것이 일반적이었다. 따라서, IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜의 특성을 파악하기 위해서 SIMAN에 의해 구축된 토큰버스 네트워크 시뮬레이션 모델을 이용하여 타이머와 큐용량에 대한 네트워크 지연 특성을 아래와 같이 관찰하였다. (17)

① 일반적으로 어떤 우선순위의 타이머가 길면 길수록, 그 우선순위의 전송지연은 짧아지는 편이며, 그 영향으로 다른 우선순위의 전송지연이 증가할 수도 있다.

② 우선순위 6의 전송지연을 감소시키기 위해서는

THT를 증가시키는 것보다 TRT들을 감소시키는 것이 더욱 효과적이다.

③ 모든 TRT들이 토큰순환시간인 TCT와 비교하여 너무 길면, 큐에서의 대기 시간이 우선순위와 무관하게 서로 비슷해지는 경향이 있다.

④ 어떤 TRT가 최소 토큰순환시간(토큰만을 순환하는데 걸리는 시간, 즉 토큰 전송 및 처리 시간 × 스테이션의 수이며, Table 2에 따르면 $120\mu\text{sec}$)이하이면, 해당 메시지의 전송이 완전히 제한되며, 이로 인해 다른 우선순위가 이득을 본다.

⑤ 큐용량이 충분히 설정되어 있을 때, TRT가 최소 토큰순환시간보다 조금이라도 길게 선택되었다면 생성된 거의 모든 메시지가 전송되므로, TRT의 조정만으로는 모든 메시지의 전송 허용과 불허의 두 결과만을 얻을 수 있다.

⑥ TRT가 최소 토큰순환시간에 근접해 있을 때, 해당 큐용량을 감소시키면 일부 메시지들의 전송이 거부되어, 그 우선순위의 트래픽을 감소시키는 결과를 가져온다.

⑦ TRT0을 최소 토큰순환시간인 $120\mu\text{sec}$ 에 가깝도록 낮추어도 우선순위6의 전송지연이 관리자가 설정한 요구 전송지연에 수용되지 않으면, 타이머에 의한 조정보다는 우선순위0의 큐용량을 감소시키는 것이 효과적이다.

3.2 공장자동화용 네트워크의 성능관리기

선행 연구에서 개발된 퍼지 네트워크 성능관리기(Fuzzy Network Performance Manager, FNPM)⁽¹⁰⁻¹⁵⁾는 TCT (Token Circulation Time, 토큰이 순환하는데 걸리는 시간)와 네 가지 우선순위의 전송지연을 입력으로 한 21개의 룰로 구성되어 있으며, 각 우선순위의 타이머 변화량을 출력한다. 이 FNPM은 네트워크의 트래픽이 관리자의 요구전송지연(data latency limit, 메시지들의 평균전송지연과 표준편차를 고려하여 거의 모든 메시지가 요구되는 시간 이내로 전송 완료가 될 수 있도록 하기 위한 것으로, 여기서는 평균전송지연에 3배의 표준편차를 더한 것)을 수용할 수 있는 범위에 있어서는 만족스러운 결과를 도출하였지만, 우선순위6의 전송지연이 관리자가 허용할 수 있는 요구전송지연을 만족시키기 어려운 경우에 있어서는 우선순위0의 메시지를 모두 전송하거나, 전혀 전송하지 못하는 극단적인 현상이 발생하여 효과적인 네트워크 성능관리가 수행되지 못하였다.⁽¹³⁾

이 같은 현상을 보완하기 위하여 개발된 QTFNPM (Queue/Timer-adjusting FNPM)⁽¹⁵⁾은 TRT0을 최소

토큰순환시간인 $120\mu\text{sec}$ 에 가깝도록 낮추어도 우선순위6의 전송지연이 관리자가 설정한 요구전송지연을 만족시키지 않으면, 타이머에 의한 조정보다는 우선순위0의 큐용량을 감소시키는 것이 효과적이라는 사실을 근거로 룰베이스를 확장한 것이다. 즉, QTFNPM은 큐용량과 타이머의 변화량을 출력으로 하여 33개의 규칙으로 구성되며, 입력 변수로는 토큰순환시간(TCT)과 각 우선순위의 평균 전송지연시간과 세 배의 표준편차의 합(D_i), 우선순위0의 relative throughput(생성된 메시지의 비트 수에 대한 전송된 비트 수의 비, P_0)이 퍼지입력의 형태로 받아들여지고, TRT0의 값은 전송 가능한 최소의 값으로 고려되었다. 이들 퍼지변수들은 Fig. 3과 같이 TCT에 대하여 Small(S)과 Medium(M), Big(B)으로 나누고, D_i 와 P_0 는 eXtra Small(XS)와 Small(S), Medium(M), Big(B)과 같이 네 단계의 연속적인 퍼지집합을 가지도록 하였다.

또한, QTFNPM의 출력 변수는 각 우선순위의 통신 가능 시간을 결정짓는 각 우선순위의 타이머 변화량 (ΔTHT 와 ΔTRT_i)과 우선순위0에 대한 큐용량의 변화량 (ΔQ_0)이다. Fig. 4에 우선순위0의 큐용량과 타이머 변화량에 관한 퍼지집합을 보이는데 5단계, 즉 Negative Big(NB)와 Negative Small(NS), ZeRo(ZR), Positive Small(PS), Positive Big(PB)의 연속적인 퍼지집합 영역을 가진다.

이와 같은 퍼지집합을 이용하여 Table 3과 같이 33개의 퍼지 규칙을 설정하였다. 이 중 규칙 20-31은 TRT0의 값이 $121\mu\text{sec}$ 보다 짧을 때에만 작동하도록 고안된 것으로, 20-23 규칙은 우선순위6의 전송지연이 크고, TRT0은 $121\mu\text{sec}$ 이하로 감소되었을 때 우선순위0의

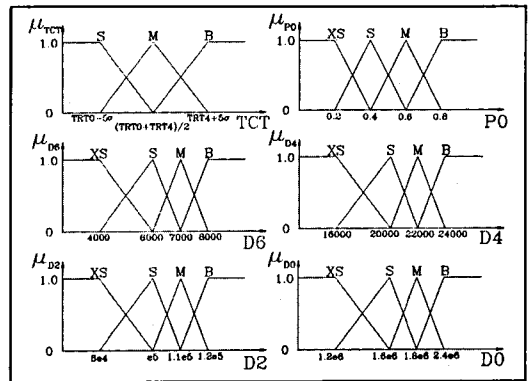


Fig. 3 Primary Fuzzy Sets for Inputs of QTFNPM

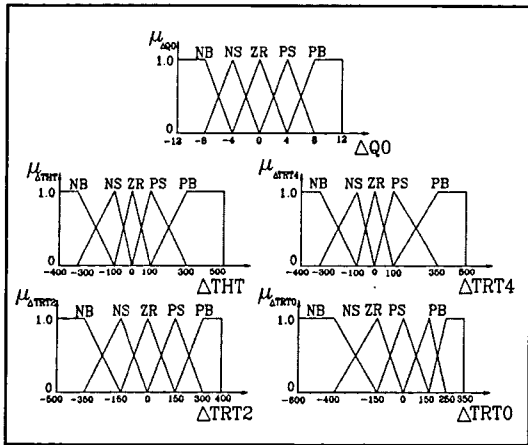


Fig. 4 Primary Fuzzy Sets for Outputs of QTFNPM

Table 3. Fuzzy Rules of QTFNPM

	TCT	D6	D4	D2	D0	TRT0	P0	ΔTHT	ΔTRT4	ΔTRT2	ΔTRT0	ΔQ0
1	S							ZR	NB	NB	NB	
2	M	B						PB	NB	NB	NB	
3	M	M						PS	NS	NS	NS	
4	M	S	B					ZR	PB	NS	NS	
5	M	S	M					ZR	PS	ZR	ZR	
6	M	S	S	B				ZR	ZR	PB	NS	
7	M	S	S	M				ZR	ZR	PS	ZR	
8	M	S	S	S	B			ZR	ZR	ZR	PB	
9	M	S	S	S	M			ZR	ZR	ZR	PS	
10	M	XS	B					NS	PB	NS	NS	
11	M	XS	M					NS	PS	ZR	ZR	
12	M	S	XS	B				ZR	NS	PB	NS	
13	M	S	XS	M				ZR	NS	PS	ZR	
14	M	S	S	XS	B			ZR	ZR	NS	PB	
15	M	S	S	XS	M			ZR	ZR	NS	PS	
16	M	S	S	S	XS			ZR	ZR	ZR	NS	
17	M	S	S	S	S			ZR	ZR	ZR	ZR	
18	M	XS	XS	XS	B			NS	NS	NS	PB	
19	M	XS	XS	XS	M			NS	NS	NS	PS	
20	M	B				121	B					NB
21	M	B				121	M					NS
22	M	B				121	S					NS
23	M	B				121	XS					ZR
24	M	M				121	B					NB
25	M	M				121	M					NS
26	M	M				121	S					ZR
27	M	M				121	XS					ZR
28	M	S				121	B					ZR
29	M	S				121	M					PS
30	M	S				121	S					PB
31	M	S				121	XS					PB
32	L	S						ZR	PB	PB	PB	
33	L	M						PB	ZR	ZR	ZR	

throughput (P0)에 따라 우선순위0의 큐용량을 변화시킨다. 나머지 24-31 규칙까지는 우선순위6의 전송지연이 Medium 또는 Small일 때에 적용된다.

4. 실험결과와 고찰

4.1 실험방법

SIMAN에 의해 구축된 시뮬레이션 모델에서 얻어진 각 우선순위들의 전송지연과 TCT, throughput에 관한 정보를 QTFNPM의 입력으로 하여 퍼지추론을 수행하며, 네트워크의 특성을 반영한 33개의 퍼지 규칙을 통해 우선순위들의 타이머와 큐용량의 변화량을 얻는다. 이들이 통신망 시뮬레이션 모델의 새로운 입력으로 사용되며 연속되는 네트워크의 작동을 모사하기 위하여 매번의 시뮬레이션마다 서로 다른 랜덤 씨드(random seeds)를 이용한다. 또한, 시뮬레이션에서 매회 통신망을 관측하는 시간은 20초이다.

본 실험에서는 네트워크의 전체적인 용량이 80%에 해당하는 트래픽에 대한 경우를 상정하였고, 각 우선순위에 대해서는 동등하게 20%씩 할당되었다. 그리고, 우선순위6에 대한 관리자의 요구전송지연을 만족시키기 어려운 경우를 설정하여 타이머만의 조절에 의한 FNPM과 큐용량을 복합적으로 고려한 QTFNPM을 비교하였다.

4.2 실험결과

FNPM과 QTFNPM을 비교하기 위하여 Table 4에 나타난 것과 같이 동일한 초기 타이머 값과 요구전송지연을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 4. Initial Timer Settings and Data Latency Limits

	순위6	순위4	순위2	순위0
초기 타이머 (μsec)	150	3500	3500	3500
요구전송지연 (μsec)	6000	20000	1.0e5	1.6e6

■ 실험 I : FNPM

실험 I은 기존의 FNPM을 적용한 것으로 각 우선순위의 타이머만을 관리하는 경우이다. FNPM은 관리자의 요구전송지연을 만족하기 용이한 경우에는 상위 우선순위의 전송지연을 감소시키기 위하여 상위 우선순위의 타이머를 증가시키고, 하위 우선순위의 타이머를 낮추었다.

또한, 상위 우선순위가 요구전송지연을 만족하면 상위 우선순위의 요구전송지연이 저축되지 않는 한도 내에서 하위 우선순위의 전송지연을 개선시키는 기능을 입증하였다.

그러나, 우선순위6의 요구전송지연을 만족하기 어려운 경우에 있어서는 Fig.5와 같이 우선순위6의 타이머를 증가시키고 다른 하위 우선순위들의 타이머를 줄이지만, 우선순위6의 전송지연을 감소시키는데는 한계가 있다. 따라서, Fig.6과 같이 9번 씨드의 수행에서 최하위 우선순위인 우선순위0의 타이머가 $120\mu\text{sec}$ 이하로 감소되면서 모든 전송을 포기하여 네트워크의 용량을 상위 우선순위들이 전담해서 사용할 수 있도록 돕는다. 그러나, 다음 씨드 수행에서는 우선순위6의 전송지연이 만족된 상태이므로 다시 TRT0를 증가시키게 되어 우선순위0도 다시 전송에 참가할 수 있도록 하고 있다. 이로 인하여 우선순위0의 전송 여부가 계속해서 교번하여 발생하고, 이에 따라

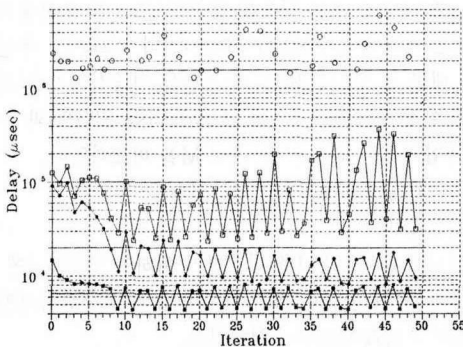


Fig. 5 Data Latencies from Simulation Experiments with FNPM

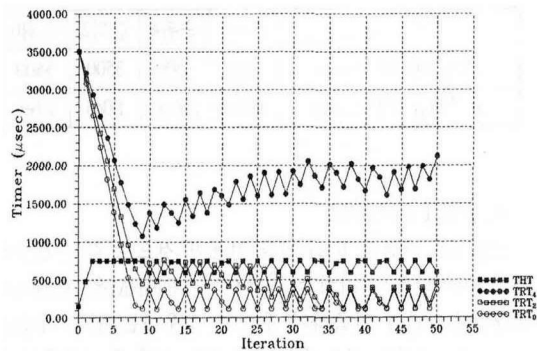


Fig. 6 Timer Settings from Simulation Experiments with FNPM

전송지연이 증가와 감소를 반복하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나, 이와 같은 것이 반복하더라도, 전반적인 추세는 상위 우선순위의 전송지연이 감소하고, 이에 따라 하위 우선순위의 전송지연이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나, 우선순위0의 전송 여부(모든 메시지를 전송하거나 전혀 전송하지 못하는 것)에 대한 빈번한 변화는 바람직하지 못하기 때문에, 우선순위0의 전적인 통신 탈퇴보다는 우선순위6의 전송지연과 네트워크의 상황을 고려하여 생성된 우선순위0의 메시지 중 일부만을 전송하도록 하는 지능적 요소를 갖출 필요가 있다.

■ 실험 II : QTFNPM

실험 II는 실험 I과 같은 조건으로 QTFNPM에 의해 실행된 것으로 초기에는 FNPM과 마찬가지로 우선순위6의 전송지연을 관리자의 요구전송지연에 만족시키기 위하여 하위 우선순위의 타이머를 감소시킨다. 그러나, 우선순위0의 타이머가 $121\mu\text{sec}$ 이하인 경우에 있어서는 QTFNPM에 속하는 큐용량에 관한 규칙에 의해 우선순위0의 큐용량을 조정한다. 즉, 이것은 큐용량의 부족으로 우선순위0의 일부 메시지들을 삭제시킴으로써 전체 트래픽을 감소시키고, 상위 우선순위의 전송지연을 향상시킨다. Fig.7은 전송지연을 보여주는데 실험 I과는 달리 우선순위0의 전송 탈퇴가 발생하지 않고, 전반적으로 모든 우선순위가 관리자의 요구전송지연을 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig.8은 각 우선순위의 타이머 할당에 관한 것으로 9번 씨드에서 TRT0가 $121\mu\text{sec}$ 에 도달하여도 우선순위6의 전송지연을 만족시키지 못하고 있다. 따라서, Fig.9의 9번 씨드와 같이 우선순위0의 큐용량을 감소시켜서 우선순위0의 일부 메시지를 삭제시킴으로써

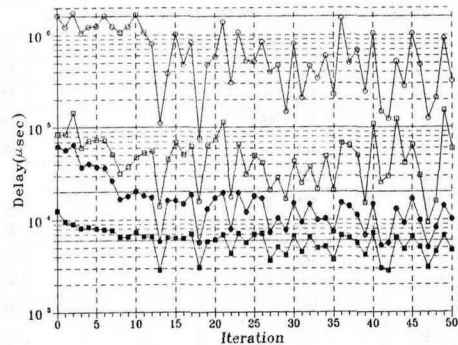


Fig. 7 Data Latencies from Simulation Experiments with QTFNPM

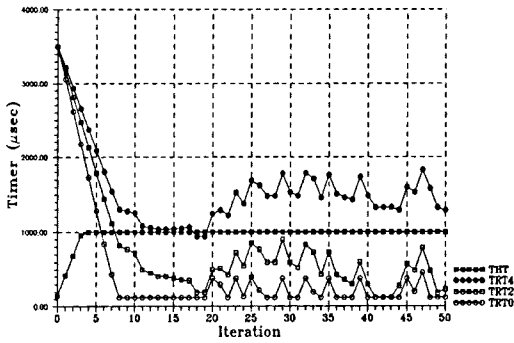


Fig. 8 Timer Settings from Simulation Experiments with QTFNPM

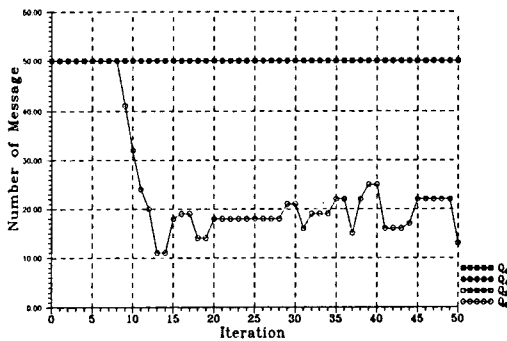


Fig. 9 Queue Capacities from Simulation Experiments with QTFNPM

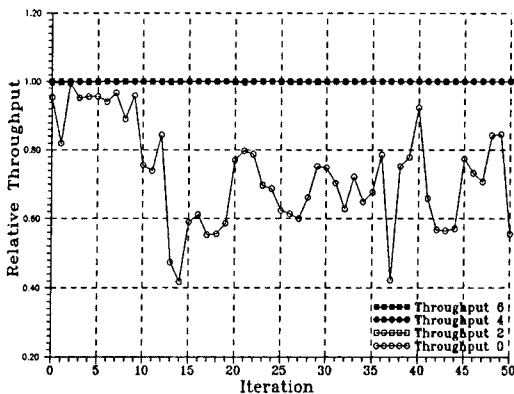


Fig.10 Relative Throughputs from Simulation Experiments with QTFNPM

상위 우선순위의 전송지연을 감소시킨다. 또한 Fig.10은 우선순위0의 큐용량을 감소시킴으로써 자신의 relative throughput이 감소되는 것을 보인다.

이와 같이 QTFNPM을 사용하였을 때 우선순위0의 통

신 탈퇴와 가입의 반복적인 현상은 발생하지 않을 뿐만 아니라, 우선순위0에 관한 큐용량의 조절에 따라 약60%의 우선순위0 메시지를 계속해서 전송하는 효과적인 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 공장자동화용 표준 통신 프로토콜인 IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜의 성능관리를 위해 타이머와 큐용량을 동시에 조절하는 QTFNPM을 개발하였다. 또한, 그 성능을 SIMAN에 의해 개발된 토큰버스 통신망 시뮬레이션 모델을 통해서 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 상위 우선순위의 요구전송지연을 만족시키기 어려운 경우에 있어서는 타이머만의 조정으로는 한계가 있음을 확인하였다.

2) 큐용량이 적을수록 전송포기되는 메시지의 수가 증가하며, 이에 따라서 relative throughput도 감소하는 것을 관찰하였고, 이렇게 얻어진 여유 용량이 상위 우선순위의 전송지연을 감소시킴을 관찰하였다.

3) 각 우선순위의 타이머와 큐용량을 네트워크의 상황에 따라 복합적으로 고려한 QTFNPM은 네트워크의 트래픽에 비교해서 무리한 요구전송지연이 설정되었다 하위 우선순위의 메시지 전송을 일부 제한함으로써 상위 우선순위의 요구전송지연을 만족시키는 합리적인 성능을 보였다.

향후의 연구 과제로서는 신경망이론이나 유전자 알고리즘 등을 이용한 퍼지 네트워크 성능관리기의 학습능력 부여와 소속함수와 규칙의 자동적인 조정기능, 여러 상황에서 네트워크의 성능을 예측할 수 있는 전문가 시스템의 개발 등을 들 수 있다.

참 고 문 헌

1. J.T. O'Rourke, "A Case for Computer Integrated Manufacturing," Keynote Address, NSF Workshop on Computer Networking for Manufacturing Systems, 1987.
2. W. Stallings, "Local and Metropolitan Area Networks," Macmillan, 1993.
3. A Ray, "Networking for Computer Integrated Manufacturing," IEEE Network, Vol.2,

- No.3, pp.40~47, 1988.
4. Suk Lee and Asok Ray, "Performance Management of Multiple Access Communication Networks," IEEE Jour. on selected areas in communication, Vol.11, No.9, pp.1426~1437, Dec., 1993.
 5. 이 석, "컴퓨터 통합생산을 위한 통신망의 성능관리 : 제1부 성능평가", 한국정밀공학회, 제11권, 제4호, pp.126~137, 1994.
 6. 이 석, "컴퓨터 통합생산을 위한 통신망의 성능관리 : 제2부 의사결정", 한국정밀공학회, 제11권, 제4호, pp.138~147, 1994.
 7. 이상호, 손준우, 이 석, "토큰버스 프로토콜의 우선순위 시간할당에 관한 Fuzzy Algorithm의 개발", 한국 자동제어학회, '94 한국자동제어 학술회의 논문집(I), pp.547~552, Oct., 1994
 8. 이상호, 손준우, 이 석, "퍼지기법을 이용한 IEEE 802.4 토큰버스 네트워크의 성능관리기 개발", 대한기계학회, '94년도 추계학술대회 논문집(I), pp.467~471, Nov., 1994
 9. 이상호, 손준우, 이 석, "IEEE 802.4 토큰버스를 위한 퍼지 네트워크 관리기 개발", 한국정밀공학회, '94년도 추계학술대회 논문집, pp.461~466, Nov., 1994
 10. 이상호, 손준우, 이 석, "퍼지기법을 이용한 공장 자동화용 토큰버스 네트워크의 성능관리", 한국정밀공학회, '95년도 춘계학술대회 논문집, pp.471~476, May, 1995
 11. Sang-ho Lee, Joon-woo Son, Suk Lee, "Fuzzy Performance Management of IEEE 802.4 Token Bus Networks," Proceedings of American Control Conference, Seattle, June, 1995
 12. 이상호, 남상운, 윤정아, 이 석, "공장자동화용 토큰버스 네트워크의 성능관리에 있어 큐용량의 영향에 관한 연구", 대한기계학회, '95년도 추계학술대회 논문집, pp.814~819, Nov., 1995
 13. 이상호, 윤정아, 이 석, "큐용량과 시간할당에 의한 토큰버스 네트워크의 퍼지 성능관리기", 한국정밀공학회, '95년도 추계학술대회 논문집, pp.664~669, Nov. 1995
 14. 이 석, 이상호, 손준우, 남상운, "컴퓨터 통합생산을 위한 토큰버스 네트워크의 성능관리", 학술진흥재단, 94년도 신진교수과제, 결과보고서, Dec., 1995
 15. IEEE Computer Society, "Information processing systems - local area networks - Part4," IEEE Inc., 1990.
 16. "Manufacturing Automation Protocol(MAP) 3.0 Implementation Release," MAP/TOP Users Group, One SME Drive, P.O.Box 930, Dearborn, MI 48121.
 17. Valenzano, De Martini, & Ciminiera, "MAP & TOP Communications : Standards & Applications," Addison-Wesley, 1992.
 18. U. Black, "Network Management Standards," 2nd Ed., McGraw Hill, 1995.
 19. L. Kleinrock, "Queueing Systems, Volume I : Theory," John Wiley, 1975.
 20. Y-C.Ho and X-R. Cao, "Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamic Systems," Kluwer Academic, 1991.
 21. A.M. Law and W.D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis," 2nd ed., McGraw Hill, 1991.
 22. C. Pegden, R. Shannon, and R. Sadowski, "Introduction to Simulation Using SIMAN," McGrawHill, 1990.
 23. C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems : Fuzzy Logic Controller-Parts I and II," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.20, No.2, Mar./Apr., 1990.
 24. Earl Cox, "Fuzzy Fundamentals," IEEE spectrum, Oct., 1992.
 25. Michico Sugeno, "Industrial Application of Fuzzy Control," North-Holland, 1985.
 26. 三矢直城, 田中一男, "C言語による實用ファジイブック," ラッセル社, 1989.