

큐용량과 시간 할당에 의한 토큰버스 네트워크의 퍼지 성능관리기

(Fuzzy Network Performance Manager for Token Bus Networks by Timer & Queue Capacity Adjustment)

(※)이상호, 윤정아,

이석

부산대 대학원 생산기계공학과, 부산대 공대 생산기계공학과

ABSTRACT

This paper focuses on development and implementation of a performance management algorithm for IEEE802.4 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.

1. 서론

하드웨어 가격의 하락과 고능률을 요구하는 사회적인 분위기 등으로 생산의 자동화와 관리를 포함한 거의 모든 분야에서 컴퓨터를 운용하게 되었다. 특히 효율적인 생산을 위해 수치제어 공작기계에서부터 산업용 로보트 등에 이르기까지 컴퓨터는 생산과정에서 없어서는 안 될 필수적인 요소가 되었다.

그러나, 컴퓨터를 사용한 기존의 자동화가 전체적인 생산과정을 총체적으로 고려한 것이 아니라, 독립적인 생산과정에 초점을 두어 이루어졌기 때문에 자동화의 섬(islands of automation)들을 형성하게 되었으며, 생산성의 향상에도 한계가 있었다.

따라서, 대규모 생산시스템에서 자동화의 섬들을 유기적으로 연결시켜 주기 위한 방안이 검토되었으며, 이것이 컴퓨터 네트워킹(computer networking)이다. 즉, 제한된 공간 내에 분산되어 있는 여러 컴퓨터와 생산장비들을 공통된 전송매체로 연결하여 상호 간의 정보교환을 가능하게 하며, 이를 바탕으로 컴퓨터 통합 생산(Computer Integrated Manufacturing, CIM)의 개념이 성립되었다[1].

대규모 생산 시스템에서는 Fig.1과 같이 다양한 종류의 데이터가 존재한다[2-4]. 즉, 작업장 레벨에서는 여러 생산장비들의 상

태를 알리는 센서신호나 제어신호 등의 통신이 이루어 지며, 대이터의 길이에 있어서도 대개 1-100 bytes정도의 짧은 메세지가 일정한 간격으로 빈번히 발생한다. 그리고, 이러한 메세지들의 전송지연(data latency), 큐에서의 메세지 대기시간과 각 메세지의 전송시간의 합에 대한 허용범위도 10-100msec정도로 지역에 대한 제약이 크다. 이에 반해, 생산 시스템의 상위레벨에서는 CAD 파일이나 문서파일과 같은 비교적 긴 메세지들(1k - 1 Mbyte)이 가끔씩 전송되며, 전송지연의 허용범위도 1-10min으로 제약이 적은 편이다.

따라서, 대규모 통합 생산시스템에 컴퓨터 네트워크를 설계하거나 관리하려고 할 때, 시간에 대한 긴급성을 요구하는 메세지들은 전송지연에 관한 요구조건을 만족하도록 설계하는 것이 중요하다. 컴퓨터 네트워크의 설계시에는 토플로지(topology)와 전송매체(transmission medium), 통신규약(communication protocol)을 설계한 후, 프로토콜 변수를 적절히 설정하게 되는데, 이는 네트워크의 성능에 직접적인 영향을 미치게 된다[7].

하지만, 네트워크의 통신부하와 통신자원이 시간에 따라 변화하기 때문에 프로토콜 변수는 네트워크의 동적인 환경에 따라 자동적인 조정이 요구된다.

International Standard Organization(ISO)에 따른 네트워크의 관리 기능은 오류관리(fault management), 구성관리(configuration management), 성능관리(performance management)의 세가지 세부기능으로 구분된다[5-6]. 특히, 이 세가지 기능중에서 프로토콜 변수를 조절함으로써 네트워크의 용량을 동적으로 할당하는 기능을 가진 성능관리는 그 중요성이 오래 전부터 인식되어 왔다.

그러나, 프로토콜 변수와 네트워크 성능사이의 일반적인 관계가 잘 알려져 있지 않고, 변수의 조정을 위한 체계적인 접근방법 역시 존재하지 않기 때문에, 네트워크 전문가가 그의 경험을 바탕으로 이러한 변수를 조정하는 것이 일반적이었다.

본 연구에서 이미 개발된 퍼지 네트워크 성능관리기(Fuzzy Network Performance Manager, FNPM)[8-11]는 TCT(Token Circulation Time, 토큰이 순환하는 데 걸리는 시간)와 네 가지의 전송

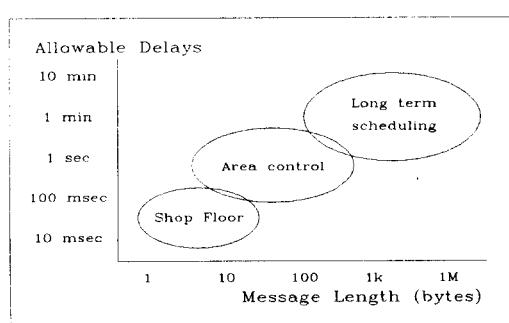


Fig.1 Disparate Data Groups

지연을 입력으로 한 21개의 룰로 구성되어 있으며, 각 우선순위의 타이머를 출력한다. 이 FNPM은 네트워크의 트래픽이 관리자의 요구전송지연을 수용할 수 있는 범위에 있어서는 만족스러운 결과를 도출하였지만, 우선순위6의 전송지연이 관리자가 허용할 수 있는 요구전송지연을 만족시키기 어려운 경우에 있어서는 우선순위0의 메세지를 모두 전송하거나, 전혀 전송하지 못하는 극단적인 현상이 발생하여 효과적인 네트워크 성능관리가 수행되지 못하였다.

따라서, 네트워크의 트래픽에 대한 관리자의 요구전송지연이 무리하게 설정된 경우에 있어서 각 우선순위의 타이머 조정에 의한 결과에 한계가 있음을 확인하였고, 큐용량(queue capacity)을 도입하기 위해서 큐용량에 의한 네트워크의 성능평가를 수행하였다. 이와같은 결과를 기초로, 유효한 네트워크 성능관리를 위해서 각 우선순위의 타이머와 큐용량을 복합적으로 다루는 률베이스를 구축하여 성능관리에 도입하였다.

그러므로, 본 연구는 통신가능시간인 타이머 할당과 메세지의 버퍼인 큐용량을 복합적으로 조절하는 률베이스를 기초로 하여 QTFNPM(Queue and Timer based FNPM)을 개발하는 것이며, 이것에 의해 기존의 불합리한 요소를 극복하는 데, 그 목적이 있다.

2. 통신망 시뮬레이션 모델

공장 자동화용 표준 통신 프로토콜인 MAP(Manufacturing Automation Protocol)에서는 매체 접속 제어(Medium Access Control, MAC)의 표준으로 IEEE802.4 토큰버스 프로토콜을 선정하였으며, 여기에는 네 가지의 우선 순위 도구(Priority Mechanism)가 있다 [3,4]. 이러한 우선순위 도구의 변수는 THT(Token Holding Time)와 TRTi (Token Rotation Time, i=4,2,0) 등으로 구성되며, 메세지의 전송지연에 관한 제약조건을 만족시킬 수 있도록 네트워크의 용량을 우선순위에 따라 할당함으로써 성능을 향상시킬 수 있다.

이와 같은 IEEE802.4 토큰버스 프로토콜은 SIMAN을 이용하여 이산 사상 시뮬레이션(Discrete Event Simulation)으로 모델링 되었으며, 시뮬레이션 모델은 Fig.2와 같이 메세지 발생 서브모델(Message Generation Submodel)과 프로토콜 서브모델(Protocol Submodel)로 나뉘어진다[12-13]. 메세지 발생 서브모델(M.G.S.)은 사용자가 정의한 확률분포에 따라 네트워크 트래픽(메세지 발생 간격, 메세지 길이)을 발생시키고, 프로토콜 서브모델(P.S.)은 스테이션의 상태에 따라 프로토콜 로직을 실행시킨다. 즉, 메세지 발생 서브모델(M.G.S.)은 각각의 큐(Queue)에 메세지를 채우고, 프로토콜 서브모델(P.S.)은 전송 큐로부터 이를 메세지를 제거한다고 할 수 있다.

그리고, 어느 큐에도 전송될 메세지가 존재하지 않을 경우에는 쓸모없는 토큰의 순환으로 인한 불필요한 event scheduling을 피하기 위하여, 네트워크가 전체적으로 아이들(idle)로 되자마자 프로토콜 서브모델은 정지된다. 이후 메세지가 발생하면 프로토콜 서브모델은 토큰의 위치와 타이머의 상태가 정지된 순간으로부터 계산되어 활동을 재개한다.

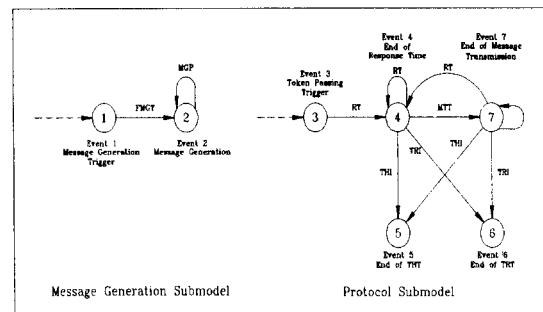


Fig.2 Event Diagram for Message Generation and Protocol Submodel

Table 1은 IEEE802.4 토큰버스 프로토콜 시뮬레이션 모델의 각 우선순위에 대한 파라미터를 보인다. 시뮬레이션 모델의 스텝이션 갯수는 10개이며, 각 스텝이션에는 4개의 우선순위를 위한 큐(Queue)가 있다.

최상위 우선순위(Priority 6)는 센서신호와 제어신호 등을 주로 전송하는 작업장 레벨을 위한 것으로, 이 레벨에서는 비교적 일정한 간격의 메세지 발생 분포와 대체로 균일한 메세지 길이를 가지는 특성이 있다. 그리고, 다음의 상위 우선순위들(Priority 4과 Priority 2)은 생산주문이나 신제품에 관한 텍스트 파일(text file)과 NC 공작기계의 프로그램 등을 송수신하는 것으로, 우선순위4는 비교적 일정한 메세지 간격과 길이를 가지는 경우로써, 균일분포로 하였으며, 우선순위2는 메세지 간격과 길이에 있어 불규칙한 특성을 반영하기 위하여 지수분포로 설정하였다. 그리고, 우선순위0은 장기계획이나 CAD파일, 공정총괄 등을 전송하기 위한 것이며, 비교적 긴 메세지 길이와 발생간격을 지수분포에 의해 일어나도록 설정하였다.

	THT	TRT4	TRT2	TRT0
Number of Station	10			
Number of Queue per Station	4			
Type of Probability Distribution for Message Generation Interval	uniform	uniform	expon.	expon.
Average Message Generation Interval(μsec)	10^4	5×10^4	10^5	5×10^5
Type of Probability Distribution for Message Length	uniform	uniform	expon.	expon.
Average Message Length(bit)	2×10^3	10^4	2×10^4	10^6

Table 1. Simulation Parameter Condition

3. QTFNPM(Queue and Timer based FNPM)의 개발

큐용량과 타이머를 률 베이스로 하는 QTFNPM은 33개의 룰로 구성되며, 입력변수로는 토큰순환시간(TCT)과 각 우선순위의 전송지연시간, 우선순위0의 throughput이 고려되었다. 이것은 Fig.3과 같이 Large, Small, Medium, Big과 같이 4가지 단계의

연속적인 언어변수를 가지고도록 하였다.

또한, QTFNPM의 출력변수는 각 우선순위의 통신가능시간을 결정짓는 각 우선순위의 타이머 변화량과 우선순위0의 큐용량이다. Fig.4에 타이머들의 변화량에 관한 비퍼지화 영역을 보이는데 5단계(Negative Big, Negative Small, ZeRo, Positive Small, Positive Big)의 연속적인 언어변수 영역을 가진다.

QTFNPM는 SIMAN에 의해 구축된 토큰버스 네트워크 시뮬레이션 모델을 이용하여 타이머와 큐용량에 대한 네트워크 지연특성을 아래와 같이 관찰하였으며, 이를 바탕으로 Table 2와 같은 테이블을 도출하였다.

- ① 일반적으로 어떤 우선순위의 타이머가 길면 길수록, 그 우선순위의 전송지연은 짧아지는 편이다.
- ② 우선순위 6의 전송지연을 감소시키기 위해서는 THT를 증가시키는 것보다 TRT들을 감소시키는 것이 더욱 효과적이다.
- ③ 모든 TRT들을 토큰순환시간인 TCT와 비교하여 너무 길면, 큐에서의 대기시간이 우선순위와 무관하게 서로 비슷해지는 경향이 있다.

	TCT	D6	D4	D2	D0	TRT0	P0	ΔTHT	ΔTRT_4	ΔTRT_2	ΔTRT_0	$\Delta Q0$
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	LS	B					NS	PB	NS	NS	
11	M	LS	M					NS	PS	ZR	ZR	
12	M	S	LS	B				ZR	NS	PB	NS	
13	M	S	LS	M				ZR	NS	PS	ZR	
14	M	S	S	LS	B			ZR	ZR	NS	PB	
15	M	S	S	LS	M			ZR	ZR	NS	PS	
16	M	S	S	S	LS			ZR	ZR	ZR	NS	
17	M	S	S	S	S			ZR	ZR	ZR	ZR	
18	M	LS	LS	LS	B			NS	NS	NS	PB	
19	M	LS	LS	LS	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	LS					ZR
24	M	M				121	B					NB
25	M	M				121	M					NS
26	M	M				121	S					ZR
27	M	M				121	LS					ZR
28	M	S				121	B					ZR
29	M	S				121	M					PS
30	M	S				121	S					PB
31	M	S				121	LS					PB
32	L	S						ZR	PB	PB	PB	
33	L	M						PB	ZR	ZR	ZR	

Table 2. Fuzzy Rules for Performance Management

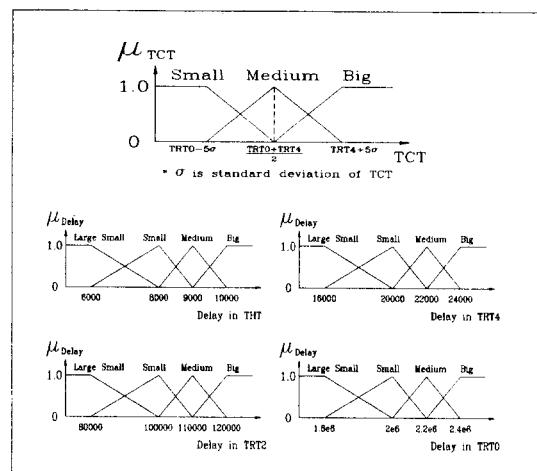


Fig.3 Primary fuzzy sets for average data latencies

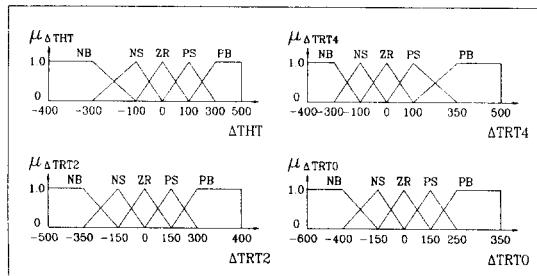


Fig.4 Primary fuzzy sets for timer changes

- ④ 어떤 TRT가 TCT와 비교하여 충분히 길지 않으면, 그 우선순위의 전송이 제대로 이루어지지 않아, 전송지연의 증가와 함께 정의된 네트워크 트래픽 보다도 throughput이 훨씬 더 작아진다.
- ⑤ 어떤 우선순위의 전송지연이 감소되면 그 영향으로 다른 우선순위의 전송지연이 증가할 수도 있다.
- ⑥ 어떤 TRT가 토큰만을 순환하는데 걸리는 시간인 120이 하이면, 그 우선순위의 메세지는 전송되어질 수 없으며, 이로 인해 다른 우선순위가 이득을 본다.
- ⑦ 어떤 우선순위의 큐용량을 감소시키거나 증가시키는 것은 그 우선순위의 트래픽의 조정에 상응한다.
- ⑧ TRT0를 최소 토큰순환시간인 120에 가깝도록 낮추어도 우선순위0의 전송지연이 크고, TRT0는 이미 최소로 감소되었을 때 우선순위0의 throughput에 따라 우선순위0의 queue-용량을 변화시킨다. 나머지 24-30까지는 우선순위6와 전송지연이 Medium 또는 Small일때에 적용된다.

4. 실험결과와 고찰

4.1 실험 방법

SIMAN에 의해 구축된 시뮬레이션 모델에서 얻어진 각 우선순위들의 전송지연과 TCT, Throughput에 관한 정보를 QTFNPM의 입력으로 하여 퍼지추론을 수행하며, 네트워크의 특성을 반영한 21개의 퍼지룰을 통해 우선순위들의 타이머와 큐용량의 변화량을 얻는다. 이를 바탕으로 다시 새로운 통신망 시뮬레이션 모델에 입력되며, 이와 같은 작업을 위해 같은 트래픽을 기초로 한 51가지의 랜덤 씨드(random seeds)를 이용한다. 또한, 시뮬레이션에서 매회 통신망을 관측하는 시간은 20초이다.

본 실험에서는 전체적으로 80%의 트래픽에 대한 경우로써, 각 우선순위에 대해서는 등등하게 20%씩 할당되었다. 그리고, 우선순위6에 대한 관리자의 전송지연조건을 만족하기 어려운 경우에 있어, 타이머만의 조정에 의한 FNPM과 큐용량을 복합적으로 고려한 QTFNPM을 비교하여, QTFNPM이 가장 향상된 형태임을 보인다.

4.2 실험 결과

■ 실험의 초기조건

① 트래픽G : 80 %

② 초기타이머 및 전송지연 제약조건

	순위6	순위4	순위2	순위0
초기 타이머 (usec)	150	3500	3500	3500
전송지연 제약조건 (usec)	6000	20000	1.0e5	1.6e6

Experiment I : FNPM

Experiment I은 기존의 FNPM 적용에 의한 것으로 각 우선순위의 타이머만을 관리하게 되는 경우이다. 만약, 관리자의 요구전송지연을 만족하기 용이한 경우에 있어서는 상위 우선순위의 타이머를 증가시키고, 하위 우선순위는 상위 우선순위의 거동을 돋기 위하여 자신의 타이머를 낮추는 특성을 확인하였다. 또한, 상위 우선순위가 전송지연에 대한 제약조건을 만족하면 하위 우선순위도 상위 우선순위의 거동에 방해가 되지 않는 한도내에서 자신의 전송을 관리하였다.

그러나, 우선순위6의 제약조건을 만족하기 어려운 경우에 있어서는 Fig.5와 같이 우선순위6의 타이머를 늘이고 다른 하위 우선순위들의 타이머를 줄이지만, 우선순위6의 전송지연을 감소시키는데는 한계가 있다. 따라서, Fig.6과 같이 iteration 9에서 최하위 우선순위인 우선순위0의 타이머가 120이하로 감소되면서 모든 전송을 포기하여 네트워크의 용량을 상위 우선순위들이 전달해서 사용할 수 있도록 돋는다. 그러나, 네트워크의 가용성은 시간에 따라 변하기 때문에 일정시간 후에는 우선순위0도 전송에 참가할 수 있도록 하고 있다. 본 실험에서는 트래픽의 변화가 없으므로 우선순위0의 전송 여부가 계속해서 교번하여 발생하였다. 그러나, 이와 같은 것이 반복하더라도, 전반적인 추세는 상위 우선순위의 전송지연이 감소하고, 이에따라 하위 우선순위의 전송지연이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나, 우선순위0의 전송 여부(모든 메세지를 전송하거나 전혀 전송하지 못하는 것)에 대한

빈번한 변화는 바람직하지 못하기때문에, 우선순위0의 통신탈퇴보다는 우선순위6의 전송지연에 따른 네트워크의 상황을 고려한 throughput만큼을 전송하도록 하는 지능적 요소를 갖출 필요가 있다.

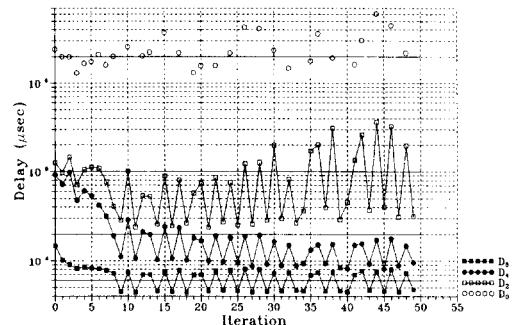


Fig.5 Data Latency from Simulation Experiments by FNPM

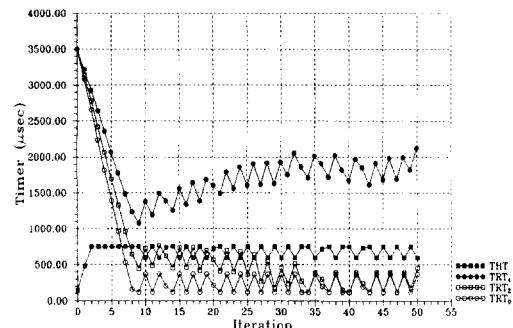


Fig.6 Timer Settings from Simulation Experiments by FNPM

Experiment II : QTFNPM

Experiment II는 Experiment I과 같은 조건으로 QTFNPM에 의해 실행된 것으로 우선순위6의 전송지연을 관리자의 요구전송지연에 만족시키기 위하여 하위 우선순위의 타이머를 감소시킨다. 그러나, 우선순위0의 타이머가 최소 통신가능시간인 121미만인 경우에 있어서는 QTFNPM의 큐용량에 관한 물에 의해 우선순위0의 큐용량을 조정한다. 즉, 이것은 우선순위0의 메세지들을 감소시킴으로써 트래픽을 상위 우선순위에 할당하는 역할을 수행한다. Fig.7은 전송지연을 보여주는데 Experiment I과는 달리 우선순위0의 전송탈퇴가 발생하지 않고, 전반적으로 모든 우선순위가 관리자의 요구전송지연을 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig.8은 각 우선순위의 타이머 할당에 관한 것으로 iteration 9에서 TRT0가 121에 도달하여도 우선순위6의 전송지연을 만족시키지 못하고 있다. 따라서, iteration 9에서부터 Fig.9와 같이 우선순위0의 큐용량을 조절하여 상위우선순위의 전송지연을 감소시킨

다. 또한 Fig.10은 우선순위0의 큐용량을 감소시킴으로서 자신의 throughput이 감소되어지는 것을 보인다.

이와같이 QTFNPM에 의해 우선순위0의 전송지연을 만족시키기 위하여 우선순위0의 통신탈퇴와 가입의 반복적인 현상은 발생하지 않을 뿐만아니라, 우선순위0의 큐용량의 조절에 따라 우선순위0도 약60%의 메세지를 계속해서 전송하는 효과적인 결과를 얻을 수 있었다.

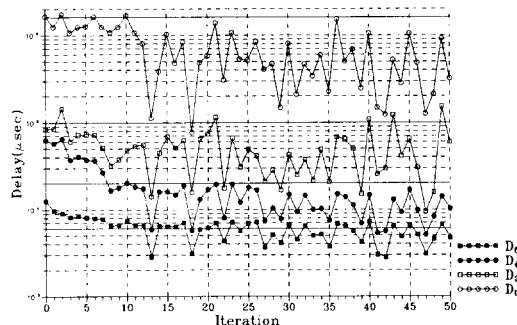


Fig.7 Data Latency from Simulation Experiments by QTFNPM

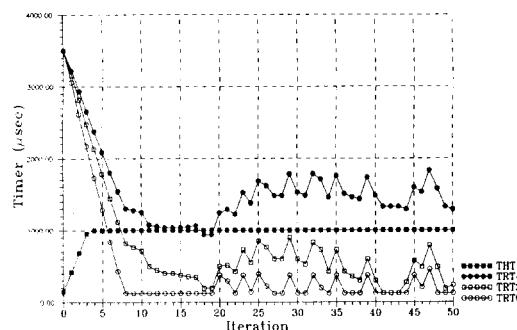


Fig.8 Timer Settings from Simulation Experiments by QTFNPM

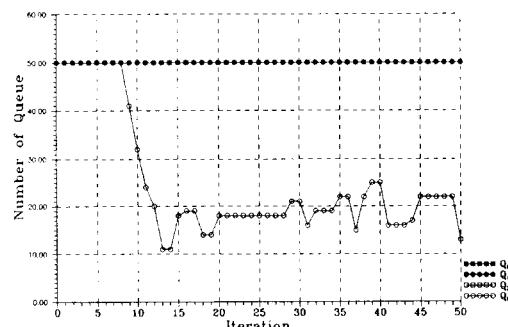


Fig.9 Queue capacities from Simulation Experiments by QTFNPM

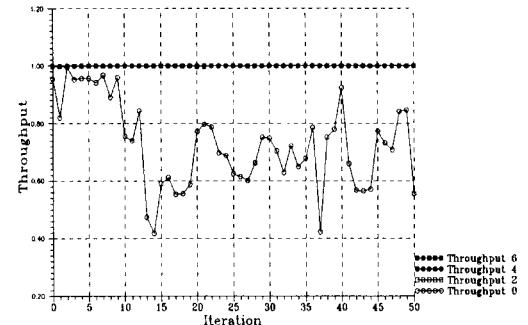


Fig.10 Throughputs from Simulation Experiments by QTFNPM

5. 결론

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

- 1) 공장내에서 발생하는 각 메세지들의 종류 및 발생간격과 길이를 파악하여 우선순위 도구의 각 Priority에 반영하였다.
- 2) 상위 우선순위의 요구전송지연을 만족시키기 어려운 경우에 있어서는 타이머만의 조정으로는 한계가 있음을 확인하였다.
- 3) 큐용량이 적을수록 reject되는 메세지의 수가 증가하며, 이에 따라서 throughput도 감소하는 것을 관찰하였으며, 이러한 여유용량이 상위 우선순위의 전송지연을 감소시킬 수 있는 원인이 되었다.
- 4) 각 우선순위의 타이머와 큐용량을 네트워크의 상황에 따라 복합적으로 고려한 QTFNPM은 네트워크의 설계조건에 비교해서 무리한 트래픽이 존재하더라도 합리적으로 기능을 수행했다.

현재 수행되고 있거나 향후의 연구과제로서는 FNPM의 학습능력 부여, 소속함수와 룰의 자동적인 tuning 기능의 개발 등을 들 수 있다.

APPENDIX IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜과 우선순위 도구

토큰 버스 방식은 Fig.A.1과 같이 버스(Bus)나 트리(Tree) 구조상에 순차적으로 위치가 할당된 스테이션들이 논리적 링(Logical Ring)을 형성하여 상호 통신하는 방식이다.

토큰이라는 제어패킷은 특별한 형식의 비트패턴(bit pattern)으로서, 액세스 권리를 조정하며, 어떤 스테이션이 토큰을 받으면 그 스테이션은 규정된 시간동안 메체의 제어권을 갖는다. 이 경우 정해진 시간동안 패킷을 전송할 수 있으며, 다른 스테이션을 폴(Poll)하거나 응답(Response)을 수신할 수도 있다.

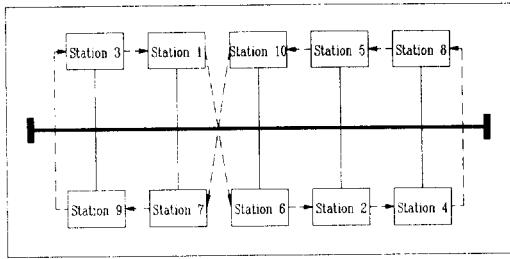


Fig.A.1 Logical Ring of Token Bus Network

이와 같은 점을 고려하여 공장 자동화용 표준 통신 프로토콜인 MAP에서는 매체 접속 제어(Medium Access Control, MAC)의 표준으로 IEEE802.4 토큰버스 프로토콜을 선정하였으며, 여기에는 Fig.A.2와 같이 네개의 카운트-다운 타이머, 즉 Token Holding Timer(THT), Token Rotation Timer(TRT4, TRT2, TRT0)와 네 개의 큐 용량을 가진다. 이와 같은 것은 우선순위6의 메세지가 THT의 시간동안 전송될 수 있는 반면, 세 가지의 하위 순위의 메세지는 해당 TRT에서 토큰이 논리적 링을 순환하는데 걸린 시간을 산감한 시간동안 전송할 수 있다. 또한 IEEE802.4 표준에서는 $TRT4 \geq TRT2 \geq TRT0$ 가 만족되는 타이머 할당을 요구한다.

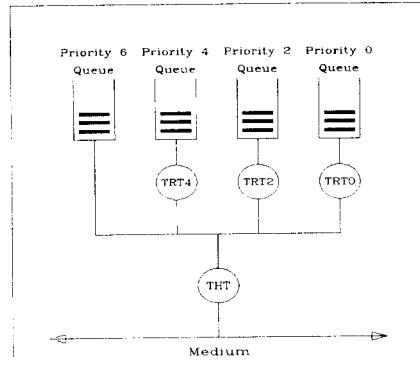


Fig.A.2 Schematic Structure of Station

이와 같은 우선순위 도구의 목적은 한정된 네트워크 용량을 상위 우선순위를 갖는 메세지에 우선적으로 할당하고, 하위 우선순위의 메세지는 여분의 용량이 있을 때만 전송하도록 하는 것으로, 메세지의 전송지연에 관한 제약조건을 만족시킬 수 있도록 네트워크의 용량을 우선순위에 따라 적절히 할당함으로써 성능을 향상시킬 수 있다.

참고문헌

1. J.T. O'Rourke, "A Case for Computer Integrated Manufacturing," Keynote Address, NSF Workshop on Computer Networking for Manufacturing System, 1987.
2. W.L. Genter, K.S. Vastola, "Performance of the Token Bus for Time Critical Messages in a Manufacturing Environment," American Control Conference, 1989.
3. IEEE Computer Society, "Information processing systems- local area networks-Part4", IEEE Inc., 1990.
4. Valenzano, De Martini,& Ciminiera, "MAP & TOP Communications ; standards & Applications", Addison-wesley, 1992.
5. D.M. Thompson, "LAN Management Standards -- Architecture and Protocols," IEEE INFOCOM 1986, pp.355-363.
6. S.M. Klerer, "The OSI Management Architecture:An Overview," IEEE Network, Vol.2, No.2, March 1988, pp.20-29.
7. 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.
8. 이상호, 손준우, 이석, "토큰버스 프로토콜의 우선순위 시간 할당에 관한 Fuzzy Algorithm의 개발", '94 한국자동제어 학술회의 논문집(I), pp.547-552, Oct., 1994
9. 이상호, 손준우, 이석, "퍼지기법을 이용한 IEEE 802.4 토큰버스 네트워크의 성능관리기 개발", 대한기계학회, '94년도 추계학술대회 논문집(I), pp.467-471, Nov., 1994
10. 이상호, 손준우, 이석, "IEEE802.4 토큰버스를 위한 퍼지 네트워크 관리기의 개발", 한국정밀공학회, '94년도 추계학술대회 논문집, pp.461-466, Nov., 1994.
11. 이석, 이상호, 손준우, "컴퓨터 통합생산을 위한 토큰버스 네트워크의 성능관리," 1994년도 한국학술진흥재단 신진교수 과제 중간보고서, 1995
12. C.D. Pegden, "Introduction to SIMAN", Systems Modeling Corporation, 1985.
13. A.M. Law, W.D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill, 2nd Ed.