

퍼지 네트워크 성능관리기의 퍼지 룰 자기 구성

Self-Organization of Fuzzy Rules for Network Performance Manager

김 인 준, 이 경 창, 이 상 호(부산대 대학원), 이 석(부산대 기계공학부)

In-jun Kim, Gyoung-chang Lee, Sang-ho Lee(Graduate School, Pusan National Univ.),

Suk Lee(Pusan National Univ.)

ABSTRACT

This paper focuses on self-organization of fuzzy rules for performance management of computer communication networks serving manufacturing systems. The performance management aims to improve the network performance in handling various types of messages by on-line adjustment of protocol parameters. The principle of fuzzy logic has been used in representing the knowledge of human expert on the performance management and in deriving management decisions. In this paper, we present an application of genetic algorithm to find a better set of rules for various network conditions. The efficacy of this self-organization is demonstrated by discrete simulation of an IEEE 802.4 network.

1. 서 론

컴퓨터를 이용한 생산은 거의 모든 분야에서 적용되고 있으며, 이제는 생산과정에서 없어서는 안 될 필수적인 요소가 되었다.

그러나, 컴퓨터를 사용한 이와 같은 자동화는 단위 생산공정에 초점을 두고 구성되어, 자동화의 섬(islands of automation)들을 형성하게 되었으며, 생산성의 향상에도 한계가 있었다.

따라서, 이러한 자동화의 섬들을 유기적으로 연결시켜 주기 위한 방안이 검토되었으며, 이것이 컴퓨터 네트워킹이다. 그러나, 공통된 전송매체를 이용하는 네트워킹은 실제 대규모 생산시스템에서 존재하는 다양한 종류의 데이터를 만족스럽게 전송하기에는 여러 가지 어려운 점이 있다. 즉, 시간에 대한 긴급성을 요구하는 데이터들은 전송지연에 관한 요구조건을 만족하도록 설계하는 것이 중요하다. 이것은 대규모 생산 시스템에서는 센서신호나 제어신호, CAD파일이나 문서파일 등이 다양한 길이로 임의의 시간에 발생되며, 메시지의 전송지연에 대한 제약도 여러 부류이다. 따라서, 네트워크의 통신부하와 통신자원도 시간에 따라 달리하며, 이로 인해 네트워크 프로토콜 변수와 성능사이에 일반적인 관계가 알려져 있지 않고, 변수의 조정을 위한 체계적인 접근방법 역시 부재상태여서 네트워크 전문가가 그의 경험

을 바탕으로 프로토콜 변수를 조정하는 것이 일반적이다[1,2].

따라서, 네트워크의 성능관리에 퍼지 논리를 적용하여 효과적인 성능관리를 수행하였으나, 일반적으로 퍼지 논리는 인간의 지식이나 경험을 지식베이스로 변환시키는 체계적인 방법이 없으며, 소속함수들 상황에 따라 자동적으로 튜닝할 수 있는 기능도 가지고 있지 않다.

이점을 극복하기 위해, 자연의 적자생존에 의한 진화 모델을 본떠 만든 유전자 알고리즘을 네트워크 성능관리에 적용하였다. 유전자 알고리즘은 탐색 공간상의 여러 점에서 병렬적으로 탐색을 수행함으로써 전역 최적값으로 수렴할 가능성이 크며, 많은 제약 조건들을 요구하지 않는 장점이 있다.

본 연구에 앞서, 저자들은 퍼지 제어기의 소속함수의 자기 구성을 위해 이미 유전자 알고리즘을 적용하여, 효과적인 결과를 얻었다. 즉, 자기 구성된 소속 함수에 의한 성능이 관리자의 경험에 의한 경우보다 향상된 결과로 도출되어 퍼지 네트워크 성능관리기의 지식베이스 생성에 유전자 알고리즘의 적용이 유효하다는 것을 입증하였다[5].

본 논문에서는 퍼지 성능관리기의 우선순위들에 대한 제어 정책인 룰들을 자동생성시키기 위한 것으로, 효과적인 자기 구성을 위해 GA 오퍼레이터 및 적용 형태를 일반적인 GA 적용과 달리하였다.

2. 통신망 시뮬레이션 모델

공장 자동화용 표준 통신 프로토콜에서는 매체 접속 제어의 표준으로 IEEE802.4 토큰버스 프로토콜을 선정하였다. 여기에는 우선순위도구가 있다. 우선순위도구의 변수는 THT(Token Holding Time)와 TRT_i (Token Rotation Time, $i=4,2,0$) 등의 네가지 타이머로 구성되며, 이러한 변수는 네트워크 성능과 밀접한 관계가 있다. 이것은 다음과 같은 방법에 의한 것으로, 어떤 스테이션이 토큰을 획득하면 그 스테이션은 최상위 우선순위의 전송을 우선적으로 할애한다. 즉, 우선순위6의 메시지를 할당된 THT의 시간동안 전송되도록 하고, 우선순위4, 2, 0와 같은 하위 우선순위의 메시지는 순차적으로 해당 TRT에서 토큰이 논리적 링을 순환하는데 걸린 시간인 토큰순환시간을 삭감한 시간동안 전송될 수 있다. 이와 같은 TRT들의 우선순위를 만족시키기 위해 IEEE 802.4 표준에서는 $TRT_4 \geq TRT_2 \geq TRT_0$ 을 요구하고 있다[3,4].

이와 같은 매체접속제어는 센서신호나 제어신호, 생산주문, 텍스트 파일, CAD파일과 같은 다양한 종류의 메시지가 존재하는 대규모 생산시스템과 같은 곳에서 효과적인 네트워크 성능관리를 위해 필수적인 것이라고 할 수 있다.

3. 퍼지 네트워크 성능관리기(FNPM)

퍼지 네트워크 성능관리기는 Table 1과 같이 19개의 룰로 구성되었는데, 이것은 SIMAN에 의해 구축된 토큰버스 네트워크 시뮬레이션 모델을 이용하여 타이머와 큐용량에 대한 네트워크 지연특성을 관찰하여 구축한 것으로, 각 우선순위마다 요구되는 최대 허용전송지연을 각 우선순위의 전송지연이 초과하지 않도록 타이머들을 관리하는 정책을 가지고 있다.

이를 위한, 입력변수로는 토큰순환시간(TCT)과 각 우선순위의 전송지연이 고려되었으며, 허용전송지연과의 차에 의해 eXtra Small, Small, Medium, Big 등의 4가지 연속적인 언어변수 영역을 가진다. 또한, 출력변수는 각 우선순위의 통신가능시간을 결정짓는 각 우선순위의 타이머 변화량과 우선순위0의 큐 용량이다. 이것은 Negative Big, Negative Small, ZeRo, Positive Small, Positive Big의 5단계의 연속적인 언어변수 영역을 가지며, 선행 연구에서 유전자 알고리즘이 탐색한 각 입출력 언어변수 영역을 Fig. 1에서 보인다.

Table 1. organized fuzzy rules by Network Manager

	TCT	D6	D4	D2	D0	TRT0	ΔTHT	ΔTRT_4	ΔTRT_2	ΔTRT_0	ΔQ_0
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					NS	PB	NS	NS	
11	M	S	XS				ZR	NS	PB	NS	
12	M	S	S	XS			ZR	ZR	NS	PB	
13	M	S	S	S	S		ZR	ZR	ZR	NS	
14	M	S	S	S	XS		ZR	ZR	NS	PB	
15	M	B				121					NB
16	M	M				121					NB
17	M	S				121					ZR
18	L	S					ZR	PB	PB	PB	
19	L	M					PB	ZR	ZR	ZR	

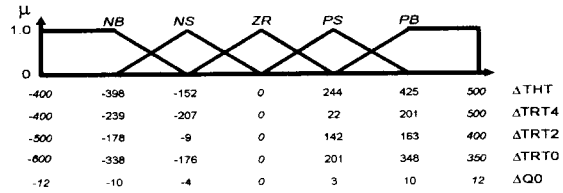
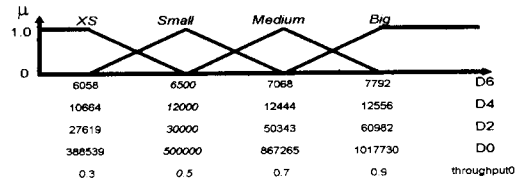


Fig. 1 searched membership function value by GA

4. GA에 의한 FNPM의 룰 자기 구성

4.1 룰 자기 구성을 위한 적용

퍼지 네트워크 성능관리기의 퍼지 룰 생성을 위한 유전자 알고리즘의 적용은 Fig. 2와 같다. 먼저, 정의된 랜덤 발생기에 의해 초기 타이머 값과 룰의 후건부인 초기 모집단을 생성한다. 여기서, 타이머에 대한 스트링이 이진수인 것에 반해, 모집단의 염색체는 문자형(character type)의 형질로 구성된다. 이것은 랜덤 발생기에서 0과 4사이의 값을 발생토록 하여 0인 경우는 NB, 1인 경우는 NS, 2인 경우 ZR, 3인 경우는 PS, 4인 경우는 PB로 구성된다. 이와 같은 문자형의 형질들이 정해진 형태로 구성되어 스트링을 형성하게 되는데, Table 1의 굵은 실선으로 표시된 후건부가 자기 구성될 스트링이 된다.

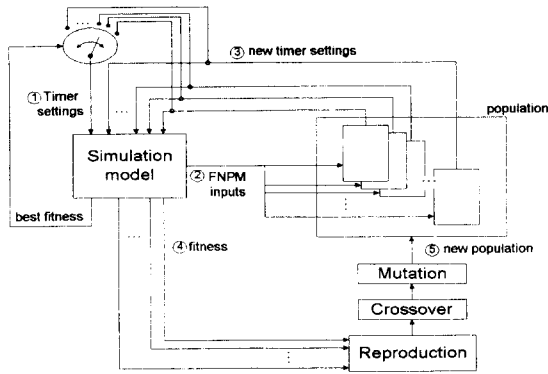


Fig. 2 configuration for self-organization of FNPM rule

임의로 발생된 초기 타이머는 토큰버스 시뮬레이션 모델의 입력으로서, 퍼지 네트워크 성능관리의 입력 변수에 대한 정보를 산출한다. 퍼지 네트워크 성능관리의 퍼지 룰은 유전자 알고리즘에 의해 발생된 모집단으로서, 각기 임의로 구성된 룰의 적용에 의해 새로운 제어값들이 인구(population) 수 만큼 생성되어 다시 토큰버스 시뮬레이션 모델에 적용된다.

시뮬레이션 모델을 통해 산출된 각 염색체들은 다음과 같은 적합도 함수 F에 적용되며, 이것을 기준으로 각 염색체에 대한 평가를 수행하여 이를 최소화하는 염색체가 우성의 염색체로 선택되어 재생산하게 된다. 여기서 D_6 는 요구전송지연을 d_6 는 네트워크로부터 나온 각 우선순위의 전송지연을 의미한다. 그리고, 각각의 상수는 유전자 알고리즘이 우선순위들에 대한 관심의 정도를 나타낸다고 할 수 있는 가중치이다.

$$F = 0.6 \cdot \frac{d_6}{D_6} + 0.25 \cdot \frac{d_4}{D_4} + 0.1 \cdot \frac{d_2}{D_2} + 0.05 \cdot \frac{d_0}{D_0}$$

이와 같이 평가된 각 염색체의 적합도는 선택(selection) 모듈에 의해 임의로 선택된 두개의 부모 염색체에서 확률에 따라 교배와 돌연변이를 수행하여 새로운 개체군을 형성함으로써 진화해 간다. 여기서, 유전자 알고리즘의 효과적인 결과를 얻기위해 De Jong이 제시한 R6모델중 R2모델인 엘리트리스트(elitist) 모델을 적용하였으며, 이것은 부모세대의 가장 우수형질을 자식세대에 그대로 적용하려는 보험(insurance)정책의 일환이라고 할 수 있다.

효과적인 퍼지 룰의 생성을 위해, 교배 방식은 면적 교배법(method of area crossover)을 사용하였는데, 이것은 면적의 형태를 가진 염색체에 적용되는 것으로 확률에 따라 임의로 발생된 교배 중심(center of crossover)과 교배 반경(radius of cross-

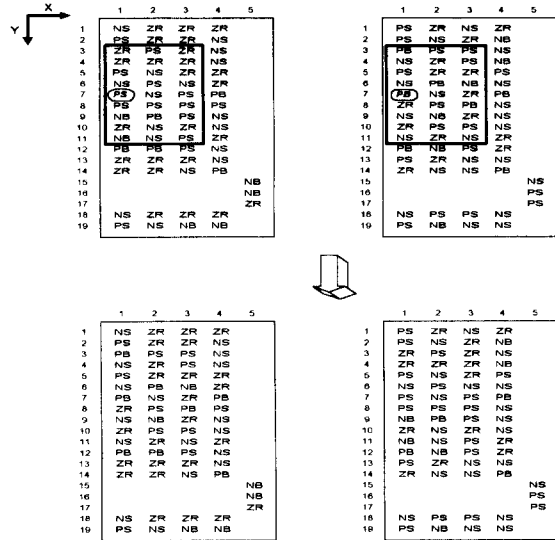


Fig. 3 example for method of area crossover (crossover point(7,1), radius(2,4))

over)을 이용하여 정해진 면적 이내에 속하는 형질(allele)을 서로 맞바꾸는 역할을 함으로써 교배가 발생하는 것을 의미한다. 이를 Fig. 3에 나타내고 있는데, 염색체의 횡축 방향을 각각 X, Y라고 할 때, 교배 중심은 (7,1), 교배 반경은 (2,4)인 경우에 있어 교배 형태를 보이고 있다.

그리고 돌연변이는 임의의 형질을 전환하는 것으로, 만약 염색체의 (13,4)의 위치(locus)에 있는 형질이 선정된 경우, 이 형질의 값이 NB나 NS이면, 랜덤 발생기에서 ZR와 PS, PB 중의 문자형 형질을 임의로 발생시켜 대치하게 된다. 그리고 PS나 PB이면 반대로 ZR나 NS, NB 중의 형질을 선택하고, ZR이면 ZR를 제외한 모든 문자형 형질이 가능성을 가지게 된다.

소속함수의 자기 구성을 위한 유전자 알고리즘의 파라미터 조건은 인구 수에 있어서 30개이며, 교배 확률과 돌연변이 확률은 0.9와 0.01로 적용하였다[5]. 또한, 교배 중심의 발생 영역에 있어 횡축(X)상으로는 $1 \leq X \leq 5$, 종축(Y)상으로는 $1 \leq Y \leq 19$ 이내에서 생성될 수 있으며, 교배 반경(R_x, R_y)은 $1 \leq R_x \leq 3$, $1 \leq R_y \leq 10$ 으로, 스트링의 형태와 유사한 교배 영역이 발생할 가능성을 가지도록 구성하였다.

4.2 퍼지 룰의 자기 구성에 의한 성능 평가

일반적으로 퍼지 시스템의 제어 룰은 모든 상황을 반영하여 구성되기 때문에, GA가 전체 룰을 탐색하

기 위해서는 스트링에 모든 환경을 적용시킬 필요가 있다. 즉, 일정한 관리자의 요구 전송지연과 초기 타이머만으로는 한정된 상황을 표현하기 때문에, 네트워크의 상황에 따라 유전자 알고리즘이 탐색을 수행할 수 있도록 하여야 한다.

이를 위해, 네트워크의 수많은 초기 조건이 필요하며, 다음과 같은 방법을 사용하여 다양한 초기 조건을 설정하였다. 즉, 네트워크의 각 우선순위에 대한 전송지연이 관리자의 요구 전송지연을 만족시키기 어려운 정도에 따라 요구 전송지연을 5가지로 선정하였고, 또한 IEEE 802.4 토큰버스의 우선순위 규정에 따라 랜덤 발생기를 이용하여 타이머를 1000가지 정도 선정하였다. 이상에서 선정된 관리자의 요구 전송지연들과 타이머들에 관한 정보를 기초로 시뮬레이션 모델을 수행하였으며, 출력된 토큰순환시간과 각 우선순위의 전송지연, 우선순위0의 throughput 등과 같은 데이터를 이용해 퍼지 네트워크 성능관리기의 어떠한 상황에 속하는가를 확인하였다.

이와 같은 실험을 반복적으로 실행함으로써, 룰의 전부분을 다룰 수 있는 몇 개의 초기 조건을 구성하였으며, 이것이 Table 2와 같다. 여기서, 10가지의 타이머들 중에서 이벨릭체의 타이머는 가장 나쁜 경우(worst case)를 발생시키는 것 중의 하나로서 랜덤 발생기에 의한 것이 아니라, 이미 여러 번의 실험을 거쳐 확인한 값이다.

이상의 조건에 의해, GA에 의한 퍼지 룰의 자기 구성에 관한 실험을 수행하였으며 최종의 룰을 형성시키는데 있어 특별한 방법을 고안했다. 즉, 각 실험의 관심 부위가 상이한 점을 고려하여 일정 부위가 탐색에 의해 향상되어지는 동안, 다른 실험에 의해 이미 탐색된 부위는 교배나 돌연변이와 같은 GA 연산자에 의해 무의미하게 변화하는 점을 고려한 것이다. 유전자 알고리즘이 자기 구성을 위해 탐색하는 과정에서 각 세대의 탐색 부위중 우성 스트링에 해

Table 2. Initial conditions for self-organization of fuzzy rule

		Desired Data Latencies				Timer			
		Delay6	Delay4	Delay2	Delay0	THT	TRT4	TRT2	TRT0
A	1	6500	10000	20000	400000	150	3500	3500	3500
	533					6004	4579	121	
B	3	6500	12000	30000	500000	1225	2317	684	147
	140					1261	804	536	
C	4	7500	10000	25000	600000	150	3500	3500	3500
	504					8183	7899	7412	
D	6	8000	9000	30000	500000	864	4126	299	144
	1043					3674	3083	121	
D	9	8000	9000	30000	500000	699	3498	1222	158
	1349					7724	4466	121	

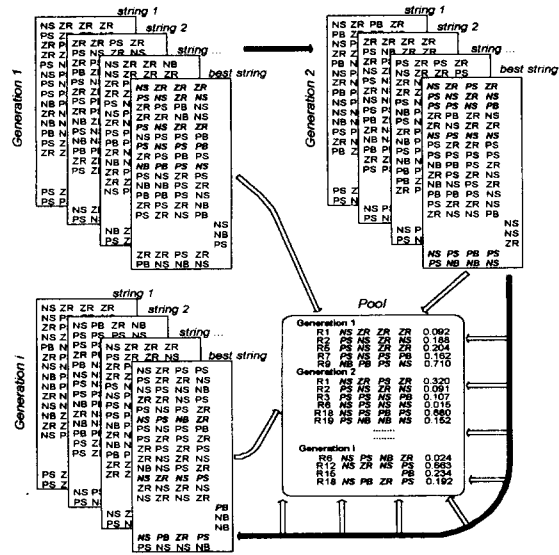


Fig. 4 example for self-organization of fuzzy rule base

당되는 형질만을 추출하여 정해진 풀(pool)에 저장한다. 그리고, 탐색이 완료된 시점에서, 풀에 속해 있던 동종의 부위와 관련된 형질을 하나의 통합된 형질로 구성하기 위해서 퍼지의 min-max에 의해 발생된 각각의 소속값을 해당 형질에 가중시키는 방식(weighting method)을 적용하였다. 이것을 Fig. 4에 보이는데, 룰 번호(number of rule, R#)와 퍼지의 추론된 min-max 값을 함께 저장한 풀은 모든 세대가 만료(expire)되면 최종적인 룰을 형성하게 되는데, 이를 위해서 다음 식에 적용된다.

$$LP_j(i) = \frac{\sum_{k=1}^n (VLP_k^i(i) \cdot VM_k^i(i))}{n}$$

여기서, $i(6,4,2,0)$ 은 우선순위, j 는 1번에서 19번까지의 해당 룰의 번호를 의미하며, $LP_j(i)$ 는 i 우선순위의 j 번째 룰에 대한 언어변수를 나타낸다. 그리고 k 와 n 은 각각 풀에 저장된 해당 룰의 순서와 탐색 횟수를 의미하며, $VLP_k^i(i)$ 와 $VM_k^i(i)$ 는 i 우선순위에 있어 j 번째 룰로 풀에 저장된 k 번째 언어변수 값과 min-max에 의한 소속함수값을 나타낸다. 이것을 곱하는 것은 적용된 언어변수에 대한 신뢰도를 내포시키기 위한 것으로 가중(weight) 방식이라고 할 수 있다. 특히, VLP 에 대입되는 값으로 언어변수가 NB이면 0, NS이면 1, ZR이면 2, PS이면 3, PB이면 4를 대입하여 적용되며, 최종적으로 계산되어진 LP 는 반올림에 의한 정수값으로 다시 해당 언어변수로 복귀된다. 이상과 같은 방법에 의해, 최종적으로 탐

Table 4. Fuzzy Rules for searched QTFNPM by GA search

	TCT	D6	D4	D2	D0	TRT0	ΔTHT	ΔTRT4	ΔTRT2	ΔTRT0	ΔQ0
1	S						ZR	NS	ZR	ZR	
2	M	B					PS	PS	ZR	NS	
3	M	M					ZR	PS	ZR	NS	
4	M	S	B				ZR	ZR	ZR	NS	
5	M	S	M				PS	ZR	ZR	ZR	
6	M	S	S	B			ZR	ZR	PS	ZR	
7	M	S	S	M			ZR	PS	PS	ZR	
8	M	S	S	S	B		PS	PS	ZR	PS	
9	M	S	S	S	M		NS	PS	PB	ZR	
10	M	XS					NS	PS	PS	ZR	
11	M	S	XS				ZR	NS	PS	ZR	
12	M	S	S	XS			PB	PB	PB	NB	
13	M	S	S	S	S		ZR	NS	NS	ZR	
14	M	S	S	S	XS		PS	ZR	NS	PB	
15	M	B				121					NB
16	M	M				121					NS
17	M	S				121					ZR
18	L	S					NS	PS	ZR	NB	
19	L	M					NS	NS	NB	ZR	

색된 룰 베이스는 Table 4와 같다.

Fig. 5는 관리자의 경험에 의해 도출된 룰 베이스(A)와 GA 탐색에 의해 얻어진 룰 베이스(B)를 기초로 동일한 조건을 적용함으로써, 얻어진 성능지수에 대한 결과를 비교한 것이다. GA가 탐색한 룰 베이스에 의한 결과는 오랜 실험을 통해 얻어진 경험의 결과보다는 성능지수를 감소시키는데 있어 적극적이지 못했지만, 제어 횟수(iteration)가 증가할수록 두 가지 룰 베이스에 의한 성능지수는 비슷한 경향을 보이고 있어, 유전자 알고리즘이 탐색한 룰이 제어 목적과는 상이하지 않음을 알 수 있다. 그리고, C와 D는 A와 B에 대한 3점 평균을 보이고 있다.

Fig. 6은 GA 탐색에 의해 얻어진 룰 베이스에 의한 전송지연을 나타낸 것으로, 우선순위6에 대한 정책이 엄격하지 못했지만, 전반적인 전송지연이 감소되는 결과를 보여, 유전자 알고리즘이 네트워크를 환경으로 룰의 자기 구성에 있어 유효함을 보인다.

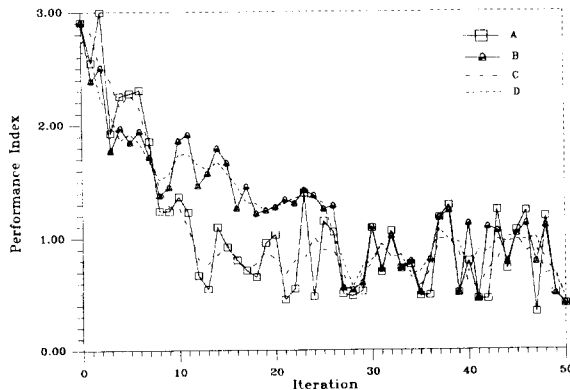


Fig. 5 performance index of experience and GA-based rule

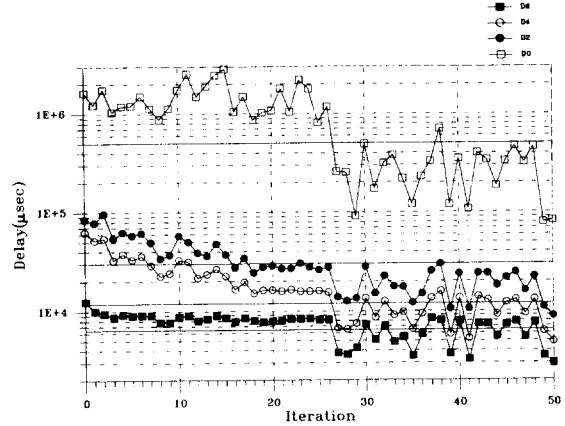


Fig. 6 data latencies by GA based rule

5. 결론

본 연구에서는 IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜의 성능관리를 위해 퍼지 논리를 적용하였으며, 퍼지의 단점인 자기 구성능력의 부재를 극복하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 이에 따른 결과로는 네트워크 관리자의 경험이나 지식을 필요로 하지 않으면서, 짧은 시간내에 관리자의 전반적인 경험과 유사한 결과를 얻음으로써 효과적인 지식 베이스 생성이 되었다.

참고문헌

1. W.L. Genter, K.S. Vastola, "Performance of the Token Bus for Time Critical Messages in a Manufacturing Environment," American Control Conference, 1989.
2. Valenzano, De Martini, & Ciminiera, "MAP & TOP Communications ; standards & Applications", Addison-wesley, 1992.
3. D.M. Thompson, "LAN Management Standards -Architecture and Protocols," IEEE INFOCOM 1986, pp.355-363.
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. 이상호, 김인준, 이경창, 이석, "유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 네트워크 성능관리기의 지식베이스 생성", '96 한국정밀학회 학술회의 논문집, pp., ., 1996