

물류 정보시스템을 위한 IEEE 802.11 무선랜 시스템에서 유전자 알고리즘을 이용한 Dynamic Contention Window 제어 알고리즘

이상현 · 최우용[†] · 이상완

동아대학교 산업경영공학과

Dynamic Contention Window Control Algorithm Using Genetic Algorithm in IEEE 802.11 Wireless LAN Systems for Logistics Information Systems

Sang-Heon Lee · Woo-Yong Choi[†] · Sang-Wan Lee

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University

Wireless LAN systems have been widely implemented for supporting the wireless internet services especially in the hotspot areas such as hospitals, homes, conference rooms, and so on. Compared with wired LAN systems, wireless LAN systems have the advantages of the users' mobility support and low implementation and maintenance costs. IEEE 802.11 wireless LAN systems employ the backoff algorithm to avoid contentions among STAs when two or more STAs attempt to transmit their data frames simultaneously. The MAC efficiency can be improved if the CW values are adaptively changed according to the channel state of IEEE 802.11 wireless LANs. In this paper, a dynamic contention window control algorithm is proposed using the genetic algorithm to improve the MAC throughput of IEEE 802.11 wireless LANs.

Keywords : IEEE 802.11 WLAN, Dynamic Contention Window, Genetic Algorithm

1. 서론

현재 무선랜 서비스는 학교를 중심으로 한 유비쿼터스 캠퍼스 그리고 관공서를 중심으로 한 무선랜 서비스 등의 형태로 제공되고 있으며, 패스트푸드점에서도 무선랜 서비스가 무료로 제공되고 있다[3]. 최근에는 가정에서도 무선랜 시스템을 사용하는 사람들이 증가하고 있으며, 프랑스 파리의 경우 도시 전체에서 무선랜 시

스템을 사용할 수 있게 하기 위해 중심 지역을 시작으로 외곽 지역까지 점차 핫스팟 영역을 확대하고 있다. 무선랜 시스템을 사용하기 위해서는 무선랜 카드가 장착된 단말이 필요하다. 무선랜 카드가 장착된 단말로는 노트북, PDA(Personal Digital Assistant)가 주를 이루었으나, 최근에 PMP(Personal Multimedia Player), MP3 Player, 전자사전, iPhone 등에도 무선랜 카드가 장착되고 있다. 무선랜 카드가 장착된 단말을 가진 사용자는 무선랜 서

논문접수일 : 2008년 10월 07일 논문수정일 : 2009년 05월 25일 게재확정일 : 2009년 07월 01일

[†] 교신저자 wychoi77@dau.ac.kr

※ 본 연구는 NURI 항만물류사업단의 산학연관공동연구과제의 지원으로 이루어졌음.

비스 지역인 핫스팟 영역 내에서 언제든지 유료 혹은 무료로 무선랜 서비스를 이용할 수 있다. 핫스팟 영역에서 무선랜 카드가 장착된 단말을 가진 사용자는 아무런 제약 없이 네트워크를 사용할 수 있기 때문에, 무선랜에 비하여 무선랜 시스템은 유지보수 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 특히 컨테이너 터미널의 경우 터미널 내의 하역 장비와 이송장비는 IEEE 802.11 무선랜으로 정보를 교환하고 있기도 하며, 이 경우 현장 작업자는 PDA를 통한 IEEE 802.11 무선랜 access로 작업을 지시받고 처리하고 있다.

IEEE 802.11 무선랜 시스템에서는 무선 단말이 액세스 포인트(AP : Access Point)를 통하여 무선 인터넷을 사용한다. 액세스 포인트와 무선 단말의 통신은 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜을 이용하고 있으며 이를 DCF(Distributed Coordination Function)이라 한다. CSMA/CA 방식에서는 무선 채널을 통한 데이터 전송 유무를 검사하여 무선 채널을 통한 데이터 전송이 없다고 판단될 경우 전송을 시도한다. 무선 채널을 통한 데이터 전송이 있다고 판단되면 충돌을 피하기 위해 특정 시간을 대기한 후 전송을 재시도 하게 된다. 이때 무선 단말이 전송을 재시도하기 위해 기다리는 특정 시간을 결정하는 방법을 백오프 알고리즘이라 한다. 백오프 알고리즘은 CW(Contention Window)의 크기를 조절하여 무선 단말간의 충돌을 방지한다(IEEE std 802.11, 1999, IEEE std 802.11a, 1999, IEEE std 802.11b, 2001, IEEE std 802.11g, 2003). 일반적으로 하나의 액세스 포인트에 접속하는 단말의 수가 증가하면 액세스 포인트 전송영역 내에 있는 모든 단말들은 데이터 전송 시 더 많은 충돌을 경험한다. 충돌이 발생할 경우 백오프 알고리즘에 의하여 CW 값이 증가하게 되고 단말의 대기시간을 증가시키게 되어 IEEE 802.11 무선랜 성능이 떨어지게 된다. 하지만, CW 값이 너무 작아도 단말 간 충돌 발생횟수가 증가하게 되어 IEEE 802.11 무선랜 성능이 떨어지게 된다. 그러므로 적절한 CW 값을 사용하는 것이 IEEE 802.11 무선랜 성능에 중요한 요인이 된다.

무선랜의 백오프 절차에 관한 기존 연구를 보면, Garg (2002)는 백오프를 처음 시작하는 CWmin 값에 초점을 맞추어 CWmin 값이 변함에 따라 IEEE 802.11 무선랜 시스템에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. CWmin 값은 백오프를 처음 시작할 때의 값뿐만 아니라, 데이터 전송이 성공한 후에 초기화되는 값으로 데이터 전송이 성공한 단말의 대기시간을 설정하는 값이기도 하다. 저자는 IEEE 802.11b 표준에 맞추어 단말의 수를 1에서 64까지 변화시켜가며 CWmin 값을 3, 7, 15, 31로 설정하여

IEEE 802.11 무선랜에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과 단말의 수 $n=1,2$ 일 때 CWmin 값이 3일 경우 가장 좋은 결과를 보였고, 단말의 수 $n \geq 3$ 일 때 CWmin 값이 31인 경우 가장 좋은 결과를 보였다. Deng(2004)은 단말 간 충돌이 발생할 경우 IEEE 802.11 표준에서 CW 값을 증가시키는 BEB(Binary Exponential Backoff) 방식 대신, 충돌이 발생한 단말은 배수로 CW 값을 증가시키고 충돌을 감지한 다른 단말들은 CW 값을 선형적으로 증가시키는 방식을 택하였다. 그리고 단말의 전송이 성공적으로 끝나게 되면 모든 단말들의 CW 값을 선형적으로 감소시키는 방식을 선택하였다. 이를 LMLD(Linear/ Multiplicative Increase and Linear Decrease)라 한다. Wang and Bensaou (2001), Song et al.(2003), Soni and Chockalingam(2003)은 단말간 충돌이 발생할 경우 CW 값을 지수적으로 증가시키고, 전송이 완료되면 CW 값을 CWmin으로 초기화 하지 않고 지수적으로 감소시키는 방법을 사용하였다. 이를 EIED(Exponential Increase Exponential Decrease)라 한다. Soni and Chockalingam(2003)와 Vitsas(2003)은 단말 간 충돌이 발생할 경우 CW 값을 선형적으로 증가시키고, 전송이 성공적으로 완료되면 CW 값을 초기화 하지 않고 선형적으로 감소시키는 방법을 사용하였다. 이를 LILD (Linear Increase Linear Decrease)라 한다. Bharghavan et al.(1994)는 단말간 충돌이 발생할 경우 CW 값을 배수로 증가시키고 전송이 성공할 경우 선형적으로 감소시키는 방법을 택하였다. 이를 MILD(Multiplicative Increase and Linear Decrease)라 한다. Wang and Li(2004)는 단말이 성공적으로 데이터를 전송한 후 CW 값이 CWmin으로 초기화 되는 것이 단말이 다음 전송을 시도할 때 충돌 확률이 높다고 판단하였다. 이를 방지하기 위해 연속된 성공적인 데이터 전송이 이루어지게 되면 CW 값을 현재의 절반으로 줄이는 방법을 사용하였다. Chen and Wu(2004)는 동적으로 CW를 선택하는 알고리즘을 퍼지 추론을 통해 제시하였다. Garg et al.(2002)에서는 전송되는 데이터의 크기를 고정시킨 후 단말의 수를 증가시키며 다양한 CWmin 값을 실험하여 적절한 CWmin 값을 찾았다.

IEEE 802.11 표준에서 제시된 BEB 방법을 개선한 기존의 연구는 BEB 방법의 문제점인 단말이 충돌을 경험하게 되면 다음 CW 값이 지수적으로 증가하기 때문에 대기시간이 길어지는 것과, 단말이 데이터를 성공적으로 전송한 후 CW 값을 초기화 시키게 되면 단말이 짧은 시간을 대기한 후 데이터 전송을 시도하게 되어 충돌 확률이 높아지는 문제점을 개선한 연구이지 CW 값을 동적으로 변화시키기 위한 연구는 아니다. Chen and Wu(2004)는 퍼지 추론을 통해 동적으로 CW 값을 결정

하기 위하여 단말의 수를 이용한 것으로써 무선랜의 동적인 트래픽 상황을 고려한 것은 아니다. 그리고 Garg et al.(2002)는 데이터의 크기를 고정시켜 실험을 하였기 때문에 데이터의 크기가 동적으로 변화하는 트래픽 상황과 다소 맞지 않는다.

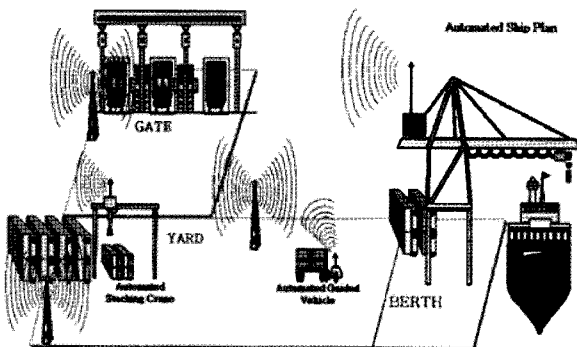
이에 본 논문에서는 무선랜을 사용하는 물류정보시스템에서 동적인 트래픽 상황을 고려하여 무선랜의 성능을 최적화하기 위하여 백오프 절차를 위해 사용되는 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변화시키는 알고리즘을 제시하고자 한다. 그리고 다양한 실험결과를 통하여 제시한 알고리즘의 우수성을 입증하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 무선랜을 통한 물류정보 시스템의 구축방법에 대하여 설명하고, 제 3장에서는 무선랜의 동작원리와 무선랜에서 사용하는 백오프 알고리즘을 설명한다. 그리고, 제 4장에서는 유전자 알고리즘과 유전자 알고리즘을 이용하여 IEEE 802.11 무선랜의 성능을 개선시키는 방안에 관하여 설명하고, 제 5장에서 실험방법과 실험결과를 제시하고, 제 6장에서 결론을 맺는다.

2. 무선랜을 통한 물류정보 시스템의 구축방법

최근 무선통신기술이 발달되어 물류시스템에서도 무선 단말을 사용하는 영역이 넓어지고 있다. 컨테이너 터미널의 경우 무전기를 이용하여 작업 지시를 받고 작업을 처리하던 것이, 현재 PDA를 이용한 IEEE 802.11 무선랜 액세스로 정확한 작업 지시와 정확한 처리가 가능해졌다. <그림 1>에서 보는 것과 같이 하역장비 및 운송장비에서 작업하는 작업자는 무선랜으로 받은 정보를 이용하여 정확한 작업을 할 수 있게 되었고, 작업 처리 상태를 정보시스템에서 실시간으로 파악할 수 있게 되었다.

컨테이너 터미널 뿐만 아니라 물류 창고에서도 물류



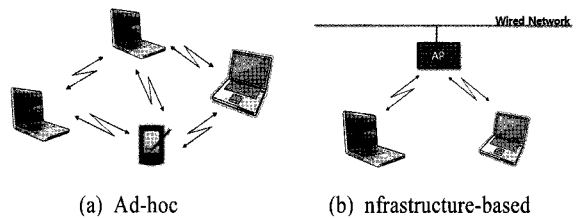
<그림 1> Logistics information system

검수작업을 할 때 작업자는 바코드 리더가 포함된 PDA를 이용하여 실시간 검수 작업을 하고 있으며, 최근에는 제품의 반출입 관리, 재고 관리 등에 RFID를 이용하려고 한다. RFID 리더기에서 나온 정보를 무선랜을 이용하여 물류정보시스템으로 전송하게 되면, 리더기 배치 문제에 보다 유연하게 대처할 수 있게 되고, 핸디 리더기를 사용하는 작업자 또한, 무선랜을 이용하면 즉시 물류정보시스템에 자료를 전송, 액세스할 수 있게 되어 점차 물류시스템에서 무선랜의 사용 범위가 넓어질 것이다.

3. 무선랜의 동작원리와 백오프 알고리즘

IEEE 802.11 무선랜은 1-2Mbps의 속도로 2.4GHz 대역을 사용하는 IEEE 802.11의 표준이 1997년 제정되었고, 5.5Mbps에서 11Mbps의 속도로 2.4GHz 대역을 사용하는 IEEE 802.11b, 최대 54Mbps의 속도로 5GHz 대역을 사용하는 IEEE 802.11a가 1999년에 제정되었고, 최대 54Mbps의 속도로 2.4GHz 대역을 사용하는 IEEE 802.11g가 2003년에 제정되었다(Bob O'Hara and Al Petrick, 2004).

IEEE 802.11 무선랜은 무선랜을 사용하는 단말과 무선랜과 연결되어 무선 단말이 유선망에 접속할 수 있게 해주는 액세스 포인트로 구성된다. IEEE 802.11 무선랜의 구축 방식은 두 가지로 먼저, <그림 2>(a)와 같이 액세스 포인트 없이 단말간 데이터 통신을 직접 하는 방식으로써 이러한 무선랜을 ad hoc 망이라고 한다. 다음으로, <그림 2>(b)와 같이 유선랜과의 브릿지 기능을 하는 액세스 포인트에 여러개의 단말이 연결되어 있는 방식으로써 이러한 무선랜을 infrastructure-based 망이라고 한다.

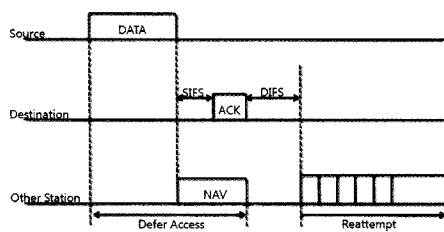


<그림 2> IEEE 802.11 network

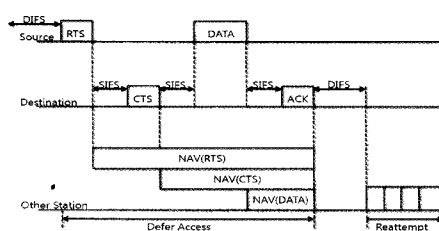
IEEE 802.11 무선랜에서 사용하는 반송파 감지(carrier sensing) 방법은 물리적 반송파 감지(physical carrier sense)를 이용하는 방법과 가상 반송파 감지(virtual carrier sense)를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 물리적 반송파 감지 기능은 물리계층에서 제공되며 사용되는 매체와 변조 방식에 의존한다. 물리계층에서 채널 상태를 감지하여 감지 결과를 MAC 계층에 알려준다. 가상 반송파 감지 방법

은 MAC 계층에서 자체적으로 수행되는 것으로써 무선 채널이 사용되기 위해 예약된 시간 정보인 네트워크 할당 벡터 NAV(Network Allocation Vector)를 사용한다. NAV를 적절히 사용하면 단말이 데이터 전송을 시작하기 전에 데이터 전송을 시작하는 시점부터 데이터 전송이 성공적으로 완료된 것을 확인할 때까지 필요한 모든 프레임 전송/수신하기 위한 시간을 미리 확보할 수 있다. NAV를 통해 단말이 전송을 성공적으로 마칠 때까지의 시간이 확보되므로 다른 단말들은 NAV에 의해 확보된 시간동안 대기하게 되어 단말 간 충돌도 피할 수 있게 된다. RTS/CTS를 사용하지 않고 데이터 전송시 NAV를 이용하는 방법과 RTS/CTS를 사용하여 데이터를 전송시 NAV를 이용하는 방법은 <그림 3>과 <그림 4>에서 각각 설명한다.

<그림 3>과 같은 basic access 모드에서 단말은 채널 상태를 지켜보다 DIFS 시간동안 채널이 사용되고 있지 않다고 판단되면 데이터를 전송하게 된다. 이때 단말은 수신측 액세스 포인트에 데이터가 성공적으로 전송되었는지 판단하기 위해 수신측에서 데이터를 성공적으로 전송 받았다고 확인해 주는 ACK 프레임을 기다리게 된다. 또한, ACK 프레임이 도착하기까지의 시간이 NAV에 세팅되어 다른 단말들은 NAV 만큼 대기하게 된다. 수신측인 액세스 포인트는 송신측 단말의 데이터가 전송된 후 SIFS 시간동안 대기한 후 단말에 ACK 프레임을 전송하게 된다. 만약, 단말이 액세스 포인트로부터 ACK 프레임을 전송 받았다면 전송한 데이터가 성공적으로 전송되었다고 판단하여 DIFS 시간동안 대기한 후 다음 데이터를 전송하기 위해 백오프를 수행하고, ACK 프레임을 전송받지 못하면 전송한 데이터가 성공적으로 전송되지 못하였다 판단하여 재전송을 위한 백오프를 수행한다.



<그림 3> IEEE 802.11 basic access mode



<그림 4> IEEE 802.11 RTS/CTS access mode

<그림 4>와 같은 RTS/CTS access 모드에서는 데이터를 전송하기 전에 RTS/CTS 프레임을 먼저 주고받는 방식을 사용한다. 데이터를 보내고자 하는 단말은 채널 상태를 지켜보다 DIFS 시간동안 채널이 사용되고 있지 않다고 판단되면 수신측 액세스 포인트에 RTS 프레임을 보내게 된다. 이 때 단말이 보내고자 하는 데이터를 성공적으로 전송할 때까지 다른 단말들의 간섭을 받지 않기 위해 총 소요 시간을 NAV에 세팅하여 단말의 전송 가능 영역 내의 모든 단말들에 NAV 값을 알려줌으로써 충돌을 회피한다. 이 때 다른 단말들은 NAV에 세팅된 시간이 0이 될 때까지 전송시도를 연기하게 된다. 수신측 액세스 포인트는 SIFS 시간동안 대기한 후 CTS 프레임을 송신측 단말에 전송하게 된다. 이때 액세스 포인트도 데이터 전송을 위한 남은 소요 시간을 NAV에 세팅하여 액세스 포인트 전송가능 영역 내의 모든 단말들에 NAV 값을 알려줌으로써 다른 단말들과의 충돌을 회피한다. 송신측 단말은 CTS 프레임을 수신한 후 SIFS 시간을 대기한 후 데이터를 전송한다. 데이터 전송이 완료되면 단말은 액세스 포인트로부터 데이터 전송이 성공적으로 이루어졌다는 것을 의미하는 ACK 프레임을 전송받기 위해 대기한다. 액세스 포인트는 SIFS 시간동안 대기한 후 ACK 프레임을 단말에 전송해 주게 되며 단말은 이 ACK 프레임을 받고 데이터 전송이 성공적으로 완료되었다 판단한다. 만약 단말이 ACK 프레임을 전송받지 못하면 데이터 전송이 실패하였다고 판단하고 재전송을 위한 백오프를 수행한다.

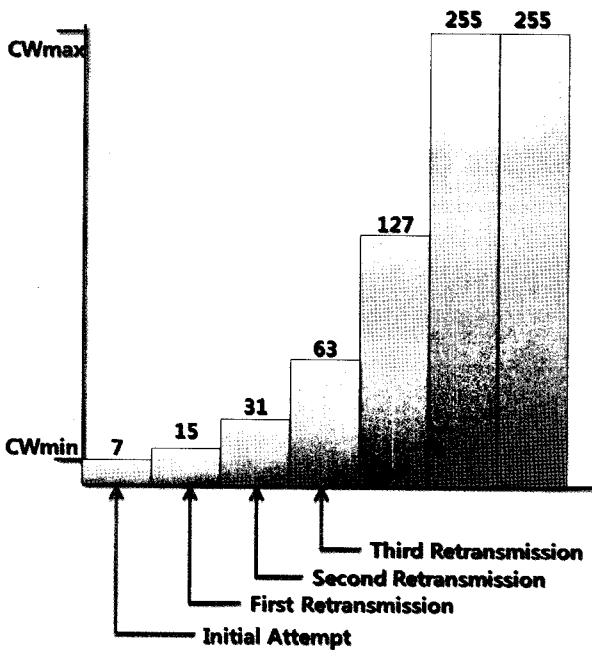
백오프를 위하여 단말들은 임의의 백오프 시간(random backoff time)을 대기하게 되는데 백오프 대기시간의 계산식은 식 (1)과 같다.

$$backoff\ time = Random() \times SlotTime \quad (1)$$

여기서 Random() 값은 [0, CW] 사이의 정수값을 임의로 선택하게 되고 Slot Time은 IEEE 802.11 표준에 따른다. CW의 초기값은 CWmin이라 하고, 최대치는 CWmax라고 한다. 단말이 전송을 시도하려고 할 때 다른 단말과의 충돌이 발생하게 되면 백오프 절차에 의해 CW 값을 결정하여 충돌이 발생한 단말로 하여금 백오프 시간동안 대기하게 하여 충돌을 회피하게 한다. 이 CW 값으로 단말들은 충돌 횟수에 따라 다른 값을 사용한다. 비록 동일한 충돌 횟수를 가지고 있어도 실제 백오프 대기시간은 식 (1)과 같이 랜덤한 값을 취하기 때문에 단말들의 실제 백오프 대기시간은 다른 값을 가지고 있을 가능성이 크며 이로 인해 단말간 충돌이 회피되는 것이다. 만약 단말간의 충돌이 발생할 경우 CW 값은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, IEEE 802.11a 표준에 의하면 CW 초기값은 i

= 4일 경우로 $CW_{min} = 15$ 가 되고 충돌이 발생할 경우 발생된 충돌 횟수에 따라 i 값을 증가시켜 CW 값이 $CW_{max} = 1023$ 가 될 때까지 증가시킨다. 충돌이 발생할 때마다 CW 값을 지수적으로 증가시키는 방법을 BEB라고 한다. IEEE 802.11a의 경우 충돌이 발생할 때 증가되는 CW 값은 <그림 5>와 같이 나타낼 수 있다.

$$CW(\text{contention window}) = 2^i - 1 \quad (2)$$

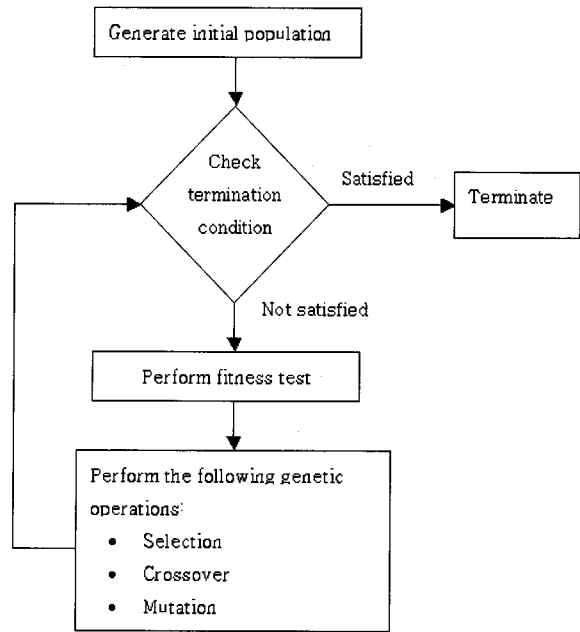


<그림 5> CW values of IEEE 802.11a WLAN

4. 유전자 알고리즘을 이용한 dynamic contention window 제어 알고리즘

4.1 유전자 알고리즘 개요

(John H. Holland, 1992)에 의하면 유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithms)은 생물진화의 원리로부터 착안된 알고리즘으로서, 확률적 탐색이나 학습 및 최적화를 위한 한 가지 기법이라고 간주할 수 있다. 유전자 알고리즘은 기본적으로 Generate-and-Test 형의 알고리즘으로서 일반적으로 세가지 종류(선택(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation))의 유전자 조작(genetic operations)을 사용하고, 해는 유전자형(genotype)으로서 염색체(chromosome)에 일차원적으로 표현된다. 각 세대는 개체(individual)의 집합이고, 세대의 개체 수는 집단의 크기(population size)라고 한다. 유전자 알고리즘의 처리순서는 <그림 6>과 같이 요약할 수 있다.



<그림 6> Genetic algorithm

4.2 유전자 알고리즘을 이용한 dynamic contention window 제어 알고리즘

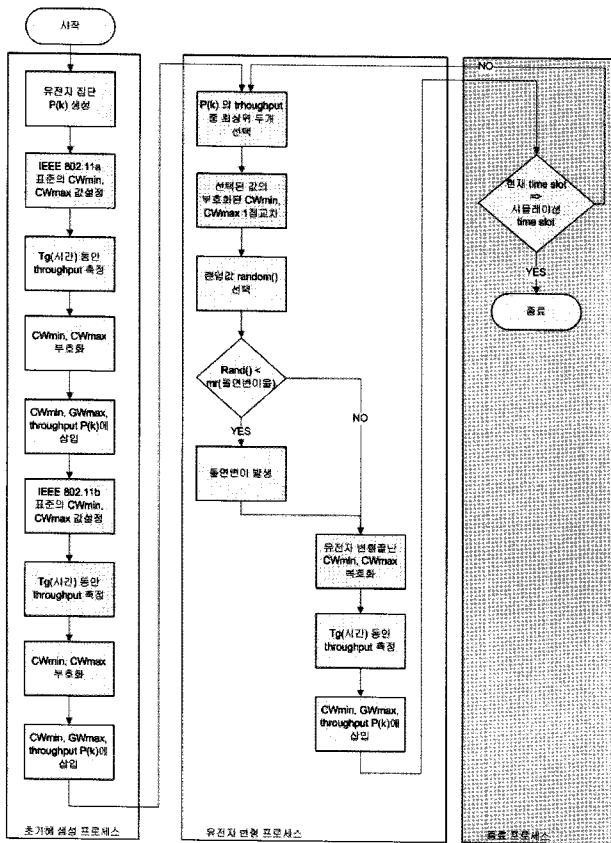
IEEE 802.11 무선랜 시스템의 성능(throughput) S 는 식 (3)과 같이 표현되며, 실제 데이터가 전송되기 위해 사용된 slot time을 전체 slot time으로 나눈 것이다(Giuseppe Bianchi, 1998, 2000). 유전자 알고리즘을 이용한 dynamic contention window 제어 알고리즘은 동적인 트래픽 상황에서 throughput을 최대화 할 수 있는 CW_{min} , CW_{max} 값을 유전자 알고리즘을 이용하여 탐색하게 된다. 이는 <그림 7>과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{E[\text{payload 전송에 사용된 slot time}]}{E[\text{전체 slot time}]} \quad (3)$$

먼저 유전자 집합 $P(k)$ 를 만든 후 교차와 돌연변이를 위한 부모 유전자를 만들기 위해 두 개의 값을 선택한다. 예를들어 IEEE 801.11a 표준에 있는 CW_{min} , CW_{max} 값과 IEEE 802.11b에 있는 CW_{min} , CW_{max} 값을 선택한다. 먼저, IEEE 802.11a, 802.11b 표준에 있는 CW_{min} , CW_{max} 값을 유전자로 표현하기 위해 부호화한다. 부호화는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

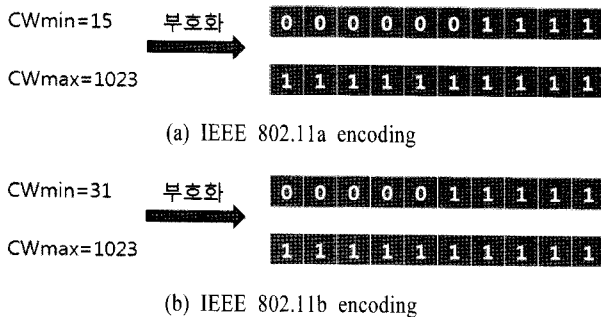
$$s = \theta^{-1}(x) \quad (4)$$

부호화 함수 θ^{-1} 는 변수 x 를 이진 스트링으로 변환



<그림 7> Dynamic contention window control algorithm using genetic algorithm

한다. 이를 IEEE 802.11a, 802.11b에 적용하면 <그림 8>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 8> Encoding of IEEE 802.11a and 802.11b CW values

부호화된 IEEE802.11a의 CWmin, CWmax 값을 하나의 유전자로 만들기 위해 두 개의 이진 스트링 값을 <그림 9>(a)와 같이 연결한다. IEEE 802.11b의 CWmin, CWmax 값도 <그림 9>(b)와 같이 이진 스트링 값으로 연결한다. 연결된 이진 스트링 값은 이후 부모 유전자로 사용될 것이고, 유전자 변수 집합 P(k)에 저장된다. 유전자에 대한 적합도 즉, throughput을 알아보기 위해 각 유전자를 T(g)

시간동안의 throughput을 측정하여 결과를 유전자 변수 집합 P(k)에 저장한다. 이제 유전자 집합 P(k)에는 두 개의 유전자가 생성되었고 throughput이 측정되었다. 이를 부모 유전자로 사용하여 유전자 알고리즘 절차를 시행한다.

0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

(a) parent gene of IEEE 802.11a CW values

0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

(b) parent gene of IEEE 802.11b CW values

<그림 9> Generated parent genes

유전자 집합 P(k) 중 적합도가 가장 큰 유전자, 즉 throughput이 가장 높은 유전자를 P(first)라 하고, 두번째로 높은 유전자를 P(second)라 한다. 유전자 집합 P(k)에서 가장 적합도가 높은 두 유전자, 즉 throughput이 가장 높은 두 유전자 P(first), P(second)를 선택하여 유전자 변이를 시작한다. 먼저, 유전자를 랜덤함수를 이용하여 1과 20사이의 값을 선택하여 선택된 지점에서 1점교차를 실시한다. 1점 교차 후 이진스트링은 교차점을 기준으로 이후 이진 스트링을 교환하여 새로운 CWmin, CWmax가 생성된다. 새롭게 생성된 두 유전자를 평가하여 우성우월주의에 의해 throughput이 가장 높은 P(first) 유전자만 취한다. 우성우월주의란 적합도가 높은 유전자가 더 좋은 결과를 도출할 수 있기 때문에 적합도가 높은 유전자를 선택한다는 것이다. 1점교차 후 우성우월주의에 의해 선택된 유전자에 돌연변이가 발생할지 판단하기 위해 랜덤함수를 통해 난수 값을 생성해 낸다. 만약 생성된 값이 설정된 돌연변이 확률보다 적을 경우 돌연변이를 발생시키고 생성된 값이 설정된 돌연변이 확률보다 클 경우 돌연변이를 발생시키지 않는다. 돌연변이는 이진 스트링으로 표현된 유전자를 랜덤함수를 이용하여 특정 위치의 값을 변화시키는 것으로, 돌연변이의 발생 위치점이 선정되었을 때 해당 위치의 값이 0이면 그 값을 1로 변화되어 CWmin, CWmax 값이 변화되게 된다. 선택과 교차, 돌연변이 과정을 거친 유전자는 IEEE 802.11 무선랜 시스템에 어떠한 영향을 미치는지 평가하기 위하여 이진 스트링을 복호화한다. 복호화는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \theta(s) \tag{5}$$

유전자 변이 결과로 생성된 CWmin_new, CWmax_new 값을 이용하여 복호화된 값을 IEEE 802.11 무선랜의 CWmin,

CWmax 값으로 설정한다. 생성된 유전자의 성능을 평가하기 위해 T(g)시간 동안의 throughput을 계산하고 결과를 P(k)에 저장한다. T(g)시간 동안 운용 후 P(k)의 유전자 중 적합도가 가장 높은 두 유전자를 선택하여 교차/돌연변이 과정을 진행한 후 T(g)시간 동안 운용 후 결과를 P(k)에 저장하는 과정을 지속적으로 실시한다. 이 과정을 통해 IEEE 802.11 무선랜 시스템은 동적인 네트워크 상황에서도 최적의 throughput을 얻기 위한 과정을 반복하게 되므로 전역해로의 탐색을 지속하여 IEEE 802.11 무선랜 시스템의 성능을 높일 수 있게 된다.

5. 실험방법 및 실험결과

5.1 실험방법

시뮬레이션은 IEEE 802.11a 표준에서 제시된 값을 이용하여 실시한다. 제안된 알고리즘이 전송방법에 영향을 받는지 알아보기 위하여 RTS/CTS를 사용하지 않는 IEEE 802.11 basic access 모드와 IEEE 802.11 RTS/CTS access 모드를 실험한다. 또한, 제안된 알고리즘이 데이터 전송률에 영향을 받는지 알아보기 위해 IEEE 802.1a에서 제공되는 다양한 데이터 전송률에 대하여 실험한다. 데이터의 사이즈는 물류 정보시스템 환경을 대상으로 하여 RFID GEN2 환경의 데이터 사이즈인 512bit를 이용하여 RFID 데이터가 전체 트래픽 중 70%를 차지할 경우와 90%를 차지할 경우를 가정하여 실험하도록 한다. RFID의 데이터 외의 부분은 실제 네트워크와 유사한 상황을 가정하기 위하여 [13]에서 측정된 패킷 사이즈의 비율을 랜덤함수를 발생시켜 사용하도록 한다. 제안된 알고리즘을 사용하기 위하여 유전자 돌연변이율이 필요하다. 이는 사전 실험 결과를 이용하도록 한다.

제시한 알고리즘은 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변환하는 알고리즘으로 우선 IEEE 802.11 std의 백오프 알고리즘인 BEB와 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변환하는 알고리즘을 통합하여 실험하고, 아울러 BEB를 개선한 알고리즘 중 가장 우수한 성능을 보이는 EIED와 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변환하는 알고리즘을 통합하여 실험하고자 한다.

5.2 사전실험방법 및 결과

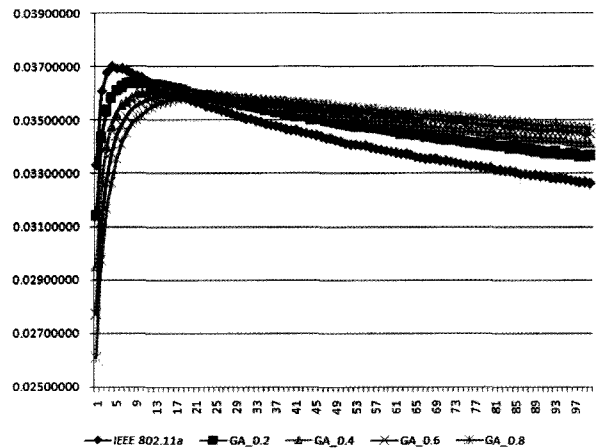
제안된 알고리즘에서 사용할 적절한 돌연변이율을 찾기 위해 다음과 같은 사전실험을 실시한다. 사전실험은 데이터의 크기가 변함에 따라 돌연변이율이 IEEE 802.11 무선랜 성능에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 돌연변이율을 0.2부터 0.8까지 변화시켜가며 실험한다. 실험

은 basic access 모드에서 데이터 전송률이 54Mbps인 경우만을 대상으로 하고 <표 1>과 같이 실험하도록 한다.

<표 1> Preliminary experiment (basic access, data rate 54Mbps)

Exp. #	data size	mutation rate
I	512bit	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
II	2000bit	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
III	5000bit	0.2, 0.4, 0.6, 0.8
IV	variable	0.2, 0.4, 0.6, 0.8

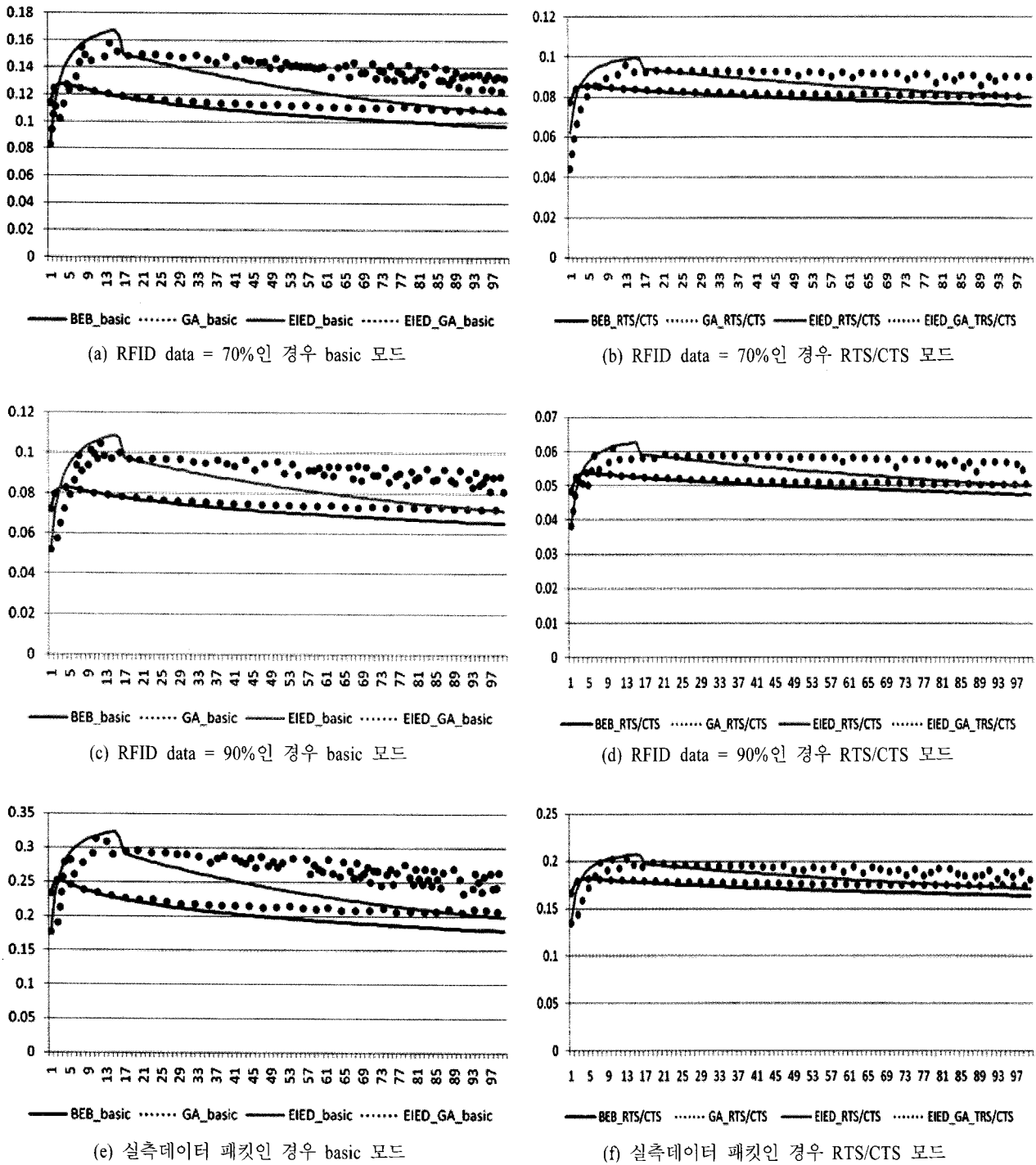
<표 1>의 Exp. I의 실험결과는 <그림 10>과 같이 나타나며, Exp. II, III, IV도 동일한 그래프를 보이고 있다. 실험 결과 단말의 수가 12개 이하일 경우 돌연변이율이 적을수록 throughput이 우수하며 단말의 수가 23개 이상일 경우 돌연변이율이 클수록 throughput이 우수하게 나타나는 것을 알 수 있어 돌연변이율 또한 유전자 알고리즘을 통해 최적 값을 구하도록 설정한다.



<그림 10> Result of experiment I

5.3 시뮬레이션 결과

IEEE 802.11 std의 백오프 알고리즘인 BEB와 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변환하는 알고리즘을 통합하여 실험한 결과와 BEB를 개선한 알고리즘인 EIED와 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변환하는 알고리즘을 통합하여 실험한 결과를 <그림 11>에 나타내었다. 그리고 비교를 위하여 CWmin, CWmax 값을 동적으로 변환하는 알고리즘의 적용 없이 IEEE 802.11 std에서 제시한 고정된 CWmin, CWmax를 사용하여 백오프 알고리즘으로 BEB와 EIED를 사용한 경우의 실험 결과도 <그림 11>에 나타내었다. 실험 결과 RFID 데이터가 전체 패킷의 70%, 90%를 차지하



<그림 11> Simulation Result

는 경우와 [13]에 나타난 실측치를 이용한 경우 백오프 알고리즘(BEB, EIED)과, DCF access 모드(basic, RTS/CTS)에 상관없이 단말의 수가 증가할수록 IEEE 802.11 std의 고정된 CWmin, CWmax를 사용하는 것보다 제안된 알고리즘을 이용하여 동적으로 CWmin, CWmax를 변환하는 것이 throughput 향상을 가져옴을 알 수 있다.

BEB 알고리즘을 이용하는 경우 제안된 알고리즘을

이용하여 CWmin, CWmax를 동적으로 변환할 경우 단말의 수에 상관없이 throughput 향상이 나타남을 알 수 있다. EIED 알고리즘을 이용할 경우 15개 이상의 단말이 있는 경우부터 단말의 개수가 증가할수록 throughput 향상이 나타남을 알 수 있다. 이를 <표 2>에 요약하였다.

또한, 데이터 전송률이 제안된 알고리즘에 영향을 미치는 요소인지 알아보기 위하여 BEB 알고리즘을 이용

<표 2> Summary of simulation results I

packet	access mode	backoff	throughput increase ratio (average, max)
RFID 70%	basic	BEB	5.4%, 13.6%
		EIED	8.7%, 28.7%
	RTS/CTS	BEB	2.7%, 6.7%
		EIED	3.7%, 12.8%
RFID 90%	basic	BEB	4.7%, 12.4%
		EIED	7.8%, 25.9%
	RTS/CTS	BEB	2.7%, 6.8%
		EIED	4.7%, 12.9%
CAIDA [13]	basic	BEB	7.2%, 17.5%
		EIED	11.1%, 33.3%
	RTS/CTS	BEB	3.5%, 7.1%
		EIED	3.1%, 11.1%

하는 경우 데이터 전송률을 변화하며 실험한 결과 제안된 알고리즘을 이용하는 경우 throughput 향상이 있었고 이를 <표 3>에 요약하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 물류 정보시스템에서 IEEE 802.11 무선 랜 시스템의 MAC throughput을 향상시키기 위하여 유전자 알고리즘을 이용한 dynamic contention window 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 CWmin, CWmax를 동적으로 변경하여 최적의 CWmin, CWmax를 찾는 알고리즘으로 데이터의 크기, 백오프 알고리즘, 단말의 수, access 모드, [13]에 제시된 실측된 데이터 비율, 물류 정보시스템을 가정한 RFID 데이터 비율에 상관없이 throughput 향상을 보였다. 단, EIED 알고리즘을 이용하는 경우 단말의 수가 15개부터 단말의 수가 증가할수록 throughput 향상이 나타남을 보였다. 이는 CSMA/CA 기반의 충돌 회피 기법인 백오프를 사용할 경우 단말의 대기시간을 결정하는 contention window 크기를 적절히 제어하면 MAC throughput이 개선된다는 것을 보여주는 것이다.

참고문헌

[1] Bianchi, Giuseppe, IEEE 802.11-Saturation Throughput Analysis, IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, 2 : 318-320, 1998.
 [2] Bianchi, Giuseppe, Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 18 : 535-547, 2000.
 [3] Brignol, Luc and Litzenburger, Manfred, Wireless LAN Technology

<표 3> Summary of simulation results II

data rate	access mode	RFID data ratio	throughput increase ratio (average, max)
6Mbps	basic	70%	13%, 42%
		90%	13%, 42%
	RTS/CTS	70%	3%, 10%
		90%	3%, 10%
9Mbps	basic	70%	10%, 22%
		90%	7%, 17%
	RTS/CTS	70%	3%, 6%
		90%	3%, 7%
12Mbps	basic	70%	9%, 20%
		90%	7%, 16%
	RTS/CTS	70%	3%, 6%
		90%	3%, 7%
18Mbps	basic	70%	8%, 19%
		90%	6%, 14%
	RTS/CTS	70%	3%, 6%
		90%	3%, 7%
24Mbps	basic	70%	7%, 18%
		90%	6%, 14%
	RTS/CTS	70%	3%, 6%
		90%	3%, 6%
36Mbps	basic	70%	6%, 15%
		90%	5%, 11%
	RTS/CTS	70%	3%, 7%
		90%	3%, 7%
48Mbps	basic	70%	6%, 14%
		90%	5%, 11%
	RTS/CTS	70%	3%, 8%
		90%	3%, 7%
54Mbps	basic	70%	6%, 14%
		90%	5%, 12%
	RTS/CTS	70%	3%, 7%
		90%	3%, 7%

and HiperLan/2, Alcatel Telecommunications Review : 205-206, 2001.
 [4] Bharghavan, Vaduvur, Demers, A., Shenker, S., and Zhang, L., MACAW: a media access protol for wireless LANs, Proc. the conference on Communications architectures, protocols and applications : 212-225, 1994, ACM Press.
 [5] Chen, Jenhui and Wu, Wenchiao, Dynamic contention window selection scheme to achieve a theoretical throughput limit in wireless networks : a fuzzy reasoning approach, Proc. Vehicular Technology Conference : 3196-3200, 2004.
 [6] Deng, Jing, Varshney, Pramod, and Haas, Zygmunt, A New Backoff Algorithm for IEEE 802.11 Distributed Coordination Function, Proc. the conference on Communication Networks

- and Distributed Systems Modeling and Simulation, 2004.
- [7] Garg, Sachin, Kappes, Martin and Krishnakumar, A. S.; On the Effect of Contention-Window Sizes in IEEE 802.11b Networks, Avaya Labs Research, 2002.
- [8] Holland, John, Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press, 1992.
- [9] IEEE std 802.11, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, 1999.
- [10] IEEE std 802.11a, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specifications: High Speed Physical Layer in the 5GHz Band, 1999.
- [11] IEEE std 802.11b, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, 2000.
- [12] IEEE std 802.11g, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications : Futher Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz Band, 2003.
- [13] CAIDA (the Cooperative Association for Internet Data Analysis) Internet Homepage, <http://www.caida.org/research/traffic-analysis/fix-west-1998/packetsizes>.
- [14] O'Hara, Bob and Petrick, Al, IEEE 802.11 Handbook : A Designer's Companion, Second Edition, IEEE Press, 2004.
- [15] Song, Nah-Oak, Kwak, Byung-Jae, Song, Jabin, and Miller, Leonard, Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm, Proceedings of IEEE VTC-Spring : 2775-2778, 2003.
- [16] Soni, P. M. and Chockalingam, A., Analysis of link-layer backoff schemes on point-to-point Markov fading links, IEEE Transactions on Communications, 15 : 29-32, 2003.
- [17] Vitsas, V.; Throughput analysis of linear backoff scheme in wireless Lans, Electronics Letters, 39 : 99-100, 2003.
- [18] Wang, Yu and Bensaou, Brahim, Achieving faireness in IEEE 802.11 DFWMAC with variable packet lengths, Proc. IEEE GLOBECOM : 3588-3593, 2001.
- [19] Wang, Chonggang, Li, Bo and Li, Lemin, A new collision resolution mechanism to enhance the performance of IEEE 802.11 DCF, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 53 : 1235-1246, 2004.
- [20] 임영도, 이상부; “퍼지 신경망 유전진화”, 인솔미디어, 1999.
- [21] 진광규; “유전 알고리즘과 그 응용”, 교우사, 2000.