

네트워크 상태에 따른 동적 CSMA 프로토콜

Dynamic CSMA Protocol Based on the Network Status

이 왕 증*
(Wangjong Lee)

이 승 형**
(Seung-Hyong Rhee)

요 약

CSMA(Carrier Sense Multiple Access)는 여러 노드들이 채널을 공유하여 사용하는 경우, 노드들의 접속을 조절해 주는 기술이다. 여러 노드들이 채널을 공유하므로 발생하는 충돌 가능성을 줄이고 성능을 향상시키기 위해 채널의 사용 여부를 확인한다. 본 논문에서는 CSMA의 다양한 persistent 방법 중 네트워크 효율성과 충돌 확률의 문제점을 보완하는 p -persistent 방법을 기반으로 성능향상 방안을 연구하였다. p -persistent 방법이 네트워크 효율성과 충돌 확률의 문제점을 해소할 수는 있지만, 네트워크에 존재하는 노드 수에 따라 전송 확률 p 는 성능에 큰 영향을 준다. 본 논문에서는 네트워크 환경에 따라 노드의 전송 확률을 조절하여 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 충돌 가능성이 적은 경우에는 p 를 증가시켜 데이터의 전송을 늘리고, 충돌 가능성이 많은 경우에는 p 를 감소시켜 충돌을 줄임으로 성능을 향상시킨다. 본 논문에서는 제안한 동적 CSMA 다중접속 방식과 기존의 p -persistent 방법의 성능을 비교·분석한다.

Abstract

CSMA(Carrier Sense Multiple Access) is a media access control protocol when nodes use a shared channel. To reduce the probability of collision and increase the performance, the station first checks the state of the channel. In this paper, we study the performance improvement method based on p -persistent strategy. The p -persistent method reduces the chance of collision and improves the efficiency. However, a probability p and the number of station affect the performance. This paper proposes a dynamic CSMA multiple access based on the network status. If the possibility of collision is low, the station increases the probability p to improve the performance. In the opposite case, the station decreases the probability p . Our simulation results show that the proposed scheme outperforms any methods of CSMA multiple access according to the current persistent strategy.

Key words : Multiple access, CSMA, network status, persistent, collision

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기술 개발사업의 08B3-B2-12T 과제와 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0015).

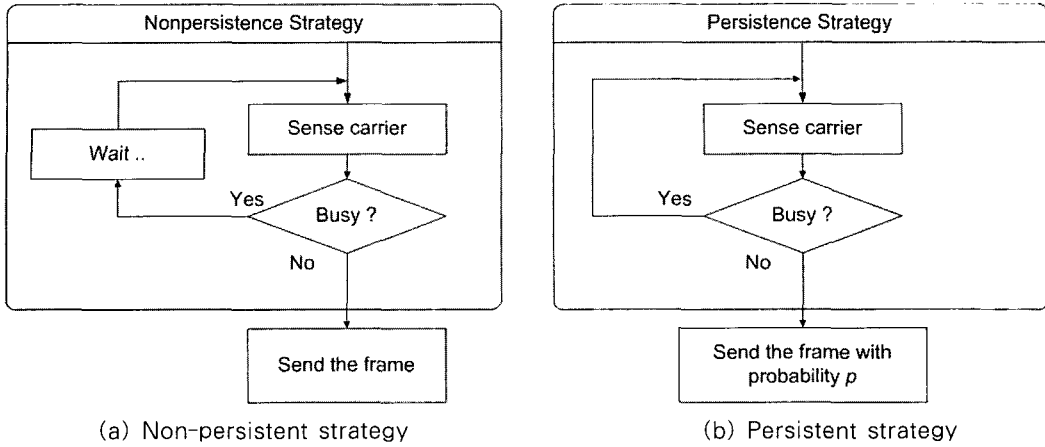
* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정
** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수
† 논문접수일 : 2008년 2월 14일

1. 서론

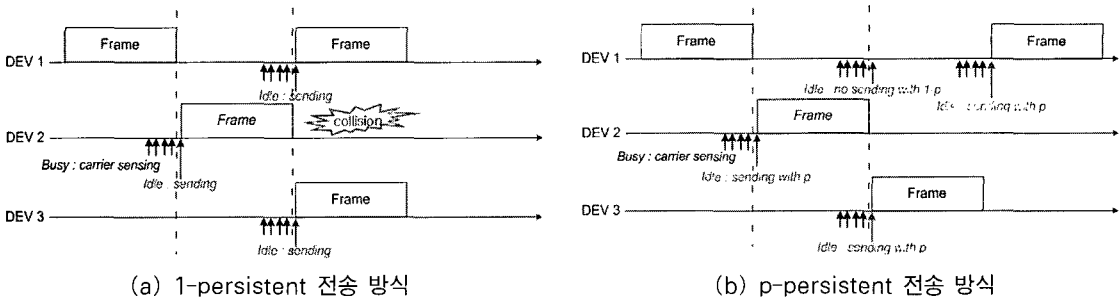
여러 디바이스들이 하나의 채널을 공유하여 사용하는 경우 디바이스들의 채널 접속을 제어할 수 있는 다중접속(Multiple Access) 프로토콜이 필요하다. 1970년대 초에 하와이 대학교에서 개발된 최초의 다중접속 방법인 ALOHA는 기지국이 모든 데이터를 중계하는 방법이다 [1]. 기지국에서 디바이스로는 413 MHz의 반송파로 다운로드를 하고, 디바이스에서 기지국으로는 407 MHz의 반송파로 업로드를 한다. 이 기술은 여러 디바이스가 기지국으로 데이터를 전송하는 경우 잦은 충돌이 발생하게 된다. 충돌을 줄이고 성능을 향상시키기 위한 방법으로 CSMA (Carrier Sensing Multiple Access) 방법이 개발되었다. 이 방법은 디바이스가 데이터를 전송하기 전에 채널의 상태를 감지하는 과정이 추가되었다. 채널 감지 과정을 통하여 채널이 사용되지 않을 경우에만 디바이스가 데이터를 전송하므로 충돌을 감소할 수 있다. 그러나 CSMA 역시 충돌의 가능성을 줄일 수는 있지만, 완전히 제거할 수는 없다. CSMA는 충돌의 가능성은 감소시키지만 충돌이 발생한 이후의 절차에 대해서는 정의되어 있지 않다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 충돌을 감지하고 처리하는 과정(Collision Detection)을 정의한 CSMA/CD와 충돌 가능성을 없애는 충돌 회피 과정(Collision Avoidance)을 정의한 CSMA/CA로 발전하였다. 비록 충돌의 가능성을 제거하지 못하고 충돌 이후의 동작들에 대해서 정의되어 있지 않지만, CSMA를 기반으로 여러 분야에서 다중접속 기술과 흐름제어 기술에 대한 여러 가지 연구가 진행되고 있다[2-4]. 또한 멀티미디어와 같은 실시간 데이터 전송을 보장하기 위한 TDMA 다중접속 방법에 대한 연구가 진행되면서 채널의 효율성이 낮아지는 TDMA의 단점을 보완하기 위한 방안으로 TDMA와 CSMA를 접목시키는 Hybrid MAC 연구와 더불어 CSMA 성능 향상 방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 CSMA 기술의 성능에 큰 영향을

미치는 충돌의 발생을 개선하기 위한 방법을 제안한다. CSMA의 여러 세부 전략을 통하여 네트워크 환경에 따라 성능을 개선할 수 있다. 그러나 무선 환경과 같이 네트워크의 변화가 잦은 통신 환경에서는 네트워크 상태에 따라 각 전략의 성능이 크게 차이가 난다. CSMA 전송 방식 가운데 p -persistent CSMA 방식은 전송 확률 p 를 조절하여 채널 접속을 제어하므로 충돌 가능성을 감소할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 p -persistent 방식을 기반으로 변화가 잦은 네트워크 환경에서 충돌 가능성 감소와 채널 효율성을 향상시키는 방법을 제안한다. 데이터를 전송하고자 하는 디바이스는 이전에 데이터를 전송하기 위해 수행한 채널 감지 구간 정보를 통하여 현재의 네트워크 상태를 예측한다. 이러한 네트워크 상태 정보를 기반으로 네트워크가 혼잡한 경우에는 낮은 전송 확률로 충돌을 방지하고, 네트워크가 혼잡하지 않은 경우에는 높은 전송 확률을 이용하여 채널의 효율성을 높인다. 네트워크 환경에 따라 적합한 전송 확률 p 로 데이터를 전송하므로 충돌을 줄이고 성능과 채널의 효율성을 향상시킨다. 자세한 내용은 3장에서 살펴본다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장 반송파 감지 다중접속(CSMA) 연구에서는 기본적인 CSMA 다중 접속 기술과 p -persistent CSMA와 관련되어 수행되었던 연구에 대해서 기술한다. CSMA의 여러 세부 전략과 각 전략이 네트워크 변화에 따라 어떠한 문제점이 발생하는지에 대하여 살펴보고, 본 논문의 기반이 되는 p -persistent에 대한 관련 연구를 살펴본다. 제3장에서는 본 논문에서 제안하는 네트워크 환경을 고려하는 동적 CSMA 다중접속 방식에 대해 설명한다. 네트워크 환경을 확인하기 위한 절차와 획득한 네트워크 상태 정보를 이용하여 충돌 가능성을 감소시키는 알고리즘을 설명한다. 제4장에서는 ns2 시뮬레이터를 사용하여 다양한 값으로 시뮬레이션을 수행하고, 본 논문에서 제안한 동적 CSMA 다중 접속 기술과 기존의 CSMA 방법을 비교 분석하여 성능 향상을 검증한다.



<그림 1> CSMA 전송 방식
<Fig. 1> CSMA Strategies



<그림 2> Persistent 전송 방식
<Fig. 2> Persistent strategies

II. 반송파 감지 다중접속(CSMA) 연구

1. 반송파 감지 다중접속(CSMA)

CSMA는 전송 전에 디바이스가 채널의 상태를 확인하는 방법을 사용한다. 데이터를 전송하고자 하는 디바이스는 먼저 채널의 사용 유무를 확인한다. 채널이 사용되고 있지 않다면 데이터 전송을 시작한다. CSMA는 채널 감지 방식에 따라 nonpersistent 방식과 persistent 방식으로 구분된다.

Non-persistent 방법은 데이터를 전송하려는 디바이스가 채널이 사용되고 있는 것을 감지하면 임의의 시간 동안 데이터의 전송을 지연한다 [2]. 임의의 시간이 지난 후 디바이스는 다시 데이터 전송을 위해 채널 사용 여부를 감지한다(그림 1(a)). 만약

채널이 사용되고 있다면 데이터를 전송하고자 하는 디바이스들은 서로 다른 임의의 시간 이후에 다시 채널을 감지함으로써 여러 디바이스들이 동시에 채널이 사용되지 않는 것을 감지하여 데이터 전송을 시작할 가능성을 감소시킨다. 그러나 non-persistent 방법은 기존의 데이터 전송이 끝나 채널이 사용되지 않는 경우에도 디바이스가 임의의 시간동안 채널 감지를 수행하지 않기 때문에 네트워크의 효율성이 낮아진다.

persistent 방법은 임의의 시간을 지연하는 non-persistent 방법과는 달리 기존의 데이터 전송이 끝날 때까지 지속적으로 채널 감지를 반복한다(그림 1(b)). 지속적인 채널 감지를 통하여 데이터의 전송이 끝나는 시점에 바로 채널을 점유할 수 있으므로

네트워크의 효율성을 높일 수 있다. 이 방법은 채널이 사용되지 않는 것을 감지한 디바이스가 데이터를 전송하는 방식에 따라 두 가지로 분류된다.

1-persistent 방식은 디바이스가 채널이 사용되지 않고 있을 때 즉시 데이터를 전송하는 방식이다[3, 4]. 이 방식에서는 데이터를 전송하고자 하는 디바이스가 여러 개인 경우, 채널이 사용되지 않음을 감지하자마자 여러 디바이스들이 동시에 데이터 전송을 시작하므로 충돌 발생 가능성이 증가한다 (그림 2(a)). 이와는 달리 p -persistent 방식은 채널이 사용되지 않을 경우, 채널을 감지한 모든 디바이스들이 데이터 전송을 시작하는 것이 아니라 각 디바이스에 주어진 p 의 확률로 전송 여부를 결정한다. 전송 확률 p 로 전송이 이루어지므로 여러 디바이스들이 동시에 데이터를 전송하여 발생하는 충돌 가능성이 줄어든다 (그림 2(b)).

충돌 가능성을 줄이기 위한 p -persistent 방법은 전송 확률 p 에 따라 네트워크의 성능이 달라진다. 동일한 네트워크 상태에서도 p 에 따라 성능의 차이를 보인다. 데이터를 전송하려는 디바이스가 많은 네트워크에서는 전송 확률을 낮추어 충돌 가능성을 감소하는 경우 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 네트워크에 데이터를 전송하고자 하는 디바이스가 적은 경우, 낮은 전송 확률은 잦은 전송 포기로 오히려 원활한 데이터 전송을 방해하고 성능의 저하를

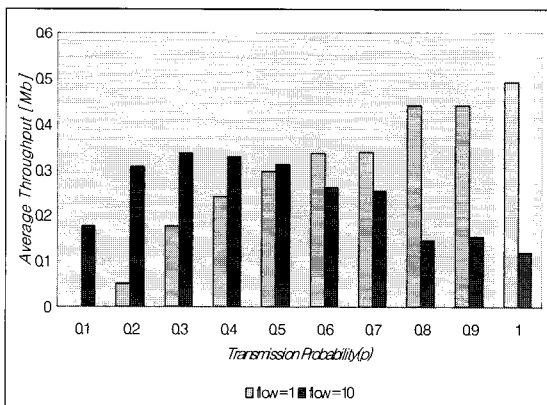
가져오게 된다. 그러므로 네트워크의 성능 개선을 위해서는 네트워크의 상태에 따라 적절한 전송 확률 p 의 값이 주어져야 한다. 그러나 기존의 CSMA 기술의 경우 이러한 네트워크의 상태를 고려하지 않고 p 의 값이 결정되었다. 이로 인해 동적으로 변화하는 네트워크 환경에서는 적합한 CSMA 방법을 적용하지 못하므로 오히려 성능의 저하를 가져올 수 있다(그림 3).

2. p -persistent CSMA 성능 향상 연구

p -persistent CSMA를 이용한 기술 향상을 위한 다양한 분석과 연구 진행되어 왔다. 홈 제어 네트워크의 표준 프로토콜 중 하나인 LonTalk 프로토콜은 p -persistent CSMA를 기반으로 채널 접속 지연을 최소화하기 위한 predictive p -persistent CSMA를 MAC 알고리즘을 사용한다[5]. 기본적으로 CSMA와 유사하게 predictive p -persistent CSMA도 전송 전에 채널을 확인한다. Beta1 기간 동안 전송이 발생하지 않으면 채널이 사용되지 않는 것으로 간주하고 임의의 지연을 가진 후 패킷을 전송한다. 이 알고리즘은 예상되는 채널 부하의 사전 지식을 이용해서 각 노드의 채널 접속 권한을 랜덤화시키는 기술이다.

LonTalk 프로토콜에서 디바이스는 Randomizing Slot라고 불리는 최소 16개의 다른 레벨을 가지는 지연을 생성한다. 그러므로 사용되지 않는 채널에서 평균 지연은 8개의 슬롯 폭을 가진다. 네트워크가 사용되지 않는 상태면 모든 노드는 단지 16 슬롯만을 랜덤화시키지만 추정된 네트워크 부하가 증가하면 노드는 더 많은 수의 슬롯을 랜덤화한다. 이처럼 능동적으로 매체 접속을 조절함으로써 LonTalk 프로토콜은 적은 부하에서는 적은 수의 Randomizing Slot를 가지고 과부하에서는 많은 Randomizing Slot를 가진다. 따라서 적은 부하에서는 매체 접속 지연이 최소화되고 과부하에서는 충돌이 최소화되어 네트워크의 성능이 향상된다.

멀티미디어 서비스를 위한 IEEE 802.11e WLAN의 성능 개선을 위한 방법으로 adaptive p -persistent (APP) MAC scheme이 연구되었다[6]. Adaptive p -persis-



<그림 3> 전송 확률에 따른 성능 변화 (flow =1, flow=10)
 <Fig. 3> Throughput with the transmission probability (flow =1, flow=10)

tent (APP) MAC scheme은 접속 종류와 대기 지연시간에 따라 전송확률을 다르게 부여하는 방법이다. Backoff 카운터가 0이 되면 APP MAC을 가진 디바이스는 p 의 확률로 전송을 시작하거나 $1-p$ 의 확률로 backoff 과정을 다시 수행한다. 전송 확률 p 는 재전송 횟수(RT)와 re-backoff 횟수(RB)를 가지고 파악한 패킷 전송상태에 따라 변경된다. RB는 re-backoff를 수행할 때마다 RBmax가 될 때까지 1씩 증가한다. RT의 값은 충돌이 발생하여 재전송이 이루어질 때마다 BSmax에 도달할 때까지 1씩 증가하고 RB의 값은 0으로 초기화된다. 만약 패킷이 성공적으로 전송되는 경우에는 RB와 RT의 값은 모두 0으로 초기화된다. 이를 통하여 동일한 RT의 값을 가지는 경우 더 큰 RB를 가지고 있는 디바이스가 더 큰 전송확률 p 를 가지게 된다. 또한 RT가 서로 다를 경우에는 더 작은 RT를 가진 디바이스에 더 작은 전송 확률 p 를 부여한다. RB와 RT가 큰 값을 가지는 디바이스에게 더 높은 전송 확률 p 를 설정하므로 전송 가능성을 높이므로 전송 지연의 변화를 감소시킨다. 이를 통하여 APP는 충돌의 가능성과 전송 지연을 감소시켜 성능을 개선한다.

무선 네트워크 환경에서 multiuser diversity를 통한 성능 향상을 위해 opportunistic p-persistent CSMA가 제안되었다[7]. p-persistent CSMA는 채널이 사용되지 않는 것을 감지하면 각 디바이스는 각 슬롯의 시작부분에서 평균 p 를 가지는 Bernoulli random variable을 생성한다. 랜덤 변수가 1이 되었을 경우에 디바이스는 채널에 액세스한다. p 의 확률을 조절하여 데이터의 충돌 확률을 조절할 수 있기 때문에, p-persistent CSMA는 채널에 액세스할 때, 채널의 상태 정보를 고려하지 않는다. OpCSMA는 모든 디바이스가 그들의 채널 상태 정보(CSI)를 기반으로 채널 이득과 한계값을 비교하여 채널 접속 시도 여부를 결정한다. 전송할 패킷을 가지고 있는 디바이스는 채널이득이 한계값을 넘을 경우, 빈 슬롯에서 데이터 전송을 시도한다. 데이터를 전송하고자 하는 디바이스가 빈 슬롯에서 채널에 접속하는 것을 실패하였다면, 이후에 한계값을 초과하는 이득을 얻게 되는 빈 슬롯에서 데이터 전송을

시도한다. 이러한 과정을 통하여 multiuser diversity를 통한 전송 성능 개선이 가능하지만 많은 디바이스의 채널 접속 시도로 인하여 발생했던 충돌 문제를 해결하고 기존의 p-persistent CSMA보다 향상된 성능을 얻을 수 있다. 이외에도 p-persistent CSMA의 성능 향상을 위해 p-persistent의 성능과 에너지 효율성에 대한 연구와 LonTalk를 기반으로 한 predictive p-persistent CSMA에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[8-10].

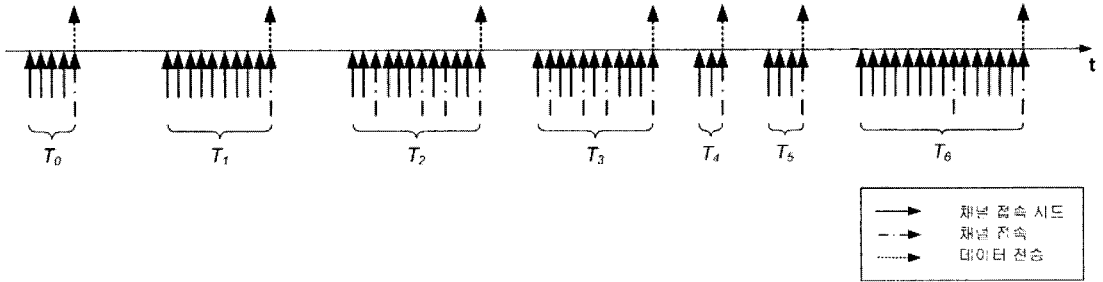
이외에도 다양한 네트워크 환경에서 충돌 가능성을 최소화하기 위해 round-robin과 같은 스케줄링 방법을 이용한 알고리즘들이 제안되고 있다[11-13]. 또한 interruption을 이용한 성능 향상과 다양한 네트워크의 특성을 고려한 성능 향상 방안이 지속적으로 연구되고 있다[14-18].

III. 동적 CSMA 다중접속 방식

동적 CSMA 다중접속 방식은 p-persistent 방법을 기반으로 네트워크 혼잡도에 따라 전송확률 p 의 값을 변화시켜 기존의 CSMA 다중접속 방식에서 발생하는 네트워크 성능과 효율성 저하에 대한 문제점을 개선하는 방법이다. 본 논문에서는 네트워크의 상태를 파악하는 알고리즘과 파악된 네트워크 상태 정보에 따라 전송 확률 p 를 변화시키는 알고리즘을 제안한다.

1. 네트워크 상태 파악

동적 CSMA 다중접속 방식은 네트워크의 환경에 따라 전송 확률 p 를 동적으로 변화시킨다. 네트워크 상태에 적합한 전송 확률 p 를 결정하기 위해 디바이스는 동적으로 변화하는 네트워크의 전송환경을 파악해야 한다. CSMA에서 디바이스는 데이터를 전송하기 이전에 채널 감지를 수행한다. 본 논문에서는 데이터를 보내고자 하는 디바이스가 이전에 데이터를 전송하기 위해 수행했던 채널 감지 횟수와 채널 접속에 성공한 횟수를 이용하여 네트워크



<그림 4> 데이터 전송을 위한 채널 감지
 <Fig. 4> Carrier sensing before data transmission

상태를 예측한다. 네트워크에서 데이터를 전송하는 디바이스가 많이 존재하는 경우 여러 디바이스들이 채널에 접속하기 위해 경쟁하므로 채널에 접속할 수 있는 가능성이 낮아진다. 이와 반대로 네트워크에 데이터를 전송하고자하는 디바이스가 적은 경우에는 채널에 접속하기 위해 경쟁을 벌이는 디바이스의 수가 감소하므로 채널에 접속할 확률이 높아지게 된다. 이러한 과정을 기반으로 디바이스가 하나의 데이터를 전송하기 위한 과정에서 채널에 접속했던 횟수와 채널 감지를 시도한 횟수의 비율을 구한다(1).

$$R = \frac{N_{access}}{N_{sensing}} \quad (1)$$

(1)에서 N_{access} 는 채널 감지 구간에서 채널에 접속한 횟수를 의미한다. $N_{sensing}$ 은 데이터를 전송하기 위해 채널 감지를 시도한 횟수를 나타낸다. 데이터를 전송하기 위해 채널을 감지하는 구간의 길이나 채널 감지 횟수만으로는 네트워크의 상태를 파악할 수 없다. 네트워크에 존재하는 디바이스의 수가 많지 않더라도 전송 확률 p 에 의해 데이터 전송을 위한 채널 감지 구간이 길어질 수 있다. 디바이스가

낮은 전송 확률 p 를 사용하는 경우 빈 채널을 감지하더라도 데이터 전송을 포기하는 경우가 자주 발생한다. 그러므로 데이터를 전송까지 채널 감지 구간 동안 $1-p$ 의 전송 확률로 데이터를 전송을 포기하지만 채널에 접속했던 횟수를 고려해야 한다(그림 4, 표 1).

(그림 4)는 각 구간에서 데이터를 전송하기 위한 채널 감지 동작을 보여준다. (표 1)은 (1)을 통하여 각 구간에서의 채널 접속 성공 비율을 나타낸다. 비록 T_2 의 구간이 가장 긴 채널 감지 구간을 가지지만 높은 채널 접속 성공 비율을 보인다. 전송 확률 p 가 낮아 채널에 접속하더라도 데이터를 전송하지 않는 경우로 인해 채널 감지 구간이 길지만 낮은 채널 접속을 통하여 네트워크에 존재하는 디바이스가 많지 않음을 예측할 수 있다.

채널 접속 성공 비율을 통하여 네트워크의 상태를 결정하기 위해서는 경계값이 필요하다. 경계값은 네트워크 상태를 고려하는 동적 CSMA 다중접속 알고리즘에서 전송 확률 p 의 결정에 영향을 준다. 경계값을 지나치게 크게 설정하는 경우에는 네트워크 혼잡도가 낮은 경우에도 혼잡한 네트워크로 판단하게 되어 채널의 효율성이 감소한다. 경계값은 네트워크에 존재하는 디바이스의 수에 영향을

<표 1> 각 구간에서의 채널 접속 비율
 (Table 1) Channel access rate during each duration

구간	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
채널 접속 시도	5	10	12	11	3	4	15
채널 접속 성공	1	1	4	4	1	1	2
채널 접속 성공 비율 (R)	0.2	0.1	0.33	0.36	0.33	0.25	0.13

받는다. 그러므로 네트워크에 존재하는 모든 디바이스가 공평하게 한 번씩 채널에 접근할 수 있는 비율을 기준으로 경계값으로 설정하여 변화가 잦은 네트워크의 상태를 다음 식 (2)를 통해 예측한다.

$$R_{status} = \frac{1}{N_{device}} \quad (2)$$

- R_{status} : 네트워크 상태 변화를 위한 경계값
- N_{device} : 네트워크에 존재할 수 있는 디바이스의 수

데이터를 전송하고자 하는 디바이스는 이전 데이터 전송 시의 채널 접속 성공 비율과 경계값을 기준으로 데이터 전송 환경의 변화를 다음 식(3)을 통해 예측한다. 이 전의 채널 접속 환경이 경계값보다 크거나 같을 경우 네트워크의 혼잡도가 낮고, 반대의 경우는 많은 디바이스가 채널 접속을 시도하는 혼잡한 네트워크 상태라는 것을 파악한다.

$$R_{status} \begin{cases} \leq R_{k-1} & : \text{few devices} \\ > R_{k-1} & : \text{more devices} \end{cases} \quad (3)$$

- R_{k-1} : 이전 데이터 전송 시의 채널 접속 성공 비율

2. 충돌 감소 알고리즘

동적 CSMA 다중접속 알고리즘에서 송신 디바이스는 네트워크 상태 파악 알고리즘을 통하여 파악된 네트워크 상태를 기준으로 자신의 전송 확률 p 를 결정한다. 네트워크 상태에 따라 전송 확률 p 를 변화하여 성능과 채널 효율성을 높인다. 본 논문에서는 네트워크를 크게 두 가지의 상태로 분류한다. 그리고 각 상태에서 기준이 되는 전송 확률은 다음 식 (4)에 나타난 p_h 와 p_l 로 설정한다.

$$p = \begin{cases} p_h & (0.5 \leq p_h < 1) \\ p_l & (0 < p_l < 0.5) \end{cases} \quad (4)$$

- p_h : 네트워크가 혼잡하지 않은 상태($R_{status} \leq$

R)에 들어갈 때의 초기 전송확률

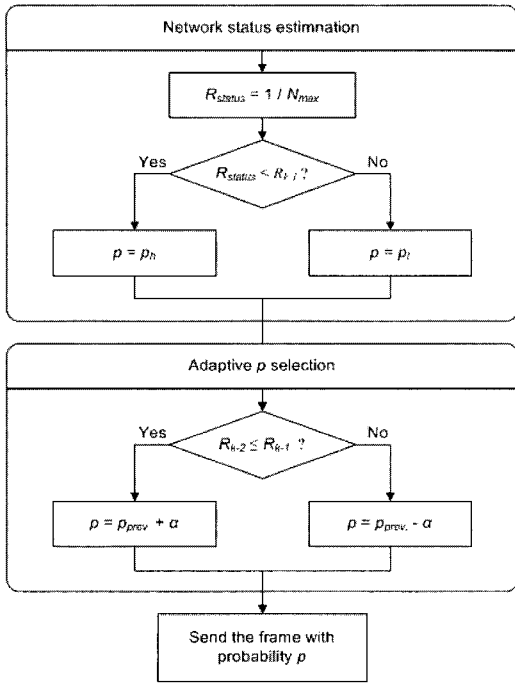
- p_l : 네트워크가 혼잡 상태($R_{status} > R$)에 들어갈 때의 초기 전송확률

처음으로 데이터를 전송하고자 하는 디바이스는 전송 확률 p 를 p_h 로 설정한다. 네트워크 상태 파악 과정을 통하여 네트워크의 상태 변화가 감지되면 전송 확률을 식 (4)를 통하여 초기화한다. p_h 와 p_l 의 전송 확률은 주어진 범위 내에서 임의의 전송 확률로 설정한다. 디바이스는 이전 전송 상태를 지속적으로 모니터링 하면서 최적의 전송 확률 p 를 파악한다. k 번째 데이터를 전송하고자 하는 디바이스는 $k-2$ 번째와 $k-1$ 번째 채널 접속 비율의 비교를 통해 지속적으로 변화된 네트워크 상태에 적합한 전송 확률을 다음 식 (5)를 통해 파악한다.

$$p = \begin{cases} p_{prev.} + \alpha & (R_{k-2} \leq R_{k-1}) \\ p_{prev.} - \alpha & (R_{k-2} > R_{k-1}) \end{cases} \quad (5)$$

(5)에서 $p_{prev.}$ 는 $k-1$ 번째의 전송 확률을 나타낸다. 전송 확률 증감 값 α 는 최적 전송 확률의 세밀도와 결정 시간에 영향을 준다. 작은 α 는 전송 확률을 세밀하게 설정하여 네트워크 변화에 민감하게 대처할 수 있지만, 최적 전송 확률 p 를 결정하기까지 많은 시간이 소요된다.

동적 CSMA 다중접속 방식은 네트워크 상태를 파악하는 알고리즘과 주어진 네트워크 상태 정보를 기반으로 최적의 전송 확률을 설정하는 알고리즘으로 이루어져 있다(그림 5). 동적 CSMA 알고리즘에서 네트워크를 두 가지 상태로 판단하고, 네트워크 상황에 따라 서로 다른 전송 확률로 초기화시키는 과정은 최적의 전송 확률을 찾는 시간을 단축한다. 이전의 네트워크 상태 정보를 기반으로 해서 α 의 증감으로 최적의 전송 확률을 찾지만, 네트워크에 급격한 상태 변화가 발생한 경우 α 의 증감으로는 최적의 전송 확률을 찾기 위해서는 여러 번의 전송 과정을 거쳐야 한다. 이 구간동안 네트워크의 성능은 심각하게 저하된다. 네트워크 상태를 두 가지로 분류하는 경우 급격한 네트워크 변화에 대해서는 전송 확률을 주어진 두 개의 초기화 전송 확률로



<그림 5> 동적 CSMA 다중 접속 방식
<Fig. 5> Dynamic CSMA multiple access

초기화하여 증감 과정을 감소함으로써 전송 확률 안정화 시간을 단축할 수 있다.

III. 시뮬레이션

본 장에서는 시뮬레이션 결과를 토대로 본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존의 p -persistent 방법의 성능을 비교한다. 논문에서 제안한 동적 CSMA 다중 접속 방법에서 네트워크 상태에 따라 설정되는 두 개의 초기화 전송 확률에 대해서 기존의 p -persistent CSMA 방식의 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 본 논문에서 제안한 동적 CSMA 다중 접속 방식의 시뮬레이션 결과와 성능의 비교하였다.

1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 ns2 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다[19, 20]. 시뮬레이션 환경에서 사용되는 변수들을 (표2)와 같이 설정하였다. 네트워크 환경은 2, 20, 40개의 디바이스가 point-to-point

방식으로 쌍을 이루어 데이터를 전송하는 상태를 고려하였다. 각 네트워크 상태에서 3장에서 언급한 바와 같이 네트워크 상태에 따른 초기 전송 확률 p_h 와 p_l 를 기준으로 0.1의 간격으로 전송 확률을 증감시키는 시뮬레이션을 수행하였다. 동적 CSMA 다중 접속 방식에 사용되는 초기의 전송 확률은 p_h 로 설정하였다. 네트워크 환경을 파악하기 위한 경계값으로는 0.5, 0.05, 0.025로 설정하였다. 그리고 예러가 없는 전송 환경을 가정하였다.

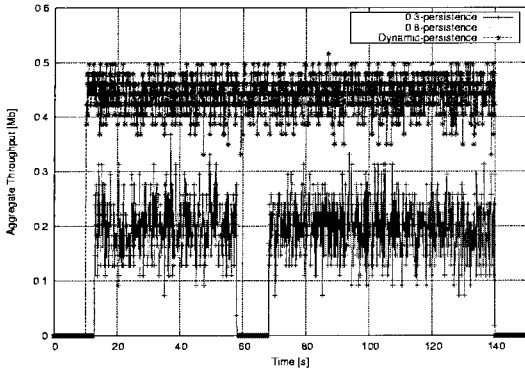
2. 시뮬레이션 결과

네트워크에 1개의 트래픽만이 존재하여 다른 디바이스로 인해 충돌이 발생하지 않는 네트워크 상태에서는 채널의 사용도가 낮으므로 높은 전송 확률로 데이터를 전송하는 경우에 우수한 성능을 보인다. 동적 CSMA 다중접속 방식은 이전 데이터 전송을 위한 채널 접속 구간 정보를 통하여 네트워크 환경이 우수하다고 판단한다. 그러므로 이전 전송 환경 정보를 바탕으로 p_h 를 초기 전송 확률로 설정하고 전송 확률을 변화시키며 데이터를 전송한다. 이 결과는 높은 전송 확률(p_h)로 데이터를 전송하는 기존의 p -persistent 방법과 유사한 성능을 보인다. 이에 반하여 낮은 전송 확률(p_l)로 전송하는 경우는 디바이스의 채널 사용빈도가 낮고 충돌 가능성이 없음에도 불구하고 잦은 전송 포기로 인하여 성능이 저하된다(그림 6).

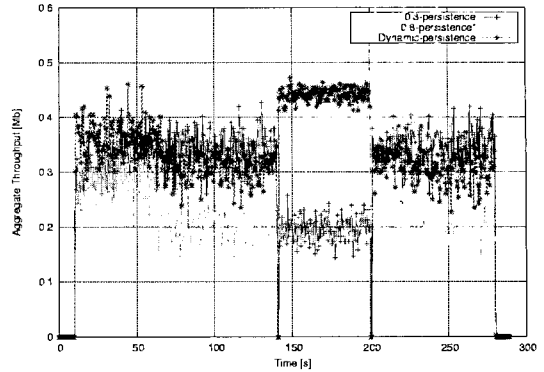
10개의 트래픽이 존재하는 네트워크에서는 여러 디바이스들이 채널 감지를 수행하면서 동시에 데이

<표 2> 시뮬레이션 환경
<Table 2> Simulation environment

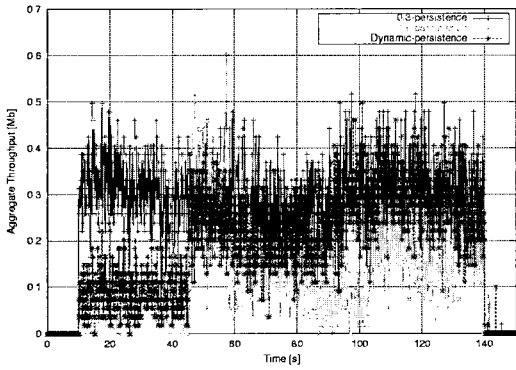
Attribute	Value
Number of nodes	2 / 20
Number of flows	1 / 10
Simulation time	150s / 300s
Carrier sensing duration	100 μ s
Initial transmission probability	0.8
Reference transmission probability (p)	p _l = 0.3 / p _h = 0.8
probability unit (α)	0.1
Threshold of the status changing (Rstatus)	0.5 / 0.05 / 0.025



〈그림 6〉 트래픽이 1개인 네트워크에서의 성능
 <Fig. 6> Network throughput at 1 flow



〈그림 8〉 동적 네트워크에서의 성능
 <Fig. 8> Network throughput at dynamic status



〈그림 7〉 트래픽이 10개인 네트워크에서의 성능
 <Fig. 7> Network throughput at 10 flows

터를 전송하는 충돌 가능성이 높아진다. 동적 CSMA 다중접속의 방식은 초기에 높은 전송 확률(p_h)로 전송을 시작한다. 따라서 초기에는 높은 전송 확률($p=0.8$)로 데이터를 전송하는 기존의 p -persistent 방법과 유사하게 낮은 성능을 보인다. 그러나 데이터 전송이 진행되면서 네트워크 상태 파악 알고리즘을 통하여 네트워크 환경이 좋지 않은 것을 파악하면서 낮은 전송 확률(p)로 변화하여 데이터를 전송하기 시작한다. 전송이 지속되면 전송 확률 증감 과정을 통하여 네트워크 상태에 적합한 전송 확률로 데이터 전송이 이루어진다(그림 7).

네트워크의 트래픽이 시간에 따라 동적으로 변화하는 환경에서 세 가지 다중 접속 방식의 성능 변화를 비교하였다. 10개의 트래픽이 존재하던 네트워크는 140초~200초 사이에 트래픽이 1개로 감

소하였다가 200초 이후에는 다시 10개의 트래픽이 존재하는 이전의 네트워크 상태로 변화한다. 이 시뮬레이션은 네트워크 상태에 따라 유동적으로 변화하는 동적 CSMA 다중접속 방식의 동작을 잘 보여준다. 고정된 전송 확률을 적용하는 기존의 p -persistent 방법은 네트워크 환경의 변화에 따라 성능이 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 네트워크가 혼잡하지 않은 경우에는 채널 낭비로 인해 낮은 전송 확률($p=0.3$)을 이용하는 p -persistent 방법의 성능이 현저하게 낮아진다. 이와 반대로 혼잡한 네트워크 환경에서는 잦은 충돌로 인하여 높은 전송 확률($p=0.8$)을 이용하는 p -persistent 방법의 성능이 현저하게 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 동적 CSMA 다중접속 방식은 네트워크 환경의 변화에 따라 동적으로 전송 확률을 적용시키므로, 네트워크 환경을 파악하는데 소요되는 시간동안에는 낮은 성능을 나타내지만, 네트워크 상태가 파악된 이후에는 네트워크 상태에 적합한 전송 확률 p 를 이용하여 p -persistent 방법을 수행하므로 안정적이고 우수한 성능을 유지할 수 있다(그림 8).

V. 결 론

본 논문에서는 CSMA 기술의 성능에 큰 영향을 미치는 충돌의 발생을 개선하기 위한 방법을 제안하였다. CSMA의 여러 세부 전략을 통하여 네트워크 환경에 따라 성능을 개선할 수 있다. 그러나 변화가

잡은 통신 환경에서는 네트워크 상태에 따라 각 전략의 성능이 크게 차이가 난다. 네트워크 상태의 변화를 고려하여 전송 방식을 변화시키는 경우에 충돌의 발생으로 인한 성능 저하를 개선할 수 있다.

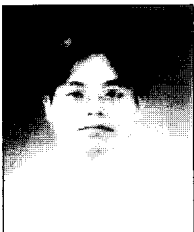
이와 같이 동적 네트워크 상태에서는 충돌 가능성과 채널 효율성을 개선함으로써 변화하는 네트워크 상태에서 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 디바이스가 자신의 네트워크 환경의 변화를 인지하기 위한 알고리즘과 네트워크의 변화에 따라 전송 확률 p 를 동적으로 변화시키는 p -persistent 방식으로 충돌 가능성 감소와 채널 효율성을 향상시켰다. 무선 네트워크 환경과 같이 잡은 네트워크의 변화가 일어나는 환경에서 동적 CSMA 다중접속 방식은 데이터를 전송하고자 하는 디바이스의 수에 따라 전송 확률을 변화하여 충돌을 방지한다. 불필요한 충돌의 감소는 원활한 데이터 전송이 이루어지도록 하여 성능의 개선을 가져온다. 네트워크 상태가 변화하는 환경에서 동적 CSMA 다중접속 방식은 기존의 persistent 방법들과 비교하여 안정적이고 개선된 성능을 나타낸다. 본 논문에서는 네트워크의 변화에 따라 큰 성능의 차이를 보이는 기존의 CSMA를 개선하여 보다 안정적인 성능을 보일 수 있는 방향을 제시하였다.

참고문헌

- [1] N. Abramson, "The Aloha system - another alternative for computer communication," *Proc. AFIPS*, pp. 295 - 298, Apr. 1970.
- [2] S. G. Glisic, R. Rao, and L. B. Milstein, "The effect of imperfect carrier sensing on nonpersistent carrier sense multiple access," *Proc. IEEE ICC*, vol. 39, pp. 1266-1299, Apr. 1990.
- [3] S. G. Glisic, "1-persistent carrier sense multiple access in radio channels with imperfect carrier sensing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, pp. 458-464, Mar. 1991.
- [4] I. Ramachandran and S. Roy, "Analysis of throughput and energy efficiency of p-persistent CSMA with imperfect carrier sensing," *Proc. IEEE Globecom*, pp. 3428-3432, Dec. 2005.
- [5] *LonTalk protocol specification*, version 3.0, Echelon Corporation, 1995.
- [6] C. H. Yen, C. J. Chang, and Y. S. Chen, "An adaptive p-persistent MAC scheme for multimedia WLAN," *IEEE Comm. Lett.*, vol. 10, no 11, pp. 737-739, Nov. 2006.
- [7] C. S. Hwang, K. Seong, and J. M. Cioffi, "Opportunistic p-persistent CSMA in wireless networks," *Proc. IEEE Int. Conf. Communications*, vol. 1, pp. 183-188, June 2006.
- [8] M. Miskowicz, M. Sapor, M. Zych, and W. Latawiec, "Performance analysis of predictive p-persistent CSMA protocol for control networks," *Proc. 4th IEEE Int. Workshop Factory Comm. Sys.*, pp. 249-256, Aug. 2002.
- [9] J. Vinyes, E. Vazquez, and T. Miguel, "Throughput analysis of p-CSMA based LonTalk protocols for building management systems," *Proc. Mediterranean Electrotechnical Conf.*, vol. 3, pp. 1741-1744, May 1996.
- [10] R. Bruno, M. Conti, and E. Gregori, "Optimization of efficiency and energy consumption in p-persistent CSMA-based wireless LANs," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 1, no. 6, pp. 10-31, Jan. 2002.
- [11] Y. C. Tay, K. Jamieson, and H. Balakrishnan, "Collision-minimizing CSMA and its applications to wireless sensor networks," *IEEE J. Selected Areas in Communications*, vol. 22, no. 6, pp. 1048-1057, Aug. 2004.
- [12] Y. J. Chen and H. L. Wang, "Ordered CSMA: a collision-free MAC protocol for underwater acoustic networks," *Proc. IEEE/MTS Oceans*, pp. 1-6, Oct. 2007.
- [13] C. Salati, "An analysis of collisions in 1-persistent CSMA and a simple yet effective method to reduce them," *Proc. 3rd IEE Conf. Telecommunications*, pp. 240-244, Mar. 1991.
- [14] C. H. Foh and M. Zukerman, "CSMA with reservations by interruptions (CSMA/RI): a novel approach to reduce collisions in CSMA/CD,"

- IEEE J. Selected Areas in Communications*, vol. 18, pp. 1572-1850, Sept. 2000.
- [15] H. B. Guo and G. S. Kuo, "CSMA with priority reservation by interruptions for efficiency improvement and QoS support," *Proc. Consumer Communications and Networking Conf.*, pp. 456 - 460, Jan. 2005.
- [16] C. H. Foh and M. Zukerman, "Improving the efficiency of CSMA using reservations by interruptions," *Proc. IEEE Int. Conf. Communications*, vol. 1, pp. 144 - 148, June 2000.
- [17] K. C. Huang and K. C. Chen, "Interference analysis of nonpersistent CSMA with hidden terminals in multicell wireless data networks," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 27-29, Sept. 1995.
- [18] L. Jereb and M. A. Marsan, "Transient performance analysis of 1-persistent CSMA and CSMA-CD protocols," *INFOCOM '90*, pp. 246-252, June 1990.
- [19] The CMU Monarch Project, *Wireless and mobile extension to ns, Snapshot Release 1.1.1*, Carnegie Mellon University, Aug. 1999.
- [20] C. Xiaoming and G. S. Hong, "A simulation study of the predictive p-persistent CSMA protocol," *Proc. Simulation Symp.*, pp. 345-351, Apr. 2002.

저자소개



이 왕 종 (Lee, Waongjong)

2005년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정
 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사
 1996년 3월 ~ 2003년 2월 : 광운대학교 전자공학부 졸업



이 승 형 (Rhee, Seung-Hyong)

2000년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
 2002년 ~ 현재 : 국가정보원/국방연구원 기술자문
 1996년 1월 ~ 1999년 5월 : Univ. of Texas at Austin 공학박사
 1984년 3월 ~ 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
 1988년 9월 ~ 1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과 석사