IR-UWB 통신 기반의 이기적 재전송 프로토콜

(Selfish Retransmission Scheme in IR-UWB System)

강 지 명 † 박 영 진 †† 이 순 우 †† 김 용 화 †† 김 관 호 ††
(Jimyung Kang) (Youngjin Park) (Soonwoo Lee) (Yonghwa Kim) (Kwanho Kim)

요 약 본 논문에서는 IR-UWB(Impulse Radio Ultra Wide Band) 통신에서 패킷 전송이 실패하였을 경우에 그 원인을 알아보고 이에 맞는 최선의 재전송 프로토콜을 제안한다. 최근 많이 연구되고 있는 IR-UWB 통신에서는 시간 호핑이라는 기능을 사용하면 동시에 여러 사용자가 패킷을 충돌 없이 전송할 수 있는 특징이 있다. 제안하는 이기적 재전송 프로토콜은 패킷 전송 실패를 탐지한 후 타임아웃이나 채널 탐색 없이 이기적으로 재전송을 수행하며, 채널을 효율적으로 사용하여 전체처리율을 50%까지 높이고 재전송시의 패킷 지연 시간을 70%까지 줄이는 효과가 있음을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

키워드 : 초광대역 임펄스 통신, 자동 재전송, 시간 호핑

Abstract In this paper, we focus on the retransmission following transmission failure in impulse radio ultra wideband (IR-UWB). The reasons of transmission failure are classified and a new 'selfish' retransmission protocol is proposed because time hopping can support multiple transmissions at the same time. Selfish retransmission protocol retransmits packets immediately without any kind of timeout or channel observation. Simulation results show that the proposed protocol improves throughput up to 50% and decreases retransmission delay also up to 70%, compared to a conventional retransmission system in IR-UWB.

Key words : IR-UWB, ARQ, Retransmission, Time Hopping

1. 서 론

현재까지의 무선 통신은 통신거리, 통신 속도, 응용분야가 다양함에도 불구하고 협대역의 주파수 영역을 사용하고 데이터 신호를 캐리어 주파수에 실어서 보내는 방식을 주로 사용하였다. 근래에 들어서는 협대역의 캐리어주파수를 사용하는 방식이외에, 500MHz 이상의 초광대역을 사용하여 캐리어 주파수 없이 바로 통신을 진행하는 초광대역(Ultra Wide Band) 통신 방식이 새로운 기술로 연구되고 있다. 특히 미국 FCC[1]에서 초광대역을 사용하는 통신을 허용한 뒤 초광대역 통신에 대한 연구는 더욱더 박차를 가하고 있다. 초광대역 통신은 크게 저속과 고속으로 나눌 수 있다. 저속 기술인 IR-UWB(Impulse Radio-Ultra Wide Band) 기술은 넓은 주파수 대역을 사용하는 나노초(Nano Second) 이내의 짧은 펄스를 사용하여서, 이 펄스를 통해 데이터를 전송한다. 아주 짧은 펄스를 사용하여 베이스밴드 통신을 하기 때문에 기존의 캐리어 주파수를 사용하는 통신에 비해 수십배 저전력으로 통신할 수 있으며 짧은 펄스의 특징 때문에 시간 도착 정보(Time of Arrival)를 이용하여 정확한 위치 확인이 가능하다. 그러므로 센서 네트워크와 태그(Tag) 위치 정보 파악 등에 널리 사용될 것으로 예상된다[2,3]. 현재 이 방식은 IEEE 802.15.4a[4] 표준에서 개인네트워크의 표준 기술 방식으로 채택되었다. 반면 고속 기술로는 MB-OFDM UWB를 들 수 있으며 수 Gbps통신이 가능한 근거리

† 정 회 원 : 한국전기연구원 전기정보망연구그룹
jmkang@keri.re.kr
†† 비 회 원 : 한국전기연구원 전기정보망연구그룹
yjpark@keri.re.kr
rheesw@keri.re.kr
yongkim@keri.re.kr
khkim@keri.re.kr
논문접수 : 2008년 5월 14일
심사완료 : 2009년 6월 21일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제5호(2009.10)

통신 기술로, PC 주변기기와 이동식 메모리 등을 모두 무선으로 연결할 수 있을 것으로 생각된다[5].

본 논문에서는 기존의 통신방식과 차별화된 IR-UWB의 통신 특성을 분석하고, IR-UWB환경에 특화된 매체 접근제어(MAC) 계층 재전송 프로토콜을 제안하고자 한다. 기존에 IR-UWB통신의 패킷 전송 실패와 재전송에 관한 연구는 많이 수행되지 않았다. 매체 접근제어 프로토콜은 몇 가지 제안되었으나[6,7], 이런 연구들은 채널 접근 시에 시간 호핑 코드(Time Hopping Code)의 할당과 사용 등에 집중되어 있다. Benedetto[6]는 시간 호핑 코드의 할당과 사용에 집중하였고, Merz[7]는 시간 호핑 코드의 사용 및 동적 채널 코딩에 관하여 연구하였다. 여기에서는 채널접근 프로토콜을 기술하면서 재전송에 관해서도 언급하고 있으나 최대 패킷 송신 길이만큼의 백오프 이후 다시 채널에 접근하거나 다른 패킷의 수신 이후 다시 채널에 접근하도록 하고 있다. UWB에서의 에너지 소비에 관한 연구도 몇 편 수행 되었으나 이들은 패킷의 재전송에 관하여는 집중하지 않았다[8-10]. 본 논문에서는 채널 접근 후 전송 실패가 생길 경우 IR-UWB 에 특화된 이기적 재전송 프로토콜을 제시한다. 제안한 재전송 프로토콜은 분산된 환경에서 동작하며, 채널을 효율적으로 사용하며, 패킷의 지연시간이 짧다.

2장에서는 IR-UWB 통신에서 전송의 실패에 대해서 분석하고, 3장에서는 이기적 재전송 프로토콜을 제시한다. 4장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 평가하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. IR-UWB 통신의 전송 실패

기존의 IEEE 802.11[11]등의 협대역 통신 네트워크에서는 충돌이 발생하는 원인을 채널 에러와 패킷 충돌의 두 가지로 나눌 수 있는데 이 두 가지를 구별하는 것은 쉽지 않다. 그래서 패킷 전송 실패를 감지하였을 때는 이를 충돌로 간주하여 일정 시간이 지난 후 다시 재전송을 하는 것이 일반적인 재전송 해결책이었다. 그 중 가장 대표적인 것으로 802.11에서도 채택된 바이너리 익스포넨셜 백오프(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 예로 들 수 있다.

IEEE 802.15.4a IR-UWB에서는 기본적으로 시간 호핑 기능을 사용한다. 그림 1에서 나타나듯이 IR-UWB에서는 수 나노 초 단위 크기의 펄스를 전송한 후 그 다음 펄스를 전송하기까지의 시간 간격이 아주 넓다. 시간 호핑이란 이런 IR-UWB의 특징 때문에 가능한 것으로, 이 펄스와 펄스 사이의 간격에 다른 패킷의 펄스가 들어가더라도 서로 큰 영향을 미치지 않고 패킷을 송,

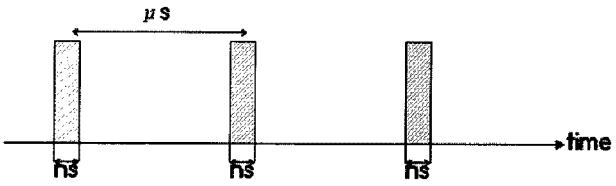


그림 1 IR-UWB의 펄스 전송

수신할 수 있게 되는 것이다.

이를 고려하면 IR-UWB를 사용하는 분산형 프로토콜에서 패킷의 전송이 실패하게 되는 이유는 다음과 같이 3가지로 나눌 수 있다.

1. 채널 에러(Channel Error)
2. 패킷 방해(Packet Interference)
3. 수신노드 미 준비(Receiver busy)

먼저 채널 에러는 채널상에서 발생하는 노이즈로 페이딩(fading)과 무선 채널에 존재하는 기본 노이즈(white noise)등에 의해서 생기는 데이터의 오류로 어떤 무선 채널에도 존재하게 된다. 그러나 UWB는 초광대역의 주파수를 사용하기 때문에 동일한 전력을 소비할 경우 이러한 채널 에러는 기존의 환경에 비해 훨씬 적다.

두 번째의 패킷 방해는 다른 노드가 전송하는 패킷에 의해서 데이터가 깨어지는 경우이다. 펄스와 펄스가 가까이 존재할 경우 펄스끼리의 영향으로 데이터가 변화될 수 있는 것이다. 하지만 시간 호핑에서는 넓은 펄스 간격사이에서 아주 짧은 펄스가 존재하기 때문에 실제로 두개 이상의 패킷이 동시에 전송되더라도 펄스 간의 간섭이 일어날 확률은 높지 않다. 그렇기 때문에 패킷 충돌에 의해서 패킷이 깨어지지 않고, 다만 인터피어런스(Interference)로만 작용하게 된다. 또한 실제로 펄스 간의 간섭이 일어난다고 하더라도 에러 복구 코드(Forward Error Correction Code)기법에 의해서 데이터의 복구가 가능하기 때문에 큰 문제가 되지 않는다[12]. 그리고 마지막으로 세 번째는 수신 노드가 이미 다른 패킷을 송신하고 있거나 수신하고 있어서 도착하는 패킷을 수신할 수 없는 경우이다. 즉 수신 노드가 이미 패킷 송신이나 수신의 과정을 거치고 있다면 시간 호핑을 사용한다고 해도 동시에 2개 이상의 패킷을 처리할 수 없다고 가정하는 것이다. 1장에서 설명된 대부분의 연구에서 이 가정을 사용하고 있으며, 이 가정을 벗어나는 통신을 수행하려면 동시에 처리할 수 있는 패킷수만큼 수신기가 몇 배로 복잡해지기 때문에 소형, 저가격의 IR-UWB 목적에 전혀 맞지 않게 된다.

앞에서 설명한 패킷 전송 실패의 원인 중에서 가장 문제가 되는 부분은 마지막의 수신노드 미준비 상태이다. IR-UWB는 노이즈에 강하며, 긴 펄스 간격과 시간 호핑 코드 때문에 패킷 방해는 그 효과가 크지 않기 때문이다.

3. 이기적 재전송 프로토콜(Selfish Retransmission Protocol)

먼저 2장에서 설명된 각각의 패킷 전송 실패의 경우에 대해서 최선의 해결책을 생각해보자.

채널에러로 인한 패킷 실패일 경우, 비트 에러 레이트(Bit Error Rate)가 크게 변하지 않는 환경을 가정할 경우 즉시 재전송을 하는 것이 시간을 낭비하지 않고 노드의 에너지도 절약할 수 있는 최선의 방안이다. 채널의 효율성을 생각해 볼 때 그리고 IR-UWB의 채널 강점을 생각해 볼 때 즉시 재전송을 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

패킷 방해로 인한 패킷 실패일 경우, 마찬가지로 즉시 재전송을 하는 것이 최선의 방안이다. IEEE 802.15.4a의 타임 호핑 기능 때문에 다시 재전송 할 경우 또 다시 에러가 날 확률은 높지 않기 때문이다. 그러므로 채널 에러와 마찬가지로 즉시 재전송을 할 경우 패킷전송 성공을 기대할 수 있다.

만약 마지막 경우라면 수신노드의 상태정보를 파악해 수신 노드가 준비 상태가 될 때 까지 기다렸다가 전송하는 것이 최선의 방안이다. Merz[7]는 채널에 접근하기 전에 수신 노드가 준비 상태인지를 파악할 수 있는 Private MAC 프로토콜을 제안하였다. 그러나 수신 노드가 준비 상태인지 알 수 있기 위해서는 모든 패킷 송수신시에 따로 수신노드가 레디상태임을 알려주는 독립적인 컨트롤 패킷을 전송하는 것이 필요하며, 송신하고자 하는 노드는 패킷단위의 큰 시간동안 채널을 감시하면서 수신 상태에 있어야 한다. 그러나 컨트롤 패킷의 전송은 패킷 크기가 작은 센서네트워크에 아주 큰 오버헤드가 될 수 있다. 또한 각각의 노드는 다른 타임호핑 코드를 사용하기 때문에 수신기는 여러 가지 프리엠블을 동시에 들을 수 있는 특별한 기능이 존재해야 하며 채널을 관찰하는 동안 Sleep 모드로 들어가지 못하고 채널을 주시하고 있어야 해서 에너지를 많이 소비하게 된다. 그리고 일정 기간 동안 수신 노드의 정보를 알아내지 못했을 경우 다시 재전송을 시도하게 되어 이 기간동안 채널이 낭비 된다.

본 논문에서 제안하는 이기적 재전송 프로토콜은 패킷의 전송후 일정시간 ACK 패킷이 도착하지 않아 데이터 전송이 실패 하였다고 판단될 경우, 그 원인을 불문하고 채널의 관찰이나 다른 패킷의 수신 없이 그 즉시 재전송을 하는 방법을 채택한다. 기존의 네트워크에서는 이런 방안은 연속된 패킷의 충돌을 일으키기 때문에 고려대상이 되지 못했다. 그렇지만 IR-UWB에서는 이러한 방안이 가능한데, 그 이유는 시간 호핑을 통해서 패킷의 동시 전송이 가능하기 때문이다. 즉 일반적으로는 충돌 회피 프로토콜을 통해서 패킷의 연속된 충돌을 막아야 하지만 IR-UWB 시스템에서는 충돌이 큰 영향을 미치는 요소가 아니다. 그러므로 패킷의 지연시간과 채널의 효율을 개선하기 위해서 패킷의 즉각적인 재전송을 해도 무방하다. 앞에서 설명한데로 패킷 전송 실패가 세 가지 원인 중 채널에러나, 패킷 방해의 경우였다면 즉시 재전송을 하는 것이 채널의 효율에 좋다. 그림 2에서 수신노드가 미준비 상태여서 전송에 실패한 경우를 살펴보자. 패킷의 수신은 프리엠블을 관찰하는 것으로 시작된다. 그런데 수신 노드가 패킷 수신에 실패하였다는 것은 프리엠블이 도착하는 시점에 이미 그 노드는 다른 패킷을 송신중이거나 수신중이라는 뜻이다. 즉 동일한 패킷 크기를 가정 할 경우 패킷 실패를 일으킨 수신노드의 활동은 송신에 실패한 패킷의 타임아웃이 발생하기 전보다 더 빨리 끝나게 되는 것이다. IEEE 802.15.4 개인 네트워크나 센서네트워크 등은 패킷크기가 작고 동일한 환경이 많을 것으로 예측되므로 이러한 가정은 유효할 수 있다. 그러므로 패킷 전송 실패 타임아웃이 발생하는 순간 송신노드는 또 한 번의 채널 접근 기회를 바로 가질 수 있다. 이에 비해 Private MAC[7]은 트랜잭션의 끝에 보내는 정보 패킷을 들어야 동작 할 수 있는데, 패킷 전송이 실패하였다는 것을 아는 순간 이미 정보 패킷의 송신은 끝났기 때문에, 전송 실패후 패킷 정보를 수신하기 어렵게 되어 단순히 한 트랜잭션(데이터 패킷의 전송과 ACK 패킷의 수신)에 소요되는 시간(Ttransaction) 후에 재전송을 하게 될 확률이 높다.

제안하는 이기적 재전송 프로토콜에서는 모든 노드는 성공적인 패킷의 송신이나 수신이 끝나고 나면 한 트랜잭션이 끝날 시간 동안은 패킷 전송을 시도하지 않는다. 이것은 한 전송 노드의 송신 동작의 연속으로 인해 수신 노드 독점의 불공정 문제가 일어나는 것을 방지하기 위해서이다.

만약 N개의 노드가 스타 토폴로지 네트워크에 존재한다고 할 경우에도 제안하는 이기적 재전송 프로토콜은 문제 없이 동작하게 된다. 프리엠블만 관찰하고나면 패킷을 수신 할 수 있기 때문이다. 물론 이기적 재전송 프로토콜의 경우 네트워크에 많은 노드들이 세츄레이션

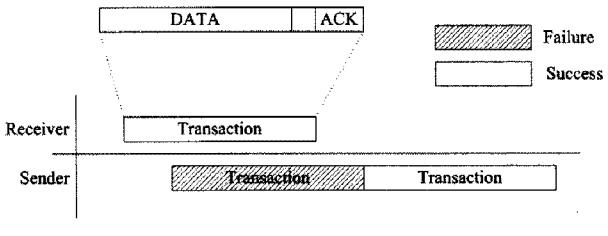


그림 2 이기적 재전송 프로토콜의 동작 예시

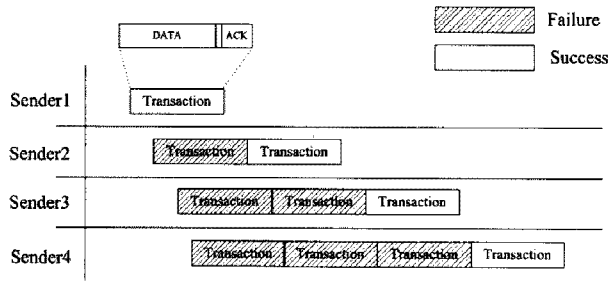


그림 3 4개의 노드가 경쟁할 경우의 이기적 재전송

되어 있을 경우 패킷 방해의 효과가 증가해서 패킷의 에러 확률이 올라가게 되는 문제점은 존재하게 된다. 그러나 IEEE 802.15.4a의 물리 계층에서는 1024개의 칩(Chip)을 이용해서 시간 호핑을 하며 에러가 발생하더라도 에러탐지 코드를 통해서 보정할 수 있기 때문에 일반적인 개인 네트워크에서 노드가 많지 않을 경우 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각 된다. 그림 3에서처럼 N개의 노드가 하나의 노드로 데이터를 보내고자 하는 스타 토폴로지 상황에서도 N 트랜잭션 시간 이내에 재전송이 가능하다. 스타 토폴로지를 가정한 이유는 수신노드 미 준비 상태가 발생하기 가장 쉬운 환경이기 때문이다.

제안하는 방안은 패킷 전송이 실패 한 경우에 한해서 동작하게 되며 어떤 종류의 분산 채널 접근 프로토콜들과 결합되어도 사용할 수 있다.

4. 성능 평가

이번 장에서는 분석과 시뮬레이션을 통해 제안된 재전송 방안의 성능을 확인하고자 한다.

3장에 설명한 대로 스타 토폴로지에서 패킷 방해나 채널 에러를 고려하지 않을 경우 데이터 전송 성공까지의 지연시간은 노드 수에 비례한다.

N개의 노드가 하나의 수신 노드로 패킷 전송을 시도할 때, 패킷 전송 실패 후 다시 전송 성공에 이르기 까지 걸리는 시간 T를 구해보기로 하자.

패킷 전송에 걸리는 평균 시간 T_s는 식과 같이 나타낼 수 있다. $T_{transaction}$은 패킷의 전송과 ACK의 수신을 하나의 트랜잭션으로 보아서 트랜잭션에 걸리는 시간을 나타내며, P_s는 패킷 방해와 채널 에러를 평균적으로 고려한 패킷 성공 확률을 나타낸다.

$$T_s = \frac{N}{2} \times T_{transaction} \times [P_s \times 1 + (1-P_s)P_s \times 2 + (1-P_s)^2 P_s \times 3 + \cdots] \quad (1)$$

이를 정리하면, 스타 토폴로지에서 패킷 전송 실패 후 패킷이 성공하기까지의 지연시간은 식 (2)와 같이 나타내어 진다.

$$T_s = T_{transaction} \times \frac{N}{2P_s} \quad (2)$$

100바이트 길이의 패킷을 전송하는 스타 토폴로지 환경에서 재전송에 소요되는 시간 그래프를 그려보면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 패킷 성공률이 70% 밖에 되지 않더라도, 이기적 재전송은 평균 지연시간이 8 노드가 경합하는 환경에서 6 트랜잭션 시간($T_{transaction}$)을 넘지 않는다.

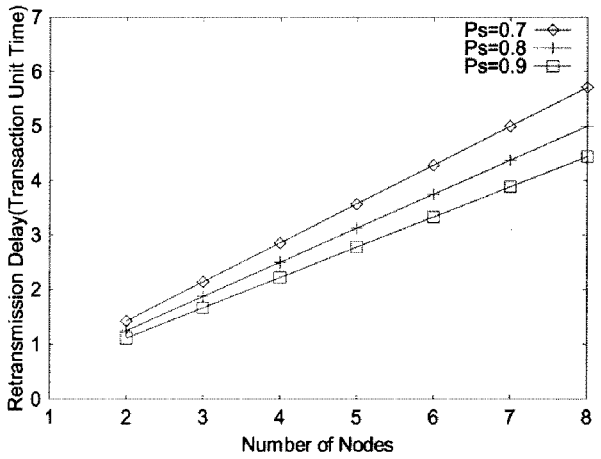
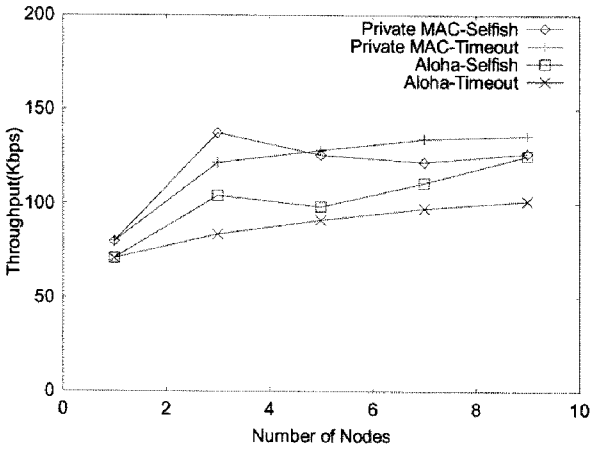


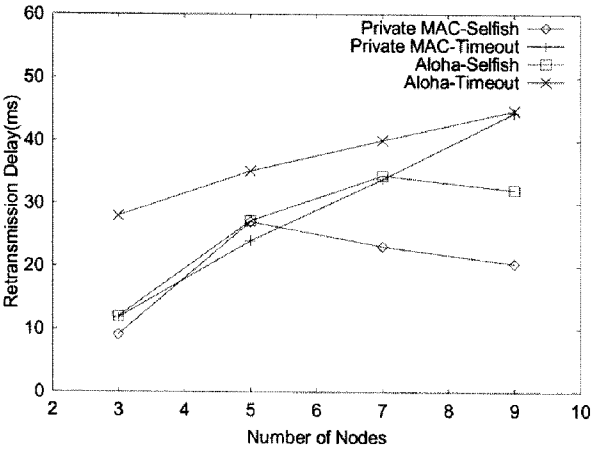
그림 4 이기적 재전송의 평균 재전송 지연 시간 분석

제안한 재전송 방안의 성능을 ns-2[13] 시뮬레이션을 통해 알아보고자 한다. 시뮬레이터는 Merz가 제시한 UWB 시뮬레이터를 기반으로 하여 작성하였다[14]. 100byte 크기의 패킷을 1초에 100번 보내고, 7번의 재전송이 실패할 경우 재전송을 포기하였다. 1Mbps의 PHY 전송률로 각 노드간의 간격은 20m로 유지하였고 채널 코드는 Merz가 사용한 RCPC code를 사용하였다[7,15]. MAC 프로토콜은 알로하와 Private MAC 두 가지를 사용하였으며 모든 그래프는 200초 동안 5번 시뮬레이션을 수행한 결과의 평균을 나타낸다.

그림 5는 스타 토폴로지 환경에서의 결과를 나타내고 있다. 그림 5(a)에서 알로하를 사용하는 경우에는 예측대로 이기적 재전송을 사용하는 것이 전체처리율이 25%까지 높게 나타나지만, Private MAC을 사용하는 경우는 이기적 재전송이 성능 측면에서 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 이것은 Private MAC을 사용할 경우 대부분의 패킷 전송이 수신노드의 준비 상태를 확인한 후 시작되기 때문으로 재전송이 별로 일어나지 않기 때문이다. 그러나 그림 5(b)에서 재전송 지연 시간을 측정해 보았을 때는, 채널 접근 프로토콜에 관계없이 이기적 재전송을 사용할 경우 지연시간이 훨씬 낮음을 확인할 수 있다. 그리고 노드수가 증가함에 따라 재전송 지연시간이 증가할 것으로 예측할 수 있지만 이기적 재

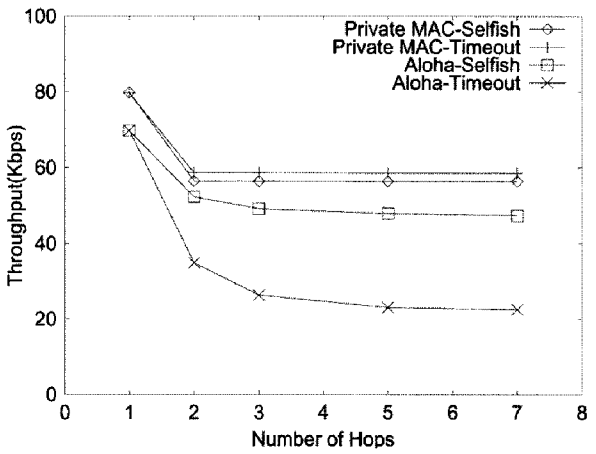


(a) 전체 처리율

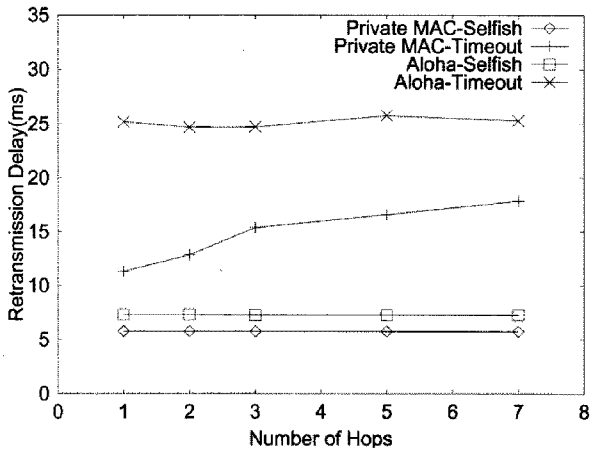


(b) 재전송 지연시간

그림 5 스타 토폴로지에서 이기적 재전송의 성능



(a) 전체 처리율



(b) 재전송 지연시간

그림 6 라인 토폴로지에서 이기적 재전송의 성능

전송의 경우에는 일정 수 이상의 노드가 존재하게 되면 지연시간이 일정 수준을 유지하게 된다. 이것은 이기적 재전송의 신속한 패킷 처리 효과로 인해 패킷의 경합이 계속 증가하지 않기 때문이다.

그림 6에서는 노드가 일렬로 배치되어 있는 환경에서 UDP 트래픽을 전송하였을 때의 결과를 나타내고 있다. 그림 6(a)에서 처리율을 나타냈는데 스타 토폴로지의 경우와 마찬가지로 알로하를 사용하고 이기적 재전송을 하는 경우는 그 성능이 50%까지 크게 개선되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Private MAC을 사용할 때는 스타 토폴로지와 마찬가지 이유로 이기적 재전송의 성능 증가가 두드러지지 않는다. 그러나 그림 6(b)에서 재전송 지연시간은 알로하를 사용하던지 Private MAC을 사용하던지 모두 이기적 재전송이 더 좋은 성능을 보이며 최대 70%까지 재전송 지연시간을 줄일 수 있다.

즉 이기적 재전송은 재전송이 많이 발생하지 않는 환경에서는 처리율의 개선을 바랄 수 없지만, 여전히 패킷 지연시간 측면에서는 효과가 있고, 알로하처럼 재전송이 많이 발생하는 환경에서는 전체처리율과 패킷 지연시간 모두 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

현재까지의 UWB MAC 프로토콜은 재전송에 관해 큰 관심을 보이지 않았다. 본 논문에서는 IR-UWB 기반의 통신 환경의 특징을 고려한 이기적 재전송 프로토콜을 제안하였다. 제안한 이기적 재전송 프로토콜은 타임아웃이나 채널 관찰 없이 즉시 재전송을 수행하며, 이를 통해 패킷 지연시간을 최대 70%까지 줄이고 전체 처리율을 50%까지 높일 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] First report and order, FCC, Washington, DC, FCC 02-48, Apr., 2002.

[2] I. Oppermann, M. Hämäläinen, and J. Iinatti, UWB Theory and Applications, Wiley, 2004.

[3] Oppermann, I. Stoica, L. Rabbachin, A. Shelby, Z. Haapola, J., UWB wireless sensor networks : UWEN - a practical example, *IEEE Communications Magazine*, Volume: 42 Issue: 12 S27-S32, ISSN: 0163-6804, Dec., 2004.
[4] IEEE Approved Std P802.15.4a/D7, Approved Draft Amendment to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-PART 15.4:Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment to add alternate PHY (Amendment of IEEE Std 802.15.4), IEEE, 2007.
[5] Ultra-Wideband (UWB) Technology Enabling high-speed wireless personal area networks, white paper, intel, 2004.
[6] M.-G. Di Benedetto, L. De Nardis, M. Junk, and G. Giancola. "(uwb)2:uncoordinated, wireless, baseborn, medium access control for uwb communication networks," Mobile Networks and Applications special issue on WLAN Optimization at the MAC and Network Levels, 2005.
[7] R. Merz, J. Widmer, J. Y. Le Boudec, and B. Radunovic, "A joint PHY/MAC architecture for low radiated power TH-UWB wireless ad-hoc networks," *wireless Communications and Mobile Computing Journal, Special Issue o Ultrawideband communication*, 5(5):567-580, August 2005.
[8] R.Merz, A. El Fawal, J.Y.Le Boudec, B. Radunovic, J.Widmer, and G.M. Maggio, "The Optimal MAC Layer for Low-Power UWB is Non-Coordinated," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2006.
[9] A. El Fawal, J.Y.Le Boudec, R.Merz, B.Radunovic, J.Widmer, and G.M.Maggio, "Tradeoff analysis of PHY-aware MAC in low-rate, lowpower UWB networks," *IEEE Communications Magazine*, **43**(12): 147-155, December, 2005.
[10] M.A. Khan, A. Al Parvez, M. E. Hoque, Xizhi An, Kyungsup Kwak, "Analysis of Energy Consumption and Sleeping Protocols in PHY-MAC for UWB Networks," The 9th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2007.
[11] IEEE Std. 802, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, ANSI/IEEE Std. 802.11, August, 1999. 802.11.
[12] Jimyung Kang, Soonwoo Lee, Youngjin park, Kwanho Kim, Moonhyun Kim, "A New Colision Paradigm in Impulse-Radio-based UWB Communications," Journal of IEEK:TC, vol.44, no.10, pp. 47-54, October 2007.
[13] The network Simulator-ns-2, http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-2.
[14] R. Merz, J.-Y. Le Boudec and J. Widmer, "An Architecture for Wireless Simulation in NS-2 Applied to Impulse-Radio Ultra-Wide Band Networks," *10th Communications and Networking Simulation Symposium (CNS'07)*, 2007.
[15] J. G. Proakis. Digital Communications. McGraw, New York, NY, 4th edition, 2001.

강 지 명
2004년 서울대학교 컴퓨터 공학부 학사 졸업. 2006년 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부 석사 졸업. 2006년~현재 한국전기연구원 전기정보망연구그룹. 관심분야는 무선 네트워크, 센서네트워크, 전력선 통신

박 영 진
1997년 중앙대학교 전자공학과 학사졸업 1999년 한국과학기술원 전기전자과 석사 졸업. 2002년 University of Karlsruhe 전기전자과 박사 졸업. 2002년 11월~현재 한국전기연구원 전기정보망 연구그룹 근무. 관심분야는 Impulse radio propagation, UWB image radar, short range automotive radar, digital beam forming, power line communications (PLC)

이 순 우
2001년 부산대학교 전자공학과 학사 졸업. 2003년 한국과학기술원 전기전자과 석사 졸업. 2004년~2005년 Hynix 반도체. 2005년~현재 한국전기연구원 전기정보망연구그룹 근무. 관심분야는 신호처리 및 VLSI 설계

김 용 화
2001년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업. 2007년 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 박사 졸업. 2007년~현재 한국전기연구원 전 기정보망연구그룹. 관심분야는 통신 채널, 통신 시스템 설계, 통신 신호처리, UWB 통신, 전력선 통신

김 관 호
1978년 숭전대학교 전자공학과 학사 졸업. 1980년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업. 2008년 연세대학교 전자공학과 박사 졸업. 1980년~1983년 한국전력공사 1983년~현재 한국전기연구원 전기정보망 연구 그룹 그룹장. 관심분야는 전파통신, 전력선통신시스템, 무선에너지 전송, UWB 레이더 및 센서