

논문 2007-44TC-10-7

# IR-UWB 통신에서의 새로운 충돌 패러다임에 관한 연구

## ( A New Collision Paradigm in Impulse-Radio-based UWB Communications )

강 지 명\*, 박 영 진\*, 이 순 우\*, 김 관 호\*, 김 문 현\*\*

( Jimyung Kang, Youngjin Park, Soonwoo Lee, Kwanho Kim, and Moonhyun Kim )

### 요 약

시간 영역에서 나노 초 이하의 임펄스 신호를 이용한 초광대역 무선 통신 (Impulse-radio-based ultra wideband:IR-UWB) 기술은 반송파 없이 통신을 진행하기 때문에 시간 축에서 데이터를 연속적으로 전송하지 않으며, 이러한 특징을 사용하면 다중 사용자 환경에서 패킷의 충돌을 효율적으로 조절 할 수 있다. 본 논문에서는 IR-UWB 환경을 분석하고, 이에 특화된 충돌 분산이라는 패킷의 충돌을 펄스의 충돌로 분해하는 새로운 패킷충돌 패러다임을 제시한다. 충돌 분산 방안에서는 각각의 노드가 독립된 펄스 간격으로 임의의 시간에 분산된 환경에서 데이터를 전송하며, 패킷의 충돌을 펄스의 충돌로 분해함으로써 패킷의 충돌로 인한 전체 패킷의 손실을 막을 수 있다. 또한 제시된 방안을 이용하여 패킷의 충돌로 인한 패킷 에러가 줄어들 수 있고, 데이터의 실시간 전송을 보장할 수 있음을 분석을 통해 제시하였다.

### Abstract

Since impulse-radio-based ultra wideband (IR-UWB) do not use carrier frequency but use very short pulse to transmit data, it sends data not continuously but discretely and this feature gives the potential to reduce collision in multi-user environment. In this paper, we analyse characteristic of IR-UWB and propose a new collision paradigm, Collision Distribution, which changes collision level from packet to pulse. In Collision Distribution mechanism, each node sends data with its own pulse interval in random time, distributed manner. It prevents packet drop due to packet collision. We show that Collision Distribution can reduce packet error and can provide real time packet transmission with analysis.

**Keywords :** 초광대역, 임펄스, 패킷 충돌, 실시간 전송

### I. 서 론

현재까지 무선 데이터 통신은 통신거리, 통신 속도, 응용 분야를 불문하고 협대역의 주파수에 데이터 신호를 캐리어 주파수에 실어서 보내는 방식을 주로 사용하였다. 근래에 들어서 협대역의 캐리어주파수를 사용하는 방식이외에, 500MHz 이상의 초광대역을 사용하여 캐리어 주파수 없이 바로 베이스밴드 통신을 진행하는 초광대역(Ultra Wide Band) 통신 방식이 새로운 기술로 연구되고 있다. 특히 미국 FCC<sup>[1]</sup>에서 초광대역

을 사용하는 새로운 방식을 허용한뒤 초광대역 통신에 대한 연구는 더욱더 박차를 가하고 있다. 초광대역 통신은 저속과 고속으로 나눌 수 있다. 저속 기술인 IR-UWB (Impulse Radio-Ultra Wide Band)는 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 펄스를 사용하기 때문에 시간 도착 정보(Time of Arrival)를 이용하여 정보를 이용하여 정확한 위치 확인이 가능하다. 그러므로 센서네트워크와 태그(Tag) 위치 정보 파악 등에 사용될 것으로 예상된다<sup>[2-3]</sup>. 현재 이 방식은 IEEE 802.15.4a<sup>[4]</sup> 표준에서 개인네트워크의 표준

\* 정희원, 한국전기연구원 전기정보망연구그룹  
(Korea Electrotechnology Research Institute)

\*\* 정희원, 세종대학교 컴퓨터공학부  
(Sejong University)

접수일자: 2007년8월27일, 수정완료일: 2007년10월18일

기술 방식으로 채택되었다. 반면 고속 기술로는 MB-OFDM UWB를 들 수 있으며 수 Gbps통신이 가능한 근거리 통신 기술로, PC 주변기기 등을 모두 무선으로 연결할 수 있을 것으로 생각된다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 극히 짧은 펄스를 사용하고 캐리어가 없는 IR-UWB 방식의 통신 특성을 분석하고, 기존의 일반적인 프레임 충돌과는 차별화된 새로운 충돌 패러다임을 제시한다. 새로운 충돌 패러다임에서는 기존의 패킷 레벨 충돌을 펄스 레벨로 분해하고, 이를 통해 패킷 충돌을 회피한다. 제안된 방안을 통해 패킷의 에러를 감소시킬 수 있고, 충돌이 생기더라도 패킷을 복원해 낼 수 있음을 성능 분석을 통해 확인하였다.

## II. 관련 연구

현재 무선 네트워크의 매체접근제어 계층(Medium Access Control Layer)에서 활발히 사용되고 연구되는 매체 접근 프로토콜은 크게 중앙 집중식 프로토콜과 분산 프로토콜로 나눌 수 있다. 그 중 분산 프로토콜의 대표로는 크게 ALOHA<sup>[6~7]</sup>와 무선랜으로 크게 성공을 거둔 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)<sup>[8]</sup>를 들 수 있다. 본 논문에서는 분산형 프로토콜에 집중한다. IR-UWB를 사용하는 센서네트워크 등에서는 저전력, 소형, 저복잡도가 요구되기 때문에 복잡하고 시간 동기화가 중요시되는 중앙 집중식 프로토콜은 적용하기가 어렵기 때문이다.

분산 프로토콜의 시초인 ALOHA 프로토콜은 네트워크의 노드들이 임의의 시간에 채널에 접근해서 데이터를 전송한다. ALOHA 프로토콜은 노드수가 많아짐에 따라 데이터 전송률이 급격히 떨어지지만 복잡한 기능이 필요하지 않고 구현이 간단한 프로토콜이다. 또한 시간 동기화가 전혀 필요 없는 프로토콜이다. CSMA 프로토콜은 전송하기 전에 캐리어를 확인해서 채널이 사용중이 아닐 경우에 전송을 시도하는 프로토콜이다. ALOHA에 비해서 충돌률이 낮지만, 캐리어를 확인하는 추가적인 메커니즘이 필요하다.

IR-UWB는 기존의 협대역 통신과는 통신 방식이 다르다. 기존의 협대역 통신은 캐리어 주파수를 사용해서 데이터를 연속적인 캐리어에 실어서 전송하게 된다. 그러나 IR-UWB는 캐리어 주파수를 사용하지 않고 베이스 밴드로 통신을 진행한다. 즉 그림1과 같이 나노초 이내의 아주 짧은 시간의 펄스를 500MHz이상의 아주 넓은 대역의 주파수를 사용해서 전송하게 된다.

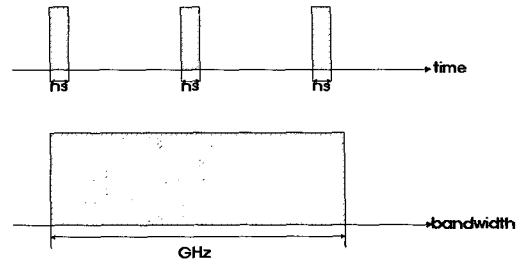


그림 1. IR-UWB의 물리계층 전송 특성  
Fig. 1. PHY characteristic of IR-UWB.

IR-UWB는 기본적으로 캐리어가 없기 때문에 기존의 CSMA는 사용할 수 없다. 그리고 시간 도메인 상에서 연속적인 전파가 존재하지 않고 낮은 파워를 사용하기 때문에 다른 네트워크와 충돌을 잘 일으키지 않는다.

이러한 UWB 통신의 특징을 고려해서 UWB용 MAC 프로토콜인 TH-CDMA(Time Hoping-Code division multiple access)를 이용하는 (UWB)<sup>2</sup> MAC 프로토콜이 제시된 바 있다<sup>[9]</sup>. TH(Time Hoping)란 시간을 작은 단위로 나누어서 한 노드가 연속적으로 시간을 사용하지 않고, 시간계획을 할당받아서 전송하는 전송기법이다. 펄스 사이의 간격이 넓은 IR-UWB에 아주 적합한 개념이라 할 수 있겠다. 그러나 (UWB)<sup>2</sup>은 링크별로 독립적인 코드를 사용하며 컨트롤 채널을 필요로 한다. 또한 시간 동기화를 위해 긴 프리앰블을 유발할 수 있기 때문에 무선 노드를 복잡하게 만들 수 있어 초소형 저가격의 모듈에는 적합하지 않다. 그리고 기본적으로 사용하는 시간의 적절한 배치를 위해서 시간 계획을 협의하여야 하기 때문에 오버헤드가 상당히 존재하며 TDMA와 유사하게 채널의 낭비가 발생할 우려가 있다.

본 논문에서는 복잡한 알고리즘이나 채널 통제 없이, 그리고 별도의 물리 계층(Physical Layer) 모듈을 전혀 필요로 하지 않으면서 패킷의 충돌을 줄이는 패러다임을 제시하는데 그 목표를 두고 있다.

## III. IR-UWB의 충돌

일반적으로 MAC 계층에서의 충돌이란 한 노드에서 패킷전송이 진행되고 있는 동안 다른 노드가 전송을 하기 때문에 발생한다. 즉 그림 2와 같이 전송이 일어날 경우, 수신측에서 데이터를 구별해 낼 수 없기 때문에 충돌이라고 부르게 된다.

IR-UWB에서는 II장에서 설명한 바와 같이 아주 짧은 수 나노초(ns)의 펄스를 아주 넓은 대역의 주파수에

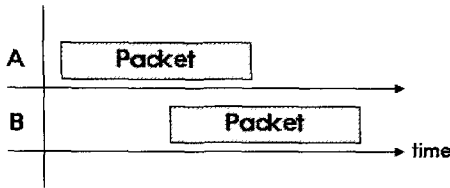


그림 2. 일반적인 패킷 충돌  
Fig. 2. General Packet Collision.

걸쳐서 전송하게 된다. 캐리어가 없는 베이스밴드 통신을 하기 때문에 펄스와 펄스 사이에는 통신 주파수를 사용하지 않는다. 그렇기 때문에 시간간격을 잘 배치하면, IR-UWB에서는 패킷 충돌이라는 개념을 다소 다르게 사용할 수 있다. 펄스를 아주 촘촘히 배치해서 동작 시키게 되면 기존의 무선통신에서의 충돌과 동일하게 패킷이 조금이라도 겹치면 충돌이 발생하게 되지만, 펄스사이의 간격을 조절해 줄 경우에는 그림 3과 같이 패킷의 펄스 사이사이에 다른 패킷의 펄스가 전송될 수 있기 때문이다. 그리고 펄스를 촘촘히 배치하는 것은 펄스를 탐지하는데, 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 현재의 실제적인 IR-UWB 구현에서 펄스 사이의 간격은 펄스 전송시간에 비해서 수백 배 이상 길게 한다고 생각되고 있다<sup>[10]</sup>.

또한 현재 IR-UWB에서 데이터를 인지하는 방법으로 On-Off Keying을 사용할 수 있다<sup>[10]</sup>. On-Off Keying이란 펄스의 간격이 일정하게 정해져 있는 상황에서 데이터가 1일 경우 펄스를 전송하고, 0일 경우 펄스를 전송하지 않는 데이터 코딩 방법을 말한다. On-Off Keying을 사용하게 되면 어떤 순간 두 펄스가 동시에 전송되더라도 데이터를 복원할 수 있는 가능성이 크게 된다. 만약 1을 전송했다면 다른 노드가 그 순간 데이터 전송중이라고 하더라도 이 데이터는 1로 전송된다. 또한 만약 0을 전송하더라도 다른 노드가 데이터를 1로 보냈을 경우에만 에러가 발생한다. 표 1에서 전송데이터와 충돌을 일으키는 데이터의 비트에 따라서 데이터에 에러가 발생하는 경우를 표시하였다. 펄스간에 방해가 있다고 하더라도 에러 확률은 25%밖에 되지 않음을 볼 수 있다.

IR-UWB에서는 캐리어 주파수가 존재하지 않는 베

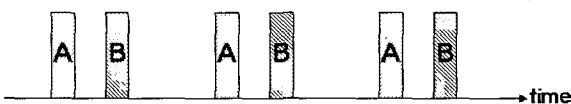


그림 3. 다중 사용자 환경에서 IR-UWB의 펄스 전송  
Fig. 3. Pulse Transmission of IR-UWB in Multi-user Environment.

표 1. 펄스간의 간섭으로 인한 데이터 수신 결과  
Table 1. Data Reception with Pulse Interference.

송신데이터 \ 수신데이터	0	1
0	0	1(err)
1	1	1

이스 밴드 통신을 하며, 펄스사이의 간격이 크게 존재하기 때문에 그 사이의 시간을 활용할 수 있고, 또한 On-Off Keying을 사용할 경우 다른 곳에서 전송된 펄스와 송신 펄스가 겹치더라도 정상적으로 데이터가 수신될 확률이 높다. 그러므로 IR-UWB에 맞는 새로운 패킷 충돌의 패러다임이 필요하다.

#### IV. 충돌 분산(Collision Distribution)

이번 장에서는 III장에서 제시된 IR-UWB와 On-Off Keying의 특징을 이용하여 충돌분산(Collision Distribution)이라는 새로운 패킷 충돌 패러다임을 제시한다.

기존의 채널 접근 프로토콜은 패킷의 전송이 동시에 일어나지 않도록 하는데 그 목적이 있다. 가장 널리 쓰이고 대표적인 IEEE 802.11 Standard의 DCF (Distributed Coordinated Function)에서는 캐리어를 탐지해서 충돌을 방지하고, 동시에 전송을 시작하는 것을 피하기 위해서 Exponential Backoff 알고리즘을 사용한다. 또한 각종 TDMA (Time Division Multiple Access) 프로토콜들도 패킷의 일정을 조절하여 충돌을 방지하고 많은 패킷을 전송하는데 그 목적이 있다.

그러나 IR-UWB는 캐리어 주파수가 존재하지 않기 때문에 채널상에 패킷의 유/무를 탐지하기가 어려우며, 저속의 네트워크에서는 많은 패킷을 전송하는 것 보다는 얼마나 소형, 저가격으로 노드를 만들 수 있는가가 훨씬 더 중요한 요소가 된다.

제안하는 충돌 분산 알고리즘은 기본적으로 MAC계층에서 채널을 접근할 때는 분산형 프로토콜의 시초인 ALOHA 프로토콜을 사용한다. ALOHA 프로토콜이 가장 구현이 간단하며 복잡도가 낮기 때문에 저속, 저가격의 노드에 적합하기 때문이다. 그러나 실제로 PHY 계층의 신호처리부에서 펄스를 전송할 때는, 각각의 노드가 독립적으로 정한 간격에 따라 펄스를 전송한다. 이 때 펄스 사이의 간격은 펄스 사이의 최소간격의 소

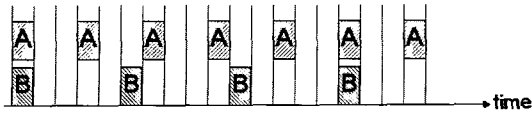


그림 4. Pulse전송 예시

Fig. 4. Example of Pulse Transmission.

수배로 구성한다. 펄스 사이의 최소간격은 연속해서 전송된 두 펄스를 수신측에서 해독할 수 있는 최소한의 시간이다. 각각의 노드가 실제로 전송하는 펄스 사이의 간격은 노드마다 미리 고정시킬 수도 있고, MAC 계층의 통신을 통해 셋업 할 수 있다. 예를 들어 무선 헤드셋에 적용한다고 하면, 송수신 모듈의 펄스 간격을 임의의 간격으로 고정시켜서 출고시킬 수 있다. 또한 센서 네트워크의 경우 초기 네트워크 셋업시 통신을 통해 펄스 간격을 협의하여 펄스 간격을 정할 수 있다. 펄스 간격을 협의하여 그러나 초기 셋업 없이도, 수신 노드에서 프리앰블의 스캔을 통해서 펄스의 간격을 독자적으로 판단할 수 있기 때문에, 수신기의 구조를 간단하게 할 수 있다. 펄스의 간격을 최소 간격의 소수배로 구성하는 이유는 소수끼리는 서로소이므로 최소 공배수가 커서 펄스간의 연속된 충돌이 적게 일어나기 때문이다. 그림 4에서는 채널상의 펄스를 간단하게 나타내고 있다. 이해를 쉽게 하기 위해, 슬롯(slot)단위로 시간 동기화가 되어 있는 것처럼 표시하였지만, 실제로는 동기화된 슬롯은 존재하지 않는다.

펄스간의 최소 간격을 1 마이크로초( $\mu\text{s}$ )라고 가정할 경우, 노드 A는  $3\mu\text{s}$ 간격으로 펄스를 전송하고 노드 B는  $5\mu\text{s}$  주기로 펄스를 전송한다. 데이터가 이렇게 전송될 경우 두 노드가 섞이지 않고 계속 데이터를 전송한다고 해도, 펄스가 아무리 자주 겹친다고 하더라도 적어도  $15\mu\text{s}$ 는 보장되게 된다. 즉 A는 5비트, B는 3비트마다 펄스의 충돌이 발생하게 된다. 만약 다소 큰 소수를 사용하게 된다면, 이 실제로 펄스가 충돌할 확률은 크게 낮아지게 된다. 물론 저속의 센서네트워크일 경우는 노드들은 평소에는 데이터를 보내지 않다가 데이터를 감지한다든지 해서 전송할 데이터가 생겨야 보내는 것으로 생각할 수 있기 때문에 실제로 펄스가 충돌할 확률은 훨씬 작게 된다. 또한 On-Off keying을 사용할 경우 펄스가 겹치더라도 실제로 모든 데이터를 잘못 인식하는 것은 아니며 에러가 생길 확률은 III장에서 설명했듯이 펄스가 실제로 충돌한다고 하더라도 그 이후에 25%이다.

IR-UWB 기술에서는 패킷을 연속적인 전파의 전송

이 아니라 불연속적인 펄스의 전송으로 볼 수 있으므로 패킷의 충돌에서 펄스의 충돌로 충돌의 단계를 낮추어서 해석 할 수 있다. 일반적인 패킷의 충돌에서는 패킷을 복원할 수 없지만, 패킷 내에서 일부 펄스의 충돌에서는 패킷을 복원할 수 있다. 만일 동일한 펄스 간격을 셋팅한 노드가 패킷을 동시에 전송한다면, 이 경우는 패킷이 충돌할 경우, 펄스들이 연속적으로 충돌을 일으키기 때문에 충돌을 복원할 수 없다. 그러나 다소 큰 소수를 사용하고, 개인 네트워크에서 IR-UWB를 사용하는 노드의 수를 20개 내외로 생각 한다면 이 확률은 높지 않고, 또한 이런 경우를 가정하더라도 이 경우는 기존의 패킷 충돌로 간주 하면 된다,

무선네트워크에서는 기본적으로 전송채널 상에서 비트의 에러가 발생하고, 이 비트의 에러를 복구하기 위해서 FEC(Forward Error Correction)를 사용한다. IR-UWB 같이 낮은 전송파워를 사용하는 경우, BER(Bit Error Rate)이 상당히 높을 확률이 많기 때문에 이 가정은 여전히 유효하다. 충돌 분산 패러다임을 사용하는 경우 FEC를 패킷 충돌로부터 복구하는데 사용할 수 있다. 앞에서 설명한 대로 불연속적인 펄스의 충돌로 패킷 충돌을 분해해서 생각하면, 패킷의 충돌은 채널 상황에 의한 비트의 에러와 다르지 않다. 그러므로 일반적인 FEC 코드로 패킷의 충돌도 복구가 가능하다. 본 논문에서는 분석의 편의를 위해, 1비트를 3비트로 단순히 확장해서 보내는 가장 간단한 1/3 FEC를 사용하였다. 이러한 FEC를 사용할 경우 3비트 중 1비트의 에러가 날 경우에는 데이터를 복원할 수 있다. 그러나 실제로 적용할 경우에는 어떤 종류의 성능이 좋은 FEC라도 사용이 가능하며 에러코딩 성능이 좋은 FEC는 패킷의 에러를 더욱 크게 감소시킬 것이다. 즉 FEC를 사용함으로써 기존의 패킷 충돌을 채널 상에서 발생한 비트 에러로 생각해서 원래의 데이터로 복원 할 수 있게 되는 것이다. 또한 제안하는 패러다임은 패킷의 스케줄링이나, 캐리어 센싱 없이 MAC 계층에서는 ALOHA 프로토콜을 사용하기 때문에 아주 구현이 간단하며 패킷 전체가 손실되는 패킷충돌이 생기지 않기 때문에 양방향 통신이 아닌 1방향 통신에도 적용이 가능하며 음원 데이터 등의 실시간 전송에 유리하다. 또한 TDMA 시스템에서는 동기화를 통해서 성능을 다소 높일 수 있겠지만, 제안하는 충돌 분산 패러다임은 동기화가 전혀 필요하지 않기 때문에 소형, 저전력, 저가격의 저속 응용에 더욱 적합하다.

### V. 성능 평가

충돌 분산 방안이 음원이나 영상 데이터 전송에서 탁월한 성능을 보일 것은 자명하다. 패킷이 통째로 없어지는 패킷 로스가 거의 일어나지 않기 때문이다. 이번 장에서는 실제 성능을 분석을 통해 알아본다.  $10^{-3}$ 의 BER이 있는 채널 환경에서 초당 25byte packet을 하나 보내는 센서네트워크와, 1초에 228byte packet을 50개 보내는 VoIP (Voice over IP) 음향 전송 시스템<sup>[11]</sup>을 고려하였다.

일반적인 패킷충돌에서 ALOHA의 패킷 에러 확률 ( $P_{aloha}$ )은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{aloha} = 1 - (1 - \frac{2 \times L_p}{R_{sys}})^{N-1} \times (1 - BER)^{L_p} \quad (1)$$

여기서  $L_p$ 는 패킷의 길이,  $R_{sys}$ 는 시스템의 전송율,  $N$ 은 노드들의 수, BER은 채널환경으로 인한 비트 에러율을 말한다.

충돌 분산 방안에서는 패킷의 충돌을 펄스의 충돌로 낮추어서 고려한다. 이를 위해 먼저 펄스의 에러 확률을 계산한 뒤, 패킷의 에러확률을 계산한다. 먼저 펄스의 전송은 노드별로 정해진 시간 간격(최소시간간격의 소수배)을 가지고 들어온다. 패킷의 시작이 일단 결정되면 그 내부의 펄스는 고정된 시간에 전송되지만, 각각의 노드들이 최소 시간간격의 소수배 간격으로 펄스를 전송하기 때문에 두 노드에서 전송한 펄스가 연달아 충돌하지 않게 된다. 따라서 펄스의 충돌을 분석하는 입장에서는 사용되는 소수가 크다면, 충돌을 일으킬 수 있는 다른 노드들에서 전송되는 펄스가 임의의 시간에 전송되는 것으로 무리 없이 가정하여 분석 할 수 있다. 이 가정은 연속된 충돌을 막아주는 효과를 고려하지 않기 때문에 실제로는 제안하는 시스템의 간략화 된 분석이며, 시스템 성능의 Lower Bound로 볼 수 있다. 이 가정을 사용하면 PHY에서 전송하는 펄스 하나가 다른 펄스와의 충돌이나 채널상의 에러를 이유로 수신 노드에서 잘못된 비트로 수신될 확률은 식 (2)처럼 나타낼 수 있다.

$$P_{pulse_{err}} = 1 - (1 - 0.25 \times \frac{2 \times L_p}{R_{sys}})^{N-1} \times (1 - BER) \quad (2)$$

식 (2)에서 패킷의 길이에 2가 곱해진 이유는 펄스 최소간격의 2배 길이 내에 다른 펄스가 존재할 경우 에러가 발생할 수 있다고 가정하였기 때문이다. 이 가정

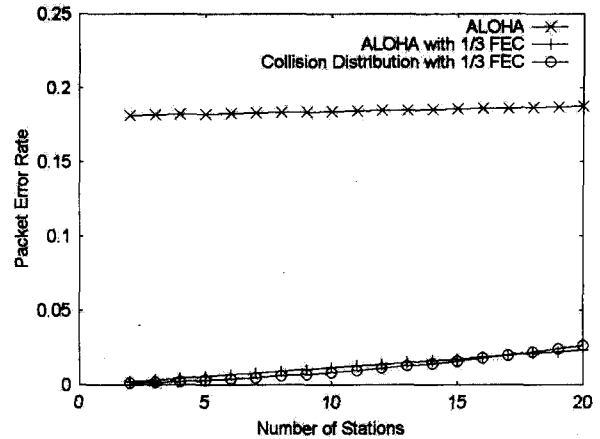


그림 5. 센서네트워크의 패킷 에러율  
Fig. 5. Packet Error Rate in Sensor Network.

으로 인하여 슬롯간의 동기화도 전혀 필요 없게 된다. 또한 0.25가 곱해진 이유는 실제 펄스의 충돌이 발생하더라도 데이터에 에러가 발생할 확률은 III장에서 제시된 25%라고 가정하였기 때문이다.

1/3 FEC를 사용하는 경우 3 비트중 2비트 이상의 에러가 있어야 실제 데이터가 에러가 나기 때문에 3비트 확장 FEC를 사용하는 충돌 분산 시스템의 패킷 에러율 ( $P_{cd}$ )은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$P_{cd} = (1 - ((P_{pulse_{err}})^3 + 3 \times (P_{pulse_{err}})^2 \times (1 - P_{pulse_{err}})))^{\frac{L_p}{3}} \quad (3)$$

그림 5에서는 전송범위 내에 모든 노드가 있고 1Mbps 데이터 전송율을 지원하는 센서네트워크에서 패킷 에러 확률을 비교하였다.

FEC를 사용하지 않는 ALOHA의 경우는 BER로 인해 패킷의 에러가 많음을 알 수 있다. FEC를 사용하는 ALOHA와 충돌 분산 방안을 비교해 보면, 전체적으로 패킷 에러는 비슷하지만 노드 수가 많지 않을 경우에는 충돌 분산 알고리즘이 알고하보다 약간 더 낮은 패킷 에러율을 보임을 확인할 수 있다. 즉 ALOHA에서는 패킷 충돌이 되어 없어질 패킷이 충돌 분산 패러다임에서는 펄스 충돌로 분해되어서, FEC를 통해 복구가 가능한 것이다. 그러나 노드수가 많아져서 트래픽이 많아질 경우 충돌분산 방안의 패킷 에러율은 점점 높아진다. 이것은 1비트의 에러도 전체 패킷의 에러로 고려했기 때문이다. 만약 성능이 뛰어난 FEC를 사용할 경우 FEC로 생기는 오버헤드를 낮추면서도 높은 패킷 성공률을 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 만약 완벽한 데이터의 정확성이 요구되지 않는 경우에는 하나의 패킷도 놓치지 않고, 프레임을 수신할 수 있다. 패킷의

충돌은 없다고 생각할 수 있기 때문이다.

두 번째 환경인 VoIP 서비스에서는 10Mbps 전송속도를 낼 수 있는 환경을 가정하였다. VoIP 환경에서는 패킷 길이가 길고 채널이 상대적으로 많이 활용되기 때문에 펄스의 에러가 발생해서 패킷의 에러로 연결될 확률이 높게 된다. 그러므로 충돌 분산 방안을 사용하는 경우 패킷 에러율은 높을 것으로 예측된다. 그러나 전체 패킷이 훼손되지 않기 때문에, 실시간 전송을 요하는 응용에서 큰 효과를 발휘 할 것으로 생각된다.

그림 6에서는 VoIP 환경에서 패킷 에러율을 비교하였다. 1/3 FEC를 사용하는 충돌 분산 방안을 사용하는 경우 패킷 에러율은 1에 근접하여 1/3 FEC를 사용하는 ALOHA보다 훨씬 높은 패킷 에러율을 보인다. 거의 모든 패킷에 에러가 발생하는 것으로서 이 결과는 얼핏 충돌 분산 방안의 성능을 의심하게 하는 것이라고 생각할 수 있지만 이것은 패킷의 충돌을 펄스의 충돌로 분해하였기 때문이다. 충돌 분산방안의 가장 중요한 장점

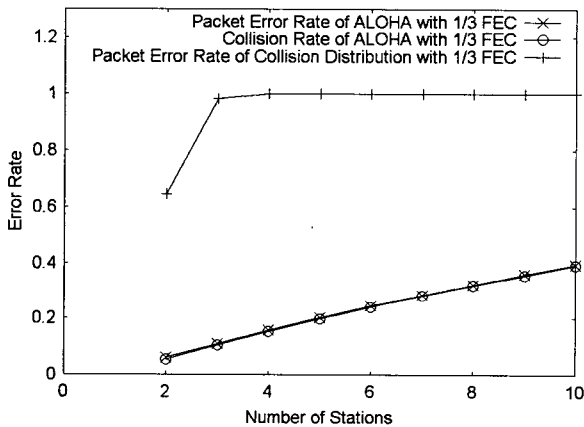


그림 6. VoIP 네트워크의 패킷 에러율

Fig. 6. Packet Error Rate in VoIP Network.

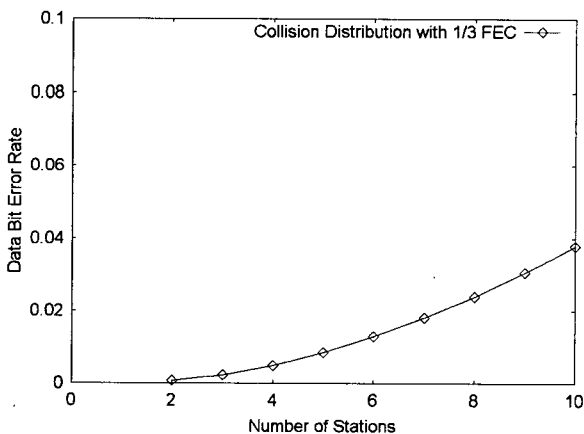


그림 7. VoIP 네트워크의 데이터 비트 에러율

Fig. 7. Data Bit Error Rate in VoIP Network.

은 충돌로 인한 패킷의 손실이 없는 것으로서, VoIP같은 음원 전송 시스템에서는 패킷의 에러율보다는 패킷의 실시간성이 더 중요하다. 그림 6에서 ALOHA의 패킷 에러율과 패킷 충돌률은 동일하게 나타난다. 즉 알로하의 패킷 에러는 대부분 패킷 충돌로 인한 것임을 확인할 수 있으며 ALOHA의 패킷 충돌은 패킷 전체가 손실되어 데이터의 실시간성을 크게 해치게 된다.

그림 7에서는 이 때 충돌 분산 방안의 평균 데이터 비트 에러율을 나타내었다.

10개의 VoIP 노드가 존재할 경우라도 데이터 비트의 에러는 5%이하로써 감수할 만한 것으로 생각할 수 있다. 즉 ALOHA에서는 충돌이 생길 경우 패킷을 전혀 해독 할 수 없지만, 제안하는 충돌 분산 방안은 데이터의 정확성을 약간 포기하는 대신 패킷의 실시간성을 보장하기 때문에, 실시간 전송이 필요한 음원 전송 환경 등에도 적합하다.

## VI. 결 론

현재의 패킷 전송에서 충돌이란 동일한 시간에 패킷의 전송으로 인해 발생하는 문제점을 나타내는 말이었다. 본 논문에서는 IR-UWB에서 짧은 펄스를 사용하는 고유 특성을 이용하여 새로운 개념의 충돌을 제시하였다. 제시한 채널 접근 방안은 전송 전에 채널을 탐지하지 않으며, 패킷 레벨의 충돌을 펄스 레벨로 분해하여 생각한다. 또한 패킷 에러율과 비트 에러율을 분석하여 그 성능을 검증하였으며 제안한 방안은 충돌로 인한 패킷의 완전한 손실이 존재하지 않는 데이터의 전송을 제공한다.

## 참 고 문 헌

- [1] First report and order, FCC, Washington, DC, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [2] I. Oppermann, M. Hämäläinen, and J. Inatti, *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] N. Abramson, "The Throughput of Packet Broadcasting Channels", *IEEE Trans. on Communication.*, Vol. COM-25, No. 1, pp. 117-128, January 1977
- [7] L.G. Roberts, "ALOHA Packet System with and without Slots and Capture", *Comput. Commun. Rev.*, vol.5, No. 2, pp. 199-204, April 1975.
- [8] IEEE Std. 802, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, ANSI/IEEE Std. 802.11, August 1999.
- [9] M.-G. Di Benedetto, L. De Nardis, M. Junk, and G. Giancola. "(uwb)<sup>2</sup>: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.
- [10] 이순우, 박영진, 김관호 "고속 디지털 샘플러 기술을 이용한 저전력, 저복잡도의 초광대역 임펄스 무선 통신시스템 신호처리부 연구", *전자공학회논문지* 제 43권 TC 12호, pp. 9~15, 2006. 12.
- [11] <http://www.cisco.com/en/US/products/hw/phones/ps379/>

---

 저자 소개
 

---



강 지 명(정회원)

2004년 서울대학교 컴퓨터 공학부  
학사 졸업.  
2006년 서울대학교 전기.컴퓨터  
공학부 석사 졸업.  
2006년~현재 한국전기연구원  
전기정보망연구그룹.

<주관심 분야 : 무선 네트워크, 센서네트워크, 전력선 통신>



박 영 진(정회원)

1997년 중앙대학교 전자공학과  
학사 졸업  
1999년 한국과학기술원  
전기전자과 석사 졸업  
2002년 University of Karlsruhe  
전기전자과 박사 졸업

2002년 11월~현재 한국전기연구원 전기정보망  
연구그룹 근무.

<주관심분야: Impulse radio propagation, UWB  
image radar, short range automotive radar,  
digital beam forming, power line  
communications (PLC)>



이 순 우(정회원)

2001년 부산대학교 전자공학과  
학사 졸업  
2003년 한국과학기술원  
전기전자과 석사 졸업  
2004년~2005년 Hynix 반도체  
2005년~현재 한국전기연구원  
전기정보망연구그룹 근무.

<주관심분야 : 신호처리 및 VLSI 설계>



김 관 호(정회원)

1978년 송전대학교 전자공학과  
학사 졸업  
1980년 연세대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1980년~1983년 한국전력공사.  
1983년~현재 한국전기연구원  
전기정보망 연구그룹 그룹장

<주관심분야 : 전파통신, 전력선통신시스템, 무선  
에너지 전송, UWB 레이더 및 센서>



김 문 현(정회원)

1969년 서울공대 졸업 이학사  
1977년 프랑스 국립응용과학원  
(I.N.S.A. de Lyon)  
공학석사  
1980년 프랑스 국립응용과학원  
(I.N.S.A. de Lyon)  
공학 박사

1972년~2000년 KIST, KAIST, SERI, ETRI에서  
연구원, 책임연구원, 연구부장, 연구소장,  
연구위원 역임

2000년~현재 세종대에서 학장, 대학원장 역임  
세종대 컴퓨터공학부 교수(현)

<주관심분야: Computer Graphics, HCI, UWB,  
정보상품론 >