

# WPAN에서의 신속한 망 복구를 위한 능동적인 PNC 핸드오버방법 및 PNC Heart Beat 기반의 비컨 프레임 정렬 방식의 성능분석

준회원 남 혜 진\*, 정회원 김 재 영\*, 전 영 애\*, 이 형 수\*\*, 김 세 한\*, 종신회원 윤 중 호\*

## Performance of active PNC Handover and PNC Heart Beat based Beacon Alignment Schemes for Wireless PAN Systems

Hye-Jin Nam *Associate Member*, Jae-Young Kim\*, Young-Ae Jeon\*,  
Hyung-Soo Lee\*\*, Se-Han Kim\* *Reguler Members*, Chong-Ho Yoon\* *Lifelong Member*

### 요 약

일반적인 IEEE 802.15.3 WPAN에서는 피코넷을 관리하던 PicoNet Coordinator(PNC)가 비정상적으로 망을 떠나게 되거나, 두 개 이상의 피코넷들이 인접해 있을 때 각 PNC로부터 주기적으로 송신되는 비컨 프레임들 사이에 충돌이 발생하게 되면, 각 피코넷에 속한 단말들이 해당 비컨 프레임을 수신하지 못하게 되면서 피코넷의 동작이 와해되는 심각한 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 다음과 같은 두 가지의 방안을 제안하였다. 첫 번째는 PNC의 비정상적인 이탈에 대비하기 위해서 각 단말들이 능동적으로 프로브 프레임을 전송하여 해당 PNC의 동작여부를 확인하도록 함으로써 신속히 새로운 PNC를 선출하는 능동적 PNC 핸드오버 방법인 Active Seamless Coordinator Switching(ASCS) 방식이다. 두 번째는 밀집된 피코넷들의 각 PNC가 주기적으로 전송하는 비컨 프레임간의 충돌을 방지하기 위한 것으로써, 각 PNC들이 해당 피코넷의 수퍼프레임 정보를 수납한 Heart Beat(HB) 프레임을 비주기적으로 전송하여 PNC의 비컨 프레임 송신시점을 조정하도록 함으로써 비컨 프레임간의 충돌을 방지하는 PNC Heart Beat 기반의 비컨 프레임 정렬(PNC HB based Beacon Alignment) 방식이다. 제안된 두 가지 방안에 대하여 모의실험을 통해 성능을 평가한 결과, 각 방식들은 유사한 기존 방식에 비해 피코넷의 와해기간을 단축시킬 수 있어, 각 단말이 겪는 프레임당 평균 지연시간과 수퍼프레임 별 전송효율이 향상됨을 확인하였다. 특히, 제안된 방식은 WPAN규격에서 허용되는 프레임들을 활용할 수 있으므로, 구현성이 높은 장점이 있다.

**Key Words** : IEEE 802.15.3, WPAN, PNC handover, Beacon alignment

### ABSTRACT

For the legacy IEEE 802.15.3 WPAN protocol, an unpredictable piconet coordinator(PNC) leaving from a piconet without a proper handoff procedure causes an absence of PNC, and thus the piconet gets collapsed. In addition, several beacons from PNCs in adjacent piconets may be collided on a device(DEV) located between those piconets. This beacon collision eventually makes the DEV leave from the piconet.

\* 본 논문은 한국항공대학교 인터넷정보검색연구센터(IRIC) 및 한국전자통신연구원의 지원에 의하여 수행되었습니다.

\* 한국항공대학교 정보통신공학과 대학원 (yoonch@hau.ac.kr),

\*\* 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2005-04-174, 접수일자 : 2005년 4월 19일

To remedy these two problems, we here propose an Active Seamless Coordinator Switching(ASCS) scheme and a PNC HB based Beacon Alignment(PHBA) one. In the ASCS scheme, a PNC assigns a number of DEVs as next possible PNCs in sequence for provisioning against the abrupt breakdown of the current active PNC. Each nominated DEV proactively sends a probe frame to confirm the operation status of the active PNC. For the case of no response from the PNC, the nominated DEV tries to become a new PNC immediately.

In the second PHBA scheme, each PNC is allow to broadcast a special Heart Beat(HB) frame randomly during a superframe period. When a DEV receives a HB frame from other PNC, it promptly sends the related PNCs a special HiCcup Beat(HCB) frame with the superframe information of its associated PNC. As a result, the HCB frame makes both PNCs align their superframe beginning time in order to yield no more beacon collisions.

For these two proposed schemes, we show the performance by simulations. We can confirm the enhancement of throughput for each superframe and average frame transfer delay, since each scheme can reduce the duration of piconet collapse. Finally, it is worth while to note that the proposed schemes can be operated with frames those are permitted in the legacy WPAN standard.

## I. 서론

IEEE 802.15.3 Wireless Personal Area Networks(WPAN)은 ad-hoc 시스템으로 통신을 하는 독립적인 무선 단말들로 이루어진 소규모의 네트워크에 대한 동작 절차를 규정하고 있다. 이러한 IEEE 802.15.3 규정에 따르는 시스템은 DEV(Device)라고 하는 여러 개의 단말들로 이루어진 피코넷(piconet)과 이 피코넷을 관리하는 단말인 PNC로 구성된다<sup>1)</sup>.

피코넷은 PNC가 주기적으로 전송하는 비컨 프레임으로 시작하여, Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance(CSMA/CA)로 동작하는 Contention Access Period(CAP)와 Time Division Multiple Access(TDMA)방식으로 동작하는 Channel Time Allocation Period(CTAP)를 번갈아 사용하는 수퍼프레임 방식으로 동작한다. 이 비컨 프레임은 PNC가 관리하는 피코넷의 전반적인 상황에 대한 정보를 실고 있으며 피코넷에 속한 단말들의 동기를 맞추고, CTAP의 타임슬롯인 Channel Time Allocation(CTA)를 배분하는 등의 중요한 역할을 한다.

하지만 PNC가 다른 단말에게 PNC의 역할을 넘기는 정상적인 절차 없이 비정상적으로 종료되거나 망에서 이탈하게 되어 피코넷에서 PNC의 역할을 수행하는 단말이 존재하지 않는 경우, 피코넷에 속한 모든 단말들이 비컨 프레임을 수신하지 못하여 결과적으로 피코넷이 와해되는 문제가 발생할 수 있다<sup>2)</sup>. 또한 두 개 이상의 피코넷이 이동하여 서로 인접하게 되거나, 두 개 이상의 인접한 피코넷의 경계로 단말이 이동하여 양쪽 피코넷의 PNC가 전송

하는 비컨 프레임 간에 충돌이 일어나는 경우, 비컨 프레임을 수신하지 못한 단말들은 통신을 할 수 없게 되는 상황에 이르게 된다<sup>3)</sup>.

본 논문에서는 이러한 PNC의 비정상적인 종료로 인한 PNC의 부재와, 서로 다른 피코넷에 속한 PNC간의 전파간섭으로 생기는 비컨 프레임의 손실을 각각 해결하기 위해 다음과 같은 두 가지 방안을 제안한다.

첫 번째 방안은 PNC의 비정상적인 이탈이나 종료에 의한 피코넷의 PNC 부재에 대비하기 위한 것으로써, 비컨 프레임이 수신되지 않았을 경우에 PNC가 미리 선별해 둔 PNC로 동작 가능한 DEV들이 능동적으로 프로브 프레임을 전송하게 하여, 보다 신속하게 새로운 PNC를 선출하는 능동적 PNC 핸드오버 방법인 Active Seamless Coordinator Switching(ASCS) 방식이다. 단말들은 프로브 프레임에 대한 PNC와 다른 단말들의 응답여부를 통하여 해당 PNC의 동작상태를 확인하기 때문에 하나의 피코넷에 다수의 PNC가 존재할 수 있는 문제가 발생하지 않는다.

두 번째 방안은 밀집된 피코넷들의 각 PNC가 주기적으로 전송하는 비컨 프레임간의 충돌을 방지하기 위한 것으로써, 각 PNC로 하여금 해당 피코넷의 수퍼프레임 정보를 수납한 Heart Beat(HB) 프레임을 매 수퍼프레임의 임의의 시간에 전송하도록 하여 각 PNC의 비컨 프레임송신시점을 조정하여 비컨 프레임간 충돌을 방지하는 PNC Heart Beat 기반의 비컨 프레임 정렬 방식이다. PHBA 방식은 기존에 제안된 단말들의 HB 프레임 전송방식에 비해 대역을 보다 효율적으로 사용할 수 있음은 물론,

비컨 프레임간의 송신시점 정렬이 완료되는 데까지 걸리는 시간을 단축할 수 있다.

본 서론에 이어서, 제 2장에서는 IEEE 802.15.3 표준을 분석하고, 제 3장에서는 표준에서 발생할 수 있는 피코넷의 PNC 부재 현상과 기존에 제시된 해결책을 소개하고 이를 개선한 ASCS 방식을 제안한다. 제 4장에서는 표준에서 발생할 수 있는 비컨 프레임간의 충돌로 인한 단말의 이탈 현상과 기존에 제시된 해결책을 소개하고 이를 개선한 PHBA 방식을 제안한다. 제 5장에서는 제안된 ASCS 방식과 PHBA 방식의 성능을 평가하며, 마지막으로 제 6장에서는 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.15.3 WPAN의 기본동작

### 2.1 피코넷의 정의

피코넷은 일반적으로 10m 이내의 영역에서 애드혹 시스템으로 통신을 하는 단말들로 구성되는 작은 망으로, 사무실이나 가정과 같은 작은 건물내의 단말들간의 무선통신을 위해 만들어졌다. <그림 1>은 피코넷의 일반적인 구조를 도식화한 것이다. 그림에서 원의 범위는 PNC의 비컨 프레임이 도달할 수 있는 범위를 도식화한 것이고, 단말과 단말 사이를 연결하는 직선은 둘 사이에 통신이 가능함을 의미한다. 부모(parent) 피코넷은 부모 PNC가 관리하는 독립적인 피코넷으로 인접해 있는 의존 피코넷, 즉, 자식(child) 피코넷이나 이웃(neighbor) 피코넷의 PNC들에게 동기정보를 제공한다. 자식 피코넷은 PNC가 부모 피코넷의 구성원으로 속해 있어, 자식 PNC가 부모 피코넷의 단말처럼 동작할 수 있는 피코넷을 의미한다. 이웃 피코넷은 이 피코넷의 PNC가 부모 피코넷의 구성원은 아니지만 두 피코넷 내부에서의 전송전파가 서로 충돌이 날만큼 부모 피코넷에 인접해 있어서, 부모 PNC의 지시를 통해 부모 피코넷과 채널 점유권을 조정할 필요가 있는 피코넷을 의미한다<sup>4,6)</sup>.

### 2.2 피코넷의 생성과 해제

피코넷은 PNC가 피코넷에 대한 여러 가지 정보를 담은 비컨 프레임을 전송하면서 생성된다. 단말은 맨 처음 전원이 들어오면, 사용 가능한 채널을 차례로 탐색하여 사용 중인 채널을 찾아내면 PNC로부터 전송되는 비컨 프레임을 기다리고 일정한 절차를 거쳐 기존의 피코넷에 가입한다. 만약 비컨 프레임이 수신되지 않으면, 단말은 계속해서 다른

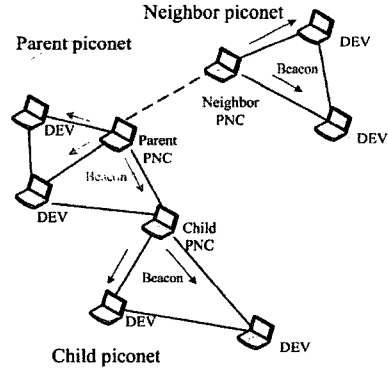


그림 1. 피코넷의 구조

채널을 스캔하고, 어떠한 비컨 프레임도 수신할 수 없는 경우에는 피코넷에 가입할 수 없다<sup>7,9)</sup>.

다만, 단말이 PNC로 동작이 가능할 경우에는 아무도 사용하고 있지 않은 채널에서 자신이 직접 PNC가 되어 비컨 프레임을 생성하면서 새로운 피코넷을 시작한다. 비어있는 채널이 존재하지 않는 경우, PNC는 다른 피코넷이 사용중인 채널에서 이웃 피코넷을 생성할 수 있다.

PNC로부터 DEVID를 발급받아 피코넷의 일원이 된 단말들은 채널 타임 요청 메시지를 PNC에게 전송하여, 수퍼프레임의 CTA의 할당을 요청할 수 있다. 단말들의 CTA요청을 수신한 PNC는 비컨 프레임을 통하여 단말들이 사용할 수 있는 CTA를 적절하게 분배한다.

PNC가 피코넷을 떠나거나 종료할 때에는 미리 피코넷에 속한 다른 단말에게 PNC의 역할을 넘기는 절차를 밟게 된다. 만약 PNC로 동작할 수 있는 단말이 존재하지 않는다면, PNC는 피코넷의 종료를 예고하는 비컨 프레임을 전송하여, 단말들이 다른 피코넷에 가입할 수 있도록 유도한다. 하지만 이러한 피코넷의 종료 예고가 없이 PNC가 갑자기 사라지는 경우, 해당 피코넷에 속한 단말들은 모든 기능을 중단하고, Association Timeout Period(ATP)가 경과된 후에 인접한 피코넷에 가입하기 위해 채널 스캔 과정부터 다시 시작해야 한다.

### 2.3 PNC 핸드오버

PNC는 피코넷에 가입되어 있는 단말 중에서, PNC의 역할을 수행하기에 적절한 단말을 발견하면 PNC 핸드오버 과정을 통하여 해당 단말에게 PNC의 역할을 이양한다<sup>10)</sup>.

우선 기존의 PNC는 단말에게 PNC 핸드오버 요

청 메시지를 전송한다. 단말은 의존 피코넷의 PNC로 이미 동작 중이거나 다른 이유에 의해 PNC로 동작할 수 없는 경우, 이 요청 메시지에 대해 거절하는 메시지를 보낼 수 있다. PNC로 동작 가능한 경우에는 즉시 Imm-ACK를 전송하여 핸드오버 과정의 시작을 수락한다.

다음으로, 기존의 PNC는 새로운 PNC가 될 단말에게 PNC 핸드오버 정보 메시지를 전송하여 피코넷에 대해 PNC가 알고 있어야 할 정보들을 전송한다. 이 PNC 정보 메시지에는 피코넷에 가입되어 있는 단말들은 물론, 자식 피코넷과 이웃 피코넷에 대한 정보들도 포함된다. 또한 보안정책에 관련된 정보가 있는 경우 보안정책에 대한 정보들도 전송하게 된다.

이런 정보의 전송이 모두 끝난 후에, 기존의 PNC는 새로운 PNC가 될 단말에게 현재의 채널 타임 요청(Channel Time Request)에 대한 정보를 전송한다. 그 후에는 전력관리 설정정보 응답(Power Save Set Information Response) 메시지를 전송한다.

새로운 PNC가 될 단말은 피코넷에 대한 모든 정보를 수신한 후에, 기존의 PNC에게 PNC 핸드오버 요청 메시지를 전송함으로써, 자신이 드디어 새로운 PNC로 동작할 준비가 완료되었음을 알린다. 기존의 PNC가 PNC 핸드오버 요청 메시지를 수신하면, 비컨 프레임에 새로운 PNC가 피코넷을 관리하게 되었으며, 자신은 더이상 PNC가 아니라는 정보를 담아 전송하고, 마지막 비컨 프레임을 전송할 준비를 한다.

새로운 PNC가 될 단말은 자신이 전송한 PNC 핸드오버 요청에 대한 응답을 받음과 동시에, 기존의 PNC가 전송하던 시간에 자신의 첫 번째 비컨 프레임을 전송할 준비를 한다. 기존의 PNC가 자신의 마지막 비컨 프레임을 전송하면, 새로운 PNC가 될 단말은 비로소 PNC로서 동작을 시작하여, 정확한 수퍼프레임 주기에 자신의 새로운 비컨 프레임을 전송함으로써 모든 핸드오버 과정을 완료한다.

### III. Active Seamless Coordinator Switching (ASCS) 방식

본 장에서는 기존의 IEEE 802.15.3 시스템에서 발생할 수 있는 PNC의 비정상적인 종료나 이탈로 인한 피코넷의 PNC 부재 문제와 이를 해결하기 위해 기존에 제시된 방식을 분석하고 그 방식의 단점을 해결하기 위한 새로운 방식을 제안한다.

#### 3.1 기존의 IEEE 80.15.3 WPAN에서 PNC의 비정상적인 종료 문제

피코넷을 관리하던 PNC가 정상적인 PNC 핸드오버 절차를 수행하지 않고, 갑자기 전원이 꺼지거나 이동하여 피코넷에서 떠나는 경우, 단말들은 비컨 프레임을 수신하지 못하게 되므로 통신을 할 수 없다.

모든 단말들은 PNC가 설정한 피코넷의 mMaxLostBeacons기간 동안 비컨 프레임이 연속적으로 도착하지 않으면, 피코넷이 종료되었음을 인식하고 각자 채널스캔을 시작한다. 표준에서는 mMaxLostBeacons 값의 최소값을 4로 정의하고 있다. 결국, 새로운 PNC를 설정하기 위해서는 상당한 시간 동안 안 데이터 전송이 불가능하게 될 뿐만 아니라 일부 단말들은 새로 설정되는 PNC의 전파 범위를 벗어나므로, 이들은 다시 의존 피코넷을 형성하거나 다른 채널에서 새로운 피코넷을 형성해야만 한다.

따라서, 이러한 과정에서 많은 시간이 소요되는 문제점이 발생하므로, 최적의 PNC 선택과 핸드오버에 소요되는 시간의 절약을 위한 새로운 방법이 필요하다.

#### 3.2 기존의 Seamless Coordinator Switching (SCS) 방식

SCS 방식은 예기치 못한 상황에 의해 PNC가 정상적인 핸드오버 과정을 거치지 못하고 피코넷을 떠났을 경우를 대비하여, PNC가 사전에 PNC로 동작 가능한 단말들에게 순서번호를 부여하여 관리하는 방식이다<sup>[2]</sup>.

PNC는 새로운 단말이 피코넷에 가입하면, 단말의 PNC 능력을 확인하고 기존의 단말들과 비교하여, PNC가 비정상적으로 피코넷에서 떠나는 경우에 다른 단말 중에서 PNC로 선정될 순서인 PNC 선택 순서를 할당한다. 이 PNC 선택 순서는 비컨 프레임을 통하여 갱신, 방송되며, PNC로 동작 가능한 모든 단말들은 자신의 순서를 기억하였다가, PNC로부터 일정기간 동안 연속적으로 비컨 프레임이 수신되지 않았을 때, 가장 작은 순서를 가진 단말이 스스로 PNC가 된다.

PNC가 단말에게 PNC 선택 순서를 알려주는 방법은 다음과 같다.

① 먼저, 단말은 PNC의 비컨 프레임을 수신하고 PNC에게 연결 요청 메시지를 보낸다. PNC는 단말이 PNC로 동작 가능한지를 확인하고 단말의 PNC

능력을 기존의 PNC 선택순서와 비교하여 새로운 단말의 적절한 PNC 선택순서를 선택한다. PNC는 연결 응답 메시지에 단말의 PNC 선택순서를 기입하여 단말에게 응답하고, 단말은 자신의 순서를 기억해 둔다.

② 새로운 PNC 가능 단말이 피코넷에 가입하거나, 기존의 PNC 가능 단말이 피코넷을 탈퇴하여 PNC 선택순서에 변화가 생길 때마다, PNC는 선택순서를 비컨 프레임에 수납하여 전송함으로써, 피코넷에 존재하는 모든 단말들이 알 수 있게 한다.

③ 단말은 비컨 프레임을 수신할 때마다 PNC 선택순서가 바뀌었는지를 확인하여, 자신의 PNC 선택순서를 갱신한다. PNC 선택순서는 숫자가 작을수록 우선순위가 높은 것이며, 현재의 PNC의 PNC 선택 순서는 0이다.

④ 만약 비컨 프레임이 비컨 타임아웃 시간 내에 도착하지 않았을 경우, 단말은 자신의 PNC 선택순서를 1 감소시키고, 선택순서가 0이 된 단말은 즉시 PNC로 동작하여, 기존의 수퍼프레임 주기에 새로운 비컨 프레임을 전송하면서, PNC가 바뀌었음을 알린다.

⑤ 새로운 PNC로부터 비컨 프레임을 수신한 다른 단말들은 PNC가 변경되었다는 것을 인지한다.

<그림 2>는 기존의 SCS 방식에서 PNC와 PNC 선택순서가 1이었던 단말이 동시에 동작을 멈춘 경우의 동작 예를 도식화한 것이다. 이 예에서, DEV1이 PNC가 되어야 하지만 DEV1도 비정상적으로 종료되었기 때문에, 한번의 비컨 타임아웃이 더 지난 후에 DEV2가 PNC가 되어 비컨 프레임을 전송함을 알 수 있다. 그림에서 [ ]안의 숫자는 PNC 선택순서를 의미한다.

이러한 기존의 SCS 방식에서는 비컨 프레임이 손실된 경우 PNC 선택순서를 가지고 있는 PNC 가능 단말들은 비컨 타임아웃이라는 시간 동안 비컨 프레임이 수신되기를 기다린 후에야 비로소 PNC로 동작할 수 있다. 이 비컨 타임아웃이라는 시간은 동시에 두 대 이상의 PNC가 생성되는 것을 방지하기 위하여, 최소 수퍼프레임 1개 이상, 최대 mMaxLost Beacons 이하의 시간이 되어야 한다.

만약 비컨 타임아웃이 충분히 길지 않다면 단말이 채널 상태나 다른 간섭에 의해 우연히 여러 개의 비컨 프레임을 수신하지 못한 경우, 같은 선택순서를 가지는 단말이 여러 개 존재하게 되며, 이러한 상황이 지속되었을 때 하나의 피코넷 내에 다수

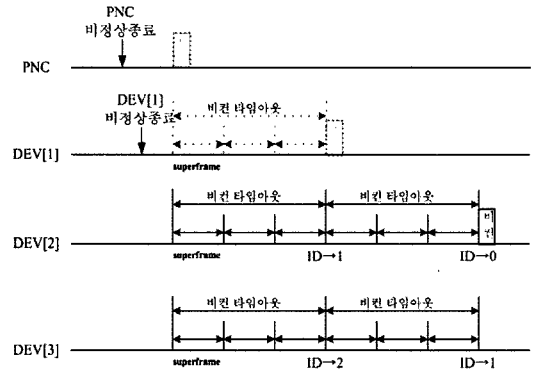


그림 2. 기존 SCS 방식의 동작 예

의 PNC가 생성될 수 있다. 이 다수의 PNC들이 각각 수퍼프레임 동기에 맞춰 동시에 비컨 프레임을 전송하는 경우, 비컨 프레임간에 충돌이 일어나기 때문에 피코넷 내의 모든 단말들이 계속해서 비컨 프레임을 받지 못하는 상황이 발생하게 된다.

### 3.4 제안하는 Active SCS(ASCS) 방식

본 논문에서 제안하는 새로운 ASCS 방식은 기본적으로 기존 SCS 방식과 유사하게 동작하지만, 비컨 프레임이 도착하지 않았을 때, 비컨 타임아웃 타이머를 활용하는 대신, 능동적으로 프로브 메시지를 송신하여 PNC의 상태를 확인한다.

<그림 3>은 제안된 ASCS 방식의 동작을 단말 입장에서 도식화한 순서도이다. LB(Lost Beacon)는 단말이 연속적으로 수신하지 못한 비컨 프레임의 수를 나타내며, S는 PNC가 부여한 단말의 PNC 선택순서이다. 단말은 비컨 프레임이 도착하지 않은 경우 LB를 증가시켜, 연속적으로 S+4개 이상의 비컨 프레임을 수신하지 못한 경우, 표준에서 언급된 바와 같이 피코넷을 재 시작하는 절차를 거친다.

만약 LB가 자신의 선택 순서와 같다면, 단말은 PNC로 프로브 메시지를 전송하여, PNC가 정상적으로 동작하고 있는지를 확인하고, PNC가 정상적으로 동작하고 있는 경우에는 LB를 초기화한 후, 다음 비컨 프레임을 기다린다. PNC로부터 프로브 메시지에 대한 응답이 없는 경우, 단말은 자신의 PCTA 구간이나 CAP를 이용하여 다른 단말들의 비컨 수신여부를 확인하고, 다른 단말들도 비컨 프레임을 수신하지 못한 경우, 자신이 PNC가 되어 다음 비컨 프레임의 전송을 준비한다.

<그림 4>는 단말의 비컨 프레임 수신이 실패할 수 있는 다양한 경우에서 ASCS 방식의 동작절차를 도식화한 것이다. <그림 4(a)>는 PNC의 비정상적

인 종료로 인한 비컨 프레임의 손실 시, PNC 선택 순서가 1인 단말이 정상적으로 PNC의 역할을 계승하여 동작하는 과정이다. <그림 4(b)>는 DEV1만 비컨 프레임을 유실한 경우, 기존의 PNC가 그대로 PNC의 역할을 유지하는 과정을 보여준다. 다음 <그림 4(c)>는 PNC와 DEV1 사이에 일시적으로 차폐막이 생겨, PNC와 DEV1간의 통신만이 일시적으로 단절되었을 경우에 기존의 PNC가 그대로 PNC의 기능을 유지하는 것을 보여준다.

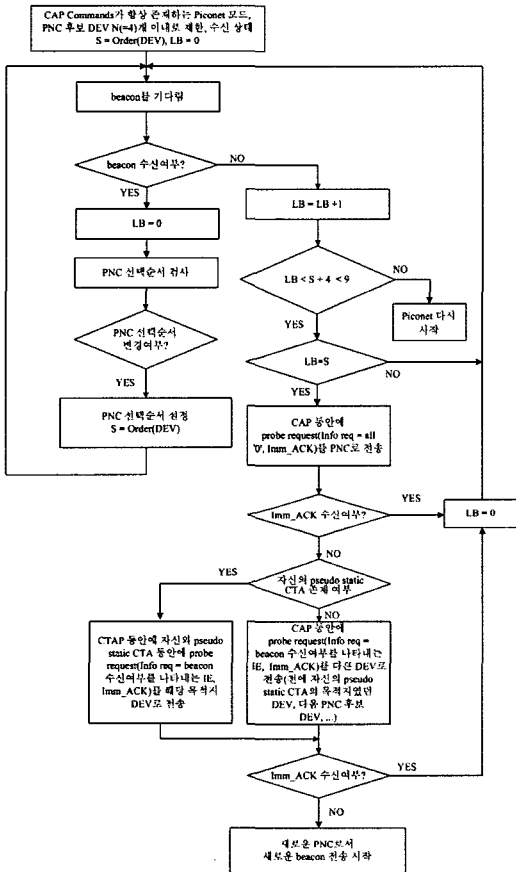
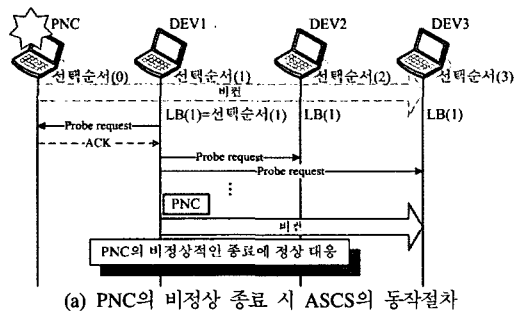
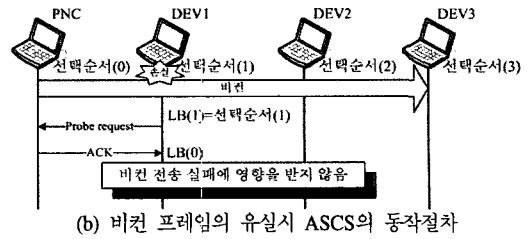


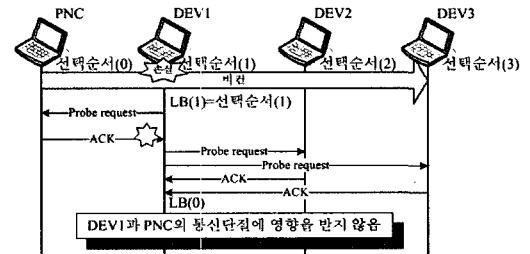
그림 3. ASCS 방식에서 단말의 동작과정



(a) PNC의 비정상 종료 시 ASCS의 동작절차



(b) 비컨 프레임의 유실시 ASCS의 동작절차



(c) DEV1과 PNC 사이의 통신 단절 시 ASCS의 동작절차  
그림 4. 비컨 프레임의 수신 실패시 ASCS 방식의 동작절차

#### IV. PNC Heart Beat 기반의 비컨 프레임 정렬(PHBA) 방식

본 장에서는 밀집된 피코넷 사이에서의 비컨 프레임 충돌로 인한 단말의 피코넷 이탈 문제를 분석한다.

4.1 비컨 프레임의 충돌에 의한 단말의 이탈 현상  
IEEE 802.15.3 표준은 기본적으로 CSMA/CA 방식으로 동작한다. 따라서 각 단말들은 충돌을 감지할 수 없으며, 데이터를 전송한 후 일정시간 안에 그것에 대한 응답이 오지 않는 경우에만 데이터의 전송이 실패했다는 것을 인지할 수 있다.

그러나, PNC가 전송하는 비컨 프레임의 경우, 이것을 수신한 단말들로부터의 확인응답이 없기 때문에, 비컨 프레임의 손실이 발생하는 경우에는 PNC나 단말들이 알아차리지 못하게 된다. 일반적으로 비컨 프레임은 다른 모든 데이터들에 비해 가장 높은 우선권을 가지기 때문에 대부분의 경우 충돌이 발생하지 않으나, 다음과 같은 세가지의 경우, 중간에 위치한 단말들이 비컨 프레임을 수신하지 못하는 문제가 발생한다.

- 서로 멀리 떨어져서 동작하다가 하나의 피코넷이 이동하여 다른 피코넷에 접근하는 경우
- 인접한 두 개의 피코넷 중 하나에 가입된 단말이 두 피코넷 사이로 이동하는 경우
- 인접한 두 개의 피코넷 중 하나의 PNC가 다른 피코넷 쪽으로 접근하는 경우

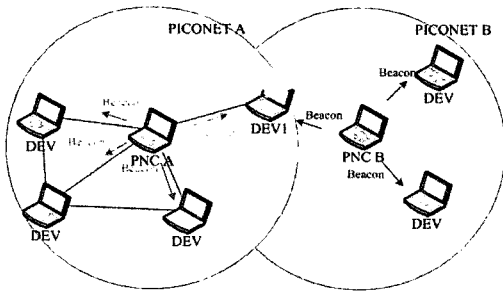


그림 5. 비컨 프레임의 충돌 현상

<그림 5>는 비컨 프레임의 충돌현상을 도식화한 것이다. 만약 두 PNC 사이에 전파가 닿을정도로 인접해 있다면 IEEE 802.15.3에 제시된 대로, 두 PNC는 협상을 통하여 하나의 피코넷이 다른 피코넷의 이웃 피코넷이 되어 서로의 수퍼프레임을 조정함으로써 비컨 프레임의 충돌을 미연에 방지할 수 있을 것이다. 그러나 PNC A와 PNC B는 서로 전파가 닿지 않는 범위에 있기 때문에 두 피코넷이 인접하더라도 그 사실을 알아차릴 수가 없다.

두 피코넷 사이에 위치한 DEV1은 피코넷 A에 가입되어 있으나, PNC B의 전파 범위에도 속해 있어, 두 피코넷의 비컨 프레임을 모두 수신할 수 있게 된다. 두 비컨 프레임을 모두 수신하게 된다 하더라도, DEV1은 자신이 속한 피코넷의 비컨 프레임만을 수신하고 다른 비컨 프레임은 무시하기 때문에 DEV1의 동작에는 아무런 문제가 없다.

그러나, 만약 두 PNC가 전송하는 비컨 프레임이 비슷한 시간에 송신되어 두 개의 비컨 프레임의 충돌이 일어나는 경우, DEV1은 양쪽 피코넷의 비컨 프레임을 모두 수신할 수 없다. 더구나, 두 피코넷의 수퍼프레임 주기가 비슷하여 연속적으로 비컨 프레임이 충돌하는 경우 DEV1은 영원히 비컨 프레임을 수신하지 못하는 문제가 발생하게 된다.

이러한 비컨 프레임의 충돌은, 단말의 통신 자체를 불가능하게 만들고, 결국 일정 시간이 흐른 후, 비컨 프레임을 수신하지 못한 단말들이 다른 피코넷에 가입하거나, 새로운 피코넷을 생성하기 위해 초기 상태부터 동작을 다시 시작해야 하는 비효율적인 상황을 야기하게 된다.

#### 4.2 기존의 비컨 프레임 정렬 방식

메쉬다이나믹스사는 비컨 프레임이 동시에 수신되는 경우를 방지하기 위해 다음과 같은 협상 과정을 통하여 두 피코넷의 수퍼프레임의 시작시간과 길이를 조정함으로써, 비컨 프레임의 전송시간을 조

정하여 이들간의 비컨 프레임 충돌을 회피할 수 있도록 한다<sup>[3]</sup>.

① 우선, 모든 단말들은 자신이 수신하고 있는 비컨 프레임에 대한 정보를 담은 HB(Heart Beat)를 매 수퍼프레임 기간 마다 송신한다. PNC A는 비컨 프레임을 송신하기 전에 DEV1의 HB를 수신하게 되고, HB 속에 담긴 정보를 통해 PNC B의 존재를 알게 된다.

② PNC A는 PNC B의 존재를 알고 있음을 표시하여, PNC B의 비컨 프레임을 피해 자신의 비컨 프레임을 전송하게 되고 DEV3은 PNC A의 비컨 프레임을 수신한다. DEV3은 PNC A의 비컨 프레임에 PNC B의 존재가 이미 표시되어 있는 것을 보고 PNC A가 PNC B의 존재를 이미 알고 있음을 확인한다.

③ DEV1은 HB에 PNC A와 PNC B의 정보를 담아 송신한다.

④ PNC A와 PNC B는 DEV1의 HB메시지를 수신한 후, 누가 마스터 PNC이고 누가 슬레이브 PNC가 될 지를 결정한다. 슬레이브PNC는 즉시 자신의 비컨 프레임을 조정하고 미리 예정되어 있던 자신의 CTAP에 대한 정보를 비컨 프레임에 담아 마스터 PNC로 전송한다. DEV1은 슬레이브 PNC의 비컨 프레임에 담긴 정보를 HB에 복사한다.

⑤ 마스터 PNC는 DEV1의 HB를 수신하여 CTA를 재조정하고, 수퍼프레임 길이를 적절히 변경해서 비컨 프레임을 송신한다. DEV1은 마스터 PNC의 비컨 프레임을 수신하여 CTA 정보를 HB에 담아 송신한다.

⑥ 슬레이브 PNC는 DEV1의 HB를 통해 최종적으로 CTA를 조정하고, 이로써 두 PNC 간의 비컨 프레임 정렬이 완료된다.

이렇게 메쉬다이나믹스사에서 제시하는 비컨 프레임 정렬 방식을 사용하면 PNC의 비컨 프레임 충돌현상을 해결할 수 있으나 이러한 방식은 각 단말들이 주기적으로 송신하는 HB메시지에 의해 수행되므로, 피코넷에 속하는 모든 단말들이 매 수퍼프레임 마다 각각 HB메시지를 송신해야만 한다. 이것은 피코넷에 속한 단말들이 많아지면 많아질수록 더 많은 대역을 낭비하게 되며, 비컨 프레임의 정렬이 완료되기까지 6개의 수퍼프레임기간이 사용되는 단점이 있다.

### 4.3 PNC Heart Beat 기반의 비컨 프레임 정렬(PHBA) 방식

본 논문에서 제안하는 새로운 PHBA 방식은 다음 <그림 6>과 같은 과정을 통해 서로의 CAP를 조정하여 비컨 정렬과정을 완료한다.

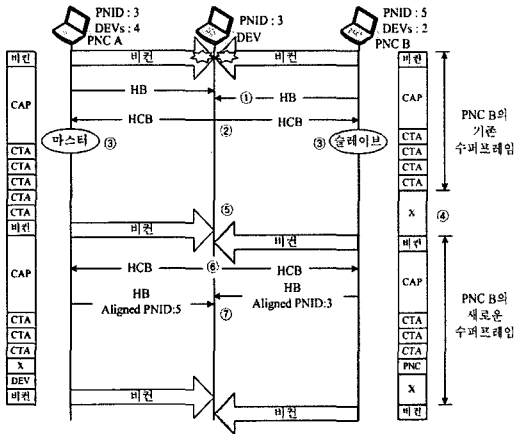


그림 6. PHBA 방식의 비컨 프레임 정렬 과정

① PNC는 매 수퍼프레임의 임의의 시간에 HB 메시지를 송신한다.

② 단말은 수신된 HB 메시지에 자신이 속한 피코넷의 PNID가 실려 있지 않은 경우, HCB 메시지를 송신한다.

③ 가입된 단말 수가 더 많은 피코넷의 PNC가 마스터 PNC, 적은 피코넷의 PNC가 슬레이브 PNC가 된다. 만약 두 피코넷에 가입된 단말 수가 같은 경우에는 피코넷 ID가 작은 쪽이 마스터 PNC가 된다.

④ 슬레이브 PNC는 자신의 수퍼프레임의 시작 시간과 길이를 마스터 PNC의 수퍼프레임의 길이와 같게 하고, 자신의 CAP를 줄이거나 CTA 수를 줄여서 비컨 프레임의 충돌을 방지한다.

⑤ 마스터 PNC와 슬레이브 PNC는 새로 변경될 내용을 파라미터 변경(parameter change) Information Element(IE)로 비컨 프레임에 담아 전송한다. IEEE 802.15.3 표준에 의하면, 변경된 파라미터는 최소 2개의 수퍼프레임이 지난 후에 적용된다.

⑥ 단말은 PNC A와 PNC B의 비컨 프레임을 계속 수신하면서, 파라미터 변경 IE가 붙은 비컨 프레임을 수신할 때마다 HCB를 브로드캐스트하여 양쪽 피코넷 수퍼프레임의 조정을 돕는다. 슬레이브 PNC는 마스터 PNC의 CTA 내역을 참고하여, 비컨 충돌 우려가 있는 단말과 자신의 CTA가 겹치지 않도록 조정해야 한다.

⑦ HB에 서로의 PNID를 추가하여 CAP의 임의의 시간에 전송한다.

제안된 방식에서 사용될 HB 프레임과 HCB 프레임은 다음 <그림 7>과 같은 형식으로 되어 있다.

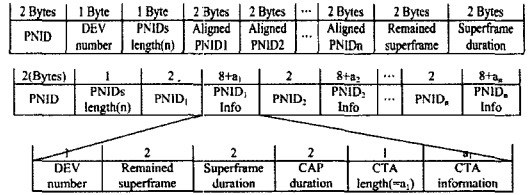


그림 7. HB 프레임과 HCB 프레임의 구조.

#### (a) HB 프레임의 구조

- PNID : PNC가 속해 있는 피코넷 ID
- 단말number : PNC가 속해 있는 피코넷에 가입되어 있는 단말 수
- PNIDs length : 이미 alignment가 완료된 주변 피코넷의 수
- Aligned PNID : 이미 alignment가 완료된 주변 피코넷의 ID
- Remained 수퍼프레임 : PNC가 속해 있는 수퍼프레임의 남은 시간
- 수퍼프레임 duration : PNC가 속해 있는 수퍼프레임의 길이

#### (b) HCB 프레임의 구조

- PNID : 단말이 속해 있는 피코넷 ID
- PNID length(n) : 수신된 HB의 개수
- PNID1~PNIDn : 수신된 HB의 송신 피코넷 ID
- PNID Info : 수신된 HB에 담긴 정보
  - n 단말 number : 피코넷에 가입되어 있는 단말수
  - n Remained 수퍼프레임 : 피코넷의 수퍼프레임 남은 시간
  - n 수퍼프레임 duration : 피코넷의 수퍼프레임의 길이
  - n CAP duration : CAP의 길이
  - n CTA length(=a<sub>n</sub>) : 피코넷에 배정된 CTA 정보의 길이
  - n CTA information : 피코넷의 CTA 정보



### V. 제안된 방식의 성능평가

본 장에서는 본 논문에서 제안한 ASCS 방식과 PHBA 방식의 성능평가를 하였다.

#### 5.1 모의실험 환경

본 논문의 모의 실험은 다음의 <표 1>과 같은 파라미터를 사용하여 모의실험 프로그램인 SIMULA를 통해 이루어졌으며 전송요류가 없는 채널로 가정하였다.

표 1. 모의실험 파라미터

파라미터	값
대역폭	11Mbps
수퍼프레임 길이	20ms
CAP 길이	10ms
CTAP 길이	10ms
평균 프레임 길이	100바이트
SCS/ASCS 방식에서의 단 말 수	8개

#### 5.2 ASCS 방식과 기존의 SCS 방식의 비교

<그림 8>은 기존의 SCS 방식과 제안된 ASCS 방식의 시간대별 전송효율의 모의실험값을 도시한 것이다. 두 방식 모두 PNC가 비정상적으로 종료되어 비컨 프레임이 전송되지 않을 때마다 전송률이 0으로 떨어졌다가 새로운 PNC의 선출로 인하여 전송률이 다시 복구 되지만 제안된 ASCS 방식이 기존의 SCS 방식보다 전송률의 회복속도가 빠르며, 평균 전송률도 20%정도 우수한 장점이 있다.

<그림 9>는 PNC가 정상적으로 비컨 프레임을 송신하였음에도 불구하고 PNC 선택순서를 가지고 있는 단말 중의 하나만 비컨 프레임을 수신하지 못한 상황에서의 시간대별 전송효율을 비교하여 도시

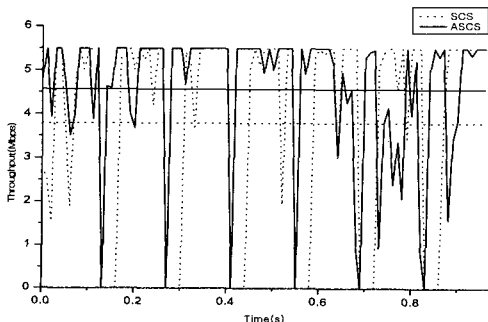


그림 8. SCS 방식과 ASCS 방식에서 시간대별 전송효율의 비교

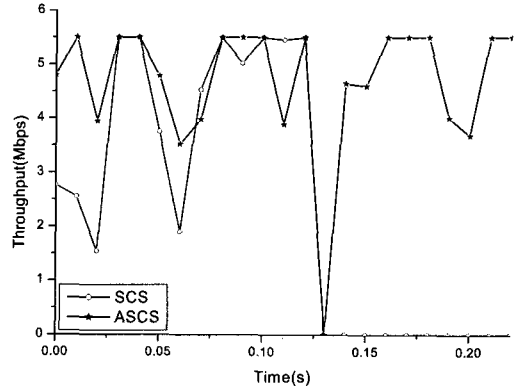


그림 9. SCS 방식과 ASCS 방식에서 비컨 프레임이 손상된 경우의 전송효율 비교

한 것이다. 기존의 SCS 방식의 경우, PNC 선택순서가 2인 단말이 우연히 비컨 프레임을 수신하지 못한 경우 자신의 PNC 선택순서를 감소시켜 하나의 피코넷에 PNC 선택순서가 1인 단말이 다수 존재하게 된다. 0.125초가 지났을 때 기존의 PNC가 비정상적으로 종료되어, 비컨 프레임을 전송하지 않게 되면 피코넷에 속한 모든 단말들이 통신을 할 수 없기 때문에 전송효율은 0으로 떨어진다. 기존의 SCS 방식의 경우 여러 개의 단말이 동시에 PNC가 되어 같은 주기로 비컨 프레임을 송신하여 연속적으로 비컨 프레임이 충돌하기 때문에 전송효율이 0으로 떨어져 회복되지 않는 단점이 있다.

그러나 제안된 ASCS 방식에서는 비컨 프레임이 유실된 경우에 단말은 PNC와 다른 단말들을 통해 PNC의 동작 여부를 확인하기 때문에 하나의 피코넷에 두 개 이상의 PNC가 동작하는 경우가 존재하지 않으므로, 하나의 단말만 PNC로 동작하여 비컨 프레임을 송신하여 전송효율이 보다 신속하게 정상적으로 회복된다.

#### 5.3 PHBA 방식과 기존의 비컨 프레임 정렬방식의 비교

<그림 10>은 본 논문에서 제안하는 PHBA 방식과 기존의 비컨 정렬방식의 평균 시스템 지연시간을 트래픽 부하 별로 비교하여 도시한 것이다. 시간에 따른 시스템 지연시간은 제안된 PHBA 방식이 가장 짧게 걸리며 피코넷에 속한 단말 수에 영향을 받지 않지만, 기존 비컨 정렬 방식의 경우, 피코넷에 속한 단말 수가 증가할수록 시스템의 지연시간이 증가하는 단점이 있음을 알 수 있다.

<그림 11>은 비컨 프레임의 충돌로 인해 비컨 프레임의 수신에 실패한 단말의 시간에 따른 전송

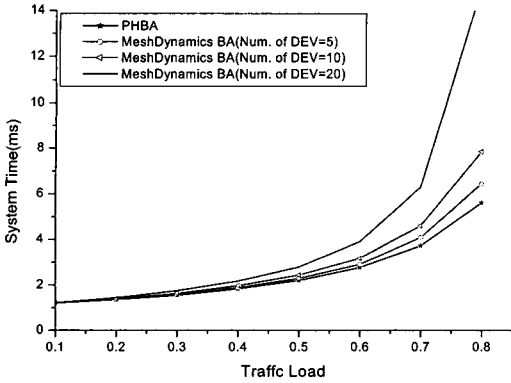


그림 10. 트래픽 부하에 따른 평균 시스템 지연시간의 비교

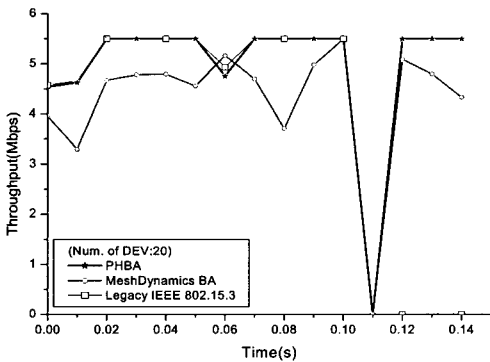


그림 11. 시간에 따른 전송효율의 비교

효율을 비교하여 도시한 것이다. 기존의 IEEE 802.15.3 WPAN의 경우에는 비컨 프레임의 충돌이 발생한 이후, 계속적으로 비컨 프레임을 손실하기 때문에 프레임을 전송할 수 없으나, 제안된 PHBA 방식과 메쉬다이나믹스사의 비컨 프레임 정렬방식을 사용하는 경우에는 모두 정상적으로 프레임을 전송할 수 있음을 확인할 수 있다. 특히, 메쉬다이나믹스사에서 제안된 비컨 정렬방식보다 본 논문에서 제안하는 PHBA 방식의 정상 상태에서의 전송효율이 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.3 표준의 MAC 기능을 분석한 후, 기존의 IEEE 802.15.3 표준에서 발생할 수 있는 PNC의 비정상적인 종료 시의 피코넷 와해 문제와 비컨 프레임의 충돌 현상에 대해 분석하였다. 또한 이를 해결하기 위해 기존에 제안되어 있었던 방식들을 분석하여 문제점을 도출한 후, 이를 개선하는 새로운 방식을 제안하고, 성능을

평가하였다.

본 논문에서 제안하는 IEEE 802.15.3 MAC 프로토콜의 개선 방안은 모두 두 가지로, 각각의 방식은 다음과 같다.

첫째로, 피코넷을 관리하던 PNC가 비정상적으로 피코넷을 떠나는 경우 PNC의 부재로 인한 피코넷의 와해로 발생할 수 있는 오버헤드를 줄이기 위해 기존에 제안된 방식인 SCS 방식의 문제점을 개선한 ASCS 방식을 제시하였다. 기존의 SCS 방식은 비컨 프레임의 손상이나 PNC와 특정 단말 사이의 일시적인 차폐막에 의한 통신 불능 시, 하나의 피코넷 안에 여러 개의 PNC가 동작할 수 있는 치명적인 문제점이 있다. 본 논문에서는 이를 개선하여, 비컨 프레임을 수신하지 못한 경우에 1씩 증가되는 LB값을 두어, LB값과 선택순서가 일치하는 단말이 PNC의 동작여부를 확인하고 다른 단말들의 비컨 프레임 수신여부를 확인하는 ASCS 방식을 제안하였다.

둘째로, 두 개 이상의 인접한 피코넷 사이의 단말이 두 PNC의 전파영역에 모두 포함되는 경우, 발생할 수 있는 비컨 프레임의 충돌문제를 해결하기 위해 PNC가 자신이 관리하는 피코넷과 주변의 피코넷의 정보를 담은 HB 프레임을 임의의 수퍼프레임 구간에 송신하여, 이를 수신한 단말을 통해 인접한 피코넷사이의 비컨 정렬을 수행하는 PHBA 방식을 제안하였다.

본 논문에서 제안되고 성능 평가된 두 가지 방식을 사용하여 WPAN을 구현하는 경우, 기존의 IEEE 802.15.3 WPAN에서 발생할 수 있는 PNC의 비정상적인 종료나 이탈로 인한 피코넷의 PNC부재 문제와 밀집한 피코넷 사이의 비컨 프레임 충돌 현상으로 인한 단말의 피코넷 이탈 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 효율적으로 대역을 사용할 수 있는 장점이 있다.

마지막으로, 제안된 방식은 WPAN규격에서 허용되는 프레임들을 활용할 수 있으므로, 구현성이 높은 장점이 있다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE 802.15.3 standard, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2003.
- [2] Won Soo Kim, Il Whan Kim, Seung Eun

Hong, and Chung Gu Kang, "A Seamless Coordinator Switching(SCS) Scheme for Wireless Personal Area Network", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 3, Aug., 2003.

- [3] MeshDynamics, Beacon Alignment White Paper. [http:// www.meshdynamics.com](http://www.meshdynamics.com)
- [4] Lidong Zhou, Zygmunt J. Haas, "Securing Ad Hoc Networks", *IEEE Network*, Vol. 13, No. 6, pp. 24-30, 1999.
- [5] S. Slijepcevic and M. Potkonjak, "Power Efficient Organization of Wireless Sensor Networks", *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 2, pp. 472-476, 2001.
- [6] D. Tian and N. D. Georganas, "A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks", *1st ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, 2002.
- [7] X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. D. Gill, "Integrated Coverage and Connectivity Configuration in Wireless Sensor Networks", *First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2003.
- [8] J. Wu and H. Li, "On Calculating Connected Dominating Set for Efficient Routing in Ad Hoc Wireless Networks", *3rd International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications*, pp. 7-14, 1999.
- [9] J. Wu, F. Dai, M. Gao, and I. Stojmenovic, "On Calculating Power-Aware Connected Dominating Sets for Efficient Routing in Ad Hoc Wireless Networks", *Journal of Communications and Networks*, Vol. 1, pp. 1-12, 2002.
- [10] 정현주, 김성희, 조무호, 이정태, "고속 WPAN에서 PNC 핸드오버를 위한 PNC선택방안 연구", 제 14회 통신정보 합동 학술대회, 2004.

**남 혜 진 (Hye-Jin Nam)**

학생회원



2004년 2월 한국항공대학교 항공 전자정보통신공학부 졸업 (공학사)

2006년 2월 한국항공대학교 항공 전자정보통신학과 대학원 졸업(공학석사)

2006년 3월~현재 삼성전자 근무

<관심분야> 유무선통신망 설계 및 성능분석

**김 재 영 (Jae-Young Kim)**

정회원



1990년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 2월 연세대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)

1996년 2월 연세대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학박사)

1999년 3월~현재 한국전자통신

연구원, 선임연구원

<관심분야> 무선통신망(WPAN)

**전 영 애 (Yong-Ae Jun)**

정회원



1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2001년 2월 충남대학교 정보통신공학과 대학원 졸업(공학석사)

2000년 9월~현재 한국전자통신연구원, 선임연구원

<관심분야> 무선통신망(WPAN)

**이 형 수 (Hyung-Soo Lee)**

정회원



1980년 2월 경북대학교전자공학과 졸업(공학사)

1995년 2월 성균관대학교전자공학과 대학원 졸업(공학박사)

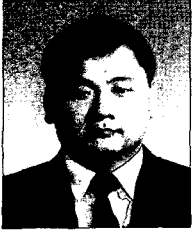
1983년 2월~현재 한국전자통신연구원, (책임연구원)

<관심분야> 전파전파특성, 스펙

트럼관리, 무선전송

김 세 한 (Se-Han Kim)

정회원



1998년 2월 한국항공대학교 항공전자정보통신공학부 졸업(공학사)

2000년 2월 한국항공대학교 항공전자정보통신공학과 대학원 졸업(공학석사)

2000년 9월~현재 한국전자통신

연구원, USN전송기술연구팀(선임연구원)

<관심분야> 센서통신망 설계 및 성능분석

윤 증 호 (Chong-Ho Yoon)

종신회원



1984년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1991년 9월~현재 한국항공대학교 항공전자정보통신공학부 교수

<관심분야> 유무선통신망 설계 및 성능분석