

# WPAN 피코넷 자동 구성에 대한 연구

(Study of Piconet Auto-Configuration for WPAN)

조무호\*

(Moo-Ho Cho)

## 요 약

WPAN(Wireless Personal Area Networks)에서는 현재 동작중인 PNC(Piconet Coordinator)가 피코넷을 떠나거나 종료하고자 할 때, 피코넷 내의 PNC 능력을 가진 디바이스에게 PNC 역할을 양도할 수 있다. 그러나 WPAN의 권고안에서는 PNC 핸드오버를 위한 PNC 후보 선택에 대해서는 디바이스 성능 정보를 비교하여 선택하는 방안만을 기술되어 있으며, 이에 대한 구체적인 선택 방법은 포함하고 있지 않다. 본 논문에서는 피코넷 PNC가 피코넷 내의 다른 디바이스에게 PNC 기능을 양도하게 될 때에 피코넷의 데이터 처리성능을 최적화 될 수 있게 PNC 수용 디바이스 개수와 밀집도를 고려하여 PNC를 선택하는 방안에 대해 제안한다. 수치 해석의 결과에서 보면 디바이스들이 집중되어 있을수록 평균 데이터 처리량이 증가되는 것을 나타내었고, 최고 두 배까지 향상되었다. 따라서 PNC 후보 선발전시 서비스 디바이스 개수와 밀집도를 같이 고려해야만 피코넷 성능을 높일 수 있다.

## Abstract

If the PNC is shutting down or wants to leave the WPAN, it uses the handover process to give control to another device in the piconet. However when the PNC is selected, only the device capability information is checked in the WPAN standard specification and no detail criteria is described. In this paper, the PNC selection method with considering the number and density of device to maximize the piconet data throughput in the WPAN is studied. From the numerical analysis results, the considering with the devices concentration has higher data throughput compared with the uniform distribution. For the efficient performance, the device distribution within the piconet should be considered in the PNC selection.

Key Words : IEEE 802.15.3, WPAN, Adhoc, Piconet, PNC, Auto-configuration

## 1. 서 론

최근 수년 동안 무선 통신 연결에 대한 수요가 급증하는 추세이다. 특히 WLAN(Wireless Local Area Network) 분야가 이러한 증가를 주도하는데, 인터넷 서비스에서의 데이터 교환의 증가에 기인된 것이다[1]. 이러한 서비스를 제공하는 기능들은 네트워크

\* 주저자 : 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수  
Tel : 054-770-5277, Fax : 054-744-5293  
E-mail : mhcho@kju.ac.kr  
접수일자 : 2005년 6월 22일  
1차심사 : 2005년 6월 28일  
심사완료 : 2005년 7월 21일

## WPAN 피코넷 자동 구성에 대한 연구

에서 점점 증가되는 데이터 처리량을 요구하는데, 현재 개발 중인 홈네트워크를 위한 무선 멀티미디어 전송과 같은 응용의 데이터 처리량 증가 예로 보면 이러한 경향이 계속 될 것이 예측된다. WLAN은 이러한 현상의 좋은 예를 보여준다. 초기의 IEEE WLAN 표준 802.11은 데이터 전송률이 2[Mbps]이었는데[2], 요즘은 802.11b에서는 11[Mbps][3], 802.11a에서는 54[Mbps]의 데이터 전송률을 제공한다[4]. 그러나 무선 네트워킹 시장이 본격적으로 성장하려면 현재의 대역폭 속도의 WLAN 기술로는 고품질 동영상 서비스를 제공하기 위한 멀티미디어 응용을 처리하는 능력이 부족하다는 의문이 제시되고 있으며, 이를 대체 및 보완하기 위한 기술의 요구가 가전업계와 칩 제조업계를 중심으로 높아지고 있다[5].

최근에는 WPAN(Wireless Personal Area Networks)이 이러한 요구사항들을 만족시킬 수 있는 기술 중의 하나로 고려되고 있다[6]. WPAN은 10[m]이내의 단거리에 놓여 있는 컴퓨터와 주변기기, 이동단말기, 가전제품 등을 상호 무선 네트워크로 연결하여 기기간 양방향 통신을 이루어 다양한 응용분야를 지원하는 기술이다. WPAN은 기존의 무선 네트워킹 시스템들과는 달리 네트워크 인프라를 최소한으로 요구되며, 네트워크 인프라가 없는 경우에도 단말기 간의 통신으로 네트워킹이 가능한 시스템이다. 또한 다른 무선 네트워크에 비해 멀티미디어 통신을 다양한 장치에 비용이 저렴하면서도 전력 효율이 좋게 용이하게 구현할 수 있다는 장점이 있다[7].

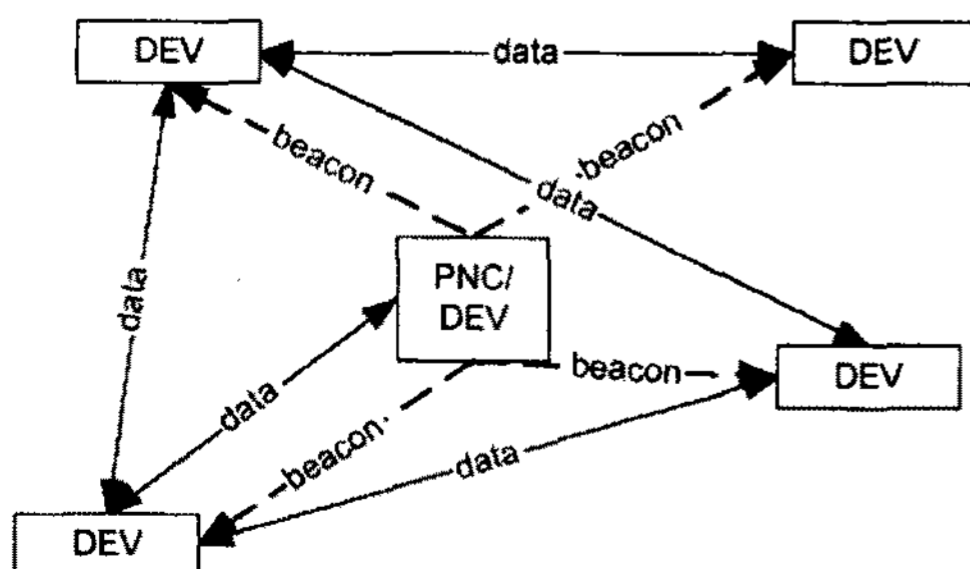


그림 1. IEEE 802.15.3 WPAN 피코넷 구성요소  
Fig. 1. IEEE 802.15.3 WPAN piconet elements

WPAN은 정지하거나 움직이고 있는 여러 개의 데이터 디바이스(DEV)들이 서로 통신할 수 있도록 하는 데이터 통신 시스템이다. WPAN의 기본 요소는 디바이스이며, 2개 이상의 디바이스가 개인통신 영역 내에서 동일한 물리채널로 통신하면 피코넷(Piconet)이 구축된다. 이때 한 디바이스는 PNC(Piconet Coordinator) 역할을 수행해야 하며, PNC는 WPAN 피코넷의 기본 타이밍을 제공하고 QoS 요구사항을 제어한다[8].

WPAN 피코넷은 미리 계획되어 설계되는 것이 아니고, WPAN이 필요할 때 형성되는 Adhoc 네트워크이다. Adhoc 네트워크 내의 디바이스들은 언제, 어디서나 중앙 네트워크 인프라의 도움 없이도 디바이스간 통신을 할 수 있다. 또한 자유롭게 네트워크에 접속하거나 이탈하기도 하고, 네트워크 내에서 수시로 위치를 변경함에 따라, 네트워크의 접속형태(topology)도 이에 따라 수시로 변경된다. 이러한 환경에서 이동 중인 디바이스의 중단 없는 통신을 보장하기 위해서 각 디바이스는 스스로 동작 중인 네트워크나 디바이스들을 검출하고 접속을 변경할 수 있는 자동구성(Auto-configuration) 기능이 있어야 한다. 기존 고정된 네트워크에서는 배터리 전원을 모두 소모한 디바이스는 기능을 중단함으로써 인해 네트워크에 지대한 영향을 미치지만, 자동구성에서는 동작을 중단하기 전에 대신할 디바이스가 존재하는 경우에는 다른 디바이스에게 핸드오버 하여 기능을 계속하게 할 수 있다. 또한 대신할 디바이스가 없는 경우에도 자신과 관련된 라우팅 설정들을 변경한 후에 동작을 중단하기 때문에 네트워크에 최소한의 영향을 미친다.

WPAN에서는 현재의 PNC가 피코넷을 떠나거나 종료하고자 할 때, 피코넷 내의 PNC 능력을 가진 디바이스에게 PNC 역할을 양도할 수 있다. 또한 신규 디바이스가 피코넷에 참여할 때 PNC는 신규 디바이스의 능력을 점검하여, 현재의 PNC 보다 더 능력이 우수하고, 정책적으로 핸드오버가 허가되는 경우에 PNC 역할을 신규 디바이스에게 양도할 수 있다. 그러나 IEEE 802.15.3 WPAN 권고안에서는 PNC 핸드오버를 위한 PNC 후보 선택에 대해서는 디바이스 성능(capability) 정보만을 고려하고 있으며, 이에 대

한 명확한 선택 방법은 포함하고 있지 않다.

본 논문에서는 피코넷 PNC가 피코넷 내의 다른 디바이스에게 PNC 기능을 양도하게 될 때에 피코넷의 성능을 최적화 될 수 있게 PNC를 선택하는 방안 에 대해 제안한다. 본 논문의 구성을 살펴보면, 제II 장에서는 PNC 선택 방안, 제III장에서는 제안 방안 에 대한 피코넷 성능을 분석하기 위한 수치 해석을 하였고, 제IV장에서는 결론을 기술하였다.

## 2. 피코넷 코디네이터 선발 방안

### 2.1 디바이스 개수를 고려한 PNC 선발

피코넷에 참여한 디바이스들은 기본적으로 PNC 가 방송하는 비이컨 프레임을 수신하여 동기화되고, PNC로부터 채널을 할당 받아 데이터를 송수신하기 때문에 PNC의 위치에 따른 무선 통달 영역은 피코 넷에 참여하는 디바이스를 결정하는데 직접적인 영 향을 끼친다[9]. 그림 2는 피코넷에서 PNC 후보 디 바이스 위치에 따른 무선 커버리지(Coverage) 영역 을 나타낸 그림이다.

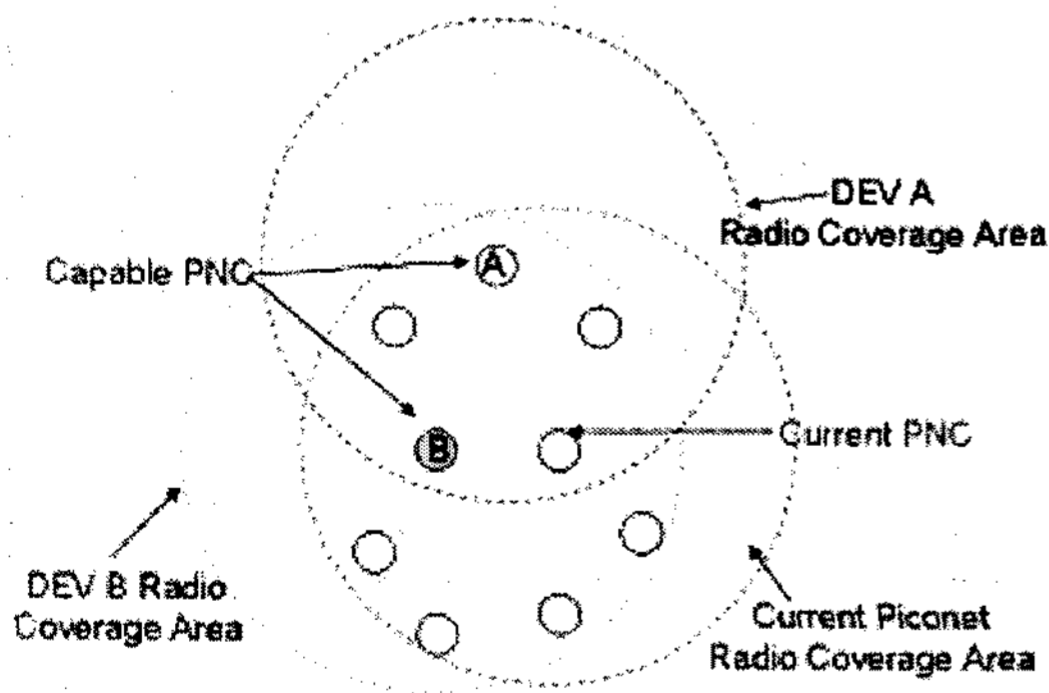


그림 2. PNC 위치에 따른 무선 커버리지 영역  
Fig. 2. Radio coverage area according to PNC location

그림에서 보는 바와 같이 현재 PNC 외에 PNC 능 렷을 가진 후보 디바이스가 2개(A와 B) 있는 경우 에, 각각 후보 디바이스의 위치에 따라 무선 커버리 지 영역이 존재하게 되며, 이에 따라 후보 디바이스 별로 관리할 수 있는 디바이스의 수가 달라진다. 만

약 비교적 중앙에 위치한 후보 디바이스 B가 PNC로 선택되면, 피코넷의 모든 멤버를 관리할 수 있지만, 피코넷의 한쪽에 치우친 후보 디바이스 A가 선택되 면 4개의 디바이스에 대해 연결을 상실하게 된다. 이 러한 문제는 PNC를 선택할 때 후보 PNC와 멤버 디 바이스간의 무선 통달 영역을 고려하지 않을 때 발 생할 수 있는 결과이다.

### 2.2 RSSI를 고려한 PNC 선발

무선통신에서 통신하고자 하는 두 디바이스들은 서로간의 통달 범위 내에 위치해야 통신이 가능하며, 지원하는 통신 속도도 디바이스간 전파의 수신감도 에 따라 달라진다[10].

Ad-hoc 네트워크인 WPAN에서는 PNC에 의해 동기화 되어 네트워크가 생성 및 관리되고, PNC를 통해 외부 네트워크와 통신하기 때문에 PNC와 일반 디바이스간의 트래픽은 전체 피코넷의 성능에 커다 란 영향을 끼칠 수 있다. 그림 3은 이러한 PNC에 의 한 피코넷 성능을 나타낸다.

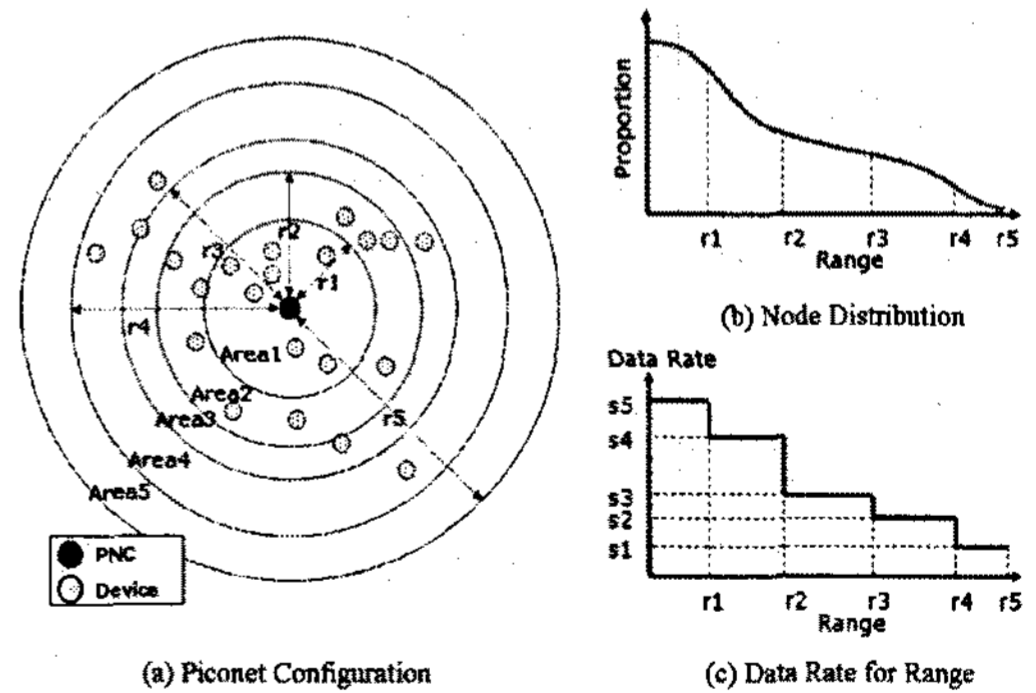


그림 3. PNC와 디바이스간 데이터 트래픽 성능  
Fig. 3. Data traffic performance between PNC and DEVs

그림 3a는 피코넷 구성을 나타낸다. 이때 피코넷 에서 PNC와 일반 디바이스간의 통신은 그 디바이 스가 위치한 거리( $r_i, i=1, 2, \dots, 5$ )별로 영역에 따라 지원되는 속도가 달라진다. 이것을 일반화하여 표현 하면, 디바이스 분포는 그림 3b의 예와 같은 형식의 디바이스 분포 확률로 표현되며, 영역별 지원 속도

는 그림 3c에서 보는 바와 같은 형태의 거리별 지원 속도로 표현될 수 있다. 이때 디바이스 확률 분포 함수  $P_i$ 는 수식 (1), 그리고 거리별 지원속도  $S_i$  ( $i=1,2, \dots, 5$ )는 수식 (3)과 같은 상관관계를 가진다.

$$P_i = P(r_{i-1} \leq x \leq r_i), \text{ (where } r_0=0) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^5 P_i = 1 \quad (2)$$

$$S_1 > S_2 > S_3 > S_4 > S_5 \quad (3)$$

이러한 조건하에서 PNC와 일반 디바이스간의 데이터 처리량, 즉 새로운 PNC 선발에 따른 피코넷 처리량 DT는 수식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} D_T &= S_1 \times P(x \leq r_1) \times r_1^2 \\ &+ S_2 \times P(r_1 < x \leq r_2) \times (r_2^2 - r_1^2) \\ &+ S_3 \times P(r_2 < x \leq r_3) \times (r_3^2 - r_2^2) \\ &+ S_4 \times P(r_3 < x \leq r_4) \times (r_4^2 - r_3^2) \\ &+ S_5 \times P(r_4 < x \leq r_5) \times (r_5^2 - r_4^2) \\ &= \sum_{i=1}^5 S_i \times P_i \times (r_i^2 - r_{i-1}^2) = \sum_{i=1}^5 S_i \times n_i \quad (4) \end{aligned}$$

여기에서  $n_i$ 는 피코넷 내의 세부 영역별 디바이스 개수이다. 수식에서 표현된 네트워크의 데이터 처리량은 세부 영역별 지원 속도인  $S_i$ 와 영역별 디바이스 개수인  $n_i$ 의 곱으로 정의된다. 여기서 영역의 지원속도  $S_i$ 는 모뎀기술에 의해 결정되는 고정된 값임으로  $n_i$ 에 따라 피코넷 성능이 결정된다. 따라서 PNC가 고속의 속도를 지원할 수 있도록 후보 PNC와 근접한 영역에 보다 많은 디바이스가 위치하고, 또한 PNC의 무선 서비스 영역 내에 가급적 많은 디바이스가 존재할 때 성능은 극대화된다. 즉 기존 피코넷에 참여중인 디바이스를 최대한 포함하고, 디바이스 밀집된 영역에 위치하는 디바이스를 신규 PNC로 선택하는 것이 가장 효과적인 피코넷 성능을 보장할 수 있다.

일반적으로 무선 데이터통신에서는 전파 환경에 따라 송수신 데이터의 속도가 결정된다. 즉 각 디바이스에서 수신되는 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 이용하면 송수신 채널 환경을 예측 가능하고, 이에 따라 최대 전송 데이터 속도도 결정되

어진다. PNC 선발시에 RSSI 값을 이용하면 어느 PNC 후보 주변에 디바이스들이 더 밀집해 있는가를 판단 가능해진다[11]. 밀집 지역에서 PNC가 선발되게 되면 PNC 주변의 디바이스들은 우수한 채널 환경으로 고속으로 데이터 전송이 가능해지고, 피코넷 전체의 데이터 처리량도 향상되게 된다.

### 3. 수치해석

본 절에서는 PNC 위치에 따른 관리 디바이스 개수와 영역별 디바이스 개수의 변화가 피코넷 데이터 처리량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수치해석을 수행하였다. 피코넷 데이터 처리량을 시험하기 위해서는 피코넷의 디바이스 분포와 디바이스간 거리에 따른 지원속도에 대한 가정이 필요하다. 현재 고속 WPAN 모뎀은 개발 중인 상황이기 때문에, 거리별 적용속도는 WPAN 기술과 유사한 인텔사의 WLAN 실측 데이터를 참고하여 표 1과 같은 수치적용 기준을 가정하였다[12].

표 1. 데이터 전송 속도  
Table 1. Data transmission rate

범 위	Speed ([Mbps])	802.11a ([m])	거리 ([m])
Center Area	53	9	6
1-Tier Area	48	17	18
2-Tier Area	36	30	30
3-Tier Area	24	35	42
4-Tier Area	18	39	54
5-Tier Area	12	68	66

지원 속도는 802.11a를 인용하였으며, 거리는 802.11a를 근거로 균등한 거리비율로 배분하여 6[m], 18[m], 30[m], 42[m], 54[m], 66[m] 등의 총 6개의 세부 영역으로 가정하였다. 이때 각 세부 영역 내에서 디바이스 분포는 균등하다고 가정한다.

본 수치해석에서 사용하는 피코넷 내의 세부 영역 구조는 시험의 용이성을 위하여 육각형으로 분할하여 가정하였다. 디바이스간 거리에 따라 지원되는 속도가 다른 특성에 따른 피코넷 성능만을 조사하기



위해 그림 4와 같이 피코넷 내에 한쪽에 치중하여 밀집해 있는 특정한 분포를 대상으로 수치해석을 실시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 이 분포의 특정 구간에서는 PNC 위치가 변경되어도 서비스 영역에서 디바이스가 제외됨이 없도록 배치하여 PNC와 디바이스간 거리에 따른 속도 지원 특성에 따른 성능 변화만을 관찰할 수 있도록 하였다. 그림 5는 이러한 디바이스 분포에 따라 실제 디바이스를 셀에 배치한 그림이다.

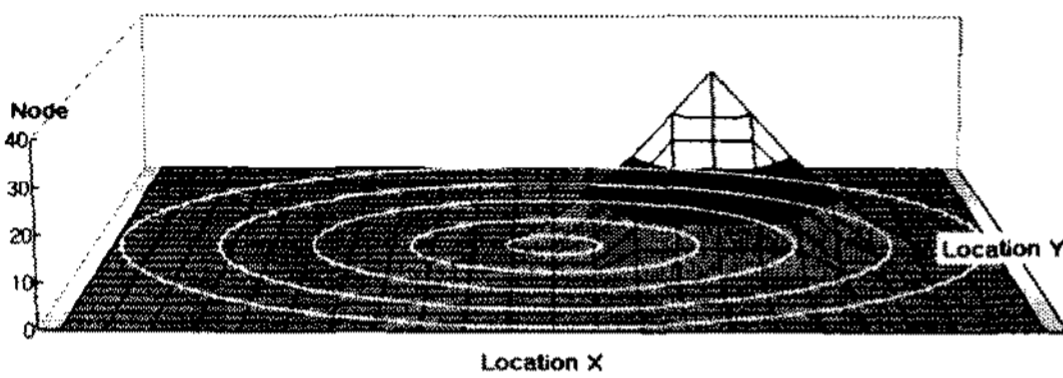


그림 4. 임의 분포에 따른 디바이스 3차원 배치도  
Fig. 4. 3-dimension Device displacement according to arbitrary distribution

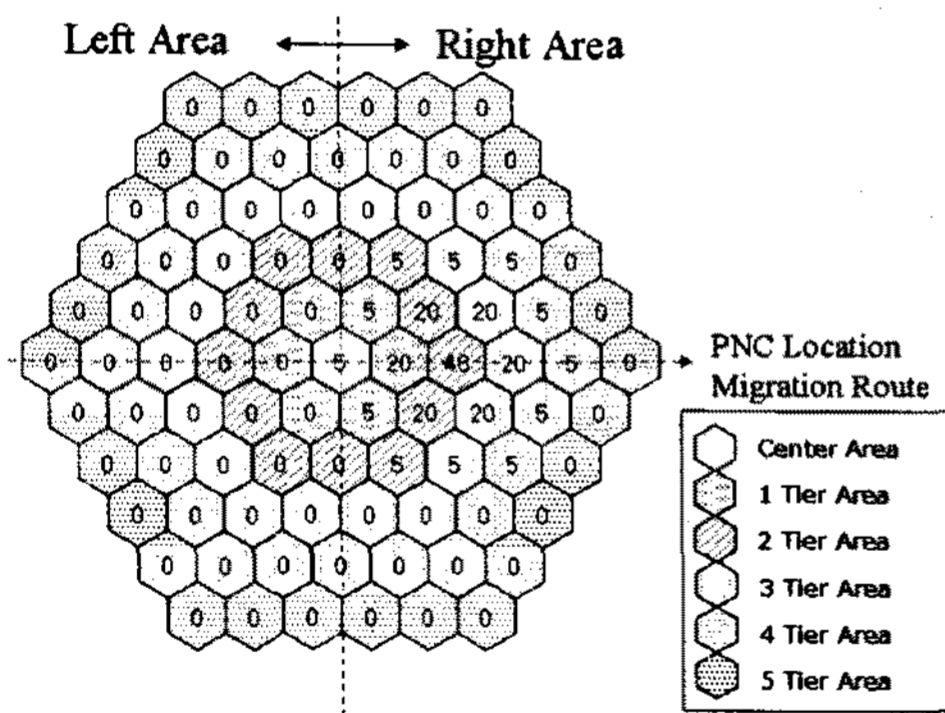


그림 5. 임의 분포에 따른 디바이스 배치도  
Fig. 5. Device displacement according to arbitrary distribution

임의의 특정 분포도에서의 시험방법은 그림에서 보는 바와 같이 PNC 선발 위치를 좌측 가장자리 영역 셀에서 피코넷 중심을 통과하여 우측 가장자리 영역 셀로 이동시키면서 피코넷에 포함되는 디바이스 비율 및 PNC와 디바이스간에 처리되는 평균적인 데이터속도를 조사하였다. 그림 6은 이러한 시험에 의하여 관찰된 피코넷 디바이스 수용 비율과 PNC와 디바이스간 평균 데이터처리속도를 나타낸 그림이다. 좌측의 5계층에서 2계층 영역까지의 위치에서는

디바이스수용비율 및 평균속도가 증가되었고, 좌측 1계층 영역에서 우측 5계층까지의 영역에서는 PNC 위치 변화에도 디바이스 수용 비율에는 변화가 없는 구간으로, PNC와 디바이스간 거리에 따른 속도 지원 특성에 따라 평균데이터처리속도가 22.9[Mbps]에서 45.6[Mbps]까지 대략 두배로 증가하는 변화를 보였다. 밀집도가 가장 높은 우측 2계층 영역에서 가장 높은 평균속도가 계산되었다.

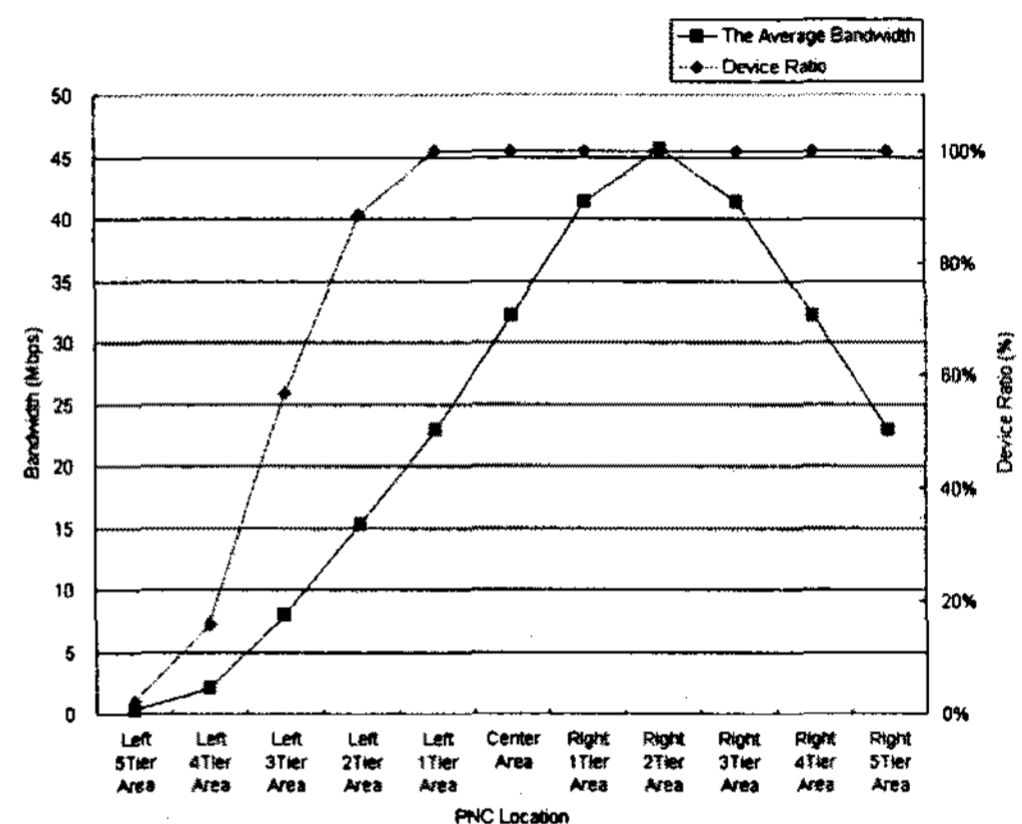


그림 6. 디바이스 수용 비율과 평균데이터처리속도  
Fig. 6. Device ratio and average bandwidth

결과적으로 PNC와 디바이스간의 거리에 따라 지원되는 속도가 상이한 경우에, 밀집된 지역에서 PNC를 선발하는 경우에는 대략 100[%]의 성능향상을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다. 이상의 수치해석을 통하여 피코넷 성능모델에서 유도한 결과와 동일한 다음의 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, PNC가 관리하는 디바이스 개수가 많을수록 피코넷 성능이 더 우수하다. 이러한 관리 디바이스의 개수의 극대화는 PNC와 관리 디바이스간의 통신가능성을 점점함으로써 가능하다. 둘째, PNC와 가까운 영역으로 디바이스 밀집도가 높을수록 피코넷 성능이 더 우수하다. 이러한 PNC와 가까운 영역에 디바이스 밀집도는 RSSI를 이용하여 판별이 가능하다

#### 4. 결 론

WPAN은 비교적 짧은 거리에서 복잡도가 높지 않은 디바이스간 정보 전달을 위한 무선접속 기술로

써 IEEE 802.15 표준화 그룹을 중심으로 연구되고 있다. WPAN은 Ad-hoc 네트워크로써 피코넷을 구축할 때, PNC에 의해 동기화 되어 네트워크가 생성 및 관리되고, PNC를 통해 외부 네트워크와 통신하기 때문에 PNC와 일반 디바이스간의 트래픽은 전체 피코넷의 성능에 커다란 영향을 끼칠 수 있다.

본 논문에서는 피코넷 PNC가 피코넷 내의 다른 디바이스에게 PNC 기능을 양도하게 될 때에 피코넷의 성능을 최적화 될 수 있게 PNC를 선택하는 방안 에 대해 제안한다. 수치 해석의 결과에서 보면 디바이스들이 집중되어 있을수록 평균 데이터 처리량의 증가되는 것을 나타내었다. 즉 단순히 서비스 디바이스 개수만을 고려한 것에 비해 디바이스 밀집도를 고려한 경우의 데이터 처리량이 두배 이상 증가되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 PNC 후보 선발전시 서비스 디바이스 개수와 밀집도를 같이 고려해야만 피코넷 성능을 높일 수 있다.

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2004-000-12120-0). 관계부처에 감사드립니다.

### References

[1] Edgar H, Callaway, "Wireless Sensor Networks: architectures and protocols," CRC Press LLC, 2003.  
 [2] ANSI/IEEE Std. 802.11, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999 Edition.  
 [3] Chris Heegard et al., "High Performance Wireless

Ethernet," IEEE Commun., v.39, n.11, pp. 64-73, Nov. 2001.  
 [4] IEEE Std. 802.15.3 "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs)," IEEE, Sep. 2003.  
 [5] 전자신문, "e테크 : 초광대역(UWB) 기술-짧고 강한 진동," 2002. 8. 28.  
 [6] Per Johansson, Johan Sorensen, "Ad-hoc IP Networks over Bluetooth," Ericsson.  
 [7] Oksun Park, JungRak Ha, and SungHee Kim, "High Rate WPAN Tend," ETRI Weekly Technology Trends, Feb. 2002.  
 [8] Pierre T. Candolfo, "Trade-Off Analysis (802.11e versus 802.15.3 QoS mechanism) White Paper," XtremeSpectrum Inc., Jul. 2002.  
 [9] Shige Sugaya, Kaz Takamura, and Masa Akahane, "A proposal to add geographical coverage based criteria to PNC selection," IEEE 802.15-01/304r3, 10. Sep. 2001.  
 [10] Dennis J. Baker, Anthony Ephremides, and Julia A. Flynn, "The Design and Simulation of a Mobile Radio Network with Distributed Control," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol. SAC-2, NO. 1, Jan. 1984.  
 [11] HeonJu Jeong, Mocho Cho, SungHee Kim, DaeSik Kim, and JungTae Lee, "PNC Candidate Inquiry Method For PNC Handover on WPAN," PIMRC 2004, Sep. 2004.  
 [12] Intel, "802.11a Scalable 5GHz Wireless LAN," Intel Corporation, 2001.

### ◆ 저자소개 ◆

#### 조무호 (趙茂昊)

1957년 7월 18일생. 1980년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1989년 8월 청주대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 2월 충북대학교 대학원 정보통신과 졸업(박사). 1983년 3월~2000년 2월 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원. 2000년 3월~현재 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수.