

# Fingerprinting 무선측위 알고리즘을 이용한 영역 기반의 주파수 간섭 관리 기법

홍 애 란\*, 김 광 열\*, 양 모 찬\*, 오 선 애\*, 정 홍 규\*, 신 요 안°

## Location-based Frequency Interference Management Scheme Using Fingerprinting Localization Algorithms

Aeran Hong\*, Kwangyul Kim\*, Mochan Yang\*, Sunae Oh\*, Hongkyu Jung\*, Yoan Shin°

### 요 약

미래의 지능형 공장 환경은 관리자가 M2M (Machine-to-Machine) 통신을 이용하여 원격으로 공장 안의 기기들의 동작 상태와 환경을 인지하고 관리하는 것을 목표로 하고 있다. 하지만, 공장 안에서 사용하는 통신 프로토콜인 WLAN (Wireless Local Area Network), ZigBee, Bluetooth 등은 동일한 ISM (Industrial Scientific Medical) 대역을 사용하기 때문에 상호 간섭이 발생하게 된다. 본 논문에서는 Fingerprinting 무선측위 기술을 이용하여 영역 기반으로 주파수를 할당하는 기법을 제안한다. 그리고 일반적인 기법이 가지고 있는 측위 성능의 문제점을 개선하기 위하여,  $k$ -NN (Nearest Neighbor) 알고리즘을 적용하고 또한 이를 기반으로 한 새로운 기법도 제안한다. 모의실험 결과를 통해 제안된 무선측위 알고리즘이 다른 기법들보다 측위 성능의 오차가 감소하였으며, 궁극적인 목표로 하고 있는 채널 간섭을 또한 향상되었기에 주파수의 간섭을 보다 효율적으로 관리할 수 있다는 결론을 얻었다. 아울러 지속적인 위치 추정을 통하여 공장 환경 내 안전도 보장할 수 있음을 확인하였다.

**Key Words** : Fingerprinting, M2M, Wireless Localization, ISM, Frequency Interference, RSS,  $k$ -NN

### ABSTRACT

In an intelligent automated manufacturing environment, an administrator may use M2M (Machine-to-Machine) communication to recognize machine movement and the environment, as well as to respond to any potential dangers. However, commonly used wireless protocols for this purpose such WLAN (Wireless Local Area Network), ZigBee, and Bluetooth use the same ISM (Industrial Science Medical) band, and this may cause frequency interference among different devices. Moreover, an administrator is frequently exposed to dangerous conditions as a result of being surrounded by densely distributed moving machines. To address this issue, we propose in this paper to employ a location-based frequency interference management using fingerprinting scheme in industrial environments and its advanced localization schemes based on  $k$ -NN (Nearest Neighbor) algorithms. Simulation results indicate that the proposed schemes reduce distance error, frequency interference, and any potential danger may be responded immediately by continuous tracing of the locations.

---

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT-융합 고급인력과정 지원사업 (NIPA-2012-H0401-12-1004)의 지원 결과임.  
 ◆ 주저자 : 송실대학교 대학원 정보통신공학과, aeran521@ssu.ac.kr, 준회원  
 ° 교신저자 : 송실대학교 정보통신전자공학부, yashin@ssu.ac.kr, 중신회원  
 \* 송실대학교 대학원 정보통신공학과, kky1117@ssu.ac.kr, ymc0124@ssu.ac.kr, sunae0814@ssu.ac.kr, hkjung00@ssu.ac.kr  
 논문번호 : KICS2012-10-484, 접수일자 : 2012년 10월 8일, 최종논문접수일자 : 2012년 10월 22일

## I. 서 론

이동통신 기술의 혁신적인 발달과 더불어 스마트폰 사용자의 급증으로 인해 위치 기반 서비스 (Location Based Service; LBS)의 제공을 위한 무선측위 (Wireless Localization) 기술 및 다양한 애플리케이션이 개발되고 있다<sup>[1]</sup>. 일찍이 이러한 위치 정보 제공을 위한 기술로는 위성망을 이용한 GPS (Global Positioning System)와 이동통신망 기반의 광역 무선측위 기술이 있으며, 근래에는 실내외에서 WLAN (Wireless Local Area Network), ZigBee, Bluetooth 등을 이용한 무선측위 기법의 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[2]</sup>. 특히, 최근에는 기계와 IT 기술이 결합하여 사람과 사물에 대한 각종 정보를 제공해 주는 M2M (Machine-to-Machine) 통신에서도 무선측위를 이용한 실시간 위치 정보를 제공하는 것이 중요한 역할로 고려되고 있다<sup>[3]</sup>. 미래의 공장 환경은 점차 지능형 자율 생산으로 진행되고 있으며, 이 공장의 관리자는 M2M 통신 및 무선측위 기술을 이용하여 공장 내 기기들의 동작 상태와 위치, 환경을 인지하고 관리하는 것을 목표로 하고 있다<sup>[4]</sup>. 하지만, M2M 공장 환경에서 사용할 수 있는 WLAN, Bluetooth, ZigBee 등은 ISM (Industrial Scientific Medical) 대역을 공유하여 사용하고 있기 때문에 기기들 간에 주파수 간섭이 발생 하게 되며, 이러한 간섭 현상으로 인하여 통신 불능이나 통신 오류로 인한 품질 저하 및 지연 등 성능 저하를 발생시킬 수 있다<sup>[5]</sup>.

이렇게 M2M 통신 환경에서 발생하는 신호 주파수 간섭을 효율적으로 관리할 수 있는 기법들에 대해 연구가 필요한 실정이다. 주파수 간섭 문제를 효과적으로 해결하기 위한 방법으로 인지 라디오 (Cognitive Radio)<sup>[6]</sup>, 전력 제어 (Power Control)<sup>[7]</sup>, 빔 형성 (Beamforming)<sup>[8]</sup> 등의 기법들이 있지만, 본 논문에서는 기존의 기법들과 차별성 있는 접근 방식으로서 영역을 기반으로 하고 여기에 고정밀 위치 정보를 제공하는 Fingerprinting 무선측위 기술을 결합한 새로운 기법을 제안한다. 이 기법은 사용자 또는 기기가 위치한 영역을 추정하고, 추정된 영역을 기반으로 주파수를 할당하여 주파수가 혼재되어 있는 공장 환경에서 무선기기들 간의 상호 간섭으로 인한 오류 발생을 최소화 하고 주파수를 효율적으로 관리할 수 있다.

또한, 본 논문에서 제안한 주파수 간섭 관리 기법은 무선측위 정밀도에 영향을 받게 된다. 특히,

일반적인 Fingerprinting 기법은 DB (Database)에 저장된 위치 좌표 중에서 임의 노드의 수신 신호 세기 (Received Signal Strength; RSS) 벡터값과 가장 가까운 1개의 샘플 포인트만을 이용하여 임의 노드의 위치를 추정하기 때문에, 실제 임의 노드와의 측위 오차가 크게 발생할 수 있다. 최근 이러한 일반적인 기법의 측위 성능의 문제점을 보완하기 위한 방안으로  $k$ -NN (Nearest Neighbor) 알고리즘을 통한 다수의 RSS 샘플 포인트를 이용하는 기법들이 제시된 바 있다<sup>[9,10,11,12]</sup>. 따라서, 본 논문에서는 일반적인 기법과  $k$ -NN 알고리즘을 기반으로  $k$ 개의 평균값을 이용하는 기법<sup>[12]</sup>, 그리고 본 논문에서 제안하는 RSS 벡터값의 비율을 이용하는 측위 기법을 제안된 주파수 간섭 관리 기법에 적용함으로써 각 무선측위 기법에 따른 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 주파수 간섭 관리 기법을 정리하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 주파수 간섭 관리 기법 및 정밀도 향상 무선측위 기법을 자세하게 설명한다. IV장에서는 모의실험을 통하여 제안된 기법과 기존의 기법들의 성능을 평가하고, 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

## II. 기존의 주파수 간섭 관리 기법

기존의 전형적인 주파수 간섭 관리 기법에는 인지 라디오와 전력 제어, 그리고 빔 형성 기법 등이 있다.

우선 인지 라디오 기술은 주파수를 할당 받은 1차 사용자 (Primary User)가 해당 주파수를 사용하지 않을 경우, 2차 사용자 (Secondary User)가 1차 사용자에게 간섭을 주지 않고 해당 주파수를 사용할 수 있는 기법이다<sup>[6]</sup>. 이 기법을 통해 비어있는 주파수 대역을 적절하게 사용함으로써 주파수 자원 부족의 문제를 완화시킬 수 있으며, 상황 인지적인 능력에 의해 한정된 주파수 자원을 시간, 공간 (Space), 지역에 (Region)에 따라 재사용 할 수 있어 간섭을 피하면서 주파수를 효율적으로 관리 할 수 있다. 그리고 주어진 환경에 능동적으로 대처할 수 있기 때문에 인지 라디오 시스템을 사용하는 사용자에게 주어진 환경 상황에서 최대의 서비스 품질 (Quality of Service)을 보장할 수 있는 장점이 있어 최근 차세대 무선통신 분야에서 각광받고 있다<sup>[13]</sup>. 하지만 주파수 간섭 관리를 위하여 넓은 주파수 대역을 빠짐없이 감지하고 비어있는 주파수

대역을 사용한다는 것은 시스템의 복잡도를 크게 높일 수 있다.

다음으로 전력제어 기술은 주파수 간섭을 억제시킬 수 있는 가장 간단한 방식으로, 요구되는 통신 품질을 만족시킬 만큼의 최저 송신 전력으로 신호를 송출하도록 송신 전력을 조절하는 기법이다<sup>7)</sup>. 이 기술은 현재 대부분의 무선통신 시스템에서 사용되고 있으며, 특히 이동통신 시스템에서 셀 간의 간섭을 방지하기 위한 기법으로 널리 쓰이고 있다.

마지막으로, 빔 형성 기법은 스마트 안테나(Smart Antenna)의 한 방식으로서 안테나의 빔이 해당 단말에게만 국한되어 조향되도록 하는 기술이다. 이 기법은 원하는 이동 단말이나 목표물의 방향으로 빔을 형성하고, 원하지 않거나 방해하는 목표물이나 이동단말의 빔 패턴은 제거하면서 안테나의 방사 패턴을 만드는 기법이다<sup>8)</sup>.

하지만 기존의 기법들은 셀룰러 네트워크 환경에서 많이 사용되고 있으며, 시스템의 연산량이 많을 뿐만 아니라, 실내 공장 환경에서 사용하는 M2M 장비에 별도의 장비를 탑재해야 하기 때문에 경제성이 떨어진다는 단점이 있다. 따라서, 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 실내 무선측위 기술로 각광을 받고 있는 Fingerprinting 기법을 주파수 간섭 관리 기법에 적용함으로써 영역 기반의 주파수를 할당하고자 한다.

### III. 제안된 영역 기반의 주파수 간섭 관리 기법

#### 3.1 제안된 주파수 간섭 관리 기법

본 논문에서는 공장 내 M2M 통신 환경에서의 효율적인 주파수 간섭 관리를 위하여, RSS 기반의 Fingerprinting 무선측위 기법을 이용하여 임의 노드의 위치를 추정하고, 추정된 위치 정보를 이용하여 영역별로 주파수를 할당하는 기법을 총 2단계로 제안한다.

##### 3.1.1 Fingerprinting 무선측위 단계

Fingerprinting 기법은 확률론적 모델링에 의하여 위치를 추정하는 방식으로서, 잡음 및 주위 환경의 정보를 DB에 저장시키고 이것을 이용하여 단말기 위치를 추정하게 된다<sup>14)</sup>. 이 기법은 오프라인과 온라인의 총 두 단계로 이루어지는데, 첫번째 오프라인 단계는 지역 탐색을 통해 주어진 환경에서 각 샘플 포인트에 따른 RSS를 측정하여 DB를 구축하

는 단계이다. 그리고 두번째 온라인 단계는 그림 1과 같이 다수 AP (Access Point)로부터 임의 노드로 전송된 신호들의 RSS를 Fingerprinting 벡터값으로 측정하고, 이렇게 측정된 RSS 벡터값과 DB에 있는 각각의 샘플 포인트 사이의 RSS 벡터값 사이의 최소 Euclidean 거리를 갖는 위치를 임의 노드의 위치로 추정하는 단계이다<sup>15)</sup>. 식 (1)은 시스템에서 RSS 측정값을 얻기 위한 경로 감쇄(Path Loss) 모델이고, 식 (2)는 Euclidean 거리를 이용하여 위치를 추정하는 식을 표현한 것이다.

$$P_{rx} [\text{dBm}] = P_{tx} [\text{dBm}] + K [\text{dB}] - 10\eta \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + \Psi \quad (1)$$

$$\hat{y} = \arg \min_{i=1, \dots, N} \left\{ \sqrt{(\text{DB}_i - \text{Unknown})^2} \right\} \quad (2)$$

여기서,  $P_{tx}$ 는 전송 신호 세기,  $K$ 는 환경에 따른 상수,  $d_0$ 는 참조 거리,  $\eta$ 는 경로 감쇄 계수,  $\Psi$ 는 페이딩 영향이다. 그리고  $\hat{y}$ 는 추정된 위치,  $N$ 은 샘플 포인트 개수,  $\text{DB}$ 는 오프라인 단계에서 취득한 각 샘플 포인트에서의 RSS 벡터값,  $\text{Unknown}$ 은 위치를 알고자 하는 임의 노드의 RSS 벡터값이다.

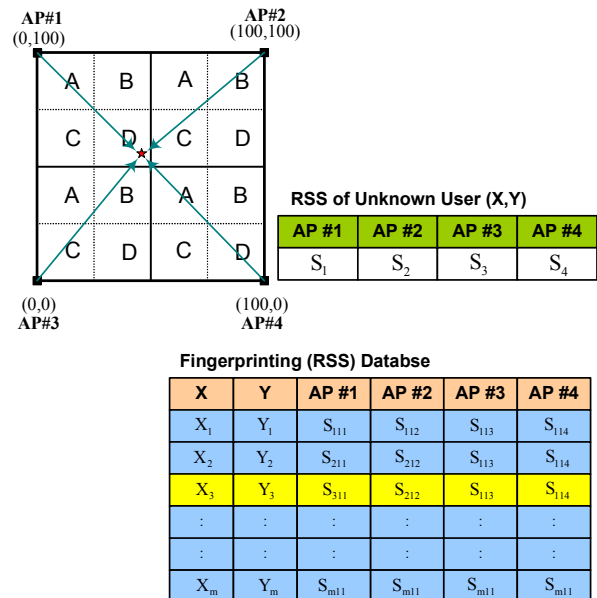


그림 1. 일반적인 Fingerprinting 무선측위 기법  
Fig. 1. Conventional fingerprinting wireless localization scheme

3.1.2 위치 정보에 따른 주파수 할당 단계

M2M 무선통신을 위해 IEEE 802.11b와 같은 WLAN을 사용한다고 가정하자. 이 경우 1단계인 무선측위 단계에서 추정된 위치 정보를 이용하여 IEEE 802.11b 규격에서 사용 가능한 채널 총 14개 중 12개의 채널을 표 1과 같이 영역별로 할당할 수 있다. 그리고 이러한 할당 계획을 이용하여 그림 1에서 도시한 것과 같이 추정된 위치에 따라 주파수를 할당하게 된다.

표 1. 영역별 채널 할당 계획  
Table 1. Location-based channel allocation plan

Region	Available WLAN channels		
A	1	2	3
B	4	5	6
C	7	8	9
D	10	11	12

하지만, 제안된 주파수 간섭 관리 기법은 무선측위 오차로 인해 추정된 위치가 다른 영역이라고 할 때에는 주파수 간섭이 발생할 수 있다. 또한, Fingerprinting 무선측위 기법은 위치를 추정할 때마다 매번 DB를 새로 검색해야 하기 때문에 DB의 양이 많을수록 시스템의 복잡도는 증가하게 되는데<sup>[15]</sup>, 시스템의 복잡도를 줄이기 위한 방안으로 샘플 포인트를 줄이게 된다면 가장 가까운 1개의 샘플 포인트를 임의 노드의 위치로 추정하게 되어 측위 오차뿐만이 아니라 주파수 간섭도 증가하게 된다. 따라서, Fingerprinting 정밀도 향상을 위한 기법을 적용하여 주파수 간섭의 성능을 측정하고자 한다.

3.2 Fingerprinting 정밀도 향상 기법

3.2.1 k-NN 알고리즘을 이용한 정밀도 향상 기법

k-NN 알고리즘은 학습 데이터와 새로운 데이터와의 Euclidean 거리를 통해 새로운 데이터와 근접한 k개의 학습 데이터를 결정할 수 있다. 따라서, 이 알고리즘을 이용하여 1개의 샘플 포인트의 좌표만을 결정하는 것이 아니라 k개의 샘플 포인트를 이용하여 위치를 결정할 수 있으며, 이번 실험에서는 k=3으로 설정하여 3개 샘플 포인트 좌표의 평균값을 위치로 결정하였다<sup>[12]</sup>. 그림 2는 (a) 일반적인 기법과 (b) 3-NN 평균 기법의 측위 방식을 도시한 것이다. 여기서 샘플 포인트 A, B, C, D는 임

의 노드 U와 근접해 있는 샘플 포인트를 의미하며, 임의 노드 U는 항상 4개의 샘플 포인트 안에 존재하게 된다. 그리고 임의 노드와 각각의 샘플 포인트와의 거리를 Euclidean 거리로 계산했을 때의 거리 간격은  $D < C < B < A$ 의 순서라고 하자. 이 때, 일반적인 기법은 1개의 샘플 포인트에 대한 좌표만을 DB가 가지고 있기 때문에 임의 노드 U는 자신과 가장 근접해 있는 샘플 포인트 D의 위치로 추정하게 된다.

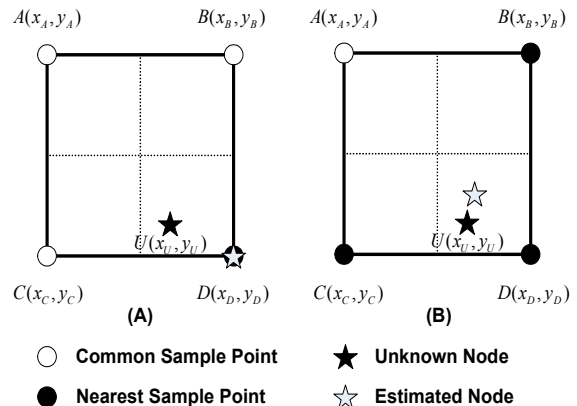


그림 2. 일반적인 기법과 3-NN 평균 기법  
Fig. 2. Conventional scheme and 3-NN scheme

하지만 3-NN 평균 기법은 임의 노드 U와 근접해 있는 3개의 샘플 포인트를 고려하며, 추정된 노드 U의 위치  $\hat{U}$ 는 식 (3)을 이용하여 계산된다.

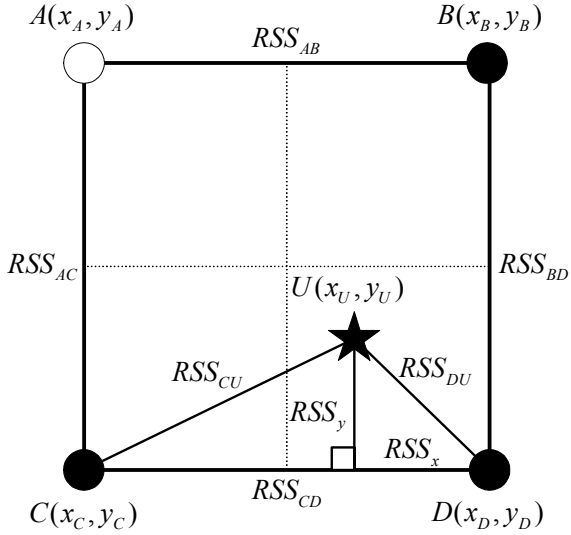
$$\hat{U}(x_{\hat{U}}, y_{\hat{U}}) = \frac{D(x_D, y_D) + C(x_C, y_C) + B(x_B, y_B)}{3} \quad (3)$$

이상과 같은 결과를 통해 제안된 기법이 일반적인 기법보다 확률적으로 측위 오차가 감소될 것으로 예상할 수 있다. 그러나 3-NN 평균 기법 또한 임의 노드가 항상 3개의 샘플 포인트 중간에 있는 것으로 추정하기 때문에 여전히 고정밀의 위치 정보를 제공하기에는 어려운 것을 볼 수 있다. 따라서, 우리는 이러한 기법을 보다 개선시키기 위하여 샘플 포인트들의 RSS 값의 비율을 이용하는 기법을 제안한다.

3.2.2 제안된 정밀도 향상 기법

그림 3은 샘플 포인트들의 RSS 벡터값 비율을 이용하는 제안 기법을 도시한 것이다. 앞에서의 기법과 동일하게 샘플 포인트 A, B, C, D 안에 임의 노드 U가 존재하게 되며, 각각의 샘플 포인트들과

임의의 노드 U 사이의 RSS 값을 계산하여 알고 있다고 가정하자. 그리고 앞서서의 기법과 마찬가지로 -NN을 이용하여 임의의 노드 U와 가장 근접해 있는 3개 샘플 포인트를 선정하며, 각각의 RSS 벡터값을 기반으로 위치를 추정하도록 하자.



- Common Sample Point
- Nearest Sample Point
- ★ Unknown Node

그림 3. 제안된 샘플 포인트 RSS 값의 비율을 이용하는 기법  
Fig. 3. Proposed scheme using the RSS ratio

이 때, 임의의 노드 U의 좌표 (x,y)를 구하기 위해서는 가장 가까운 샘플 포인트와의 RSS 값을 계산해야 하며, 식 (4), (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$RSS_x^2 + RSS_y^2 = RSS_{DU}^2 \quad (4)$$

$$RSS_y^2 + (RSS_{CD} - RSS_x)^2 = RSS_{CU}^2 \quad (5)$$

여기서, RSS<sub>x</sub>와 RSS<sub>y</sub>는 임의의 노드 U와 가장 근접하여 있는 샘플 포인트 D와 임의의 노드 U와의 RSS 크기를 나타내며, RSS<sub>ij</sub>는 각각의 샘플 포인트 (i)와 샘플 포인트 (j), 샘플 포인트 (i)와 임의의 노드 U (j) 사이의 RSS 크기를 나타낸다.

이와 같은 2차 연립 방정식을 풀게 되면 식 (6), (7)과 같은 RSS 값을 얻을 수 있다.

$$RSS_x = \frac{RSS_{CD}^2 + RSS_{DU}^2 - RSS_{CU}^2}{2 RSS_{CD}} \quad (6)$$

$$RSS_y = \sqrt{RSS_{DU}^2 - RSS_x^2} \quad (7)$$

이렇게 얻게 된 RSS 값은 식 (8)과 같이 각 좌표 평면의 RSS 값으로 나누어진 후에 실제 좌표의 척도인 미터 단위로 변환되고, 식 (9)와 같이 변환된 값이 실제 좌표 값과 더해짐으로써 임의의 노드 U의 위치가 추정된다.

$$\hat{x} = \frac{RSS_x}{RSS_{CD}} D, \quad \hat{y} = \frac{RSS_y}{RSS_{BD}} D \quad (8)$$

$$\hat{U} = U(x_U, y_U) \pm (\hat{x}, \hat{y}) \quad (9)$$

여기서 (x̂, ŷ)는 추정된 위치, D는 샘플 포인트 간의 거리를 의미한다. 그리고 ±는 임의의 노드 U와 3개의 샘플 포인트의 위치에 따라 적응적으로 계산하게 된다.

따라서, 샘플 포인트의 RSS 벡터값을 이용하는 기법이 방향성을 가지고 임의의 노드 U에 근접할 수 있기 때문에, 일반적인 기법뿐만 아니라 앞서서 설명한 평균값을 이용하는 기법보다 고정밀의 위치 정보를 제공할 수 있다. 또한 다음 장의 모의실험 성능 평가를 통해, 제안된 기법이 다른 기법들보다 고정밀의 측위 성능을 얻음으로써 이러한 주장을 뒷받침해주고 있다

#### IV. 모의실험을 통한 성능 평가

##### 4.1 모의실험 환경

다양한 Fingerprinting 알고리즘을 이용한 주파수 간섭 관리의 성능을 평가하기 위하여 MATLAB을 이용한 모의실험을 수행하였다. 성능 지표로는 샘플 포인트 거리에 따라 무선측위 과정에서 발생하는 평균 거리 오차 (Mean Distance Error; MDE)와 채널 간섭율 (Channel Interference Ratio)이다. 모의 실험을 위해서 그림 1과 같은 100×100m<sup>2</sup>의 정방형 공간을 고려하였으며, DB에 저장될 Fingerprinting 샘플 포인트 거리는 1~10m까지 1m 간격으로 변경하면서 식 (1)의 모델을 이용하여 RSS를 측정하였다. 이 때, RSS의 참조 거리는 1m로 설정하였으며, 경로 감쇄 계수는 2로 설정하였다. AP는 4개로 구성하였으며, 이들의 좌표는 각각 (0,100), (100,100), (0,0), (100,0)이다. 1개의 AP 당 4개의 영역으로 분할하였으며, 각각의 영역은 25m 간격의 정사각형 모양을 고려하였다. 그리고 각각의 영역 당 1개의

채널을 사용할 수 있다고 가정하였는데, 만일 위치 추정에 오차가 생겨서 다른 영역으로 추정할 경우에는 채널 간섭이 일어난다고 가정하였다. 임의의 노드는 랜덤하게 배치되며, 무선측위를 하여 위치를 추정하는 전 과정을 50,000번 수행하였다.

#### 4.2 모의실험 결과

##### 4.2.1 샘플 거리에 따른 샘플 포인트의 개수

앞에서 언급한 것과 같이 Fingerprinting의 샘플 포인트 거리에 따른 DB의 양이 시스템의 연산량에 영향을 미치기 때문에, 우선적으로 샘플 포인트 거리에 따른 샘플 포인트의 개수를 계산하였다. 그림 4는 샘플 포인트 거리에 따른 DB의 양을 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 샘플 포인트의 거리가 1m일 경우에는 10,000개의 샘플 포인트가 필요하기 때문에 DB의 복잡도가 높아질 수 있다. 하지만, 2m 이상일 경우에는 샘플 포인트가 현저히 적어진 것을 확인할 수 있어 1m일 경우보다 효율적으로 DB를 구축할 수 있다. 하지만, DB에 저장되는 위치 좌표가 적을 경우에는 샘플 포인트 거리가 멀어짐에 따라 무선측위 오차가 커지게 되기 때문에 적절한 샘플 포인트 거리가 필요하다는 결론을 내릴 수 있다.

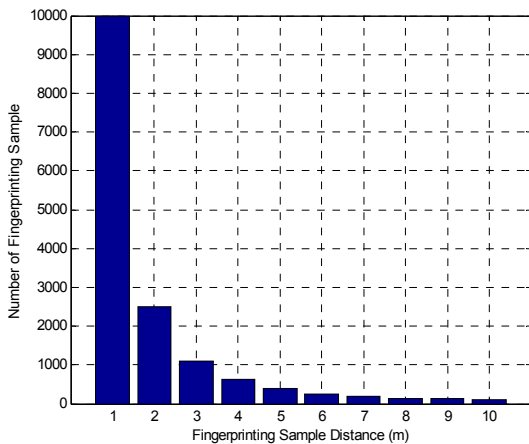


그림 4. Fingerprinting 샘플 거리에 따른 포인트 개수  
Fig. 4. Number of fingerprinting points according to fingerprinting sample distance

##### 4.2.2 샘플 거리에 따른 MDE 비교

식 (10)은 고려된 모든 무선측위 기법들의 성능 평가 척도인 MDE를 계산하는 식으로,  $M$ 개 임의의 노드의 실제 위치  $(x, y)$ 와 추정 위치  $(\hat{x}, \hat{y})$  사이

의 거리 오차의 평균을 나타낸다.

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (10)$$

그림 5는 Fingerprinting 샘플 포인트 거리에 따른 MDE 성능을 도시한 것이다. 샘플 포인트 거리가 멀어질수록 모든 기법들의 전체적인 MDE 성능은 저하되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안된 기법이 일반적인 기법보다 샘플 포인트 1m 거리에서는 0.1, 10m 거리에서는 1m 이상의 향상을 얻을 수 있었다. 이것은 일반적인 기법이 RSS 값과 가장 근접한 1개의 샘플 포인트 위치를 단말기의 위치로 추정하는 반면에 제안된 기법은 3개의 샘플 포인트를 이용하여 그 오차의 발생을 효율적으로 줄였기 때문이라고 분석할 수 있다.

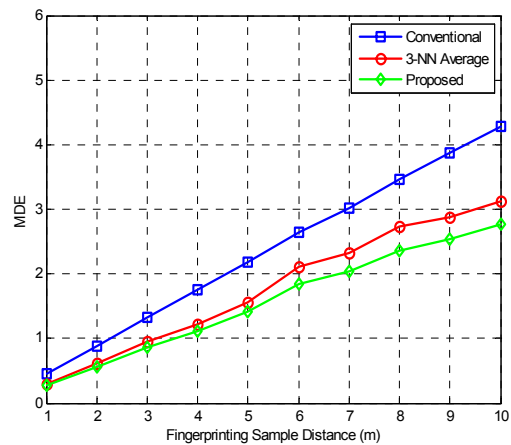


그림 5. 샘플 포인트 거리에 따른 MDE 비교  
Fig. 5. Comparison of MDE performance according to fingerprinting sample distance

특히, 샘플 포인트 거리가 10m일 경우에는 DB 정보가 적어 측위 오차가 증가할 수 있는데, 제안된 기법의 MDE 성능이 일반적인 기법 7m일 때의 성능과 동일함으로써 DB의 연산량을 줄일 수 있으며, 결과적으로 적은 DB 정보로도 보다 고정밀의 위치 정보를 제공할 수 있음을 볼 수 있다. 또한, 측위 정밀도가 높은 2~4m 구간을 확인하였을 때에도 제안된 기법의 샘플 포인트 거리 4m가 일반적인 기법의 2m의 MDE 성능과 동일하기 때문에, 10m인 경우보다 연산량 측면에서 더 많은 이득을 얻으면서도 고정밀의 위치 정보를 제공할 수 있다.

또한, 샘플 포인트 RSS 값의 비율을 실제 거리로 환산하여 추정한 기법 ("Proposed")이 평균값을

이용한 기법 (“3-NN Average”) 보다 약 0.2m 정도 만의 향상을 보임으로써 이 2가지 기법이 동일하다고 생각할 수 있다. 하지만 앞서서도 언급하였듯이 “3-NN Average” 기법이 3개의 노드의 평균값을 이용하기 때문에 항상 중앙에 위치하게 되는 반면, “Proposed” 기법은 임의의 노드의 방향성을 추정할 수 있다. 따라서, 실질적으로는 “Proposed” 기법이 고정밀의 위치 정보를 제공할 수 있다고 분석할 수 있다.

4.2.3 샘플 거리에 따른 채널 간섭을 비교

그림 6은 Fingerprinting 샘플 포인트 거리에 따른 채널 간섭율을 도식한 것이다. 앞의 MDE 성능과 동일하게 샘플 포인트 거리가 멀어질수록 채널 간섭율이 전체적으로 증가하는 것을 관측할 수 있다. 특히, 모의실험 환경에서 영역을 25m 간격의 정사각형으로 구성하였기 때문에 샘플 포인트 거리가 5m 간격인 경우의 일반적인 기법에서는 채널 간섭율이 현저하게 증가하였지만, 제안된 기법들은 영역 가장자리 (Edge)의 영향을 덜 받기 때문에 이러한 현상은 보이지 않는 것을 관측하였다. 또한, 제안된 기법들이 일반적인 기법보다 채널 간섭율이 약 2~9% 정도 감소하였음을 관측할 수 있다. 또한, “Proposed” 기법이 “3-NN Average” 기법보다 약 1%point 정도 향상된 것을 관측할 수 있었는데, 이것은 앞에서 설명한 것과 같이 방향성을 가지고 임의의 노드에게 접근하기 때문이며, 고정밀의 위치 정보를 제공했기 때문이라고 분석할 수 있다.

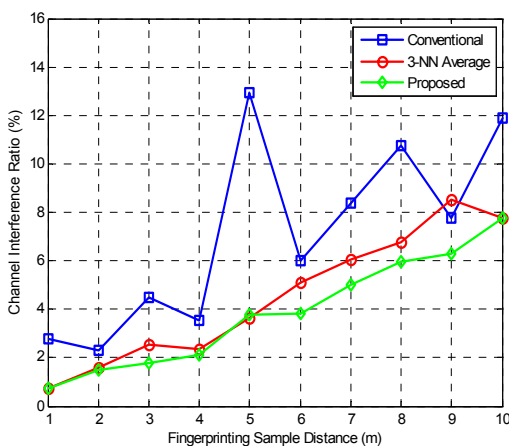


그림 6. 샘플 거리에 따른 채널 간섭을 비교  
Fig. 6. Comparison of channel interference ratio according to fingerprinting sample distance

이러한 모든 모의실험 결과를 통해, 제안된 기법

이 일반적인 기법보다 MDE 성능 및 채널 간섭율의 향상을 가져왔을 뿐만이 아니라 DB의 연산량을 효율적으로 줄임으로써 시스템의 복잡도를 낮출 수 있다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 지능형 공장 환경에서의 효율적인 M2M 통신을 위하여 Fingerprinting 무선측위 기술을 이용한 영역 기반의 주파수 간섭 관리 기법과 이 시스템에서의 무선측위 성능의 향상을 위한 RSS 벡터값 비율을 이용하는 기법을 제안하였다. 제안된 주파수 간섭 관리 기법을 통해 관리자가 공장 안 기계들의 동작 상태나 환경을 인지할 때 필요한 주파수들 사이의 간섭을 효율적으로 관리할 수 있었으며, 지속적인 위치 추정을 통한 위험 상황의 경고 및 이에 대한 대처도 가능함을 볼 수 있었다. 또한, 제안된 무선측위 알고리즘의 모의실험 결과를 통해 제안된 기법이 일반적인 기법보다 측위 정밀도가 약 0.1~1.6m 정도가 향상되었으며, 주파수 간섭율 또한 평균적으로 약 2~4%point 정도 낮출 수 있었다. 특히, 제안 기법은 “3-NN Average” 기법보다 측위 정밀도가 약 0.2m 정도의 향상을 보였으며, 임의의 노드의 방향성도 추정할 수 있었기 때문에 연산량은 효율적으로 줄이면서도 고정밀의 위치 정보를 제공할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K. Y. Kim, I. H. Park, E. R. Lim, A. R. Hong, J. Y. Kim, and Y. Shin, “The trends of location based service,” *KICS Inform. & Commun. Mag.*, vol. 28, no. 7, pp. 3-14, June 2011.  
(김광열, 박인환, 임이랑, 홍애란, 김진영, 신요안, “위치 기반 서비스의 최근 동향,” *한국통신학회지*, 제28권, 제7호, pp. 3-14, 2011년 6월.)

[2] Y. S. Cho, S. Y. Cho, B. D. Kim, S. H. Lee, J. C. Kim, and W. S. Choi, “Technical trend of indoor/outdoor seamless positioning,” *Electr. & Telecommun. Trends*, vol. 22, no. 3, pp. 20-28, June 2007.

[3] K. J. Lee, “Analysis of M2M-based application and technical trends,” *Telecommun. Review*, vol. 21, no. 6, pp. 951-958, Dec. 2011.

[4] Y. H. Kim, H. J. Ahn, and D. S. Choi, “IT-machine

convergence technology,” *KICS Inform. & Commun. Mag.*, vol. 28, no. 5, pp. 28-36, Apr. 2011.

(김영한, 안형준, 최동수, “IT기계융합기술,” *한국통신학회지*, 제28권, 제5호, pp. 28-36, 2011년 4월.)

[5] W. S. Choi and J. G. Kim, “A study for co-channel interference cancelation algorithm with channel estimation for WBAN system application,” *Jour. of KICS*, vol. 37, no. 6, pp. 476-482, June 2012.

[6] C. Politis, “Managing the radio spectrum: The role of cognitive radio in future spectrum use,” *IEEE Vehicular Technol. Mag.*, vol. 4, no. 1, pp. 20-26, Mar. 2009.

[7] S. Agarwal, R. H. Katz, S. V. Krishnamurthy, and S. K. Dao, “Distributed power control in ad-hoc wireless networks,” *Proc. PIMRC 2001*, vol. 2, pp. 59-66, San Diego, USA, Sept. 2001.

[8] J. W. Kim, H. W. Kim, M. K. Hong, and Y. Shin, “A cognitive beamforming scheme for coexistence of cognitive radio and incumbent radio systems,” *Jour. of IEET*, vol. 45, no. 3, pp. 27-33, Mar. 2008.

[9] J. J. Lee, J. A. Park, and S. H. Bae, “KNN/PCM hybrid algorithm for indoor location determination in WLAN,” *Jour. of KIIT*, vol. 9, no. 6, pp. 81-88, June 2011.

[10] Q. Zhao, S. Zhang, X. Liu, and X. Lin, “An effective preprocessing scheme for WLAN-based fingerprint positioning systems,” *Proc. ICCT 2010*, pp. 592-595, Nanjing, China, Nov. 2010.

[11] A. Rozyyev, H. Hasbullah, and F. Subhan, “Combined k-nearest neighbor and fuzzy logic indoor localization technique for wireless sensor network,” *Research Jour. Inform. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 155-165, June 2012.

[12] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “RADAR: An in-building RF-based user location and tracking systems,” *Proc. INFOCOM 2000*, pp. 775-784, Tel Aviv, Israel, Mar. 2000.

[13] A. Zarrebini-Esfahani and M. R. Nakhai, “Secondary spectrum access and cell-edge coverage in cognitive cellular networks,” *IET Commun.*, vol. 6, no. 8, pp. 845-851, May 2012.

[14] J. J. Lee, J. W. Kwon, M. A. Jung, and S. R. Lee,

“Fingerprinting Bayesian algorithm for indoor location determination,” *Jour. of KICS*, vol. 35, no. 6, pp. 888-894, June 2010.

[15] M. Enkhtur and S. Y. Cho, “Based on positioning fingerprint DB construction and efficient DB update signal based on propagation feature map,” *Telecommun. Review*, vol. 20, no. 6, pp. 1017-1030, Dec. 2010.

**홍 애 란 (Aeran Hong)**



2010년 8월 연변과학기술대학교 공학사  
 2011년 3월~현재 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선통신 시스템, 무선측위 시스템

**김 광 열 (Kwangyul Kim)**

한국통신학회논문지 Vol.36, No.6 참조

**양 모 찬 (Mochan Yang)**

한국통신학회논문지 Vol.36, No.7 참조

**오 선 애 (Sunae Oh)**



2011년 7월 연변과학기술대학교 공학사  
 2011년 9월~현재 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선통신 시스템, 무선측위 시스템

**정 흥 규 (Hongkyu Jung)**



2012년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2012년 3월~현재 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선통신 시스템, 통신신호처리, 무선측위 시스템

**신 요 안 (Yoan Shin)**

한국통신학회논문지 Vol.34, No.1 참조