실내 환경에서 위치 인식을 고려한 AP 배치 기법의 모델링 및 성능 평가

김태훈* · 탁성우**

Modeling and Performance Evaluation of AP Deployment Schemes for Indoor
Location-Awareness

Taehoon Kim* · Sungwoo Tak**

요 약

본 논문에서는 실내 환경에서 위치 인식을 고려한 AP 배치 기법을 제안하고 성능평가를 수행하였다. 제안한 기법은 위치 인식율과 AP 기반 무선 네트워크의 성능 및 비용을 고려하여 근사 최적 AP 구성 형태를 생성하는 메타휴리스틱 알고리즘과 AP 배치 과정을 빠르게 수렴하게 하는 결정론적 알고리즘으로 구성된다. 실내 공간과 유사한 시뮬레이션 환경을 구축하여 제안한 AP 배치 기법의 성능 평가를 수행하였으며, 제안한 기법은 빠른 시간 내에 우수한 결과를 생성하였다.

ABSTRACT

This paper presents an AP placement technique considering indoor location-awareness and examines its performance. The proposed AP placement technique is addressed from three performance metrics: location-awareness and AP-based wireless network performance as well as its cost. The proposed AP placement technique consists of meta-heuristic algorithms that yield a near optimal AP configuration for given performance metrics, and deterministic algorithms that improve the fast convergence of the near optimal AP configuration. The performance of the AP placement technique presented in this paper is measured under the environments simulating indoor space, and numerical results obtained by experimental evaluation yield the fast convergence of a near-optimal solution to a given performance metric.

키워드

AP 배치, 무선 네트워크 구성, 위치 인식

Key word

AP deployment, Wireless network configuration, Location-awareness

* 정회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과

** 종신회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과(교신저자, swtak@pnu.edu)

접수일자 : 2012. 12. 29

심사완료일자 : 2013. 03. 04

I. 서 론

무선 랜을 기반으로 하는 위치 인식에서는 신호세기를 이용하는 핑거프린팅 방식을 주로 사용하며, 표준 무선 랜 장비만을 사용하여 측위를 수행할 수 있다 [1]. 핑거프린팅 기법에 대한 연구는 주로 온라인 단계에서의 알고리즘을 개선하는데 집중되고 있다. 반면에 핑거프린팅 기법의 위치 인식율을 향상시키는데 필요한 무선 랜 네트워크의 구성에 대한 연구는 미흡한 실정이다 [2, 3]. 무선 단말이 이동한 지역에서 핑거프린팅 기반 위치 서비스를 제공받기 위해서는 최소한 3개 이상의 AP와 통신이 가능해야 한다. 기존의 연구에서는 3개 이상의 AP와 통신이 가능한 배치를 가정하고 있으나, 임의의 AP 배치는 이러한 조건을 만족시키지 못한다 [4, 5]. AP의 수를 증가시켜 이러한 문제를 해결할 수 있으나, 설치 및 유지에 많은 비용이 소요되며 다중 AP간의 매체 공유 및 접근 간섭으로 인해 네트워크의 성능이 저하된다. 이에 본 논문에서는 위치 인식율을 향상시키기 위한 AP 배치 기법을 제안하였다.

II. AP 배치 최적화 문제의 설계

AP 배치 구성에 적용되는 4개의 성능 인자는 다음과 같다. 첫 번째 네트워크 성능 인자는 *MinMaxAP* (*Minimizing Maximum Lower Bound of Access Points*)이다. 무선 단말이 많은 AP와 통신이 가능할수록 위치 인식의 정확도가 증가하지만, AP 설치 및 유지비용이 증가하고, AP간의 매체 공유로 인해 무선 네트워크의 성능은 저하된다. *MinMaxAP*는 실내 공간 전역에서 위치 인식이 가능하기 위해 3개 이상의 AP와 통신이 가능하도록 하고, 설치되는 AP 수를 최소화한다. 두 번째 성능 인자는 *MaxCoverage* (*Maximizing Coverage of Access Points*)이다. 실내 공간의 특정 지역에서는 AP 설치가 어려운 물리적인 제약이 존재할 수 있으며, AP 설치 및 유지비용으로 인해 설치할 수 있는 AP의 수가 제한된다. *MaxCoverage*는 제한된 AP 개수 내에 위치인식의 영역을 최대화한다. 세 번째 성능 인자는 *MinMaxLoss* (*Minimizing Maximum Path Loss*)이다. AP 배치 문제에서는 위치 인식율뿐만 아니라 네트워크 성능에 대한 고

려도 필요하다. 무선 단말이 머무르는 지점에서 우수한 통신 성능을 제공받기 위해서는 일정 이상의 무선 신호 감도가 요구된다. 이에 *MinMaxLoss*는 네트워크의 성능을 보장하기 위해 실내 공간에서 발생하는 AP와 무선 단말간의 무선 경로 최대 손실 값을 최소화한다. 마지막으로, 네 번째 성능 인자는 *MinAvgLoss* (*Minimizing Average Path Loss*)이다. 실내 공간의 모든 지점에서 발생하는 무선 단말과 AP간 무선 경로 손실 값에 대한 평균값을 최소화한다. 지금까지 기술한 4가지 성능 인자 모두 위치 인식율의 향상을 고려한다. 또한 *MinMaxAP*와 *MaxCoverage*는 AP 기반 무선 네트워크의 비용 감소를 고려하며, *MinMaxLoss*와 *MinAvgLoss*는 AP 기반 무선 네트워크의 성능 향상을 고려한다.

본 논문에서 고려하고 있는 AP 배치 설계 방안은 AP의 비콘 성능 인자에 대해서는 고려하고 있지 않다. 그러나 AP의 비콘 정보를 고려할 수 있는 AP 배치 방안을 살펴보면 다음과 같다. 측위의 성능 향상과 관련된 비콘 성능 인자로는 비콘의 송신율과 전송 주기 및 비콘의 동기화와 비콘 능동 탐색 기간이 있다. 비콘의 송신율이 높거나 전송 주기가 짧은 경우 측위의 정확도가 향상될 수 있다. 그러나 잦은 비콘의 전송으로 인해 무선 매체간의 충돌이 발생할 가능성이 높아져 전체 네트워크의 성능이 저하될 수 있다. 이외에도 설치된 각 AP의 비콘 전송 시점이 모두 동기화 되어 있는 경우, 무선 단말에서 AP 비콘의 탐색 지연시간을 최소화 할 수 있어 측위의 정확도를 향상시킬 수 있다 [6]. 참조 논문 [6]에서는 표준 상용 Wi-Fi를 탑재한 무선 단말에서 1개 AP에 대한 비콘 능동 탐색 시간은 1.2초 정도 소요되며, 비콘 탐색 시간이 길어질수록 실시간 측위가 어려움을 기술하였다. 향후, 지금까지 살펴본 4가지 비콘 정보들을 본 논문에서 제안한 AP 배치 기법에 접목시키는 연구가 필요하다. 본 논문에서는 위치 인식이 필요한 지점에서는 최소 3개 이상의 AP와 통신이 가능하도록 AP를 배치하여, 핑거프린팅 기반 위치 서비스가 가능하도록 하였다. 무선 단말과 AP간의 통신이 가능하기 위한 무선 신호 세기의 임계값은 -75dbm으로 설정하였다 [7, 8]. 실내 공간에서 무선 단말이 머무르고 있는 i 지점과 AP가 배치된 j 지점간의 경로 손실값 ($PathLoss_{ij}$)은 수식 (1)에 의해 계산된다.

$$PathLoss_{ij} = PathLoss(Dist_{1m}) - \frac{Dist_{ij}}{[10 \log_{10} \frac{Dist_{ij}}{Dist_{1m}} + WallAttenuation * Wall_{ij}]} \quad (1)$$

실내 공간에서 경로 손실을 계산하는 방법은 다양하게 연구되었으나, 계산 복잡도를 고려하여 경로 손실에서 가장 큰 부분을 차지하는 벽을 고려하였다 [1]. 1m 거리에서 측정된 무선 신호인 $PathLoss(Dist_{1m})$ 를 기준으로 하여 수식 (1)의 경로 손실값을 계산한다. $PathLoss(Dist_{1m})$ 는 실험적으로 측정된 60dBm으로 설정하였다. 무선 단말과 AP 지점 간의 경로 손실은 두 지점 간의 거리 ($Dist_{ij}$)에 대한 로그로 증가한다. 또한, 무선 단말의 i 지점과 AP의 j 지점 간 벽 개수 ($Wall_{ij}$)에 비례하여 무선 신호의 감쇄 ($WallAttenuation$)가 발생한다. $WallAttenuation$ 값은 2.4GHz대역에서 실험적으로 측정된 3.1dB로 설정하였다. 실험 측정에 사용된 건물에서는 연구실들의 각 벽들이 2장으로 구성된 석고 보드로 구성되어 있으며, 벽의 두께는 약 10cm이다. 이는 장애물에 따른 무선 신호 감쇄 값을 2.4GHz 대역에서 비교 분석한 기존 연구 [9]와 [10]의 내용과 유사하거나 다소 높은 신호 감쇄 값이다. 4개의 성능 인자를 고려한 AP 배치 문제는 최적 해를 탐색해야 할 공간이 상대적으로 매우 크기 때문에, 비결정론적 메타휴리스틱 알고리즘을 통해 근사 최적 해를 찾는다. 이에 본 논문에서는 비결정론적 메타휴리스틱 알고리즘으로 잘 알려져 있는 시뮬레이티드 어닐링, 타부 탐색, 그리고 유전자 알고리즘을 사용하였다 [11]. 먼저 시뮬레이티드 어닐링 기반 근사 최적화 기법을 살펴보면 다음과 같다. 시뮬레이티드 어닐링 기법은 수락 기준 (*Metropolis Criterion*)과 냉각 기법을 이용하여 지역 해에서 빠져나와 다른 탐색 영역에서 이전에 생성된 지역 해보다 나은 해를 탐색한다 [11].

시뮬레이티드 어닐링은 이전 실행 과정에서 선택한 AP 지점 x 의 이웃해 집합 $N(x)$ 중에서 하나의 AP 지점 x' 를 랜덤하게 선택한다. x' 의 비용이 x 보다 좋다면, 무조건 x' 를 다음 해로 선택하게 된다. 주어진 성능 인자를 고려하여 생성된 새로운 AP 배치 지점 x' 의 성능 인자 결과 값이 이전에 생성된 지역 해 x 보다 나쁘더라도, 0과 1사이의 실수 값 중에서 랜덤하게 생성된 값이 수식 (2)의 수락 기준과 비교하여 작은 경우에는 x' 를 선택한다.

$$Metropolis\ Criterion = e^{-\Delta f(x')/T} \quad (2)$$

수식 (2)의 $\Delta f(x')$ 는 x' 과 x 의 성능 차이를 의미하며, 온도 T 는 해가 수렴하는 속도를 결정하는 냉각 온도 변화를 나타낸다. 온도 T 를 설정하는 냉각 과정은 수식 (3)에 기술하였다. 시뮬레이티드 어닐링에서 사용한 냉각 과정은 수식 (3)과 같은 기하급수 기반 냉각 과정을 사용하였다. 시뮬레이티드 어닐링에서 사용한 냉각 과정은 수식 (3)과 같은 기하급수 기반 냉각 과정을 사용하였다.

$$T_{new} = \alpha T_{old} \quad (3)$$

T_{old} 는 이전 온도를 나타내며, T_{new} 는 냉각 비율 α 에 따라 재설정된 새로운 온도를 나타낸다. T_{new} 는 수식 (2)의 T 로 사용되며, 냉각 비율 α 가 작을수록 수렴 속도가 빨라지며, α 가 커질수록 수렴이 느려진다. 온도 T 의 냉각 단계는 수식 (2)의 수락 기준을 사용하여 AP 지점 x' 의 선택 유무가 결정될 때마다 계속 실행된다. 타부 탐색은 시뮬레이티드 어닐링 기법과 유사하게 이웃 해가 현재의 해보다 성능이 나쁘더라도 탐색을 중지하지 않고 그 이웃 해를 선택한다. 그리고 타부 목록과 타부 목록의 크기를 유지하여 이러한 순환 과정이 계속해서 반복되는 것을 방지한다. 유전자 알고리즘에서는 세대마다 변이와 교차를 하면서 새로운 해를 계속해서 개체군에 공급하여 지역 최적 해에 빠지지 않도록 한다. 변이는 이웃 탐색의 이웃 정의와 유사하게 해의 일부를 랜덤하게 변형시킨다.

교차는 2개의 부모 해를 조합시켜서 전혀 다른 새로운 자식 해를 생성한다. 해를 선별하는 과정에서 가장 높은 적합성을 가지는 해를 선택하여 최적의 해를 생성하고자 하였다. 지금까지 기술한 3개의 메타 휴리스틱 기법은 무작위로 생성한 초기 가능해 중에서 1개의 해를 랜덤하게 선택한 후 탐색을 시작한다. 그러나 이러한 방식을 사용하는 메타 휴리스틱 기법은 근사 최적 해에 수렴하는 속도가 느리다. 이에 본 논문에서는 제안한 *Greedy* 및 *Elimination* 알고리즘을 통해 생성된 해가 메타 휴리스틱 기법의 초기 해로 사용되어 보다 빠른 수렴 속도를 제공하고자 한다.

III. 성능 평가 프레임워크

```

1.  $S := \emptyset$ 
2.  $MN_i^* := 0$  for all  $i$ 
3.  $AP_{area} = I$ 
4. while  $AP_{area} \neq \emptyset$  do
5.   Choose an AP  $j$  in  $J$  with the largest elements of
      $\{MN_j \cap AP_{area}\}$  for  $\forall j \in J$ 
6.   for  $i \in I$  loop
7.     if  $(MN_{ij} == 1)$  then  $MN_i^* := MN_i^* + 1$ 
8.     if  $MN_i^* \geq MINAP_i$  then  $AP_{area} := AP_{area} - i$ 
9.   end-loop
10.   $J := J - j$ 
11.   $S := S \cup j$ 
12. end-while
13. output  $S$ 

```

그림 1. Greedy-MinMaxAP 알고리즘
Fig. 1 Greedy-MinMaxAP algorithm

모든 영역에 AP가 설치되지 않은 상태에서 MinMaxAP 성능인자를 먼저 고려하여 해를 찾는 Greedy-MinMaxAP 알고리즘의 동작 과정은 그림 1과 같다. Greedy-MinMaxAP 알고리즘의 동작 결과는 해집합 S 에 저장되며 초기 값은 공집합으로 설정하였다(실행 과정 1). i 는 실내 공간에서 위치 인식이 요구되는 무선 단말의 위치 지점을 나타낸다. 위치 i 에서 통신 가능한 AP의 수는 MN_i^* 로 표현한다(실행 과정 2). I 는 모든 위치 지점 i 의 집합이며, $I = \{1, 2, 3, i, \dots, n\}$ 로 구성된다. j 는 실내 공간에서 설치 가능한 AP 후보 위치를 나타낸다. J 는 설치 가능한 모든 AP 지점 j 의 집합이며, $J = \{1, 2, 3, j, \dots, m\}$ 으로 구성된다. AP_{area} 는 위치 인식이 필요한 무선 단말 위치 지점을 나타내며, 초기 AP_{area} 값은 I 로 설정하였다(실행 과정 3). MN_j 는 위치 j 에 설치되는 AP와 통신이 가능한 50m 이내 무선 단말 위치 지점의 개수를 나타낸다. 위치 인식에 필요한 최소 AP 개수는 3개로 설정하였다. Greedy-MinMaxAP 알고리즘은 MN_j 의 값이 가장 큰 값이 되는 AP 지점 j 를 선택한다(실행 과정 5). MN_{ij} 는 위치 i 가 위치 j 에 설치된 AP의 무선 신호를 수신할 수 있으면 1, 수신할 수 없으면 0으로 설정되는 결정 변수이다. 결정 변수 MN_{ij} 값이 1이 되면 MN_i^* 값을 증가시킨다(실행 과정 7). MN_i^* 값이 핑거 프린팅 기법 기반 위치 인식 기법에서 요구하는 최소

AP 개수 ($MINAP_i$) 이상이 되면, 위치 i 는 AP_{area} 에서 제외된다(실행 과정 8). 선택한 AP 지점 j 는 해집합 S 에 포함되고 J 에서 제외된다(실행 과정 10과 11). 위치 인식이 요구되는 무선 단말의 모든 위치 지점에서 위치 위식이 가능할 때까지 실행 과정 4부터 실행과정 12까지를 계속 수행한다.

```

1.  $S := J$ 
2.  $MN_i^* := \sum_{j \in J} MN_{ij}$ 
3.  $AP_{area} = I$ 
4. while TRUE do
5.   Choose an AP  $j$  in  $J$  with the smallest elements of
      $\{MN_j \cap AP_{area}\}$  for  $\forall j \in S$ 
6.   for  $i \in I$  loop
7.     if  $(MN_{ij} == 1)$  then  $MN_i^* := MN_i^* - 1$ 
8.     if  $MN_i^* < MINAP_i$  then  $AP_{area} := AP_{area} - i$ 
9.   end-loop
10.  if  $AP_{area} \neq \emptyset$  then break while-loop
11.   $S := S - j$ 
12. end-while
13. output  $S$ 

```

그림 2. Elimination-MinMaxAP 알고리즘
Fig. 2 Elimination-MinMaxAP algorithm

그림 2는 초기 설치 가능한 모든 AP 지점 j 에 AP를 설치한 후, 위치 인식이 모든 지역에서 가능하도록 하는 조건하에 불필요한 AP를 최대한 많이 제거하는 Elimination-MinMax 알고리즘을 보여준다. 그림 2의 동작 과정을 살펴보면 다음과 같다. 설치 가능한 모든 AP 지점 j 에 AP를 설치한 후, 초기 해집합 S 를 모든 AP 지점 j 의 집합 J 로 설정한다(실행 과정 1). 결정 변수 MN_j 를 사용하여 위치 i 에서 통신 가능한 AP의 수인 MN_i^* 를 계산한다(실행 과정 2). 지점 j 에 설치된 AP들 중에서 가장 작은 MN_j 값을 가지는 AP를 먼저 선택한다(실행 과정 5). 그리고 실행 과정 5에서 선택한 AP 지점 j 와 결정 변수 MN_{ij} 를 사용하여, AP 지점 j 와 연결할 수 있는 위치 i 에서 통신 가능한 AP 수인 MN_i^* 값을 감소시킨다(실행 과정 7). 실행 과정 7이 수행된 후 위치 i 에서 통신 가능한 AP 수인 MN_i^* 가 $MINAP_i$ 보다 작으면, 위치 i 는 AP_{area} 에서 제외된다(실행 과정 8). 선택한 AP 지점 j 는 해집합 S 에서 제외된다(실행 과정 11).

```

1. while  $|S| \leq K$  do
2.
:   Same as Step 5 through Step 11 shown in Fig 1
12. end-while
13. output  $S$ 

```

그림 3. Greedy-MaxCoverage 알고리즘
Fig. 3 Greedy-MaxCoverage algorithm

그림 3은 Greedy-MaxCoverage 알고리즘의 동작 과정을 보여주며, II장에서 기술한 바와 같이 성능 인자 MaxCoverage는 제한된 AP 개수 내에 위치 인식의 영역을 최대화한다. Greedy-MaxCoverage 알고리즘의 동작 과정은 그림 1에서 기술한 Greedy-MinMaxAP 알고리즘의 동작 과정과 유사하게 MN_j 의 값이 가장 큰 값이 되는 AP 지점 j 를 선택한다. Greedy-MaxCoverage 알고리즘은 설치 가능한 AP 개수를 K 로 제한하며, 배치되는 AP 수를 나타내는 $|S|$ 가 K 이상이 되면 실행을 종료한다(실행 과정 1).

```

1. while  $|S| > K$  do
2.
:   Same as Step 5 through Step 11 shown in Fig 2
12. end-while
13. output  $S$ 

```

그림 4. Elimination-MaxCoverage 알고리즘
Fig. 4 Elimination-MaxCoverage algorithm

그림 4는 Elimination-MaxCoverage 알고리즘의 동작 과정을 보여주며, 그림 2에서 기술한 Elimination-MinMaxAP 알고리즘의 동작 과정과 유사하게 위치 인식율에 가장 작은 영향을 미치는 AP를 우선적으로 제거한다. Elimination-MaxCoverage 알고리즘은 초기 모든 영역에 AP를 설치한 후, 위치 인식이 모든 지역에 가능하도록 하면서 배치되는 AP 개수가 K 개에 도달하기 전까지 제거한다. 따라서 Elimination-MaxCoverage 알고리즘은 배치되는 AP 수를 나타내는 $|S|$ 가 K 보다 작게 되면 실행을 종료한다(실행 과정 1).

그림 5는 Greedy-MinMaxLoss 알고리즘의 동작 과정을 보여준다. Greedy-MinMaxLoss 알고리즘은 설치 가능한 AP 개수를 K 로 제한한다(실행 과정 2). 이 알고리즘은 경로 손실이 최대가 되는 지점 j 에 AP를 먼저 설치하

여 전체 네트워크의 최대 경로 손실 값을 최소화한다(실행 과정 8). $PL_{worst,j}$ 는 j 지점에 설치되는 AP와 통신 가능한 50m 이내의 무선 단말간 무선 경로 손실 값 중에서 가장 작은 값을 나타낸다(실행 과정 3). $PL_{worst,j}$ 의 초기 값은 $PathLoss(Dist_{1m})$ 로 설정하였다. 실행 과정 4부터 실행 과정 7까지는 위치 j 에 설치되는 AP와 통신이 가능한 50m 이내 무선 단말 위치 지점 i 간의 경로 손실 값($PathLoss_{i,j}$)을 반복적으로 계산한다. 그리고 계산된 손실 값($PL_{i,j}$) 중에서 가장 작은 값을 $PL_{worst,j}$ 에 저장한다. 선택된 AP 지점 j 는 해집합 S 에 포함되고 J 에서 제외된다(실행 과정 9와 실행 과정 10). 마지막으로, 배치되는 AP 수를 나타내는 $|S|$ 가 K 이상이 되면 실행을 종료한다(실행 과정 2).

```

1.  $S := \emptyset$ 
2. while  $|S| \leq K$  do
3.    $PL_{worst,j} := PathLoss(Dist_{1m})$  for  $\forall j \in J$ 
4.   for each  $j \in J$  loop
5.      $PL_{i,j} := \text{minimum } PathLoss_{i,j}$  where  $\forall i \in MN_j$ 
       and  $\forall j \in J$ 
6.     if  $PL_{i,j} < PL_{worst,j}$  then  $PL_{worst,j} := PL_{i,j}$ 
7.   end-loop
8.   Choose an AP  $j$  with minimum  $PL_{worst,j}$ 
9.    $J := J - j$ 
10.   $S := S \cup j$ 
11. end-while
12. output  $S$ 

```

그림 5. Greedy-MinMaxLoss 알고리즘
Fig. 5 Greedy-MinMaxLoss algorithm

```

1.  $S := J$ 
2. while  $|S| > K$  do
3.    $PL_{worst,j} := PathLoss(Dist_{1m})$  for  $\forall j \in J$ 
4.   for each  $j \in J$  loop
5.      $PL_{i,j} := \text{maximum } PathLoss_{i,j}$  where  $\forall i \in MN_j$ 
       and  $\forall j \in (S - j)$ 
6.     if  $PL_{i,j} < PL_{worst,j}$  then  $PL_{worst,j} := PL_{i,j}$ 
7.   end-loop
8.   Choose an AP  $j$  with  $PL_{worst,j}$ 
9.    $S := S - j$ 
10.  end-while
11. output  $S$ 

```

그림 6. Elimination-MinMaxLoss 알고리즘
Fig. 6 Elimination-MinMaxLoss algorithm

그림 6은 *Elimination-MinMaxLoss* 알고리즘의 동작 과정을 보여준다. *Elimination-MinMaxLoss* 알고리즘은 설치 가능한 AP 개수를 K 로 제한한다. 초기 모든 영역에 AP를 설치한 후, 경로 손실 값이 최대가 되는 위치 j 에 설치된 AP를 제거한다(실행 과정 4부터 실행 과정 9까지). 이러한 실행 과정은 배치되는 AP 수를 나타내는 $|S|$ 가 K 보다 작게 되면 실행을 종료한다(실행 과정 2).

```

1.  $S := \emptyset$ 
2. while  $|S| \leq K$  do
3.    $PL_{average} := PathLoss(Dist_{1m})$ 
4.   for each  $j \in J$  loop
5.      $PL_j^* := 0$ 
6.     for  $j^* \in S \cup j$  loop
7.        $PL_j^* := PL_j^* + PathLoss(i, j^*)MN_{ij^*}$  for  $\forall i \in MN_{j^*}$ 
8.     end-loop
9.      $PL_j^* := PL_j^* / |I|$ 
10.    if  $PL_j^* < PL_{average}$  then  $PL_{average} := PL_j^*$ 
11.  end-loop
12.   $J := J - j^*$ , where  $j^*$  with minimum  $PL_j^*$ 
13.   $S := S \cup j^*$ 
14. end-while
15. output  $S$ 

```

그림 7. Greedy-MinAvgLoss 알고리즘
Fig. 7 Greedy-MinAvgLoss algorithm

그림 7에서 보여주는 *Greedy-MinAvgLoss* 알고리즘은 무선 단말이 머무를 수 있는 모든 위치 지점 i 에서 평균 경로 손실을 최소화할 수 있는 AP 배치 지점 j^* 를 반복적으로 선택하여 모든 위치 지점 i 와 연결 가능한 AP들 간의 평균 경로 손실 값을 최소화한다.

그림 7에서 $PL_{average}$ 는 AP기반 무선 네트워크의 평균 경로 손실 값을 나타낸다. $PL_{average}$ 의 초기 값은 $PathLoss(Dist_{1m})$ 로 설정하였다(실행 과정 3). PL_j^* 는 AP 설치 지점 j 와 통신 가능한 개별 지점 i 에 머무르는 무선 단말 간의 경로 손실 값을 나타낸다(실행 과정 5와 실행 과정 7). 해집합 S 에 포함된 AP 설치 지점 j 를 모두 고려하여 PL_j^* 를 계산한다(실행 과정 4부터 실행 과정 11까지). 그림 7의 세부 동작 과정은 다음과 같다. AP 후보 위치 집합 J 에서 j 를 차례로 선택한다(실행 과정 4). 그리고 해집합 S 에 포함되어 있는 AP 배치 지점들과 실행 과정 3에서 결정된 AP 설치 지점 j 와 지점 i 간의 경로

손실 값을 계산한 후(실행 과정 7), 모든 위치 지점 i 의 집합인 I 를 고려한 평균을 계산한다(실행 과정 9). 그리고 무선 경로 평균 손실 값이 가장 많이 발생하는 지점 j^* 에 AP를 배치하여 설치 가능한 AP 배치 지점 집합 J 에서 제외시킨 후(실행 과정 12), 지점 j^* 를 해집합에 포함시킨다(실행 과정 13). 이러한 실행 과정은 배치되는 AP 수를 나타내는 $|S|$ 가 K 보다 작게 되면 실행을 종료한다(실행 과정 2).

```

1.  $S := J$ 
2. while  $|S| > K$  do
3.    $PL_{average} := 0$ 
4.   for each  $j \in S$  loop
5.      $PL_j^* := 0$ 
6.     for  $j^* \in S - j$  loop
7.        $PL_j^* := PL_j^* + PathLoss(i, j^*)MN_{ij^*}$ 
8.     end-loop
9.      $PL_j^* := PL_j^* / |I|$ 
10.    if  $PL_j^* > PL_{average}$  then  $PL_{average} := PL_j^*$ 
11.  end-loop
12.   $S := S - j^*$ , where  $j^*$  with maximum  $PL_j^*$ 
13. end-while
14. output  $S$ 

```

그림 8. Elimination-MinAvgLoss 알고리즘
Fig. 8 Elimination-MinAvgLoss algorithm

그림 8은 초기 설치 가능한 모든 AP 지점 j 에 AP를 설치한 후, 무선 경로의 평균 손실 값이 최소가 되는 위치 j^* 에 설치된 AP를 차례로 제거한다(실행 과정 2부터 실행 과정 13까지). 이에 그림 7의 실행 과정 10과 12는 그림 8에서 실행 과정 10과 12로 변형된다. *Elimination-MinAvgLoss* 알고리즘은 배치되는 AP 수를 나타내는 $|S|$ 가 K 보다 작게 되면 실행을 종료한다(실행 과정 2).

IV. 실험 및 성능 평가

실험에 사용한 실내 공간 시뮬레이션 환경은 랜덤으로 50개를 생성하였으며, 생성된 50개의 결과 값에 대한 평균을 측정하였다. 실내 환경은 $200m \times 200m$ 의 면적을 가지며, 10에서 20개의 사무실을 랜덤하게 생성하였다. 그리고 실험 환경은 300개의 AP 설치 지역과 300개의 무

선 단말 위치 지점을 가진다. AP 기반 무선 네트워크를 기반으로 하는 위치 인식에서는 신호 세기를 이용하는 핑거 프린팅 방식을 사용하였다 [1]. 메타 휴리스틱의 성능 비교에서는 해의 결과뿐만 아니라 수렴 속도도 중요하다. 수렴 속도를 비교하기 위해 사용된 컴퓨팅 환경은 2.8GHz의 인텔 코어 i5 프로세서와 4GB 메모리를 사용하였으며, 모든 알고리즘은 C++로 구현하였다. 메타 휴리스틱 기법은 실험에 사용하는 인자에 따라 해의 결과와 수렴 속도가 다양하게 변할 수 있다. 이에 실험 인자뿐만 아니라 수렴속도에 대한 결과도 분석하였다. 먼저 그림 9에서는 *MinMaxAP* 성능 인자를 고려한 시뮬레이티드 어닐링 기법의 성능 결과를 보여준다. 실험 결과, 수식 (3)에서 기술한 냉각 비율 α 에 따른 수렴 속도 및 설치된 AP 수의 결과가 다르게 나타났다.

그림 9. *MinMaxAP* 기반 시뮬레이티드 알고리즘
Fig. 9 *MinMaxAP*-based simulated algorithm

그림 9에서 보는 바와 같이 냉각 비율 α 가 작을수록 수렴 속도가 빨라지며, α 가 커질수록 수렴이 느려진다. 냉각 비율 α 가 0.95 이하이면, 지나치게 빠른 냉각으로 인하여 최적 해를 구하지 못한다. 그리고 냉각 비율 α 가 큰 경우에는 탐색의 중간과정에서 해를 빠르게 개선하지 못하는 고원(plateau) 부분이 길어지는 경향을 나타낸다. 냉각 비율 α 가 0.996 이상인 경우에 우수한 해를 생성하였다. 냉각 비율 α 를 0.996로 설정하고, *Greedy-MinMaxAP* 알고리즘 혹은 *Elimination-MinMaxAP* 알고리즘 기반 시뮬레이티드 어닐링의 동작 과정을 살펴보면 다음과 같다. *Greedy-MinMaxAP* 알고리즘을 통해 생성된 해를 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 초기 해로 사용하였다. 시뮬레이티드 어닐링은 수식 (2)에서 기술

한 수락 기준에 의해 초기 5초부터 15초까지는 나쁜 해를 수락하는 확률이 높기 때문에 설치된 AP의 수를 증가시키는 해를 선택할 수 있다. 그러나 15초 이후부터는 점차적으로 낮아지는 온도 T 에 의해 나쁜 해를 수락하는 확률은 감소하게 되며, 설치되는 AP 수를 줄일 수 있는 영역으로 탐색 영역을 좁히면서 해를 선택한다. 그리고 T 가 0에 가까워지면서 특정 해에 수렴한다.

그림 10. *MinMaxAP* 기반 타부 탐색과 유전자알고리즘
Fig. 10 *MinMaxAP*-based tabu search and genetic algorithms

그림 10에서는 *MinMaxAP* 성능 인자를 고려한 타부 탐색 및 유전자 알고리즘의 성능 결과를 보여준다. 이웃 탐색을 통해 생성된 이웃 해를 타부탐색의 후보 목록으로 사용하였다. 타부 목록의 크기가 큰 경우, 각 탐색 단계의 연산 시간이 증가되어 근사 최적 해에 수렴되는 속도가 느려진다. 타부 탐색은 유전자 알고리즘과 다르게 이웃 탐색을 통해 생성된 이웃 해 중에서 결과 값이 가장 좋은 이웃 해를 선택하기 때문에, 2초부터 유전자 알고리즘에 비해 그래프의 기울기가 급격하게 감소하는 현상이 발생하였다. 그러나 유전자 알고리즘은 선별 과정에서 적합성이 좋은 해뿐만 아니라 나쁜 해 역시 개체군에 포함하기 때문에 해의 탐색 영역이 급격하게 줄지 않기 때문에 해의 수렴 과정이 타부 탐색에 비하여 느려진다. 타부 탐색에서는 타부 탐색의 조건이 제한적인 경우에는 타부 목록의 크기를 작게 하는 것이 오히려 더 성능이 좋은 해를 생성할 수 있다 [11]. 그림 10에서 보는 바와 같이 타부 목록의 크기가 3인 경우에 가장 좋은 결과를 생성하였다. 타부 목록의 크기가 5와 7, 그리고 10인 경우에는 타부 목록의 크기가 3인 경우에 생성된 결과보다

4.5%, 5%, 그리고 18%의 성능 저하가 발생하였다. 따라서 타부 탐색의 크기를 증가시키는 것이 성능이 더 좋은 해로 수렴하는데 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 유전자 알고리즘에서 생성한 해는 타부 탐색에서 생성한 해보다 2.5%의 성능 저하가 발생하였다.

그림 11. Greedy-MinMaxAP 기반 타부 탐색과 유전자 알고리즘

Fig. 11 Tabu search and genetic algorithms based on Greedy-MinMaxAP algorithm

그림 11에서는 Greedy-MinMaxAP 알고리즘을 통해 생성된 해를 타부 탐색 및 유전자 알고리즘의 초기 해로 사용하였다. 그림 11의 결과에서 보는 바와 같이, 그림 10의 결과에 비해 타부 탐색인 경우에는 약 3배 빠른 수렴 속도를 보여주었고, 유전자 알고리즘인 경우에는 약 5배 빠른 수렴 속도를 향상시켰으며, 그림 10과 동일한 해를 생성하였다. 그림 12부터 그림 15까지는 주어진 성능 인자에 따른 무선 랜 토폴로지 구성 기법의 성능을 비교하였다. 그림 12는 MinMaxAP 성능 인자를 고려한 개별 알고리즘의 성능 결과를 보여준다. 50회의 실험 동안 생성된 평균값 중에서 타부 탐색이 가장 좋은 결과를 생성하였다. 이웃 탐색 기법은 이웃 탐색 (Neighborhood Search)으로 알려져 있는 지역 탐색 기법이다. 시뮬레이티드 어닐링 유전자 알고리즘, 이웃탐색 알고리즘인 경우에 7.5%, 2.5%, 17%의 성능 저하가 발생하였다. 그리고 타부 탐색은 Greedy-MinMaxAP 알고리즘과 Elimination-MinMaxAP 알고리즘에서 생성한 해에 대하여 23% 및 21% 정도의 성능을 향상시켰다.

그림 12. MinMaxAP의 성능 비교
Fig. 12 Performance comparison of MinMaxAP

그림 13. MaxCoverage의 성능 비교
Fig. 13 Performance comparison of MaxCoverage

그림 13은 MaxCoverage 성능 인자를 고려한 개별 알고리즘의 성능 결과를 보여준다. 생성된 평균값 중에서 타부 탐색이 가장 좋은 결과를 생성하였다. 시뮬레이티드 어닐링, 유전자 알고리즘, 그리고 이웃 탐색 알고리즘인 경우에 1.5%, 0.5%, 17.3%의 성능 저하가 발생하였다. 그리고 타부 탐색은 Greedy-MaxCoverage 알고리즘과 Elimination-MaxCoverage 알고리즘에서 생성한 해에 대하여 9.9% 및 5.5% 정도의 성능을 향상시켰다.

그림 14는 MinMaxLoss 성능 인자를 고려한 개별 알고리즘의 성능 결과를 보여준다. 생성된 평균값 중에서 유전자 알고리즘이 가장 좋은 결과를 생성하였다. 타부 탐색, 시뮬레이티드 어닐링, 그리고 이웃 탐색 알고리즘인 경우에 1.4%, 19.5%, 19.9%의 성능 저하가 발생하였다. 그리고 타부 탐색은 Greedy-MinMaxLoss 알고리즘과

Elimination-MinMaxLoss 알고리즘에서 생성한 해에 대하여 28.4% 및 24.5% 정도의 성능을 향상시켰다.

그림 14. *MinMaxLoss*의 성능 비교
Fig. 14 Performance comparison of *MinMaxLoss*

그림 15. *MinAvgLoss*의 성능 비교
Fig. 15 Performance comparison of *MinAvgLoss*

그림 15는 *MinAvgLoss* 성능 인자를 고려한 개별 알고리즘의 성능 결과를 보여준다. 생성된 평균값 중에서 시뮬레이티드 어닐링이 가장 좋은 결과를 생성하였다. 타부 탐색, 유전자 알고리즘, 그리고 이웃 탐색 알고리즘인 경우에 11.3%, 6.3%, 18.6%의 성능 저하가 발생하였다. 그리고 타부 탐색은 *Greedy-MinAvgLoss* 알고리즘과 *Elimination-MinAvgLoss* 알고리즘에서 생성한 해에 대하여 30.3% 및 31.7% 정도의 성능을 향상시켰다.

주어진 성능 인자에 따른 AP 배치 알고리즘의 성능을 정리하면 다음과 같다. 타부 탐색과 유전자 알고리즘은 주어진 4개의 목적 함수에 대하여 유사한 성능을 보여준다. 시뮬레이티드 어닐링이 낮은 성능을 보여주는 *MinMaxAP*와 *MinMaxLoss* 경우에는 비용 값이 유사한

이웃해가 많이 존재한다. 따라서 이웃해 간의 수락 확률이 비슷하여, 비용 값이 유사한 이웃 해를 반복적으로 선택하는 현상이 빈번하게 일어나게 되고, 이로 인해 낮은 성능을 보여준다. 시뮬레이티드 어닐링이 높은 성능을 보여주는 *MaxCoverage*와 *MinAvgLoss*인 경우에는 비용 값이 서로 다른 이웃 해가 많이 존재한다. 이에 시뮬레이티드 어닐링은 다양한 이웃 해를 탐색할 수 있어 *MinMaxAP*와 *MinMaxLoss*에 비해 높은 성능을 생성하였다. *Greedy* 알고리즘과 *Elimination* 알고리즘만을 사용하는 경우, 3가지 메타 휴리스틱 알고리즘들이 생성하는 해에 가까운 해를 생성하지는 못하였으나, 해를 빠른 시간 내에 찾을 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 측위 인식율을 향상시키기 위한 AP 배치 기법을 제안하였다. 이 기법은 무선 랜 네트워크와 위치 인식 기법의 요구 사항을 함께 고려하여 무선 네트워크의 성능을 유지하면서 향상된 위치 서비스를 제공할 수 있도록 하였다. 제안한 AP 배치 기법은 세 가지 메타 휴리스틱 알고리즘인 시뮬레이티드 어닐링, 타부 탐색, 그리고 유전자 알고리즘을 사용하였다. 그리고 메타 휴리스틱 기법에서 해를 찾는 과정이 빠르게 수렴하는 것을 보장하는 *Greedy* 알고리즘 및 *Elimination* 알고리즘을 제안하였다. 마지막으로 실내 공간과 유사한 시뮬레이션 환경을 구축하여 제안한 AP 배치 기법의 성능 평가를 수행하였으며, 빠른 시간 내에 우수한 해가 생성됨을 확인하였다.

참고문헌

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," *Proc. IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 775-784, 2000.
- [2] J. Zhang, X. Jia, Z. Zheng, and Y. Zhou, "Minimizing cost of placement of multi-radio and multi-power-level access points with rate adaptation in indoor environment," *IEEE Transactions on wireless*

- communications, vol. 10, no. 7, pp. 2186-2195, 2011.
- [3] E. Chan, G. Balciu, and S. Mak, "Resource-effective and accurate WLAN infrastructure design and localization using a cell-structure framework," *Proc. International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 12-17, 2009.
- [4] S. Ganu, A. S. Krishnakumar, and P. Krishnan, "Infrastructure-based location estimation in WLAN networks," *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking*, pp. 465-470, 2004.
- [5] S. Fang and T. Lin, "Principal component localization in indoor WLAN environments," *IEEE Transactions on Mobile Computers*, vol. 11, no. 1, pp. 100-110, 2012.
- [6] J. Zhu, K. Zeng, K. Kim, and P. Mohapatra, "Improving crowd-sourced Wi-Fi localization systems using Bluetooth beacons," *Proc. Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 290-298, 2012,
- [7] Cisco, Wi-Fi location-based services 4.1 design guide, available at <http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG.html>.
- [8] I. Lacan and J. McBride, "City trees and municipal Wi-Fi networks: compatibility or conflict?," *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 35, no. 4, July 2009.
- [9] 김형권, 사공성호, 김시국, 이춘하, "장애물에 따른 무선 신호의 투과 특성에 관한 연구," 한국화재 소방학회 학술대회 논문집, pp. 249-254, 2009.
- [10] P. Fuhr, "Asset tracking in industrial settings - a review of wireless technologies part 1: the basics," *sensors magazine*, June, 2008.
- [11] Z. Michalewicz and D. Fogel, *How to Solve It: Modern Heuristics*, Springer, December 2004.

저자소개

김태훈(Taehoon Kim)

2006년 2월 부산대학교 정보컴퓨터
공학부 공학사
2008년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 공학석사

2008년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
※ 관심분야: 유무선 네트워크, P2P, 위치인식

탁성우(Sungwoo Tak)

2003년 2월 미국미주리주립대학교
Computer Science 박사
2004년~현재 부산대학교
정보컴퓨터공학부 부교수

※ 관심분야: 유무선 네트워크, 위치인식