

위치기반 서비스 강화를 위한 최적 데이터 필터링 기법 및 측위 시스템 적용 모델*

정 준** · †김재훈**

Optimal Fingerprint Data Filtering Model for Location Based Services

Jun Jung** · †Jae-Hoon Kim**

■ Abstract ■

Focusing on the rapid market penetration of smart phones, the importance of LBS (Location Based Service) is drastically increased. However, traditional GPS method has critical weakness caused by limited availability, such as indoor environment. WPS is newly attractive method as a widely applicable positioning method. In WPS, RSSI (Received Signal Strength Indication) data of all Wi-Fi APs (Access Point) are measured and stored into a huge database. The stored RSSI data in database make single radio fingerprint map. By the radio fingerprint map, we can estimate the actual position of target point. The essential factor of radio fingerprint database is data integrity of RSSI. Because of millions of APs in urban area, RSSI measurement data are seriously contaminated. Therefore, we present the unified filtering method for RSSI measurement data. As the results of filtering, we can show the effectiveness of suggested method in practical positioning system of mobile operator.

Keywords : LBS, WPS, Filtering, KNN

논문접수일 : 2011년 07월 18일 논문수정일 : 2012년 05월 30일 논문게재확정일 : 2012년 05월 30일

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0011825).

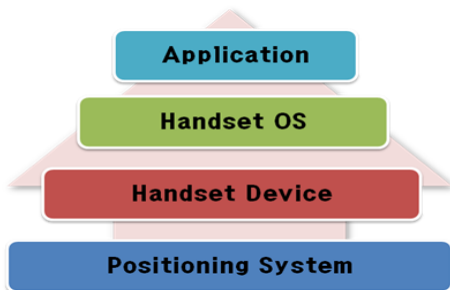
** 아주대학교 산업공학과

† 교신저자

1. 서 론

위치기반 서비스(LBS : Location Based Service)란 사용자가 현재 위치한 지리적 위치를 고려하여 사용자에게 유용한 정보를 제공하는 서비스를 일컫는다. 최근 들어 무선인터넷 및 이동통신 기술의 발달과 스마트폰의 급속한 확산으로 인해 사용자의 현재 및 과거의 위치 정보를 제공해주는 위치기반 서비스에 대한 관심이 증가하고 있다.

위치기반 서비스에 대한 사회적 요구가 증가하는 배경에는 첫째, 공공 및 개인의 안전과 관련된 긴급 상황에 대한 신속한 대처, 둘째, 경제적 자원관리, 셋째 다양한 정보통신 서비스 지원을 위한 기반기술의 필요성이 있다. 위치기반 서비스를 제공하기 위해서는 다층 구조의 시스템이 필요하다<그림 1>.



<그림 1> LBS 다층 구조

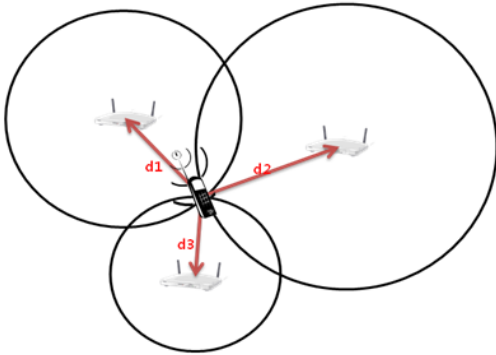
LBS를 위한 다양한 시스템 중에서 측위의 품질을 결정하는 핵심 시스템은 측위 시스템(Positioning System)이며 주로 유무선 통신 기술 등을 이용하여 대상체의 측위값을 측정하고 그 값을 제공하게 된다. 즉, 측위 시스템의 목표는 측정된 측위값과 실제 대상체의 위치와의 오차를 줄여 서비스를 이용하는 사용자가 이질감을 느끼지 않게 하는 데에 있다.

측위에는 크게 네트워크 기반 측위, GPS(Global Positioning System)[4], WPS(Wi-Fi Positioning System)[7]의 세 가지 방식으로 나뉜다. 그 중 가장 대표적인 수단으로는 GPS가 널리 이용된다.

GPS는 미국이 제공하는 인공위성 기반 측위데이터 제공 시스템이다. GPS 위성은 항상 지구를 향하여 전파를 발사하고, GPS 수신 장치는 이 전파를 참조하여 위성에서 송신한 신호가 수신 장치에 도달하는데 걸리는 시간(TOA : Time of Arrival)을 계산하여 거리를 계산한다[10]. 보통 4~5개의 위성의 위치와 수신 장치까지의 거리를 바탕으로 삼각측량법을 적용하여, 수신장치는 사용자의 위치를 계산한다. 그러나 GPS는 직진성이 강한 전파의 특성상 수신장치와 가시거리(LOS : Line Of Sight)상에서만 통신이 가능하여 실내 같은 특정한 환경에서는 측위가 어렵다는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 극복하기 위한 여러 방안 중에 최근 급속히 보급되기 시작한 무선랜(WLAN : Wireless LAN)을 이용한 WPS라는 측위 방식이 있다.

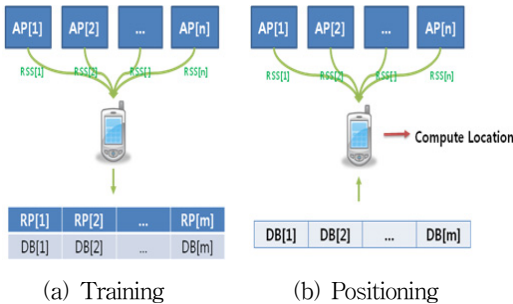
WPS 방식에서의 핵심은 실내 및 실외에 위치하는 Wi-Fi AP(Access Point)로부터 사용자 단말기에 측정되는 전파수신강도(RSSI : Received Signal Strength Indication)를 이용한다는 것이다[2]. 이는 통신에 쓰이는 무선 AP를 위치측위에 활용함으로써 새로운 인프라 구축비용이 필요 없다는 장점을 지니고 있어 최근 애플의 iPhone에 도입되기도 하는 등 꾸준히 발전해 나가는 분야라 할 수 있다[9].

WPS는 관련 특허를 보유한 미국의 'Skyhook Wireless'에서 처음 사용된 용어로서 크게 무선 AP의 정보를 얻어내는 기술, 얻어낸 Data를 최적화하여 AP의 위치 및 RSSI DB(Database)를 구축하는 기술, 얻어낸 무선 AP 정보와 구축된 DB 내의 정보를 비교하여 <그림 2>과 같이 삼각측량법을 활용하여 단말의 위치를 얻어내는 기술로 구성된다[8]. 하지만 검출되는 무선 AP의 수가 매우 많고, 수시로 변동사항이 많아 AP의 위치를 추정하고 DB를 구축하는 데에는 많은 어려움이 있다. 그래서 무선 AP의 RSSI를 사용하지만, AP의 위치 추정과정 필요 없는 전파지문(RF Fingerprint) 방식이 연구되고 있다[7].



<그림 2> 삼각 측량법 도식화

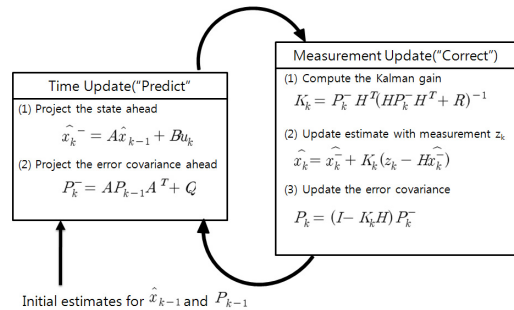
전파지문(Fingerprint) 방식은 <그림 3>와 같이 크게 훈련(Training) 단계와 측위(Positioning) 단계로 나누어진다. 훈련 단계에서는 지역을 단위 격자로 분할하고, 각 격자의 단말로부터 수집한 무선 AP의 RSSI 정보를 DB화 하는 단계이다. 이후 측위 단계에서는 측위 요청된 단말에서 수신된 RSSI 정보들을 DB의 정보와 비교하여 적절한 격자 후보군 중 특정 위치결정 알고리즘에 의하여 시스템 파라미터 정보가 가장 근접한 격자가 선택되어 그 격자의 위치 정보가 단말의 위치로 보고되는 방식이다. 위치결정 알고리즘 중 가장 정밀한 것으로 알려져 주로 사용되는 K-NN(K-Nearest Neighbor) 방법은 K개의 가장 가까운 RP를 찾아 그 좌표의 평균을 사용자의 현재 위치로 판정하는 방법이다[3].



(a) Training (b) Positioning
 <그림 3> 전파지문(Fingerprint)법 도식화

전파지문 방식 역시 RSSI DB를 구축하는 과정

에 있어서 검출되는 AP의 개수가 매우 많아 어려움이 있는 점은 삼각측량 방식과 비슷하다. 하지만 삼각측량 방식에서의 RSSI DB는 여러 지역에서의 전파특성을 참조하는 데에 쓰이는 반면, 전파지문 방식에서는 직접적으로 측위를 하는 데에 쓰여 DB의 중요도가 삼각측량 방식에서보다 더 크다고 할 수 있다. 측정환경이 변화하게 되면 환경 변화 정보를 즉각적으로 반영할 수 없기 때문에 실내 환경처럼 빈번한 환경 변화가 일어날 경우 환경 변화에 능동적으로 대처하기 어려운 문제점이 있다. 또한 실내뿐 아니라 실외에도 AP가 무수히 많이 설치되어 있어 RSSI 정보를 토대로 한 DB 작성 시에도 어려움이 있다. 그렇기 때문에 전파지문 방식에서는 측위 값을 도출하는 과정에 있어서 데이터를 필터링 해주는 과정을 반드시 거쳐야만 한다.



<그림 4> 칼만 필터 도식화

기존의 한 연구에서는 위치 보정을 위해서 칼만 필터(Kalman Filter)를 사용하기도 하였다<그림 4> [1, 11]. 칼만필터를 사용하는 방식에서는 과거의 측정데이터와 새로운 측정데이터를 사용하여 데이터에 포함된 노이즈를 제거시켜 새로운 결과를 추정하는 알고리즘으로 선형적 움직임을 가지는 대상을 재귀적 자료처리로 동작을 시킨다. 즉, 연속적 입력 데이터에서 과거와 현재의 두 개의 데이터만으로 측위값을 보정시킨다. 이 방법은 측위(Positioning) 단계에서의 필터링 알고리즘을 사용하는 것으로 훈련 단계에서의 DB 작성시 발생하는 난점을 해결해 주지는 못한다.

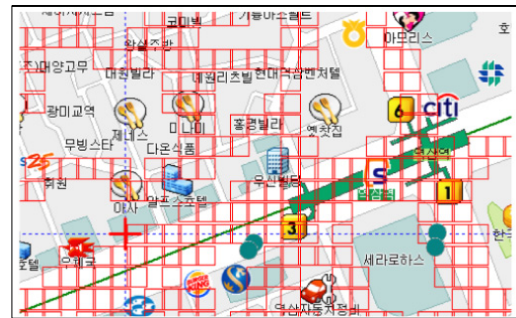
이에 본 논문에서는 전파지문 방식에 있어 훈련 단계에서 DB 작성시 AP의 정보를 필터링 하는 방법을 소개한다. 기존 DB에서는 RSSI 값의 크기 여부와 관계없이 각 격자에서 측정되는 모든 AP의 RSSI 값을 저장하여 운영되었다. 하지만 측위 단계에서 사용되는 K-NN 알고리즘에서의 RSSI 크기가 작은 AP의 정보는 노이즈로 작용해 측정 과정에서 오차만 늘게 할 뿐이다. 본 연구에서는 검출되는 AP의 개수를 각 격자마다 일정한 범위내로 한정시키기 위해 RSSI 값을 활용하여 필터링 하는 방법을 제시한다. 그러기 위해 전체 프로그램을 정수계획법(Integer Programming)으로 모델링한다. 또한 수립된 모델의 실질적 해를 구하기 위해 동적계획법(Dynamic Programming)관점에서 접근적 해법을 동시에 제시한다. 더불어, 샘플 지역을 설정하여 제시하는 방법을 적용하는 시뮬레이션을 제작한 뒤, RSSI 값이 높아 측위에 쓰일 AP만을 걸러낸 뒤 각 격자당 일정 범위의 AP의 수만을 갖는 DB의 표준 형태를 구축한다.

2. Fingerprint Grid Definition

연구에 사용된 AP의 정보는 다음 <표 1>과 같은 형태로 수집되었다.

<표 1>에서 나타난 예시와 같이 AP의 정보는 MAC address(BSSID), SSID(Service Set ID), MES_X(경도), MES_Y(위도), RSSI(검출 전파 세

기)로 표현된다. 본 정보는 서울시 강남구에서 위치를 이동해가며 실제로 측정된 자료로써, 측정 위치에서 검출된 모든 무선 AP에 관한 정적인 정보(BSSID, SSID, 위도, 경도)와 동적인 요소(RSSI)로 이루어져있다. 그 중 동일한 위도 및 격자를 가지는 정보들만을 따로 구성하여 <그림 5>와 같은 격자지도를 구성할 수 있다.



<그림 5> AP 정보의 격자화

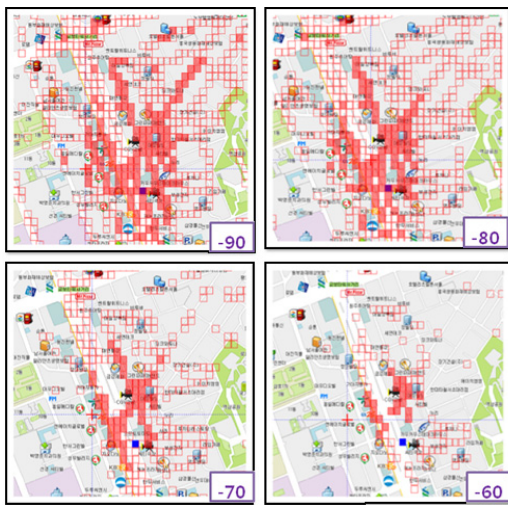
AP 정보들이 격자화를 이루게 되면, 두 가지의 정보를 얻을 수 있게 된다. 첫 번째로는, 격자당 측정되는 AP의 개수이고, 두 번째로는 하나의 AP가 측정되어지는 격자의 범위, 즉 AP의 영향범위를 얻을 수 있다.

격자당 측정되는 AP의 개수는 훈련(Training) 단계에서 DB의 사이즈를 결정한다. DB의 사이즈는 측위(Positioning) 단계에서 계산속도를 결정할 뿐만 아니라, 측위의 정밀도와도 밀접한 관계를 이룬다.

<표 1> AP 정보 테이블

BSSID	SSID	MES_X	MES_Y	RSSI
00 : 01 : 36 : 1f : 9c : d2	sklifeap_4	37.5036	127.0336	-80
00 : 01 : 36 : 24 : 66 : 60	primebc-ap2	37.506	127.0436	-69
00 : 01 : 36 : 25 : 2a : ea	hpsetup	37.4956	127.0302	-79
00 : 01 : 36 : 25 : 2a : eb	SK_WLAN	37.4956	127.0302	-79
00 : 01 : 36 : 26 : 24 : 27	KWI-B2200T	37.5038	127.0274	-87
00 : 01 : 36 : 26 : 24 : 28	D-1201	37.5038	127.0274	-83
00 : 01 : 36 : 27 : 4d : 54	Tectura Corporation	37.5084	127.0434	-89
00 : 01 : 36 : 2a : 84 : f9	default	37.4962	127.0302	-81

DB를 이루는 AP의 유일한 수치는 RSSI라 할 수 있는데, 실제 측위 단계에서 낮은 RSSI 정보는 격자를 이루는 정보로서 큰 영향을 끼치지 못한다. 높은 RSSI를 가지는 경우는 단말기와 AP 사이에 장애물이 거의 없거나 그 거리가 가까운 경우로 한정되어있는 반면[6], 낮은 RSSI로 측정되는 지역의 경우는 환경의 영향으로 그 범위가 넓어지기 때문에 그 정보는 실제 측위의 추정에 사용될 정보로는 적합치 않다.



〈그림 6〉 RSSI 변화에 따른 AP 영향범위

〈그림 6〉는 하나의 AP를 기준으로 하여 RSSI의 크기를 -90dB에서 -60dB까지 10단위로 지정하여 그 기준값보다 높은 RSSI로 측정된 격자만을 붉은색으로 표시한 그림이다. 기준값이 높아지게 되면 그 격자의 수가 줄어들게 되는데 제외된 격자를 살펴보면 전체 반경에서 바깥에 있는 격자가 사라지는 경향이 있다. 낮은 RSSI를 가지는 격자는 AP의 영향반경에서 그 범위가 매우 넓지만, 높은 RSSI를 가지는 격자는 그 범위가 상대적으로 좁다는 것을 의미한다

만일, AP의 영향범위를 작게하는 기준 RSSI를 각 AP별로 지정해주고 그 기준 이상인 정보만으로 구성된 참조 데이터로만 DB가 작성된다면 그 Data

Set 내의 RSSI는 상대적으로 높은 값들을 갖게되며 이는 결과적으로 하나의 격자에서 DB에 포함되는 AP들의 RSSI가 모두 높은 수준으로 유지되게 된다. 이는 RSSI에 대한 기준을 갖지않고 수집된 정보를 모두 포함한 경우의 DB에서 보다는 좀더 높은 품질의 측위를 가능하게 한다.

본 논문에서는 필터링 과정을 통해 모든 AP마다 기준이 되는 RSSI를 지정하여, 그 이상의 값만 가지는 정보로 DB를 구성, 마지막으로 각 격자마다 검출될 AP의 개수를 RSSI 크기 순서대로 목표값(필터 후 격자에 남은 유효 AP의 개수)에 근접하게 하는 것을 목표로 한다.

3. 수학적 모델링 및 해결방안

3.1 정수계획법 모델링

RSSI를 기준으로 하는 데이터 필터링은 정수계획법 모델로서 수식화가 가능하다. 수립된 정수 계획 모델에서의 목적함수는 식 (1)과 같은 형태를 가지고 있다.

$$\text{Minimize } \sum_k \sum_j |g_k - n_j| \tag{1}$$

g_k 값은 전체 지역을 특징에 따라 k개의 지역을 나누는 뒤 각 지역마다 지정해준 목표값을 나타낸다. 여기서 목표값은 임의의 값으로 그 지역에서의 희망 유효 AP 개수를 말한다. 만일, 지역을 변화가, 주택가 등으로 나누었다면 목표 측정 AP 수는 각각 다르게 설정하게 된다. n_j 는 필터링 후 각 격자에서 측정된 유효 AP의 개수이다. 즉, 목적함수는 희망 유효 AP 개수와 실제 측정되는 유효 AP 개수의 최소값을 목적으로 한다.

여기서 제약조건은 다음과 같이 주어진다.

$$n_j = \sum_i y_{ij} \tag{2}$$

$$y_{ij} \leq o_{ij} \tag{3}$$

$$y_{ij} = (0, 1), \quad o_{ij} = (0, 1)$$

모든 지역에서 검출된 i 개의 AP들은 격자에서 발견될 경우 1, 그렇지 않을 경우에 0의 값을 가지게 된다. o_{ij} 는 필터링 전, y_{ij} 는 필터링 후, j 번째 격자에서 i 번째 AP의 발견여부를 나타내며, 식 (2)와 같이 필터링 후 격자당 AP의 개수 총합을 n_j 로 나타낸다. 필터링 전과 후에 각 격자에서 검출되는 AP의 개수는 필터링 되어 삭제된 AP가 존재하지 않을 경우를 제외하고는 필터링 전보다 후의 AP 수가 적게 된다(식 (3)).

여기서, 각 격자에서 필터링 되어야 할 AP는 RSSI 값이 작은 순서대로 목표값에 맞게 삭제되어야 한다. 필터링되어 삭제된 AP의 RSSI가 다른 AP들의 RSSI보다 작아야 하며 그 식은 식 (4)와 같다.

$$(o_{ij} - y_{ij})r_{ij} \leq y_{ij}r_{ij}, \quad r_{ij} = -1/RSSI_{ij} \quad (4)$$

r_{ij} 는 j 격자에서 i 번째 AP가 갖는 RSSI 값을 나타내며, 전파의 RSSI 값은 -95dB , -80dB 과 같은 음(-)의 값을 가지고 있기 때문에 대소비교를 위해 변수 r_{ij} 를 $-1/RSSI_{ij}$ 로 정의하였다. 이 식의 좌변에서 j 격자안의 AP 하나의 값을 고정시킨 후, 우변의 값은 그 AP를 제외한 같은 격자안의 모든 AP에게 적용시켜 비교된다. o_{ij} 가 0일 경우에는 y_{ij} 는 무조건 0이어야 하고 1을 가질 수 없으며, 필터링이 되어 삭제된 AP의 경우에는 o_{ij} 는 1, y_{ij} 는 0이 된다. 즉, $(o_{ij} - y_{ij})$ 는 필터링의 여부를 나타내는 수식으로 $(o_{ij} - y_{ij})$ 이 1이 되는 경우는 필터링이 되어 삭제된 AP를 나타내는 것으로 우변의 삭제되지 않은 모든 AP의 RSSI값인 $y_{ij}r_{ij}$ 은 좌변에서 삭제된 AP의 RSSI 값보다 작게 된다. 필터링이 되지 않고 남겨진 AP인 경우에도 $(o_{ij} - y_{ij})r_{ij}$ 값이 0이 되어 $y_{ij}r_{ij}$ 보다 작게 된다.

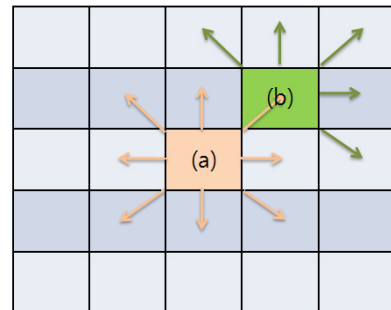
본 모델로 최적화된다면 이상적인 Database를 확보할 수 있지만, 서울시 강남구만을 측정한 데이터의 AP 개수가 12,000여 개라는 점을 고려하면 지역이 확대될 경우 그 수는 기하급수적으로 증가하게 된다. 이는 하나의 격자에서 존재하는 모든 AP를 다뤄야 하는 본 모델로는 시스템에 과부하를 일으킬 가능성이 있다. 때문에 본 논문에서는 기존 IP

모델을 바탕으로 유연하게 접근할 수 있는 동적 계획법(DP : Dynamic Programming)의 관점으로 새로운 알고리즘을 소개한다.

3.2 동적 계획법 모델링

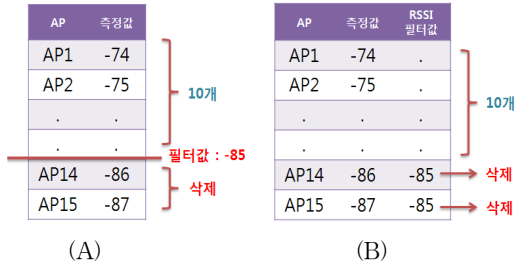
동적 계획법이란, 대부분의 OR 기법에서는 한 단계로 된 의사결정의 해법을 목적으로 하는 것과 다르게 여러 단계로 연쇄적인 의사결정을 문제를 분해 또는 분할을 통해 문제의 규모를 줄여나가면서 해결하는 방법이다. 본 연구에서는 앞서 소개한 정수 계획법의 모델로는 전 지역에 대해 계산하는 것의 복잡성이 커 지역을 세분화 시킨 후, 단계적으로 AP의 기준값을 추정한다.

RSSI는 AP에서 거리가 멀수록 작아진다. 또한 한 격자에서 AP가 검출되기 위해서는 RSSI가 일정크기 이상이 되어야 검출이 가능한데, 그로 인해 서로 멀리 떨어진 격자에서 같은 AP가 검출되는 확률보다는 인접한 격자에서 같은 AP가 같이 검출이 될 확률이 높다. 게다가, 인접한 격자끼리는 그 거리가 멀지 않아 측정된 RSSI의 차이는 작게 되고, RSSI 크기가 차이가 나지 않는 동일한 AP가 인접한 격자에서 검출이 된다. 격자(a)에서 목표값을 만드는 RSSI 필터값이 주어졌을 경우에, 비슷한 AP와 비슷한 RSSI를 가진 인접 격자(b)의 RSSI 필터값은 격자(a)와 비슷하게 된다. 결국 일정한 범위 내에서 각 격자들은 서로서로 RSSI 필터값에 영향을 주고 받는다고 할 수 있다<그림 7>.



<그림 7> RSSI 필터값에 영향을 주는 인접격자

또한 격자의 RSSI 필터값이 정해졌다면, 이 필터값은 그 격자에 속하는 AP들의 필터값에 대응가능하다. <그림 8>의 격자를 생각해보자. 이는 같은 격자에서 격자 필터값과 AP 필터값에 의해 필터링을 하여 삭제된 결과이다.



<그림 8> 격자 필터값의 AP 필터값화

격자당 필터 후에 남은 AP 목표값(유효 AP 수)을 10개라 가정했을 경우 격자별 필터값을 적용한 (A)에서 이 격자의 AP의 개수를 10개로 만드는 격자 필터값은 -85이다. (B)는 AP별 필터 값을 적용한 결과로, (A)로부터 -85라는 값을 AP14와 AP15에 필터값으로 적용한 결과다. 그 결과 필터링의 결과는(A)와 (B) 모두 APdml 개수는 10개, 그리고 삭제된 AP는 14와 15로 동일하게 나타난다. 결론적으로 격자 필터값은 AP 필터값을 얻어내는 근거로 가능하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 위의 이론에 의거하여 새로운 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘은 크게 두 가지 단계로 나뉜다. 우선 동적 계획법으로 접근하여 모든 격자의 필터값을 결정하게 되며 두 번째 단계에서 격자 필터값을 AP 필터값으로 변환해주게 된다.

하나의 격자의 필터값이 다른 격자에 영향을 주기 위해서는 기준이 될 하나의 격자를 선택하여 필터값을 구하여야 한다. 선택된 격자의 AP의 개수가 목표값보다 크다면, 필터 RSSI 값을 단계적으로 증가시켜 그 값보다 높은 RSSI를 갖는 AP의 개수가 목표값과 같거나 비슷하게 만드는 RSSI 값을 정하고 이를 격자 RSSI로 지정한다. 이후, 기준 격자와 근접한 범위에서 다른 격자를 선택하여 기준 격

자의 RSSI를 적용하여 필터링을 한 뒤, 남은 AP의 개수를 기준으로 RSSI 값을 증가시키거나 감소시킨다.

이를 나타낸 동적 계획법 문제의 목적함수는 식 (5)와 같으며 격자가 선택될 때마다 단계가 바뀌게 되어 결국 전체 단계 N은 격자의 개수와 동일하다.

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^N s_n |G - g(x_n)| \quad (5)$$

Subject to

$$x_n = \{0, -70, -71, \dots, -89, 90\} \quad (6)$$

$$s_n = \begin{cases} 1 : \text{필터전 AP의 개수} > G \\ 0 : \text{필터전 AP의 개수} < G \end{cases} \quad (7)$$

여기서 G는 목표 AP의 개수를 나타내고 $g(x_n)$ 는 격자 필터값 x_n 을 가질 때, 필터 후의 AP의 개수를 나타낸다. x_n 은 필터값이 될 RSSI의 후보가 되므로 -70~-90의 값 중 선택하게 된다(-70과 -90은 각각 필터값의 최대 및 최소값이라 가정). 선택된 격자에서 필터전의 AP의 개수가 목표값인 G보다 작을 경우에는 필터링을 할 필요가 없기 때문에 s_n 이 0으로 분류되어 계산에서 제외되고, G보다 클 경우에만 계산을 하게 된다. s_n 이 0이 될 경우에 x_n 은 삭제를 방지하기 위해 필터값으로 큰 값을 준다.

$$f_{n+1}(s_{n+1}, x_{n+1}) = s_{n+1} |G - g(x_{n+1})| + f_n^*(x_n^*) \quad (8)$$

식 (8)은 각 단계에서의 값을 나타내며, 현재 단계 (n+1)에서의 값은 전 단계(n)까지 목표값 G와 $g(x_n)$ 의 차이합의 최소값에 현 단계에서 계산될 G와 필터 후의 AP의 개수차이를 합한 값이다. <표 2>는 n+1번째 단계에서의 예시이다.

목표값 G가 15이고 현재 격자의 필터 전 AP가 25개, 그리고 n 단계까지 격자에서 G와 차이합계의 최소값이 5라 가정하자. 필터 전 AP의 수가 15개보다 작다면 따로 계산과정 없이 s_n 이 0으로 $f_n^*(x_n^*)$

<표 2> n+1 단계 격자 예시

$s_{n+1} \backslash x_{n+1}$	$f_{n+1}(s_{n+1}, x_{n+1}) = s_{n+1} G - g(x_{n+1}) + f_n^*(x_n^*)$							$f_n^*(x_n^*)$	x_n^*	
	0	-70	-71	...	-80	...	-89			-90
0	5	-	-		-		-	-	5	0
1	-	15	15		6		15	15	6	-80

이 5로 유지되었지만 현재 격자에서의 AP는 25개로 15개보다 많기 때문에 $f_n^*(x_n^*)$ 가 6이 되는 x_n^* 인 -80이 현재 격자의 필터값이 된다. 이 격자에서 -80의 격자 필터값으로 한 필터링 결과는 $|G - g(x_{n+1})|$ 가 1이 되어 현재까지의 최소값은 6이 된다.

이 과정을 거치게 되면 모든 단계, 즉 모든 격자에서 목표값 G(유효 AP 개수)에 가깝게 만드는 필터값을 각각 얻게 된다.

각 격자마다 필터값이 결정되었으면, 다음으로 전체 DB에서 모든 AP마다 이를 적용시킨다. 하지만 같은 AP라도 어떤 격자에서는 삭제 대상이 되기도 하고 다른 격자에서는 그렇지 않은 경우가 발생하게 된다. 때문에 본 논문에서는 각 AP마다 삭제 대상으로 지정되는 횟수에 따른 평균치를 계산하여 AP 필터값으로 지정하였다.

4. AP 필터값 결정 Test

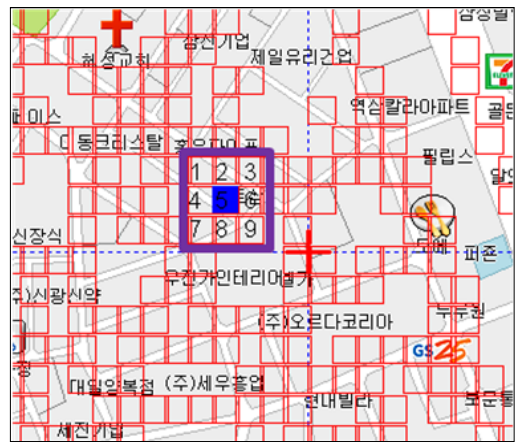
이 알고리즘의 증명을 위해 작은 범위의 Test 지역을 설정하여 적용가능성을 체크하고, 이를 더 확대시켜 C++ 언어를 통해 프로그램으로 구현해 보았다.

4.1 실험 지역 샘플링

알고리즘의 효율성을 알아보고자 강남구 역삼동 지역 중 <그림 9>과 같이 9개의 격자(3×3)를 임의 추출하여 이 알고리즘의 적용이 가능한지의 여부를 알아보았다. 유효 AP의 개수 목표값은 격자당 10개로 지정하였다.

각 격자마다 목표값인 10과 오차가 적게 가지는 격자기준 필터값(RSSI)을 구한 뒤, <그림 9>과 같

이 격자기준에서 삭제 대상이 되는 AP들에게 AP 필터값을 적용시켜보았다.



<그림 9> 알고리즘 적용여부 Test

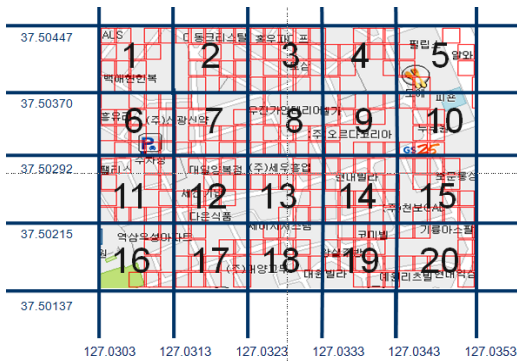
실험 결과, <표 3>과 같이 격자당 평균 16.56개의 AP와 7.67의 오차평균을 가지는 필터 전의 데이터가 필터 후에는 평균 9.889개의 AP와 2.56의 오차평균을 가지는 데이터로 변경되었다. 이를 통해서 위의 알고리즘을 활용하면 목표 유효 AP 개수를 가지는 데이터베이스의 확립이 가능함을 알 수 있다.

<표 3> 3×3 샘플 실험결과

격자 No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
필터 전	25	19	18	21	13	18	7	8	20	
$ G - N_j $	15	9	8	11	3	8	3	2	10	
	오차평균					7.67	격자평균			16.56
필터 후	11	10	9	15	9	9	5	6	15	
$ G - N_j $	1	0	1	5	1	1	5	4	5	
	오차평균					2.56	격자평균			9.889

4.2 실험 지역 확대 및 구현

본 논문에서는 <표 3>와 같은 결과를 토대로 하여, 서울시 강남구 역삼동의 총 격자 248개, AP 1267개, 총 검출 데이터 6566개로 이루어진 지역을 20개로 세분화한 뒤 위의 알고리즘을 프로그래밍하여 구현하였다<그림 10>.



<그림 10> Test Area 확대

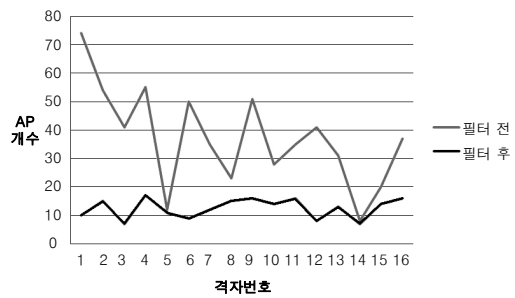
본 프로그램에서 각 지역은 격자의 수가 아닌 지도상 위도, 경도로 구분하며, 식 (8)의 계산을 거쳐 각각의 격자에서 필터값을 계산하였다. 후에 각 격자 필터값으로 인한 삭제대상 AP들에게 필터값 이전작업을 실시하였다. 이 때, 같은 AP 작업시 각 격자에서 삭제대상으로 되는 경우에 한해서 그 필터값의 평균을 AP 필터값으로 지정하였으며, 삭제 대상이 1회도 되지 않는 AP는 필터값으로 낮은 RSSI (-95)을 지정하였다. <그림 11>은 952번 AP부터 1023번 AP까지의 AP 필터값을 나타낸 것이다.

모든 AP에서 필터값을 지정하고 각 격자마다 추 출되었던 AP 중에 AP 필터값보다 작은 RSSI를 가지는 AP를 삭제한 결과, 전체 2751개, 격자당 평균 10.955개의 데이터 Set을 얻었다. 필터링 후의 데이터는 전체 6566개, 격자당 평균 26.583개가 검 출되었던 필터링 전과 비교하여 전체 약 60%의 데이터가 감소하는 효과를 보여주고 있다. <그림 12>은 지역 14와 지역 19의 결과값을 그래프로 표현하고 있다. 필터 전의 그래프를 보면 각 격자에서 검

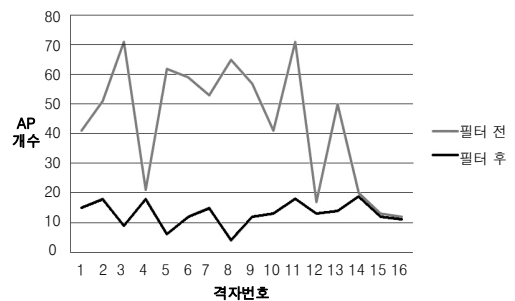
출된 AP의 크기가 일정하지 않는 반면, 필터 후의 그래프에서는 목표값 10개 부근에서 크게 최대 20 개를 벗어나지 않는 범위 내에 조절이 되고 있다는 점을 알 수 있다.

AP No.	AP 필터값	AP No.	AP 필터값	AP No.	AP 필터값
952	-95	976	-79.1	1000	-60.4
953	-69	977	-76.4	1001	-85
954	-4	978	-73	1002	-95
955	-95	979	-81.25	1003	-95
956	-84	980	-78.75	1004	-85
957	-79.1429	981	-84.4286	1005	-77.5556
958	-85	982	-81.5	1006	-81.3333
959	-76.4	983	-77	1007	-76
960	-78.3333	984	-75.6	1008	-75.3333
961	-80.8333	985	-78.8889	1009	-83
962	-67	986	-54.6667	1010	-95
963	-95	987	-4	1011	-95
964	-83.6	988	-95	1012	-95
965	-95	989	-79	1013	-95
966	-79	990	-79.2857	1014	-76.1818
967	-61	991	-81.3333	1015	-55.8
968	-61	992	-95	1016	-95
969	-85.3333	993	-95	1017	-76.25
970	-64	994	-61	1018	-87
971	-80.4	995	-84.1667	1019	-76.8
972	-79.6667	996	-83.8333	1020	-76.4
973	-79.6	997	-83.3333	1021	-85
974	-81.3333	998	-79	1022	-51.6667
975	-95	999	-95	1023	-42.6667

<그림 11> AP 필터값의 예



(a) 지역 14



(b) 지역 19

<그림 12> Test 결과-지역 14과 지역 19

5. 실제 측위 Test

5.1 K-NN(K-Nearest Neighbor)

본 논문에서 사용된 측위 알고리즘은 기존 전파 지문 방식에서 주로 사용되고 있는 K-NN(K-Nearest Neighbor) 알고리즘을 사용한다. 전체 데이터 Set 중 Test Set과의 오차를 활용한 패턴 매칭 알고리즘으로써 가장 오차가 적은 지역 K개를 결정한 뒤, 이들 위치의 평균을 Test Set의 현재 위치로 결정하는 알고리즘이다. 기존의 Binghao Li의 논문[3]에 따르면 K 값은 3개 또는 4개가 가장 적당함을 증명하였다. 이에 본 연구에서의 K 값은 3개로 정하였고, 오차 계산은 식 (10)에서 q값이 2인 유클리언-거리 계산 방식으로 계산되었다.

$$L_q = \left(\sum_{i=1}^n |s_i - S_i|^q \right)^{\frac{1}{q}}$$

위의 식에서 s_i 는 Test Set에서의 RSSI 벡터를 뜻하며, S_i 는 DB안 각 격자에서의 RSSI 벡터를 나타낸다. 이 때, i 는 전체 AP의 index를 나타내며 Test Set에서의 AP가 존재하지 않는 격자에서 s_i 는 0으로 계산한다.


5.2 Test Set

Test Set은 실제 측정된 데이터로 활용되어야 하지만, 측정의 어려움이 있어 기존의 데이터를 참고하여 구성하였다. 기존 데이터 중 한 개의 격자 내에 측정된 AP 중 2/3만을 추출하며 그 RSSI의 크기는 -3~+3의 변화를 주어 구성하였다. 이는 AP 환경에 따라 검출이 되지 않는 AP가 존재하는 경우도 있으며, 측정환경에 따라 RSSI가 보통 -3~+3의 변화를 보이기 때문에 실제 측정시 발생될 변화를 가정하여 반영한 것이다. <그림 13>은 Test Set의 한 예이다.

<그림 13>의 Test Set은 1~7번 격자(1지역 7번째 격자)에서 비롯된 데이터이기 때문에 이 Test Set

의 위치는 기존 데이터인 1~7번 격자라고 가정하게 된다. Test Set은 기존 데이터의 격자를 선택함에 따라 수시로 변경하게 되며 이를 프로그램화하였다.

AP No.	RSSI
308	-85
383	-85
456	-85
545	-81
601	-85
623	-85
642	-85
692	-81
693	-87
819	-89
848	-83
884	-85
904	-71
905	-85
906	-81
908	-68
912	-70
928	-87
958	-86
1001	-83



AP No.	RSSI
383	-87
456	-83
601	-86
623	-88
692	-84
693	-86
848	-84
884	-86
905	-84
906	-80
912	-73
928	-85
1001	-85

(A) 기존 1~7번 격자 데이터

(B) Test Set

<그림 13> Test Set 예

5.3 측위 Test

S_i 의 계산대상은 <그림 10> 지역의 격자들이며, 계산은 필터 전과 필터 후의 DB로 계산된다. 단, 필터 후의 DB로 계산시, Test Set에서의 AP의 RSSI가 AP 필터값보다 작을 경우 AP는 삭제되어 식 (10)의 s_i 에서 제외하도록 하였다.

Test Set	Test Set 위치	필터 전 위치추정		필터 후 위치추정			
		위도	경도	위도	경도		
8	1	37.5030	127.0328	37.5028	127.0331	37.5030	127.0330
	오차			0.0002	0.0003	0.0000	0.0002
2	37.5030	127.0332	37.5030	127.0333	37.5030	127.0333	
	오차			0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
3	37.5032	127.0330	37.5031	127.0331	37.5032	127.0329	
	오차			0.0001	0.0001	0.0000	-0.0001
4	37.5032	127.0328	37.5030	127.0331	37.5030	127.0324	
	오차			0.0002	0.0003	-0.0002	-0.0004
5	37.5030	127.0324	37.5030	127.0326	37.5030	127.0324	
	오차			0.0000	0.0002	0.0000	0.0000
6	37.5030	127.0326	37.5030	127.0323	37.5030	127.0324	
	오차			0.0000	-0.0003	0.0000	-0.0002
7	37.5034	127.0324	37.5033	127.0326	37.5033	127.0327	
	오차			0.0001	0.0002	-0.0001	0.0003
8	37.5034	127.0326	37.5037	127.0319	37.5037	127.0325	
	오차			-0.0003	-0.0007	0.0003	-0.0001

<그림 14> 8-1~8번 격자 측위 결과

<그림 14>은 각 Test Set(기존 데이터에서 격자 선택) 중 8-1~8번 격자의 Test Set으로 계산된 결과의 예이다.

한 격자의 크기가 위도, 경도 모두 0.0002°라는 것을 고려했을 때, <그림 14>의 결과는 필터 전과 후의 데이터 모두 Test Set의 위치를 적은 오차 내에서 추정되었다는 사실을 알 수 있다. 게다가 8-4번 격자를 제외하고는 필터 전보다 같은 오차를 보이거나 더 적은 오차를 가진다.

하지만 모든 실험결과가 위와 같이 오차가 줄어들지는 않았으며, 오히려 필터 전의 결과가 더 좋은 경우도 많았다. 하지만 필터 전, 후 모두 오차가 거의 모두 0~0.0005°사이의 범위내에 수렴하였다. 이는 전체 6566개의 AP의 정보에서 약 1/3에 미치는 2751개로 DB의 크기가 줄었음에도 불구하고 필터 전후로 비슷한 위치 측위가 가능하다는 점에서 AP 필터 알고리즘이 유용하다는 것을 뜻한다. 이는 최근 급증하고 있는 AP들을 모두 포함하여 측위 시스템의 막대한 트래픽으로 측위하는 것보다 데이터베이스를 일정한 크기로 유지함과 동시에 측위 결과를 비슷하게 얻어내면서 측위 시스템 서버의 과부하를 막을 수 있고, 증가하는 트래픽을 효율적으로 관리할 수 있게 된다.

6. 결 론

본 연구에서 활용된 서울시 강남구 역삼동의 정보는 SK Telecom의 실측자료로서, 측정 당시(2010년)보다 현재에는 훨씬 많은 AP가 존재할 것으로 예상된다. 최근 스마트폰 확산으로 인해 가정용 무선 공유기의 확산 뿐 아니라, 각 이동통신사에서 무선 AP 인프라 구축에 많은 투자를 하고 있다. 이는 무선 AP를 활용하는 WPS에서 보다 정밀한 측위의 가능성이 증가한다는 점에서는 긍정적이나 그에 따른 막대한 트래픽 제어의 부담이 커지게 된다.

때문에 본 논문에서는 WPS 중 전과지문방식에서 Training 단계에서 작성되는 AP DB를 일정한 크기로 만드는 필터링 알고리즘을 제안하였다. 기

존 전과지문 방식에서는 측정된 모든 AP의 정보를 DB화 시키지만 본 논문에서의 DB는 대상 AP의 증가에 관계없이 활용될 DB를 일정하게 유지하게 된다. 뿐만 아니라, 모든 AP에게 필터기준을 주어 Positioning 단계에서 측위대상의 AP의 RSSI를 각 AP들의 필터값과 비교함으로써 계산대상 AP를 검출할 수 있게 해준다. 그렇기 때문에, 측위계산시 과도한 트래픽의 부담을 덜어줄 수 있게 된다.

하지만 본 알고리즘 중 AP 필터값을 지정해주는 과정에서, 휴리스틱적으로 접근함에 따라 최적화된 필터값과의 오차측정 기준이 모호하다. 그렇기 때문에 향후 연구에서는 AP 필터값에 대한 명확한 정의를 통해 측위의 정밀도를 높일 수 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 임재걸, 정승환, "지문방식 측위 기반 칼만필터 추적의 정확성 제고 방법", 『한국정보과학회』, 제34권, 제2호(B)(2007).
- [2] Javier del Prado Pavon, "Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength measurement," *Wireless Communication and Networking*, 2003.
- [3] Li, B., J. Salter, A.G. Dempster, C. Rizos, "Indoor positioning techniques based on Wireless LAN," 2006 Auswireless Conference, 2007.
- [4] Masumoto, Y., "Global Positioning System," US Patent, 1993.
- [5] Kaemarungsi, K., "Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique," *University of Pittsburgh*, 2005.
- [6] Kaemarungsi, K. and P. Krishnamurthy, "Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting," *Mobile and Ubiquitous Systems : Networking and Ser-*

- vices*, 2004.
- [7] Skyhook Wireless, "Estimation of positioning using WLAN access point radio propagation characteristics in a WLAN Positioning System," *World Intellectual Property Organization*, 2007.
- [8] Skyhook Wireless, "Location beacon database and server, method of building location beacon database, and location based service using same," *World Intellectual Property Organization*, 2004.
- [9] Skyhook Wireless, "Skyhook Wireless technology used in revolutionary iPhone and iPod touch," <http://www.skyhookwireless.com/press/skyhookapple.php>, 2008.
- [10] Watters, J.M., "Combining GPS with TOA/TDOA of cellular signals to locate terminal," *US Patent*, 1998.
- [11] Welch, G. and G. Bishop, "An introduction to the Kalman Filter," 2006.