

RTLS를 위한 위치 보정 기법의 설계 및 구현

Design and Implementation of Location Error Correction Algorithm for RTLS⁺

정동규*, 류우석, 박재관, 홍봉희
Donggyu Jung*, Wooseok Ryu, Jaekwan Park, Bonghee Hong
부산대학교 컴퓨터공학과
{tanatos*, wsryu, jkpark, bhhong}@pusan.ac.kr

요약

RTLS 시스템은 이동 객체에 RTLS 태그를 부착한 후 태그에서 발산되는 신호를 이용하여 실시간으로 위치를 파악하는 시스템으로 최근 항만 물류 및 자산 관리 분야에서 객체의 실시간 위치를 파악하기 위해 활용되고 있다. RTLS 시스템은 태그의 위치를 측정하기 위해 삼각 측량 법이나, Proximity matching법을 사용한다. 삼각 측량법은 3개 이상의 리더에서 수신된 신호 세기나 신호의 도달 시간을 이용하여 삼각측량 방식으로 위치를 결정하는 알고리즘으로, 전파의 난반사나 장애물등에 민감하며, Proximity matching법은 위치 샘플링 값에 대한 근접성을 이용한 통계 정보를 바탕으로 하여 위치를 결정하는 알고리즘으로 위치 정확도를 높일 수 있으나, 샘플링 데이터 개수에 따라 정확도가 크게 변화하는 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 위치 정보의 오차를 줄이기 위하여, Fingerprint 방식의 확률 모델에 TDOA 방식에서 사용되는 요소들을 혼합하여 확률에 의한 불확실성을 줄이고 더 높은 정확도의 위치 정보를 전달하는 위치 보정 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 2단계 위치 보정 기법은 먼저, Fingerprint 데이터 셋으로부터 현재 측정된 위치의 신호정보를 이용한 확률 모델을 적용하여 단 하나의 후보자를 결정한다. 둘째, 측정된 정보와 후보자 위치 정보를 기반으로 TDOA에서 사용하는 기하학적 위치 결정 방법을 변형한 알고리즘을 이용해 측정된 위치를 보정함으로써, TDOA 방식이나, Fingerprint 방식 둘 중 하나만 사용하는 것보다 향상된 위치의 정확도를 제공한다. 그리고 본 논문에서는 제안한 위치 보정 기법을 위한 위치 보정 모듈을 설계하였으며, RTLS 미들웨어에 이를 반영하여 구현하였다.

1. 서론

RTLS(Real time Location System)시스템은 실내 또는 실외의 제한된 특정 공간 내에서 이동 객체에 RTLS 태그를 부착한 후 태그에서 발산되는 신호를 이용하여 실시간으로 위치를 파악하는 시스템이다. 최근 병원에서는 환자 및 병원 직원에 대한 실시간 인력 관리 및 의료 장비의 실시간 관리를 통해 의료 환경 개선 및 편리한 병원 관리의 목적으로 사용되며, 놀이동산 및 공원에서는 미아 찾기에 소비되는 인력을 감소하고 효과적인 놀이동산 미아 관리 운영의 목

적으로도 사용되고 있다. 또한 항만물류에서는 컨테이너 및 컨테이너 차량에 RTLS 태그를 부착하여 위치를 실시간으로 추적함으로써 효율적인 컨테이너 및 컨테이너 차량 관리에 이용되고 있다.

RTLS 시스템은 태그의 위치를 측정하기 위해 삼각 측량 법이나, Proximity matching법을 사용한다. 삼각 측량법은 3개 이상의 리더에서 수신된 신호 세기나 신호의 도달 시간을 이용하여 삼각측량 방식으로 위치를 결정하는 알고리즘으로, 전파의 난반사나

+ “이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(지방연구중심대학육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

장애물등에 민감하며, Proximity matching 법은 위치 샘플링 값에 대한 근접성을 이용한 통계 정보를 바탕으로 하여 위치를 결정하는 알고리즘으로 위치 정확도를 높일 수 있으나, 샘플링 데이터 개수에 따라 정확도가 크게 변화하는 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 위치 정보의 오차를 줄이기 위하여, Fingerprint 방식의 확률 모델에 TDOA 방식에서 사용되는 요소들을 혼합하여 확률에 의한 불확실성을 줄이고 더 높은 정확도의 위치 정보를 전달하는 위치 보정 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 2단계 위치 보정 기법은 먼저, Fingerprint 데이터 셋으로부터 현재 측정된 위치의 신호정보를 이용한 확률 모델을 적용하여 단 하나의 후보자를 결정한다. 둘째, 측정된 정보와 후보자 위치 정보를 기반으로 TDOA에서 사용하는 기하학적 위치 결정 방법을 변형한 알고리즘을 이용해 측정된 위치를 보정함으로써, TDOA 방식이나, Fingerprint 방식 둘 중 하나만 사용하는 것보다 향상된 위치의 정확도를 제공한다. 그리고 본 논문에서는 제안한 위치 보정 기법을 위한 위치 보정 모듈을 설계하였으며, RTLS 미들웨어에 이를 반영하여 구현하였다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 기술하며, 3장에서는 대상환경 및 위치 정보의 오류로 인해 발생하는 문제를 정의한다. 4장에서는 이러한 위치 정보의 오류를 보정하기 위해 Fingerprint 방식의 확률 모델에 TDOA 방식에서 사용되는 요소를 혼합한 위치 보정 기법을 제시하고, 5장에서는 이러한 위치 보정 기법을 위해 설계된 위치 보정 모듈과 이를 적용한 RTLS 미들웨어의 구조를 제시한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

2. 관련 연구

이 장에서는 현재 RTLS 시스템에서 태그의 위치를 측정하기 위해 사용되는 삼각 측량법과 Proximity matching 법에 대해 기술한다.

2.1 삼각 측량법에 관한 연구

삼각 측량법[1]은 3개 이상의 리더에서 수신된 신호의 도달 시간 혹은 신호의 세기를 이용하여 위치를 측정하는 방법이다. 삼각 측량법에서 위치를 결정하기 위해 가장 많이 사용하는 방법은 두 쌍곡선을 이용하는 방법인데, 위치 측정의 상세 과정은 다음과 같다. 첫째, 3개 이상의 리더에서 수신된 값을 바탕으로 Master reader, 즉 기준이 되는 리더 1개를 정한다. 둘째, Master reader에서 나머지 두 리더 간의 유클리드 거리의 차이를 각각 구한다. 셋째, Master reader에서 수신된 태그 신호 정보와 나머지 리더에서 수신된 태그 신호 정보의 차이를 각각 구하여 두 개의 쌍곡선을 만든다. 마지막으로, 이 두 쌍곡선이 만나는 교점을 최종적으로 태그의 실제 위치라고 판단하여 사용자에게 전달하게 된다(그림 1).

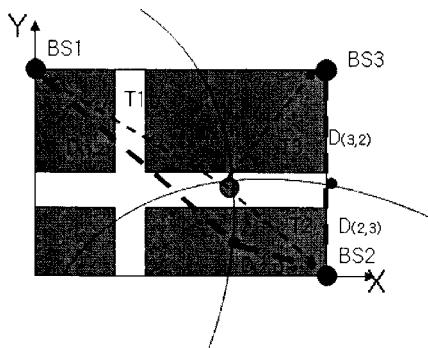


그림 1 삼각 측량법을 이용한 위치 측정

삼각 측량법에서는 각 리더에서 수신된 태그 신호 정보가 위치 결정에서 매우 중요한 요소가 되며, 만약 어느 하나의 리더에서 수신된 태그의 정보가 오류를 포함하고 있다면, 잘못된 위치 측정이 이루어지게 된다. 따라서, 전파의 난반사나 장애물 등에 민감한 단점이 있다.

2.2 Proximity matching 법에 관한 연구

Proximity matching 법[2],[3]은 위치 샘플링 값에 대한 근접성을 이용한 통계 정보를 바탕으로 하여 위치를 결정하는 방법이

다. 근접성을 구하기 위해 다양한 확률 모델을 사용하는데, 일반적으로 많이 사용되는 확률모델은 likelihood value를 이용한 Maximum Likelihood Estimation(MLE)이다.

MLE를 통한 Proximity matching 법의 상세 과정은 아래와 같다. 첫째, 각 리더에서 수신된 각 리더의 태그 신호 정보 값을 이용하여 저장되어 있는 모든 위치 샘플링 값에 대한 likelihood value를 전부 계산한다. 둘째, 계산된 likelihood value를 정렬하여 likelihood value가 가장 큰 하나의 위치 샘플링 값을 선택하여 태그의 실제 위치를 위에서 선택된 위치 샘플링 값의 위치로 판단하고, 사용자에게 전달하게 된다.(그림 2)

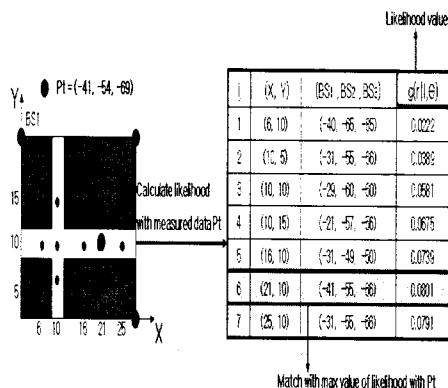


그림 2 MLE를 이용한 위치 측정

Proximity Matching 법은 위치 샘플링 값에 대한 근접성을 이용한 통계 정보를 바탕으로 하기에 위치 정보 자체의 정확도는 높일 수 있지만, 샘플링 데이터의 개수에 따라 정확도가 크게 차이나는 단점이 있다.

3. 대상환경 및 문제정의

3.1 대상환경

RTLS 시스템은 (그림 3)과 같이 이동 객체에 RTLS 태그를 부착한 후 태그에서 발산되는 신호를 이용해서 실시간으로 위치를 파악하는 시스템이다. RTLS 시스템은 리더에서 수신된 정보를 바탕으로 위치를 결정하여 미들웨어로 전달하고, 미들웨어는 전달 받은 위치 정보를 사용자의 요청에 따라 제공하여 제공하게 된다.

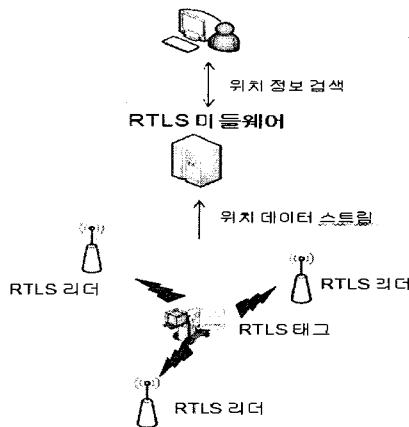


그림 3 RTLS 시스템

3.2 문제정의

RTLS 시스템은 태그와 리더 간에 무선 네트워크를 이용한 통신을 하는데, 이러한 무선 네트워크는 장애물이나, 전파의 난반사로 인하여 오차가 발생할 수 있다. 이러한 난반사의 발생빈도는 장애물의 재질이나 크기에 따라서 다르게 일어난다. 가령 종이로 된 장애물과 철로 된 장애물을 비교하면, 철로 된 장애물에서 난반사의 발생빈도가 더 크다. 또한, 리더-태그 간의 거리가 멀면 멀수록 난반사의 발생빈도가 증가한다. 난반사의 발생으로 인한 수신 전파의 오류로 인하여 RTLS 시스템은 사용자에게 부정확한 위치 정보를 전달하게 되는데, 이것은 RTLS 위치 정보의 정확성을 떨어뜨린다. 부정확한 위치 정보의 전달은 RTLS 시스템에 대한 사용자의 신뢰도를 감소시키며, 사용자가 위치 정보를 제대로 사용하기 위해 추가적인 작업이 반드시 필요하다는 것을 의미한다. 예를 들어, 실제 컨테이너 옆을 지나고 있는 트럭이 컨테이너 위에 있다고 사용자에게 보고가 된다면, 사용자는 이로 인해 혼란을 겪을 것이며, 제대로 된 위치 확인을 위해 새로이 위치를 확인하는 추가 작업이 필요하다.(그림 4)

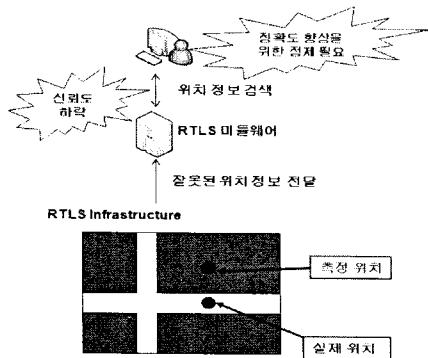


그림 4 부정확한 위치 정보 전달로 인한 문제

이러한 위치 정보의 오차를 줄이기 위하여 본 논문에서는, Fingerprint 방식에서 사용하는 확률 모델에 TDOA 방식에서 사용되는 요소들을 혼합하여, 확률에 의한 불확실성을 줄이고 기존의 방법들보다 더 높은 정확도의 위치 정보를 전달하는 위치 보정 기법을 제안한다. 이러한 방식은 기존의 TDOA나 Fingerprint 둘 중 하나만 쓰는 방식보다 더 높은 정확도를 제공하며, 전파의 난반사나 장애물에 의한 위치 오류에 대해서도 강하다.

4. Fingerprint 방식과 TDOA 방식을 혼합한 위치 보정 기법

이 장에서는 3장의 문제점의를 통하여 나타난 위치 오차를 줄이기 위한 새로운 위치 보정 기법에 대하여 단계별로 자세히 설명한다.

4.1 Primary master reader 및 Secondary master reader의 정의

삼각 측량법에서 사용되는 3개의 리더는 크게 하나의 Master reader와 두 개의 Slave reader로 나누어진다. Master reader를 정하는 이유는, 3개의 리더에서 수신된 값으로 쌍곡선을 만들기 위해서는 리더들 간의 동기화가 필수이며, 동기화를 위해서는 하나의 리더가 기준이 되어야 하기 때문이다. 일반적으로 Master reader는 태그와 리

더 간의 유클리드 거리가 가장 짧은 reader 가 Master reader로 결정된다. 그 이유는, 유클리드 거리가 짧을수록 신호의 손실 및 난반사가 일어날 확률이 작고, 신호의 세기가 강하기 때문이다.

이러한 삼각 측량법의 요소를 확률 모델에 적용하기 위해서는 각 리더에서 수신된 태그 신호에 대해 가중치를 둘 수 있어야 하며 이러한 것을 위해서는 삼각 측량법에서 사용되는 리더들에 대한 확실한 구분이 필요하다.

따라서, 기존의 TDOA에서 하나의 Master reader와 2개의 Slave reader로 구분 짓던 것을 좀 더 세분화 하여, Primary Master, Secondary Master, Slave reader 이렇게 3 가지로 각 리더들을 구분하여, 확률 모델에서 적용할 리더의 구분에 따라 likelihood 값의 가중치를 두어 계산한다. 각 리더를 구분하는 기준은 TDOA에서와 마찬가지로 리더-태그 간의 유클리드 거리로 구분한다 (그림 5).

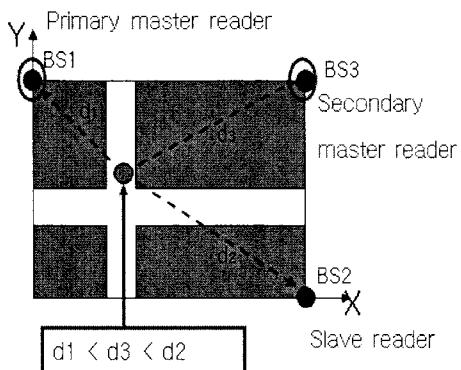


그림 5 태그의 위치에 따른 각 리더의 구분

4.2 위치 보정 알고리즘

실제 위치 보정 알고리즘은 크게 2단계로 나누어진다. 첫째, Fingerprint 데이터 셋으로부터 현재 측정된 위치의 신호 정보를 이용한 확률 모델을 적용하여 단 하나의 후보자를 결정하게 된다. 후보자를 결정하는 방법은 최초 측정된 위치와 같은 Primary Master 리더를 가지는 fingerprint data들을 후

보군으로 먼저 검색하고, 이후 검색된 후보군들에 대하여 측정값을 이용해 likelihood 값을 구하여 정렬한다. 정렬 시 Primary master, Secondary master reader의 likelihood value 순으로 정렬하여 측정위치와 근접도가 가장 높다고 판단되는 후보자 하나를 선택하게 된다(그림 6).

(X, Y)	(BS1, BS2, BS3, PMR_ID, SMR_ID)
(16, 5)	(19, 23, 23, BS1, BS3)
(21, 10)	(15, 25, 21, BS1, BS3)
(25, 10)	(13, 31, 19, BS1, BS2)

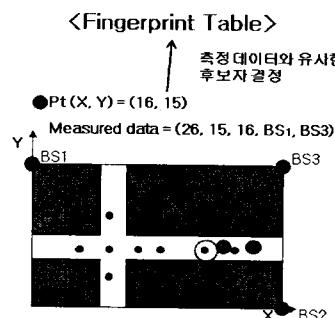


그림 6 확률 모델을 적용하여 후보자 선정

둘째, 지정된 후보자, 측정 위치, Primary master, Secondary master reader를 이용하여 실제 위치를 결정한다. 즉, 가장 리더-태그 간의 거리가 먼 Slave reader를 제외하고, fingerprint 데이터와 두 master reader를 이용하여 위치를 재조정하는 것이다. 먼저, 측정 위치와 Primary master, Secondary master reader를 이용하여 타원을 만든다. 이것은 타원의 성질을 이용한 것으로 타원의 가장 큰 성질 중의 하나는, 타원의 모든 점에서 두 초점간의 거리의 합은 항상 일정하다는 것이다. 일단, 측정 위치와 Primary master, Secondary master reader를 이용하여 타원을 만들고 타원의 방정식을 구한다. 이 때 측정 위치는 타원 위의 한 점이 되며, Primary master, Secondary master reader는 각각 타원의 초점이 된다. 이후 타원 위에 있으면서, 즉 타원의 한 점이면서 fingerprint data와 가장 가까운 점을 실제 위치로 지정하고 위치를 해당 위치로 보정한다.(그림 7).

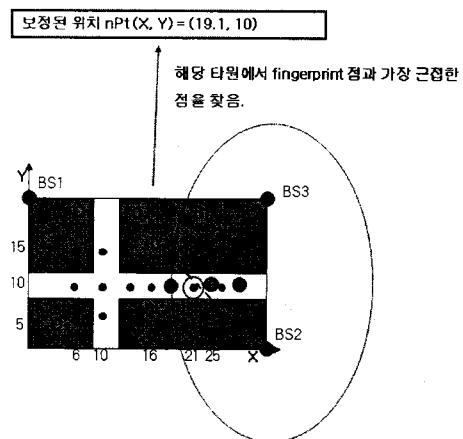


그림 7 타원을 이용한 실제 위치 보정

위와 같은 방법을 사용하면, TDOA 방식이나 Fingerprint 의 확률 모델 둘 중 하나를 사용하는 것 보다 향상된 위치의 정확도를 제공 할 수 있다.

5. 위치 보정 모듈의 설계 및 구현

이 장에서는 논문에서 제시한 알고리즘을 위한 모듈을 설계하고 기존의 RTLS 미들웨어에 이를 반영하여 구현함으로써, 위치 보정 기법이 실제 RTLS 미들웨어에서 어떻게 적용이 되는지 기술한다.

5.1 위치 보정 모듈을 적용한 RTLS 미들웨어 블록 다이어그램

4장에서 제시한 알고리즘을 위해 설계한 위치 보정 모듈을 추가하여 설계하고 구현한 RTLS 미들웨어의 블록 다이어그램은 그림 8과 같다.

이 모듈은 Capture Layer에서부터 전달되는 위치 데이터에 대해 위치의 오류가 있는지를 검사하고 오류가 있을 시에는 위치를 보정하여 Process Layer의 Data Dispatcher로 전달하여 데이터를 처리하도록 하며, 이후 사용자의 요청에 응답하여 정확도 높은 위치 정보를 전달한다.

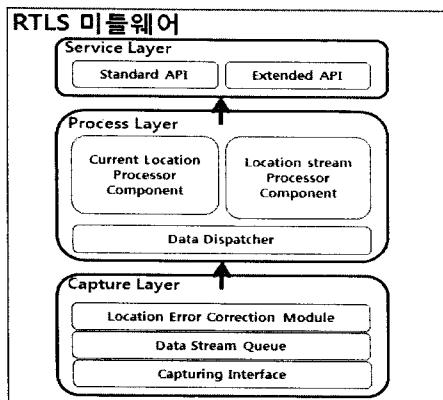


그림 8 RTLS 미들웨어의 블록
다이어그램

위의 RTLS 미들웨어에서 위치 정보 삽입 과정은 아래와 같다. 첫째, Capturing Interface를 통해 전달되는 위치 정보는 Data Stream Queue에 삽입된다. 둘째, 위치 보정 모듈에서 Data Stream Queue로부터 위치 정보를 전달받아 위치 정보의 오류를 검사한다. 셋째, 만약 오류가 없으면 바로 Data Dispatcher로 전달하며, 오류가 존재하면 위치 보정 모듈에서 위치 보정 기법을 사용하여 위치를 보정한 이후 Data Dispatcher로 전달한다.

위치 보정 알고리즘의 적용을 위한 위치 보정 모듈의 클래스 다이어그램은 그림 9와 같이 5개의 클래스로 이루어진다. Data Stream Queue로부터 데이터를 전달받는 DataQueue_Manager 클래스, 위치 보정의 전반적인 flow를 컨트롤하는 ErrorCorrection_Manager 클래스, Fingerprint data가 저장된 DB에 대한 모든 접근 및 제어를 담당하는 AccessFingerprint_Manager 클래스, 확률 모델을 적용하여 각각의 Fingerprint data에 대해 likelihood value를 계산하고 Maximum likelihood value를 찾는 MLE_Manager 클래스, 타원 공식에 의한 기하학적 계산을 담당하는 Ellipse_Calculator 클래스가 있으며, 위치 보정 알고리즘의 순서에 따라 각 역할에 맞는 클래스가 호출되어 수행되게 된다.

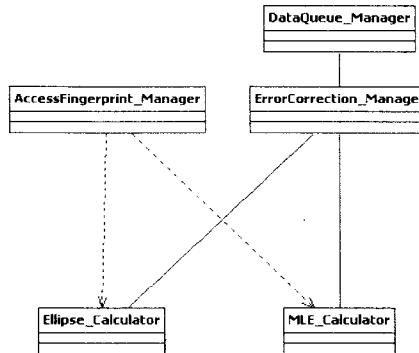


그림 9 위치 보정 모듈의 클래스
다이어그램

6. 결론 및 향후 연구

RTLS 시스템은 이동 객체에 태그를 부착한 후 태그에서 발산되는 신호정보를 이용하여 실시간으로 위치를 파악하는 시스템이다. RTLS 시스템은 태그의 위치를 파악하기 위해 삼각 측량법이나 Proximity matching법 중 하나만을 채택하여 위치를 파악하고 있다.

본 논문에서는 RTLS 시스템에서 중요한 요소 중 하나인 정확한 위치 데이터 전달을 위해 Fingerprint 방식에서 사용하는 확률 모델에 TDOA에서 사용되는 요소들을 혼합하여 확률의 불확실성을 줄이고 더 높은 정확도의 위치 정보를 제공하는 알고리즘을 제안하였고, 이를 위한 모듈을 설계 하여 RTLS 미들웨어에 적용하고, 구현하였다.

향후 본 논문에서 제안한 위치 보정 알고리즘에 대한 검증과 성능 평가를 수행하고, 이를 통해 문제점을 보완하고 개선하여 더욱 높은 정확도의 위치 정보를 제공하는 위치 보정 알고리즘을 개발하는 것이 필요하며, 또한 복수의 RTLS 시스템에서 전달되는 위치 데이터 스트림에 대한 위치 보정 기법에 대한 연구도 필요하다.

7. 참고 문헌

- [1] Dong Hwan Ji, Dong Ho Jung, and Yun Ju Baek, "TDOA localization method s for port logistics", Pusan National Univ

ersity, pp. 1–42, February 2008.

[2] Teemu Roos, Petri Myllymaki, and Henry Tirri, "A Statistical Modeling Approach to Location Estimation", IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol 1, No. 1, pp. 59–69, January–March 2002.

[3] Mauro Brunato, Roberto Battiti, "Statistical Learning Theory for Location Fingerprinting in Wireless LANs", Computer Networks and ISDN Systems, Vol 47, pp. 825–845, April 2005.