http://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.39B.7.449

WLAN 전파특성 기반 실내 위치설정을 위한 이동단말의 거리추정 기법

양 정 우◆, 안 개 일*, 김 신 효*, 정 병 호*, 김 태 연**, 편 기 현***, 조 기 환°

A Distance Estimation Scheme Based on WLAN RF Properties for Localization of Mobile Terminals

Jeong-woo Yang◆, Gae-il An*, Shin-hyo Kim*, Byung-ho Chung*,
Tae-yeon Kim**, Ki-hyun Pyun***, Gi-hwan Cho°

요 약

상황인식 서비스에서 위치설정은 매우 중요한 기술 요소이다. RSSI와 같은 전파특성 지수가 편리하고 저렴한 이유로 널리 사용되고 있다. 그러나 RSSI는 시간에 따른 변화가 크고 다중경로에 취약성으로 실내 환경에서 위치설정에 적절하지 않다. 본 논문은 WLAN의 RF 전파특성 지수인 CSI(Channel State Information)를 이용하여 실내에서 임의 단말의 위치설정을 위한 거리추정에 소요되는 절차와 기법들을 제시한다. 먼저 거리추정의 포괄적인 절차를 정의하고, 거리대비 전파손실 모델의 환경 특성값을 보정하는 알고리즘을 제시한다. 상용 WLAN 통신모듈을 이용한 실험을 통하여 제안된 절차와 기법의 유용성에 대해서 분석한다.

Key Words : CSI, RSSI, WLAN, Localization, Distance Estimation

ABSTRACT

In the context-aware services, localization is an important technical element. Due to the easy to use and low cost, it was widely enabled with RF properties such as RSSI. However, RSSI is known to be not appropriated for indoor localization, because it tends to show big variance in time and is greatly effected with the multipath. This paper proposes a distance estimation process and its constituted methods for indoor localization, by making use of the other WLAN's RF property, CSI(Channel State Information). Firstly we define a comprehensive localization process, and suggest a calibration algorithm of environment factors in the path loss propagation model. Then, by implementing them with a commercial WLAN module, an the proposed process and methods are evaluated in terms of usefulness.

※ 본 연구는 미래창조과학부의 정보통신·방송 기술개발 사업의 일환으로 수행하였음 (연구과제번호 : 12-912-06-001)
◆ First Author : Chonbuk University, Division of Computer Science & Engineering, reewr@chonbuk.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Chonbuk University, Division of Computer Science & Engineering, ghcho@chonbuk.ac.kr, 정회원
* 한국전자통신연구원 사이버보안연구단 {fogone, shykim, cbh}@etri.re.kr
** 서남대학교 컴퓨터정보통신학과, kimcopper@naver.com
*** 전북대학교 컴퓨터공학부 khpyun@chonbuk.ac.kr
논문번호 : KICS2014-05-183, Received May 9, 2014; Revised July 16, 2014; Accepted July 16, 2014

Ⅰ. 서 론

최근의 스마트 폰을 비롯한 휴대단말의 확산으로 위치기반 서비스 차지하는 비중이 날로 증가하고 있다. 실외에서는 GPS(Global Positioning System)의 안정되고 범용적인 위치설정 지원을 받을 수 있는 반면에 실내에서는 독립적인 위치설정 방안이 필요하다. 실내 위치설정은 3차원 공간에서 목적 단말의 상대적인 위치를 결정하는 포괄적 과정을 포함한다. 먼저 다수 지점에서 단말의 거리를 추정하고, 삼각기법(trilateration) 등의 추가적인 기법을 적용하여 위치설정의 정교화 한다. 일반적으로 우수한 거리추정은 우수한 위치설정을 위한 매우 중요한 전제이다.

전통적으로 RF(Radio Frequency) 전파특성인 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 거리추정 지수로 사용해 왔다. 그러나 실내 환경에서 RSSI는 거리추정에 적절한 지표가 되지 못한 것으로 알려져 있다[12,13]. 일반적으로 실내 환경은 벽, 천장 그리고 사무집기 등이 복잡하게 배치되어 있다, 실내에서 무선 주파수의 전파는 다중경로(multipath) 현상이 심각하게 발생하며 RSSI 값에 크게 영향을 미친다. RSSI는 패킷 단위로 측정되며 측정된 값의 정밀도가 낮다. 또한 단말이 움직이지 않은 상황에서 시간에 따른 변화가 매우 심한 현상을 보인다.

우수한 위치설정을 위해서 시간변화에 안정적이고 다중경로 현상을 완화할 수 있는 거리추정 지수가 필요하다. 최근 WiFi 통신단말에서 제공하는 CSI(Channel State Information) 정보를 이용한 접근이 대안으로 인식되고 있다. 무선 네트워크 물리계층에서 정의되는 CSI는 통신 링크상에서 인지되는 채널특성을 나타낸다. 즉 임의 시그널이 송신자로부터 수신자에게 어떻게 전파되는지의 의미를 내포한다[10].

CSI는 64개의 부반송파(subcarrier) 단위로 전파특성을 표시하는 주파수 다이버시티(diversity) 성질을 갖는다. 서로 다른 부반송파에서 측정된 CSI는 단일 지수로 표현된 RSSI 보다 명료하게 서로를 구분할 수 있으므로 fingerprinting에 유효하게 적용될 수 있다. 이는 거리추정이나 위치설정을 정교화하는 과정에 매우 유용하다. 또한 주파수 도메인 표현으로 제공되는 CSI는 시간 도메인 표현으로 변환될 수 있다. 이는 실내의 다양한 장애물에 반사되어 다중경로로 전달된 신호들을 선택적으로 제거할 수 있는 수단을 제공한다. 이러한 CSI의 특성들이 우수한 거리추정에 기반이 된다.

본 논문은 WLAN의 RF 전파특성 지수인 CSI를 이용하여 실내에서 임의 단말의 위치설정을 위한 거리추정에 소요되는 절차와 기법들을 제시하고 실험을 통하여 평가한다. 먼저 위치설정 관점에서 거리추정의 포괄적인 절차를 정의한다. 거리추정 결과의 정확도에 가장 크게 영향을 미치는 거리대비 전파손실 모델의 환경 특성값을 보정하는 알고리즘을 제시한다. 다음으로 상용 WiFi 통신모듈에서 획득한 CSI 값을 제시한 절차와 기법을 구현한다. 실험을 통하여 서로 다른 거리대비 전파손실 모델을 비교, 평가하고, 서로 다른 실험환경에서 제안된 절차와 기법의 유용성에 대해서 분석한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실내 위치설정의 관련연구들을 설명하고, 3장에서 위치추정의 절차와 환경 특성값을 보정하는 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 구현을 통하여 제안된 절차와 기법을 평가, 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련연구

인증이나 위치설정을 위해서 사용하고 있는 통신단말의 RF 특성을 활용하면 별도의 시스템을 구성하지 않아도 된다는 장점이 있다. RSSI와 달리 CSI는 실내의 고유 특성인 다중경로 전파에 따른 신호세기의 왜곡 현상을 완화 시킬 수 있는 특성을 지니고 있다. 최근 3년 동안 CSI 정보를 이용한 연구가 다수 제시되었다. 실내 환경에서 RF 특성을 이용한 연구는 크게 단말을 식별/인증하기 위한 영역[2-5]과 단말의 위치를 설정하기 위한 영역[1,6-9,11,13]으로 대별된다.

참고문헌 [5]는 단말을 식별/인증하기 위한 대표적인 연구이다. 무선랜 환경에서 DoS 공격의 단말 혹은 rogue AP(Access Point)를 식별하기 위해서 데이터 프레임의 CSI 정보를 fingerprint로 이용한다. 수신자는 암호화된 데이터를 수신하는 동안 fingerprint를 수집하여 저장한다. 새로운 통신설정을 위한 관리(management) 프레임을 수신하게 되면 수집, 저장된 fingerprint와 비교하여 유사도가 일정기준 이상이면 신뢰할 수 있는 단말로부터 전송된 프레임으로 간주하여 단말을 인증한다.

참고문헌 [13]는 실내 환경에서 CSI를 기반으로 이동단말의 위치를 설정하는 절차와 실험결과를 제시하고 있다. CSI를 시간 도메인 표현으로 바꾸고 trunk window 기법을 적용하여 복잡한 장애물로 굴절되어 전달된 RF 구성요소를 제거한다. 고주파수 부반송파에 가중치를 부여하여 CSI를 정량화하고, 거리대비 전파손실 모델에 대입하여 거리를 추정한다. 다수의

수신자를 위치추정에 참여시키면 추정된 위치의 정밀도를 높일 수 있다. 또한 다음과 같이 fingerprinting 기법을 적용할 수 있다.

부반송파 단위로 RF 특성값을 표시하는 CSI는 임의 공간에서 각 위치를 대표하는 fingerprint로 유용하게 이용될 수 있다. 먼저 알려진 주요 위치에서 CSI를 수집하여 fingerprint radio map을 구축한다. 임의 CSI 값이 수집되면 radio map에 저장된 CSI 값과 비교한다. 가장 유사한 radio map에 저장된 CSI 값의 위치를 수집된 CSI를 송신한 단말의 위치로 간주한다. 이를 근거로 이 위치정보를 이용하여 추정된 거리에 의해서 설정된 위치를 정교화 한다.

위치설정의 절차나 기법의 정교화를 통하여 위치설정의 정밀도를 높이는 노력과 더불어 보조수단을 활용하여 정밀도를 높이려는 노력도 큰 관심을 얻고 있다[7,8,11,12]. 스마트 폰 등 최근 휴대단말에서 부착된 가속도 센서, 관성 센서등을 이용하여 단말의 이동거리를 획득함으로써 거리추정에 적용하는 접근이 있다[11]. 휴대단말이 이동중이면 연속적으로 수신되는 RF는 리플(ripple) 모양의 패턴을 보이게 되며, 주파수의 전파속도를 기반으로 단말의 이동속도를 추정하여 위치추정에 활용한다[7].

또 다른 접근으로 2개 이상의 안테나로 전파의 도착각도(AoA: Angle of Arrival)를 이용하는 것이다[8]. 이전 지점과 현재 지점의 상대적인 각도를 계산하여 단말의 이동거리를 추정함으로써 설정된 위치를보정하려는 기법도 관심을 얻고 있다.

본 논문은 기존에 제시된 위치설정을 위한 선행 단계로 수행되는 단말의 거리추정 기법에 한정한다. 거리추정을 위한 기법을 포괄적이고 절차적으로 정의하고, 기술적으로 적절한 방안을 제시함을 주된목적으로 한다.

Ⅲ. CSI 기반 거리추정

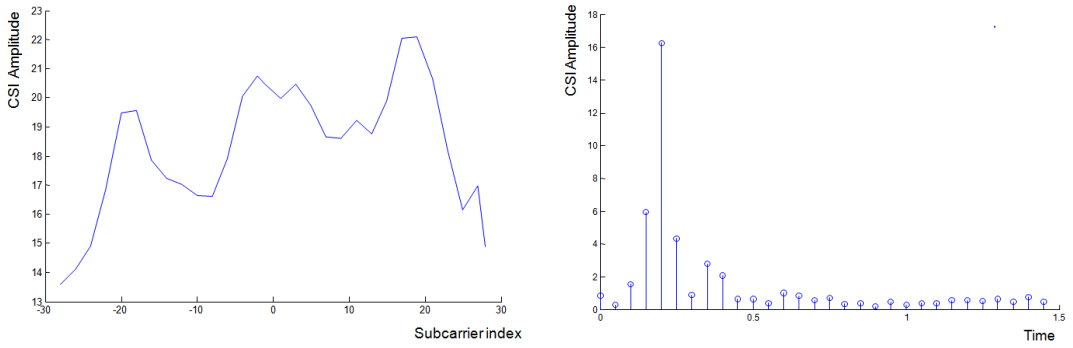
3.1 IEEE802.11에서 CSI 값의 의미

최근 무선 통신장치에서 널리 사용되고 있는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조방식은 주파수 대역을 여러 개의 부반송파로 분할하고, 이들 상호간에 직교성을 부가하여 다중화시켜 전송하는 방법이다. CSI는 각 부반송파 단위로 채널 전송특성을 위상과 진폭으로 표현한 값이다. 즉 서로 다른 페이딩과 산란 등 다중경로 효과에 의해 전달된 신호의 전파특성은 부반송파 단위로 각각 하나의 CSI 값으로 산출된다[14].

CSI는 무선매체의 전파과정에서 발생하는 다양한 전파특성, 즉 페이딩(fading), 산란(scattering), 섀도잉(shadowing) 그리고 파워감쇠(power decay) 등이 결합된 효과를 반영하는 정보이다.

CSI 정보는 다중 안테나 환경에서 전송률을 최대화하고 통신의 신뢰성 확보를 목적으로 고안되었다. 따라서 수신측에서 측정된 CSI 정보는 송신측에 전달되어 다음 전송에 최적의 전송배치를 위한 지수로 활용된다.

Intel 5300 NIC 등 상용 무선랜 장비들은 CSI값을 상위계층에 제공한다[15]. CSI 값은 부반송파 단위로 측정되어 활용 목적에 따라서 56, 30, 16개로 부반송파를 그룹화하여 사용자에게 제공된다. 중심 주파수가 f_k를 갖는 부반송파에서 CSI 값은 다음과 같이 위상과 진폭으로 서술된다. 다음 식에서 $\angle H$는 위상을 $\| H(f_k) \|$ 는 진폭을 나타낸다.



(a) Frequency Domain CSI (b) Time Domain CSI

그림 1. CSI의 주파수와 시간 도메인 표현
Fig. 1. Frequency and Time Representations of CSI

$$H(f_k) = \| H(f_k) \| e^{jsin(\angle H)} \quad (1)$$

네트워크 장비로부터 수집된 CSI는 주파수 도메인 표현이다. 이를 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 처리하면 시간 도메인 표현으로 변환된다. 이는 다중경로 형태로 도착하는 서로 다른 RF 구성요소를 시간을 기준으로 표현으로써, 가시선(Line of Sight)로 전달되는 RF 구성요소를 분리하는 수단이 된다. 시간 도메인 표현은 FFT를 수행하면 다시 주파수 도메인으로 변환된다. 그림 1은 서로 다른 도메인 표현, 즉 (a) 부반송파 단위의 진폭으로 표기된 주파수 도메인 CSI와, (b)시간 단위의 진폭으로 표기된 시간 도메인 CSI를 보이고 있다.

3.2 CSI 기반 위치추정 절차

일반적으로 RF 기반 위치설정은 거리추정을 먼저 수행하고, 추가적인 수단을 이용하여 최종적으로 정확한 위치를 추정하는 위치 정교화 단계로 진행된다. CSI 기반 거리추정은 이미 알려진 위치에서 CSI 값을 측정하고 이에 대응하는 거리를 실측하여 2차원 공간에 점으로 배열한다. 실측한 점을 최적으로 반영할 수 있도록 거리대비 전파손실 모델(path loss propagation model)의 주요 변수들을 결정한다. 현재 환경에서 실측한 값을 이용하여 모델의 변수를 결정하였음은 주어진 실내 전파상황을 최적으로 반영하는 모델이 구성되었다고 할 수 있다. 구체적인 거리대비 전파손실 모델의 환경계수 설정과정은 다음절에 서술한다.

RSSI와 CSI는 모두 거리대비 전파손실 모델을 따른다는 점에서 유사하다. 그러나 CSI는 다중경로 환경에서 가시선 전파 요소만을 추출하는 것이 가능하다는 상대적으로 우수한 특성을 활용할 수 있다. ①먼저 알려진 거리에서 실측한 주파수 도메인 표현의 CSI 값을 획득한다. ②IFFT를 적용하여 시간 도메인 표현으로 변환하여 가시선 구성요소만을 추출한다. 즉 시간적으로 가장 빨리 도착한 주파수 구성요소만을 남기고 이후에 도착한 주파수 구성요소를 제거하는 처리를 수행한다. 추출된 가시선 주파수 요소에 FFT를 적용하여 다시 주파수 도메인 표현으로 변환한다. ③변환된 CSI를 주파수 다이버시티를 대표하는 CSI 값으로 정량화한다. 부반송파 단위의 복소수 값으로 서술된 CSI는 평균 혹은 중간값 등을 적용하여 정량화할 수 있다. ④다수의 CSI 값의 실측 시점에 알려진 거리와 정량화된 CSI 값 집합을 이용하여 거리대비 전파손실 모델의 변수 값을 결정한다. 모델이 결정되면, 새로 측정된 CSI값을 거리대비 전파손실 모델에 대비하여 CSI 기반으로 거리를 추정한다. ⑤추가적인 보조수단을 이용하여 추정된 위치를 정교화 한다. 기본적으로 수신한 CSI를 기반으로 3개 지점 이상에서 추정거리를 삼각기법에 적용하여 위치를 정교화 한다. 또한 fingerprinting 혹은 전파의 도착각도 등의 추가적인 수단이 적용될 수 있다. 그림 2는 CSI를 기반으로 위치추정을 위한 전반적인 절차의 개요를 도식하고 있다.

3.3 거리대비 전파손실 모델

대기를 매체로 전파되는 전자파는 전파되는 거리에 비례하여 신호의 세기(power)가 감쇠하는 자유공간 손실(free space loss)이 발생한다. 이러한 손실을 수학적 함수형태로 표현한 모형이 거리대비 전파손실 모델이며, RSSI와 CSI 등 전파특성 측정값에 대응하는 거리를 추정하기 위한 기반이 된다. 실내 환경을 대상으로 면밀하게 설계된 거리대비 전파손실 모델은 다음과 같다[13].

$$d = \frac{1}{4\pi}\left[\left(\frac{c}{f_0 \times |CSI_{eff}|}\right)^2 \times \sigma\right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

여기서 d는 추정된 거리, c는 전자파의 전파속도, σ는 환경계수, 그리고 n은 거리대비 페이딩 지수이다. 환경계수와 거리대비 페이딩 지수는 주어진 실내 환경에 따라서 다르게 정의되므로 실내 상황에 맞게 보정하여 사용한다.

또한 일반적으로 널리 적용되고 있는 거리대비 전파손실 모델은 다음과 같다[8].

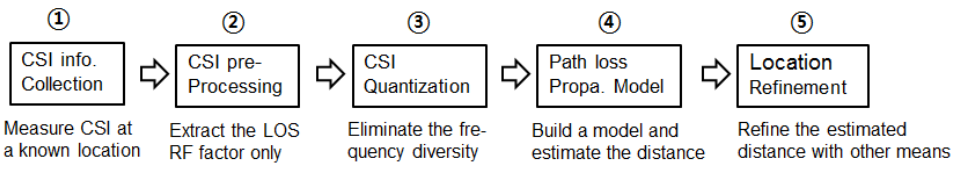


그림 2. CSI 기반 위치추정 절차
Fig. 2. CSI based Distance Estimation Process

$$d = 10^{\frac{P_0 - P_r}{10 \times n}} \quad (3)$$

여기서 d는 추정된 거리, P_0는 송신자로부터 1 미터 거리에서 수신한 전파신호이며, P_r는 현재 수신한 전파신호이다. n은 거리대비 신호감소 지수로써 식 (2)에서 환경계수인 σ와 거리대비 페이딩 지수 n의 의미를 동시에 포함하고 있다.

환경계수는 송신자와 수신자 측에서 베이스밴드 대비 RF 이득, 안테나 이득, 그리고 굴절과 새도잉등 전파세기 손실을 포함한 전자파의 전파에 영향을 미치는 환경적 요인을 정량화한 값이다. 거리대비 페이딩 지수는 거리에 따른 페이딩 정도를 나타내며 환경적 요인에 영향을 받는 지수이다. 이들은 임의 실내 환경에서 전파의 특성값을 활용하고자 할 경우에 매우 중요한 의미를 갖는다. 복도와 같이 페이딩 발생요소가 작은 환경에서는 약 2값을 사무실과 같은 복잡한 구조를 갖는 환경에서는 4 이상의 값을 갖는 것으로 알려져 있다[13].

3.4 환경 특성값의 보정(calibration)

환경계수와 거리대비 페이딩 지수는 실내 환경의 고유 특성에 따라서 변화하는 환경 특성값으로 정의된다. 먼저 다수의 {알려진 위치, 측정한 전파특성 지수} tuple을 측정하여 확보한다. 선행 지식인 tuple을 이용하여 주어진 실내 환경의 환경 특성값을 보정함으로써 해당 환경에서 거리대비 전파손실 모델을 설정하게 된다. 일반적으로 무선랜 환경에서 환경적 영향은 AP마다 다르게 되며, AP 단위로 보정을 처리해야 한다. 그림 3은 환경 특성값을 σ과 n을 보정하는 알고리즘이다.

환경 특성값의 보정은 거리대비 페이딩 지수 n의 값을 먼저 결정하고, 환경계수 σ를 변수로 선행 지식인 tuple을 거리대비 전파손실 모델에 대입하여 실측값과 오차가 가장 작은 변수를 선택하는 과정을 반복, 수렴하는 절차로 진행된다. 다음으로 지수 n은 2에서 4의 범위에서 0.1 단위로 변화하면서 실측값과 최소의 오차를 보이는 변수들을 최종적으로 선택한다. 환경계수의 보정은 소수점 4번째 자리까지를 유효한 범위로 한정하여 사용한다.

```
n;  //calibrated path loss fading exponent
sigma; //calibrated environment factor
e; dist_error; //distance error
count; //variable
N; SIGMA; ERROR;  //calibrated value
                  corresponding to n, sigma, e

for n = 2 to 4 step 0.1
   s;   //calibrated sigma on given n
   while (until four places of sigma decimals)
      for sigma=s-10^count to s+10^count step 10^(count-1)
         dist_error = measured distance -
                      estimated distance;
         if dist_error < e
            s = sigma;
            e = dist_error;
         end
      end
      count--;
   end
   if e < ERROR
      N = n;
      SIGMA = sigma;
      ERROR = e;
   end
end
```

그림 3. 환경 특성값 보정 알고리즘
Fig. 3. A Calibration Algorithm of Environmental Factor

Ⅳ. 실험 및 분석

WLAN 전파특성인 CSI를 기반으로 위치추정을 위해 제안된 방법을 상용 통신장비를 이용하여 절차와 소요기법들을 구현, 실험함으로써 타당성과 효과를 분석한다.

4.1 실험환경

거리추정을 위하여 IEEE 802.11agn이 구현된 Intel 5300 칩을 장착한 노트북을 AP로 지정하여 사용한다. Optimus LTE와 iphone 4를 휴대단말로 사용하여 데이터를 송신한다. 이를 수신한 노트북은 HT(IEEE 802.11n) bitrates 패킷에서 CSI 값을 수집한다. 수집된 CSI 값은 노트북(AP)과 휴대단말 사이의 거리를 추정하기 위해서 3.2절에서 서술한 절차의 처리과정을 거친다.

휴대단말은 단일 안테나를 사용하고 있지만 Intel 5300 칩은 3개의 안테나를 사용는 SIMO(Single Input Multiple Output) 구조이다. 신호를 수신한 노트북(AP)는 3개의 서로 다른 전파특성을 포함한 CSI 값을 제공하며, 실험에서는 안테나 이득이 가장 높은 수신 안테나의 CSI 값을 선택하여 사용한다.

다중경로 현상에서 뚜렷하게 차이를 보이는 2가지 환경을 설정하여 실험에 사용한다. 먼저 상대적으로 단순한 경로로 전자파가 전파되는 구조인 3m X 4m X 40m 크기의 복도를 선정하였다. 다음으로 다양한

(a) Corridor

(b) Laboratory

그림 4. 실험환경
Fig. 4. Experimental Environment

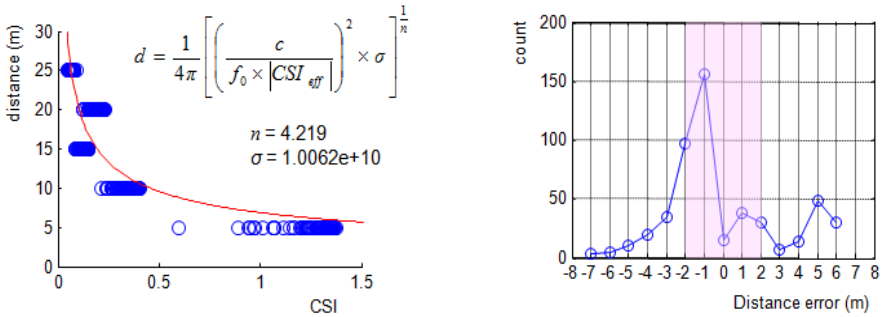
사무시설로 인하여 복잡한 전파 현상이 예견되는 4m X 20m X 30m 크기의 연구실에서 실험한다. 그림 4는 복도와 연구실로 대별되는 서로 다른 특성의 실험 환경을 보이고 있다.

4.2 거리대비 전파손실 모델의 비교

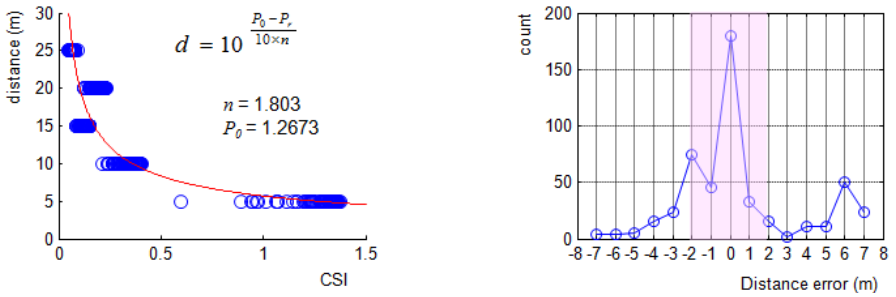
상용 WLAN 통신모듈에서 제공하는 CSI 값은 거리에 따른 변화가 거의 없다. 이는 아날로그-디지털 변환기에 입력되는 신호의 진폭이 일정범위 이내로 유지되도록 자동이득제어(AGC: Automatic Gain Control) 증폭을 통과한 결과이기 때문이다. CSI와 유사하게 AGC 값도 통신모듈 인터페이스에서 제공된다. 따라서 측정된 CSI 값을 통신모듈에서 제공하는 AGC 이득으로 나누게 되면, 거리에 비례하는 신호세기로 scaling된 CSI 값을 얻을 수 있다. G'로 표현되는 AGC 이득은 AGC의 제곱근으로 다음과 같은 식으로 표현 된다.

$$G' = \sqrt{10^{\frac{agc}{10}}} \tag{4}$$

scaling된 CSI 값은 주파수 도메인 표현이다. 3.1절에서 설명한바와 같이 IFFT 처리하면 시간 도메인 표현으로 변환된다. 시간상으로 먼저 도착한 RF 구성요소가 가시선 경로로 전달된 것으로 간주하고 나머지



(a) The Distance Estimation Error of Equation (2)



(b) The Distance Estimation Error of Equation (3)

그림 5. 거리대비 전파손실 모델의 거리추정 에러
Fig. 5. Distance Estimation Error for the Different Path Loss Equations

구성요소를 삭제함으로써 다중경로 효과를 일정부분 제거할 수 있다. 여기서는 신호세기가 50% 이하인 RF 구성요소를 삭제하는 방법을 적용한다. 다중경로 효과를 제거한 CSI는 FFT 처리하여 주파수 도메인 표현으로 다시 변환한다. 이는 부반송파 단위의 주파수 다이버시티를 포함하고 있으므로 해당 CSI의 전파세기를 대표하는 단일 값으로 정량화한다. 여기서는 높은 주파수의 부반송파에 높은 가중치를 적용하는 접근을 적용한다[13].

그림 5는 정량화된 CSI 값을 거리대비 전파손실 모델에 적용하여 거리를 산출한 결과를 보이고 있다. 서로 다른 거리대비 전파손실 모델의 거리추정 능력을 평가하는 것은 모델을 이해하는데 중요하다.

거리의 변화에 따른 CSI 값의 변화를 분석하기 위해서 5m에서 25m까지 5m 단위로 측정하고, 한 지점에서 100개 CSI 값을 거리추정에 활용하였다. 다중경로 효과를 제거하고 정량화 한 결과를 그림 왼쪽 그래프에서 도식하고 있다. 정지 상태에서 측정하였음에도 불구하고 가까운 거리에서는 CSI 값의 변화폭이 큼을 알 수 있다. P_0를 실측하고 3.3절에서 제시한 환경 특성값 보정 알고리즘을 이용하여 환경계수(n, σ)들을 결정함으로써 측정된 CSI 값의 추세를 가장 잘 반영하는 거리대비 전파손실 모델의 함수를 결정한다.

그림의 오른쪽 그래프는 위에서 정의된 거리대비 전파손실 모델의 함수를 이용하여 추정한 거리가 실측된 지점과 얼마나 차이를 나타내는지 보이고 있다. 약 30회의 실험을 실시한 결과 식 (3)의 모델이 식 (2)의 모델보다 평균 30회 정도 2미터 에러 범위에 많이 포함된 것으로 나타났다. 이러한 작은 차이에도 불구하고 0미터 오차를 보이는 횟수를 살펴보면 식 (3)의 경우가 식 (2)의 경우에 비해서 상당히 높음을 알 수 있다. 비록 식 (2)가 실내 환경을 위해 특별히 제안된 모델임에도 불구하고 일반적으로 적용되고 있는 식 (3)의 적용가능성이 더 높은 것으로 분석된다. 이는 2개의 환경변수의 보정의 정밀도가 거리추정 정밀도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

4.3 거리추정 결과 분석

전파의 다중경로 전송의 특성이 명확하게 구별되는 다른 환경에서 거리추정 에러를 분석하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 기존의 RSSI 기반에 대비해서 CSI 기반 거리추정 접근은 다중경로 구성요소를 부분적이나마 제거할 수 있다. 이러한 상대적인 특성이 거리추정에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

그림 6은 서로 다른 실험환경에서 실시한 거리추정 에러 결과를 보이고 있다. 복도는 일직선의 구조로 다중경로의 현상이 미미한 환경이며, 연구실은 다양한 사무 및 실험 시설로 인하여 복잡한 다중경로 전파가 예상되는 환경이다. 실험의 객관성을 위해서 각각의 환경에서 3번의 독립적인 실험을 수행하였다. 4.2절에서 설명한 신호처리 과정을 통하여 다중경로 효과를 일정량 제거하고, 식 (3)의 거리대비 전파손실 모델을 적용하여 거리를 추정한다. 두 실험환경에서의 거리추정 에러는 확률 누적함수 약 60%를 기점으로 다른 현상을 보이고 있다. 이는 약 4 미터의 거리추정 에러에 해당하여, 이 구간에서는 다중경로 제거의 효과가 작음을 보이고 있다.

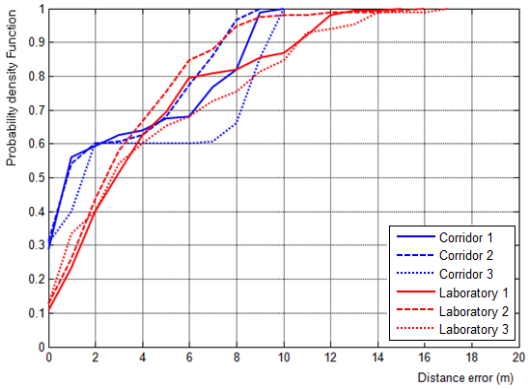


그림 6. 서로 다른 실험환경에서 거리추정 에러
Fig. 6. Distance Estimation Error with the Different Experimental Environments

거리추정 에러가 적음은 가시선 경로로 전달된 전파 구성요소가 거리추정에 적극적으로 활용되었음을 의미한다. 연구실 환경의 확률 누적이 상대적으로 낮음은 가시선 경로로 전달된 전파 구성요소에 다중경로로 전달된 전파 구성요소가 많은 영향을 주었기 때문으로 분석된다.

반면에 확률 누적함수 약 60%를 넘어서면, 연구실 환경에서 다중경로의 제거가 거리추정에 크게 영향을 끼쳤음을 보이고 있다. 복도 환경의 경우에 다중경로로 전달되는 전파 구성요소와 가시선으로 전달되는 구성요소와 시간차가 미미하여 다중경로로 전달된 구성요소가 잘 제거되지 않았음을 의미한다. 그러나 다수의 복잡한 다중경로가 예견되는 연구실 환경의 경우는 10 미터 이상의 거리추정 에러가 발생하며 심지어는 16 미터에 다다르고 있어서 더욱 면밀한 다중경로 제거 방안의 도출이 필요한 것으로 보인다.

Ⅴ. 결 론

모바일 응용에서 위치정보는 가장 중요한 시스템 파라메터로 알려져 있다. 더군다나 최근 모바일 단말에서 채용되고 있는 통신장치를 위치추정의 수단으로 이용할 수 있다면, 별도의 시스템 구성이 필요 없게 되어 수월성을 크게 제고할 수 있다.

본 논문은 스마트 폰을 포함하여 대부분 모바일 단말에서 채용하고 있는 IEEE 802.11 통신모듈에서 제공하는 정보를 활용하여 실내에서 모바일 단말의 거리를 추정하는 기법을 제시하고 분석하였다. 먼저 거리대비 전파손실 모델의 환경 특성값을 보정하는 알고리즘을 제시하였다. 상이한 환경 특성값을 적용한 서로 다른 거리대비 전파손실 모델의 거리추정 에러를 비교 분석한 결과, 다소간 유사하지만 얼마간의 차이를 보이고 있다. 서로 다른 환경적 차이를 보이는 복도와 연구실에서 거리추정을 분석한 결과, 다중경로의 제거가 실내 환경에서 거리추정에 매우 중요한 요소로 작용함을 확인할 수 있었다. 특히 다중경로는 거리추정 에러의 주요 원인임을 알 수 있다.

향후 거리대비 전파손실 모델의 정확한 환경 특성값 산출과 효율적인 다중경로 제거 기법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

References

[1] H. Abdel-Nasser, R. Samir, I. Sabek, and M. Youssef, "MonoPHY: Mono-stream-based device-free WLAN localization via physical layer information," in *Proc. IEEE WCNC*, pp. 4546-4551, Shanghai, China, Apr. 2013.

[2] V. Brik, S. Banerjee, M. Gruteser, and S. Oh, "Wireless device identification with radiometric signatures," in *Proc. MobiCom,* pp. 116-127, San Francisco, CA, USA, Sept. 2008.

[3] B. Ganev, D. Zenetti, and S. Capkun, "On physical-layer identification of wireless devices," *ACM Computing Surveys*, vol. 45, no. 1, Nov. 2012.

[4] D. Halperin, W. Hu, A. Sheth, and D. Wetherall, "Predictable 802.11 packet delivery from wireless channel measurements," in *Proc. SIGCOMM*, pp. 159-170, New Delhi, India, Aug. 2010.

[5] Z. Jiang, J. Zhao, X. Li, and W. Xi, "Rejecting the attack: source authentication for Wi-Fi management frames using CSI information," in *Proc. INFOCOM*, pp. 2544-2552, Turin, Italy, May 2013.

[6] Z. Jiang, et al., "Wi-Fi fingerprint based indoor localization without indoor space measurement," in *Proc. IEEE MASS*, pp. 384-392, Hangzhou, China, Oct. 2013.

[7] Z. Jiang, et al., Communicating is crowdsourcing: Wi-Fi indoor localization with CSI-based speed estimation, Jul. 2013, from http://arxiv.org/abs/1307.6349v1.

[8] S. Sen, J. Lee, K. Kim, and P. Congdon, "Avoiding multipath to revive inbuilding WiFi localization," in *Proc. MobiSys*, pp. 249-262, Taipei, Taiwan, Jun. 2013.

[9] S. Sen, B. Radunovic, R. Choudhury, and T. Minka, "Spot localization using PHY layer information," in *Proc. MobiSys*, pp. 183-196, Low Wood Bay, United Kingdom, Jun. 2012.

[10] K. Y. Song and D. W. Lim, "Performance evaluation of interface alignment based on analog CSI feedback in continuously-varying interface channel," *J. KICS*, vol. 39A, no. 1, pp. 65-67, Jan. 2014.

[11] Z. Yang, C. Wu, and Y. Liu, "Locating in fingerprint space: wireless indoor localization with little human intervention," in *Proc. Mobicom*, pp. 269-280, Istanbul, Turkey, Aug. 2012.

[12] Z. Yang, Z. Zhou, and Y. Liu, "From RSSI to CSI: indoor localization via channel response," *ACM Computing Surveys*, vol. 46, no. 2, Nov. 2013.

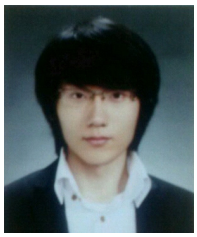
[13] K. Wu, et al., "CSI-based indoor localization," *IEEE Trans. Parallel an Distributed Syst.*, vol. 24, no. 7, pp. 1300-1309, Jul. 2013.

[14] M. Yang, J. Jang, and D. K. Kim, "Dual-mode transmission strategy for blind interference alignment scheme in MISO broadcast channels," *J. KICS*, vol. 38A, no. 12, pp. 1102-1109, Dec. 2013.

[15] D. Halperin, W. Hu, A. Sheth, and D. Wetherall, "Tool Release: Gathering 802.11n

Traces with Channel State Information," in *Proc. SIGCOMM*, vol. 41, no. 1, pp. 53-53, Jan. 2011.

양 정 우 (Jeong-woo Yang)



2013년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
2013년 3월~현재 : 전북대학교 전자정보공학부 석사과정
<관심분야> 정보보호, 무선네트워크, 네트워크 보안

안 개 일 (Gae-il An)

1993년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업
1995년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2001년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사
2006년 7월~2007년 6월 : 미국 시라큐스대학교 박사후 연구원
2001년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<관심분야> 네트워크보안, 네트워크 시뮬레이션, 모바일 디바이스 보안

김 신 효 (Shin-hyo Kim)

1990년 2월 : 전남대학교 전산학과 졸업
2000년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과학과 석사
1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<관심분야> 네트워크보안, 이동컴퓨팅, 네트워크 관리, 센서 네트워크

정 병 호 (Byung-ho Chung)

1988년 2월 : 전남대학교 전산통계학과 졸업
2000년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과학과 석사
2005년 8월 : 충남대학교 컴퓨터과학과 박사
1988년 3월~2000년 6월 : 국방과학연구소 선임연구원
2000년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<관심분야> 정보보호, 무선통신프로토콜

김 태 연 (Tae-yeon Kim)

1986년 2월 : 전남대학교 계산통계학과 졸업
1988년 2월 : 전남대학교 계산통계학과 석사
1996년 2월 : 전남대학교 계산통계학과 박사
1996년 3월~현재 : 서남대학교 컴퓨터정보통신학과 조교수
<관심분야> 네트워크보안, 이동컴퓨팅, 네트워크 관리, 센서 네트워크

편 기 현 (Ki-hyun Pyun)

1995년 : 인하대학교 전자계산공학과 졸업
1997년 2월 : KAIST 전산학과 석사
2002년 2월 : KAIST 전산학과 박사
2003년 3월~2004년 2월 : KAIST 통신연구실 박사후 연구원
2004년 3월~현재 : 전북대학교 컴퓨터공학부 부교수
<관심분야> 컴퓨터통신, 차세대 인터넷, 인터넷 서비스, 시스템소프트웨어

조 기 환 (Gi-hwan Cho)

1985년 2월 : 전남대학교 계산통계학과 졸업
1987년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 석사
1996년 5월 : Newcastle대학교 전산학과 박사
1987년 9월~1997년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
1997년 9월~1999년 2월 : 목포대학교 컴퓨터과학과 교수
1999년 3월~현재 : 전북대학교 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 분산처리시스템, 정보보호, 무선네트워크