

스마트폰 IMU와 WPS를 결합한 복합 측위 방법론

김재훈^{*}, 강석연^{*}

Hybrid Algorithmic Framework Using IMU and WPS for Smart Phone Positioning Systems

Jae-Hoon Kim^{*}, Suk-Yon Kang^{*}

요약

무선인터넷과 이동통신 기술의 발달 및 스마트폰의 급속한 확산으로 인해 사용자의 현재 및 과거의 위치 정보를 사용하여 다양한 부가정보를 제공하는 위치기반 서비스에 대한 관심이 급증하고 있다. 위치기반 서비스의 본격적인 활성화를 위해서는 정확한 측위가 기본이 된다. GPS (Global Positioning System)과 WPS (Wi-Fi Positioning System)가 상용화 되면서 측위 기술에 일대 혁신을 가져왔으나 실내환경에서 많은 제약을 가졌다. 이에 관성센서 (IMU: Inertia Motion Unit)를 사용한 네비게이션 (Navigation) 기술을 실내환경에서 응용하려는 시도가 정밀 측위의 관점에서 논의되고, 관성센서의 장착이 스마트폰에 일상화 되면서 실내 정밀 측위 확산의 시초를 갖게 되었다. 본 논문에서는 IMU와 WPS를 결합하여 각각의 단점을 극복하고 측위 품질을 혁신적으로 향상시킬 수 있는 알고리즘 프레임워크를 제안한다. 본 연구를 위해 스마트폰에서 구현되는 측위 테스트 프로그램을 구현하고 이를 적용할 실질적인 실내의 테스트베드를 구성하여 활용하였으며 이로서 대규모로 확장 적용할 수 있는 기반을 구성했다. 본 면에서 충분한 의미를 지닌다.

Key Words : LBS, IMU, WPS, Hybrid Algorithm, Smart Phone

ABSTRACT

The drastic growth of mobile communication and spreading of smart phone make the significant attention on Location Based Service. The one of most important things for vitalization of LBS is the accurate estimating position for mobile object. Focusing on IMU deployed in smart phone, we develop a hybrid positioning estimation framework with a combination of WPS. The developed approaches can strengthen the advantages of independent indoor applicability of IMU. The estimation of IMU is efficiently compensated by radio fingerprint based Wi-Fi Positioning System. We put a focus especially on the hybrid algorithmic framework. Compared on the existing approaches of WPS or IMU, we achieve the comparable higher performance on both of average error of estimation and deviation of errors. Furthermore test-bed based on smart phone platform is practically developed and all data have been harvested from the actual measurement of test indoor area. This can approve the practical usefulness of proposed framework.

I. 서론

위치기반서비스(LBS: Location Based Service)란 사용자가 현재 위치한 지리적 위치를 고려하여 사

※ 본 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단 기초연구사업(2013-025572) 지원을 받아 수행되었습니다.

◆ 주저자 겸 교신저자 : 아주대학교 산업공학과 jayhoon@ajou.ac.kr, 정회원

* SK 텔레콤 Network 기술원, sukyon.kang@sk.com, 준회원

논문번호 : KICS2013-03-124, 접수일자 : 2013년 3월 6일, 최종논문접수일자 : 2013년 7월 29일

용자에게 유용한 정보를 결합하여 제공하는 서비스를 일컫는다. 무선인터넷과 이동통신 기술의 발달 및 스마트폰의 급속한 확산으로 인해 사용자의 현재 및 과거의 위치 정보를 사용하여 다양한 부가정보를 제공하는 위치기반 서비스에 대한 관심이 급증하고 있다. 위치기반 서비스에 대한 사회/경제적 요구가 증가하는 배경에는 첫째, 공공 및 개인의 안전과 관련된 긴급 상황에 대한 신속한 대처, 둘째, 경제적 자원관리, 셋째 다양한 정보통신 서비스 지원을 위한 기반기술 확충에 그 의의가 있다. 다양한 형태의 사회/경제적 요구를 만족하기 위한 위치기반 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 기술적 요소가 결합된 다층 구조의 시스템이 필요하다. 아래 그림 1은 이와 같은 다층 구조의 시스템을 표현한 것으로 최하단의 측위 시스템 (Positioning System)으로부터 개별 응용 프로그램 (Application)까지의 기술 요소들이 적절히 융합되어야 함을 보이고 있다.

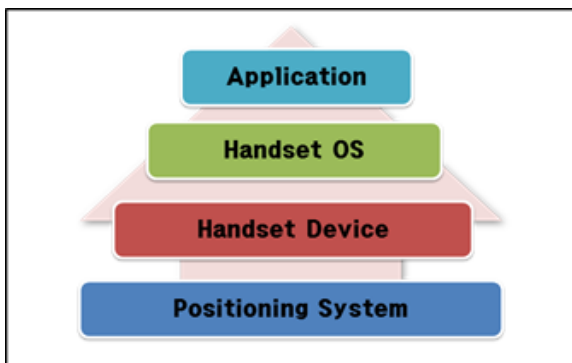


Fig. 1. Layered Structure for LBS

LBS를 위한 다양한 시스템 중에서 측위의 품질을 결정하는 핵심시스템은 측위 시스템(Positioning System)이며 주로 유무선 통신 기술 등을 이용하여 대상 물체 (Target Object) 의 측위값을 측정하고 그 값을 위경도값의 형태로 제공하게 된다. 즉, 측위시스템의 목표는 측위 시스템에 의해 측정된 (measured) 측위 값과 대상 물체의 실제 위치값의 오차를 최대한 줄여 위치기반 서비스를 이용하는 사용자의 사용자 경험 (User Experience)을 극대화하는데 있다. 대표적인 측위 시스템에는 이동통신 인프라구조를 이용하는 네트워크 기반 측위, 위성을 이용하는 위성 기반 측위, 대상 물체 (대부분 이동 단말) 의 내부 센서를 이용하는 센서기반 측위, 그리고 근거리 통신 인프라를 이용하는 전파지문 방식 등이 실용화되어 있다.

위성 기반 측위로는 Global Positioning System (GPS)^[1] 가 가장 일반적으로 사용되고 있다. GPS는 미국이 제공하는 인공위성 기반 측위데이터 제공 시스템으로 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^[2]. 보통 4~5개의 위성의 위치와 수신 장치까지의 거리를 바탕으로 삼각측량법을 적용하여 대상 물체의 위치를 계산하는데 GPS는 직진성이 강한 전파의 특성상 수신장치와 가시성(LOS: Line Of Sight)을 유지한 상태에서만 통신이 가능하여 실내 같은 특정한 환경에서는 측위가 어렵다는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 극복하기 위한 여러 방안 중에 최근 급속히 보급되기 시작한 측위 방식이 무선랜(WLAN : Wireless LAN) 을 이용한 Wireless Positioning System (WPS) 이다. WPS 방식의 핵심은 실내 및 실외에 위치하는 Wi-Fi AP (Access Point)로부터 사용자 단말기에 측정되는 전파수신강도(RSSI : Received Signal Strength Index)를 이용하여 대상 물체의 위치를 추정한다는 것이다^[3,4]. WPS는 근거리 통신에 쓰이는 무선 AP를 측위에 활용함으로써 실/내외에 새로운 인프라 구축비용이 필요없다는 장점을 지니고 있고 무선 AP의 수가 매우 많아서 전파의 가시성 확보가 GPS에 비해 상대적으로 덜 문제가 된다. 특히 WPS 방식은 GPS와 더불어 애플의 iPhone에 도입된 복합 측위 시스템의 기본이 되는 기술로 거의 모든 스마트폰의 측위시스템은 WPS에 기반한 기술을 활용하고 있다고 볼 수 있다^[5].

WPS는 관련 특허를 보유한 미국의 'Skyhook Wireless'에서 처음 사용된 용어로서 크게 무선 AP의 정보를 얻어내는 기술, 얻어낸 Data를 최적화하여 무선 AP의 위치 및 측정 RSSI DB(Database)를 구축하는 기술, 얻어낸 무선 AP정보와 구축된 DB 내의 정보를 비교하여 [그림 2(a)]와 같이 삼각측량법을 활용하여 단말의 위치를 얻어내는 기술로 구성된다^[6].

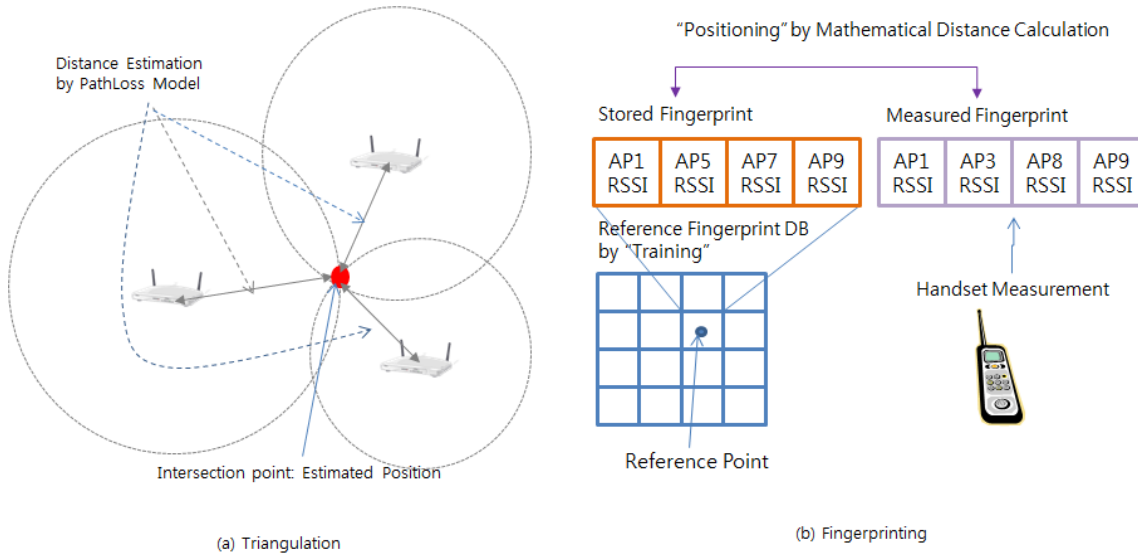


Fig. 2. Concept of WPS

Skyhook의 WPS를 비롯한 삼각측량 기반의 측위 방식은 삼각측량의 기준이 되는 무선 AP의 선정과 선정된 AP의 정확한 위치값의 확보가 매우 중요하다. 하지만 복잡한 근거리 무선랜 통신 환경을 생각해보면 특정 포인트에서 검출되는 무선 AP의 수가 매우 많고 또한 AP의 위치가 수시로 변동되기도 하며, AP의 위치 정보를 수집할 때마다 주변 간섭 상황의 변화를 피할 수 없기 때문에 상당한 한계를 가진다 (AP의 위치값을 얻어내기 위해 역삼각측량 (Reverse Triangulation) 방식을 일반적으로 사용한다). 이를 보완하기 위해 삼각측량 기반의 상용 WPS는 복잡한 알고리즘을 사용하는데, 기술이 상용화 되면서 각 측위솔루션 제공 업체가 알고리즘을 공개하는데 방어적인 태도를 취해 알고리즘의 신뢰도를 추정하기 어렵다. 또한 삼각측량 기반의 방식은 전파모델의 적용이 필수적인데 전파모델의 취약성으로 인해 측위 오차 한계가 태생적으로 존재한다. 즉 전파모델의 오류에 의한 거리 추정 오차값이 그대로 삼각측량의 오차로 작용하게 된다. 이와 비교해 전파지문 (RF Fingerprint) 기반의 WPS는 삼각측량 기반의 WPS에 비해 공개된 형태의 단순한 형태 (대부분 패턴 매칭타입)의 알고리즘을 사용하여 측위값을 제공한다. 전파지문 기반의 WPS에서는 무선 AP의 RSSI 정보를 사용하지만, AP의 위치 추정과정이 필요가 없어 오차의 발생요소가 삼각측량기반의 측위 방식보다 줄어든다^{7,8)}(그림 2(b)).

IMU(Inertial Measurement Unit)은 ‘관성 측정 장치’치로써 이동 물체의 속도와 방향, 중력, 가속도를 측정하는 장치를 뜻한다. 3차원 공간에서 자유로운

움직임을 측정하려고 가속도계, 각속도계(자이로스코프), 지자기계로 측을 이룬다. 가속도계는 이동 관성을, 각속도계는 회전 관성을, 지자기계는 방위각을 측정한다. 여기서 각속도계와 가속도계를 가지고 자세를 측정하는 것이 바로 ARS(Attitude Reference System)이고 각속도계, 가속도계와 지자기계까지 이용해서 자세를 측정하는 것이 바로 AHRS(Attitude Heading Reference System)이다. 자세를 제어할 때 가속도계는 이동거리를 측정하는 것이 아니라 중력 가속도를 이용해 각도를 계산함으로써 각속도와 가속도를 혼합(fusion)하여 사용한다. 이 두 센서의 혼합으로 나온 결과 값에 지자기계까지 혼합하면 AHRS가 된다. 위의 모든 유닛을 하나로 묶어서 IMU라고 한다. IMU는 항공기를 포함하여 비행물체, 선박, 로봇, ICT분야에서 넓게 쓰인다. 항공기 내 컴퓨터는 IMU센서가 수집한 데이터로 항공기의 위치를 분석하며 이를 추측 항법 (Dead Reckoning) 이라고 한다. 스마트폰에 기본적으로 채용되어 있는 IMU는 테스트 프로그램으로부터 간단히 확인할 수 있다. 테스트 프로그램은 사용자의 움직임에 대한 측정값을 텍스트 파일로 기록하며 단말기 내부에 장착된 가속도계, 각속도계, GPS, 지자기계등으로 이루어진 IMU를 활용하여 사용자의 움직임을 기록하는 기능을 수행한다. 이 데이터 파일은 추후에 MATLAB, Excel 등에서 데이터를 가공할 수 있는 특징이 있다. 또한 단말을 좌우로 흔들거나(Yaw), 던지는 행동(Pitch), 회전시키는 행동(Roll)의 3가지 행동에 대해서도 측정이 가능하다. IMU 기반의 위치추정은 이들 가속도계, 각속도계, 지자기계 및 고

도계를 이용하여 보행자 및 이동 물체의 움직임 상황을 인식하는 방식이다^{9,10} (그림 3).

(Pseudolites), 레이저, 음파, RFID(Radio Frequency Identification), 블루투스 등을 이용하여 특정 보정점(Waypoint)를 지정하여 IMU 측위의 누적오차를 보정하는 시도가 이루어졌다.

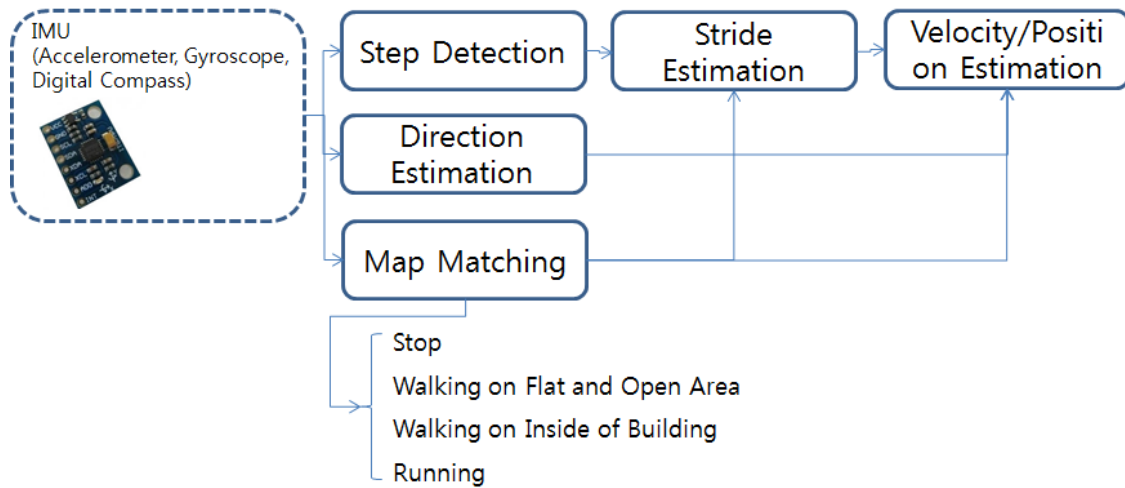


Fig. 3. Position Estimation by IMU

스마트폰에 삽입된 IMU 관성 계측장치에는 일반적으로 3축 가속도계와 3축 각속도계가 내장되어 있어 진행 방향, 횡 방향, 높이 방향의 가속도와 롤링(roll), 피칭(pitch), 요(yaw)각속도의 측정이 가능하며, IMU로부터 얻어지는 가속도와 각속도를 적분하여 이동물체(보행자)의 속도와 자세 각의 산출이 가능하다. 가속(acceleration 수평이동 포함)은 일정 시간에서 속도의 변화를 측정하는 것으로 속도(velocity)는 초당 미터(m/s)로 표현되며, 전치율과 움직임의 방향도 포함한다. 이는 가속이 제공초당 미터(m/s²)로 측정되는 것에 기인한다. 회전(rotation)은 각속도 움직임(angular rate motion)을 측정한다. 초당 라디안(rad/s)으로 표현되며 회전 속도를 시간별로 측정하므로 회전운동이 일어났을 때 회전 각도를 추정할 수 있다. IMU를 이용한 위치 추정은 누적에러(Accumulated Error)의 문제를 태생적으로 갖고 있다. 이미 측정된 기존 값에서 연속적인 계산을 하기 때문에 중간에서 잘못된 수치가 들어가면 오류가 점점 커지게 된다. 실외에서는 이동단말의 위치를 측위하기 위해 GPS(Global Positioning System) 및 이동통신 네트워크 기반의 기술의 적용이 가능해, 이를 이용하여 IMU 측위의 보정을 실시할 수 있으나 실내에서는 GPS신호의 수신이 어렵고 일반적으로 이동통신 네트워크 기반의 측위보다 더 정밀한 정확도가 요구되어 이 같은 기술이 사용되기 어렵다. 이에, 실내공간에서 위치를 보다 정밀하게 측위하기 위한 여러 기술들, 즉 무선랜 인프라, 의사위성

여기에 실내 공간의 지리환경정보를 결합하여 보다 현실적인 실내 위치 추정을 시도하였다. 이러한 모든 노력에도 실내공간에서의 측위의 정밀도는 요구되는 수준에 크게 미치지 못한다. 이는 단일 요소 측위 방식 자체의 문제들을 해결하는데 본질적 한계가 존재하는데 기인하는 바가 크다. 또한 두 개 이상의 단일 요소 측위 방식을 결합하는 복합 측위 방식이 단순 결합 방식 정도에 머물고 있어 요소 측위 방식 간 효과적인 상호 보완이 이루어지지 않고 있는데 큰 이유가 있다^{12,13}. 기존의 Localization 관련 연구는 두 개 이상의 측위 방법을 결합하고 있으나, 이들 결합방법이 대부분 필터를 이용한 일반적인 방법으로 각 측위방법의 오차 발생 특성을 고려하여 연구한 바가 부족하다. 거기에 대다수의 연구들이 독립된 센서 모듈 및 전파 수신기를 이용하여 이루어져서 실제 응용 기기인 스마트폰에 장착된 기기를 대상으로 한 연구 및 검증이 부족한 실정이다. 이에 본 논문에서는 스마트폰 IMU와 WPS를 효과적으로 결합한 복합 측위 시스템의 프레임워크를 설계하고 추정 오차의 편차폭을 관리/예측 가능한 수준을 보장하는 방식을 제안한다. 다양한 환경에서 수집된 요소 측위 데이터로부터 요소 측위 기술의 오차 패턴을 확인하고, 단위 요소 측위 기술의 상호 작용을 정의해 주어진 기술들의 결합 측위 오차를 최소화할 수 있도록 한다.

II. IMU/WPS 결합 모델

2.1. 스마트폰 IMU 센서의 특성, 성능 및 IMU 보행모델

그림 4에서 현재 대표적인 스마트폰인 삼성의 Galaxy S3 모델과 Apple의 iPhone5 모델에 채용된 IMU 센서의 특성과 성능을 간략히 정리하였다. 두 모델 모두 STMicro사의 제품을 채용하였음을 알 수 있는데, 위치 추정을 위한 보행모델에의 적용을 위해서는 중력가속도(g)로 표시되는 가속도의 측정의 폭, dps (degree per second)로 측정되는 각속도 측정의 폭, 그리고 Hz로 표시되는 측정 빈도의 크기가 중요하다. 대표적인 두 모델에 장착된 IMU는 모두 $\pm 8g$ 이상의 가속도 측정폭, $\pm 2000dps$ 이상의 각속도 측정폭, 그리고 $800Hz$ 이상의 측정 빈도를 가져 IMU를 이용한 스마트폰 보행 모델의 구성에 충분한 사양을 지니고 있음을 확인할 수 있다.

Galaxy S3 (Android): STMicro LSM330DLC Accelerometer Gyroscope

- 3 independent acceleration channels and 3 angular rate channels
- $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ dynamically selectable full scale
- $\pm 250/\pm 500/\pm 2000$ dps dynamically selectable full scale
- Output Data Rate: 1/10/25/50/100/200/400.../5376 Hz

iPhone5 (iOS): STMicro L3G4200D(AGD5/2235/G8SBI) Gyroscope, LIS331DLH Linear Accelerometer

- 3 independent acceleration channels and 3 angular rate channels
- $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ dynamically selectable full-scale
- Three selectable full scales (250/500/2000 dps)
- Output Data Rate: 100/200/400/800Hz (Gyro), 100/400 (Accel.)

Fig. 4. Smartphone IMU Performance

보행모델은 걸음검출(Step Detection), 보폭추정(Stride Estimation), 진행방향추정(Azimuth Estimation)의 세 가지 요소로 이루어진다^{9,10}. 아래 그림 5는 걸음검출 기법의 대표적인 방법인 영교차점 검출기법을 표현한다. 가속도계를 기준으로 하여 변화량을 계속적으로 측정하면 양의 방향에서 음의 방향 혹은 음의 방향에서 양의 방향으로의 영교차점(Zero-Crossing)이 발생하는데, 이 영교차점이 걸음을 나타낸다. 이외에 다양한 걸음검출 방법이 존재하는데 이는 표 1에서와 같다.

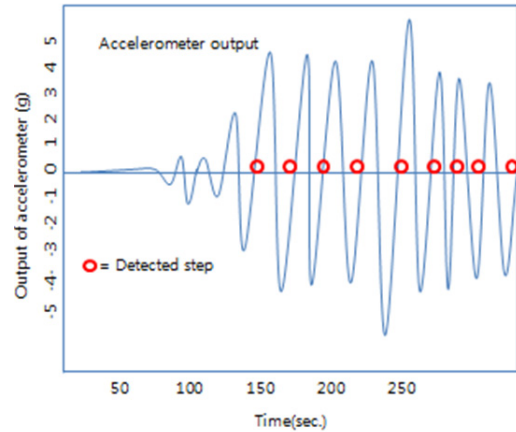


Fig. 5. Step Detection (Zero-Crossing Detection)

Table 1. Step Detection Methods

Name	Description
Peak Detection Method	A step is detected by accelerometer impulse signal of foot printing on flat area. The detected impulse can be fluctuated by walking speed
Flat Zone Detection Method	A step is detected by characteristic signal pattern generated by stance status. This method has limitation for dispatching part of accelerometer. It is only applicable foot-mounted accelerometer.
Zero Crossing Detection Method	A step is detected by signal change (plus to minus or minus to plus) of accelerometer. The trembling of signal should be handled

걸음검출은 아래 그림 6과 같이 단계적으로 이루어진다. 최초의 전보행실험(Preliminary Walking Test)을 통해 보행환경을 숙지하고, IMU 센서에서 발생하는 신호를 검출하여 그래프로 검증하고, 마지막으로 검출된 신호 중 적절한 센서의 벡터 변화량의 편차를 이용해 Swing(Motion)/Stance(Motionless)의 상태를 검출해 내는 것이다. IMU를 이루고 있는 세가지 센서인 가속도계, 각속도계, 지자기계를 모두 활용할 수 있으나, 많은 실험결과 가속도계를 이용하는 방법이 오류 발생 가능성이 가장 적다고 알려져 있다 (가속도계의 오류는 0.1%, 각속도계 0.2%, 지자기계 0.94%) 보행 모델의 두 번째 단계인 보폭 추정기법은 보폭을 누적하여 보행자의 이동거리를 파악하는데 필수적이다. 보폭을 추정할 수 있는 요소에는 여러가지가 있으며, 이중 잘 알려진 것은 주파수와 가속도분산이다. 이는 걸음 주파수는 초당 걸음이 일어나는 빈도를 의미하며 가속도 분산은 한 걸음에서의 가속도계 출력의 분산 값을 의미한다.

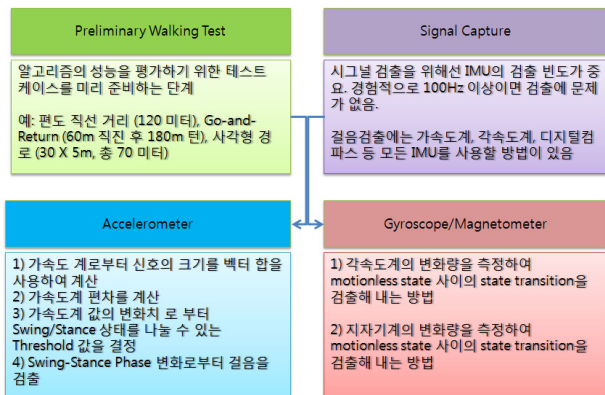


Fig. 6. Step Detection Process

이 분산값을 고려한 걸음당 속도적분값과 걸음당 소요시간을 측정하면 한 걸음당 거리, 즉 보폭을 추정할 수 있다. 이 방식이 대표적인 보폭추정 방식인 영속도갱신(ZUPT:Zero Velocity Update)방식이며 보행모델에서 보편적으로 활용되고 있다. 이는 정지 상태 상태에서는 속도가 0인 사실을 사용하여, 각각의 정지-정지 상태 (Stance-Stance State) 사이의 속도를 가속도계를 적분하여 얻어낸다. 이렇게 하면 한걸음, 한 걸음 마다의 속도를 계산해 낼 수 있고 정지 상태 사이의 시간간격을 얻어내면, {속도 X 시간}으로 보폭을 계산할 수 있다는 아이디어이다.

보행모델의 마지막 요소는 진행방향추정이다. 일반적으로 각속도계를 이용하여 각속도의 변화량의 누적치로부터 진행방향을 계산할 수 있으나, 이는 시작 방향을 정해야 하고, 오차가 누적되는 현상을 막을 수 없다는 단점이 있다. 따라서 실질적으로 각속도계보다는 지자기계(Digital Compass)를 사용하는 경우가 많다. 알려진대로 지자기계 역시 자기장 (Magnetic Field) 의 불균일성으로 인해 오차가 발생하기 쉬우나 보다 보다 간단한 측정이 가능한 장점이 있다. 지자기계를 이용한 대표적인 측위시스템으로 COMPAS 시스템이 있다⁹⁾. COMPAS 시스

템은 WLAN 인프라와 지자기계를 사용하여 측위를 하는 시스템이다. COMPAS 시스템에서 특기할 점은 지자기계를 이용하여 사용자의 자세방향 (Orientation)을 결정하고 이를 이용하는 것인데, 사용자의 자세방향이 앞으로의 진행 방향의 결정에 매우 중요한 요소임을 생각하여 이를 정밀하게 추정, 위치 측위 오차를 줄이는데 사용하고 있다.

IMU를 이용한 보행모델은 상당부분 많은 연구가 이루어져 있다. 그런데 문제는 역시 IMU를 단독으로 사용하여서 사용자의 보행모델을 만들고, 이를 이용하여 이동거리 및 보행 방향을 추정하여 최종적으로 사용자의 위치를 추정함에 있어 오차가 계속적으로 누적된다는 것이다. 오차의 누적은 IMU만을 사용한 측위 시스템의 태생적 한계로 이를 극복하기 위해 스마트폰 외부의 인프라를 이용하는 복합 측위 방식이 필수적이다.

2.2. IMU+WPS 복합측위 모델 및 프레임워크

외부의 인프라를 이용하여 IMU 단독 측위 시스템의 단점을 극복하는 복합측위방식은 오차의 한계를 제한하여 IMU가 발생시키는 단조증가 (Incremental)형태의 누적오차를 제한하여 오차 한계 영역 (Error Upper Bound Zone)을 결정한다는 데 의의가 있다. 아래 그림 7은 두 가지 측위 방식, 즉 WPS와 IMU를 결합하였을 때 각각의 상이한 오차 발생 형태 (IMU는 단조증가 형태, WPS는 정규분포(Normal)형태)가 적절하게 상호 보정하여 어느 한계 이상으로 오차가 벌어지지 않게 함을 보이고 있다.

오차한계의 제한은 WPS의 보정을 통해 얻어낸다. 정규분포 형태의 오차 분포를 갖는 WPS가 일정 간격마다 적용이 되면 IMU로 인한 누적오차가 계속적으로 증가함을 막게 된다. 즉 아래 그림에서

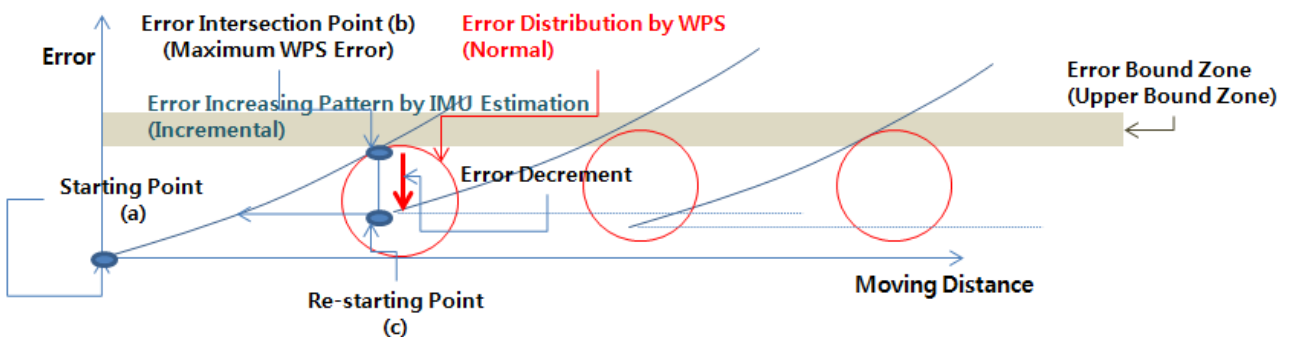


Fig. 7. Error Bound Model for IMU+WPS System

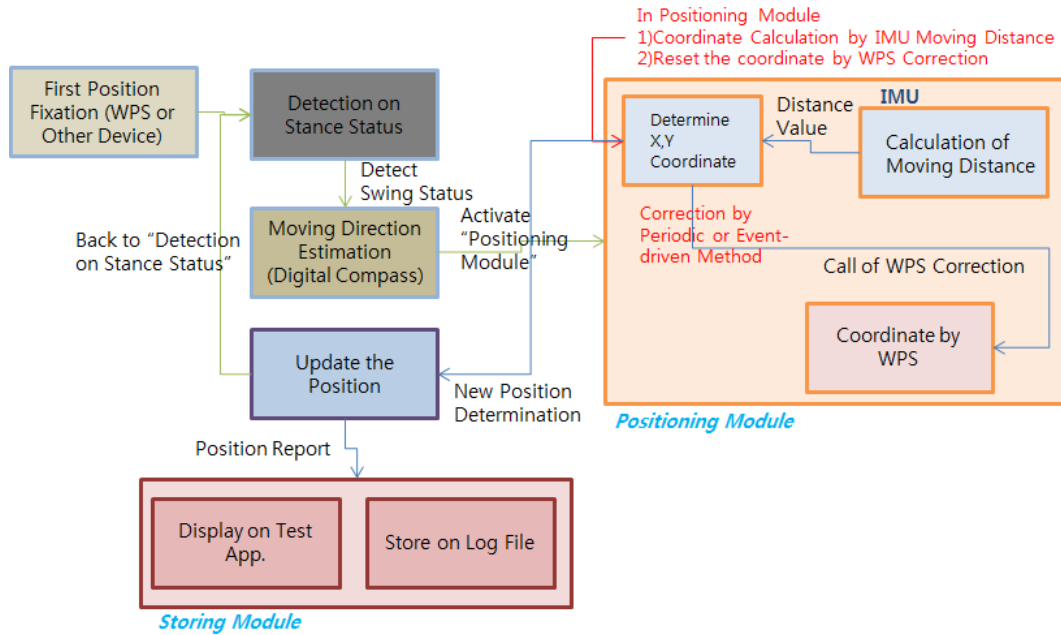


Fig. 8. Test Framework for IMU+WPS System

단조증가하는 IMU의 누적 오차값 (푸른색 선)과 WPS의 오차 한계 원 (붉은색 원)이 교차하는 지점 (b)가 IMU의 누적오차가 WPS의 최대 오차 범위를 넘어가는 지점이다. 이 지점에서 바로 WPS로부터 얻은 측위값을 위치값으로 사용하게 된다. 이 지점에서는 WPS의 최대 오차값이 IMU의 누적오차와 같지만 WPS를 사용하여 측위를 하게 되면 일반적으로 최대오차보다 낮은 오차값을 갖는 위치값을 계산하게 된다. 따라서 새로운 시작점 (c)는 직전의 측정값보다 낮은 오차값을 갖게 되며 이러한 과정을 반복하면서 오차는 적정 수준의 한계 구간을 갖게 된다.

위 그림의 제한된 오차 한계 영역은 측위 기법의 신뢰성을 보장해주는 중요한 장치로 복합 측위 모델에서 복수 개의 측위 기법의 결합 방식 결정에 주요한 결정인자가 된다.

즉 두 개 이상의 기법 (알고리즘으로 기술 됨)의 평균값을 내거나, 시간 주기에 따라 한 기법을 선택적으로 활용하거나, 또는 적절한 가중치를 두어 두 기법에서 추출된 측위 값을 결합하는데 있어 각각의 오차 한계 영역의 크기를 비교하여 가장 적절한 결합 방식을 선택할 수 있다.

최적의 측위 결합방법을 얻어내기 위해 본 연구에서는 아래 그림 8과 같은 테스트 프레임워크를 구현 하였다. 구현된 테스트 프레임워크는 IMU와 WPS의 두 측위 기법의 결합방식을 여러 가지 형태

로 구현할 수 있게 구성되었다. 외부 인프라를 이용하는 WPS측위 값을 주기별, 이벤트별로 호출하여 IMU 측위를 보정할 수 있도록 보정값으로 사용한다. 위치 결정 모듈에서는 WPS로부터 받은 보정값을 IMU가 추정한 이동거리 및 방향과 결합시켜 결정된 위치 값을 사용자단말의 위치로 사용하게 된다.

두 측위 방식의 결합방법을 유연하게 실험하기 위해 본 연구에서는 가중치를 사용하여 결합하는 방식을 택하였다. 식 (1)은 가중치 α_t 를 사용하여 두 방식을 결합하는 방식을 나타낸다.

$$(x, y) = ((\alpha_t WPS_x + (1 - \alpha_t)IMU_x), (\alpha_t WPS_y + (1 - \alpha_t)IMU_y)) \quad (1)$$

WPS_x 와 WPS_y 는 각각 WPS 측위를 통해 얻은 X,Y 좌표 값이며, IMU_x 와 IMU_y 역시 IMU 측위를 이용하여 얻은 X, Y 좌표값이다. 여기서 α_t 의 결정이 중요한데, α_t 의 결정은 시간과 공간적 환경을 입력 변수로 갖는 함수값 형태를 가진다. 즉 특정위치 (WPS를 이용하여 비교적 정확한 위치 값을 얻어낼 수 있는 위치, 대부분 시작점 혹은 코너점)에서는 α_t 의 값을 1에 가깝게 갖고, 특정위치를 지나게 되면 0값으로 떨어진 후 시간이 지남에 따라 서서히 증가하는 형태를 갖는다.

$$\alpha_t = \begin{cases} 1 & , \text{for special points} \\ ae^{bt} - 1 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

α_t 의 형태는 주어진 환경에 따라 다양하게 정의할 수 있다. WPS를 이용한 측위는 실내환경에서 적용이 가능하지만 오차 발생의 형태를 추정하기가 어려운데, 이는 일반적으로 정규분포를 따르는 WPS의 오차 형태로 인해 실제로 WPS를 이용해서 얻은 측정값이 얼마나 신뢰성이 있는지에 대한 추정을 하기가 어렵기 때문이다. 그런데, 특정위치 즉 건물의 입구(시작점), 복도 혹은 점포의 모퉁이(코너점)에서는 건물 및 점포에 특정한 AP가 최초로 검출되고, 위치값을 정확히 특징지을 수 있다. 즉 특정위치에서는 α_t 값을 1로 하여 시작점 혹은 보정점으로 활용한다. 특정위치를 지난 직후부터는 WPS를 이용해 얻은 위치값을 초기 위치값으로 하고, 이후의 이동에 대한 위치값은 IMU를 이용한 거리와 방향값을 이용하게 된다. 즉 특정위치를 지난 직후 IMU를 이용한 측위값의 비중을 1 ($\alpha_t=0$)로 하여 위치 값을 결정하게 된다. 그 이후부터는 IMU를 이용한 오차가 점점 누적되게 되어 IMU로부터 얻어진 위치값의 신뢰도가 점점 하락하게 된다. 그렇다고 WPS를 통해 얻은 위치값 역시 특정위치가 아닌 이상 정확도에 대한 신뢰도도 그리 높다고 볼 수 없어 두 값의 가중평균을 사용하여 측위값을 결합하게 된다. 쉽게 생각할 수 있는 α_t 의 형태는 선형(Linear)이다. 선형모형은 가중평균을 이용하는 모든 방식에 일반적이나, IMU의 오차 누적은 선형적으로 증가하지 않고, 지수적으로 증가함이 알려져 있다^[10]. 이동거리가 증가함에 따라 오차는 누적되고 이용한 측위는 최초의 시작점을 지나서 이동을 진행함에 따라 오차가 누적 되어 신뢰도가 감소하게 된다. 이에 지수 함수의 형태로 α_t 를 결정하게 된다. α_t 의 증감 형태는 a 값과 b 값의 조정을 택해서 결정한다. 즉 증감을 완만하게 할지, 급격하게 할지를 시험 환경에 따라 결정하게 된다. 즉 a 값과 b 값은 가중평균의 모수인 α_t 의 형태를 결정하게 되는데, 특정위치의 간격과 증감의 선형도에 따라 조정된다. 즉 특정위치의 간격이 늘어날수록 b 값이 작은 값을 갖게 되고, 가중평균의 증감이 선형성을 가질수록 a 값이 커지게 된다.

III. 실험

3.1. 테스트 지역의 구성

복합측위 모델 및 프레임워크를 시험하기 위해 아래 그림 9와 같은 테스트 지역을 설정하였다. 본 테스트 지역은 8층 건물의 2층 전체로 구성되어 있으며 이동에 따른 측위 데이터 축적을 위해 이동이 가능한 복도를 중심으로 설정되었다. 그림의 좌표는 좌하단을 원점 (0,0)으로 하여 cm 단위로 계산된 좌표이다. 본 테스트 지역에 총 7개의 이동 경로를 설정하였고 각 이동 경로 마다 10개의 측위 점을 설정하였다.

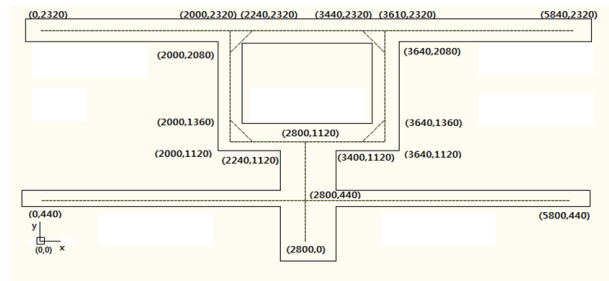


Fig. 9. Test Area

그림 10은 테스트 경로 중 하나의 예시이다. 직진, 직각 회전, 180도 회전 이동을 포함하고 있는 경로이다. 복합측위 프레임워크를 실험하기 위해 테스트 어플리케이션 프로그램을 안드로이드 기반의 단말 (Galaxy S3, Galaxy Note II, Nexus 7)에 구현하였다. 그림 10은 안드로이드 기반 단말에서 실행되는 화면을 직접 추출한 것으로 실제 단말의 실험 값을 효과적으로 도출한다.

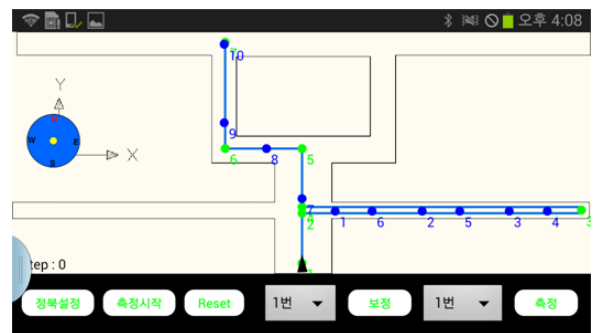


Fig. 10. Test Application Program: Moving Path 1

3.2. 테스트 결과 비교

총 7개의 이동경로에서 식 (1),(2)에서 $\alpha_t=1$ 을 갖는 특정위치 (시작점, 코너점)의 간격을 180cm, 360cm, 540cm, 720cm로 변경하여 실험한 결과 값을 표 2에 나타내었다. 특정위치의 간격을 다양하게 가져가는 것은 WPS를 이용한 보정점의 활용에 있

어 WPS의 신뢰성이 높은 지점의 간격을 결정하여 복합측위에 사용하고자 함에 있다. 즉 특정위치는 WPS가 신뢰성 높은 위치값을 제공하는 지점이고, 신뢰성 높은 위치값을 제공하기 위해서는 WPS의 특성상 (특히 Fingerprint 방식의 WPS) 특정위치에서 특정 AP가 검출되어야 하는데, 복합측위 시스템에서는 이를 위해서 특정위치마다 “관리되는” AP를 설치하는 것이 현실적으로 효과적인 방법이다. 즉 위치값의 정밀도를 유지하면서 추가적으로 설치해야 하는 관리되는 AP의 수를 최소화하기 위해 특정위치의 간격을 결정하는 것이다.

각 경로 별로 총 5회의 위치측정을 10개의 측위점에 대해 실시하였으며, 각 실험마다 실험용 스마트폰 (Galaxy S3, Galaxy Note II, Nexus 7)을 임의로 선택하여 특정 스마트폰 IMU의 특성에 실험이 편향되는 것을 방지하고자 하였다. 실험에서 가중평균을 위한 α_t 는 지수함수의 형태를 가진다. α_t 를 확정하기 위해서는 특정위치의 간격을 위 (2)함수에 대입하여야 한다. 즉, $ae^{b^*(\text{특정위치간격})} = 1$ 의 형태로 주어진다. 결과적으로 얻어야 할 특정위치의 간격과 기울기의 선형성에 따라 a 값과 b 값을 결정할 수 있다. 예를 들어 특정위치 간격이 5m라면 $a = 1$, $b = 0.14$ 로 결정한다. 본 실험에서는 180cm, 360cm, 540cm, 720cm에 따라 a 값과 b 값을 위 방식으로 결정하여 사용하였다.

표 2는 측위 결과의 오차를 cm 단위의 평균값으로 표시한 결과이다.

Table 2. Error Distribution for Test Path and Special Correction Point

Error Distribution for Special Correction Point Interval (Unit : cm)				
	180cm	360cm	540cm	720cm
Path1	255.38	359.76	160.65	254.47
Path2	253.31	182.56	189.42	213.86
Path3	262.31	240.56	195.87	223.41
Path4	168.58	189.28	196.10	128.76
Path5	142.30	140.41	156.93	168.07
Path6	255.38	192.84	232.55	259.45
Path7	118.33	136.95	173.89	264.63

표에서 보듯 모든 경로에서 오차값이 2m ~ 3m 사이로 한정되었으며 제안한 복합측위 프레임워크가

제대로 작동함을 알 수 있다. 실내측위에서 목표하는 오차 수치가 5m이내임을 고려하면 본 결과는 그 실험환경이 제한적이긴 하지만 의미있는 수치임을 알 수 있다. 그림 11은 각 특정위치 간격별로 계산한 오차 평균값을 나타낸다. α_t 의 결정은 복합측위 프레임워크의 핵심으로 본 논문의 실험은 특정위치 간격에 집중하여 실험 결과를 나타내었으나, α_t 의 증가패턴, $\alpha_t=1$ 의 값을 갖는 특정위치(시작점, 코너점, 또는 WPS 보정점)를 종합적으로 고려하여야 한다. 본 연구의 실험에서 α_t 는 특정 위치 간격에 따라 근사적으로 선형형태로 증가하는 지수함수의 형태를 따랐다. 그림 11은 오차를 최소화할 수 있는 특정위치의 간격이 존재함을 보이며 본 연구에서 주어진 환경에서는 5m 내의 임을 알 수 있다.

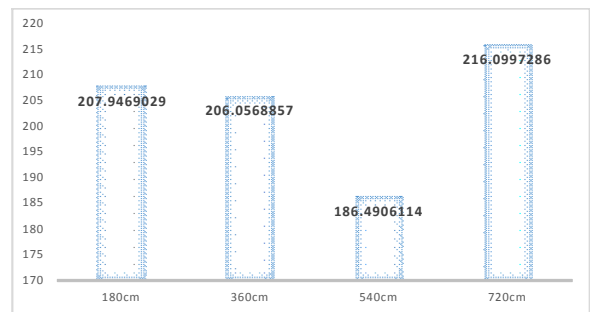


Fig. 11. Error Mean for Special Correction Point Interval

실험 결과는 AP의 설치 간격이 조밀하다고 항상 낮은 결과값을 가져오지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 특정위치에 도착하면 WPS 값의 가중평균이 1로 설정되기 때문으로 보인다. 즉 AP의 간격이 조밀하여 WPS의 오차 한계 이하의 밀집도를 갖게 되면 IMU를 이용하는 이득은 없어지고, 여러 개의 AP 신호를 동시에 받는 단말기의 위치 추정 혼선으로 오차가 더 커지게 된다. 따라서 본 실험결과에서는 360m와 540m 사이에 AP의 최적 간격이 나타남을 추정해 볼 수 있다.

실험에서 수식 (2)의 a 값과 b 값은 유동적으로 결정될 수 있다. 특정 AP의 설치 간격 정보를 위치 측정 어플리케이션이 수신하고 이에 따라 a 값과 b 값을 결정하여 위치 추정에 사용하게 된다. 위치 측정 어플리케이션은 $ae^{b^*(\text{특정위치간격})} = 1$ 의 식을 사용하여 a 값과 b 값의 관계를 풀어내고, 지역의 특성을 반영하여 가중평균 모수의 선형성을 결정한다.

IV. 결론

본 논문은 GPS (Global Positioning System)과 WPS (Wi-Fi Positioning System)이 상용화 되면서 측위 기술에 일대 혁신을 가져왔으나 실내환경에서 많은 제약을 가지고 있는 상황에서 스마트폰에 장착된 관성센서 (IMU: Inertia Motion Unit)를 사용한 네비게이션 (Navigation)기술을 실내환경에서 응용하려는 시도로부터 시작되었다. 기존의 보행 환경에서의 IMU 기반 측위는 정밀측위 관점에서 독립된 IMU 센서를 인체의 여러부위 (머리, 발, 허리 등등)에 부착하여 그 성능을 측정하는데 중심을 두었다. 또한 IMU 단독 활용의 한계를 극복하고자 실내환경에서 적용이 가능한 상용 WPS를 결합하는데 있어 두 측위기법을 결합할 수 있는 프레임워크를 구성하고 이를 스마트폰에 직접 구현하여 그 가능성을 탐색하였다.

본 논문에서에서 제시한 직관적인 결합측위 프레임워크는 실내환경에서 실질적인 두 개 이상의 측위 결과의 결합값을 도출할 수 있는 범용 프레임워크이다. 실내환경에서 한가지 측위방법만으로 신뢰성있는 품질의 측위값을 가지기에는 여러 가지 무리가 따른다. 매우 조밀한 외부센서(예를들면 NFC)들을 설치하고 이들의 신호를 읽을 수 있는 리더 기능을 스마트폰에 삽입하여 이를 절대 측위값으로 활용할 수 있는 방법도 있지만 이는 과도한 인프라 비용을 발생시킨다. IMU와 WPS를 결합하는 아이디어는 상용화를 위한 연구가 진행되어왔다. 시험용 버전은 CSR의 SiRFusion [10] 이라는 소프트웨어 프레임워크가 존재한다. 그러나 SiRFusion은 두 측위법의 결합을 기계적으로 수행하여, 매 20초마다 WPS 측정값을 읽어 이를 보정값으로 활용할 뿐이다. 본 연구는 IMU와 WPS의 결합에 있어 WPS 인프라가 어느정도 조밀하게 구성되어 있는지에 따라 가중보정계수를 변경하는 함수를 도입하여 기계적인 보정의 한계를 극복한다. 또한 다양한 환경을 모사하여 실험함으로써 차후 WPS를 실내에 도입할 때 보다 정확한 WPS값을 위해 설치하는 “관리되는” AP의 수와 밀도를 얻어낼 수 있음에 큰 의미가 있다. 즉 제안한 프레임워크는 다양한 환경에 적용될 수 있는 적응적 구조를 갖는다. 가중치 함수를 환경, 시간의 함수로서 구성하여 환경에 따른 파라미터 훈련 (Parameter Training)을 통해 실증적 효과를 가질 수 있게 된다. 또한 제작된 측위 테스트 어플리케이션은 다양한 실내환경 적용, 이동

경로의 설정, 특정위치 (보정위치)의 설정, WPS이외의 외부 인프라 측위 적용 등에 있어 유연하게 제작되어 향후 복합측위 프레임워크 개선에 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

다만 현재 본 프레임워크를 실험한 환경이 제한적임을 밝히지 않을 수 없다. 본 프레임워크를 효과적으로 적용하고 파라미터 트레이닝을 위한 다양한 데이터를 축적해야하는데, 이는 보다 넓고 활발한 공동연구가 존재하고, 실내측위가 적용될수 있는 효과적인 장소가 필요하다. 본 연구는 이를 위해 공항과 같은 광역 테스트베드를 구성하고 있으며 이로부터 현실적이고 종합적 테스트가 가능할 것으로 본다.

References

- [1] Yutaka Masumoto, “Global positioning system,” *US Patent 5210540A*, June 1992.
- [2] D. G. Steer, L. Strawczynski, and J. Michael Watters, “Combining GPS with TOA/TDOA of cellular signals to locate terminal,” *US Patent 5982324A*, May 1998.
- [3] F. Alizadeh-Shabdiz and K. Pahlavan, “Estimation of position using WLAN access point radio propagation characteristics in a WLAN positioning system,” *CA Patent 2651853*, May 2007.
- [4] J. del Prado Pavon and S. Choi, “Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via received signal strength measurement,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC '03)*, vol. 2, pp. 1108-1113, Anchorage, U.S.A., May 2003.
- [5] Skyhook Wireless, *Skyhook Wireless technology used in revolutionary iPhone and iPod touch*, Retrieved Jan., 16, 2008, from <http://www.skyhookwireless.com/press/skyhookapple.php>.
- [6] F. Alizadeh-Shabdiz, R. K. Jones, E. J. Morgan, and M. G. Shean, “Location beacon database and server, method of building location beacon database, and location based service using same,” *Patent WO2006110181*, Oct. 2004.
- [7] B. Li, J. Salter, A. G. Dempster, and C. Rizos,

“Indoor positioning techniques based on Wireless LAN,” in *Proc. 2006 Auswireless Conf.*, pp. 1-7, Sydney, Mar. 2007.

[8] B. Li, I. J. Quader, and A. G. Dempster, “On outdoor positioning with Wi-Fi,” *J. GPS*, vol. 7, no. 1, pp. 18-26, June 2008.

[9] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, “A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks,” *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, Mar. 2009.

[10] G. Turetzky, “Indoor positioning with SiRFusion for Next Generation E-911,” *FCC workshop*, Oct. 2012.

[11] S. Y. Cho, S. H. Shin, and C. K. Park, “MEMS Sensor based Context-aware Technology of Walking Dynamics and Integrated Navigation for Seamless Pedestrian Navigation,” *Telecommun. Review (SK telecom)*, vol. 19, no. 1, pp. 148-164, Feb. 2009.

[12] H. Wang, H. Lenz, A. Szabo, J. Bamberger, and U. D. Hanebeck, “WLAN-based pedestrian tracking using particle filters and low-cost MEMS sensors,” in *Proc. 4th Workshop Positioning Navigation Commun. (WPNC '07)*, pp. 1-7, Hannover, Germany, Mar. 2007.

[13] K. Frank, B. Krach, N. Catterall, and P. Robertson, “Development and evaluation of a combined WLAN and inertial indoor pedestrian positioning system.” in *Proc. ION GNSS*, pp. 22-25, Savannah, U.S.A., Sep. 2009.

김 재 훈 (Jae-Hoon Kim)



1996년 2월 한국과학기술원
산업경영학과 졸업
1998년 2월 한국과학기술원
테크노경영대학원 석사
2003년 8월 한국과학기술원
테크노 경영대학원
박사

2003년 2월~2005년 6월 삼성전자 네트워크 사업
부 책임연구원
2005년 7월~2008년 2월 SK텔레콤 네트워크 연구
원 매니저
2008년 3월~현재 아주대학교 산업공학과 조교수/부
교수
<관심분야> 이동통신 시스템, 측위 시스템, 근거리
통신망, 사물지능통신

강 석 연 (Suk-Yon Kang)



2003년 2월 한국과학기술원
테크노 경영대학원 박사
2003년 2월~현재 SK텔레콤
네트워크 연구원 매니저
<관심분야> 이동통신 시스템,
측위 시스템, 근거리 통신
망.