

IEEE 802.11 기반 저전력 위치 추적 장치의 설계 및 구현

손상현¹ · 김태욱² · 백윤주^{1*}

Design and implementation of low-power tracking device based on IEEE 802.11

Sanghyun Son¹ · Taewook Kim² · Yunju Baek^{1*}¹Department of Computer Engineering, Pusan National University, Busan 609-834, Korea²Young-poong Electronics, Changwon 641-847, Korea

요 약

무선 네트워크 기술과 모바일 프로세서의 성능이 향상됨에 따라 스마트 폰과 같은 무선통신이 가능한 소형 단말이 널리 활용되고 있다. 이러한 이동형 장치는 GPS를 이용하여 위치정보의 활용이 가능하여 위치정보를 기반으로 하는 서비스가 증가하고 있다. GPS는 위성신호를 수신할 수 없는 실내와 전파음영지역에서 위치 정보를 제공하지 못하며, 근거리 통신기술을 이용하는 시스템은 인프라의 구축이 필수적이다. IEEE 802.11을 기반으로 하는 추적 시스템은 널리 보급된 AP 인프라를 기반으로 위치 측정이 가능하나 표준 동작을 따를 때 심각한 전력소모의 문제가 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 기반 저전력 위치 추적 장치를 제안한다. 저전력 동작을 위해 채널 검색 및 연결유지로 인한 전력소모를 최소화하여 동작시간을 극대화 하였다. 성능평가를 위해 저전력 태그 장치를 설계 및 구현하여 전력소모를 측정하였으며, 시뮬레이션 결과 기본 방법에 비해 제안 방법의 전력소모가 46% 감소함을 확인하였다.

ABSTRACT

According to wireless network technology and mobile processors performance were improved, the small wireless mobile device such as smart phones has been widely utilized. The mobile devices can be used GPS information, thereby the services based on location information was increased. GPS was impossible to provide location information in indoor and signal shading environment, and the tracking systems based on short distance wireless communication are required infrastructure. The IEEE 802.11 based tracking system is possible estimation using APs, however the tracking device is exhausted battery power seriously. In this paper, we propose IEEE 802.11 based low-power tracking system. We reduced power consumption from channel scanning and network connection. For performance evaluation, we designed and implemented the tracking tag device, and measured power consumption of the device. As the simulation result, we confirmed that the power consumption was reduced 46% compare to the standard execution.

키워드 : 채널 스캐닝, 위치 추적 시스템, 저전력, 위치 추적 장치, 무선랜 표준**Key word** : channel scanning, locating system, low-power, tracking device, IEEE 802.11 standard

접수일자 : 2013. 10. 31 심사완료일자 : 2013. 12. 02 게재확정일자 : 2013. 12. 18

* **Corresponding Author** Yunju Baek (E-mail:yunju@pusan.ac.kr, Tel:+82-51-510-2873)

Department of Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-834, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.2.466>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

최근 무선 통신 기술과 모바일 프로세서 기술이 발전함에 따라 스마트폰과 같은 다양한 무선통신 기능이 포함된 소형 단말이 널리 활용되고 있다[1]. 이러한 이동성을 가진 장치는 위치 정보의 확보가 가능하면 장치의 활용 범위가 크게 증가한다. 기본적으로 모바일 장치의 관리가 용이해지고, 물류, 안전, 교통, 의료 등 많은 분야의 응용에서 활용 가능하다.

모바일 장치의 위치 측정을 위한 시스템은 위성을 기반으로 하는 GPS (global positioning system) 과 근거리 무선통신을 기반으로 하는 RTLS (real time locating system)[2-4]이 존재한다. GPS는 실외 환경을 커버할 수 있으며 모듈의 가격이 저렴해지면서 대중적으로 널리 사용되고 있다. 그러나 GPS의 경우 위성의 신호가 도달하지 못하는 음영지역이나 실내 환경에서는 위치 정보를 제공할 수 없는 단점이 존재한다. RTLS는 근거리 무선통신을 탑재한 장치의 위치를 무선 통신의 전달 시간이나 신호 세기 등을 활용하여 위치를 측정하는 시스템이다. GPS와는 달리 전역적인 측정은 어려우나 모바일 장치의 신호를 수신하는 리더의 설치를 통해 실내/외를 가리지 않고 적용가능하다는 장점이 있다. 그러나 리더 설치지역으로 측정범위가 제한되며 범위를 늘리기 위해 인프라를 추가로 구축해야하는 문제가 있다.

최근 높은 전송속도와 저렴한 가격을 갖는 무선랜 기술이 각광을 받으면서 무선랜 AP 인프라가 증가하는 추세에 있다. 이러한 무선랜 인프라를 이용한다면 시스템 구축으로 발생하는 비용을 최소화 하며 모바일 장치의 위치 정보의 제공이 가능하여 많은 연구가 진행되고 있다. 그 예로 스마트폰 시장의 강자로 떠오른 구글과 애플은 자사의 스마트폰에 실내 위치 측정이 가능하도록 하기 위해 무선랜 기반의 위치 측정 기술을 보유한 회사를 인수하여 연구를 진행하고 있다.

무선랜 기반의 위치 추적 시스템은 모바일 장치와 AP간의 통신을 통해 위치를 측정한다[5]. 무선랜의 표준을 따르는 모바일 장치는 위치 측정을 위해 주기적으로 주변 AP의 신호세기 및 SSID, MAC, 채널 등의 정보를 수집하는데 이는 두 가지 문제점을 가진다. 첫 번째, 모든 채널에 대한 검색을 순차적으로 수행하기 때문에 불필요한 검색으로 인한 낭비가 존재한다. 두 번째, 모바일 장치는 채널 검색 후 위치 계산 서버로 데이터 전

송을 위해 AP와의 연결을 지속적으로 유지하게 되고 연결성 확인을 위한 지속적인 데이터 통신이 발생한다. 이것은 지속적인 전력소모를 발생시키며 절전모드를 사용하기 어렵게 한다. 또한 위치 추적이 필요한 이동성이 높은 장치는 잦은 핸드오프가 발생하므로 추가적인 전력소모가 발생하는 문제가 존재한다.

본 논문에서는 앞서 제시한 두 가지 문제점을 해결하기 위해 적응적 채널 검색 기법과 저전력 동작 모델을 제안한다. 또한 저전력 동작을 위한 하드웨어를 설계 및 구현하고 실측과 시뮬레이션을 통해 성능확인을 수행하였다.

II. 관련 연구

이 장에서는 앞서 소개한 무선랜 기반의 위치 추적 시스템과 무선랜 표준인 IEEE802.11의 채널 검색 및 핸드오프 동작 구조에 대해 살펴본다.

2.1. 무선랜 기반 위치 추적 시스템

무선랜 기반 위치 추적 시스템은 무선통신기능을 통해 주변의 AP들과 통신하여 정보를 수집하고, 위치 계산을 수행하는 서버로 전송하여 위치를 추적한다. 이 동작에서 위치 추적 장치는 AP와의 통신을 통해 무선 신호의 세기나 무선 신호의 전달 시간을 수집한다.

무선신호세기 정보를 이용하는 시스템[6-7]은 구현이 간단하나 측정 정밀도가 낮은 편이며, 무선 신호의 전달 시간을 이용하는 시스템[8-9]은 측정 정밀도가 높으며, 시간 정보를 나노초 수준으로 측정할 수 있는 장치를 추가적으로 요구하기 때문에 상용 장치를 이용해서 구현하기 어렵다. 또한 무선 신호가 장애물로 인해 반사될 경우 측정 오차가 증가하므로 반사체가 많은 실내 환경에서 활용하기 어려운 문제가 있다.

무선신호세기를 기반으로 위치를 측정하기 위해 특정 지역에서 측정되는 AP의 정보를 선수집하고 측정되는 AP의 신호세기 정보를 이용하여 현재위치를 추정하는 핑거프린트 기반 위치 추적 기법을 이용한다.

상용 제품의 활용이 가능한 무선신호세기를 기반으로 하는 위치 추적 시스템의 정밀도를 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 정밀도를 향상시키기 위한 무선 신호 감쇄 모델에 관한 연구와 추적 지역에 따

른 AP정보의 선 수집 문제 및 불확정성을 해결하는 연구 등이 진행되고 있다. 저전력 동작 관련 연구로는 무선 센서 노드(zigbee) 혹은 블루투스(bluetooth)를 이용한 저전력 무선통신을 이용한 기술만 연구되고 있으며, 무선랜의 표준을 준수하는 범위에서 저전력 동작에 관한 연구가 전무한 상황이다[10-12].

본 논문에서 제안하는 위치 추적 장치는 핑거프린트 기반의 위치계산을 수행하는 위치 추적 서버에게 위치 정밀도에 적은 영향을 주며, 장치의 전력소모를 최소화하는 동작으로 AP정보를 수집하여 서버에게 전달 할 수 있도록 설계하였다.

2.2. IEEE 802.11 의 채널 검색 및 핸드오프

무선랜 장치는 AP와 연결하기 위해 채널 검색으로 주변의 AP 정보를 수집한다. IEEE 802.11 표준[13]은 능동 검색과 수동 검색의 2가지 검색기능을 제공한다.

능동 검색은 장치가 채널 검색을 위해서 AP들에게 검색 요청 메시지를 보내고 일정시간 동안 AP로부터 탐색 프레임을 기다리는 방식(20ms)으로 AP를 검색한다. 이 방법은 수동 검색에 비해 빠르며 각각의 채널을 원하는 대로 검색할 수 있다. 수동 검색은 AP가 일정 주기(100ms)로 전송하는 비컨 프레임을 수신하여 해당 채널에서의 AP 정보를 수집한다. 전체 채널을 검색할 때 5배 이상의 시간과 에너지가 소모된다.

핸드오프는 장치가 연결된 AP에서 새로운 AP로 재연결을 수행하는 과정으로 장치의 이동이나 신호의 단절로 인해 발생한다. 이 과정에서 IEEE 802.11은 AP간의 이동성을 고려하지 않으므로 기존과의 연결을 완전히 끊은 후 새로운 AP 검색, 인증 후에 연결하는 하드 핸드오프 방식을 사용하고 있다. 위치 추적이 필요한 잦은 이동성을 갖는 장치의 경우 과도한 핸드오프로 많은 에너지 소모와 지연시간이 발생한다.

본 논문에서는 이러한 채널 검색과 핸드오프에서 발생하는 전력소비를 최소화하는 동작 모델을 설계 및 구현하여 위치 추적을 위한 장치에 적용하였다.

III. 저전력 위치 추적 장치

이 장에서는 저전력 동작이 가능한 위치 추적 시스템 장치를 설계하고 구현한다. 또한 동작으로 인한 전류소

모를 줄이기 위한 채널 검색 기법과 핸드오프 기법을 적용한 동작 모델을 설계하고 구현한다.

3.1. 장치 하드웨어 설계

저전력 동작을 위해 무선통신에서 발생하는 전력소모가 적은 IEEE802.11모듈을 적용하고 실외 위치 측정이 가능하도록 GPS 모듈과 전원 공급을 위한 전원 및 충전부를 포함한 하드웨어를 설계하도록 한다.

현재 시장에 판매중인 저전력 모듈은 Wiznet, RivinGNetwork, Broadcom 등 여러 회사에서 출시되고 있다. 그러나 이러한 제품은 모듈 외에 추가적인 마이크로 컨트롤러가 필요하다. Gainspan의 모듈은 임베디드 응용에서의 사용을 목적으로 제작되어 마이크로 컨트롤러의 기능과 무선랜 기능을 담당하는 코어가 따로 존재하여 두 가지 기능을 모두 수행할 수 있도록 구축되어 추가적인 컨트롤러 없이 사용이 가능하다. 또한 여러 가지 절전모드 동작을 지원하여 효율적인 전력관리가 가능하다. 본 논문에서는 제안하는 위치 추적 장치에 GS1011MIE[14] 무선랜 모듈을 적용하였다.

위치 추적 장치의 동작을 위해 마이크로 컨트롤러를 탑재한 무선랜 모듈과 실외 측정을 위한 GPS 모듈, 전원공급을 위한 배터리, 충전회로를 포함한 전원부를 제작하였다. 전원부의 구성은 리튬폴리머 전지와 충전회로, DC/DC 컨버터로 이루어진다. 리튬폴리머 전지의 충전을 위해 충전 회로와, 모듈의 동작전압과 전지의 출력전압을 맞추기 위한 DC/DC 컨버터를 적용하여 물리적 동작이 가능하도록 구성하였다.

표 1. 무선 통신 모듈의 절전모드 동작상태
Table. 1 Low-power mode state of wireless module

동작상태	무선 모듈 상태	전류소모량
동작모드 (Active)	모든 프로세서 및 클럭 활성화	38.7mA
절전모드1 (Sleep)	APP프로세서 정지	7.2mA
절전모드2 (Deep sleep)	APP 및 무선랜 프로세서 정지 Full speed 클럭정지	110uA
절전모드3 (Standby)	RTC만 동작 (모든 모듈 정지) 모든동작 초기화(RAM 초기화)	4.7uA

3.2. 적응적 채널 검색기법 설계

핑거프린트 기반 위치 추적 시스템에서 자신의 위치

를 계산하기 위해 주변 AP의 신호세기 정보를 수집해야하고 주변 AP 정보 수집을 위해 채널 스캔을 수행한다. 그러나 국내서 사용할 수 있는 2.4GHz 대역의 13개 채널 중에 AP가 사용하고 있는 채널의 수는 일부에 불과하므로 비어있는 채널을 검색하는 것은 불필요한 전력소모를 발생시키고 오랜 측정 대기 시간으로 위치 측정 주기를 감소시키므로 본 논문에서는 AP가 존재할 가능성이 높은 채널을 선택 검색하여 검색 횟수를 최소화하는 기법을 제안한다.

위치 추적 장치는 위치 측정을 위해서 매초마다 정보 수집을 하고 제안하는 위치 추적 시스템에게 AP 정보를 전달한다. 수집한 정보를 이용하여 AP가 존재할 확률이 높은 채널을 선택하기 위해서 AP 목록을 관리할 필요가 있다. AP 목록표는 위치 측정을 위해 필요한 AP의 신호세기, SSID, MAC 주소와 채널 선택을 위해 필요한 채널 정보, Age 그리고 연결 순위 등으로 구성된다. 그림 1은 AP 목록표의 예시를 나타낸다.

순번	SSID	MAC 주소	채널	RSSI값	Age
2	AP 1	00:24:65:a5:f3:ff	13	-40dBm	10
1	AP 2	00:1d:73:66:7c:7a	9	-36dBm	10
4	AP 3	00:26:66:ac:00:af	1	-67dBm	7
3	AP 4	00:26:66:ac:00:ed	1	-44dBm	6

그림 1. AP 목록표 예시
Fig. 1 Example of the AP list table

신호세기는 위치 측정을 하기 위한 주요 요소로 신호세기 정보가 많을수록 더욱 정밀한 측위가 가능하다. 하지만 AP 정보를 많이 얻기 위해서는 채널 탐색 횟수가 증가하고 이에 따라 전력소모도 증가한다. 반대로 일정 개수 이하의 정보를 수집한다면 정밀도가 낮아지게 되는 트레이드오프가 발생한다. 따라서 응용이 요구하는 정밀도에 따라 필요한 수만큼 AP 정보를 수집하여 위치 추적을 하면 전력 소모를 최소화 할 수 있다. 제안하는 기법은 원하는 수만큼 AP를 찾으면 채널 검색을 중단하여 불필요한 채널 검색 횟수를 최소화 하도록 설계하였다. AP 목록표에서 채널 정보는 AP들이 존재하는 채널을 나타내고 이 정보는 채널을 선택하기 위한 기본적인 정보가 된다. 또한 시간에 따라 age 값을 줄이는 aging 기법을 이용하여 각 채널에서 AP의 존재여부를 age 값을 이용한 가중치로 나타내도록 한다. AP 목

록표가 작성된 이후 aging 기법을 이용하여 각 채널에 대한 가중치를 계산한다. 즉, AP 목록표에서 갱신되고 있는 age 값에 비례해서 가중치를 높이는 것으로 채널 가중치는 수식 (1)과 같이 부여한다. 수식 (1)은 각 채널 당 존재하는 AP의 age값을 전부 더하여 가중치를 만들어내는 수식이다.

$$Weight_{channel} = \sum_{n=1}^{APs} Age_n + W_{basic} \quad (1)$$

채널 검색 단계에서 AP 검색을 실패했거나 검색되었지만 일정한 시간동안 검색을 실패하여 삭제된 AP로 인해 가중치가 0이 되는 채널이 생긴다. 또한 중소규모 이상의 네트워크 환경에서 무선 네트워크의 관리를 담당하는 Wireless LAN Controller와 같은 장비들로 인해 채널이 혼잡하면 채널 간섭이 적은 다른 채널로 설정이 변경될 수가 있다. 이때 AP가 변경된 채널의 가중치가 없다면 해당 채널은 일정 시간 동안 선택받을 가능성이 낮아 AP 검색이 되지 않는 문제가 생길 것이다. 따라서 모든 채널에 기본적으로 일정한 가중치 (W_{basic})를 부여하며 채널 가중치는 채널 검색 동작마다 갱신한다. 이후 채널의 가중치를 적용하여 선택될 확률 값을 받고, 난수 동작을 통해 채널을 선택한다. 그리고 응용에 따라 설정된 수집할 AP 정보 개수에 도달할 때까지 선택을 반복한다.

- 표준 핸드오프 동작시 전류소모 모델	
$WiFi_Cycle_t = IDLE_t + Scan_t + TX_t \times Data_t + beacon_t$	
$Total_t = WiFi_Cycle_t \times 동작횟수 + Handoff \times N$	
- 저전력 동작시 전류소모 모델	
$WiFi_Cycle_t = IDLE_t + Scan_t + TX_t \times Data_t + Assoc_t$	
$Total_t = WiFi_Cycle_t \times 동작횟수$	
$Total_t$: 시간 동안 소비 전류	$Scan_t$: 1 사이클 당 채널 검색 소비 전류
$IDLE_t$: Wifi 모듈 IDLE 상태에서 소비 전류	$beacon_t$: 1 사이클 당 비컨 수신 소비 전류
TX_t : Wifi 모듈 송신 상태에서 소비 전류	$Assoc_t$: 1 사이클 당 연결 소비전류
$Data_t$: 수집 데이터 전송 시간	$Handoff$: 핸드오프 발생 시 소비 전류

그림 2. 표준 동작 및 저전력 동작의 소모전류 모델
Fig. 2 Current consumption models of standard execution and low-power execution

3.3. 저전력 동작 모델 설계

저전력 위치 추적 태그의 동작은 채널 검색과 데이터 전송의 두 단계로 이루어져 있고 데이터 전송 단계에서

AP 연결과정이 발생한다. 표준에서는 AP 연결에 성공하면 태그는 연결성 확인을 위해서 주기적으로 AP 비컨에 대한 응답을 한다. 이후 태그가 AP의 통신범위 밖으로 이동하거나 장애물에 의해 통신 단절이 되면 핸드오프가 발생한다. 이것은 전력소모를 유발하는 다른 요인이 되며 데이터 전송이 일어나지 않는 상태에서 많은 전력소모를 발생시킨다. 이 절에서는 소모전류 모델을 통해 각 동작을 비교하고 AP와 주기적인 연결 및 해제로 핸드오프 회피 및 비컨 수신을 줄여, sleep 모드로 전력소모를 최소화하는 방법을 제안한다.

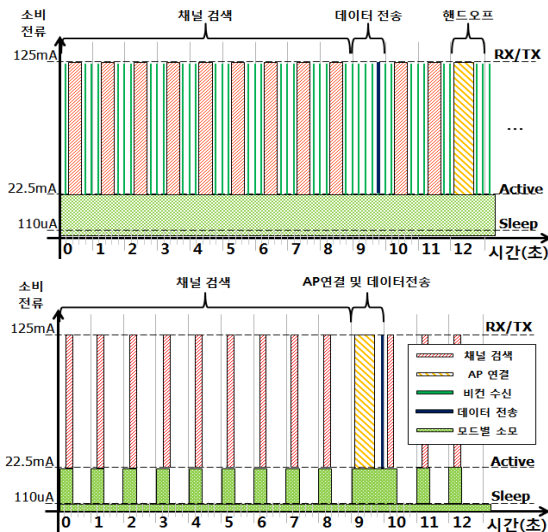


그림 3. 표준 동작 및 저전력 동작 모델 예시 (10초)
Fig. 3 Example of the standard and the low-power execution models (10sec)

그림 2의 표준 핸드오프 동작과 저전력 동작의 소모전류 모델에서 표 3의 전류소모량을 대입하여 10초 동안의 WiFi_Cycle에서의 소모전류를 계산하여 비교하면 비컨 수신이 연결동작 보다 약 20mA 정도 많은 전류를 소모한다. 또한, 전체 동작에서도 핸드오프에 의해서 추가적인 전류소모가 발생하는 것을 그림 3을 통해 알 수 있다. 따라서 연결성 확인을 위해 비컨에 대한 응답을 하는 것에 비해 데이터 전송이 필요한 경우만 연결하고 그 외의 시간에는 연결해제 상태로 동작하는 것이 불필요한 핸드오프를 회피하므로 효율적이다.

전체 동작에서 태그가 데이터를 전송하고 채널을 검색하는 동작은 일부분이고 대부분의 시간은 active 상

태로 있게 된다. 하지만 송수신 시 전력소비가 높더라도 표준 채널 검색을 위해 사용되는 시간은 약 500ms 정도이고 적응적 검색은 더 적은 시간을 소요하기 때문에 active 상태와 전류소모를 비교 할 때 그림3 과 같이 전류소모는 전체 채널 검색 동작보다 active 상태가 더 많은 전류소모를 발생시키는 것을 알 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 채널 검색 및 데이터 전송시간 외에는 절전 상태로 있는 저전력 동작 모드를 제안한다.

IV. 시스템 구현 및 성능 평가

본 장에서는 3장에서 설계한 저전력 위치 추적 시스템을 구현하고 성능을 평가하도록 한다. 시스템의 성능 평가를 위해 구현된 하드웨어 및 실험환경을 설명하고 실험결과를 제시한다.



그림 4. 위치 추적용 프로토타입 장치 하드웨어
Fig. 4 Location tracking device prototype hardware

4.1. 위치 추적 장치 하드웨어 구현

그림 4는 앞서 설계하고 제작한 저전력 위치 추적 장치를 나타내고 하드웨어 장치에는 앞 장에서 제안한 적응적 채널 검색 기법과 저전력 동작 모델을 적용한 펌웨어를 구현 및 적용 하였다. 또한 성능평가를 위해 상용 AP인 ipTIME의 N104A[15]를 사용하였으며 각 장치의 상세 사양은 표 2와 같다.

표 2. 실험 하드웨어 자원

Table. 2 Experiment hardware specification

항목	위치 추적 장치	ipTIME N104A
무선랜 모듈	GS1011MIE	Broadcom AirForce
중심주파수	2.4GHz	2.4GHz
Wireless interface	802.11 b/g	802.11 b/g/n
안테나	무지향성, 5dBi	무지향성, 5dBi
송신 파워	8dBm	16dBm ±2dBm
크기	75 x 79 x 24 mm ³	116 x 132 x 24 mm ³

4.2. 위치 추적 장치 하드웨어의 전력소모 측정

제작한 장치의 전력소모를 계산하기 위해서는 각 동작별 실제 소모전류와 동작 소요시간을 측정해야 한다. 따라서 각 동작별 실제 전류소비량과 소요시간 측정을 위해 오실로스코프를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 연결 후 비컨 수신과 핸드오프에 발생하는 전류 소모량에 대한 오실로스코프 측정 화면이다.

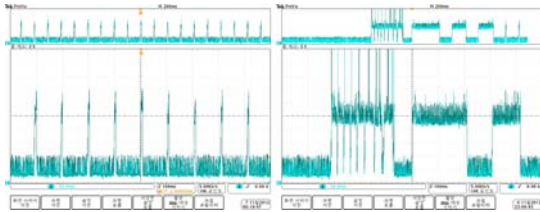


그림 5. 오실로스코프 측정화면 (좌: 비컨수신, 우: 핸드오프)
Fig. 5 Oscilloscope measurement screen (left: beacon, right: handoff)

Active 모드나 deep sleep 모드일 경우 일정 소요시간이 소모되는 것이 아닌 모드에 따르는 소요시간이기 때문에 소요시간을 제외하였다. 소요시간은 동작이 수행될 때 전류소모가 발생하는 총시간을 나타낸 것이다. AP 연결 성공 동작은 해당 AP의 SSID와 채널을 지정해서 추가의 채널 검색이 이루어지지 않는 상태이다. 표 3은 측정된 소요시간을 바탕으로 동작이 한번 실행할 때의 소모전류를 계산하여 나타내었다.

표 3. 동작별 소요시간 및 소모전류
Table. 3 Operation time and current consumption

동작	1회당 소요시간	초당 소모전류	1회당 소모전류
Active 모드	-	38.7mA/s	-
Deep Sleep 모드	-	0.11mA/s	-
전체채널검색(13개)	279.47ms	125mA/s	34.93mA/회
지정채널검색(1개)	21.51ms	125mA/s	2.68mA/회
AP 연결성공	439.29ms	110mA/s	48.32mA/회
AP 연결실패	23.02ms	115mA/s	2.64mA/회
데이터 전송	9.61ms	125mA/s	1.20mA/회
비컨 수신	5.45ms	125mA/s	0.68mA/회

4.3. 적응적 채널 선택 기법의 성능평가

적응적 채널 선택 기법의 성능평가를 위해서 실험을 수행하였다. 먼저 기법의 성능평가를 위해 실제 측정을 통해 채널 검색 횟수 감소율을 확인하였다. 그리고 두

번째로 기법의 전류소모를 비교하기 위해 배터리를 이용하여 동작에 따르는 태그의 동작시간을 예측하고 실제 동작시간을 비교를 하였다.

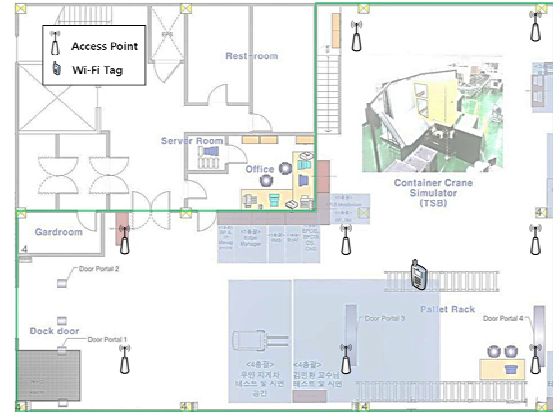


그림 6. 테스트센터 내 AP 배치도
Fig. 6 AP positions in the test center

성능평가를 위해 부산대학교 내 과학기술연구동 1층 테스트센터에 설치하여 실험을 수행하였다. 그림 6과 같이 28m x 20m 공간에 ‘ㄱ’ 형태의 실내에서 총 8개의 AP를 설치 한 뒤 실험하였다. 각 AP의 채널은 일반적인 채널로 설정하였고 나머지 설정은 AP의 기본설정을 이용하였다. 위치 추적 장치는 370mAh의 용량의 리튬폴리머 전지로부터 전원공급을 받도록 구성하였다.

표 4. 채널 검색 횟수 및 채널 검색 감소율
Table. 4 Count and reduction of channel scanning

AP 검색 수량	채널 선택 횟수			감소율		
	전체 검색	랜덤 검색	적응적 검색	전체 검색	랜덤 검색	적응적 검색
3개	1300	647	312	0%	50.2%	76.0%
4개	1300	819	370	0%	37.0%	71.5%
5개	1300	947	453	0%	27.2%	65.2%
6개	1300	1031	683	0%	20.7%	47.5%
7개	1300	1174	822	0%	9.7%	36.8%
8개	1300	1271	983	0%	2.2%	24.4%

실험을 위해 태그에 제안 기법을 적용한 후 같은 장소에서 매회 모든 채널을 검색하는 전체채널 검색, 13개의 채널을 무작위로 검색하는 랜덤채널 검색 그리고 제안하는 기법인 적응적 채널 선택 검색 총 3가지 기법을 적용하여 최소 3개부터 8개의 AP를 찾을 때까지 동

작하는 시나리오를 적용하여 100번씩 실험하였다.

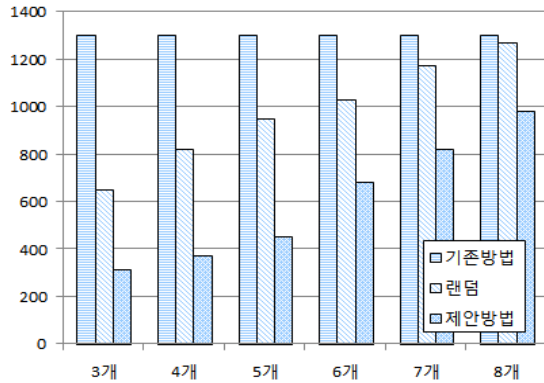


그림 7. 채널 검색 횟수 비교
Fig. 7 Compare to count of channel scanning

실험을 수행한 결과, 그림 7, 표 4에서 확인 할 수 있듯이 가중치를 부여하지 않고 랜덤하게 선택 시 채널 정보가 반영이 되지 않기 때문에 전체 채널 검색보다는 채널 검색 횟수가 줄어들지만 제안한 기법보다 더 많은 채널을 검색함을 알 수가 있었다. 그리고 최소 AP를 3개만 검색한 경우 채널 검색 감소율이 76%로 가장 높고 8개 AP를 찾을 경우 24.4% 감소율이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 하지만 앞서 소개한 것처럼 위치 추적이 필요한 응용에서 요구하는 정밀도에 따라 적절한 개수의 AP 정보 수집이 필요하다. 평균적으로 3개 AP 정보만으로는 핑거프린트 방법에서 위치 측정 결과가 부정확하기 때문에 이후 본 논문에서는 최소 5개의 AP 정보를 수집하는 경우를 기준으로 성능평가 하였다.

각 기법의 성능을 평가하기 위해 해당 동작을 하는 태그의 소모전류를 계산하고 370mAh 용량을 가지는 리튬폴리머 배터리를 사용하여 계산을 바탕으로 동작시간을 예측하고 실제 동작시간을 측정하여 비교한다.

$$WiFi_Cycle = WiFi_Scan \times N + WiFi_active \quad (2)$$

소모전류 계산식은 수식 (2)와 같으며 1회당 평균 채널 검색 횟수와 1개 채널 검색 시 소모전류, 그리고 active 모드의 소모전류를 합을 구한다. 그리고 계산한 소모전류 수치에 배터리용량에 따라 시간을 구하면 동작시간을 예측할 수 있다. 수식 (2)에서 계산한 값은 초당 소모전류이며 리튬폴리머 전지에 나타난 용량인 mAh

도 초당 소모전류를 1시간 동안 동작할 수 있는 수치를 나타내는 것이므로 전지의 용량에 소모전류를 나누게 되면 예측 동작시간을 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 예측하는 동작시간은 표 5와 같다. 실험 전 예측한 동작시간과 실험에서 확인한 장치의 동작시간이 유사함을 확인하였다.

표 5. 예측 소모전류에 따른 예측 동작시간 및 실험 동작 시간
Table. 5 Predicted operating time based on current consumption and the actual operating time

최소검색	평균 검색횟수	예측 소모전류	예측 시간	실험 시간
3개	3.12회	40.83mA	9h 04m	9h 12m
4개	3.70회	42.39mA	8h 44m	8h 51m
5개	4.53회	44.61mA	8h 18m	8h 20m
6개	6.83회	50.77mA	7h 17m	7h 10m
7개	8.22회	54.50mA	6h 47m	6h 44m
8개	9.83회	58.81mA	6h 17m	6h 07m
전체채널	13회	67.31mA	5h 30m	5h 29m

4.4. 저전력 동작 모델의 성능평가

저전력 동작 모드의 성능평가를 위해서 시뮬레이터를 구현하고 환경을 구축하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이터는 C 언어 기반으로 구현하였으며 시간에 따라 IEEE 802.11 표준을 따르는 무선랜 장치의 동작과 본 논문에서 제안하는 장치의 동작을 평가 하였다. 표 6은 시뮬레이션의 결과를 나타내고 있다.

표 6. 시뮬레이션 결과
Table. 6 Simulation results

구분	표준 무선랜 장치	제안 장치
동작시간	6시간(21600초)	
채널 검색 횟수	280280회	163550회
핸드오프 횟수	39회	-
비컨 수신 횟수	148820회	-
연결 횟수	-	2006회
전송 데이터 양	280.3kbyte	163.5kbyte
IDLE 시간	4095초	13232초
IDLE 시간	18.96%	61.26%
총 전류소모량	1826.475 A	971.901 A
초당 전류소모량	84.55 mA/s	45 mA/s
초당 전력소모량	279.015 mW/s	148.5 mW/s

시뮬레이션 환경은 280m×210m의 공간에 AP를 20개로 설정하였고 간격은 70m로 격자 형태로 배치하였다. 장치의 통신 범위는 일반적인 무선랜 장비의 범위

인 100미터로 설정하였다. 추적 장치를 지닌 이동체가 무작위로 방향을 바꾸며 전체영역을 사람의 걸음 속도 (70cm/s)로 이동하는 상황에서 1초에 1회 위치정보 업데이트를 가정하여 설정하였고 배터리 용량은 370mAh으로, 전체 동작시간을 6시간으로 설정하였다.

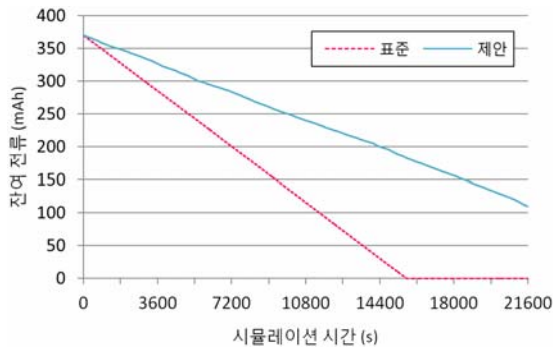


그림 8. 시뮬레이션에서 각 방법의 소비 전력 비교

Fig. 8 Compare to current consumption of each method in the simulation

시뮬레이션 실험 결과를 살펴보면 표준을 따르는 무선랜 장치는 매초 13개의 채널 모두를 검색하는데 비해 제안한 위치 추적 장치는 시간이 갈수록 채널 검색 횟수가 41% 줄어 전류 소모를 최소화 하였다. 또한 데이터를 전송할 경우에만 연결하여 통신하는 제안한 위치 추적 장치는 핸드오프를 하지 않고 연결만 수행하여, 비컨 수신과 연결을 함께하는 표준 기법에 비해 전류 소모를 최소화 하였다. 그림 8에서 표준 기법으로 동작하는 장치에 비해 제안하는 기법을 적용한 장치의 전류소모가 더 적으며, 표준 기법의 경우 약 4시간 20분에 전체 전류를 소모하였으나 제안 기법의 경우 시뮬레이션이 끝난 후에도 25% 수준의 잔여 전류가 남아있다. 전체 결과를 살펴보면 제안한 위치 추적 장치의 전류 소모가 표준 장치에 비해 46% 줄어든 것을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 저전력 위치 추적 장치를 설계 및 구현하고 동작 소모전류를 최소화하기 위해 적응적 채널 검색 기법과 저전력 동작 모델을 제안함으로써 IEEE 802.11 기반 저전력 위치 추적 장치를 구현하였다.

제안하는 적응적 채널 검색 기법은 IEEE 802.11 표준 채널 검색을 이용하여 위치 추적 시 발생하는 전력적인 문제점을 해결하기 위해 다음과 같이 설계하였다. 전체 채널을 모두 검색하는 비효율적인 동작을 개선하기 위해 이전에 검색되었던 정보를 활용하여 각 채널에 가중치를 부여하고 채널 검색 시 AP가 존재 할 확률이 높은 채널을 선택하여 검색 횟수를 줄였다. 또한 저전력 동작 모델은 AP와 연결 후 연결성 확인과 장치의 이동성에 의해 발생하는 핸드오프 문제를 해결하기 위해서 주기적인 연결 및 해제와 절전모드를 이용하여 전력 소모를 최소화 할 수 있는 동작 모델을 제안하였다.

제안한 적응적 채널 선택 기법과 저전력 동작 모델의 전력소모 측면에서 개선 효과를 평가하였다. 그 결과 적응적 채널 검색 기법의 경우 IEEE 802.11 표준 채널 검색과 비교했을 때, 시간이 흐름에 따라 점점 더 크게 채널 검색 횟수를 줄일 수 있음을 보였다. 그리고 전력 소모도 저전력 동작 모델의 경우 기존 동작 모델에 비해 약 46%의 전력소모 감소를 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비 (2년)에 의하여 연구되었음

REFERENCES

- [1] G. Y. Kim, I. H. Park, Y. R. Im, A. R. Hong, J. Y. Kim, Y. A. Shin, "Recent Trends in location-based services," *Information and Communication: Journal of Korea Information and Communications*, Vol 28, No. 7, 2011.
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *Proceedings of IEEE Infocom 2000 Conference on Computer and Communication*, Vol.2, pp.775-784, Mar 2000.
- [3] R. J. Fontana and S. J. Gunderson, "Ultra-wideband precision asset location system," *Proceeding of IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp.147-150, 2002.

- [4] J. Hallberg, M. Nilsson, and K. Synnes, "Bluetooth Positioning," *Proceeding of The Third Annual Symposium on Computer Science and Electrical Engineering*, pp.27-28, 2003.
- [5] J. Y. Paek, et al. "Energy-efficient positioning for smartphones using cell-id sequence matching." *Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2011.
- [6] C. B. Lim, S. H. Kang, H. H. Cho, S. W. Park, and J. G. Park, "An Enhanced Indoor Localization Algorithm Based on IEEE 802.11 WLAN Using RSSI and Multiple Parameters," *Proceeding of 2010 Fifth International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC)*, pp.238-242, 2010.
- [7] J. Krumm and E. Horvitz, "LOCADIO: Inferring Motion and Location from Wi-Fi Signal Strengths," *Proceeding of The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems(MOBILQUITOUS 2004)*, pp.4-13, Aug. 2004.
- [8] N. Alessandro, D. Nepi, and A. M. Vegni. "DOA and TOA based localization services protocol in IEEE 802.11 networks." *Wireless personal communications* (2010): 155-168.
- [9] C. Hoene and J. Willmann, "Four-way TOA and Software-Based Trilateration of IEEE 802.11 Devices," *Proceeding of IEEE 19th International Symposium on Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1-6, 2008.
- [10] Liu, Hui, et al. "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems." *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, IEEE Transactions on Vol37, No. 6, pp.1067-1080. 2007.
- [11] Gu, Yanying, Anthony Lo, and Ignas Niemegeers. "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks." *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE Vol. 11, No. 1, pp.13-32. 2009.
- [12] Chen, Ping, et al. "Survey of WLAN Fingerprinting Positioning System." *Applied Mechanics and Materials* 380, pp.2499-2505. 2013.
- [13] IEEE Std. 802.11, IEEE standard for a Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, IEEE, 2007.
- [14] GainSpan, "DS003 - GS1011MIP/MIE/MEP/MEE Module Datasheet," <http://www.gainspan.com>, 2012.
- [15] ipTIME : <http://www.iptime.co.kr>



손상현(Sanghyun Son)

2007년 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
 2009년 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2009년 ~ 현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 ※관심분야 : 센서 네트워크, 임베디드시스템, indoor/outdoor RTLS, Wi-Fi p2p, VANET, ADAS



김태욱(Taewook Kim)

2011년 : 동의대학교 정보통신공학과 공학학사
 2013년 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2014년 ~ 현재 : 영풍전자, 주임
 ※관심분야 : 무선통신, 위치추적시스템, 임베디드시스템, 센서 네트워크



백윤주(Yunju Baek)

1997년 : 한국과학기술원 전산학과 공학박사
 1999년 ~ 2002년 : NHN기술연구소 소장
 2003년 ~ 현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 정교수
 ※관심분야 : RFID, 센서 네트워크, 임베디드시스템, 시각동기, RTLS, 스마트 블랙박스, Wi-Fi p2p, VANET, ADAS, 자동 운전 시스템