
능동태그 기반 위치인식 시스템의 성능 분석

소선섭* · 은성배** · 김진천***

Performance Analysis of Location-Aware System based on Active Tags

Sun-Sup So* · Seong-Bac Eun** · Jin-Chun Kim***

요 약

위치 인식 기능은 U-city를 구성하는 핵심 요소로서 U-city 기반 아파트 단지 등에서 상용화를 목적으로 활발히 연구, 개발되고 있다. 능동태그를 부착한 거주자나 자동차가 단지 내를 이동할 때 태그는 주기적으로 자신의 식별자를 방송하고 이를 받은 수신기들은 RSSI를 이용하여 태그의 위치를 계산한다. 문제는 수천세대 규모의 아파트 단지의 경우 동시 사용되는 태그수가 수 만개에 이르며 배터리 교체 없이 1년 이상 사용될 수 있어야 하므로 저전력 소모가 매우 중요하다는 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 고려한 U-city의 1) 위치인식 시스템의 구성을 제안하고, 2) 능동 태그 방식으로 구현할 때 기술적 이슈를 제시하며, 3) 특히, 수만개의 태그들이 동작할 때의 성능을 수학적으로 모델링하고 실제 실험을 통해 비교 분석하였다. 이를 통하여 능동태그 시스템에서 발생하는 충돌확률의 이론적 최저값을 구하고 현장 적용 시 적정 수준의 태그의 갯수를 제시하였다. 연구결과는 실제 U-city 위치인식 시스템의 상세 설계에 활용될 수 있다.

ABSTRACT

Location awareness is one of the key functionalities to build an U-city. Recently, many of works of the location-aware systems are emerging to commercially apply to on-going large-scale apartment complex based on U-city. As dwellers or cars being attached with active tags are moving in the U-city complex, the active tags periodically broadcast their own identifiers and receivers fixed along the street or in building use those information to calculate location of them. There are several issues to be considered for such an environment. The first is that the number of active tags operating in the same region are large as much as tens of thousands, and the second is that the active tags should be alive without change of batteries more than a year, hence low power consumption is very important. In this paper we propose i) a new architecture for location-aware system considering such issues, ii) technical issues to implement it using active tags, and iii) a mathematical analytic model to investigate overall performance and verify it by comparing with actual experimental results. Through the analysis we can show the theoretical boundary of the lowest packet-loss rate and the maximum number of tags with acceptable performance for the systems based on active tags. The results can be applied to practical design of location-based systems of U-City projects.

키워드

IEEE 802.15.4, 위치인식, 능동태그, RSSI, Birthday Paradox

* 공주대학교 컴퓨터공학부
** 한남대학교 정보통신공학과
*** 경성대학교 컴퓨터공학과

I. 서론

세계 여러 나라에서 추진하고 있는 U-city 구상이 대규모 주거단지 등의 형태로 현실화되면서 단지내 거주자 및 사물의 위치인식이 핵심 응용으로 부각되고 있다. 예를 들어, 아파트 단지에서 능동 태그를 이용하여 거주자나 자동차의 현재 위치를 파악하여 각 가정이나 주차장내 키오스크에 알려주는 시스템이 이미 상용화 단계에 있다. 수천세대의 아파트 단지라면 사방 수 백 미터 내외의 공간에 수 만개의 능동태그가 동시에 사용된다.

위치인식은 무선통신의 등장과 함께 주목을 받기 시작하여 다양한 분야에서 많은 연구들이 수행되었다. 실외에서는 이동통신망에서 GPS(Global Positioning System)를 이용한 이동전화 위치인식체계가 오래전부터 사용되고 있다[1][2]. 로봇분야에서는 다양한 장치를 활용하여 수 밀리미터 수준의 정밀도를 보여주고 있다[3]. RSSI(Received Signal Strength Indication) 기반의 위치인식 기법도 별도의 장치없이 RF의 세기만으로 위치를 인식할 수 있어 많이 연구되고 있다[4][5][6]. RF 시그널과 초음파를 동시에 전송할 때 발생하는 시간차를 이용하여 거리를 측정하고 이를 바탕으로 위치를 인식하는 기법들도 연구되었다[7].

U-city 실현을 위해 아파트 단지 내에서 사람이나 자동차의 위치를 인식하기 위해서는 첫째, 지하주차장과 같이 실내 환경에서 사용할 수 있어야 하고, 둘째, 사람이 착용하는 태그의 경우 가볍고 단순해야 하며, 셋째, 요구되는 정확도는 수 미터 수준으로 배터리 교체없이 1년 이상 사용할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 요구 조건을 만족하는 기법으로 RSSI 기반 위치인식 방법을 선택하였다. RSSI 기반 위치인식 기법은 RF만을 사용하므로 구조가 단순하고 전력소모가 작으며 오차범위도 적절하다.

본 논문에서는 U-city 아파트 단지에서 사람과 자동차의 실시간 위치 인식을 위한 능동 태그의 식별자 전송기법을 제시한다. 또한, 태그의 통신 특성을 바탕으로 태그가 방송하는 패킷들의 충돌 정도를 예측하기 위한 수학적 모델을 제시하고, 소규모의 실제 실험을 통해 수학적 모델의 결과를 비교 검증하였다. 분석을 통해 나타난 충돌확률에 따라 주어진 공간에서 실제 적용 가능한 태그수의 이론적 한계를 도출하였다.

II. 관련 연구

2.1 위치 인식 기법

위치인식 문제는 많은 영역에서 매우 기본적인 문제의 하나이다. 실외에서는 인공위성을 이용한 GPS 방식의 위치인식체계가 오래전부터 연구되어 사용되고 있으며 이동통신망에서도 이동전화 단말과 주변 기지국 간의 신호 전달 시간차를 이용한 위치인식 기술이 널리 사용되고 있다.

실내에서는 상대적으로 높은 정밀도를 요구하는 응용들이 많은데, 로봇 영역에서는 자율주행을 위한 위치인식 연구가 활발하며 초음파나 레이저 및 적외선을 이용하여 수십 센티미터에서 수 밀리미터 수준의 정밀도를 나타내고 있다[8].

RSSI 기반의 위치인식 기법도 별도의 장치 추가없이 RF의 세기만으로 위치를 인식할 수 있어 많이 연구되고 있다. RADAR[4] 시스템의 경우 알려진 위치의 비컨 노드의 전파 세기를 기반으로 자신의 위치를 측정하는 시스템으로써 수 미터 정도의 오차 범위를 갖는다. 비컨 노드를 갖지 않는 형태도 많이 연구되었는데 대부분이 이동체가 신호를 발신하고 고정된 수신 장치가 이의 세기를 측정하여 위치를 정하는 체계를 사용한다[5][9][10][11][12]. 각각의 차이점은 신호 세기를 바탕으로 위치를 계산하는 방식들이 서로 다르다는 점이다. Elnahrawy는 RSSI 기반의 위치인식 체계가 근본적으로 오차의 한계를 갖는다는 실험결과를 제시하기도 하였다[6].

RF 시그널과 초음파를 동시에 송수신할 때의 시간차를 이용하여 거리를 측정하고 이를 바탕으로 위치를 계산하는 기법도 연구되었다. Cricket 시스템에서는 짧은 거리의 초음파 송수신기를 이용하여 10cm 정도의 정밀도를 실현하였다[7].

광범위한 영역에 적용되는 센서네트워크에서 노드들간의 관계를 바탕으로 위치를 인식하는 기법들도 연구되었다. Bulusu[10] 등은 Centroid라는 위치인식 기법을 제안하였는데 위치가 알려진 다수의 비컨 노드로부터 신호를 수신하고 그 노드들의 중간을 자신의 위치로 인식하는 기법이다.

넓은 범위에서 수 미터 수준의 정밀도를 갖으며 장치도 단순한 기법으로써 Spotlight[13]를 들 수 있다. 조도 센서를 부착한 노드들에 spotlight를 조사하여 조도값이

임계값을 넘으면 자신의 식별자를 발신하게 한다. 이때, spotlight의 위치를 알 수 있으므로 그 노드의 위치도 파악할 수 있다.

2.2 IEEE 802.15.4 성능 분석

IEEE 802.15.4 표준은 저속, 저전력 WSN (Wireless Sensor Network)의 요구에 부합하고 환경 감시, 환자 모니터링, 홈오토메이션 등 다양한 응용에 적용되면서 WPAN (Wireless Personal Areal Network)을 위한 대표적인 프로토콜로 자리매김하고 있다[14][15]. IEEE 802.15.4에 대한 많은 관심과 연구에도 불구하고 프로토콜에 대한 정량적 성능 분석을 위한 수학적 모델링에 관한 연구는 매우 미미하다. 최근까지 이루어진 성능분석에 대한 연구는 대부분 시뮬레이션에 기반하고 있다. Zheng과 Lee는 ns-2 기반의 시뮬레이터를 만들고 시뮬레이션을 통해 충돌 비율, 전송 지연에 따른 성능 저하 등을 분석하였다[16][17]. IEEE 802.15.4에 대한 수학적 모델링은 Lu의 2004년도 논문[18]에서 부분적으로 시도되었다. Bougard[19]는 기존 CSMA 백오프 모델을 응용하여 IEEE 802.15.4의 CAP (Contention Access Period)을 고려한 성능분석을 처음으로 수행하였다. 기존 CSMA에 대해서는 포아송 분포를 통한 다양한 성능 분석 모델이 제시되어 왔다[20][21].

저전력, 저속의 비교적 단순한 센서네트워크에 사용되는 프로토콜은 IEEE 802.15.4 표준의 랜덤 시간 대기 기법이 반드시 필요한 것은 아니다. 이러한 시스템은 좀 더 간단한 이산 확률 분포를 이용하여 설명될 수 있음에도 불구하고 지금까지 이에 대한 연구는 전혀 시도되지 않았다.

확률 분포에 의한 모델링은 오직 하나의 독립사건에 대한 확률 계산만 가능하기 때문에 연속성을 갖는 복잡한 프로토콜을 모델링하기에는 적합하지 않으나 본 논문에서는 IEEE 802.15.4를, 제안하는 위치기반 시스템에 실제 적용가능도록 단순화함으로써 이산 확률 모델로써도 충분히 충돌에 따른 시스템의 성능과 패킷 손실에 대한 이론적인 최저값을 제시할 수 있었다.

III. 능동태그 기반 위치인식 체계

3.1 시스템 개요

그림 1은 아파트 단지내 위치인식 시스템의 개념도이

다. 단지내 거주자 및 자동차는 그림에서 U-Tag라는 능동 태그를 착용한다. U-Tag는 주기적으로 자신의 식별자를 방송하고 이를 수신한 라우터들의 RSSI 들을 비교하여 위치를 인식한다. 인식된 위치는 단지내 네트워크를 통하여 서버에 저장되고 키오스크나 단말에 의해 접근된다.

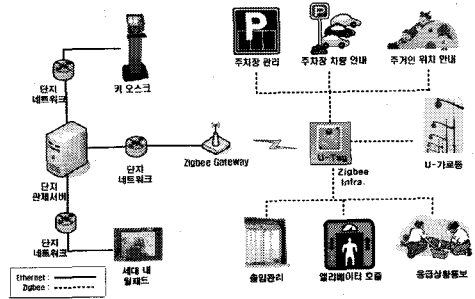


그림 1. 단지내 위치인식 시스템 개념도
Fig. 1. Location-aware System Architecture

능동태그는 ATmega128을 MCU로 사용하고 RF칩으로써 2.4GHz ZigBee 통신규약을 지원하는 cc2420[22]을 사용하였다. 안테나는 PCB 안테나이며 3개의 수은전지 배터리를 사용한다.

라우터는 아파트 단지내에 10미터 간격으로 배치한다. 라우터들은 ZigBee로 수신된 데이터의 RSSI 값을 중앙서버로 전달한다. 이 값들을 기반으로 중앙서버는 태그의 위치를 계산한다.

3.2 RSSI 위치인식 방식

RSSI 기반의 위치인식은 비컨 신호를 누가 전송하는가에 따라 두 가지 방식으로 분류할 수 있다. 첫째는, 위치가 알려진 라우터들이 비컨 신호를 전송하고 이동하는 노드가 이 신호들을 수신, 분석하여 위치를 확인하는 방식인데, RADAR[4]가 이에 해당된다. Texas Instrument사에서 개발한 CC2431 칩[22]은 이러한 방식의 위치인식 엔진을 내장하였다. 둘째는, 이동하는 노드가 비컨 신호를 방송하고, 고정된 수신 장치가 수신하여 중앙에서 위치를 결정하는 방식이다[9][11][12].

아파트 단지내 위치인식에서는 사람이나 자동차에 능동태그를 부착해야 하기 때문에 후자의 방식이 적절하다. 본 능동태그의 상용성 확보를 위해 다음과 같은 요구조건이 충족되어야 한다.

- 배터리는 교체없이 1년 이상 사용
- 목걸이 형태로 사용할 수 있을 만큼 경량
- 태그 비용의 최소화.

3.3 능동 태그 전송 모드

구현된 능동태그는 IEEE 802.15.4 표준을 준수하는 cc2420을 사용한다. IEEE 802.15.4 표준은 다양한 응용에 적용하도록 복수 모드를 지원하는데 본 논문에서는 전력 소모를 최소화할 수 있고 위치인식 서비스에 적합한 모드를 선택한다.

- 비컨 모드 대 논비컨 모드

2가지 통신 방식중에 비컨 모드는 TDMA 방식과 경쟁방식 모두를 지원하지만 저전력을 지원하기에는 부적합하므로 본 논문에서는 논비컨 모드를 사용한다.

- 연결 모드 대 비연결 모드

연결 모드에서 태그는 통신을 위해 라우터에 연결을 요구하고 MAC 식별자를 전송받는다. 비연결 모드에서는 이러한 과정없이 직접 데이터를 전송한다. 연결 모드에서는 능동태그가 위치를 이동함에 따라 다른 라우터로 핸드오버를 해야 하고 연결 설정 시에 전력 소모도 발생하므로 본 논문에서는 비연결 모드를 채택한다.

- 오류 복구 방식 대 오류 방지 방식

IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에서는 오류가 발생했을 때 재전송을 통하여 오류를 복구하는 체계를 가지고 있다. 데이터의 손실을 허용하지 않는 응용의 경우에는 오류가 복구되어야 하지만 순간적인 위치정보의 경우엔 일시적인 오류는 허용되므로 저전력 소모를 위해 오류를 방지하는 방식을 채택한다.

3.4 식별자 전송 알고리즘

전력 소모를 최소화하기 위하여 식별자 전송 알고리즘을 단순화하였다. 아래와 같은 알고리즘 send_ID()에서 CCA(Clear Channel Assesment)는 슬롯이 현재 사용중인가, 아닌가를 나타낸다. CCA가 'BUSY'일 때는 다른 노드가 데이터를 전송중인 경우를 의미하며 무한루프를 돌면서 슬롯이 비워지기를 기다린다. 슬롯이 비면 데이터를 전송한다. 일반적인 CSMA MAC[14]에서는 충돌 후 재전송 시도를 슬롯이 빈 후 바로 하지 않고 랜덤 시간 대기한 후 전송하여 대기하던 두 노드가 다시 충돌

되는 것을 피할 수 있지만 기다리는 시간만큼 시스템이 동작하고 있어야 한다. 본 논문에서는 대기시간에 소모되는 전력소모를 줄이기 위하여 랜덤 시간 대기를 하지 않고 바로 다음 슬롯에 재전송을 시도하도록 하였다.

Algorithm send_ID {

1. sleep(ONE_PERIOD);
2. while(CCA == BUSY) do nothing();
3. send(IDENTIFIER);
4. goto 1;

}

IV. 성능 분석

4.1 능동 태그 통신의 수학적 모델링

IEEE 802.15.4의 물리 계층은 2.4GHz 대역에서 250Kbps의 전송속도를 보인다. 전송 단위는 4비트로 구성된 심볼이며 하나의 심볼을 전송하는데 16us의 시간이 소요된다. 3.4 절의 식별자 전송 알고리즘에서 다음과 같은 특징을 추출할 수 있다.

- 모든 능동 태그들이 일정한 주기로 자신의 식별자를 방송한다.
- 충돌이 발생할 경우, 전력 소모를 최소화하기 위해 랜덤 시간 대기없이 바로 다음 슬롯에서 한 번의 재전송만을 시도한다.

이 경우, 능동태그 통신의 충돌 가능성은 매 주기에 할당가능한 모든 슬롯의 경우의 수에 각각의 능동 태그들이 슬롯 확보를 위해 경쟁하는 확률 모델에 의해 계산될 수 있다.

본 논문에서는 Levin[23]의 동시발생 확률 계산문제로 모델링하였다. Balls in Urns, 또는, Birthday Paradox로도 알려진 동시성 모델은 다수개의 주머니 속에 다수개의 공을 담는 모든 경우의 수에 대한 확률을 계산할 수 있다.

예를 들어, 본 능동태그 시스템을 구성하는 N개의 태그가 1초마다 한번씩 식별자를 전송하고 하나의 식별자를 전송하는데 T ms의 시간이 소요된다고 하면, 본 시스템은 한 주기에 1000/T개의 슬롯이 있고 이들 슬롯을 사용하기 위해 N개의 태그가 경쟁하는 모델로 볼 수 있다. 즉, 동시성 확률 문제에서 1000/T개의 주머니에 N개의 공을 담는 경우의 확률로 모델링할 수 있다.

한 주기의 슬롯의 수를 m 이라 하고 능동태그의 수를 p 라 하면 능동 태그들의 충돌 가능성은 m 개의 슬롯에 p 개의 태그를 할당하는 확률과 같다. 본 논문에서는 Diaconis[24]의 계산 모델을 사용하여 한 슬롯에 2개 이상, 또는, 3개 이상의 능동태그가 전송을 시도하는 경우의 충돌 확률과 패킷 손실률을 계산한다. 먼저, 충돌이 전혀 없을 경우의 확률은 첫번째 태그가 m 개의 슬롯 중 하나를 선택하고, 다음 태그가 나머지 $(m - 1)$ 개의 슬롯 중 하나를 선택하고, 역시 다음 태그가 남은 $(m - 2)$ 개의 슬롯을 선택하는 형태로 볼 수 있으며 이 때 확률 Q_1 은 아래와 같다.

$$Q_1 = \frac{\prod_{i=0}^{p-1} m-i}{m^p} \quad (1)$$

임의의 슬롯에 2개 이상, 혹은, 3개 이상의 태그가 충돌하는 경우의 각 확률을 계산하기 위해 Q_k 를 한 슬롯에 최대 k 개의 태그가 충돌하는 경우의 확률로 정의하면, Q_k 는 각 슬롯에 k 개 이하의 태그가 할당될 수 있는 모든 경우의 수를 발생 가능한 총 경우의 수인 m^p 로 나눈 값이 된다. 이를 일반화하여 m 개의 슬롯에 p 개의 태그가 경쟁할 때 임의의 슬롯에 최대 k 개의 충돌이 발생할 확률은 아래 식과 같다.

$$Q(m, p, k) = \sum_{i=1}^{\text{floor}(\frac{p}{k})} \left\{ \begin{aligned} & \left(1 - \frac{i}{m}\right)^{p-k \cdot i} \cdot \prod_{j=0}^{k \cdot i} \frac{p-j+1}{m} \\ & \cdot \prod_{j=1}^i \frac{m-j+1}{j \cdot k!} \\ & \cdot \sum_{j=1}^{k-1} Q(m-i, p-k \cdot i, j) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

수식 2에서 k 가 1인 경우는 수식 1을 사용하며 전체 합을 구성하는 네번째 항은 $(k \cdot i) < p$ 일 때 적용하며 그렇지 않은 경우는 1을 적용한다.

위 식으로부터 실제 충돌 확률을 구하기 위해 3.1의 시스템에서 기술한 CCA에 의한 충돌 회피 방식, 즉, 한 번 충돌이 발생할 경우 랜덤 시간 대기 없이 바로 다음 슬롯에 재시도 한다는 것을 고려하면 패킷 손실 확률은 1에

서 $Q_1 = Q(m, p, 1)$ 과 $Q_2 = Q(m, p, 2)$ 를 뺀 값이 된다.

$$\text{packet loss probability} = 1 - Q_1 - Q_2 \quad (3)$$

4.2 실험

성능 실험은 자체 구현한 능동태그들을 조밀하게 배치하여 태그의 수를 달리하면서 측정하였다. 식별자 방송 주기는 1초와 0.1초의 경우를 실험하였으며 슬롯의 길이는 패킷의 길이와 동일하게 설정하였다. 예를 들어, 데이터가 10바이트이고 ACK가 5바이트인 경우에 심볼의 수는 30이 되며, 이를 표준 심볼 전송 시간인 16us로 곱한 값이 슬롯의 길이가 된다.

표 1. 실험에 대한 수학적 모델링 인자
Table 1. Experimental Parameters

실험 구분	주기 (초)	슬롯길이 (심볼수)	심볼전송 시간(ms)	m	p
1	1	30	0.48	2,083	5 - 70
2	0.1	30	0.48	208	5 - 70
3	0.1	70	1.12	89	5 - 70

따라서 위 조건을 4.1의 확률 모델에 적용하면 이 때의 m 과 p 는 표 1과 같다.

그림 3은 실험 환경에 대한 사진이다.

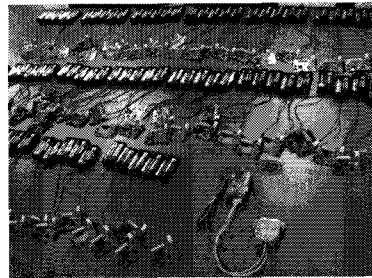


그림 2. 실험 환경
Fig. 2. Experimental Environment

4.3 결과 분석

실험 결과는 두 가지 경우로 요약하였다. 즉, 주기가 0.1초이고 데이터의 길이가 10바이트인 경우와 주기가 0.1초이고 데이터의 길이가 30바이트인 경우로써 표 1의

실험구분 2와 3에 해당된다. 각각에 대해 태그의 수는 5개에서 70개까지 5개씩 증가시키면서 실험하였으며 실험시간은 각 10초 동안 수행하였다.

그림 3과 그림 4는 실험결과와 확률 모델로 계산한 결과를 나타낸다. 실험결과를 통해 세 가지 주목할 만한 특성을 발견할 수 있는데, 첫째, 확률 모델에 의한 결과값이 실험 결과값보다 평균적으로 작다는 것이다.

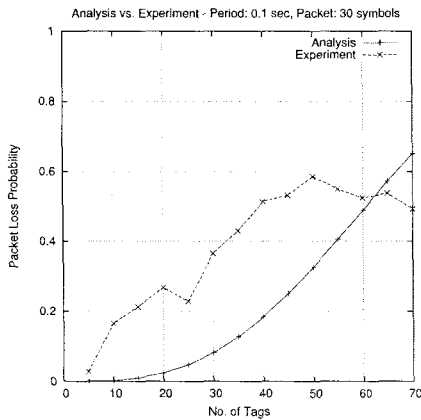


그림 3. 결과분석 (주기: 0.1초, 패킷: 30심볼)
Fig. 3. Packet Loss Prob. (Period: 0.1 sec., Packet: 30 symbols)

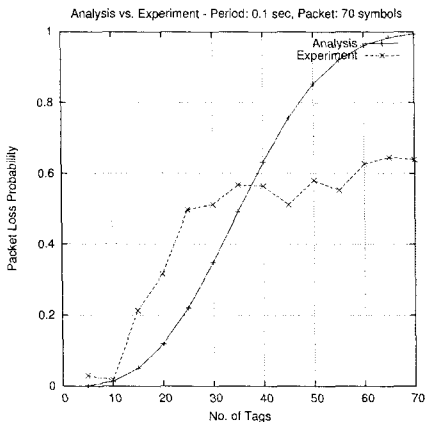


그림 4. 결과분석 (주기: 0.1초, 패킷: 70심볼)
Fig. 4. Packet Loss Prob. (Period: 0.1 sec., Packet: 70 symbols)

특히, 노드 수가 적은 경우, 즉, 충돌확률이 비교적 낮은 경우에 더욱 그러한데, 이는 실험의 경우 2개의 태그

가 충돌할 경우, 전송에 실패한 태그는 바로 다음 슬롯에 재전송을 시도하지만 확률 모델에서는 재전송 시도에도 따른 충돌회피를 고려하지 않았기 때문이다.

따라서 본 확률 모델의 결과는 전력소모를 최소화하기 위해 충돌 시 랜덤 시간 대기없이 바로 다음 슬롯에서 한 번의 재전송 기회를 더 부여하는 시스템에서 나타날 수 있는 이론적인 최저 패킷손실률을 의미하게 된다.

둘째, 태그의 수가 많아지면, 즉, 시스템의 부하가 커지면 확률 모델에 의한 결과값이 실험치보다 커진다는 것이다. 이는, 앞서 4.1의 확률 모델에서, 태그의 수가 전체 슬롯의 수에 근접하면 2개의 태그가 충돌할 확률보다 3개 이상의 태그가 충돌할 가능성이 높아져 전체 손실률이 커지기 때문이다.

셋째, 시스템의 부하가 일정 정도 이상인 경우, 확률 모델에 의한 손실률이 태그 수가 증가하면서 1에 근접하는 것을 볼 수 있다. 또한, 실험치의 경우에도 태그의 수가 어느 정도 이상이 되면 패킷 손실률이 포화상태에 이르는 것을 볼 수 있는데, 이는 더 이상 손실이 발생하지 않기 때문이 아니라 손실되는 패킷의 수만큼 전체 발생 패킷의 수가 증가하기 때문이다. 따라서 확률 모델에 의한 계산값과 실험에 의한 결과값이 교차하는 지점, 즉, 그림 3에서는 태그의 수가 60개 수준, 그림 4에서는 35개 정도가 해당 환경에서 정상적으로 처리할 수 있는 적정값으로 볼 수 있다.

V. 결론

IEEE 802.11a/b와 랜덤 시간 대기 기법을 사용하는 일반적인 IEEE 802.15.4에 대하여 연속 확률 모델을 통한 성능 분석에 대한 연구가 다수 진행되어 왔다. 그러나 본 논문에서 제시한 통신 구조처럼 초저전력 소모를 요구하는 실제 환경에 적합한 통신특성을 고려하여 분석한 연구는 전무하다.

본 논문에서는 실제 상용 환경에 적용 가능한 저전력 위치 인식 시스템을 제시하고 직접 구현하였으며 이에 대한 수학적 분석 모델로써 이산 확률 모델을 적용하여 최적의 시스템 구성에 활용하고 결과를 예측할 수 있는 간단하고 명확한 확률 모델을 제시하였다.

실험 실측치와의 비교 분석을 통해 태그 수에 비례하는 패킷 손실에 대한 이론적인 최저값을 제시하였고 실

제 환경에 적용 가능한 적정 수준의 태그 수를 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] ITU-T, NGN overviews, ITU-T SG 13 Recommendation, September 2004.
- [2] K. Pahlavan, Krishnamurthy, A. Hatami, M. Ylianttila, J. Makela, R. Pichna, J. Vallstrom, "Handoff in Hybrid Mobile Data Networks," IEEE, Personal Communications Magazine, Vol.7 No.2, pp. 34-47, 2000.
- [3] D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, "Markov Localization for Mobile Robots in Dynamic Environments," Journal of Artificial Intelligence Research, 1999.
- [4] P. Bahl, V.N. PadManabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Localization and Tracking System," Infocom, 2000.
- [5] P. Corke, R. Peterson, D. Rus, "Networked Robots: Flying Robot Navigation Using a Sensor Net" Infocom, 2001.
- [6] E. Elnahrawy, X. Li, R. Martin, "The Limits of Localization using RSSI," SECON, 2004.
- [7] N. Priyantha, A. Chakaborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support System," MobiCom, 2000.
- [8] A. LaMarca, et. al., "lace lab: Device positioning using radio beacons in the wild," Pervasive2005, 2005.
- [9] L. Hu, D. Evans, "Localization for Mobile Sensor Networks", Mibicom, 2004.
- [10] P. Pathirana, N. Bulusu, A. Savkim, S. Jha, "Node Localization Using Mobile Robots in Delay-Tolerant Sensor Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004.
- [11] N. Priyantha, et. al., "Mobile-Assisted Topology Generation for Auto-Localization in Sensor Networks", Infocom, 2005.
- [12] M. Sichitiu, V. Ramaduari, "Localization of Wireless Sensor Networks with a Mobile Beacon", MASS, 2004.
- [13] T. He, et. al., "Spotlight: Low-Cost Asymmetric Localization System for Networked Sensor Nodes," 4th International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2005.
- [14] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, ed., IEEE Standard for Wireless LAN MAC and PHY Specs. IEEE Std 802.11, IEEE, New York, 1997.
- [15] 김병호, "IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 성능 평가 및 실험," 해양정보통신학회논문지, 11권 1호, 2007.
- [16] J. Zheng and M. J. Lee, "A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4," IEEE Press, 2004.
- [17] J. Zheng and M. J. Lee, "Will IEEE 802.15.4 make ubiquitous networking a reality?: A discussion on a potential low power low bit rate standard," IEEE Comm. Mag., 42, pp. 140 - 146, 2004.
- [18] G. Lu, B. Krishnamachari, and C. S. Raghavendra, "Performance evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC for low-rate low-power wireless networks," IEEE IPCCC 2004, pp. 701- 706, 2004.
- [19] B. Bougard, F. Cathoor, D. Daly, A. Chandrakasan, W. Dehaene, "Energy efficiency of the IEEE 802.15.4 standard in dense wireless microsensor networks: Modeling and improvement perspectives," IEEE DATE 2005, pp. 196 - 201, 2005.
- [20] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet switching in radio channels: Part I-carrier sense multiple-access modes and their throughput-delay characteristics," IEEE Trans. Comm., 23, pp.1400 - 1416, 1975.
- [21] H. Takagi and L. Kleinrock. "Optimal transmission range for randomly distributed packet radio terminals," IEEE Trans. on Comm., 32, 3, pp. 246 - 257, 1984.
- [22] Texas Instrument, CC2431 Location Engine, <http://ti.com>.
- [23] B. Levin, "A representation for multinomial cumulative distribution functions," Annals of Statistics 9, pp.1123-1126, 1981.
- [24] P. Diaconis and F. Mosteller, "Methods of studying coincidences," Journal of American Statistics Association. 84, pp. 853-861. 1989.

저자소개



소 선 섭(Sun-Sup So)

1986년 이화여자대학교 전산학과 졸업
1988년 KAIST 전산학과 (공학석사)
1997년 KAIST 전산학과 (공학박사)

1995년 3월~현재: 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수
※관심분야: 센서네트워크, 통신 프로토콜



은 성 배(Seong-Bae Eun)

1985년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업
1987년 KAIST 전산학과 (공학석사)
1995년 KAIST 전산학과 (공학박사)

1987년~1990년: 전자통신연구소 연구원
1995년~현재: 한남대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야: 센서네트워크, 임베디드 운영체제



김 진 천(Jin-Chun Kim)

1983년 한양대학교 전기공학과 졸업
1985년 미시간주립대학교 전자 및 시스템공학과 (공학석사)
1996년 KAIST 전산학과 (공학박사)

1988년~1996년: 삼성종합기술원 선임연구원
1996년 3월~현재: 경성대학교 컴퓨터공학과 부교수
※관심분야: 멀티미디어 통신, 센서네트워크