

WSN 기반 다중 채널 맥 프로토콜을 위한

효율적인 채널 탐색 및 선택 기법

김 병 선 김 범 석 조 진 성

경희대학교 컴퓨터공학과

ykbs0903@khu.ac.kr

passion0822@khu.ac.kr

chojs@khu.ac.kr

An Efficient Channel Scanning and Selection Scheme

for Multi-channel MAC protocols in WSNs

ByoungSeon Kim

BeomSeok Kim

Jinsung Cho

Department of Computer Engineering

KyungHee University

요 약

다중 채널 맥 프로토콜은 다양한 무선 센서 네트워크 환경에서 주파수 대역의 중첩으로 인한 성능 저하를 극복할 수 있는 대표적인 방안으로써 다양한 연구들이 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구들은 순차적 또는 랜덤 채널 탐색을 가정하여 효율적 노드 선정이나 채널 할당에 초점을 맞추고 있기 때문에 공간적 채널 재사용 효율 및 채널 간 로드 밸런스를 고려하지 않고 있다. 일반적으로 채널 탐색은 많은 지연시간을 필요로 하고, 이는 전송지연, 데이터 처리량, 전력소모 측면에서 큰 성능 저하를 유발하고 있다. 하지만 기존의 연구들은 이기종 통신 기술로부터 발생하는 간섭 상황을 고려하지 않아 실제 환경에 적용하기에 적합하지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 IEEE 802.11과 공존상황을 고려하여 IEEE 802.15.4 노드로 구성된 클러스터 기반의 WSN의 채널 탐색 횟수를 줄일 수 있는 효율적인 채널 탐색 기법을 제안한다. 또한, 제안하는 기법을 기반으로 간섭으로 인해 변하는 채널 상태를 예측하여 우선순위를 부여하고, 각 채널의 로드밸런스를 보장할 수 있는 채널 할당 기법을 제안한다. 제안하는 기법들을 통해 채널 탐색 오버헤드, 공간적 채널 재사용 효율, 채널 간 로드밸런스 등의 관점에서 성능 향상을 기대할 수 있다.

1. 서 론

센서 네트워크 (WSN)는 군사, 환경 모니터링, 헬스케어, 산업, 스마트 빌딩과 같은 다양한 응용에 적용되고 있다 [1]. 일반적으로, IEEE 802.15.4 노드로 구성된 WSN 환경은 넓은 범위에 높은 노드 밀집도로 배치되는 특징을 가지고 있으며, 단일 채널에서의 제한된 대역 사용으로 인해 빈번한 충돌을 유발하여 성능 저하가 발생한다. 특히, 같은 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802.11과의 공존 상황에서는 이와 같은 성능 저하가 더욱 큰 문제가 된다 [2, 3].

한편, 단일 채널의 한계점을 극복하고 네트워크 성능의 향상을 위해 다중 채널 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 채널-노드 할당 기법이 있으며 이는 n 개의 가용 채널이 있음을 가정하고, 각 송-수신 노드는 안정적인 공용 채널을 통해 어떤 채널을 사용할지 협상하는 방안을 제안한다 [4, 5]. 하지만 이와 같은 기법들은 노드가 높은 노드 밀집도에 기반한 WSN 환경에는 적합하지 않으며, 경쟁 기반의 공용 채널 점유에서 발생하는 컨트를 오버헤드가 존재한다. 둘째, 채널-경로 할당 기법이 제안되었으며, 이는 가용 채널과 같은 수

의 안테나를 가진 싱크 노드가 안정적인 채널을 탐색하여, 이러한 결과를 기반으로 각 루트에 채널을 할당해주는 방식을 채택하고 있다 [6]. 하지만 이와 같은 방안은 네트워크 전반에 간섭이 존재하지 않는 상황을 가정하고 있으며, 싱크가 사용하는 채널의 수 만큼 안테나를 보유한다는 점에서 현실성이 없는 문제점을 갖는다. 마지막으로 공간적 채널 재사용을 고려한 채널-클러스터 할당 방안이 있다 [7, 8]. 이러한 방안들은 모든 채널을 탐색하는 것을 가정하고 있으며, 기존의 연구들과 마찬가지로 이기종 네트워크로부터의 간섭이 없음을 가정한다.

한편, 실제 노드에 적용을 위한 구현 관점에서 채널 탐색 시간은 최소 8 심볼 구간 (128 us)의 시간을 요구하기 때문에 [9, 10], 최종 탐색 시간은 채널 횟수 * 8 심볼 구간이 되며, 이는 실시간 데이터 전송 관점에서 상당한 전송 지연을 유발한다. 또한, 기존의 다중 채널 맥 프로토콜은 할당된 각 채널의 로드 밸런스와 상이한 통신 기법으로부터의 간섭을 고려하지 않았기 때문에 기존 방안은 통신 신뢰성 및 성능 요구사항을 만족시킬 수 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 효율적인 채널 탐색 및 할당 기법을 제안한다. 채널 탐색 기법에서는 가용 채널의 탐색하는 횟수를 줄여 데이터 전송 및 처리에 대한 지연을 감소시키며, 채널 할당 기법에서는 심볼 마르코프 체인 모델을 기반으로 안정적인 가용 채널 할당과 트래픽

“이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터육성 지원사업 (NIPA-2014-(H0301-14-1003)) 및 교육부 및 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2013R1A1A2059741)의 지원으로 수행된 연구결과임.”

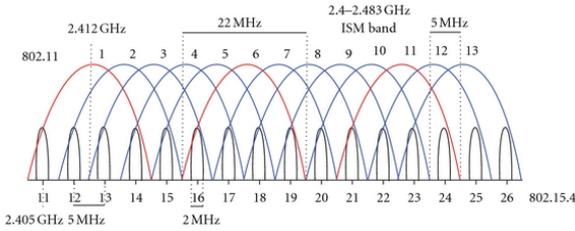


그림 1. IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4의 주파수 대역 사용

로드 정보를 결합하여 네트워크 전체의 로드 밸런스를 제공할 수 있다.

2. 관련 연구

최근 다양한 무선 기술과 응용의 요구사항이 대두됨에 따라 비허가 대역인 2.4 GHz ISM 주파수 대역을 사용하는 이기종 네트워크가 공존하는 환경이 증가하여 네트워크 자원 부족 및 성능 저하의 주요 원인이 되고 있다. 이와 같은 상황을 좀 더 알아보기 위해 본 논문에서는 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4가 공존하는 상황에서 발생하는 문제를 분석하고, 기존의 다중 채널 맥 프로토콜의 문제점을 분석한다.

2.1 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4간의 간섭의 영향

일반적으로 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4는 그림 1과 같이 비허가 대역인 2.4 GHz ISM 주파수 대역을 공유하며, 각 표준에서 사용하는 주파수 대역 사용은 대부분 중첩되는 것을 알 수 있다. 이러한 상황에서 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4 기반의 노드들은 상이한 송신 파워를 가진다. 예를 들어, 대표적인 IEEE 802.11 기반의 칩셋인 Atheros AR 5008은 전송 파워를 최소 1 dBm에서 최대 15 dBm으로 설정할 수 있는 반면, IEEE 802.15.4 기반의 칩셋인 CC2420은 -25 dBm에서 0 dBm까지의 전송 파워를 설정할 수 있다 [10, 11]. 이 같은 관점에서, IEEE 802.15.4 노드가 IEEE 802.11 노드와 인접한 위치에서 겹쳐지는 채널을 사용하는 경우 심각한 간섭을 받을 수 있다.

한편, 이러한 IEEE 802.11로부터 발생하는 간섭이 IEEE 802.15.4에 미치는 영향에 대한 검증도 이루어져 왔다 [2, 3]. [2]에서는 IEEE 802.11의 간섭 상황에서 IEEE 802.15.4 패킷이 성공적으로 전송할 수 있는 요소를 전송 파워와 시간으로 분석하였으며, 시뮬레이션 및 분석으로 IEEE 802.11로 인한 간섭이 IEEE 802.15.4의 성능에 지대한 영향을 미치는 것을 입증하였다. [3]에서는 IEEE 802.15.4와 IEEE 802.11간의 간섭을 실측하였고, 간섭에 대한 상황을 양상에 따라 hidden, exposed, blind terminal로 분류하였다. 또한, 실험 결과를 바탕으로 IEEE 802.15.4의 가장 큰 성능 저하의 요인이 blind terminal 상황임을 검증하였다. 앞서 살펴본 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4간의 간섭 상황에 대한 연구의 결과를 종합해 보면, IEEE 802.11로부터의 간섭은 각 통신 표준의 전송 범위, 파워, 그리고 채널 탐색의 민감도에 따라 IEEE 802.15.4의 성능저하의 요인이 될 수 있다는 것을 알 수 있다.

2.2 멀티 채널 맥 프로토콜

네트워크의 성능을 향상시키기 위한 방안으로 최근 다중 채널 맥 프로토콜에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 본 논문에서는 기존의 연구를 세분화하기 위해 채널 할당 기법에 따라 채널-노드, 채널-경로, 그리고 채널-클러스터 할당 기법으로 나누었다.

HRMA (Hop Reservation Multiple Access) 기법은 채널-노드 할당 기법의 하나로, 네트워크의 노드들은 미리 정의된 호핑 패턴에 따라 채널을 옮기며 가용 채널을 할당해 주는 방안을 제안한다 [4]. 이와 비슷한 방안으로 클러

```

Proposed Channel Scanning Algorithm

/* Notation */
int    lBnd = 11; -- Left bound
int    rBnd = 26; -- Right bound
bool   lFlg = true; -- Left flag
bool   rFlg = true; -- Right flag

/* Algorithm */
1. CHlist* scanChannel() {
2.     list* availCH;
3.     while (lBnd < rBnd) {
4.         if (scan(lBnd)) {
5.             availCH.add(lBnd++);
6.             lFlg = true;
7.         }
8.         else {
9.             if (lFlg = true)
10.                lBnd+=4;
11.            else
12.                lBnd++;
13.            lFlg = false;
14.        }
15.        if (scan(rBnd)) {
16.            availCH.add(rBnd--);
17.            rFlg = true;
18.        }
19.        else {
20.            if (rFlg = true)
21.                rBnd-=4;
22.            else
23.                rBnd--;
24.            rFlg = false;
25.        }
26.    }
27.    return availCH;
28. }
    
```

그림 2. 제안하는 채널 탐색 기법의 psuedo-code

스터 기반의 채널 할당 기법도 제안되었다 [5]. 이 방안은 미리 구성된 트리 토폴로지의 말단 노드에서부터 루트 노드까지 역순으로 채널을 할당하는 방식을 채택하였다. 하지만 두 방안들은 모든 노드들이 가용 채널을 알고 있으며, 외부로부터의 간섭이 존재하지 않음을 가정하고 있다. 또한, 채널 할당 기법에 있어 오버헤드가 존재하기 때문에 실제 WSN 환경에 적용이 어렵다.

채널-경로 할당 알고리즘의 예로 [6]에서는 싱크가 가용 채널 수 만큼의 안테나를 보유하고 있으며 싱크로부터 가용 채널 수 만큼의 가지가 있는 트리 기반의 토폴로지를 구성하여, 각 가지에 해당되는 경로에 안테나와 채널을 할당해주는 것을 제안하고 있다. 하지만, 이와 같은 방안에서는 싱크노드가 가용 채널 수 만큼의 안테나를 가지고 있다는 가정이 비현실적이며, 지역적 채널 재사용 관점에서도 효율성이 떨어진다는 문제를 가지고 있다.

지역적 채널 재사용 효율의 관점에서 클러스터 기반의 다중 채널 맥 프로토콜도 제안되었다. [7]에서는 각 클러스터 헤드가 채널 정보를 수집하고, 가용 채널 중 하나를 랜덤하게 선택하는 방안을 제안하고 있다. 또한, 클러스터 트리 기반의 토폴로지에서도 인접한 클러스터의 정보를 기반으로 분산 채널 할당 기법도 제안되었다 [8]. 하지만 이와 같은 방안들은 가용 채널을 알아내기 위해 모든 채널을 순차적으로 탐색하는 것을 가정하고 있어, 채널 탐색으로 인한 오버헤드가 발생하는 문제점을 가지고 있으며, 외부 간섭을 고려하지 않았다는 문제점도 가지고 있다.

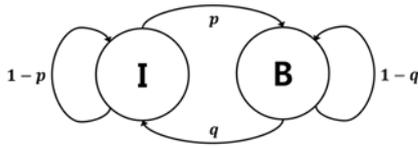


그림 3. 2-상태 마르코프 모델

3. 제안하는 방안

앞서 언급한 기존 방안들의 채널 탐색 오버헤드와 외부 간섭으로 인한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 효율적인 채널 탐색 및 할당 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 다음과 같다.

3.1 네트워크 모델

제안하는 방안은 공간적 채널 재사용의 효율을 극대화하기 위해 클러스터 기반의 WSN을 가정한다. IEEE 802.15.4 기반의 노드들은 랜덤하게 분산되어 있으며, 이들 스스로 클러스터를 형성한다. 싱크 노드는 필드의 중앙에 위치하며, 각 클러스터 헤드와 직접 통신이 가능하다. 외부 간섭은 IEEE 802.11로부터 발생하며, IEEE 802.15.4의 27번 채널은 IEEE 802.11의 간섭에 영향을 받지 않는 공용 채널로 가정한다. 제안하는 방안에서 각 클러스터 헤드는 해당 클러스터의 가용 채널을 탐색하며, 싱크 노드는 탐색 결과를 기반으로 클러스터 헤드에 채널 할당을 수행한다. 또한, 각 클러스터 내부의 통신은 경쟁 기반으로 동작하여 인접한 두 클러스터가 같은 채널을 사용할 수 있도록 한다.

3.2 효율적인 채널 탐색 기법

본 논문에서는 채널 탐색 횟수를 줄이기 위해 그림 2와 같은 채널 탐색 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 현재 채널 탐색 순서를 의미하는 $lBnd$, $rBnd$ 를 정의하고 IEEE 802.15.4의 채널 구성을 고려하여 제안하는 방안에서는 $lBnd$ 와 $rBnd$ 를 각각 1과 26으로 초기화한다. 또한, 현재 탐색 채널의 간섭 감지여부를 나타내는 $lFlg$, $rFlg$ 를 정의한다. 만약 탐색 결과가 $idle$ 이면, $lBnd$ 나 $rBnd$ 는 1씩 증/감소하게 되며, $busy$ 인 경우에는 $lFlg$ 와 $rFlg$ 에 따라 증/감의 크기를 조절하게 된다. 만약 $lFlg$ 나 $rFlg$ 가 $false$ 이면, 해당 채널이 간섭 영향을 받기 시작하는 첫 번째 채널이라 간주하고, IEEE 802.11과 중첩되는 채널 수인 4만큼 $lBnd$ 와 $rBnd$ 를 증/감소시킨 후 $lFlg$ 또는 $rFlg$ 를 $false$ 로 변경한다. 반면, $lFlg$ 나 $rFlg$ 가 $false$ 이면, 중첩 대역에 포함된 채널임을 의미하므로 1만큼 $lBnd$ 또는 $rBnd$ 를 증/감소시킨다. 모든 채널 탐색이 완료된 후, 클러스터 헤드는 탐색 결과와 해당 클러스터의 트래픽 로드 정보를 싱크 노드에게 전송한다.

3.2 채널 상태 예측을 통한 우선순위 기반 채널 할당

공용 채널을 통해 모든 클러스터 헤드로부터 가용 채널 정보와 트래픽 로드를 전송받은 싱크 노드는 기존에 저장해 둔 채널 상태의 history를 기반으로 그림 3과 같이 각 클러스터의 각 채널에 대해 2-상태 마르코프 모델을 수행하여, 각 채널의 $idle$ 상태에 대한 정채 확률을 계산한다. 전이 확률인 p 와 q 는 각각 채널의 상태가 $idle$ 에서 $busy$ 로, $busy$ 에서 $idle$ 로 전이하는 확률을 의미하며, $idle$ 상태에 머무를 정채 확률은 $\frac{q}{p+q}$ 로 정의할 수 있다. 이를 통해 각 클러스터의 각 채널에 대한 정채 확률이 높은 순으로 채널의 우선순위를 결정한다.

싱크 노드는 각 클러스터의 트래픽 로드가 큰 순서에 따라 높은 우선 순위의 가용 채널을 해당 클러스터에게 할당하며, 해당 채널은 가용 채널 리스

트에서 제외한다. 만약 클러스터의 수가 채널의 수보다 많다면, 할당된 채널 중 트래픽 로드의 합이 가장 낮은 채널에 남은 클러스터를 할당함으로써 네트워크 전체의 로드밸런스를 보장한다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.4가 공존하는 상황에서 효율적인 채널 탐색 기법과 채널 상태 예측을 통한 우선순위 기반 채널 할당 기법을 제안함으로써 채널 탐색 횟수를 줄이고, 네트워크 전체의 로드 밸런스를 제공할 수 있다.

향후 과제로는 시뮬레이션 및 구현을 통해 제안하는 방안을 검증하고, 그래프 컬러링 알고리즘을 적용하여 지역적 채널 재사용의 효율을 증가시킬 예정이다.

참고 문헌

- [1] J. Akerberg, M. Gidlund, and M. Bjorkman, "Future research challenges in wireless sensor and actuator networks targeting industrial automation," in Proc. 9th IEEE International Conference on Industrial In-formatics, Jul. 2011, pp. 26-29.
- [2] W. Yuan, X. Wang, and J. Linnartz, "A Coexistence Model of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11b/g," in Proc. 14th IEEE Symposium on Communication and Vehicular Technology in the Benelux, Nov. 2007, pp. 1-5.
- [3] J. Huang, G. Xing, G. Zhou, and R. Zhou, "Beyond Co-existence: Exploiting WiFi White Space for ZigBee Performance Assurance," in Proc. IEEE International Conference on Network Protocols, Oct. 2010, pp. 305-314.
- [4] Z. Tang, and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Hop-reservation multiple access (HRMA) for ad-hoc networks," in Proc. IEEE INFOCOM 1999, Mar., 1999, pp. 194-201.
- [5] H. Zhang, and S. Li, "A Practical Design of Multi-channel MAC for Cluster-tree WSN," 6th International Forum on IFOST, Aug., 2011, pp. 22-24.
- [6] Y. Wu, S. J. A., T. He, and S. Lin, "Realistic and Efficient Multi-Channel Communications in Wireless Sensor Networks," Proc. in IEEE INFOCOM 2008, Apr., 2008, pp. 13-18.
- [7] N. Abdeddaim, F. Theoleyre, F. Rousseau, and A. Doda, "Multi-Channel Cluster Tree for 802.15.4 Wireless Sensor Networks," Proc. in IEEE PIMRC, Sep., 2012, pp. 590-595.
- [8] C. Jianfu, W. Zhiwei, S. Dongxu, Z. Jiguang, and J. Feng, "A Multi-channel Allocation method for Clustered Wireless Sensor Networks," Proc. in IEEE ICCA, Jun., 2013, pp. 760-775.
- [9] IEEE 802.15.4 Standard-2011, "Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," 2011.
- [10] Chipcon AS SmartRF, CC2420 Preliminary Datasheet (rev 1.2), Jun., 2004.
- [11] Atheros Communications Press Release, "Atheros Communications Expands Performance and Possibilities with First Draft 802.11n Wireless LAN Solutions", www.atheros.com/news/xspan