

무선 멀티미디어 센서 네트워크를 위한 고속 링크 설정 프로토콜

박 우 길*

Fast Link-Setup Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks

Wooguil Pak*

요 약

무선 멀티미디어 센서 네트워크는 이미지 센서나 마이크 센서에 의해 주기적으로 생성된 멀티미디어 데이터를 효율적으로 전송하기 위해서 가장 적합한 채널을 선택하는 것이 중요하다. 대부분의 기존 연구에서는 무선 센서 네트워크가 사용할 채널을 미리 고정하는 경우가 많았지만, 주파수 부족 문제가 심각한 현실에서는 특정 채널을 고정적으로 사용한다는 것이 다양한 환경을 지원하는 데 큰 제약이 될 수 있다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해서 기존 무선 인지 라디오 네트워크(Cognitive radio network)에서 사용하는 공통 제어 채널 없이 두 노드가 서로 사용 가능한 채널을 찾기 위한 방식을 도입하였다. 또한 기존 방식의 문제점으로 사용하는 채널수가 늘어날수록 성능이 크게 저하됨을 보이고, 이를 개선하기 위해 새로운 방식을 제안하였다. 따라서 제안 방식은 네트워크의 노드 밀도가 증가할수록 다른 방식에 비해 30% 이상 빠르게 링크를 설정할 수 있다.

Key Words : Wireless sensor network, link setup, cognitive radio network

ABSTRACT

For wireless multimedia sensor network (WMSN), it is crucial to select appropriate channels to deliver multimedia data stream generated by image and voice sensors periodically or continuously. Although most of previous researches assume that fixed channels are used for wireless sensor networks, they causes limit to support various application areas. In this paper, we apply link-setup algorithms developed for wireless cognitive radio networks for searching common channels between two nodes without common control channels. We also show the algorithm causes serious performance degradation as the total number of used channels increases, and then propose a new link-setup algorithm to resolve the problem. Therefore, the proposed algorithm shows 30 % higher performance compared to existing algorithms.

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 다양한 환경에 적용되기 때문에 네트워크 크기, 저전력 통신, 신뢰적 데이터 전송 등 다양한 조건을 지원할 수 있어야 한다. 특히 무

선 멀티미디어 센서 네트워크는 카메라로 주기적 혹은 연속적으로 촬영한 동영상 데이터를 효율적으로 전송하기 위해서 적합한 채널을 선택하는 것이 중요하다^[1]. 기존 대부분의 연구에서는 무선 센서 네트워크가 사용하기 위한 채널을 미리 고정하는 경우가 많

* First Author : 계명대학교 보안 및 무선네트워크 연구실, wooguilpak@knu.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2013-11-493, Received November 14, 2013; Reviewed December 23, 2013; Accepted March 7, 2014

있지만, 주파수 부족 문제가 심각한 현실에서 특정 채널을 고정적으로 사용할 경우 사용상 제약이 크게 된다. 일반적으로 무선 멀티미디어 센서 네트워크는 이미지 센서 혹은 마이크를 통해 생성된 멀티미디어 데이터를 전송하게 된다. 따라서 기존 무선 센서 네트워크와 달리 데이터 전송량이 상대적으로 매우 크게 된다³⁾.

무선 멀티미디어 센서 네트워크에서 안정적인 데이터 전송을 위해서는 한 개 이상의 고성능 라디오 인터페이스를 사용하는 것이 필요하며, 무엇보다도 각 인터페이스 별 채널 선택이 중요하다. WBAN (Wireless body-area network)과 같이 예외적인 경우를 제외하면, 대부분의 무선 센서 네트워크는 전용으로 할당된 채널을 사용하는 대신, 비라이센스 대역의 채널을 다른 네트워크와 공유으로 사용하게 된다. 따라서 채널 센싱을 통해 채널 사용여부를 판단하고, 가장 적합한 채널을 선택하는 것이 중요하다. 이를 무선 센서 네트워크에서 지원하기 위해서는 네트워크 내 모든 센서 노드들이 미리 지정된 공통 제어 채널 없이 서로 통신 가능한 채널을 스스로 선택하여 사용하도록 하는 것이다.

하지만, 공통 채널이 없다면 센서 노드들은 사용할 수 있는 모든 채널에 대해 채널 사용여부를 판단하고 다른 센서 노드와 링크를 구성하기 위해서 비컨을 주기적으로 전송하거나 수신하기 위해 대기하여야 한다. 따라서 채널수가 증가할수록 링크 설정 시간 역시 크게 증가하여 원활하게 네트워크 구성을 할 수 없게 된다.

지금까지 무선 센서 네트워크에서 자동으로 링크를 설정하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있지만, 일반적으로 간단한 알고리즘을 채택하고 있으므로 최적의 성능을 기대하기 어렵다²⁾. 반면 인지 라디오 네트워크 (Cognitive radio network, CRN)에서는 이에 대한 연구가 초기부터 중요한 주제로 활발히 연구되어 왔다. CRN은 기존 해당 채널에 대해 사용이 허가된 네트워크가 잠시 해당 채널을 사용하지 않는 기간 동안 이를 탐지해서 해당 채널을 허가되지 않은 사용자들이 사용하는 네트워크를 말한다^{5)[6][7]}. 따라서 사용하지 않는 채널을 정확하면서 빠르게 판단하기 위한 방법들이 개발되어 왔으므로 이를 무선 센서 네트워크에 활용하면 적합한 채널을 효율적으로 찾아 고속으로 링크를 설정하는 것이 가능하게 된다.

본 논문에서는 기존 CRN에서 사용된 링크 설정 알고리즘들을 무선 센서 네트워크에 적용하는 방법에 대해 설명하기로 한다. 또한 기존 알고리즘을 그대로 적용 시 최상의 성능을 얻을 수 없는 한계에 대해 설

명하고 이를 개선하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하기로 한다.

논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존 링크 설정 및 네트워크 구성 방식에 대해 설명하며, III장에서는 제안 방식을 설명하기로 한다. 또한 IV장에서는 모의실험 결과를 설명하고 V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 기존 링크 설정 및 네트워크 구성 방식

대규모 지역에 무선 센서 노드들이 분포되면 각 센서 노드는 주변에 있는 다른 센서 노드들과 통신을 수행하기 위해 서로 링크를 설정하여야 한다. 링크를 분산적으로 설정하는 가장 간단한 방법은 한 노드가 특정 채널로 비컨 메시지를 주기적으로 전송하면 이를 다른 주변 노드가 듣고 응답 메시지를 전송하는 것이다. 따라서 비컨을 전송하는 노드가 비컨을 전송하기 위해 선택한 채널과 비컨을 수신할 노드가 선택한 채널이 동일하여야 한다.

두 노드가 동일하게 채널을 선택한 경우, 이미 해당 채널이 다른 네트워크에 의해 사용이 되고 있다면, 해당 채널을 사용하여 링크 설정을 할 수 없으므로 다른 비어 있는 채널을 선택하여야 한다. 따라서 비컨을 전송하는 노드는 다음과 같이 동작하여야 한다. 특정 채널을 선택하고 일정 시간 동안 센싱하여 다른 네트워크에서 이미 사용 중인 채널인지를 알아보고, 채널이 비어 있는 것으로 판단되면 비컨을 전송한다. 그리고 일정 시간 동안 비컨에 대한 응답이 오는지를 기다린다. 링크 설정이 실패하면 다른 채널을 선택하고 이 과정을 반복한다.

반면 비컨 수신 노드는 특정 채널을 선택한 후, 채널 사용 여부를 판단하기 위해서 일정 시간 동안 채널을 센싱하게 된다. 채널 센싱 후, 빈 채널로 판단되면 비컨 패킷 수신을 위해 일정 시간 동안 기다린다. 만일 비컨 패킷을 수신하게 되면 응답 패킷을 전송하고 링크가 설정된다. 비컨 패킷을 수신하지 못하면, 다시 새 채널을 선택하고, 채널 센싱, 비컨 수신을 반복하게 된다.

예를 들어 그림 1에서 비컨 전송 노드와 수신 노드가 채널 2와 5를 선택하였다고 가정하자. 이제 두 노드는 채널을 센싱하고 두 노드 모두 채널이 비어 있다고 판단하면 비컨 송신과 수신을 시도하게 된다. 하지만 서로 다른 채널을 선택하였으므로 링크 설정을 할 수 없다. 만일 채널 5를 공통으로 선택하였다고 하자.

이때 두 노드가 채널이 비어있다고 판단하면 성공

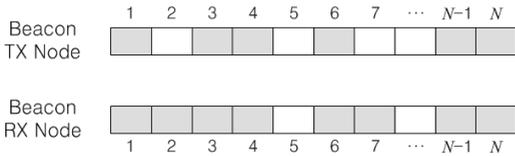


그림 1. 비컨 전송 및 수신 노드의 가용 채널 상태. 숫자는 채널 번호, 흰색 채널은 가용 채널을 의미
 Fig 1. Channel availability at beacon transmitting and receiving nodes. Each number shows a channel ID and a free channel is represented by a white box.

적으로 링크를 설정하게 된다. 반면, 비컨 송신 노드는 채널이 비었다고 판단하였으나, 비컨 수신 노드는 채널 센싱의 오차로 인해 채널이 점유되어 있다고 판단할 수 있다. 이 경우, 동일 가용 채널을 선택하였다 라도 링크 설정을 할 수 없다.

따라서, 링크 설정 속도는 채널 선택 방식, 채널 센싱의 정확도 등 다양한 요소에 의해 결정된다. 본 논문에서는 각 노드가 다음 채널을 어떻게 선택할 것인가에 따라 링크 설정 성능이 어떻게 영향 받는 지를 알아보기로 한다.

채널을 선택하는 방법에는 다음과 같이 크게 과도 검색, 임의 검색, 순차 검색으로 나눌 수 있다⁴⁾. 각 방식에 대한 세부적인 프로토콜은 다음과 같다.

2.1 과도 프로토콜

과도 프로토콜 방식은 과도 검색 방식을 사용하여 채널을 선택한다. 즉 비컨 전송 노드는 가장 낮은 주파수의 채널부터 가장 높은 채널까지 순차적으로 비컨을 전송한다. 설명을 간단히 하기 위해서 두 무선 센서 노드가 있는 경우를 고려하도록 한다. 단, T_{slot} 은 프로토콜의 기본 시간 단위인 한 슬롯의 길이이며 $T_{sensing}$ 은 채널을 변경하고 채널을 센싱 후, 채널 점유 여부를 판단하는데 소요되는 시간이라 하자.

이제 한 노드가 비컨을 전송하고 다른 노드가 비컨을 수신하는 상황을 가정한다. 비컨 전송 노드는 가장 낮은 채널에 대해 다른 네트워크에서 사용하고 있는 지를 $T_{sensing}$ 동안 검사한다. 채널이 사용되지 않는다고 판단하면 노드는 비컨 패킷을 전송 후, 이에 대한 응답을 기다린다.

비컨을 전송하고 응답을 기다리는 과정은 응답 패킷을 비컨 전송 노드가 수신할 때까지 반복되며, 응답 패킷을 수신하지 못한 경우에는 최대 $T_{slot} - T_{sensing}$ 시간 동안 반복된다. 이 시간 동안 응답 패킷을 수신하지 못하면 비컨 전송 노드는 다음으로 높은 채널을 선택하고, 채널 센싱과 비컨 전송을 다시 수행하게 된다. 따라서 한 채널에 대해 최대 T_{slot} 시간이 소요된다. 만

일 채널이 사용되는 것으로 판단되면 채널 센싱 후 바로 다음 채널로 이동하므로 $T_{sensing}$ 시간만이 소요된다.

이 과정은 응답 패킷을 받을 때까지 반복하게 되며, 모든 채널에 대해 실패할 경우, 가장 낮은 채널부터 다시 시작하게 된다. 총 채널의 수를 N 이라 할 때, N 개의 채널 중 현재 점유되어 사용 중인 것으로 판단된 채널들의 총 수를 U 라 하면 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot T_{slot}$ 으로 주어진다. 기본적으로 $T_{sensing} \ll T_{slot}$ 이므로, 총 채널 검색 시간은 전체 채널 수인 N 에 비례한다고 할 수 있다. 예를 들어, $T_{sensing} = 0.1 \cdot T_{slot}$ 이라고 하면 총 채널 검색 시간은 $T_{slot} \cdot (N-0.9 \cdot U)$ 이므로, U 가 상수라면 총 채널 검색 시간은 N 에 비례한다.

비컨 수신 노드는 가장 낮은 채널부터 선택하여 $T_{sensing}$ 시간 동안 해당 채널이 다른 네트워크에 의해 사용되고 있는 지를 판단한다. 이제 채널이 사용되지 않는다고 판단하면, 비컨을 수신하기 위해 최대 T_{wait} 시간 동안 대기한다. 여기서 $T_{wait} = N \cdot T_{slot}$ 이다. T_{wait} 내에 비컨 패킷을 수신하게 되면 응답 패킷을 전송하고 링크를 설정하게 된다. 만일 T_{wait} 시간 동안 비컨을 수신하지 못하면 다음 채널을 선택하고 다시 채널 센싱, 비컨 수신을 반복하게 된다.

따라서 총 채널의 수를 N , 현재 점유되어 사용 중인 것으로 판단된 채널을 U 라고 하면 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot N \cdot T_{slot}$ 으로 주어진다. 따라서 채널 검색 시간은 $N^2 \cdot T_{slot}$ 에 비례한다고 할 수 있다.

2.2 임의 프로토콜

임의 프로토콜은 과도 프로토콜과 달리 다음 채널을 확률적으로 선택한다. 비컨 전송 노드는 N 개의 채널 중 임의로 하나의 채널을 선택하고 $T_{sensing}$ 동안 채널 센싱을 수행한 후 채널이 사용되지 않는다고 판단되면 $T_{slot} - T_{sensing}$ 시간 동안 비컨 패킷을 전송하고 응답 패킷을 기다리는 작업을 반복한다.

응답 패킷을 수신하면 링크 설정이 완료되고, 응답 패킷을 수신하지 못하면 임의로 선택한 다음 채널에 대해 위 과정을 반복하게 된다. 따라서 총 채널의 수를 N , 현재 점유되어 사용 중인 것으로 판단된 채널을 U 라고 하면, 과도 프로토콜과 마찬가지로, 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot T_{slot}$ 으로 주어지며, 전체 채널 수 N 에 비례한다고 할 수 있다.

비컨 수신 노드 역시 비컨 전송 노드와 마찬가지로 임의로 선택된 채널에 대해 비컨 수신을 시도한다. 이때, 비컨 수신을 $T_{slot} - T_{sensing}$ 보다 좀 더 긴 시간 동안

수신을 시도하는 것이 유리하다고 알려져 있다⁴⁾. 본 논문에서는 최적으로 알려진 $5 \cdot T_{slot} - T_{sensing}$ 동안 비컨 수신하는 것으로 가정한다⁴⁾. 따라서 비컨 수신 노드에 대해 전체 채널을 수신하는데 소요되는 시간은 $U \cdot T_{sensing} + 5 \cdot (N-U) \cdot T_{slot}$ 으로 과도 프로토콜에 비해 시간이 증가하게 된다.

2.3 순차 프로토콜

순차 프로토콜은 기본적으로 과도 프로토콜과 유사하다. 모든 노드들은 채널을 가장 낮은 채널에서 높은 채널로 순차적으로 채널을 선택한다. 다만, 가장 높은 마지막 채널을 선택 후 다시 가장 낮은 첫 채널을 선택하는 대신, 하나씩 채널을 감소하는 방식으로 채널을 선택한다. 즉, 반대 순서로 채널을 선택하게 된다. 최종적으로 가장 낮은 채널을 선택하면 다시 순차적으로 증가하는 방식으로 채널을 선택한다.

다른 프로토콜과 마찬가지로 비컨 전송 노드는 채널을 선택한 후, $T_{sensing}$ 시간 동안 채널이 사용되고 있는지를 판단한다. 비어 있는 채널이면 $T_{slot} - T_{sensing}$ 동안 비컨 전송과 응답 수신을 반복한다. 응답 패킷을 수신하게 되면 링크를 설정, 완료하게 되고, 수신하지 못하면 다음 순서의 채널을 선택하고 다시 채널 센싱을 하게 된다. 총 채널의 수를 N , 현재 점유되어 사용 중인 것으로 판단된 채널을 U 라고 하면 과도 프로토콜이나 임의 프로토콜과 마찬가지로, 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot T_{slot}$ 으로 주어지므로, 총 검색 시간은 N 에 비례한다고 할 수 있다.

비컨 수신 노드는 임의로 채널을 선택하면, $T_{sensing}$ 동안 채널이 비어 있는지를 검사하고, 사용되지 않고 있는 채널이면 $T_{slot} - T_{sensing}$ 동안 비컨 수신을 시도하고, 비컨을 수신하게 되면 응답 패킷을 전송함으로써, 링크 설정을 완료하게 된다. 따라서 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot T_{slot}$ 으로 주어지므로, 총 검색 시간이 다른 방식에 비해 매우 짧게 된다는 장점이 있다.

2.4 네트워크 구성 및 링크 설정

네트워크를 구성하는 것은 각 노드들에 대한 링크 설정들이 이루어짐으로써 가능하다. 따라서 기본적으로 링크 설정 성능이 곧 네트워크 구성 성능을 결정한다. 예를 들면, 과도 프로토콜의 경우, 각 노드는 각

채널마다 $N \cdot T_{slot}$ 만큼 비컨 전송 노드가 있는지 대기한다. 만일 모든 채널에 대해 비컨 수신을 못하면 비컨 전송 노드가 된다. 이후 과정은 링크 설정 과정과 동일하다. 즉, 링크 설정에 대한 성능을 개선하면 네트워크 구성 성능 또한 개선됨은 자명하다. 또한 네트워크 구성 시간은 평균 링크 설정 성능이기 때문에 시간에 따른 링크 설정 시간의 변화 등을 알기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 링크 설정 성능에 대해 주로 비교하기로 한다.

III. 제안 방식

3.1 기존 방식의 문제점

기존 연구에 따르면 과도 프로토콜이 링크 설정 시 성능이 가장 뛰어난 것으로 알려져 있다. 표 1에서 보는 것과 같이 실제 시뮬레이션 결과에서도 과도 프로토콜이 타 방식에 비해 빠른 것을 알 수 있다. 시뮬레이션에서는 각 채널에 대해 50%가 이미 다른 네트워크에 의해 사용 중인 것으로 가정하였으며, 두 노드 사이의 링크 설정 시간을 총 100회 측정하여 평균값을 계산하였다.

즉 기존 연구 및 실험 결과에 따라 과도 프로토콜 방식을 사용하여 무선 센서 네트워크 구성을 하는 것이 가장 적합하다고 판단할 수 있다. 하지만, 실제 무선 센서 네트워크에 각 프로토콜을 적용한 결과는 표 2와 같다. 여기서, k 는 서로 간섭을 일으킬 수 있는 링크들의 평균 수로 다음과 같이 정의된다.

전송 거리 내에 위치한 노드 A 와 B 가 서로 링크를 설정하려 할 때 두 노드의 간섭 영역을 $I(A)$, $I(B)$ 라 하자. 이때 모든 노드에 대해 전송 거리, 간섭 거리는 동일하다고 가정하고 간섭 거리는 전송 거리의 두 배라고 하자. 이제 링크 AB 의 간섭 영역을 $I_{AB} = I(A) \cup I(B)$ 로 정의한다. 따라서 노드 A , B 의 다른 노드가 I_{AB} 에 위치하면 링크 AB 를 설정하는데 간섭을 줄 수 있게 된다. 따라서 I_{AB} 에 위치하여 링크 설정을 하거나 데이터 전송을 하는 노드들이 설정할 링크의 총 수를

표 1. 링크 설정시간 (초), 100채널 중 무작위로 선택된 50% 채널 점유
Table 1. Link setup time (sec). Randomly selected 50 channels are unavailable among 100 channels

Total channel number	Exhaustive protocol	Random protocol	Linear protocol
10	11.1	13.8	12.4
100	113.7	135.9	164.4

1) 빠른 채널 검색 속도가 빠른 링크 설정 속도를 의미하지는 않는다. 링크 설정 속도는 비컨 송신 노드의 총 채널 검색 성능, 채널 센싱의 정확도, 검색할 채널 선택 방식, 비어 있는 채널의 분포 및 총 수 등, 다양한 요소에 의해 결정되기 때문이다.

표 2. 평균 링크 설정 시간 (초), 100채널 중 무작위로 선택된 50% 채널 점유, 상호 간섭 링크의 평균 개수: k
 Table 2. Average link setup times (sec). Randomly selected 50 channels are unavailable among 100 channels where k is the average number of links which belong to the same interference region

k	Exhaustive protocol	Random protocol	Linear protocol
1	113.7	135.9	164.4
2	152.7	148.6	152.1
4	232.5	146.7	153.9
5	266.7	145.3	151.7

k 로 정의한다. 이때 링크 AB 도 k 에 포함되므로 k 는 1보다 크거나 같게 된다.

주파수 대역은 2.4GHz - 2.5GHz로 각 채널당 대역폭은 1MHz로 총 100채널을 사용하며 데이터 전송 속도는 250Kbps가 가정한다. 이제 실험을 위해서는 각 링크 설정 노드들에 대한 간섭 영역에 대해 평균 k 링크들이 설정되도록 배치하였다. 무선 센서 네트워크에서는 노드 밀도가 높게 배치되기 때문에 k 값이 일반적으로 크게 된다. 그리고 모든 노드들은 서로 독립적으로 동일한 프로토콜로 링크를 설정한다고 하자.

표 2의 실험 결과를 보면 알 수 있듯이 k 가 1인 경우, 즉 단 두 노드로 네트워크가 이루어진 경우에는 과도 프로토콜의 성능이 가장 우수하지만, k 가 증가할수록 다른 프로토콜 방식에 비해 성능이 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

그 이유를 알아보기 위해서 순서대로 링크가 설정될 때 각 링크가 설정되는데 걸리는 평균 시간을 측정하였다. 실험 결과는 표 3과 같으며, 지면 상 홀수 번째 링크 설정 시간만을 나타내기로 한다.

실험 결과를 보면 알 수 있듯이 과도 프로토콜의 링크 설정 시간은 링크가 설정될수록 선형적으로 증

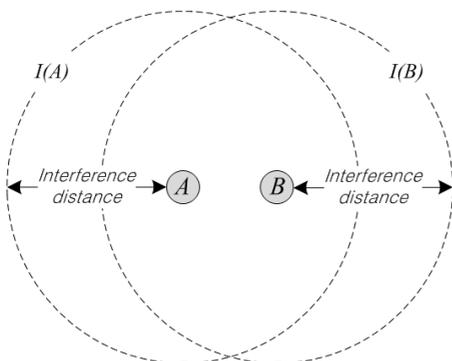


그림 2. 전송영역 내 두 노드에 대한 간섭영역
 Fig 2. Interference region for two nodes in the transmission range

표 3. 설정 링크 순서에 따른 링크 당 설정 시간 (초), 100채널 중 무작위로 선택된 50% 채널 점유
 Table 3. Link setup times according to the order of the setup finish time (s). Randomly selected 50 channels are unavailable among 100 channels

n th link	Exhaustive protocol	Random protocol	Linear protocol
1	113.5	135.7	164.2
3	266.5	133.4	154.9
5	403.5	139.5	142.9
7	605.2	160.6	122.3
9	756.2	169.0	160.2

가하는 것을 알 수 있다. 반면 임의나 순차 프로토콜의 경우, 링크 설정 시간이 설정된 링크의 수에 따라 증가하지 않고 천천히 증가하거나 일정 수준으로 유지가 되는 것을 알 수 있다.

이와 같은 결과는 과도 프로토콜에서 채널 설정이 낮은 채널에 집중적으로 이루어지기 때문이다. 따라서 다음에 설정될 링크는 먼저 설정된 링크의 채널을 피해 다음 사용하지 않는 채널을 사용하여 링크를 설정하여야 하고, 결국 채널 설정 시간이 길어지게 된다.

반면, 임의 프로토콜의 경우 임의로 채널을 선택하여 설정하기 때문에 특정 영역의 채널들이 집중적으로 사용되는 현상이 발생하지 않는다. 따라서 채널 설정 시간이 링크 설정이 진행됨에 따라 크게 증가하지 않는다. 순차 프로토콜의 경우에는 낮은 채널에서부터 검색을 시작하지만, 시간이 흐름에 따라 채널 검색의 방향이 서로 달라지기 때문에 낮은 채널 상에서 링크 설정이 집중되는 현상이 나타나지 않게 된다. 따라서 임의 프로토콜과 유사한 성능을 보임을 알 수 있다.

3.2 제안 프로토콜

제안 프로토콜은 과도 프로토콜처럼 k 가 1일 때에도 높은 성능을 발휘하며, 임의와 순차 프로토콜처럼 서로 간섭을 일으킬 수 있는 링크들의 수(k)가 증가함에 따라 성능 저하를 최소화하여야 한다.

이를 위해서 제안 알고리즘은 과도 프로토콜처럼 비컨 전송 노드는 선형적으로 채널을 검색하는 것이 유리하다. 대신, 채널 검색 속도를 높이기 위해서 한 채널에 대해 T_{slot} 보다 짧은 시간(τ_{slot})을 할당한다.

반면에 비컨 수신 노드는 임의 프로토콜처럼 무작위로 채널을 선택하도록 한다. 이는 선형적으로 채널을 탐색함으로써 발생하는 낮은 채널에 집중되는 링크 설정을 막기 위해서이다. 따라서 제안 프로토콜은 과도 프로토콜과 임의 프로토콜의 특성을 동시에 갖게 된다.

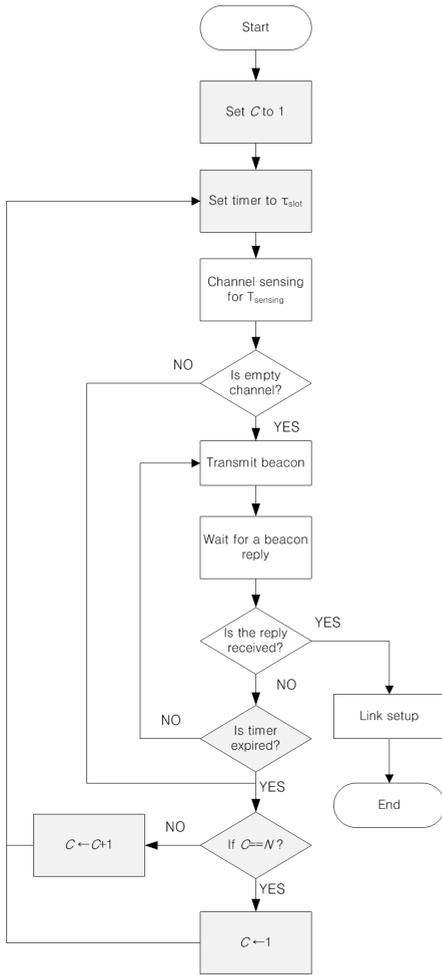


그림 3. 비컨 전송 노드에 대한 제안 프로토콜 방식. 제안알고리즘에 대한 부분은 회색으로 표시함.
 Fig 3. A flowchart for a beacon transmitting node using the proposed protocol. Grey colored boxes represent the proposed algorithm.

따라서 비컨 전송 노드의 경우, 총 채널의 수를 N , 현재 점유되어 사용중인 것으로 판단된 채널을 U 라고 하면 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot \tau_{slot}$ 으로 주어지므로, 총 검색 시간은 N 에 비례한다고 할 수 있다.

비컨 수신 노드는 임의로 채널을 선택하면 $T_{sensing}$ 동안 채널이 비어 있는지를 검사하고, 사용되지 않는 채널이면 $N \cdot T_{slot} - T_{sensing}$ 동안 비컨 수신을 시도 하며, 비컨을 수신하게 되면 응답 패킷을 전송함으로써 링크 설정을 완료하게 된다. 따라서 총 채널 검색 시간은 $U \cdot T_{sensing} + (N-U) \cdot N \cdot T_{slot}$ 으로 주어지므로, 총 검색 시간은 과도 프로토콜과 동일하게 된다. 비컨 전송 노드와 비컨 수신 노드에 대한 각 플로우 차트는 그림

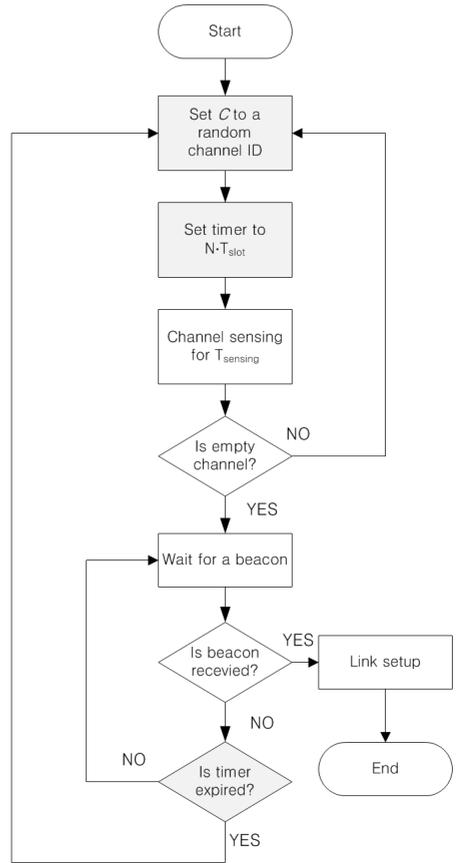


그림 4. 비컨 수신 노드에 대한 제안 프로토콜 방식. 제안알고리즘에 대한 부분은 회색으로 표시함.
 Fig 4. A flowchart for a beacon receiving node using the proposed protocol. Grey colored boxes represent the proposed algorithm.

3, 4와 같다.

IV. 모의 실험

N 개의 채널에 대해 실험을 수행하여 제안 방식과 기존 방식의 성능을 분석하도록 한다. 전체 채널 중 임의로 선택된 50%의 채널은 이미 다른 네트워크에서 사용하고 있다고 가정한다. 따라서 가용 채널 (R)은 $0.5N$ 이다. 또한, 한 채널에 대해 비컨 전송 노드와 수신 노드가 채널을 센싱하였을 때, 서로 동일한 채널 상태 값을 얻을 확률이 80%이며, 센싱 오차로 인해 20%의 확률로 다른 채널 상태를 얻는다고 하자. 또한 무선 센서 네트워크의 각 노드들은 라디오 인터페이스를 각각 2개씩 갖추었다고 가정한다. 노드는 총 100

개이며, 간섭 영역에 포함되는 평균 링크 수(k)에 따라 성능을 측정하였다. 모든 실험은 총 100회 반복 실행 하였으며 평균값을 구하였다. 또한 $T_{slot} = 0.2$ 초, $T_{sensing} = \tau_{slot} = 0.02$ 초로 설정하였다. 그 외 실험 환경은 3.1에서 사용한 환경과 동일하게 설정하였다.

그림 5는 총 채널의 수가 10개이고 50%가 사용되어 총 가용 채널이 5개일 때, 간섭 영역 내 평균 링크 수, k 를 1씩 증가하도록 토폴로지를 생성한 경우, 기존 프로토콜과 제안 프로토콜의 성능을 비교한 결과이다. 표를 보면 알 수 있듯이, 제안 프로토콜이 다른 프로토콜에 비해 매우 빠르게 링크를 설정하였다. k 가 증가할수록 기존 방식에서는 가장 빠른 순차프로토콜 방식에 비해서 30% 이상 나은 성능을 보임을 알 수 있다.

과도프로토콜의 경우 비컨 전송 노드와 수신 노드 모두 낮은 채널부터 검색을 하므로 초기에는 링크 설정이 빠르나 k 가 커짐에 따라 낮은 채널이 집중적으로 사용되면서 점점 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 반면 임의프로토콜이나 순차 프로토콜의 경우에는 새로 선택될 채널이 낮은 채널로 집중되는 현상이 덜하기 때문에 k 가 커져도 성능이 떨어지는 정도가 매우 낮은 반면 k 가 1인 경우에는 과도프로토콜에 비해 떨어지는 성능을 나타냄을 알 수 있다.

반면 제안 프로토콜은 과도와 임의 프로토콜의 특성을 동시에 가짐으로써 채널 할당이 전 채널 영역 상에서 빠른 속도로 고르게 이루어지기 때문에 k 에 상관없이 높은 링크 설정 성능을 가짐을 알 수 있다.

다음 그림 6은 검색 채널의 수가 100이며, 가용 채널이 50개일 때 성능을 나타낸 것이다. 마찬가지로 기존 방식에 비해 가장 나은 성능을 보임을 알 수 있다.

제안 방식이 기존 과도 프로토콜의 장점은 그대로

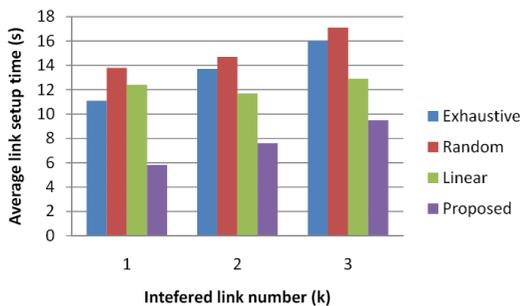


그림 5. 간섭 링크 수 (k)에 따른 평균 링크 설정 시간 (초). 단, $N=10$, $R=5$
 Fig 5. The average link setup time according to k , the average number of links which belong to the same interference region where $N=10$, $R=5$

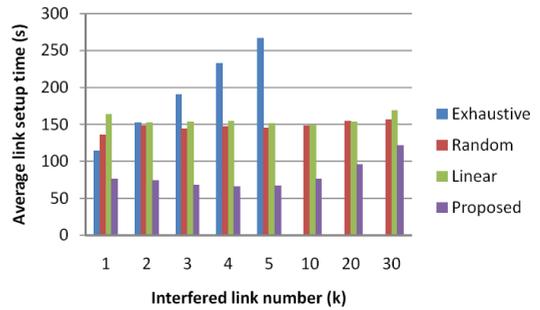


그림 6. 간섭 링크 수 (k)에 따른 평균 링크 설정 시간 (초). 단, $N=100$, $R=50$
 Fig 6. The average link setup time according to k , the average number of links which belong to the same interference region where $N=100$, $R=50$

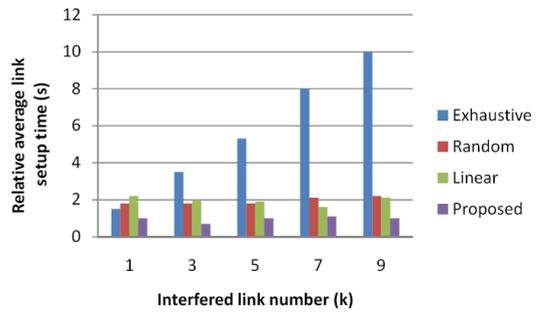


그림 7. 간섭 링크들의 설정되는 순서에 따른 상대적인 평균 설정 시간 (초), $N=10$, $k=10$, 제안 프로토콜을 사용한 경우, 첫 링크의 평균 설정 시간=1)
 Fig. 7. The relative average link setup times according to the order of the setup finish time (s), where $N=10$, $k=10$ when the fastest link setup time is assumed to be 1.0

유지하며 단점을 해결하는지를 관찰하기 위해서 간섭 링크들이 하나씩 설정이 될 때 시간을 측정하였다. 그림 7은 제안 프로토콜의 첫 링크의 설정 시간을 1이라 할 때, 각 프로토콜 별 상대적인 성능을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 제안 프로토콜은 과도 프로토콜과 달리 링크들이 설정되더라도 링크들의 설정 시간이 크게 증가하지 않고 일정 범위 내에서 유지됨을 알 수 있다. 특히 k 가 9일 때에는 과도 프로토콜 대비 10배 성능 차이가 난다. 따라서 과도 프로토콜의 단점을 해결함으로써, 다양한 환경에서 항상 높은 링크 설정 성능을 제공할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

무선 멀티미디어 센서 네트워크에서 효율적인 고성능 데이터 전송을 하기 위해서는 무선 센서 네트워크의 환경에 맞게 최적의 채널을 찾기 위한 기술이 필요

하다. 이를 위해 본 논문에서는 인지 라디오 네트워크에서 연구되어 온 공통 제어 채널 없이 링크 설정하는 프로토콜들의 성능을 분석하고 문제점을 개선한 새로운 프로토콜을 제안하였다. 제안 방식은 기존 방식에 비해 밀도가 매우 높은 토폴로지 상에서도 큰 성능 저하 없이 빠르게 링크를 설정할 수 있다. 또한 제안 프로토콜은 무선 센서 네트워크 뿐 만 아니라 기존 인지 라디오 네트워크에서도 충분히 사용될 수 있으므로, 빠른 네트워크 구성이 필요한 다양한 무선 네트워크에 적용되길 기대한다.

References

[1] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, "Wireless multimedia sensor networks: A survey," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 6, pp. 32-39, 2007.

[2] ZigBee Standards Organization, *ZigBee Specification*, Retrieved Nov., 13, 2013, from <http://www.zigbee.org>.

[3] M. Rahimi, R. Baer, O. I. Iroezzi, J. C. Garcia, J. Warrior, D. Estrin, and M. Srivastava, "Cyclops: In situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks," *ACM SenSys*, pp. 192-204, Nov. 2005.

[4] Y. R. Kondareddy, R. Agrawal and K. Sivalingam, "Cognitive radio network setup without a common control channel," *IEEE MILCOM*, pp. 1-6, Nov. 2008.

[5] Q. Zhao and B.M. Sadler, "A survey of dynamic spectrum access: Signal processing, networking, and regulatory policy," *IEEE Signal Processing Mag.*, May 2007.

[6] Bruce A. Fette, "Cognitive radio technology," Elsevier Press, pp. 635-644, 2009.

[7] K. -W. Choi, W. Pak, and Y. -J. Choi, "Geolocation channel-setup protocol for cognitive radio in tactical trunk systems," *J. KICS*, vol. 35, no. 10, pp. 1504-1511, 2010.

박 우 길 (Wooguil Pak)



2000년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업

2002년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사

2009년 1월 : 삼성시큐아이 연구소 과장

2009년 8월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사

2010년 2월~2013년 2월 : 아주대학교 장위 국방 연구소 연구교수

2013년 3월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 조교수
<관심분야> 사물지능통신, 네트워크/시스템 보안