

대용량 무선 센서 네트워크를 위한 개선된 고속링크설정 알고리즘

김변곤 · 정경택*

Improved Fast Link-Setup Protocol for high-capacity Wireless Sensor Networks

Byun-gon Kim · Kyung-taek Chung*

Department of Electronic Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

요 약

무선 센서 네트워크에서 대용량의 데이터를 효율적으로 전송하기 위해서 가장 적합한 채널을 선택하는 것이 중요하다. 무선 센서 노드가 사용할 채널을 고정하는 경우 주파수 부족 문제가 발생할 수 있고 다양한 환경을 지원하는데 큰 제약이 될 수 있다. 본 논문에서는 기존 무선 인지 라디오 네트워크에서 사용하는 공통 제어 채널 없이 두 노드가 서로 사용 가능한 채널을 찾기 위한 방식을 도입하여 무선 센서 네트워크의 채널을 효율적으로 이용하고자 한다. 기존 방식의 문제점으로 채널 설정 링크간의 간섭으로 인하여 성능이 크게 저하됨을 보이고 이를 개선하기 위해 임의 순차 알고리즘을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안 방식은 간섭으로 인한 비컨 패킷 수신 대기 시간을 현저하게 줄일 수 있어 간섭 링크 수가 증가할수록 다른 방식에 비해 50% 이상 빠르게 링크를 설정할 수 있다.

ABSTRACT

It is important to select the most appropriate channel for efficient transmission of massive data in wireless sensor network. In the fixed channel method for wireless sensor node, shortage of frequency may be a major constraint to support a variety of environments. In this paper, the method that seeks common channels between two nodes without common control channels in the existing wireless cognitive radio network is introduced in order to use efficiently the channel of wireless sensor network. The problem of existing method shows the severe degradation of performance that is caused by interference of linkage between selected channels, so that the sequential algorithm is suggested to improve the performance. From the results of computer simulation, the suggested method shows that the link can be set 50% faster than the other methods as the number of links increases because the beacon packet waiting time caused by the interference decreases remarkably.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 무선 인지 라디오 네트워크, 링크 설정, 간섭

Key word : Wireless Sensor Network, Cognitive Radio Network, Link Setup, Interference

Received 02 November 2016, Revised 03 November 2016, Accepted 07 November 2016

* Corresponding Author Kyung-taek Chung(E-mail: eoe604@kunsan.ac.kr, Tel: +82-63-469-4685)

Department of Electronic Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2016.20.12.2387>

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. 서 론

무선 센서 네트워크는 넓은 지역에 걸쳐서 조밀하게 배치되어 있는 작은 센싱 장치들로 구성된 네트워크이다. 최근 무선 기술의 성장으로 온보드 처리 및 통신 기능을 탑재하고 있는 저가의 저전력 마이크로 센싱 장치의 생산을 가능하게 만들고 있다. 이러한 제한적인 자원을 가지고 있는 센서 기술을 활용하여 대용량의 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)를 구축할 수 있는 기술이 필요하다[1,2].

무선 멀티미디어 센서 네트워크에서 대용량의 데이터 전송을 위해서는 여러 개의 고성능 라디오 인터페이스를 사용해야 한다. WBAN (Wireless Body-Area Network)와 같은 네트워크에서는 각각의 인터페이스에 고정된 채널을 사용할 수 있다. 그렇지만 고정된 채널을 할당하는 것은 주파수 부족 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 비라이센스 대역의 채널을 다른 네트워크와 공유로 사용하게 된다. 따라서 무선 센서 노드에서 미리 지정된 공통 제어 채널 없이 서로 통신 가능한 채널을 검색하여 사용하는 것이 필요하다[3,4].

지금까지 인지 라디오 네트워크(CRN: Cognitive Radio Network)에서 자동으로 링크를 설정하는 방법에 대한 연구가 중요한 주제로 활발히 연구되어 왔다. 인지 라디오 네트워크는 유한한 자원인 주파수 자원을 보다 효율적으로 이용하기 위해 등장한 기술이다. 스펙트럼 감지(spectrum sensing) 인지 라디오 네트워크에서는 주파수 사용을 허가받지 않은 이차 사용자(secondary user)가 주파수 사용이 허가된 일차 사용자(primary user)의 신호를 감지하여 일차 사용자가 주파수를 사용하지 않는다고 판단하면 그 때 해당 주파수를 사용하는 방법이다[5-7]. 따라서 사용하지 않는 채널을 정확하면서 빠르게 센싱하는 기술이 개발되어 왔으므로 이를 대용량의 무선 센서 네트워크에 활용하면 고속의 링크 설정이 가능하다.

본 논문에서는 기존 CRN에서 사용된 링크 설정 알고리즘을 살펴보고, 채널 설정 과정에서 링크 간의 간섭이 심한 환경에서 기존의 알고리즘의 문제와 한계를 개선하기 위한 개선된 임의 순차 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 임의 순차 검색 알고리즘의 특징은 크게 세 가지로 요약될 수 있다. 첫 번째는 채널 설정을 위한 비컨 전송 후 응답 대기 시간을 줄여 보다 빠

른 채널 설정이 가능하도록 하였다. 두 번째는 수신 노드에서 비컨 수신 대기 시간동안에 채널을 다시 센싱하여 간섭 링크로 인하여 채널이 사용되는 경우에 빠르게 다른 채널로 변경할 수 있도록 하였다. 이러한 방식은 비컨 수신 대기 시간동안에 간섭 링크로 인하여 채널이 사용되는 경우에 기존의 알고리즘에서는 설정 시간동안 대기하고 있는 문제가 있지만, 제안된 알고리즘에서는 빠르게 다른 채널을 센싱하고 비컨 수신을 대기 할 수 있다. 마지막으로 세 번째 특징은 간섭 링크의 수가 증가하여 순차 검색으로 인한 채널 경쟁상황을 줄이기 위해 채널 설정 시작 시 임의로 채널을 선택하고 이후에는 순차방식으로 채널을 선택하여 간섭 링크의 수가 증가하는 경우에도 빠르게 채널을 설정할 수 있도록 하였다.

II. 관련 연구

지역에 분포되어 있는 무선 센서 송신 노드에서 주변에 있는 다른 수신 노드와 링크를 설정하는 방법은 다음과 같다. 송신 노드가 특정 채널로 비컨 패킷을 주기적으로 전송하면 이를 주변의 수신 노드가 듣고 응답 패킷을 전송하는 것이다. 따라서 비컨을 전송하는 송신 노드와 비컨을 수신할 수신 노드가 동일한 채널을 선택해야 한다. 또한 선택한 채널이 이미 사용되고 있다면 채널을 설정할 수 없으므로 송신 노드는 다음과 같이 동작해야 한다. 송신 노드는 특정 채널을 선택하고 일정 시간 동안 센싱하여 채널의 사용여부를 검사한다. 채널이 비어 있는 것으로 판단되면 비컨 패킷을 전송하고 일정 시간 동안 비컨 패킷에 대한 응답 패킷이 수신되기를 기다린다. 일정 시간 동안 비컨 응답 패킷이 수신되지 않으면 다른 채널을 선택하고 위 과정을 반복한다.

반면에 비컨을 수신할 수신 노드는 특정 채널을 선택하여 일정 시간 동안 센싱하여 채널의 사용여부를 검사한다. 채널이 비어 있는 것으로 판단되면 비컨 패킷 수신을 위해 일정 시간 동안 기다린다. 비컨 패킷 수신 대기 시간 동안에 비컨 패킷을 수신하게 되면 응답 패킷을 전송하여 링크가 설정지만, 비컨 패킷을 수신하지 못하면, 다른 채널을 선택하고 위 과정을 반복한다[3].

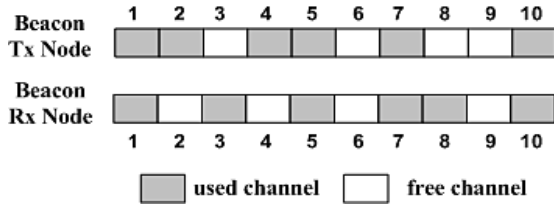


Fig. 1 Channel availability

예를 들어 그림 1에서 비컨 전송 노드는 채널 3이 비어있다고 판단하고 비컨 패킷을 전송한다. 그렇지만 비컨 수신 노드에서는 채널 3이 사용되고 있으므로 비컨 패킷을 수신할 수 없게 된다. 또한 비컨 수신 노드에서 채널 2가 비어있다고 판단하여 비컨 패킷을 수신 대기할 경우에도 채널이 설정되지 않는다. 만일 채널 6을 공통으로 선택하였다고 가정하고 두 노드가 채널이 비어있다고 판단하면 성공적으로 링크를 설정할 수 있다. 그렇지만, 채널 센싱 오차로 인해 채널이 점유되었다고 판단되는 경우에도 링크를 설정할 수 없게 된다. 따라서, 링크 설정 속도는 채널 선택 방식, 채널 센싱의 정확도, 비컨 패킷 수신 대기 시간 및 응답 패킷 수신 대기 시간 등 다양한 요소에 의해 결정된다.

본 논문에서는 각 노드가 다음 채널의 선택 방식, 비컨 패킷 및 응답 패킷 수신 대기 시간 등에 따라 링크 설정 시간에 어떤 영향을 받는지를 알아보기로 한다. 채널을 선택하는 방법에는 다음과 같이 크게 과도 검색 알고리즘, 순차 검색 알고리즘, 임의 검색 알고리즘으로 나눌 수 있다[4]. 각 방식에 대한 세부적인 알고리즘은 다음과 같다.

2.1. 과도 검색 알고리즘

과도 검색 알고리즘은 가장 낮은 주파수 채널부터 가장 높은 채널까지 순차적으로 채널을 선택하고 모든 채널에서 실패할 경우, 가장 낮은 채널부터 다시 시작하는 방식이다.

비컨 송신 노드는 가장 낮은 채널에 대해 다른 노드에서 사용하고 있는지를 채널 센싱 시간 T_{sen} 동안 검사한다. 채널이 비어 있다고 판단하면 송신 노드는 비컨 패킷을 전송하고 응답 패킷 수신을 $T_{waitack}$ 동안 대기한다. 응답 패킷 수신 대기 시간은 최대 $T_{slot} - T_{sen}$ 이며 T_{slot} 은 프로토콜의 기본 단위인 슬롯 시간이다. 따라서 총 채널의 수를 N 이라 하고 사용 중인 채널

의 수를 U 라 하면 모든 채널의 검색 시간은 $U \times T_{sen} + (N - U)(T_{waitack} + T_{sen})$ 가 되며 전체 채널수인 N 에 비례한다.

비컨 수신 노드는 가장 낮은 채널부터 선택하여 T_{sen} 시간 동안 해당 채널을 센싱하여 채널이 사용되지 않고 있다고 판단되면 비컨 패킷을 수신하기 위해 최대 T_{wait} 시간 동안 대기하며, $T_{wait} = N \times T_{slot}$ 이다. 따라서 비컨 수신 노드에서 모든 채널을 검색하는 시간은 $U \times T_{sen} + (N - U) \times (N \times T_{slot} + T_{sen})$ 가 되며 N^2 에 비례한다.

2.2. 순차 검색 알고리즘

순차 검색 알고리즘은 과도 검색 알고리즘과 같이 가장 낮은 주파수 채널부터 가장 높은 채널까지 순차적으로 채널을 선택하지만, 모든 채널에서 실패할 경우에 가장 높은 채널부터 가장 낮은 주파수 채널까지 다시 시작하는 방식이다. 순차 검색 알고리즘은 과도 검색 알고리즘과 같은 대기 시간을 가지며 비컨 송신 노드에서의 모든 채널의 검색 시간은 과도 검색 알고리즘과 같은 $U \times T_{sen} + (N - U)(T_{waitack} + T_{sen})$ 이며 비컨 수신 노드에서의 모든 채널 검색 시간도 과도 검색 알고리즘과 같다.

2.3. 임의 검색 알고리즘

임의 검색 알고리즘은 다음 채널을 확률적으로 선택한다. 비컨 전송 노드는 N 개의 채널 중에서 임의로 하나의 채널을 선택하고 채널 센싱 시간 T_{sen} 동안 채널을 센싱하여 채널이 사용되지 않고 있다고 판단되면 비컨 패킷을 전송하고 비컨 응답 패킷의 수신을 $T_{slot} - T_{sen}$ 시간 동안 기다린다. 따라서 모든 채널을 검색하는 시간은 $U \times T_{sen} + (N - U)(T_{waitack} + T_{sen})$ 이다.

비컨 수신 노드 역시 비컨 전송 노드와 마찬가지로 임의로 선택된 채널에 대해 채널을 센싱하고 비컨 패킷 수신을 대기한다. 비컨 수신 노드에서 비컨 패킷 수신 대기 시간은 $T_{slot} - T_{sen}$ 보다 좀 더 긴 시간이 유리하며, 최적으로 알려진 시간은 $5 \times (T_{slot} - T_{sen})$ 이다. 따라서, 비컨 수신 노드에서 전체 채널의 검색 시간은 $U \times T_{sen} + (N - U)(5 \times (T_{slot} - T_{sen}) + T_{sen})$ 가 된다.

III. 제안한 검색 알고리즘

3.1. 채널 설정 링크의 간섭

무선 센서 네트워크 내의 모든 노드의 전송거리와 간섭거리가 같다고 가정한다. 또한, 간섭거리는 전송거리의 두 배가 된다고 가정하면 그림 2와 같이 전송 거리 내에 위치한 노드 A와 B가 서로 링크를 설정하려 할 때 간섭 영역은 I(A)와 I(B)이다. 간섭 영역 안에 있는 노드 C와 D의 채널 설정 과정이나 데이터 송수신은 링크 AB를 설정하는 과정에 링크 간섭을 발생시킨다.

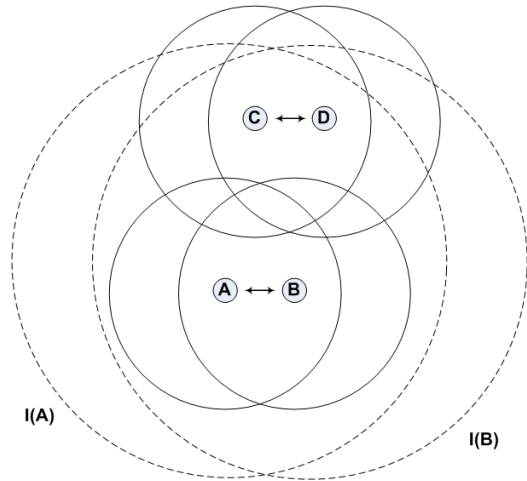


Fig. 2 Interference range for two nodes

간섭 링크의 수가 채널 설정시간에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 채널의 수가 100개이며 각 채널에 대해 50%가 이미 사용 중인 것으로 가정하였으며, 두 노드사이의 링크 설정 시간을 총 100회 측정하여 평균값을 계산하였다. 간섭 링크의 수 k 는 1 ~ 31까지 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였으며 그림 3은 기존 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림 3의 시뮬레이션 결과를 보면 과도 검색 알고리즘과 순차 검색 알고리즘은 일정한 순서로 채널을 검색하기 때문에 간섭채널의 영향을 많이 받아서 간섭 채널의 수가 증가할수록 채널 설정 시간이 크게 나타나고 있다. 그러나 임의의 검색 알고리즘은 검색 채널을 임의로 선택하기 때문에 간섭채널에 의한 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

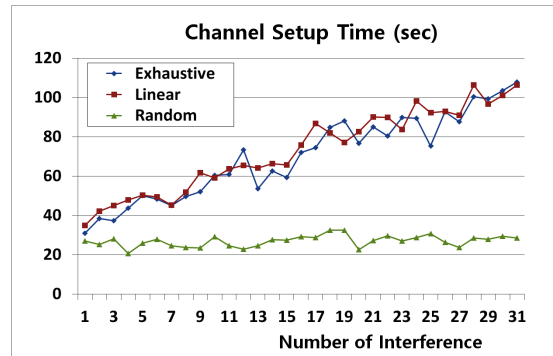


Fig. 3 The average link setup time

그리고 임의의 검색 알고리즘의 채널 설정 시간이 과도 검색이나 순차 검색 알고리즘에 비하여 작은 이유는 비컨 패킷 수신 노드에서 비컨 패킷 수신 대기 시간이 작기 때문이다. 임의의 검색 알고리즘의 비컨 패킷 수신 대기 시간은 $5 \times (T_{slot} - T_{sen})$ 인데 비하여 과도 검색 알고리즘과 순차 검색 알고리즘의 비컨 패킷 수신 대기 시간은 $100 \times T_{slot}$ 이다. 이러한 기존 검색 알고리즘의 분석 결과를 기반으로 다음과 같은 임의의 순차 검색 알고리즘을 제안하였다.

3.2. 제안된 임의의 순차 검색 알고리즘

제안된 검색 알고리즘은 간섭 링크 수가 작을 경우에도 높은 성능을 발휘하고, 간섭 링크 수가 증가할 경우에도 임의의 검색 알고리즘과 같이 성능 저하를 작게 해야 한다. 제안 검색 알고리즘에서는 채널 검색을 시작할 경우에는 임의로 하나의 채널을 선택하여 채널 센싱을 시작하고 그 이후에는 순차 검색 알고리즘과 같은 방식으로 채널을 선택한다. 이는 채널 검색을 시작할 때 검색 채널을 분산 할 수 있는 효과를 기대할 수 있을 것이다. 비컨 패킷 송신 노드는 그림 4와 같이 임의의 순차 검색 방식으로 선택된 채널에 대해 채널 센싱 시간 T_{sen} 동안 센싱하여 사용 여부를 검사한다. 채널이 비어 있다고 판단하면 송신 노드는 비컨 패킷을 전송하고 비컨 응답 패킷 수신을 대기한다. 응답 패킷 수신 대기시간은 기본 슬롯 시간 T_{slot} 보다 작은 $T_{waitAck}$ 시간으로 하였다. 따라서 총 채널의 수를 N 이라 하고 사용 중인 채널의 수를 U 라 하면 모든 채널의 검색 시간은 $U \times T_{sen} + (N - U) \times (T_{waitAck} + T_{sen})$ 가 되며 N 에 비례한다.

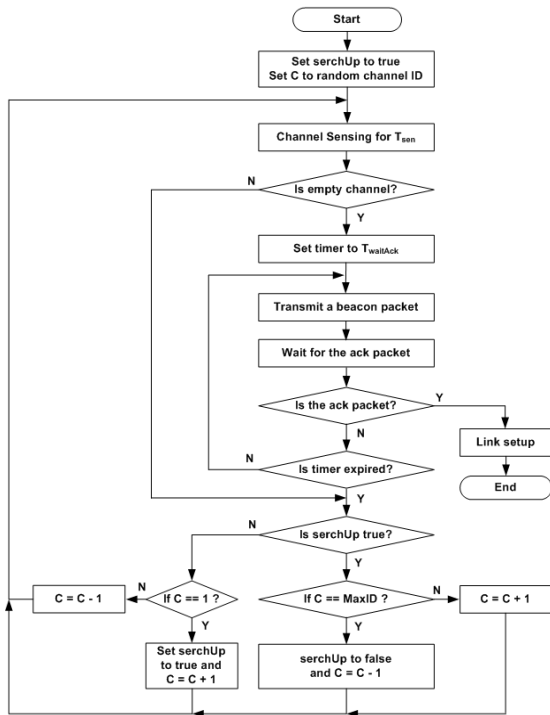


Fig. 4 A flowchart for a beacon transmitting node using the proposed protocol

비컨 수신 노드는 그림 5와 같이 임의의 순차 검색 방식으로 선택된 채널에 대해 채널 센싱 시간 T_{sen} 동안 센싱하여 사용 여부를 검사한다. 해당 채널이 사용되지 않고 있다고 판단되면 비컨 패킷을 수신하기 위해 최대 T_{wait} 시간 동안 대기한다. 비컨 패킷 수신 대기 시간 $T_{wait} = N \times T_{slot}$ 이다. 따라서 비컨 패킷 수신 노드에서 모든 채널을 검색하는데 소요되는 전체 시간은 $U \times T_{sen} + (N - U) \times (N \times T_{slot} + T_{sen})$ 가 되며 N^2 에 비례한다. 비컨 수신 대기 시간이 충분히 크면 송신 노드에서 모든 채널을 검색하여 비컨을 전송할 수 있는 시간 동안 수신 대기할 수 있지만, 비컨 수신 대기 시간 동안에 간섭 링크에 의해서 해당 채널이 사용되어 질 수 있다. 이러한 경우가 발생하면 채널 설정 시간이 커지는 단점이 있기 때문에, 제안된 검색 알고리즘에서는 해당 채널을 다시 센싱하기 위한 채널 리 센싱 대기 시간 $T_{waitReSen}$ 을 설정하였다. 채널 리 센싱 대기 시간이 경과하면 해당 채널을 다시 센싱하고 채널이 비어있다고 판단되면 계속 대기하고 그렇지 않으면 다음 채널을

검사하였다. 따라서 제안된 검색 알고리즘의 비컨 수신 대기 시간은 과도 검색 알고리즘과 같지만 비컨 수신 대기 시간의 중간에 해당 채널을 다시 검사함으로써 간섭 링크의 증가로 인한 성능저하를 최소화 하였다.

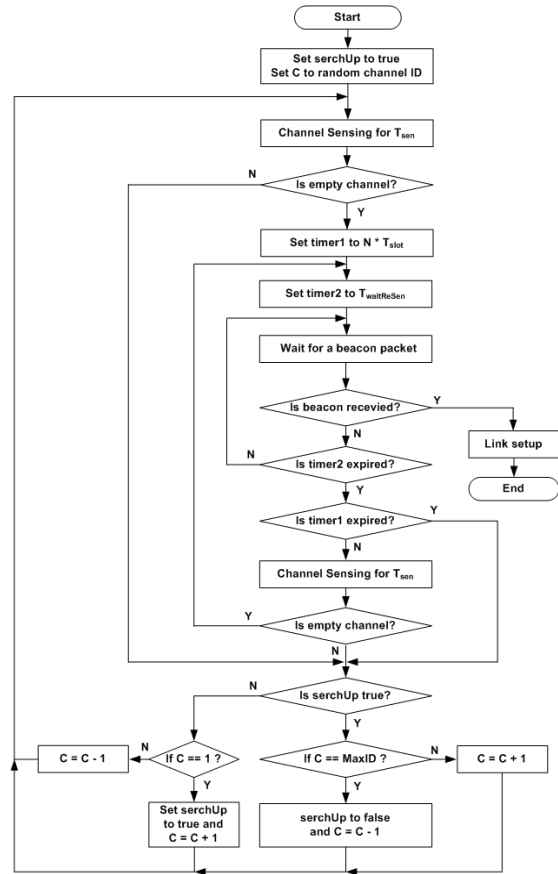


Fig. 5 A flowchart for a beacon receiving node using the proposed protocol

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 환경은 주파수 대역은 2.4GHz ~ 2.5GHz로 각 채널당 대역폭은 1MHz로 총 100채널, 데이터 전송 속도는 250Kbps이며, 임의로 선택된 50%의 채널은 이미 다른 네트워크에서 사용하고 있다고 가정하였다. 채널 센싱 성공 확률은 80%이고 채널 센싱 에러 확률은 20%라 가정하였으며, 모든 실험은 총 100회

반복 실행하여 채널 설정 시간의 평균값을 구하였다. 또한 $T_{slot} = 0.2$ 초, $T_{sen} = T_{waitAck} = 0.02$ 초, 간섭 링크 수 k 는 1~31까지 변화 시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 간섭 링크 수 k 가 많아지면 간섭 링크 상호간에도 간섭이 발생할 수 있다. 이를 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 라 하고, P 를 0.4, 0.6, 0.8, 1로 가정하였으며, $T_{waitRe.Sen}$ 시간은 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1초로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 6의 시뮬레이션 결과는 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 $P=1$, 수신 대기 노드에서 채널을 다시 센싱하기 위한 대기 시간 $T_{waitRe.Sen} = 0.1$ (sec)로 설정하고 간섭 링크의 수 k 에 따라 각각 100회 실시한 시뮬레이션의 평균 채널 설정 시간을 보여주고 있다.

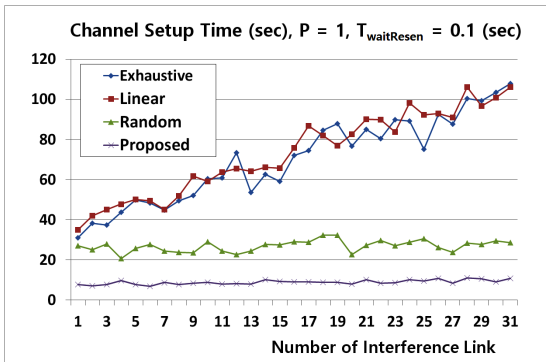


Fig. 6 The average link setup time at $P=1$ and $T_{waitRe.Sen} = 0.1$ (sec)

과도 검색 알고리즘과 순차 검색 알고리즘은 간섭 링크 수가 증가할수록 성능이 나빠지고 있는 결과를 보여주고 있다. 임의 검색 알고리즘과 제안된 알고리즘은 간섭 링크 수가 증가하여도 채널 설정 시간에 영향이 작은 것을 알 수 있다. 또한 임의 검색 알고리즘은 채널 선택의 임의성으로 인하여 간섭 링크 수에 따라 채널 설정 시간의 기복이 제안된 알고리즘보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘이 비컨 수신 대기 노드에서 비컨 수신 대기 시간 중에 채널을 다시 검사하여 간섭 링크에 의한 영향을 빠르게 인지할 수 있기 때문이다. 제안된 알고리즘의 채널 설정 시간은 그림 6의 결과로부터 기존의 알고리즘에 비하여 50%이상 향상되었다.

그림 7의 결과는 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 에 따른 과도 검색 알고리즘의 채널 링크 설정 시간을 보여주고 있다. 간섭 링크 상호간의 거리가 가까워 노드 간의 밀집도가 증가하면 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 가 커지게 된다. 그림 7의 결과에서 알 수 있듯이 과도 검색 알고리즘은 간섭 링크에 의한 영향을 많이 받고 있으며 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 가 증가할수록 채널 링크 설정 시간의 증가하는 경향을 보이고 있다.

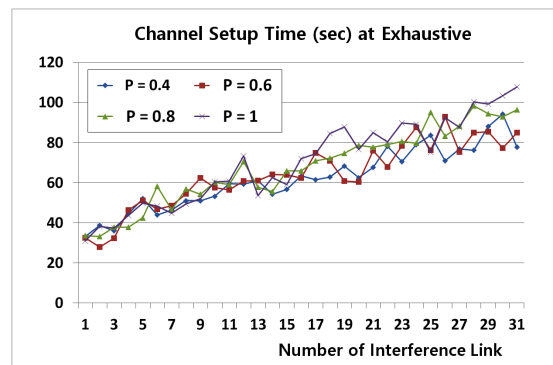


Fig. 7 The average link setup time at Exhaustive

그림 8의 결과는 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 에 따른 순차 검색 알고리즘의 채널 링크 설정 시간을 보여주고 있으며 과도 검색 알고리즘과 같이 간섭 링크의 영향을 많이 받고 있으며 간섭 링크 상호간의 간섭 확률이 증가할수록 채널 링크 설정 시간의 증가하는 경향을 보이고 있다.

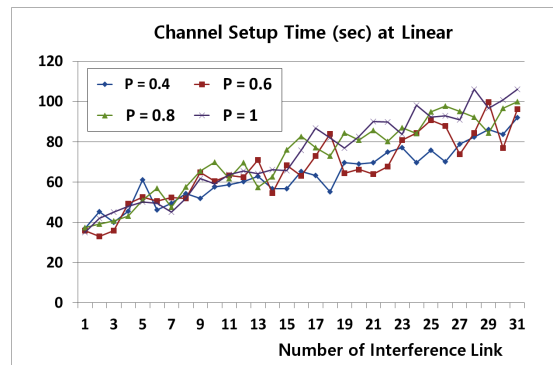


Fig. 8 The average link setup time at Linear

그림 9의 결과는 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 에 따른 임의의 검색 알고리즘의 채널 링크 설정 시간을 보여주고 있다. 간섭 링크 상호간의 간섭 확률이 증가할수록 채널 링크 설정 시간의 영향은 크지 않지만 랜덤 채널 선택으로 인한 채널 설정 시간의 변동이 큰 것을 알 수 있다.

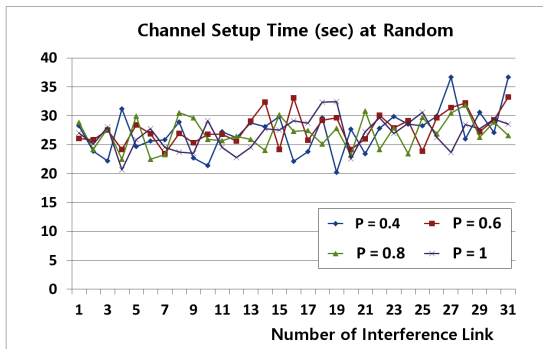


Fig. 9 The average link setup time at Random

그림 10의 결과는 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 P 에 따른 제안된 임의의 순차 검색 알고리즘의 채널 링크 설정 시간을 보여주고 있다. 간섭 링크 상호간의 간섭 확률이 증가할수록 채널 링크 설정 시간의 영향은 임의의 검색 알고리즘과 같이 크지 않고 임의의 선택 알고리즘에 비하여 채널 설정 시간의 기복이 작은 결과를 보여주고 있다.

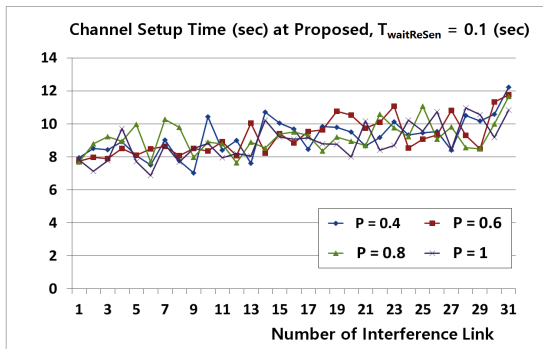


Fig. 10 The average link setup time at Proposed and $T_{waitReSen} = 0.1$ (sec)

그림 11의 결과는 제안된 알고리즘에서 간섭 링크 상호간의 간섭 확률 $P = 1$ 일 때, 수신 대기 노드에서 채널

널을 다시 센싱하기 위한 대기 시간 $T_{waitReSen}$ 시간에 따른 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. $T_{waitReSen}$ 이 작을 경우 채널 검색의 시간이 증가하여 성능이 저하되고 있으며 $T_{waitReSen} = 0.1$ (sec)로 설정할 경우 성능이 가장 좋은 결과를 보여주고 있다.

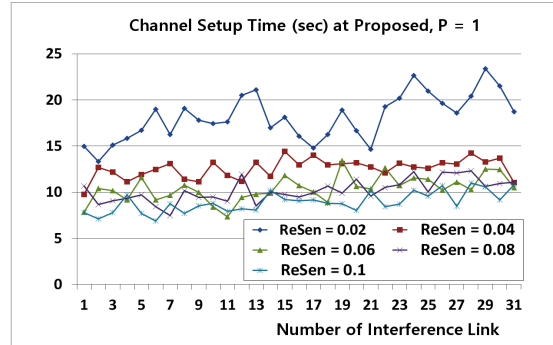


Fig. 11 The average link setup time at Proposed and $P = 1$

제안된 임의의 순차 검색 알고리즘은 시뮬레이션 결과에서 보여주듯이 기존 알고리즘에 비하여 간섭 링크의 수나 밀집도에 따른 성능 저하를 최소화 할 수 있는 효율적인 검색 알고리즘임을 알 수 있었다. 또한, 기존의 알고리즘에 비하여 채널 설정 시간이 50% 이상 향상되었으며, 시뮬레이션 환경에 따라 채널 설정 시간의 변동이 크지 않고 거의 일정한 특징을 보여주고 있다.

V. 결론

무선 센서 네트워크는 넓은 지역에 걸쳐서 조밀하게 배치되어 있는 작은 센싱 장치들로 구성된 네트워크이며, 저전력, 주파수 등 제한적인 자원을 사용하여 구성된다. 제한적인 무선 환경에서 대용량의 데이터를 전송하고 무선 주파수의 효율적인 사용을 위해 최적의 채널을 찾기 위한 검색 알고리즘 기술이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 센서 노드의 조밀도가 높고, 링크 간섭이 큰 경우에도 높은 성능을 유지할 수 있는 임의의 순차 검색 알고리즘을 제안하였다.

제안된 임의의 순차 검색 알고리즘의 채널 설정 시간은 기존 검색 알고리즘에 비하여 채널 간섭이 심한 환경에

서도 채널 간섭으로 인한 대기 시간을 줄일 수 있는 장점이 있지만, 대기 시간 동안에 주기적으로 채널 검색을 해야 함으로써 수신대기 노드의 시스템이 복잡해지는 단점을 가지고 있다. 향후 수신 대기 시간과 링크 설정 시간과의 관계를 분석하여 실제 환경에 적용할 수 있는 기법을 연구하기 위한 시뮬레이션 프로그램을 개발하고자 한다. 또한 제안된 임의 순차 검색 알고리즘은 대용량 무선 센서 네트워크 뿐만 아니라 인지 라디오 네트워크 및 다양한 무선 네트워크에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] K. K. Hasan, U. K. Ngah, and M. F. Mohd Salleh, "Efficient Hardware-Based Image Compression Schemes for Wireless Sensor Networks: A Survey," *Wireless Personal Communications*, vol. 77, no. 2, pp. 1415-1436, Jul. 2014.
- [2] H. C. Tung, K. F. Tsang, K. L. Lam, H. Y. Tung, B. Y. S. Li, L. F. Yeung, K. T. Ko, W. H. Lau, and V. Rakocevic, "A Mobility Enabled Inpatient Monitoring System Using a ZigBee Medical Sensor Network," *Sensors*, vol. 14, no. 2, pp. 2397-2416, Jun. 2014.
- [3] Y. R. Kondareddy, R. Agrawal, and K. Sivalingam, "Cognitive radio network setup without a common control channel," in *2008 IEEE Military Communications Conference*, pp. 1-6, Nov. 2008.
- [4] W. G. Pak, "Fast Link-Setup Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 39C, no. 3, pp. 247-254, Mar. 2014.
- [5] Bruce A. Fette, *Cognitive radio technology*, 2th ed. Burlington, Academic Press of Elsevier, 2009.
- [6] V. Václav, M. Roman, B. Geneviève, V. Martine, S. Martha, and R. Fabien, "Survey on spectrum utilization in Europe: Measurements, analyses and observations," in *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications*, pp. 1-5, Jun. 2010.
- [7] S. G. Hong, and J. H. Lee, "Performance Analysis of Multiple Access for Secondary Users in The Spectrum Sensing Cognitive Radio," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 113-116, Jan. 2016.



김변곤(Byun-Gon Kim)

1990년 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
 1997년 전북대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 2003년 전북대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 2005년~현재 군산대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야 : 센서네트워크, RFID 통신시스템



정경택(Kyung-Taek Chung)

1982년 전북대학교 전자공학과 공학사
 1984년 전북대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 1994년 전북대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 1995년~1997년 영국 로보로대학 선임연구원
 1990년~현재 군산대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야 : 센서네트워크, 임베디드 응용 시스템