# 항만물류 응용에서의 WiFI와 Zigbee 망간 선제적 패킷 충동 회피 알고리즘

추영열* · 정다운**

# Anticipatory Packet Collision Avoidance Algorithm among WiFi and ZigBee Networks for Port Logistics Applications

Young-yeol Choo* · Da-un Jung**

이 논문은 2012년도 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-C-1090-1121-0006)


## 요 약

IEEE 802.15.4 Zigbee 네트워크와 같은 USNs(Ubiquitous Sensor Networks)은 ISM(ndustrial, Scientific, and Medical) 주파수 대역을 WiFi 네트워크와 공동으로 사용을 하고 있다. 동일 지역 내에서 두 개의 네트워크가 동작하게 되면 주파수가 겹침으로 인하여 패킷 충돌이 발생 할 수 있다. 이를 확인하기 위해 WiFi와 ZigBee 통신 네트워크을 한 지역에 설치하여 실험을 수행하였다. 실험결과 WiFi 와 ZigBee 간 주파수 간섭으로 인해 데이터 전송률이 저하됨을 확인하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주파수 충돌회피 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘에서는 주파수 충돌이 감지되면 각 노드에 다른 주파수를 갖는 새로운 통신 채널을 할당한다. 제안된 주파수 충돌 회피 알고리즘의 성능을 평가하고 결과를 기술하였다.

## ABSTRACT

USNs (Ubiquitous Sensor Networks) such as IEEE 802.15.4 ZigBee network share ISM (Industrial, Scientific, and Medical) frequency band with WiFi networks. Once both networks operate in a region, packet collision may happen because of frequency overlapping. To assure this possibility, we conducted experiments where WiFi and ZigBee communication networks had been installed in an area. As a result of the test, successful data transmission rate were reduced due to the frequency overlapping between a WiFi communication channel and a ZigBee communication band. To cope with this problem, we propose a collision avoidance algorithm. In the proposed algorithm, if frequency collision is sensed, new communication channel with different frequency band is allocated to each node. Performance of the proposed frequency collision avoidance algorithm was tested and the results were described.



키워드

WiFi, USN, 충돌회피, 유비쿼터스 항만, ZigBee

Key word

WiFi, USN, Collision avoidance, Ubiquitous port, ZigBee



* 종신회원 : 동명대학교 컴퓨터공학과 교수 (책임저자, yyychoo@tu.ac.kr)

** 정회원 : 동명대학교 동명대학교 컴퓨터공학과 박사과정 (istbooms@tu.ac.kr)



접수일자 : 2012. 07. 19

심사완료일자 : 2012. 08. 07

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.9.1939


ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Ⅰ. 서 론

현재 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 구축은 도시, 가정, 도로, 항만 물류등 모든 영역에서 진행되고 있다. 이러한 유비쿼터스 환경 구축에는 무선네트워크가 그 기반이 된다. 여기에는 WiFi LAN(Local Area Network) 과 USN(Ubiquitous Sensor Network), 전화망 등이 복합적으로 연계되어 있다. 근래 항만에서는 유비쿼터스 항만 구축을 위해 기존의 무선 랜 외에도 RFID/USN이 실시간 위치추적, Y/T(Yard Tractor), QC(Quay Crane), RTGC (Rubber Tired Gantry Crane), RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 등 하역장비의 자동화, 재난예방 설비구축 등에 사용되고 있으며 스마트 폰의 확산에 따라 전화망의 활용도 증가되고 있다[1]. 즉, YT, QC, RMGC, RTGC 등의 상태 모니터링을 위해 계측 센서들이 이들 장비에 부착되고 이들로부터의 데이터가 USN, WiFi LAN 들을 이용하여 전송된다[2]. 예컨대 항만 크레인의 재난 예방을 위한 상태감시 시스템의 경우 하역장비 구조물에 풍향, 풍속 등의 계측 센서를 부착하여야 하며, 계측된 값을 수집하는 Indicator가 하역장비 구조물에 설치가 되어야 한다. 또한, 풍향, 풍속별로 크레인에 인가되는 하중을 측정하기 위해 Load-cell이 부착이 되어야 하며, 이러한 센서와 Indicator 들 간에는 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 밴드 의 USN 통신, 중앙의 운전실 까지의 전송을 위해서는 무선 랜 통신이 이용된다[3].

이 외에도 항만의 다수의 장비, 계측기, 제어장치 들이 무선 LAN과 USN 통신망을 이용하고 있다. 이들이 동일한 ISM 대역인 2.4GHz 무선 주파수를 사용함으로써 동일한 지역에서 운용될 경우 주파수 간섭이 발생될 수 있다[4][5]. 항만의 자동화가 급속히 진행되는 상황에서 이로 인한 통신 장애는 설비사고 및 인명사고로 연결될 수 있다. 이러한 현상을 확인하고 해결책을 제시하고자 본 논문에선 WiFi 과 ZigBee를 동시에 사용하는 환경에서 무선 주파수 간섭의 영향을 실험을 통해 검증하고 실험결과를 토대로 무선주파수 회피 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다.

2장에선 현재 항만에서 사용 중인 WiFi 환경과 ZigBee의 주파수 중첩에 대해서 기술하며, 3장에서 무선 LAN과 ZigBee가 동일 지역에서 사용 시 주파수 간섭 실험에 대해서 기술한다. 4장에서는 주파수 간섭 회피 알고리즘을 제안한다. 5장과 6장에서 제안된 알고리즘의 성능평가 및 결론을 각각 기술한다.

## Ⅱ. 관련연구

현재 항만에선 자동화로 인해 항만 운영실에서 하역작정 정보를 무선통신 데이터로 전달하고 있다. 컨테이너 터미널에서 이동 중인 Y/T, Q/C, RTGC, RMGC에 Web Pad라는 장비가 설치되어 WiFi 망을 통해서 작업지시를 수신하는 형태로 되어 있다. 이 외에도 향후 자동화의 진전에 따라 장비간의 네트워크 통신 트래픽은 증가될 것이다. 그림1은 현재 부산에 있는 KBCT(Korea Express Busan Container Terminal)에서 컨테이너 터미널에서 사용 중인 무선 네트워크 구성도이다.

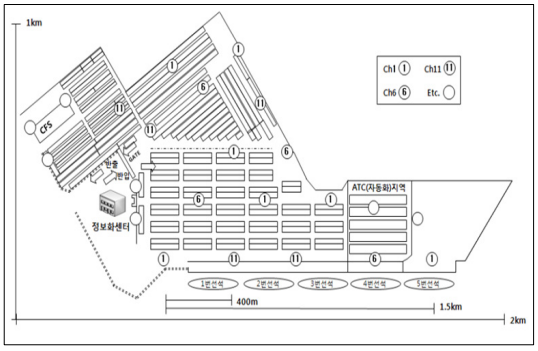


그림 1. KBCT에 사용중인 WiFi 망 구성도
Fig. 1 WiFi network configuration in KBCT terminal

KBCT에선 802.11b를 사용하고 있으며, 1번 6번, 11번 무선랜 채널을 사용 중이다. WiFi 네트워크에서 사용 중인 채널별 할당된 주파수가 중첩이 되지 않는 것이 1, 6, 11번 채널이기 때문이다. WiFi에서 사용되는 채널은 1번부터 13번 까지 이며, 각 채널별 주파수 할당은 표 1과 같다[6].

표 1. WiFi의 채널별 주파수 할당표
Table. 1 Frequency allocation WiFi channel

| WLAN채널 | 중심주파수(MHz) | 주파수 영역(MHz) |
|---|---|---|
| 1 | 2412 | 2339.5 ~ 2424.5 |
| 2 | 2417 | 2404.5 ~ 2429.5 |
| 3 | 2422 | 2409.5 ~ 2434.5 |
| 4 | 2427 | 2414.5 ~ 2439.5 |
| 5 | 2432 | 2419.5 ~ 2444.5 |
| 6 | 2437 | 2424.5 ~ 2449.5 |
| 7 | 2442 | 2429.5 ~ 2454.5 |
| 8 | 2447 | 2434.5 ~ 2459.5 |
| 9 | 2452 | 2439.5 ~ 2464.5 |
| 10 | 2457 | 2444.5 ~ 2464.5 |
| 11 | 2462 | 2449.5 ~ 2474.5 |
| 12 | 2467 | 2454.5 ~ 2479.5 |
| 13 | 2472 | 2459.5 ~ 2484.5 |

이러한 환경에서 ZigBee 통신을 사용 하였을 시 그림 2 와 같이 주파수 대역이 겹침으로 데이터 손실이 예상된다.

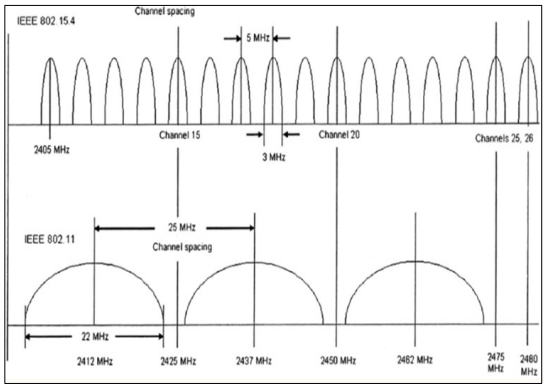


그림 2. WiFi 와 ZigBee 채널별 주파수 분포 형태
Fig. 2 Frequency distribution pattern of WiFi & ZigBee channels

ZigBee 통신에서 사용되는 각 채널은 11번부터 26번까지 이며 할당된 주파수는 표2 와 같다.

표 2. Zigbee의 채널 주파수 할당표
Table. 2 Frequency allocation of Zigbee channel

| ZigBee 채널 | 중심주파수(MHz) | 주파수 영역(MHz) |
|---|---|---|
| 11 | 2405 | 2403.5 ~ 2406.5 |
| 12 | 2410 | 2408.5 ~ 2411.5 |
| 13 | 2415 | 2413.5 ~ 2416.5 |
| 14 | 2420 | 2418.5 ~ 2421.5 |
| 15 | 2425 | 2423.5 ~ 2426.5 |
| 16 | 2430 | 2428.5 ~ 2431.5 |
| 17 | 2435 | 2433.5 ~ 2436.5 |
| 18 | 2440 | 2438.5 ~ 2441.5 |
| 19 | 2445 | 2443.5 ~ 2446.5 |
| 20 | 2450 | 2448.5 ~ 2451.5 |
| 21 | 2455 | 2453.5 ~ 2456.5 |
| 22 | 2460 | 2458.5 ~ 2461.5 |
| 23 | 2465 | 2463.5 ~ 2466.5 |
| 24 | 2470 | 2468.5 ~ 2471.5 |
| 25 | 2475 | 2473.5 ~ 2476.5 |
| 26 | 2480 | 2478.5 ~ 2481.5 |

그림 2와 표 1, 표 2를 보면 WiFi 와 ZigBee은 WiFi 1개 주파수에 5개의 ZigBee 주파수가 중첩이 되는 것을 확인할 수 있다. WiFi 각 채널에 대해 중첩되는 ZigBee 채널을 정리하면 표 3과 같다[6].

표 3. WiFi 와 ZigBee의 간섭채널들
Table. 3 Colliding channels between WiFi and ZigBee

| WiFi채널 | 간섭을 받는 ZigBee 채널 |
|---|---|
| 1 | 11, 12, 13, 14, 15 |
| 2 | 11, 12, 13, 14, 15, 16 |
| 3 | 12, 13, 14, 15, 16, 17 |
| 4 | 13, 14, 15, 16, 17, 18 |
| 5 | 14, 15, 16, 17, 18, 19 |
| 6 | 15, 16, 17, 18, 19, 20 |
| 7 | 16, 17, 18, 19, 20, 21 |
| 8 | 17, 18, 19, 20, 21, 22 |
| 9 | 18, 19, 20 ,21, 22, 23 |
| 10 | 19, 20, 21, 22, 23 |
| 11 | 20, 21, 22, 23, 24, 25 |
| 12 | 21, 22, 23, 24, 25, 26 |
| 13 | 22, 23, 24, 25, 26 |

현재 항만에선 항만의 생산성을 높이기 위해서 항만 운영실에서 하역작정 정보를 작업명령서 형식의 수작업에서 무선통신 데이터 전달 방식으로 바꿔서 작업을 하고 있다. 컨테이너 터미널에서 이동 중인 Y/T, Q/C, RTGC. RMGC에 Web Pad라는 장비가 설치되어 있어 WiFi를 통해서 항만 운영실에서 Job-Order를 수신하는 형태로 되어 있다 (그림1 참조). [7]에서는 실험을 통해 많은 ZigBee 제품들이 IEEE 802.11b 무선 LAN 주파수 대역과의 충돌에 의해 심각하게 영향을 받음을 보여주었다. [8]에서는 WiFi, Bluetooth, ZigBee 노드들이 혼재된 상태에서 각각의 노드가 독립적으로 데이터를 전송한다는 가정 하에 충돌시간 (Collision Time)과 BER (Bit Error Rate)로부터 PER (Packet Error Rate)를 수학적 모델을 통해 구하였다.

이를 통해 무선 LAN 노드 수에 따라 ZigBee 노드와 Bluetooth 노드, 무선 LAN 노드 간에 일정정도 이상의 전송율을 보장하기 위해 떨어져 있어야 할 거리를 수학적으로 계산하고 간단히 시뮬레이션을 수행하였다. [9][10]에서는 스마트 그리드 응용 환경에서 무선 LAN과 ZigBee가 혼재되어 있을 때 간섭이 발생할 경우 안전한 거리와 주파수 변경 방법에 대해 기술하였다. 그러나 무선 LAN에 의한 간섭으로 ZigBee 노드의 전송 에러 발생시 PER과 LQI (Link Quality Indicator) 값을 통해 어느 정도 이상일 경우 다른 주파수를 탐지, 사용하는 방법을 제안하였으나 LQI 와 PER 값의 객관적 기준이 모호하고 수신 에러가 발생한 후에 변경 작업에 들어감으로써 그 기간 동안의 패킷 전송 에러를 감수해야 한다는 단점이 있다.

IIT(Illinois Institute of Technology)에선 WiFi가 구축된 환경에서 스마트 그리드 시스템을 구축하고 스마트 그리드 시스템의 모니터링을 위해 ZigBee 통신을 사용 하였다. 이 프로젝트에서도 WiFi 와 ZigBee이 동일한 통신 주파수를 사용하기 때문에 주파수 중첩을 회피 하고 데이터 신뢰성을 확보하고자 연구를 진행 하였다. WiFi 환경에서 ZigBee의 성능을 측정하기 위해서 BER와 PER을 계산 하였으며, 계산된 결과를 토대로 ZigBee 채널변경 조건이 되는 NACK의 임계치를 도출하였다. ZigBee 모트에서 패킷 수신 에러가 발생시 NACK 카운트를 증가하여 NACK 카운트가 임계치 도달시 ZigBee 채널을 변경하는 알고리즘을 사용하였다[9][10].

## Ⅲ. 주파수 간섭 실험

2장의 표 3에서 보이듯이 WiFi 과 ZigBee 채널별 간섭을 유발할 수 있는 중첩 주파수를 알 수 있으나, 실제 환경에서 어떠한 주파수가 간섭이 발생되는지, 얼마나 전송률에 영향을 주는지 확인 하고자 WiFi와 ZigBee 주파수 간섭에 대한 실험을 수행 하였다. 실험 환경은 그림 3과 같은 Test bed를 설계, 제작하여 수행을 하였다. 데이터 서버는 부하발생기 역할을 한다. 즉, 데이터 서버에서 WiFi를 통해 그림 아래쪽의 Laptop 컴퓨터로 끊임없이 파일을 전송하는 상태에서 전송 경로와 직각이 되는 위치(그림 3의 좌우측 Laptop에 연결된 두 ZigBee 노드)의 두 ZigBee 모트 간에 송수신 주파수 대역을 변화시키면서 데이터를 송수신하여 이때의 수신률 과 오류 발생률을 측정하였다.

이때, 거리는 1M로 고정을 하였고 5분간 300개의 데이터를 송수신 하여 주파수 간섭이 수신률 및 오류 발생 비율에 영향을 주는 지 여부를 확인코자 하였다. AP에선 1개의 주파수 채널을 사용하고 있으며 ZigBee 모트는 주파수 채널을 11번부터 26번까지 변경을 하여 수신율을 측정하는 방식으로 총 WLAN 1개의 채널에 26번 실험을 하였으며, WiFi 채널별 ZigBee 채널을 변경하여 총 338회 수신율 실험을 수행 하였다. 그리고 ZigBee 모트간의 거리를 3M로 변경하여 동일한 실험을 수행 하였다.

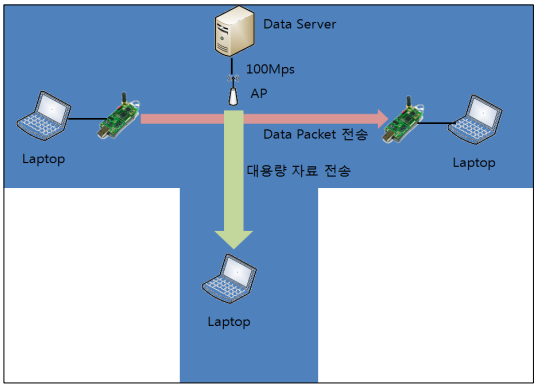


그림 3. Testbed 구성도
Fig. 3 Testbed configuration

주파수 간섭에 실험에 사용된 장비는 아래와 같다.

• Laptop : Daul Core 1.8G, 2G RAM
• Zigbee Node : MSP430, CC2420

실험 결과는 표 4, 표 5 와 같이 나왔다. 이 결과를 분석하면 표 6. 과 같이 WiFi 와 ZigBee 노드들 사이의 간섭 받는 주파수의 결과를 도출 할 수 있다.

표 4. ZigBee 채널별 전송률 (노드 간격: 1m)
Table. 4 Throughput of respective ZigBee channel (node distance: 1m)

| WiFi 와 USN 주파수 채널 분석 결과 (1m)<br>5분간 300패킷의 전송 -> 수신 패킷 / 송신 패킷 * 100 = 전송률 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| WiFi / USN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 11 | 22 | 97 | 96 | 96 | 97 | 96 | 99 | 98 | 97 | 97 | 97 | 99 | 98 |
| 12 | 21 | 14 | 97 | 97 | 95 | 98 | 96 | 99 | 95 | 99 | 98 | 97 | 97 |
| 13 | 80 | 25 | 9 | 94 | 92 | 60 | 43 | 88 | 98 | 93 | 98 | 98 | 94 |
| 14 | 10 | 77 | 6 | 7 | 89 | 97 | 95 | 98 | 97 | 97 | 97 | 97 | 95 |
| 15 | 97 | 3 | 56 | 9 | 12 | 97 | 99 | 97 | 97 | 96 | 96 | 96 | 97 |
| 16 | 96 | 97 | 7 | 75 | 10 | 21 | 84 | 93 | 94 | 97 | 95 | 97 | 98 |
| 17 | 97 | 96 | 98 | 78 | 91 | 55 | 63 | 96 | 98 | 96 | 96 | 97 | 97 |
| 18 | 98 | 97 | 98 | 98 | 96 | 96 | 6 | 4 | 98 | 96 | 97 | 96 | 96 |
| 19 | 97 | 97 | 96 | 97 | 99 | 28 | 28 | 7 | 8 | 97 | 98 | 99 | 97 |
| 20 | 97 | 98 | 97 | 97 | 97 | 99 | 98 | 87 | 77 | 72 | 97 | 97 | 98 |
| 21 | 97 | 96 | 98 | 96 | 97 | 96 | 98 | 90 | 96 | 95 | 62 | 96 | 97 |
| 22 | 97 | 97 | 97 | 96 | 97 | 96 | 96 | 97 | 83 | 76 | 29 | 98 | 98 |
| 23 | 97 | 97 | 97 | 97 | 98 | 97 | 98 | 98 | 98 | 85 | 85 | 34 | 3 |
| 24 | 97 | 98 | 97 | 96 | 99 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 93 | 91 | 2 |
| 25 | 99 | 97 | 98 | 97 | 97 | 98 | 97 | 97 | 96 | 97 | 96 | 2 | 40 |
| 26 | 95 | 97 | 96 | 98 | 98 | 96 | 98 | 97 | 98 | 98 | 96 | 98 | 2 |

표 5. ZigBee 채널별 전송률 (노드 간격: 3m)
Table. 5 Throughput of respective ZigBee channel (node distance: 3m)

| WiFi 와 USN 주파수 채널 분석 결과 (3m)<br>5분간 300패킷의 전송 -> 수신 패킷 / 송신 패킷 * 100 = 전송률 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| WiFi / USN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 11 | 46 | 97 | 97 | 99 | 97 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 97 | 97 | 97 |
| 12 | 13 | 24 | 82 | 95 | 97 | 95 | 98 | 95 | 98 | 96 | 98 | 96 | 98 |
| 13 | 80 | 12 | 3 | 97 | 97 | 96 | 96 | 86 | 84 | 93 | 92 | 96 | 97 |
| 14 | 82 | 68 | 14 | 11 | 97 | 95 | 96 | 96 | 96 | 98 | 94 | 95 | 96 |
| 15 | 97 | 20 | 43 | 7 | 8 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| 16 | 63 | 60 | 56 | 37 | 21 | 8 | 30 | 44 | 43 | 52 | 54 | 49 | 56 |
| 17 | 97 | 97 | 96 | 20 | 79 | 15 | 11 | 97 | 98 | 98 | 97 | 98 | 96 |
| 18 | 97 | 98 | 96 | 98 | 86 | 88 | 69 | 71 | 99 | 98 | 97 | 98 | 95 |
| 19 | 95 | 96 | 99 | 96 | 98 | 98 | 61 | 50 | 31 | 99 | 98 | 97 | 97 |
| 20 | 99 | 99 | 99 | 99 | 98 | 99 | 99 | 99 | 86 | 0 | 97 | 96 | 96 |
| 21 | 97 | 96 | 99 | 97 | 96 | 97 | 98 | 17 | 76 | 6 | 11 | 99 | 96 |
| 22 | 98 | 97 | 98 | 96 | 98 | 97 | 96 | 97 | 36 | 90 | 46 | 70 | 96 |
| 23 | 97 | 99 | 97 | 97 | 96 | 98 | 97 | 98 | 96 | 43 | 93 | 94 | 85 |
| 24 | 98 | 96 | 98 | 96 | 95 | 97 | 97 | 96 | 97 | 98 | 8 | 36 | 4 |
| 25 | 97 | 96 | 98 | 97 | 98 | 97 | 97 | 97 | 97 | 96 | 97 | 5 | 36 |
| 26 | 98 | 97 | 98 | 95 | 98 | 98 | 97 | 97 | 99 | 97 | 95 | 98 | 8 |

실험 결과를 보면 WiFi 1개의 채널은 최대 5개의 ZigBee 채널에 영향을 주고 있으며, WiFi 와 ZigBee 간의 거리가 멀어 질수록 간섭 받는 채널이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 일반적으로 ZigBee 26채널은 WiFi에 간섭을 받지 않는다고 알려졌으나, 실험결과 ZigBee 26채널은 WiFi의 13번 채널에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 예컨대, 만약 WiFi 13번 채널을 사용하는 환경에서는 ZigBee 26번 채널을 사용하는 것은 데이터 신뢰성과 안전성에 문제를 야기 할 수 있다는 것을 실험결과 알 수 있다.

표 6. WiFi 와 ZigBee 간의 간섭 채널
Table. 6 Interfering channels between WiFi and ZigBee

| WiFi 주파수 채널 | 이론적으로 간섭을 받는 USN 채널 | 1M 거리에서 간섭 영향을 받는 USN 주파수 채널 | 3M 거리에서 간섭 영향을 받는 USN 주파수 채널 |
|---|---|---|---|
| 1 | 11, 12, 13, 14, 15 | 11,12,13,14 | 11,12,13,14,16 |
| 2 | 11, 12, 13, 14, 15, 16 | 12,13,14,15 | 12,13,14,15,16 |
| 3 | 12, 13, 14, 15, 16, 17 | 13,14,15,16 | 13,14,15,16 |
| 4 | 13, 14, 15, 16, 17, 18 | 14,15,16,17 | 14,15,16,17 |
| 5 | 14, 15, 16, 17, 18, 19 | 14,15,16 | 15,16,17 |
| 6 | 15, 16, 17, 18, 19, 20 | 13,16,17,19 | 16,17 |
| 7 | 16, 17, 18, 19, 20, 21 | 13,17,18,19 | 16,17,18,19 |
| 8 | 17, 18, 19, 20, 21, 22 | 18,19,20 | 15,18,19,21 |
| 9 | 18, 19, 20 ,21, 22, 23 | 19,20 | 16,19,21,22 |
| 10 | 19, 20, 21, 22, 23 | 20,23 | 16,20.21.23 |
| 11 | 20, 21, 22, 23, 24, 25 | 21,23 | 16,21,22,24 |
| 12 | 21, 22, 23, 24, 25, 26 | 23,25 | 16,22,24,25 |
| 13 | 22, 23, 24, 25, 26 | 23,24,25,26 | 16,24,25,26 |

## Ⅳ. WiFi 와 주파수 간섭 회피 알고리즘 제안

3장에서 실험 결과를 토대로 WiFi 와 ZigBee를 동시에 사용하기위해서는 각 통신 시스템간의 주파수 간섭을 회피해야 한다. 이미 항만에는 WiFi 망이 구축되어 사용되고 있으므로 ZigBee를 이용하는 시스템은 현재 주변에 사용 중인 WiFi 채널을 피해 ZigBee 채널을 선택 하고 선택된 채널로 ZigBee 통신을 하여야만 데이터의 신뢰성과 안전성을 확보 할 수 있다. 이를 위해 다음과 같은 주파수 간섭 회피 알고리즘을 제안한다.

```
Start Indicator.
Brodcast Hellow msg to all ZigBee nodes.
while (allNodeNum ≥ ZigBee_ID) do
 if isReceivedAck(ZigBee_ID)
    joining the network.
    ZigBee_ID++
 else
   Send Hellow msg and Wait ack.
 end if
end while
//Search Wifi APs up to 50 link quilty and Save information.
//Compare channel frequency of ZigBee and that of Wifi.
for ZigBee_Channel = 1 to 26 do
 if isInterference(ZigBee_f, Wifi_f)
   Discard interfered ZigBee Channel.
 else
   Save the ZigBee channel information.
 end if
if isSavedChannel()
  Set up ZigBee Network with channel information.
 else
Set up the ZigBee Channel to 26.
 end if
 Broadcast starting messages to joined ZigBee and Wait
sensing datas.
 if allDataReceived()
  Start Monitoring and Send measured data to TOS.
 else
  Restart channel election process.
 end if
```

그림 4. 주파수 충동 회피 알고리즘 수도코드
Fig. 4 Frequency collision prevention algorithm pseudo-code

그림 4. 의 알고리즘을 순서도로 표시하면 그림 5와 같다.

이와 같은 순서로 주파수 간섭 회피 알고리즘을 적용하면 현재 구성된 WiFi 환경의 변경 없이 자동으로 Indicator에서 현재 작동하고 있는 WiFi 주파수를 인지하고 해당되는 주파수에 간섭이 없는 ZigBee 주파수 채널을 선택한다. 이 채널 정보를 각 ZigBee 모트로 전송함으로써 각 노드가 채널을 변경하도록 하여 ZigBee 데이터 전송 시 주파수 충돌로 인한 데이터 손실을 막을 수 있다. WiFi의 Link Quality 50이상인 정보만 저장하는 이유는 WiFi 통신에서 최소 보장해야 되는 신호세기 품질을 확보하여 WiFi 통신의 안전성을 확보를 위함이다[11].

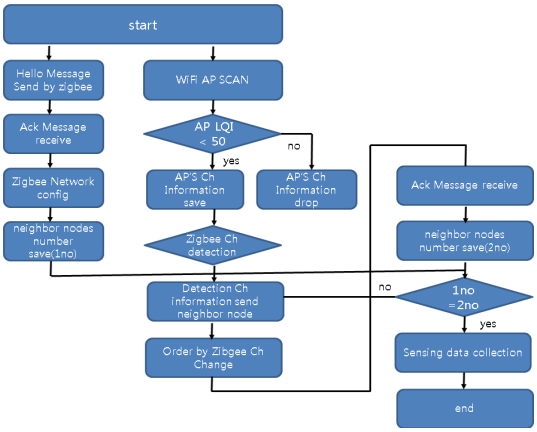


그림 5. 주파수 충동 회피 알고리즘
Fig. 5 Frequency collision prevention algorithm

## Ⅴ. 제안 알고리즘의 성능 평가

4장에서 제안하는 알고리즘의 성능 확인을 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 구현하였으며, 제안된 알고리즘과 IIT에서 제안했던 알고리즘과의 성능을 비교하였다. 실험 조건은 3장의 주파수 간섭실험과 같이ZigBee 모트는 1분 단위로 데이터를 전송 하도록 하였으며, 실험 결과는 그림6, 그림 7과 같다.

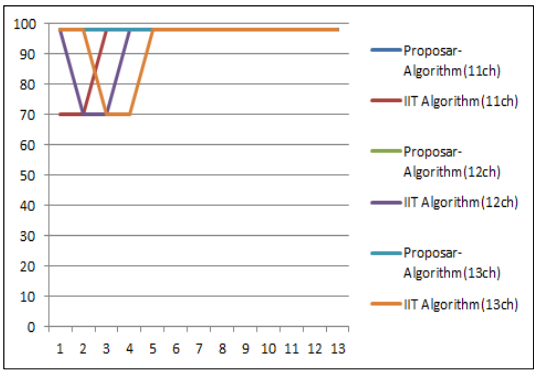


그림 6. 전송률 측정 실험 결과(채널 11～13)
Fig. 6 Experimental results of throughput measurement (channel 11～13)

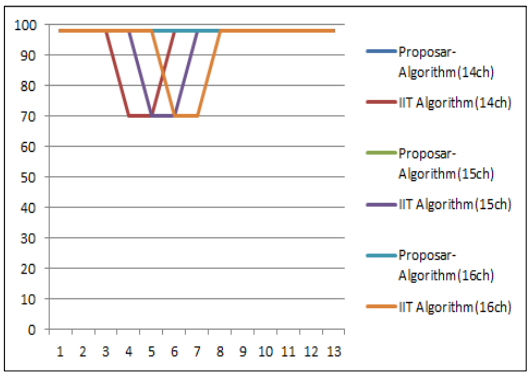


그림 7. 전송률 측정 실험 결과(채널 14~16)
Fig. 7 Experimental results of throughput measurement (channel 14~16)

실험 결과를 보면, 제안하는 알고리즘과 IIT에서 제안한 알고리즘의 결과를 비교해보면 전송률이 보다 우수한 결과를 나타내었다. 제안하는 알고리즘은 데이터 전송 전 체널 간섭을 미리 감지하고 ZigBee 채널을 변경한 후 데이터를 전송하는 방법을 사용하고 있어 채널 간섭으로 인한 전송 손실 없이 데이터를 전송 한다. 반면, IIT에서 제안하는 알고리즘은 데이터 전달 이후 데이터 손실 때 발생하는 NACK 카운트 증가가 되고 NACK 카운트 수가 임계치 값까지 도달해야지 채널변경을 수행함으로써 그 이전까지는 채널 간섭으로 인한 데이터 손실이 발생되었다.

## Ⅵ. 결 론

본 연구에서는 WiFi 와 ZigBee 통신이 동시에 사용되는 환경에서 주파수 간섭이 없이 데이터 전송의 안전성과 신뢰성을 확보 하고자 주파수 간섭 실험을 수행 하였으며, 실험 결과를 바탕으로 주파수 간섭 회피 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘에서는 ZigBee 네트워크가 구성된 후, WiFi 네트워크 인터페이스를 통해 무선 LAN의 동작 주파수 대역을 파악하여 이 대역에서 가장 간섭이 적은 주파수 대역을 각 ZigBee 노드에게 전파한다. 이는 주파수 간섭에 의한 패킷 전송 오류가 발생하기 전에 사전에 무선 LAN 주파수 대역을 주기적으로 탐지함으로써 선제적으로 대응할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 주파수 간섭 회피 알고리즘을 적용 시 각 통신시스템별 설정을 일일이 수정을 해주지 않고 동적으로 주파수 간섭을 회피할 수 있어 자동화된 항만물류 현장에 응용하면 보다 안정적이고 신뢰성이 있는 무선 통신 시스템을 구축할 수 있을 것으로 생각된다.

한편, 상호간에 주파수 영역이 겹친다는 것은 정보보안상의 문제점을 야기할 가능성이 있음을 의미한다. 즉 같은 주파수 대역을 사용함으로써 간섭에 따라 부호화 방법이 일치되면 데이터의 내용까지 해킹이 가능할 수 있다. 이에 대한 대처는 암호화 기법 등에 의존하여 해결하여야 할 것이다. 전자 seal 등을 사용한 항만에서의 보안이 추진되는 현재의 추세에서 항만내 통신보안은 또 다른 연구주제가 될 것이다.

향후 제안한 주파수 간섭 회피 알고리즘을 개발 예정인 항만재난예방 설비진단 시스템에 적용하여 현장에서 테스트를 수행함으로써 그 효용성을 검증하는 작업이 남아있다.

## 참고문헌

[1] 최상희, 김기섭, 김우선, 항태영, “국내 컨테이너 항만기술 개발 로드맵 수립 연구,” 해양수산 개발원 기본연구 2007-14, 12월, 2007.

[2] Nicholas D. Lane, et. al., "A Survey of Mobile Phone Sensing," IEEE Communications Magazine, vol. 48, pp.140 - 150, Sep. 2010.

[3] 정다운, 추영열, “컨테이너 크레인 실시간 설비진단 시스템 개발,” 한국동력기계공학회 학회지, 제12권, 제6호, pp. 18-26, 12월, 2008년.

[4] 권종원, 안광훈, 김석래, 김희식, 강상혁, “WSNs 기반의 어플리케이션을 위한 2.4GHz 대역의 주파수 간섭분석 및 검증 실험,” ICS 2009 정보 및 제어 심포지엄 논문집, pp. 290-292, 5월, 2009.

[5] 강창익, 하인중, “브러쉬없는 직류전동기의 궤한선형화제어,” 대한전기학회 논문지, 제43권, pp. 982-990, 7. 1994.

[6] 한승호, 박현성, 김종덕, 김용진, “컨테이너 터미널의 무선 네트워크 분석과 서비스 품질향상 방안,” 한국통신학회 논문지, 제34권, 제3호, pp. 235-246, 3월, 2009.

[ 7 ] Zensys, White Paper, "WLAN Interference to IEEE 802.15.4," 2007.
[ 8 ] Soo Young Shin, Hong Seong Park, Sunghyun Choi, and Wook Hyun Kwon, "Packet Error Rate Analysis of ZigBee Under WLAN and Bluetooth Interferences," IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 6, no. 8, pp. 2825-2830, Aug. 2007.
[ 9 ] Peizhong Yi, Abiodun Iwayemi and Chi Zhou, "Developing ZigBee Deployment Guitline Under WiFi Interference for Smart Grid Applications," IEEE Trans. on Smart Grid, vol.2, no.1, pp. 110-120, Mar. 2011.
[10] Peizhong Yi, Abiodun Iwayem, Chi Zhou, "Frequency Agility in a ZigBee Network for Smart Grid Application ," Innovative Smart- Grid Technologies, pp. 1-6, 2010.
[11] Robert J. Bartz, "CWTS Certified Wireless Technology Specialist Official Study Guide," Wiley Publishing, Inc., pp. 322, 2009.

## 저자소개

**추영열(Young-yeol Choo)**

1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과졸업.
1988년 2월 동 대학원 석사.
2002년 2월 포항공과대학 박사.
1988년 6월~1994년 6월 포항산업과학기술연구원 선임연구원.
1994년 7월~2002년 8월 포스코 기술연구소 책임연구원.
2002년 9월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 부교수.
2005년 1월~7월 독일 Fraunhofer IESE Visiting Scientist.
2006.11~ 현재 U-Port ITRC 센터장.
※관심분야: WSN, Ambient Intelligence, 컴퓨터통신, 공장자동화, 네트워크 보안

**정다운(Da-un Jung)**

2005년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과졸업.
2005년 1월 G.S.H NI1팀 사원.
2008년 8월 동명대학교 컴퓨터 미디어공학과 석사.
2008.9~ 현재 동명대학교 대학원 컴퓨터미디어공학과 박사과정.
※관심분야: WSN, USN, 컴퓨터통신, 네트워크 보안