

음향 표적 식별을 위한 무선 센서 네트워크에서 웨이블릿 상수를 이용한 표적 특징 추출

차대현¹, 이태영¹, 홍진근², 한군희², 황찬식^{1*}

¹경북대학교 전자전기컴퓨터학부

²백석대학교 정보통신학부

Target Feature Extraction using Wavelet Coefficient for Acoustic Target Classification in Wireless Sensor Network

Dae-hyun Cha¹, Tae-young Lee¹, Jin-keung Hong², Kun-Hee Han²
and Chan-sik Hwang^{1*}

¹Dept of Electric Electronic Computer, Kyungpook National University

²Dept of Information Communication, Baekseok University

요약 무선 센서 네트워크에서 음향 표적의 식별은 환경 감시, 침입 감시, 다중 표적 분리 등에서 많이 연구된다. 무선 센서 네트워크의 센서 노드에서 사용하는 기존의 신호 처리기법은 표적으로부터 수신된 신호의 에너지를 계산하여 표적의 존재 유무만을 기지국으로 전송하는 방법과 수신 신호를 압축하여 전송하는 방법이 많이 사용되었다. 전자의 경우 표적의 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서는 표적의 정보가 한정적이므로 적합하지 않고 후자의 경우는 센서 노드에서의 신호처리 및 전송에 소모되는 에너지가 높아 센서의 생존시간이 줄어들게 된다. 따라서 본 논문에서는 표적의 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 필요한 시간정보와 표적의 주파수 정보를 포함하는 센서 노드에서의 특징 추출 기법을 제안한다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 추출된 웨이블릿 상수에서 표적의 시간 정보와 잡음이 제거된 표적의 식별 정보를 추출함으로써 센서 노드에서 에너지 효율적인 신호처리를 구현하고 추출된 특징을 전송하여 통신에 소모되는 에너지를 원신호 대비 28%로 줄이는 알고리즘을 제안한다.

Abstract Acoustic target classification in wireless sensor network is important research at environmental surveillance, invasion surveillance, multiple target separation. General sensor node signal processing methods concentrated on received signal energy based target detection and received raw signal compression. The former is not suited to target classification because of almost every target information are lost except target energy. The latter bring down life-time of sensor node owing to high computational complexity and transmission energy. In this paper, we introduce a feature extraction algorithm for acoustic target classification in wireless sensor network which has time and frequency information. The proposed method extracts time information and de-noised target classification information using wavelet decomposition step. This method reduces communication energy by 28% of original signal and computational complexity.

Key Words : Wireless Sensor Network, Wavelet, Feature Extraction

1. 서론

음향 표적 식별을 위한 무선 센서 네트워크는 침입감시, 전장 감시, 다중표적 분리, 등 군사적, 상업적 용도로

다양한 분야에서 응용된다[1-3]. 최근 무선 센서 네트워크는 센서 노드 하드웨어 분야의 연구결과로 센서노드가 경량화, 소형화, 고성능화와 더불어 저가의 센서 노드가 생산 가능 하게 되어 기존의 유선 센서 네트워크로 구성

*교신저자 : 황찬식(cshwang@knu.ac.kr)

접수일 09년 12월 18일

수정일 (1차 10년 02월 11일, 2차 10년 03월 04일)

게재확정일 10년 03월 18일

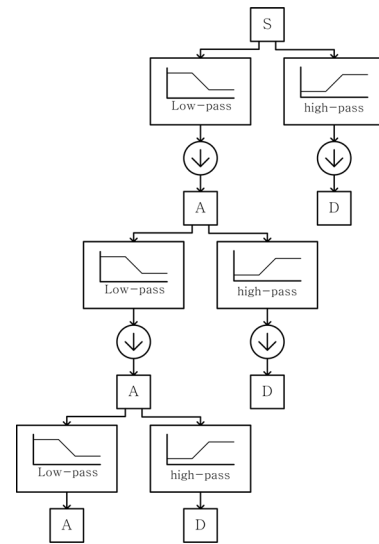
되던 응용분야와 새로운 응용분야들에서 각광받고 있다. 이러한 무선 센서 노드 하드웨어의 비약적인 발전에도 불구하고 센서 노드의 에너지와 통신상의 제한은 무선 센서 네트워크의 발전에 큰 장애물이 되었다. 무선 센서 노드의 에너지 제약으로 인해 표적의 식별을 위한 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드에서 표적으로부터 수신된 신호의 에너지를 계산하여 문턱치 이상의 경우 표적의 존재 유무만 기지국으로 전송 하는 방법과 표적으로부터 수신된 신호를 잡음 제거하여 압축한 후 기지국으로 전송하는 방법이 많이 사용된다. 이런 기존의 센서 노드 신호처리 방법에서 전자의 경우 표적의 존재 유무만 기지국으로 전송함으로써 표적의 에너지를 제외한 모든 정보를 잃어버리게 되는 단점이 있고 후자의 경우 전체 신호를 압축하고 전송하는 경우 신호처리 및 통신에 소모되는 에너지가 매우 크게 되어 센서 노드의 생존 시간이 치명적으로 줄어드는 단점이 있다[4].

본 논문에서는 영상 처리, 통신 시스템 등의 여러 분야에서 응용되고 있는 웨이블릿 변환 기법을 이용하여 센서 노드에서 표적 식별 특징 추출을 수행하는 알고리즘을 제안한다. 웨이블릿 변환 기법은 신호의 압축, 잡음 제거, 특징 추출 등의 여러 분야에서 응용된다. 제안된 기법은 센서 노드에서 웨이블릿 변환을 수행한 후 나타나는 상수를 이용하여 특징을 추출하는 방법이다.

본 논문의 2장에서는 센서 노드에서 필수적인 신호처리인 잡음제거와 압축 그리고 기지국에서의 신호 복원을 위해 사용되는 웨이블릿 변환에 대해 설명하고 3장에서 제안된 신호처리 방법을 통해 특징을 추출하는 기법을 소개한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증해보고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 웨이블릿 변환을 이용한 특징 추출

웨이블릿 변환은 최근 신호처리 기법에서 많이 이용되고 있는 기법 중의 하나이다. 웨이블릿 변환 기법은 데이터의 시간 정보와 주파수 정보를 모두 확인 할 수 있을 뿐만 아니라, 환경적 요소에 의한 잡음의 제거, 압축을 통한 제한된 에너지 및 통신 대역폭의 문제를 해결할 수 있다[5-8]. 무선 센서 네트워크에서 센서노드는 잡음 제거, 압축, 특징 추출 등의 신호처리 능력을 가져야 한다.



[그림 1] 웨이블릿 변환의 구조

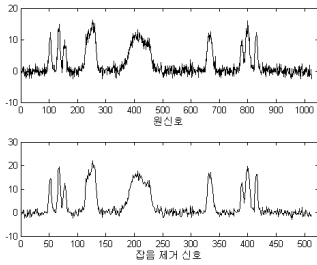
그림 1은 웨이블릿 변환의 구조이다. 원신호 S는 웨이블릿 변환을 통해 각각 근사상수 A와 세부상수 D로 분해된다. 분해된 근사상수 A는 적절한 문턱치 이하의 작은 값들을 제거함으로써 잡음성분이 원신호에 비해 상대적으로 제거된다. 또한 분해된 근사상수 A는 원신호 샘플 개수의 절반으로 원신호의 저역 통과 필터에 의한 고주파 잡음이 제거된 원신호의 특징 정보를 유지할 수 있다. 원신호 정보를 포함하는 근사상수 A는 신호의 식별을 위한 특징으로 사용될 수 있다. 제안된 방법에서 사용되는 웨이블릿 변환의 특징은 아래와 같다.

2.1 잡음의 제거

웨이블릿 변환을 이용한 잡음 제거는 웨이블릿 상수를 이용하여 문턱치를 설정하여 잡음을 제거하는 방법이 가장 많이 사용된다.

웨이블릿 변환을 이용하여 잡음을 제거하고자 하는 경우 신호의 종류와 기본 웨이블릿 기저함수 및 웨이블릿 상수를 고려하여야 한다. 그림 2는 웨이블릿 변환을 이용한 신호의 잡음 제거의 예이다.

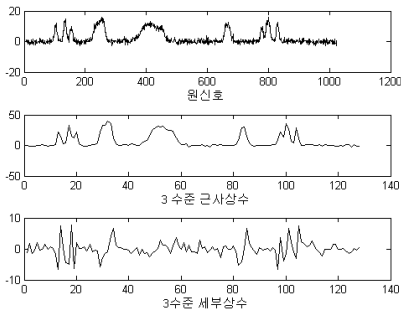
그림 2는 잡음이 있는 신호를 "Daubechies 1" 기본 웨이블릿 기저함수를 이용하여 고주파 성분을 제거하여 잡음을 제거한 예이다. 무선 센서 노드에서 입력되는 음향 표적의 신호는 환경적 요소에 의한 다양한 종류의 잡음이 동반된다. 따라서 각 센서 노드에서의 신호처리는 잡음 제거가 필수적이고, 웨이블릿 변환을 이용하면 부가적인 잡음 제거 신호처리 없이 신호의 잡음을 제거할 수 있으므로 연산량을 감소시킬 수 있다.



[그림 2] 웨이블릿 변환을 이용한 신호의 잡음 제거

2.2 압축

무선 센서 네트워크에서 에너지와 통신 대역폭의 제한은 센서 노드간, 센서 노드와 기지국 간의 통신에 있어서 에너지 소모와 통신 대역폭을 줄여야 하는 문제를 발생시킨다. 무선 센서 네트워크에서 각 센서 노드는 신호를 압축하여 보내는 방법을 사용하여 에너지 소모와 통신 대역폭 제한의 문제를 해결한다. 무선 센서 노드에서 소모되는 에너지는 통신과 신호처리를 위한 연산량 증가에 의한 부분으로 나눌 수 있다. 일반적으로 통신에 소모되는 에너지는 연산량에 의한 소모에너지 보다 매우 크다.[5,9-10] 따라서 무선 센서 노드에서 필수적인 신호 압축을 웨이블릿 변환을 이용하여 원신호 샘플 개수에 비해 샘플 갯수가 절반으로 줄어드는 특징으로 에너지 효율적으로 신호의 압축을 수행 할 수 있다. 그림 3은 웨이블릿을 이용한 신호의 압축 예이다.



[그림 3] 웨이블릿을 이용한 신호 압축

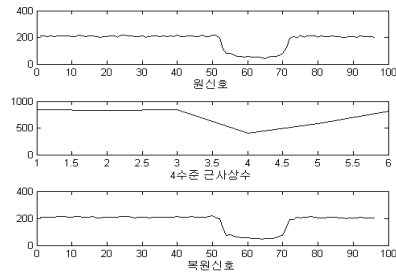
그림 3에서 근사 상수는 고주파 잡음이 제거되고 원신호의 특성을 잘 보여주고 원 신호 대비 약 12%의 길이로 신호가 압축되는 것을 확인 할 수 있다.

2.3 복원

기지국에서 정밀한 표적의 탐지 및 식별을 위해서는

각 센서 노드에서 입력되는 신호를 그대로 이용하는 방법이 가장 이상적이다. 그러나 센서 노드의 통신 대역폭과 에너지 소모 때문에 기지국에서 원 신호를 전송 받는 것은 힘들다. 웨이블릿 분해를 이용하여 각각 세부상수와 근사상수로 나누어진 웨이블릿 상수는 웨이블릿 복원을 이용하여 원신호로 복원할 수 있다. 따라서 웨이블릿 분해를 이용하여 잡음의 제거 및 압축된 웨이블릿 상수를 기지국으로 전송함으로써 무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 에너지 효율을 높일 수 있고, 통신에 소모되는 통신 대역폭을 줄일 수 있다. 또한 기지국으로 전송된 웨이블릿 상수를 웨이블릿 복원을 이용하여 원신호로 복원하여 표적의 탐지 및 식별의 정확도를 향상 시킬 수 있다.

그림 4는 “Daubechies 1” 기본 웨이블릿 기저함수를 이용하여 4 수준 웨이블릿 분해된 근사 상수를 보간법으로 웨이블릿 복원한 예이다. 4 수준 웨이블릿 분해된 근사 상수는 원 신호대비 6% 길이에 불과하지만 복원된 신호는 원 신호의 특징을 잘 보여줌을 확인 할 수 있다.



[그림 4] 웨이블릿을 이용한 신호 복원

3. 제안된 표적 특징 추출 기법

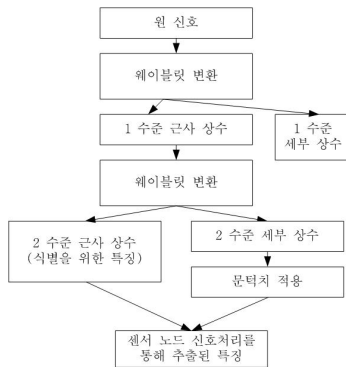
에너지와 통신 대역폭의 제한으로 인해 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드간, 혹은 센서 노드와 기지국과의 상호 정보 전송 및 처리를 위해서 신호의 잡음 제거, 압축, 특징 추출 등의 기법이 센서 노드에서 필수적으로 이루어져야 한다. 웨이블릿 기법은 센서 노드에서 필수적인 신호의 잡음 제거, 압축, 특징 추출 등의 신호처리를 효율적으로 처리할 수 있다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 추출된 웨이블릿 상수에서 표적의 특징을 추출하고, 추출된 특징을 기지국으로 전송하여 통신에 소모되는 에너지를 줄이는 알고리즘을 제안한다.

3.1 이산 웨이블릿 변환을 이용한 특징 추출

웨이블릿 분해를 통해 각각 세부상수와 근사상수로 나누어진 웨이블릿 상수를 추출할 수 있다. 세부상수는 신호의 고주파 특징을 가지고, 근사상수는 신호의 저주파 특징을 가지고 있다. 일반적으로 웨이블릿 분해를 한번 수행하면 분해된 근사 및 세부상수는 원신호 샘플 개수의 절반이 된다.

그림 5는 웨이블릿 분해를 이용하여 2수준 근사 및 세부상수를 추출하는 과정을 나타낸 것이다. 그림 4에서 추출된 식별특징과 탐지특징은 원 신호 샘플 개수의 25%로 줄어든다.

표적으로부터 수신된 원 신호를 기지국으로 전송하는 기존의 신호처리 방법에 비해, 기지국으로 샘플 개수가 25%로 줄어든 식별특징을 전송하므로 통신 대역폭을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 통신에 소모되는 에너지를 줄일 수 있다.



[그림 5] 제안된 특징 추출 기법

3.2 세부 상수 문턱치

센서 노드에서 2 수준 세부 상수에 적절한 문턱치를 설정하여 표적이 지나갈 때의 샘플만을 추출하여 이를 기지국으로 전송하여 표적의 시간 정보를 위한 특징 벡터로 사용한다. 음향 표적 식별을 위한 특징 벡터를 추출할 때 2 수준 세부 상수에 문턱치는 식 (1)과 같이 계산한다.

$$Th = \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (cD_{2,k}) \right) + \alpha \quad (1)$$

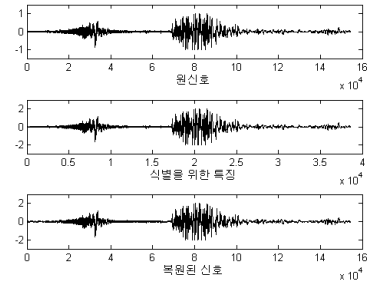
여기서 Th 는 세부상수의 문턱치 값이고, $cD_{2,k}$ 와 N 은 각각 2 수준 세부상수의 값과 총 샘플수이다. 식에서 α 는 음향 표적의 종류에 따라 가변적으로 달라지는 가변 상수이다. 실험을 통해 음향표적인 차량신호에서는 0.09

가 적절하였다. 센서 노드에서 25%로 줄어든 세부상수에서 표적이 탐지된 샘플만을 다시 추출하여 기지국으로 전송하므로 기존 원 신호를 전송하는 신호처리 방법에 비해 에너지 제약과 통신 대역폭 제한의 단점을 보완할 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

무선 센서 네트워크에서 센서로 수신된 신호를 센서 노드에서 웨이블릿 변환을 통해 특징 추출하고, 추출된 특징을 기지국으로 전송하여 통신에 소모되는 에너지를 줄이는 알고리즘을 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션이다. 그림 6은 시뮬레이션에서 사용한 한 대의 자동차가 진행할 때의 음향 신호이다[11,12].

시뮬레이션에서 사용한 기본 웨이블릿 기저함수는 "Daubechies 1" 웨이블릿을 사용하였고, 2 수준 웨이블릿 분해를 통한 세부상수와 근사상수를 추출하여 특징으로 사용하였다.

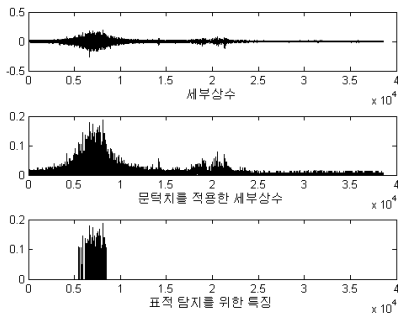


[그림 6] 식별을 위한 특징을 이용한 원신호 복원

그림 6에서 추출된 25%로 줄어든 식별특징은 기지국으로 전송하여 자동차의 식별을 위한 특징 벡터로 사용한다. 다음으로 25%로 줄어든 2 수준 탐지특징에 문턱치를 설정하여 표적이 지나갈 때의 샘플만을 추출하여 이를 기지국으로 전송하여 표적의 시간 정보를 위한 특징 벡터로 사용한다.

그림 7에서 원 신호 대비 25%로 줄어든 2 수준 세부 상수에서 표적이 탐지된 샘플만을 다시 추출하여 샘플 개수를 측정한 결과 표적 탐지 특징은 2 수준 세부 상수의 길이의 12.5%에 해당하는 탐지 특징이 된다. 따라서 2 수준 세부 상수의 12.5%에 해당하는 샘플과 2수준 근사 상수 샘플을 합하면 전체 전송되는 특징 샘플의 개수는 원 신호 대비 28%의 샘플 개수만 전송하면 된다. 추출된 특징을 센서 노드에서 기지국으로 전송하므로 기존 원신

호 전송 방법에 비해 센서 노드에서 기지국으로 전송하는 표적의 특징으로 사용될 샘플 개수가 28%로 줄어들어 에너지 제약과 통신 대역폭 제한의 단점을 보완할 수 있다.



[그림 7] 세부상수 특징 추출

표 1은 하나의 센서 노드에서 기지국으로 전송하는 샘플의 개수를 계산한 것으로 원 신호를 전송할 때 비해 약 28%의 길이로 샘플 개수가 줄어드는 것을 보여준다. 이를 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 추출된 표적 특징을 이용하면 각 센서 노드에서의 통신에 소모되는 에너지 소모를 줄일 수 있음을 확인하였다. 원 신호 전송 기법의 경우 센서 노드에서 잡음 제거를 위한 선 신호처리가 필요하나 제안된 기법은 탐지를 위한 2 수준 세부상수를 전송함으로써 잡음 제거가 이루어진다.

[표 1] 기지국으로 전송하는 샘플 개수

	기지국으로 전송하는 샘플 개수
원 신호 전송	108544개
웨이블릿 변환	2 수준 근사상수 샘플 27136개와 특징 추출된 2 수준 세부상수 샘플 3254개 총 30390개

5. 결론

무선 센서 네트워크에서 널리 사용하는 에너지 기반 기법에 비해 본 논문에서 제안하는 센서 노드에서 웨이블릿 변환을 이용하여 추출된 웨이블릿 상수에서 표적의 특징을 추출하고, 추출된 특징을 기지국으로 전송하는 기법은 표적의 탐지 및 식별 정보를 전송할 수 있다. 본 논문에서 제안한 기법은 센서 노드에서 필수적인 신호처리인 신호의 압축, 잡음제거, 등을 부가적인 연산 없이 수행

할 수 있으므로 연산량을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 원 신호를 기지국으로 전송하는 기법에 비해 샘플 개수가 30390개로 원신호 대비 약 28%로 줄어들게 되어 통신에 소모되는 에너지를 크게 줄이고, 센서 노드와 기지국간의 통신 대역을 효과적으로 사용할 수 있다.

참고문헌

- [1] G. Werner-Allen et al., "Monitoring Volcanic Eruptions with Wireless Sensor Network," *Proc. 2nd European workshop Wireless Sensor Networks(EWSN05)*, IEEE press, 2005.
- [2] S. Pavan, "Wireless Ad hoc sensor and actuator networks on the farm" *ACM IPSN'06*, Apr.2006.
- [3] J. Paek et al., "A wireless sensor network for structural health monitoring: Performance and experience" *The Second IEEE Workshop on EmNets- II* May 2005.
- [4] K. Natallia, L. Elizaveta, M. George, "Local Vote Decision Fusion for Target Detection in Wireless Sensor Networks" *IEEE Signal process. trans.* vol.56 no.1, Jan 2008.
- [5] L. Shengpu, C. Liang, "Efficient Data Compression in Wireless Sensor Networks for Civil Infrastructure Health Monitoring" *SECON'06 IEEE*, 2006.
- [6] A. Dostanic, A. Peulic, S. Randjic, U. Pesovic, "Wireless Sensor Network Wavelet Signal Processing" *EURASIP conf. IEEE* 2007.
- [7] 차대현, 이태영, 한국희, 홍진근, 황찬식, "무선 센서 네트워크에서 Lifting Scheme Wavelet을 이용한 센서 노드 신호처리" 한국 산학 기술 학회 추계 학술발표 논문집, 2009.
- [8] 차대현, 이태영, 한국희, 홍진근, 황찬식, "표적 감시를 위한 무선 센서 네트워크에서 웨이블릿 상수를 이용한 특징 추출" 한국 산학 기술 학회 추계 학술발표 논문집, 2009.
- [9] D. Hui, L. Jiangang, S. Youxian, "Adaptive Distributed Compression Algorithm for Wireless Sensor Networks" *ICIC'06 conf. vol.3* 2006.
- [10] A. Kishore, C. Chaitali, "A VLSI Architecture for Lifting-Based Forward and Inverse Wavelet Transform" *IEEE Signal process. trans.* vol.50 no.4, April 2002.
- [11] J. Ding, S. Y. Cheung, C. W. Tan, P. Varaiya, "Signal processing of sensor node data for vehicle detection", 2003.
- [12] <http://path.berkeley.edu/~singyju/vehicledetection/research/acoustic/detection.html>

차 대 현(Dae-Hyun Cha)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경북대학교 전자공학과 정보통신 전공 졸업
- 2006년 2월 : 동대학원 전자공학과 정보통신 전공 석사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전자전기컴퓨터학부 박사과정

<관심분야>

디지털신호처리, 무선 센서 노드 신호처리, 무선 센서 네트워크 프로토콜 및 보안, 수중 음향 신호처리

한 군 희(Kun-Hee Han)

[종신회원]



- 2008년 8월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

암호프로토콜, 네트워크 보안, 영상처리

이 태 영(Tae-Young Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 계명대학교 전자공학과 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터학부 석사

<관심분야>

디지털신호처리, 무선 센서 네트워크, 수중 음향 신호처리

황 찬 식(Chan-Sik Hwang)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서강대학교 전자공학과 졸업
- 1979년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 1996년 2월 : 동대학원 전기및전자공학과 박사
- 1979년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

<관심분야>

영상신호처리, 수중음향신호처리, 디지털신호처리, 영상통신, 무선 센서 네트워크 등

홍 진 근(Jin-Keun Hong)

[정회원]



- 2008년 12월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

전송통신, 센서넷, RFID, 무선랜 보안