천이상태 신호와 정상상태 신호를 이용한 Radio Frequency fingerprinting 시스템

이창윤, 강주성, *이흥노
광주과학기술원

lyun4703@gist.ac.kr, k92492@gist.ac.kr, *heungno@gist.ac.kr

Transient signal and Steady state signal-based Radio Frequency Fingerprinting system

Changyun Lee, Jusung Kang, *Heung-No Lee
Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

요 약

본 논문에서는 천이상태 신호와 정상상태 신호를 이용하는 Radio Frequency(RF) Fingerprinting 시스템을 제안한다. RF Fingerprinting 은 수신된 RF 신호 속 고유한 특성인자를 가지고 동종 모델의 통신기에 대한 분류를 하는 기술로써, 본 논문 에서는 천이상태 신호와 정상상태 신호를 특성인자로 사용하였다. 특성인자를 통신기 신호 별로 추출하여, 주파수 대역의 main lobe 값을 특징벡터로 삼고, Sparse representation Classifier(SRC)를 이용하여 개별통신기를 분류하였다. 상용 무전기에 대한 실험으로 최대 98.75%의 분류 정확도를 보여주었다.

Ⅰ. 서 론

현대의 전자전(Electric Warfare)에서 효율적인 전자전 지원을 위해 적군 통신기에 대한 빠른 탐지 능력 및 정확한 분석 능력이 요구되고 있다. 사람의 고유한 지문과 같이, 소자 특성, 제조과정에 의한 차이로 개별 통신기의 RF 신호에는 고유한 특징이 있다. 이러한 특징들을 특성인자라 칭한다. 특성인자를 대표하는 값들로 이루어진 특징벡터를 형성한다. 이러한 특징벡터를 이용하여 무선통신에서 동종 모델의 개별 통신에 대해 분류하는 기술로 RF Fingerprinting 이라 명명된다. 이러한 RF Fingerprinting 에 관한 연구로 [1]에서는 RF 신호에 대해 Hilbert Transform 을 통한 포락선 검파를 수행하고 천이상태 신호를 특성인자로 이용하여, Support Vector Machine(SVM)을 통해 최대 97.3%의 분류 정확도를 도달한 바 있다. [2]에서는 특성인자에 대한 연구로 differential constellation trace figure, carrier frequency offset, modulation offset and I/Q offset 4 가지 특성인자를 사용한 RF Fingerprinting 모델을 제안하였다. [3]에서는 상용 Zigbee 기기 7 대를 분류하기위해 Convolutional Neural Network(CNN)을 이용한 모델을 제안하였다.

본 논문에서는 선행 연구결과를 확장하여, 천이상태 신호와 정상상태 신호를 특성인자로 이용하고자 한다. Fourier Transform 을 통해 각 신호의 main lobe 값을 특징벡터로서 활용하고자 한다. 다음으로 Principle component Analysis(주성분 분석)을 통해 주요 성분만을 추출하고 SRC 를 이용하였을 때의 정확도 변화에 대해 주목하고자 한다.

Ⅱ. 본론

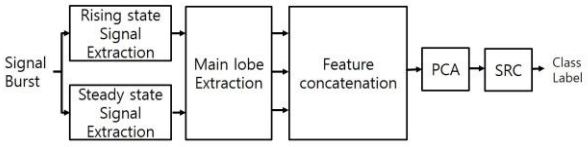

그림 1. 천이상태 신호와 정상상태 신호를 이용한 RF Fingerprinting 시스템

본 논문에서 고려하는 RF Fingerprinting 시스템은 그림 1 과 같다. 상용 Walkie-talkie 로부터 RF 신호를 수신한 후 특성인자를 추출한다. 천이상태 신호는 신호를 수신하였을 때, 신호가 수신된 초기에서 정상상태에 도달할 때까지 신호로 정의한다. 정상상태 신호는 신호의 Amplitude 가 시간에 따라 일정한 구간의 신호로 정의한다. 본 논문의 시스템에서는 천이상태 신호와 정상상태 신호는 RF 신호의 첫번째 Burst 를 기준으로 문턱 값(Threshold value)를 주어 추출하였다. 추출된 신호들은 Fast Fourier Transform(FFT)를 거쳐 절대값 연산이 취해진 뒤 신호의 main lobe 를 중심으로 전후 2000 개의 구간 값들을 특징벡터로 이용하였다. 신호의 주파수 대역에서 신호 에너지의 대부분이 main lobe 에 분포하여 특징벡터로써 main lobe 의 값을 활용할 수 있다. 이러한 특징벡터를 $\vec{S}(t)=[\mathbf{f}_R,\mathbf{f}_S]$ 라 정의하며 그림 2 와 같다.

이를 통해 얻어진 통신기 별 각 특징벡터 들은 4000 개의 성분으로 이루어져 있다. 본 논문의 시스템에서는 주성분 분석을 통해, Data reduction 을 수행하였다. 주성분 분석을 통해 특성인자의 특성이 가장 잘 나타나

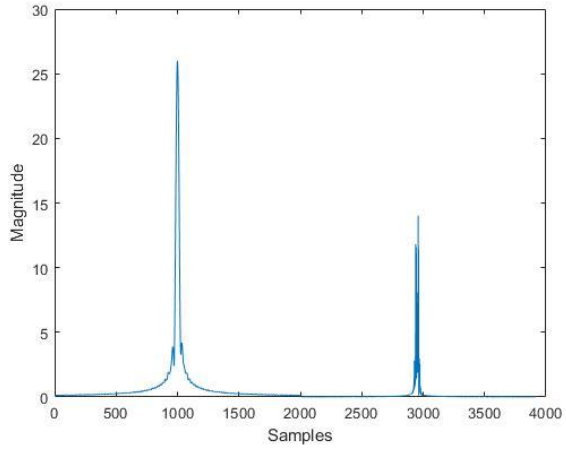

그림 2. Feature Vector $\vec{S}(t)=[\mathbf{f}_R,\mathbf{f}_s]$

는 순으로 기저 벡터가 생성되며, 기저 벡터를 통해 새로운 공간으로 투영한다. 본 논문의 시스템에서는 4000 개의 샘플들을 100 개의 주성분으로 투영하였다.

다음으로 주성분 분석을 거친 데이터들을 본 논문에서는 SRC 를 이용하여 분류하였다. 본 논문에서 다루는 SRC 는 변수 개수가 방정식 개수보다 많은 underdetermined system 에서 무한한 해를 갖는 y=Ax 에 대해 가장 희소한 해를 찾는 분류 기이다. 무한한 해집합에서 가장 희소한 해를 찾기 위해 본 시스템에서는 BP(Basis pursuit) 알고리즘을 사용하였다. BP 알고리즘이란 무한한 해 집합 가운데 $\min_x \|x\|_1 \; s.t. y = Ax$ 이란 조건을 갖는 해를 찾기 위한 알고리즘이다. x 에 대한 값이 가장 작은 해를 찾으면, Correlation 이 큰 기저 벡터에 대한 해를 제외하고 전부 0 값을 갖게 되어 분류를 쉽게 수행할 수 있다. 그림 3 은 개략적인 SRC 의 분류 수행 알고리즘을 보여준다. BP 알고리즘을 통해 가장 희소한 해를 구한다. 해당하는 Class 에 대한 값은 남겨두고 다른 값들은 전부 0 으로 만든다. 각 Class 에 대한 해를 $x_1, x_2, ..., x_i$ 로 나타낸다면 시스템의 Residual 로 나타낼 수 있다. Residual 을 Class 별로 비교하여 가장 작은 값을 갖는 Class 를 unknown signal 에 대한 최종 분류 결과로 판단하여 출력한다.

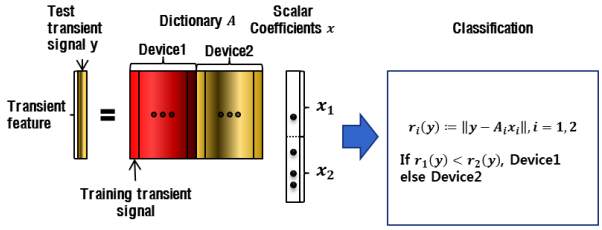

그림 3. SRC 를 이용한 분류 수행 예시

Ⅱ-Ⅰ. 실험환경 및 결과

본 논문에서 사용된 실험 환경은 다음과 같다. 상용 Walkie-talkie 에 대한 고려를 위해 MOTOROLA 사의 SL1M 모델 4 대와 HYTERA 사의 BD-358 모델 4 대를 이용하였다. 두 모델 모두 유럽전기통신표준협회에서 정의한 Digital mobile radio 규격의 표준을 따른다. 두 모델의 Push-to-Talk 버튼을 이용하여 RF 신호를 송출하였고, QPSK 변조 방식과 UHF 대역을 이용하였다. 수신된 신호를 10MHz IF 대역으로 down-converting 하여 100M samples/sec 의 속도로 1 초 동안 측정하였다. Test 및 Training 신호 구성을 위해 개별 무전기 별 50 번씩 신호를 측정하였다. 측정한 데이터들을 SRC 를 이용하여 8 class 분류 실험을 수행하였다. 5-fold validation 을 통한 Test Accuracy 를 추출하였다.

실험을 통해 최대 98.75%의 분류 정확도를 보여주었으며, 무전기 별 특징벡터들이 다른 것을 알 수 있었다. 그림 4 는 이러한 분류정확도가 주성분 수에 따른 변화를 보여준다. Matlab 실험을 통해 주성분 수를 변화시켜가며 분류 정확도를 측정했다. 약 20 번째의 주성분 수 이후 분류 정확도가 크게 변하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 향후 해당 결과에 대한 분석을 통해 Data reduction 을 수행했을 때, 보다 더 높은 분류 정확도를 가지는 시스템 개발을 수행할 예정이다.

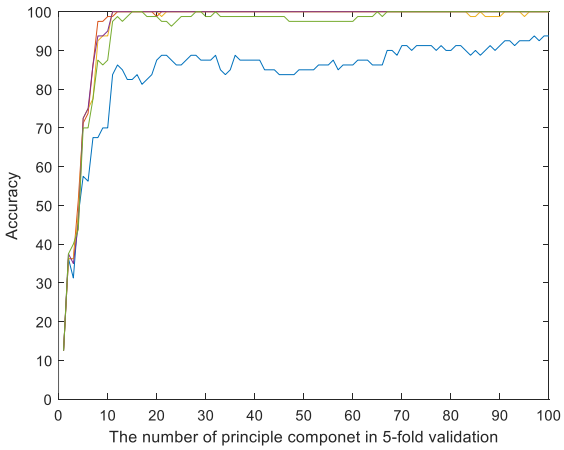

그림 4. 주성분수에 따른 Accuracy 그래프

Ⅲ. 결론

본논문에서는 선행연구 결과를 확장하여, 천이상태 신호와 정상상태 신호를 특성인자로 활용한 RF Fingerprinting 기술의 적용 가능성에 대해 알아보았다. 실험 결과로는 최대 98.75%의 분류 정확도를 보여주었다. 해당 실험 결과를 통해, 천이상태 신호와 정상상태 신호를 이용한 RF Fingerprinting 기술이 적용 가능함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIP) [NRF-2018R1A2A1A19018665].

참 고 문 헌

[1] Jusung Kang, Haewoong Choi, Jaewon Bang, Rohit Thakur, Cheolsun Kim and Heung-No Lee,"상용 Walkie-Talkie 에 대한 천이상태 신호 기반 Radio Frequency Fingerprinting 시스템", 2016 년도 한국통신학회 동계종합학술발표회, Jan 20-22, 2016, (ADD project).

[2] L. Peng, A. Hu, J. Zhang, Y. Jiang, J. Yu, and Y. Yan, "Design of a Hybrid RF Fingerprint Extraction and Device Classification Scheme," *IEEE Trans. Internet Things.*, May, 2018 (in press)

[3] K. Merchant, S. Revay, G. Stantchev, and B. Nousain, "Deep learning for Rf device fingerprinting in cognitive communication network," *IEEE, J.Sel.Topics Signal Process.*, vol. 12, no. 1, pp. 160-167, Feb. 2018.