

2015년도 정기총회 및 추계학술대회

2015년 11월 27일(금)~28일(토)
오크밸리(강원도 원주시) 골프빌리지센터

주최 : 사단법인 대한전자공학회

후원 : SKT, 중앙대 전자정보연구센터, KT, (재)한국여성과학기술인지원센터



05. NTV 영역에서의 delay model과 parametric variation ▶CFP-005	
김광수, 한상우, 박영민, 임민영, 정성욱, 정의영(연세대학교)	853
06. 라이브러리 설계와 게이트 사이징을 이용한 이중 모드 회로의 타이밍 최적화 ▶CFP-003	
김상민, 신영수(KAIST)	857
07. 문턱전압 근방 전압에서 동작하는 회로 설계 ▶CFP-001	
정한울, 박주현, 정성욱(연세대학교)	860

11월 27일(금) 13:15~15:15

카멜리아룸

특별세션 8 (Information Sensing, Detection, and Classifications)

좌장 김재현(아주대학교)

01. 무선 수동형 센서 망에서 충전 및 활동 시간의 근사 계산 방법 ▶CFP-033	
서희원, 박진경, 하준, 최천원(단국대학교)	863
02. 메시지 전달기반의 연판정 검파기를 이용한 MIMO 신호의 터보 등화 ▶CFP-028	
윤철준, 윤석현(단국대학교)	866
03. 미세먼지 측정을 위한 IoT 센서 디바이스 설계 ▶CFP-027	
구성완, 김경호, 김진영(광운대학교)	868
04. 키워드 추출 및 유사도 평가를 통한 해시태그 검색 시스템 ▶CFP-026	
정재인, 유명식(숭실대학교)	870
05. 재구성 가능한 통신기에 대한 천이상태 신호 기반 개별 통신기 분류 시스템에 관한 연구 ▶CFP-025	
강주성, 김기선, 이홍노(광주과학기술원)	873
06. 전파 교란 환경에서 다양한 변조기법의 비트 오류율 성능 분석 ▶CFP-024	
김원경, 최동열(아주대학교), 조희래(국가보안기술연구소), 김재현(아주대학교)	876

11월 27일(금) 15:30~17:45

카멜리아룸

특별세션 7 (고속 디지털 인터페이스)

좌장 박상규(한양대학교)

01. Android 탑재 스마트폰 용 USB OTG 통신 방식의 데이터 획득 장치 ▶CFP-013	
노현규, 심재운, 김병섭, 박홍준(포항공과대학교)	879
02. 주파수-전압 변환기를 이용한 V-by-one 용 등화기 설계 ▶CFP-011	
최용배, 김석만, 조경록(충북대학교)	881

재구성 가능한 통신기에 대한 천이상태 신호 기반 개별 통신기 분류 시스템에 관한 연구

강주성, 김기선, 이흥노
광주과학기술원 정보통신공학부
e-mail : k92492@gist.ac.kr, kskim@gist.ac.kr, heungno@gist.ac.kr

Transient signal-based individual device identification system for a
reconfigurable transceiver

Ju Sung Kang, Kiseon Kim, Heung-No Lee
School of Information and Communications
Gwangju Institute of Science and Technology

Abstract

In this paper, the possibility of individual device identification system for a reconfigurable transceiver is formulated. The transient signals from a set of practical transceivers are captured and localized to extract a feature for identification, and a standard Support Vector Machine(SVM) is used with additive noises to model the channel environment. The classification result is 98% on controlled laboratory environment. From this result, we could confirm the enough possibility of transient signal for the individual device identification system for reconfigurable transceiver.

I. 서론

현대의 전쟁은 전장 정보의 우위를 바탕으로 수행되는 전자전(Electric Warfare)으로 변하고 있다. 이러한 변화에 대응하기 위해, 전자전 지원 장비는 적의 재구성 가능한 통신기(Reconfigurable Transceiver)에서 생성되는 전파 신호를 빠르게 탐지하고 정확하게 분석함으로써 개별 통신기까지도 식별하여 정보를 제공하는

능력을 갖춰야한다. 하지만 현용 전파 신호 분석 방법으로는 통신기 종류에 대한 식별만 가능할 뿐, 같은 종류의 개별 통신기에 대한 식별은 불가능한 실정이다.

본 논문에서는 전자전 지원 기술에 대한 고려를 위해 재구성 가능한 통신기에 대한 개별 통신기 식별 기술에 대해 연구한다. 수신된 전파신호를 이용한 개별 통신기 식별 기술과 관련된 연구는 다음과 같다. Extremadura 대학 연구팀은 28개의 Wi-Fi 통신기의 천이상태 신호를 추출하여 95% 정확도로 식별 하였으며[1], Bell Lab.의 개별 통신기 식별 연구팀은 41종류의 UMTS 장비의 preamble 신호를 추출하고 스펙트럼 성분을 분석하여 99.8% 정확도로 식별 하였다[2]. Wisconsin 대학 연구팀의 경우 138개의 802.11 네트워크 카드의 신호를 I/Q domain에서의 오차에 대해 분석하여 99% 정확도로 식별하였다[3].

상기 연구 결과들은 개별 통신기 분류를 위해 위와 같은 단일 대역·단일 모드(Singleband·Singlemode) 통신기를 고려하였다. 하지만 전장 환경에서는 큰 크기를 갖는 군용 단일대역·단일모드 통신기들을 모두 지니고 다닐 수 없기에, 하나의 기기에서 다수의 통신방식을 지원하는 다중대역·다중모드(Multiband·Multimode) 통신기, 즉 재구성 가능한 통신기가 적합하다.

본 논문에서는 재구성 가능한 통신기에 대해 채널 잡음의 확률적 특성을 이용하여 천이상태 신호를 추출

하고, 포락선 검파(Envelope detection)를 통해 상승 곡선을 구한 후, SVM 분류기를 활용하여 개별 통신기를 분류하는 실험을 수행하고, 분류 결과가 잘 나옴을 보임으로써 재구성 가능한 통신기에 대해서도 개별 통신기 분류가 가능함을 보이고자 한다.

II. 본론

2.1 문제 정의

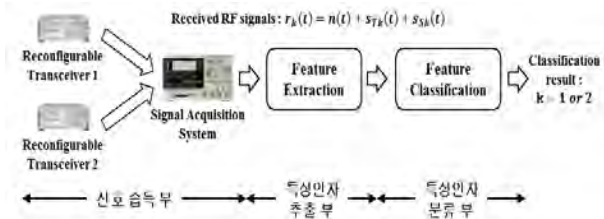


그림 1. 개별 통신기 식별 시스템 구성도

그림 1은 개별 통신기 2대에 대한 식별 시스템 구성도를 보여준다. 개별 통신기 식별 시스템은 여러 통신기에 대한 전파 신호를 획득하는 신호 습득 부와 습득된 신호에 대한 특성을 추출하는 특성인자 추출 부, 추출된 특성을 분류하는 특성인자 분류 부로 구성된다.

본 논문에서 풀고자 하는 문제는 다음과 같다. 재구성 가능한 통신기로부터 전파신호를 획득하고, 획득한 전파신호 특성을 추출하고 분류하여 최종적으로 수신된 전파신호가 어느 재구성 가능한 통신기로부터 송출되었는지를 결정하고자 한다.

2.2 전파 신호 습득 부

개별 통신기로부터 송출되고 신호 습득 부를 통해 측정되는 전파신호는 다음과 같다.

$$r_k(t) = \begin{cases} n(t) & t \leq T_s \\ n(t) + s_{rk}(t) & T_s \leq t < T_e \\ n(t) + s_{sk}(t) & t \leq T_e \end{cases} \quad k = 1 \text{ or } 2$$

$s_{rk}(t)$ 와 $s_{sk}(t)$ 는 각각 전파 신호의 천이상태 신호와 정상상태 신호를 의미하며, $n(t)$ 는 채널 잡음을 의미한다. T_s 와 T_e 는 천이상태 신호의 시작 및 종료 시각을 의미하며, k 는 각각의 통신기를 의미한다.

개별 통신기로부터 송출된 단일 전파신호를 측정하였을 경우, 다음과 같은 특징을 지닌다. 전파 송출 시작 시각을 의미하는 T_s 이전에는 채널 잡음만 측정되며, 다른 신호는 존재하지 않는다. 이후 $T_s \leq t < T_e$ 구간에는 천이상태신호와 채널 잡음만 존재하며, $t \leq T_e$ 구간에는 천이상태 신호는 종료되고, 정상상태 신호와 채널 잡음만이 존재한다.

2.3 특성인자 추출 부

본 논문에서는 모든 종류의 통신기들이 서로 다른 천이상태 신호를 가진다는 점에서 천이상태 신호의 상승곡선을 차별적 특성으로 고려하였다. 본 논문에 쓰인 특성 추출 과정은 다음과 같다.

Step 1 : 천이상태 신호의 시작 시각 계산

천이상태 신호의 시작 시각 계산을 위해 역치값을 다음과 같이 정의한다.

$$E_{Thr} = m + 3\sigma$$

여기서, m 과 σ 는 $t < T_s$ 구간에서 측정되는 채널 잡음에 대한 평균 및 표준편차를 의미한다. 이상적인 상황에서 채널 잡음은 정규분포를 따르는 랜덤변수이기 때문에, 측정된 채널 잡음의 99.73%가 역치값보다 작음을 의미한다.

정의된 역치값을 이용하여 천이상태 신호의 시작 시각을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_s = \min(t) \quad \text{where } |r_k(t)| \geq E_{Thr}$$

즉, 측정 신호의 값이 역치값보다 커질 때 이를 천이상태 신호의 시작 시각으로 판단하였다.

Step 2 : 상승곡선 계산을 위한 포락선 검파 수행

천이상태 신호의 상승곡선을 계산하기 위해 포락선 검파를 수행한다. 본 논문에서는 신호의 중심 주파수를 고려하여 반주기 동안의 신호에 대한 최대값을 구하는 방법으로 상승 곡선을 계산하였다.

Step 3 : 경험적 판단에 의한 천이상태 신호의 종료 시각 결정

천이상태 신호의 종료 시각을 결정하기 위해 실험에 의한 경험적 판단에 의존하였다. 실험에 사용된 통신기에 대해 여러 번 측정된 결과, 대략 400ns 정도면 천이상태 신호가 완료됨을 확인 하였으며, 시작 시각으로부터 400ns 동안 포락선 검출을 수행하는 방식으로 천이상태 신호의 상승곡선을 계산하였다.

2.4 특성인자 분류 부 - SVM

2.3 과정을 통해 계산된 상승곡선을 분류하기 위해, 본 논문에서는 매트랩에서 제공하는 선형 투영 함수를 이용한 SVM을 사용하였다. SVM은 패턴인식 분야에서 자주 쓰이는 기계 학습 알고리즘으로써, 투영 함수를 이용하여 고차원의 특징 공간을 선형적인 분리가 가능한 공간으로 투영시키고, 해당 공간에서 다른 클래스 간의 여백을 최대화 할 수 있는 초평면을 찾는 방법을 통해 데이터 분류를 수행한다. 찾아진 초평면에 대한 분류 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$f(x) = \text{sign}(w \cdot \Phi(x) + b)$$

여기서 $\Phi(x)$ 는 투영 함수를 의미하며, w 와 b 를 통해 공간에서의 초평면을 정의할 수 있다. 본 논문에서

는 선형 투영 함수($\Phi(x)=x$)를 사용하였으며, 이에 따른 분류 함수는 $f(x)=sign(w \cdot x+b)$ 를 사용하였다.

III. 실험 및 결과

3.1 실험 환경 세팅

본 논문에서 사용된 실험은 다음과 같다. 재구성 가능한 통신기에 대한 고려를 위해 A사의 특정 Vector Signals Generator E4438C 2대를 고려하였으며, 신호 측정을 위해 A사의 MXO-X 3104A 오실로스코프가 사용되었다. 수월한 천이상태 신호 추출을 위해 4QAM symbol 중 '00'만을 계속 전송하도록 설정하였으며, 이를 5M symbols/sec 의 속도로 100MHz 중심 주파수 신호에 실어 0dBm으로 송출하였다. 각 개별 통신기별 전파 신호는 Test data, Training data 각 25 번씩 총 50번 측정 되었으며, $1\mu s$ 동안 5G samples/sec 의 속도로 샘플링 하였다.

3.1 실험 결과 및 분석

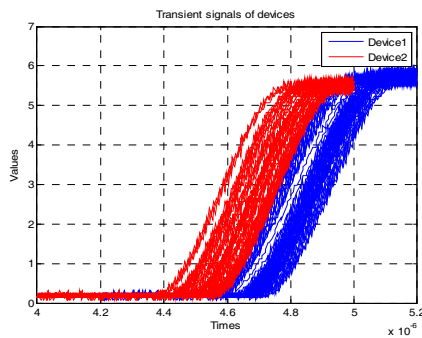


그림 2. 측정된 천이상태 전파 신호

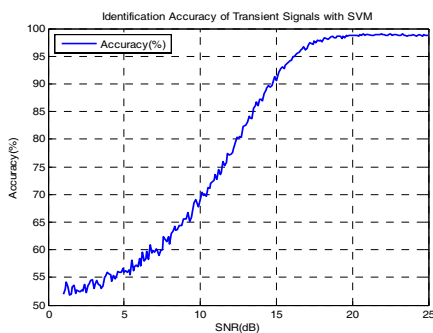


그림 3. SNR 대비 개별 통신기 분류 성공률 실험을 통해 측정된 천이상태 신호의 상승 곡선에 대한 분류 실험을 수행하였다. 그림 2는 측정된 천이상태 신호의 상승곡선을 나타낸다. 측정된 상승곡선에 대한 SVM 분류 실험 결과 98%의 분류성능을 보여주었는데, 이는 두 기기의 상승곡선에 구별할 수 있는 차이가 존재하는 것을 의미한다.

그림 3은 SNR대비 개별 통신기 분류 성공률을 보여준다. 매트랩 실험을 통해 인위적인 잡음 신호를 가하여 SNR을 변화시켰으며, 실험 결과 15dB SNR 이상의 환경에서는 92% 이상의 좋은 성능을 보여주다가 SNR이 낮아짐에 따라 급격히 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있었다. 해당 분석을 통해 향후 외부 환경에서의 분류 성능 변화에 대한 연구나 낮은 SNR에서 잘 동작 하는 분류기의 해석적 설계에 대한 실험 데이터 실험 검증을 추가로 수행할 계획이다[4].

VI. 결론

본 논문에서는 재구성이 가능한 통신기에 대한 개별 통신기 분류 기술의 가능성에 대해 알아보았다. 실제 재구성이 가능한 통신기인 특정 VSG에 천이상태 신호 기반 개별 통신기 분류 실험을 수행한 결과, 좋은 환경에서 최대 98%의 분류 성능을 보여주었으며, 15dB SNR 이하의 환경에서는 성능이 급격히 나빠진다.

해당 실험을 통해 재구성이 가능한 통신기에 대해서도 충분히 개별 통신기 분류 기술이 적용 가능함을 확인하였다.

감사의 글(Acknowledgement)

본 연구는 광주과학기술원 전자전연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] P. Padilla, J.L. Padilla, J.F Valenzuela-Valdes, "Radiofrequency identification of wireless devices based on RF fingerprinting", Electronics Letters, 2013.
- [2] P. Scanlon, Irwin O. Kennedy, Y. Liu., "Feature Extraction Approaches to RF Fingerprinting for Device Identification in Femtocells", Bell Labs Tech. Journal 2010
- [3] V. Brik, S. Banerjee, M. Gruteser, S. Oh, "Wireless device identification with radiometric signatures", MobiCom, 2008
- [4] O. R. Afolabi, K. Kim, A. Ahmad "On secure spectrum sensing in cognitive radio networks using emitters electromagnetic signature", ICCCN. 2009.