

논문 2010-5-23

인지 통신에서 1차 사용자의 판단 시간을 줄이기 위한 Or 기법의 연구

A Study of the Or rule to reduce decision time of Primary User at the Cognitive radio

최문근*, 공형윤**

Moon Geun Choi*, Hyung Yun Kong**

요약 기존의 OR 법칙은 각각의 2차 사용자가 검출한 결과 값을 퓨전센터에서 취합하여 1차 사용자의 존재 유무를 판단한다. 따라서 기존의 OR 법칙은 1차 사용자의 존재 유무를 판단하기 위해서 CR 네트워크 내에 존재하는 모든 2차 사용자로부터 검출 결과 값을 취합하여야 했다. 하지만 본 논문을 통해 제안하는 OR 법칙은 2차 사용자의 검출 결과 값에 따라 퓨전센터에서 취합하는 2차 사용자의 검출 결과 값의 수를 조절하여 2차 사용자의 전송 용량을 높일 수 있다. 그리고 본 논문을 통해 제안하는 OR 법칙의 시뮬레이션을 통해 기존의 OR 법칙과 제안하는 OR 법칙의 오 경보 확률, 미 검출 확률을 구하고 전송 용량을 구한다.

Abstract Conventional Or Rule decide final sensing result depending on all of SU making sensing result. So Conventional Or Rule must be combined all of local result to decide PU absent or not. But Proposed Or Rule is not needed all of local result depending on each of SU of local result. So Proposed Or Rule can reduce decision time. In this Paper, we verify proposed Or Rule using simulation tool similar with matlab. And we can calculate false alarm probability and miss detection probability of proposed Or rule and conventional Or rule.

Key Words : Cognitive radio, Energy detection, Or Rule, Cooperative spectrum sensing, Throughput

1. 서 론

유선 통신에 비해 상대적으로 저속의 데이터 통신이 가능했던 무선 통신이 최근 들어 비약적으로 발전함에 따라 무선 통신 시장 역시 급격하게 증가하고 있다. 따라서 무선 통신 사업자들의 의한 스펙트럼 수요 역시 증가하고 있으나 일정한 스펙트럼 대역을 하나의 사업자에게 할당하는 현재의 주파수 할당 정책으로는 날로 증가하고 있는 스펙트럼의 수요를 맞추기는 어렵다.

그림 1^[1] 은 현재 스펙트럼 사용 현황을 보여준다. 보이는 바와 같이 대부분의 스펙트럼 효율이 25%를 넘지 못하고 있다. 따라서 스펙트럼 부족 문제를 해결하고 스펙트럼 사용률을 높일 수 있는 인지 기술(Cognitive Radio: CR)^[2]이 제안되었다. 인지 기술은 동적 스펙트럼 할당 기술을 기반으로 스펙트럼 검출을 통해 2차 사용자(Secondary User : SU)가 1차 사용자(Primary User : PU)의 스펙트럼 대역을 검출한 후 비어 있는 스펙트럼을 찾아 통신을 하는 기술이다. 스펙트럼 검출 기술은 에너지 검출(Energy detection), 정합필터(Matched Filter), 주기 정상성 검출 기술(Cyclo Stationary)이 있다.

*준회원, 울산대학교/전기전자정보시스템공학부

**정회원, 울산대학교/전기전자정보시스템공학부(교신저자)

접수일자 2010.7.12 수정일자 2010.9.22

게재확정일자 2010.10.15

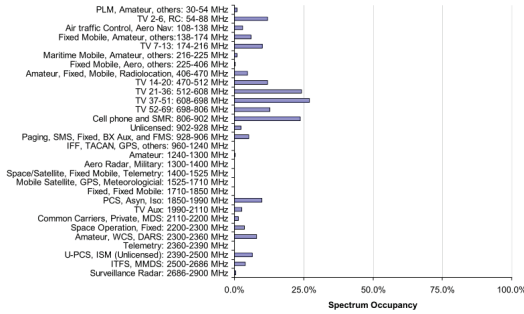


그림 1. 스펙트럼 사용현황
Fig. 1. Spectrum Occupancy

이중 에너지 검출 기술은 특정 주파수 대역을 사용하는 PU 신호의 크기를 측정하여 PU의 존재 유무를 판단하는 기술이다. 하지만 에너지 검출 기술은 잡음이 섞인 신호의 크기를 측정하기 때문에 PU 신호의 SNR(Signal to Noise Ratio)이 낮은 경우 성능이 크게 저하될 수 있다. 에너지 검출 기법은 SU에서 수신한 PU의 신호 $y(t)$ 를 대역통과 필터에 통과시킨 후 대역 통과된 신호를 샘플링해 준다. 그리고 난 후 신호의 에너지를 구하기 위해 샘플링 된 신호를 제공한 후 샘플을 모두 더해 샘플의 수 만큼 나누어 준다. 이러한 에너지 검출 기법의 순서도는 그림 2와 같다.

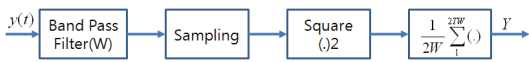


그림 2. 에너지 검출
Fig. 2. Energy Detection

대역통과 필터의 대역폭이 W 이고 샘플 간 시간 간격이 T 라면 대역 통과된 신호의 에너지를 구하기 위해서는 $2TW$ 개의 샘플을 더해줘야 한다.

$$Y = \begin{cases} \chi_{2TW}^2 & , H_0 \\ \chi_{2TW}^2(2\gamma) & , H_1 \end{cases} \quad (\gamma = \frac{\lambda}{2}) \quad (1)$$

위의 과정을 거쳐 얻은 PU의 신호 $y(t)$ 에 대한 Y 값 [3]은 식 (1)과 같다.

SU는 에너지 검출기법을 통해 얻은 Y 를 바탕으로 PU가 현재 주파수 대역을 사용하고 있는지를 판단하게 된다. 만약 수신된 H_0 가 임계점 λ 보다 작으면 PU가 신호

를 전송하지 않고 있는 것으로 판단하고 H_1 이 임계점 λ 보다 크면 PU가 신호를 전송하고 있는 것으로 판단하며 이를 검출 확률(P_d)이라고 한다.

$$P_d = \Pr(Y > \lambda | H_1) \quad (2)$$

이러한 에너지 검출 기술은 구현이 간단하고 스펙트럼 검출 시간이 짧기 때문에 CR 기술에 적합한 검출 기술이다. 하지만 잡음에 약하기 때문에 에너지 검출 기술을 이용하기 위해서는 정확도를 높여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 협력 스펙트럼 검출^[4] 기법이 제안되었다.

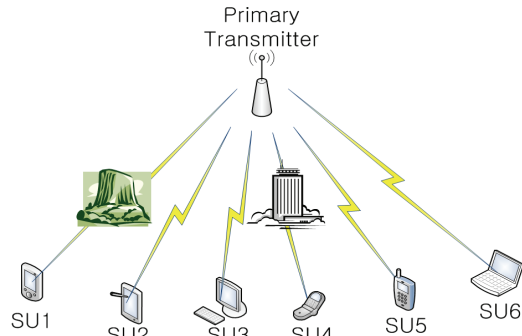


그림 3. 협력 스펙트럼 검출
Fig. 3. Cooperative Spectrum Sensing

협력 스펙트럼 검출은 PU의 주파수 대역을 다수의 SU가 검출하고 검출 결과를 하나로 모아 PU의 존재 유무를 판단하는 기술이다. 이러한 협력 스펙트럼 검출은 몇몇의 SU가 섀도잉(Shadowing)에 의해 PU의 신호를 검출하지 못하더라도 섀도잉에 영향을 받지 않는 나머지 SU가 PU의 신호를 검출해 낼 수 있기 때문에 단일 SU에 의한 스펙트럼 검출 결과보다 정확도가 높다. 따라서 협력 스펙트럼 검출 기술은 그림 3에서 보이는 바와 같이 섀도잉으로 인한 미 검출 확률을 낮출 수 있기 때문에 PU의 QoS(Quality of Service)를 보장하기 더 용이할 뿐만 아니라 스펙트럼 검출 시간도 줄일 수 있다.

다수의 SU가 검출한 결과 값을 하나로 모아 PU의 존재 유무를 판단하는 기술은 Hard Combining과 Soft Combining이 있다. 이 중 Hard Combining은 검출 결과 값을 하나의 비트로 나타내기 때문에 시스템의

Overhead가 적어 널리 쓰이고 있다.

Hard Combining에는 OR 법칙과 And 법칙이 있다. OR 법칙은 다수의 SU 중 PU의 신호를 검출한 SU가 하나라도 존재하면 PU가 현재 신호를 전송 중에 있는 것으로 판단한다. 반면 And 법칙은 모든 SU가 PU의 신호를 검출한 경우에만 PU가 현재 신호를 전송 중에 있는 것으로 판단하는 기술이다. OR 기술은 And 기술과 비교해 볼 때 오 경보 확률(False alarm Probability : Pf) 과 미 검출 확률(Miss detection Probability : Pm)이 낮음을 그림 4를 통해 알 수 있다.

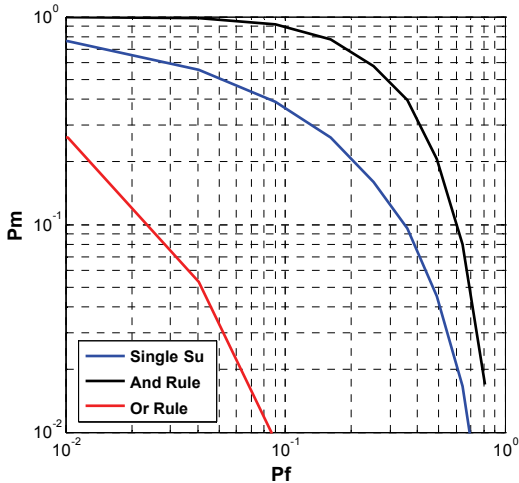


그림 4. And 법칙과 OR 법칙(SNR=5, N=5, TW=5)
Fig. 4. And Rule and Or Rule(SNR=5, N=5, TW=5)

만약 N개의 SU가 네트워크에 속해있고 퓨전센터가 OR 법칙을 이용해 PU의 존재 유무를 판단한다고 가정한다. 이 때 퓨전센터가 PU의 존재 유무를 판단하기 위해서는 N개의 스펙트럼 검출 값을 모두 취합하여야 한다. 하지만 OR 법칙은 PU의 신호를 검출한 결과 값이 단 하나만 존재하더라도 PU가 신호를 전송 중에 있는 것으로 판단하므로 SU가 판단한 N개의 검출 값을 모두 수신할 필요가 없다. 따라서 본 논문에서는 N개의 검출 결과 값을 모두 수신하지 않고도 PU의 존재 유무를 판단하는 OR 법칙을 제안하고 기존의 OR 법칙과의 성능을 비교한다.

II. 시스템 모델

기존의 OR 법칙은 단 하나의 SU가 PU의 신호를 검출 하여도 PU가 현재 신호를 전송 중에 있다고 판단한다. 만약 3개의 SU가 퓨전센터로 검출 결과 값을 전송할 때 기존의 OR 기술을 이용해 PU의 존재 유무를 판단하는 기준은 표 1과 같다.

표 1. N=3일 때 기존의 OR 법칙
Table 1. Conventional Or Rule(N=3)

SU 1	SU 2	SU 3	Conventional OR Rule
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

표 1에서 보이는 바와 같이 기존의 OR 법칙은 H_1 가 한 개일 경우(H_{11}), H_1 가 두 개일 경우(H_{12}), H_1 가 세 개일 경우(H_{13}) 모두 PU가 현재 신호를 전송 중인 것으로 판단한다. 따라서 각각의 확률을 모두 더한 것이 기존의 OR 법칙에서 Detection Probability(Q_d)이며 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_d = 3P_d^1(1 - P_d)^2 + 3P_d^2(1 - P_d)^1 + 3P_d^3(1 - P_d)^0 \quad (3)$$

식(3)을 정리하면 기존의 OR 법칙에서의 Q_d (Detection Probability)을 식(4)^[4]와 같이 나타낼 수 있다. 식 (4)에서 P_d^i 는 i번째 SU의 Detection Probability 이다.

$$Q_d = \sum_{i=k}^N \binom{N}{i} P_d^i (1 - P_d)^{N-i} \quad (4)$$

제안하는 OR 법칙은 기존의 OR 법칙과는 다르게 표 2에서 보이는 바와 같이 SU가 검출한 검출 값에 따라 CR 네트워크 내의 모든 SU의 검출 값을 수신하지 않고 PU가 현재 신호를 전송 중에 있는지 판단한다.

표 2. N=3일 때 제안하는 OR 법칙
Table 2. Proposed Or Rule (N=3)

SU 1	SU 2	SU 3	Proposed OR Rule
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	x	1
1	x	x	1

표 2에서 보이는 바와 같이 제안하는 OR 법칙은 퓨전 센터에서 H_1 가 하나일 때 PU가 현재 신호를 전송 중인 것으로 판단한다. 이 때 x는 더 이상 SU로부터 검출 값을 수신하지 않음을 뜻한다. 따라서 첫 번째 SU에서 퓨전 센터로 H_1 를 전송할 확률과 첫 번째 SU가 H_0 를 전송하고 두 번째 SU가 퓨전 센터로 H_1 를 전송할 확률 그리고 첫 번째와 두 번째 SU가 퓨전 센터로 H_0 를 전송하고 세 번째 SU가 H_1 를 전송할 확률이 제안하는 OR 법칙에서의 Detection Probability(Q_{dp})이며 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{dp} = P_d + (1 - P_d)P_d + (1 - P_d)^2P_d \quad (5)$$

따라서 제안하는 OR 법칙의 Q_{dp} 를 일반화하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{dp} = \sum_{i=k}^N \binom{i}{1} P_d (1 - P_d)^{i-1} \quad (6)$$

표 3은 기존의 OR 법칙과 제안하는 OR 법칙의 판단 표이다.

표 3. N=3일 때 기존의 OR법칙과 제안하는 OR 법칙의 비교

Table 3. Compare a table of conventional Or Rule with a table of Proposed Or rule

SU1		SU2		SU3		OR Rule
Con	Pro	Con	Pro	Con	Pro	
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1
0	0	1	1	0	x	1
0	0	1	1	1	x	1
1	1	0	x	0	x	1
1	1	0	x	1	x	1
1	1	1	x	0	x	1
1	1	1	x	1	x	1

이 중 노란색으로 표시된 곳은 첫 번째 SU로부터 수신한 검출 값이 H_1 인 경우로서 기존의 OR 법칙에서 첫 번째 SU로 수신한 검출 값이 H_1 일 경우의 Detection Probability(Q_{d1})은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{d1} = P_d(1 - P_d)^2 + P_d(1 - P_d)P_d + P_d^2(1 - P_d) + P_d^3 = P_d \quad (7)$$

식(7)에서 보이는 바와 같이 첫 번째 SU로부터 수신한 검출 값이 H_1 일 경우 Q_{d1} 은 P_d 와 같다. 그리고 제안하는 OR 법칙에서 첫 번째 SU의 검출 값이 H_1 일 때 확률 Q_{dp1} 역시 P_d 로 기존의 OR 법칙과 제안하는 OR 법칙의 확률이 같다. 따라서 식 (7)을 통해 기존의 OR 법칙의 Q_d 와 제안하는 OR 법칙의 Q_{dp} 가 같음을 알 수 있다.

$$Q_d = Q_{dp} \quad (8)$$

III. 성능 분석

제안하는 OR 법칙의 검출 확률과 기존의 OR 법칙의 검출 확률을 그림 5를 통해 나타내었다.

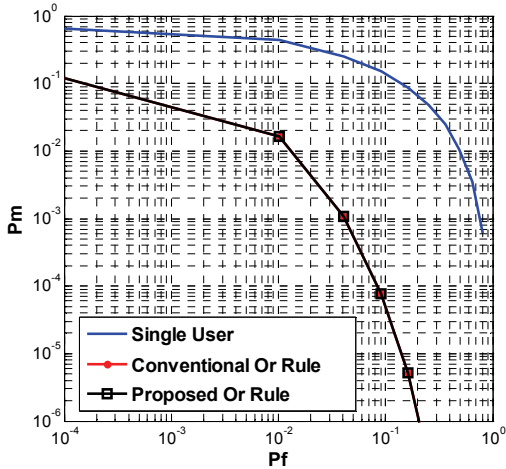


그림 5. 기존의 OR 법칙과 제안하는 OR 법칙의 Pf and Pm (SNR=5, N=5, TW=5)
 Fig. 5. Pf and Pm of Conventional Or Rule and Proposed Or rule (SNR=5, N=5, TW=5)

식 (8)에서 보이는 바와 같이 제안하는 OR 법칙과 기존의 OR 법칙의 검출 확률이 동일함을 알 수 있다.

CR 네트워크에 속한 SU의 수를 N 이라고 하고 각각의 SU가 검출한 PU의 검출 결과 값을 퓨전센터로 전송하는데 걸리는 시간을 t 초라고 가정한다. 또한 퓨전센터가 PU의 존재 유무를 판단하고 이 값을 모든 SU에게 전송하는데 걸리는 시간을 t_x 라고 한다. 이 때 기존의 OR 법칙에서 퓨전센터가 PU의 존재 유무를 판단하는데 걸리는 시간은 $t^*N + t_x$ 가 된다. 반면 제안하는 OR 법칙이 PU의 존재 유무를 판단하는데 걸리는 시간은 최소 $t + t_x$ 에서 최대 $t^*N + t_x$ 가 된다. 만약 $N = 6$, $t = 0.1$, $t_x = 0.2$, 다음의 스펙트럼 검출 값이 모두 0, 1초 동안 SU가 전송 가능한 최대 용량을 $Maxcap$ 이라 할 경우 기존의 OR 법칙에서 전송 가능한 용량(Ca_{Or})은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ca_{Or} = (1 - 2tN - 2t_x)MaxcapQ_d \quad (7)$$

또한 $N = 6$, $t = 0.1$, $t_x = 0.2$, 다음의 스펙트럼 검출 값이 모두 0, 1초 동안 전송 가능한 최대 용량을 $Maxcap$ 라 할 경우 제안하는 OR 법칙에서 전송 가능한 평균 용량(Ca_{Pro})은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ca_{Pro} = (1 - 2tN - tN/2 - 2t_x)MaxcapQ_{dp} \quad (8)$$

이 때 $Maxcap$ 을 10이라고 하고 두 번째 스펙트럼 검출에서 모든 SU의 검출 값이 0인 경우 단일 SU에 의한 용량과 기존의 OR법칙, 제안하는 OR 법칙에서 전송 가능한 최대 용량은 그림 6과 같다.

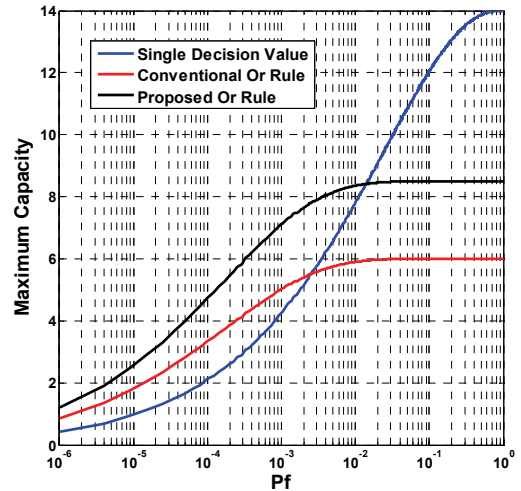


그림 6. 기존의 OR 법칙과 제안하는 OR 법칙의 전송량 (SNR=5, N=5, TW=5)
 Fig. 6. Throughput of conventional Or rule and Proposed Or rule(SNR=5, N=5, TW=5)

그림 6에서 Pfa 가 10^{-2} 이하인 경우 본 논문에서 제안하는 OR 법칙을 사용하는 경우 기존의 OR 법칙보다 전송 용량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안하는 OR 법칙이 기존의 OR 법칙보다 1차 사용자를 검출하는 시간이 적게 소모되기 때문이다.

IV. 결론

본 논문에서 제안하는 OR 법칙의 오 경보 확률 및 미 검출 확률은 기존의 OR 법칙의 오 경보 확률 및 미 검출 확률과 동일하다. 하지만 본 논문을 통해 제안하는 OR 법칙은 기존의 OR 법칙과는 다르게 SU가 검출한 결과 값 중 PU의 신호를 검출한 신호가 퓨전센터에 수신될 경우 퓨전센터는 PU가 현재 신호를 송신 중에 있는 것으로

판단하고 이 결과 값을 모든 SU에게 전송한다. 따라서 제안하는 OR 법칙은 퓨전센터에서 PU의 존재 유무를 판단하는 시간을 줄여주어 SU의 전송 용량을 높여 주는 것을 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

참 고 문 헌

[1] Mark A. McHenry, "NSF Spectrum Occupancy Measurements Project Summary", No. FY2004-013, Aug. 2005.
 [2] Simon Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications", *IEEE Journal on selected areas in Communications*, Vol. 23, No. 2, Feb. 2005.

[3] Fadel F. Digham, Mohamed-Slim Alouini, and Marvin K. Simon, "On the Energy Detection of Unknown Signals over Fading Channels", *IEEE Inter. conf. communications(ICC)*, pp.3575-3579, Anchorage Alaska, USA, May 2003.
 [4] A. Ghasemi and E. S. Sousa, B, "Spectrum sensing in cognitive radio networks: The cooperation-processing tradeoff", *Wireless Commun. Mobile Comput.*, vol. 7, no. 9, pp. 1049 - 1060, Nov. 2007.

저자 소개

최 문 근(준회원)



- 2010년 2월 울산대학교 전기전자 제어 공학부 학사
- 2010년 3월~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사 과정

<주 관심 분야> 협력통신, 인지통신, 협력 스펙트럼 검출

공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
 - 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사
 - 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사
 - 1996년~1996년 : LG전자 PCS팀장
 - 1996년~1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단
 - 1998년~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주 관심 분야> 모델레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크