

Backoff 알고리즘과 Learning Automata 를 이용한 Cognitive radio 에서의 확률적 채널 선택 알고리즘

강진구, 장주욱

Jin Goo Kang, Ju Wook Jang

서강대학교 전자공학과, 서울 마포구 121-742

* 서강대학교 전자공학과 실시간 인터넷 연구실

(010-2769-1441, zilokang@ecca1.sogang.ac.kr jjang@sogang.ac.kr)

Abstract

In this Paper, we propose a channel selection method using both Backoff algorithm and Learning Automata to decrease the channel switching for secondary user in cognitive radio. In conventional cognitive radio, secondary user searches an idle channel of primary users randomly. But it is not efficient because of not considering a frequency of a primary user using the channel allocated to it. It is shown that the proposed scheme decreases the numbers of channel switching about 15% and it results in increasing system throughput

Keywords : Cognitive Radio, Backoff, Learning Automata, channel selection

1. 서론

최근 무선 통신 기술의 발전으로 무선 통신 서비스는 급속하게 증가하였고 이런 무선 통신 서비스는 각자 다른 주파수 대역을 요구한다. 하지만 현재는 거의 모든 주파수가 할당되어 있는 상황이다. 그리하여 대부분의 국가들의 주파수 할당 정책은 최소한의 대역폭을 가지고 이용률을 극대화하면서 많은 서비스와 사용자를 지원하기 위해 주파수 할당을 위한 신기술을 지속적으로 연구하고 있다.

또한 미국 FCC(Federal Communications Commission)에서는 고정된 주파수 대역을 사용하고 있는 상황에서 주파수 사용 효율이 30% 이하로 낮다는 사실을 발견하였다.[1] 이것은 국가나 기관에서 주파수를 할당 받은 사업체, 공공기관인 주사용자의 주파수 사용 빈도가 낮다는 사실이다. 서비스를 제공하기 위해 주파수를 지속적으로 사용하는 것이 아니라 간헐적으로 주파수를 사용하는 대역이 존재한다는 것이다.

위의 사실들을 통해 현재 Cognitive Radio 기술은 이러한 문제점을 극복하기 위한 기술로 주목 받고 있다. CR 기술을 이용하기 위해 미국 FCC 는 개방형 주파수 정책을 제안하였다. 개방형 주파수 정책은 주파수 대역을 할당 받은 주사용에게 간섭을 미치지 않으면서 다른 서비스 제공자가 그 대역을 빌려 쓸 수 있도록 하는 것이다.

하지만 CR 시스템에서는 부사용자(Secondary User : SU)는 주사용자(Primary User : PU)가 사용하지 않는 채널을 임시로 빌려 쓰는 형태이므로 PU가 주파수를 사

“이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-001588)”

용하고자 할 때에는 SU 는 현재 진행중인 서비스를 중지하고 다른 주파수 대역을 찾아야 한다. 따라서 SU 는 사용 가능한 주파수 대역을 찾기 위해 다른 주파수 대역을 센싱하여 가능한 주파수를 찾기 위한 주파수 이동 시간이 소요된다. 이러한 주파수 이동 시간은 최대 2 초의 딜레이를 가져오므로 그 시간만큼 SU 를 통해 서비스를 받는 사용자는 지연 시간을 가져야 하므로 VoIP 나 실시간 데이터 서비스를 이용하는 사용자는 전송 지연을 발생한다.[2]

기존에는 여러 개의 주파수 대역을 랜덤하게 결정하여 채널을 이동 하였다. 이러한 방법은 PU 의 상황을 고려하지 않은 매우 비효율적인 방법이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연구들이 진행되었다. 대표적으로 Backoff 알고리즘을 이용하여 채널을 할당하는 방법이 있다.[3] 이러한 방법은 기존의 PU 의 해당 주파수 대역 사용 비율 값을 이용하여 Backoff 과정을 통해 채널을 선택 하였다. 이러한 방법은 사용 채널의 단위 시간당 사용 시간만을 고려하였다. 하지만 이러한 방법은 PU 의 해당 채널의 사용 경향을 고려하지 않아 정확한 예측이 어려운 문제점이 존재한다.

이 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 추정 이론인 Learning Automata(LA)를 이용하여 보다 정확한 채널 선택 알고리즘을 제안하였다.

2. 관련연구

가. Backoff 알고리즘

그림 1 은 CR 시스템에서 SU 가 사용 가능한 채널을 찾기 위한 방법으로 Backoff 알고리즘[3]을 이용하는 과정을 보여주고 있다.

먼저 그림 1 의 아래 순환고리에 대하여 설명하겠다.

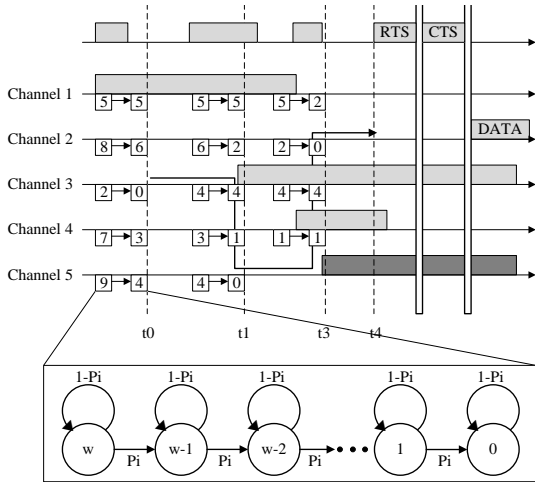


그림 1. Backoff 알고리즘

임의의 SU는 각 채널 별로 미리 선언된 세트에서 랜덤하게 숫자를 각각 결정한다. 결정된 값에서 확률 값 P 에 의해 랜덤 값 w 가 줄어들기도 하고 $1-P$ 확률로 그대로 유지되기도 한다 P 는 단위 시간당 SU의 사용시간 비율이다. P 값이 높다는 건 SU가 많이 사용한 채널이므로 PU의 사용빈도가 낮고 그만큼 SU가 사용하기 적합한 채널임을 보여준다. 따라서 SU가 사용하기 좋은 채널은 빨리 w 값이 감소한다.

그림 1의 위의 그림에서 시간 t_1 의 채널 3은 그림 1의 아래그림과 같이 확률 값 P 값을 통해 0으로 다른 채널보다 먼저 도달하였다. 채널 3의 카운터 숫자는 랜덤하게 다시 결정되고 일정시간 대기한다. 그러나 대기하는 동안 다른 SU가 채널을 먼저 선점하여서 다른 채널로 이동을 해야 한다.

시간 t_2 에서는 채널 5가 카운터 숫자가 먼저 0으로 도달하였다. 또 일정시간 대기 후 전송을 시작하려고 하였으나 해당 채널의 PU가 채널을 선점하였고 SU는 또 다시 다른 채널로 이동을 시도한다.

시간 t_3 에서는 채널 2번이 먼저 카운터 숫자가 0으로 도달하였다. 일정시간 대기 후 SU는 다른 SU들에게 RTS, CTS 메시지를 전송 후 해당 채널을 선점하여 데이터 전송을 시작한다.

이렇게 전송을 시작함으로써 멀티 채널 환경에서 SU가 채널을 선택할 수 있다. 이러한 채널의 선점의 결과는 Common Control Channel을 사용하여 전체 SU에게 알림으로써 서로간의 정보를 교환할 수 있다.

나. Learning Automata 알고리즘

다양한 선택이 존재하며 완벽한 정보가 없는 환경에서 정확한 선택을 결정하기 위한 많은 연구가 존재하였다. 대표적으로 추정이론의 한 종류인 LA의 목적은 가능한 선택 중에 최선의 선택을 결정하는 것이다. 최선의 선택이란 기존의 선택의 결과들을 방향성을 이용해 다음 결정을 미리 예측하는 것이다.

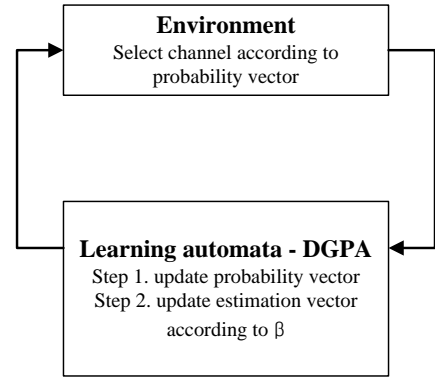


그림 2. LA 알고리즘

Learning Automata[4]는 그림 2와 같이 랜덤 환경에서 현재 시점까지의 선택되었던 데이터를 이용하여 다음 시점의 결정을 예측하는 추정이론이다.

현재까지는 LA 알고리즘 중에 DGPA는 가장 개선된 알고리즘으로 본 논문에서는 DGPA를 이용하여 CR 시스템에서 채널 선택 방법으로 이용할 것이다.

3. 제안 기법

본 논문에서 제안하는 CR 시스템에서의 채널 선택 알고리즘은 다수의 SU와 채널마다 PU가 존재하는 상황에서 임의의 SU가 채널을 사용하려고 시도하는 상황이나 SU가 PU가 사용하지 않는 채널을 사용하고 있는 시점에서 PU가 진입하게 되어 다른 채널로 SU가 이동해야 하는 시점에서 사용되는 알고리즘이다.

SU가 채널을 선택 시 최대 1~2초 정도의 지연시간이 발생한다. 하지만 CR 시스템 특성상 SU가 채널 스위칭은 발생할 수밖에 없는 시스템이다. 하지만 이 논문에서 제안하는 것은 이러한 채널 스위칭 횟수를 최소한으로 줄여 전체적인 전송률을 개선하고자 함이다.

이러한 채널 스위칭을 줄이기 위해 기존의 Backoff 알고리즘에서의 문제점인 부정확한 확률 계산 방법을 LA 알고리즘을 통해 개선할 것이다.

그림 3과 같이 SU가 Backoff 알고리즘을 통해 채널 1을 선택하게 되면 결과를 그림 3-(1)과 같이 LA 알고리즘으로 결과를 전달한다.

그림 3-(2)의 과정은 아래의 과정이 적용된다.

LA 알고리즘 기법

파라미터

- R : 단위 조절 파라미터 (임의변경가능)
- W : 초기 Backoff 값 생성 파라미터 (임의변경가능)
- M : PU의 수 즉 전체 채널의 수
- C : SU의 수
- H(n) : 현재 선택한 채널보다 더 높은 추정 값을 가지고 있는 추정벡터의 채널의 수
- δ : 확률벡터 조절 값, $\delta=1/R$

- $S_i(n)$: 선택 채널 i 가 전송 성공한 슬롯의 수
- $C_i(n)$: 선택 채널 i 까지의 슬롯의 수

알고리즘

초기화

- 각 SU 의 채널확률 $P(0) = [p_1, \dots, p_M]$ where $p_i = 1/M$ all $1 \leq i \leq M$
- 초기 추정 값 $D(0)=[d_1, \dots, d_M]$ where $d_i = S_i(0)/C_i(0)$

실행

- 각 SU 의 채널 별 Backoff 순환고리 연산 p_i 의 확률로 각 채널의 w 값 유지
 $1-p_i$ 의 확률로 각 채널의 w 값 감소
- 전송가능 채널이 선택되면 p_i 값 업데이트

$$p_j(t+1) = \min \left\{ p_j(t) + \frac{\delta}{H(n)}, 1 \right\} = \min \left\{ p_j(t) + \frac{1/R}{H(n)}, 1 \right\} \dots (1)$$

($\forall j, j \neq i$) such that $\hat{d}_j(t) > \hat{d}_i(t)$

$$p_j(t+1) = \max \left\{ p_j(t) - \frac{\delta}{M-H(n)}, 0 \right\} = \max \left\{ p_j(t) - \frac{1/R}{M-H(n)}, 0 \right\} (2)$$

($\forall j, j \neq i$) such that $\hat{d}_j(t) > \hat{d}_i(t)$

$$p_i(t+1) = 1 - \sum_{j \neq i} p_j(t+1) \dots (3)$$

- 전송 성공 채널의 추정 값 업데이트.

$$\begin{cases} W(t+1) = W(t) + 1 & \text{if channel chosen by SU} \\ W(t+1) = W(t) & \text{if else} \end{cases}$$

$$Z(t+1) = Z(t) + 1$$

$$d(t+1) = \frac{W(t+1)}{Z(t+1)}$$

위의 알고리즘을 통해 t_1 시점의 SU 의 각 채널 확률 값을 계산한다. P_1 을 제외한 나머지 채널은 위 알고리즘의 (1)식과 (2)식을 통해 확률 값이 줄어들거나 증가하게 된다. 그 기준은 각 채널의 추정 값이 SU 에 의해 선택된 채널의 추정 값보다 크면 (1) 식이 적용되어 증가하게 되고 반대의 경우에는 (2) 식이 적용되어 확률 값이 감소하게 된다. 이러한 과정을 통해 SU 에 의해

선택된 채널을 제외한 나머지 채널의 확률 값이 결정되고 SU 에 의해 선택된 채널은 (1)식과 (2)식에 의해 결정된 채널의 확률 값을 모두 합한 후에 1 에서 그 값을 뺀 나머지 확률로 결정된다.

이렇게 모든 채널의 확률 값이 결정된 후 추정 값을 업데이트 하게 된다. 추정 값은 단위 시간 동안 SU 에 의해 채널이 사용하게 된 비율로써 결정된다. 이러한 과정이 의미하는 것은 현 시점에 채널이 선택되었다고 무조건적으로 채널의 확률을 올려주는 것이 아니라 기존의 선택되었던 데이터를 이용해 선택 경향성이 높은 채널 즉 SU 가 많이 사용한 채널의 확률 값도 상승 시켜주고 경향성이 낮은 채널 즉 SU 에 의해 사용되지 않은 채널은 확률 값을 일정 부분 낮춰 줌으로써 전체적인 채널의 경향성을 통해 다음 시점의 확률 값을 결정 하는 것이다.

이런 계산과정을 통해 그림 3-(1)과 같이 t_2 시점의 확률 값을 계산하면 t_2 시점에서 SU 가 채널을 선택하게 될 경우 LA 알고리즘에 의해 미리 결정된 확률 값을 Backoff 알고리즘에서 사용하게 된다.

미리 계산된 확률 값은 그림 3-(2)의 Backoff 순환고리로써 각 채널의 확률 값을 통해 Backoff 값이 감소되기도 하고 그대로 유지함으로써 SU 의 사용 채널을 결정하게 된다.

또한 backoff 값이 0 이 되어 전송이 결정되었지만 전송 대기 시간 동안 다른 SU 가 해당 채널을 미리 선점하게 되어 채널을 사용하지 못할 경우 Backoff 값을 지속적으로 증가시켜 재 선택되는 것을 방지한다.

이러한 과정을 통해 SU 가 채널을 선택하게 될 때 긴 사용시간을 유지할 수 있고 채널 스위칭 횟수가 줄어들므로써 전체적인 전송률 향상을 기대할 수 있다.

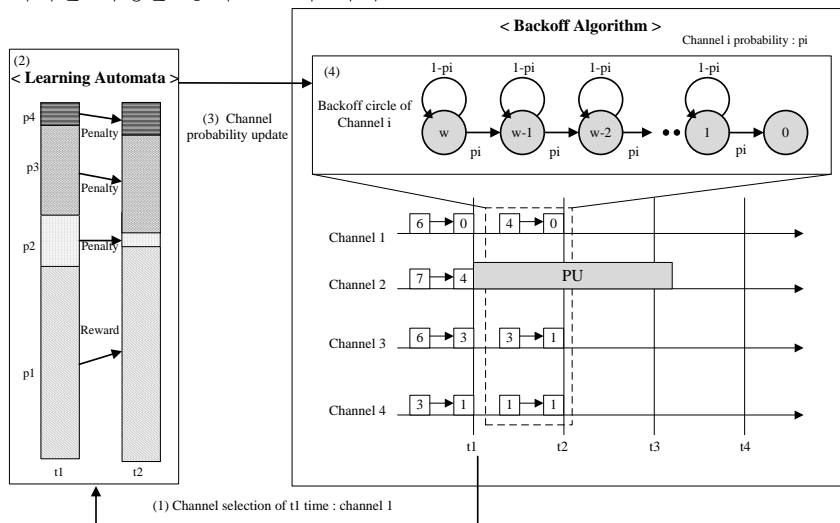


그림 3. Backoff 알고리즘+LA 알고리즘 기법

4. 시뮬레이션 결과

이 논문에서 제안한 CR 시스템에서 채널 선택 시 Backoff 알고리즘과 LA 알고리즘을 사용한 방법을 기존의 Backoff 알고리즘 또는 LA 알고리즘을 사용하였을 경우와 비교하였다.

아래의 표 1 는 시뮬레이션 환경 값을 표현한 것이다

표 1. 시뮬레이션 값

시뮬레이션 변수	값
총 채널의 수	10
PU 의 수	10
SU 채널의 수	10
PU 의 채널 점유 시간	Random(5~20) slot
SU 의 채널 점유 시간	Random(10~20) slot

시뮬레이션 결과 그림 4 와 같이 Backoff 알고리즘만을 사용하였을 경우는 LA 알고리즘만을 사용하여 채널 선택의 경우보다 약 5%정도 채널 스위칭 횟수가 줄어들음을 확인 하였다. 하지만 Backoff 알고리즘과 LA 알고리즘을 통합하여 채널 선택을 하였을 경우의 스위칭 횟수는 Backoff 만을 사용하였을 경우보다 약 10%정도 더 성능이 향상되었음을 보여준다.

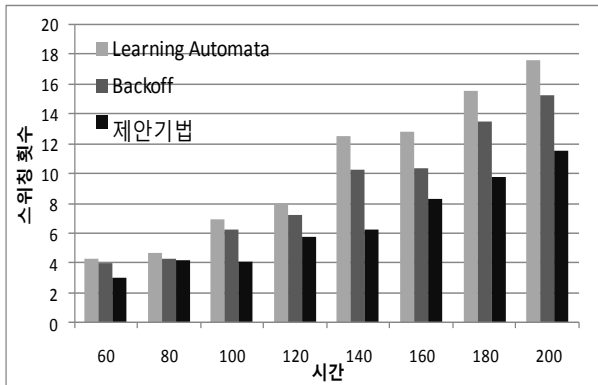


그림 4. 시뮬레이션 결과

5. 결과

본 논문에서는 Backoff 알고리즘과 LA 알고리즘을 사용하여 CR 시스템에서의 SU 의 채널 스위칭 횟수 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 Backoff 알고리즘의 각 채널의 확률 값을 좀더 명확하게 도출할 수 있어서 기존의 방법들보다 약 15%정도 우수한 성능을 보여준다. 이러한 방법을 사용한다면 스위칭 횟수가 줄어드는 만큼 데이터 전송 지연시간이 감소하여 전체적인 전송률 향상을 보장할 수 있다.

참고문헌

[1] Federal Communication Commission(FCC), "Notice of proposed rule making and order," ET Docket No.03-222,

December 2003.

[2] IEEE 802.22-06/0004r0, "A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN systems, Part 1:The PHY," Jan. 2006

[3] Ghaboosi K. , et al. , "A Channel Selection Mechanism based on Incumbent Appearance Expectation for Cognitive Networks," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Budapest, April. 2009.

[4] Y. Song, Y. Fang, and Y. Zhang, "Stochastic Channel Selection in Cognitive Radio Networks," IEEE Global Communications Conference, Washington, DC, Nov. 2007.