

전송제어를 통한 DCF의 성능 향상

박재성*

Performance Improvement of DCF through Transmission Control

Jaesung Park*

요약

DCF (Distributed Coordination Function)는 송신 노드들이 경쟁 윈도우 중에서 임의로 송신 대기 시간을 결정함으로써 노드 사이의 채널 경쟁을 분산적으로 해결한다. 그러나 경쟁 윈도우의 최대 크기는 제한적이므로 송신 노드의 수가 많아지는 경우 송신 충돌 확률이 증가한다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 소수 게임 (MG: Minority Game) 이론을 기반으로 전송제어 기법을 제안한다. 각 노드는 MG 규칙에 따라 타 노드와의 정보 교환 없이 자신의 이득을 극대화하기 위해 분산적으로 송신 여부를 결정한다. 모의실험을 이용한 정량적 성능 평가를 통해 제안 기법은 DCF의 성능을 송신 충돌 확률 측면에서 향상시킨다는 것을 보였다.

Key Words : Distributed Coordination Function, Transmission Control, Minority Game

ABSTRACT

DCF (Distributed Coordination Function) resolves the channel contention problem in a distributed manner by forcing nodes to randomly choose a waiting time in a contention window. However, since the size of a contention is limited, the collision probability increases with the number of sending nodes. To resolve the problem, in this paper, we propose a transmission control method based on the

minority game (MG). Each node can determine autonomously whether to send or not without message exchanges with other nodes to maximize its profit. Through simulation studies, we verify that the proposed method can improve the performance of DCF in terms of collision probability in a congestion situation.

I. 서론

무선랜의 충돌회피 기능은 채널 접속 시간을 제어하는 DCF (Distributed Coordination Function)에 의해 이루어진다^[1]. 즉, 각 단말은 주어진 경쟁 윈도우 내에서 임의로 채널 접속 시간을 설정함으로써 송신 충돌을 확률적으로 회피한다. 그러나 접속 부하가 증가할수록 충돌 확률은 증가하며 이로 인해 단말이 전송 기회를 많이 갖더라도 전송이 성공할 확률은 낮아진다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 네트워크 환경에 따라 경쟁 윈도우를 최적화하기 위한 방법들이 제안되었다^[2,3]. 그러나 접속 부하에 직접적인 영향을 주는 경쟁 노드의 수는 예측하기 어렵다. 또한 DCF의 분산적 특성을 유지하기 위해서는 단말들 사이의 정보 교환은 없어야 한다.

따라서 본 논문에서는 접속 부하를 낮추기 위해 소수 게임 (MG: Minority Game)^[4] 이론을 이용하여 경쟁 노드의 송신 여부를 분산적으로 제어하는 방안을 제안한다. 기존 게임이론들과 달리 MG의 경우 게임 참여자들은 과거의 게임 결과만을 기반으로 전략적으로 이진 행동을 결정한다. 이를 통해 MG는 게임 참여자들이 이기적으로 행동하더라도 전체 참여자 중 게임 승자의 수를 원하는 값으로 수렴하게 한다.

이와 같은 MG의 특성을 이용하여 본 논문에서는 단말의 채널 경쟁 상황을 MG로 모델링하여 각 단말이 자신의 패킷 전송 성공 확률을 최대화하기 위한 송신 전략을 설계한다. 모의실험을 통해 제안 기법은 혼잡상황에서 각 노드가 자율적으로 송신 여부를 제어하더라도 송신 충돌 확률을 낮추고 성공적으로 전송된 패킷의 수를 증가시키며, 성공적인 패킷 전송 시간 간격을 감소시킨다는 것을 보였다.

* 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (No.NRF-2015R1D1A1A01060117) 및 경기도의 경기도지원협력 연구센터(GRRC) 사업(GRRC 수원2016-B2)의 지원으로 수행되었습니다.

♦ First and Corresponding Author : University of Suwon Department of Information Security, jaesungpark@suwon.ac.kr, 종신회원 논문번호 : KICS2016-10-287, Received October 4, 2016; Revised November 2, 2016; Accepted November 2, 2016

II. 제안기법

본 논문에서는 N 개의 노드가 AP에 패킷을 송신하기 위해 동일한 채널을 DCF로 경합하는 환경을 고려한다. 망에 혼잡이 발생한 경우 송신할 패킷이 있는 노드들은 전송제어 게임에 참여하여 패킷 송신 여부를 자율적으로 결정한다. 전송제어 게임은 시스템의 최대 경합 윈도우 크기 시간 Δ_t 마다 반복적으로 이루어진다. 게임에 참여한 각 노드는 Δ_t 마다 자신의 전략에 따라 패킷 송신여부를 결정한다. 게임 진행 시간 동안 AP는 송신 충돌 확률을 감시하고 Δ_t 시간 마다 게임 결과를 1비트로 인코딩하여 노드들에게 브로드캐스트한다[2]. 즉, k 번째 게임에 의해 발생한 송신 충돌 확률이 p_k 인 경우 AP는 p_k 를 임계값 p_{th} 와 비교하여 게임 결과 r_k 를 결정한 후 이를 전송한다.

$$r_k = \begin{cases} 1, & p_k \leq p_{th} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$r_k = 1$ 인 경우 패킷을 송신한 노드들의 그룹이 게임의 승자이며 $r_k = 0$ 인 경우 송신하지 않기로 선택한 그룹의 노드들이 게임의 승자임을 의미한다.

각 노드 i 는 과거 h 개의 게임 결과와 자신의 전략에 따라 이진 동작 $a_i = \{1:send, 0:wait\}$ 을 결정한다. 각 노드의 이진 동작과 h 개의 이전 게임 결과에 따라 총 2^{2h} 개의 전략 테이블이 가능하다. 초기에 각 노드 i 는 이 중에서 x 개의 전략 테이블을 임의로 선택하여 전략 집합 S_i 를 구성한다. 각 전략 테이블은 2^h 개의 엔트리로 구성되며 각 엔트리는 노드의 이진 동작 중 하나로 사상 (mapping) 된다.

또한 모든 노드들의 모든 전략 테이블은 게임 결과에 따라 갱신되는 점수를 가진다. k 번째 게임이 실행될 때 노드 i 의 j 번째 전략 테이블의 점수를 $s_{i,j}(k)$ 로 표기하면 이들의 초기값 $s_{i,j}(0)$ 은 $[0,1]$ 사이에서 임의로 설정되고, 노드가 게임 결과 r_k 를 통보 받은 경우 다음과 같이 갱신된다

$$s_{i,j}(k+1) = s_{i,j}(k) + (2r_k - 1)(2a_{i,j,h_{k-1}}(k) - 1), \forall j \in S_i \quad (2)$$

여기서 h_{k-1} 은 $k-1 \sim (k-h)$ 번째 게임의 결

과를 나타내며 $a_{i,j,h_{k-1}}(k)$ 은 k 번째 게임에서 노드 i 가 h_{k-1} 와 전략 j 에 따라 선택한 동작을 나타낸다. k 번째 게임의 끝에서 노드 i 는 다음번 게임에서 적용할 전략을 다음과 같이 자신의 전략 중 전략 점수가 가장 큰 전략으로 선택하고

$$j^* = \arg_{j \in S_i} \{ \max_{j \in S_i} s_{i,j}(k+1) \} \quad (3)$$

선택한 전략 j^* 와 h_k 에 따라 행동 a_{i,j^*,h_k} 을 결정하며 이와 같은 동작이 계속 반복된다.

III. 성능 평가

제안기법의 타당성을 검증하기 위해 동일한 환경에서 각 노드가 DCF만을 이용하는 경우 (이후 Pure로 표기), 균일 (uniform) 분포에 따라 전송 여부를 결정하는 경우 (이후 Rand로 표기)와 제안 기법의 성능을 송신 충돌 확률의 변화, 패킷 전송 성공율 및 패킷 전송 시간 간격 측면에서 비교하였다. 실험을 위해 경합 윈도우의 크기를 $[0,1023]$ 로 설정하였고, $N=4000$ 개의 노드가 동일한 채널을 경합하는 환경을 구성하였다. 혼잡이 심한 환경을 설정하기 위해 모든 노드는 항상 전송할 패킷이 있다고 가정하였으며 제안 기법의 경우 $h = 10, x = 3, p_{th} = 0.5$ 로 설정하고 동일한 실험을 2만번 반복한 후 실험 결과를 얻었다.

그림 1은 시간에 따른 송신 충돌 확률을 보여준다. Pure인 경우 노드의 송신 여부를 제어하지 않으므로 송신 충돌 확률이 매우 높은 것을 볼 수 있다. Rand의 경우 1/2의 확률로 노드의 송신 여부를 제어하므로 송신 충돌 확률을 평균적으로 $N/2$ 개의 노드가 경합하는

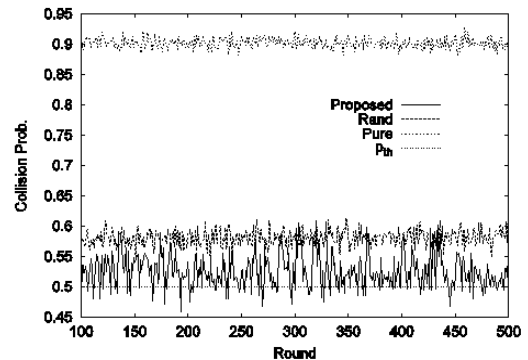


그림 1. 시간에 따른 송신 충돌 확률의 변화
Fig. 1. Variation of collision probability with time

수준으로 유지한다. 제안 기법은 과거 게임 결과에 따라 노드들이 자신의 이득 (i.e., 성공적 전송 확률)을 최대화하기 위해 송신 여부를 전략적으로 선택한다. 그러나 제안기법의 경우 노드들이 이기적으로 전략을 선택하더라도 MG의 특성에 의해 노드들 사이에 협력이 이루어지며 이로 인해 송신 충돌 확률을 p_{th} 근처로 낮출 수 있다.

그림 2는 전송 성공율의 누적 확률 분포를 보여준다. 전송 성공율은 전체 전송 기회 수에 대한 전송 성공 횟수로 정의된다. 그림에서 보는 바와 같이 제안 기법은 혼잡이 심한 환경에서도 노드의 전송 성공율을 높인다는 것을 볼 수 있다. 그림 3은 송신할 패킷이 발생한 이후 전송이 성공적으로 이루어질 때 까지 걸린 시간의 누적 확률 분포를 나타낸다. 제안기법은 노드 사이에 메시지 교환은 없지만 MG 특성에 의해 발생하는 노드들 사이의 내포적 협력으로 인해 Pure에 비해 성공적인 전송이 이루어질 때 까지 걸리는 시

간을 단축시킨다.

IV. 결론

본 논문에서는 MG를 이용하여 DCF의 성능 향상을 위한 전송제어 기법을 제안하였다. 제안기법은 MG를 이용하여 노드 사이의 정보교환 없이 각 노드가 독립적으로 전송 여부를 결정하더라도 전송 성공율과 전송 성공 시간 간격의 측면에서 DCF의 성능을 향상시킨다. 거시적 관점에서 MG는 송신 충돌 확률을 평균적으로 p_{th} 와 같게 만든다. 그러나 각 노드는 타 노드와 정보 교환없이 독립적으로 전략을 결정하므로 미시적 관점에서 송신 충돌 확률은 p_{th} 근처에서 잔 진동을 하게 된다. 따라서 본 연구의 추후 연구로 미시적 송신 충돌 확률의 동적 변화를 고려하여 송신 충돌 확률을 p_{th} 이하로 확률적으로 보장하기 위한 적응성 있는 제어 기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] C.-G. Park, "Performance comparisons of two DCF methods in the IEEE 802.11 protocol," *J. KICS*, vol. 32, no. 12, pp. 1320-1328, Dec. 2007.
- [2] D.-J. Deng, C.-H. Ke, H.-H. Chen, and Y.-M. Huang, "Contention window optimization for IEEE 802.11 DCF access control," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 12, pp. 5129-5135, 2008.
- [3] S. Misra and M. Khatua, "Semi-distributed backoff: collision-aware migration from random to deterministic backoff," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 14, no. 5, pp. 1071-1084, 2015.
- [4] A. C. C. Coolen, *The Mathematical Theory of Minority Games*, Oxford University Press, 2005.

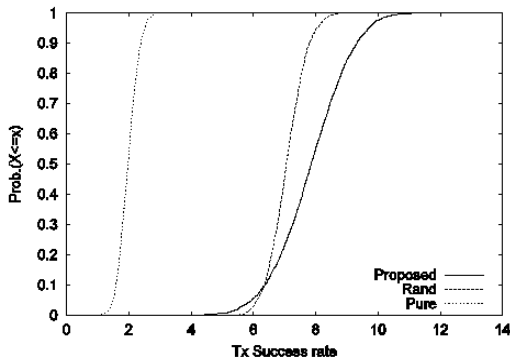


그림 2. 전송 성공률의 누적 확률 분포
Fig. 2. Cumulative probability distribution of transmission success rate

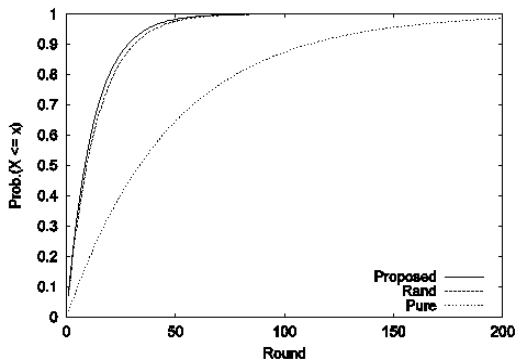


그림 3. 전송이 성공될 때 까지 걸린 시간의 누적 확률 분포
Fig. 3. Cumulative probability distribution of the time until a transmission is succeeded