

무선 에드혹 네트워크에서 분산화된 opportunistic 패킷스케줄링

Distributed opportunistic packet scheduling for wireless ad-hoc network

박형근*, 유윤섭**
(Hyung-Kun Park, YunSeop Yu)

Abstract -Opportunistic scheduling is one of the important techniques to maximize multiuser diversity gain. In this paper, we propose a distributed opportunistic scheduling scheme for ad-hoc network. In the proposed distributed scheduling scheme, each receiver estimates channel condition and calculates independently its own priority with probabilistic manner, which can reduce excessive probing overhead required to gather the channel conditions of all receivers. We evaluate the proposed scheduling using extensive simulation and simulation results show that proposed scheduling obtains higher network throughput than conventional scheduling schemes and has a flexibility to control the fairness and throughput by controlling the system parameter.

Key Words : ad-hoc network, packet scheduling, muliuser diversity, opportunistic scheduling

1. 서론

제한된 무선 자원을 효율적으로 사용하고 시스템 성능을 극대화할 수 있는 패킷 스케줄링 기법은 중요한 기술적 요소가 되고 있다. 패킷 스케줄러는 전체시스템의 성능향상을 위해 패킷의 전송율과 전송시점을 결정하고 시스템이 과부하가 발생하지 않도록 패킷 트래픽량을 조절하게 된다. 지금까지 제안된 여러 스케줄링 방법 중에서 대표적인 opportunistic 스케줄링 방법의 하나는 비례공정 (proportional fair) 스케줄링방법이다 [1]. 비례공정 알고리즘에서는 평균 용량에 비하여 상대적으로 가장 좋은 채널환경을 갖는 사용자가 채널을 점유할 권한을 갖는다. 비례공정 알고리즘은 사용자들간의 공평성을 유지하면서도 다중사용자 다이버시티를 최대한 이용하려는 방식이다. 비례공정 스케줄링과 같은 opportunistic 스케줄링방식은 송신기가 모든 단말의 채널정보를 파악하고 스케줄링하여 채널을 할당하는 구조이기 때문에 셀룰러 네트워크와 같이 단말의 채널정보를 수집할 수 있는 시스템에 적합한 알고리즘이다.

이와 같은 opportunistic 스케줄링방식은 다중사용자 다이버시티 이득을 얻기 위해 모든 단말의 채널정보를 알고 있어야 한다. 그러나 ad-hoc 네트워크에서는 스케줄링을 담당할 기지국이 없으므로 스케줄링기법을 적용하기 쉽지 않다. 따라서 ad-hoc네트워크와 같은 분산네트워크를 위해서는 분산된 방식의 opportunistic 스케줄링방식이 필요하다. 분산화된 스케줄러를 위한 연구로서 논문 [2]에서는 다중사용자 다

이버시티를 이용하기 위한 매체접근제어 방식으로서 OSMA (Opportunistic Packet scheduling and media access control) 을 제안하고 있다. 논문에서는 ad-hoc 네트워크에서 다중사용자 다이버시티를 효과를 극대화하기 위한 새로운 분산화된 스케줄링을 제안하려 한다. 중앙 집중형의 네트워크에만 적용이 가능했던 기존의 비례공정 스케줄링 방식을 개선하여 분산화된 네트워크에 적용할 수 있는 분산화된 비례공정 스케줄링 알고리즘을 설계하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 비교분석 한다.

2. ad-hoc 네트워크를 위한 분산화된 스케줄링

본 논문에서의 분산화된 스케줄링기법은 multicast RTS 와 prioritized CTS 메커니즘 [2]을 이용한다. 송신기는 데이터를 전송하기 전에 데이터를 전송 받을 후보 수신기를 선택한다. 송신기는 선택된 후보 수신기들에 RTS패킷을 전송한다. RTS패킷 내에는 수신기들의 현재까지의 평균 전송률과 패킷의 크기 정보가 함께 전송된다. RTS에서 각 트래픽에 대한 정보로써 $RA(i)$, $Size(i)$ 그리고 $R(i)$ 값을 포함한다. 이때 $RA(i)$ 는 각 후보 수신기 i 에 대한 주소를 의미하고 $Size(i)$ 는 수신기 i 로 전송될 패킷의 크기를 의미한다. $R(i)$ 는 현재까지 수신기 i 에 전송된 데이터에 대한 평균전송률의 의미한다. RTS내의 후보 수신기들의 순서는 순환순서 방식에 따른다. RTS 패킷을 수신한 후보 수신기들은 자신의 주소가 포함되어 있는지를 확인한 후 RTS 를 이용하여 채널정보를 파악하고 수신 SNR을 계산한다.

수신기는 계산된 SNR정보를 이용하여 수신 가능한 데이터 전송률을 확인한다. 수신기는 수신 SNR과 전송률 별로 요구되는 SNR을 비교하여 수신이 가능한 전송률을 결정하여 CTS 패킷을 통하여 전송률정보를 송신기에 전송한다. 이와

저자 소개

* 正 會 員 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부
助教授 · 工博

** 正 會 員 : 한경대학교 정보제어공학과 副教授 · 工博

같은 SNR 문턱값 기법은 가장 널리 이용되는 전송률결정 알고리즘이다 [3]. 802.11a WLAN은 적응적으로 선택할 수 있는 8가지의 전송모드를 지원한다. 전송모드에 따라 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 그리고 54Mbps중 하나의 전송률을 지원한다. 각각의 모드는 RTS로부터 계산된 SNR값에 의해 결정된다.

SNR을 이용하여 자신의 전송률을 확인한 후 본 논문에서 제안하는 분산화된 비례공정 스케줄링 방식에 의해 자신의 우선순위 PO_i 를 확률적으로 계산한다. 우선권에 대한 계산이 끝나면 우선순위에 따라 서로 다른 backoff 후에 CTS를 전송한다. 이때 수신 SNR로부터 얻어진 전송률정보가 CTS 패킷에 포함된다. 우선순위 PO_i 를 갖는 수신기 i 에 대한 backoff는 (1)에 의해 계산된다.

$$Backoff_i = SIFS + (PO_i - 1) Time_slot \quad (1)$$

수신기의 수와 우선순위의 최대값은 일치하지 않을 수 있다. 수신기는 채널을 감지하고 있다가 자신이 CTS를 보낼 시간슬롯 이전에 다른 수신기에 의한 CTS전송이 감지되면 자신의 CTS전송을 취소한다. 그러나 분산화된 방식으로 우선순위를 계산하기 때문에 동일한 우선순위에 의해 CTS전송에서 충돌이 생길 가능성이 존재한다. CTS 패킷 전송에서 충돌이 발생할 경우에는 더 이상의 충돌을 방지하기 위해 OSMA [2]에서와 같이 RTS 패킷 내의 수신기의 순서에 따라 우선권을 할당한다. 이때 수신 SNR이 최소 SNR을 넘지 못하면 수신기는 CTS전송을 포기하고 다른 수신기가 CTS 패킷을 송신하도록 한다.

앞에서 설명한 바와 같이 송신기는 데이터를 수신기에 전송하기 전에 후보 수신기 목록과 현재까지의 평균 전송률을 RTS를 통해 전송한다. 이때 송신기에서는 데이터를 전송한 후에는 모든 수신기에 대해 현재까지의 평균전송률을 갱신한다. (2)은 i 번째 수신기에 대한 평균전송률, $R_i(t)$ 을 갱신하는 방법을 보여준다.

$$R_i(t+1) = (1 - 1/T_c(t))R_i(t) + (1/T_c(t))x_i(t)D_i(t) \quad (2)$$

식 (2)에서 스케줄링에 의해서 i 수신기가 선택되고 $D_i(t)$ 의 전송률로 데이터를 전송을 받았다면 $x_i(t)$ 는 1의 값을 가지며 그렇지 않다면 0의 값을 갖는다. $T_c(t)$ 는 패킷 데이터가 전송되기까지 걸린 총 시간을 의미한다. RTS를 수신한 수신기들은 자신이 RTS의 수신대상 목록에 있는지를 확인한 후 자신이 후보 수신기이면 전송 가능한 데이터 전송률을 정한다. 수신기 i 는 전송 가능한 데이터 전송률과 RTS에서 받은 평균전송률을 이용하여 (3)에서 정의된 PF_i 값을 계산한다.

$$PF_i(t) = \frac{D_i(t)}{(R_i + 1)^w}, \quad 0 < w \quad (3)$$

D_i 는 RTS를 이용하여 구한 SNR을 통해 얻은 데이터 전송률이며 채널에 대한 상태정보를 나타낸다. R_i 는 i 번째 수신기에 의해 현재까지 수신된 데이터의 전송률을 의미하며 스케줄링에 공평성을 반영하기 위한 요소가 된다. (3)에서 w 는 가중치 인자다. 비례공정 스케줄링 방식에서와 달리 평균 전송률에 w 승을 하였는데 이는 공평성과 전송률에 대한 가

중치를 부여하도록 함으로써 공평성과 전송률을 조절할 수 있도록 하였다. 예를 들어 w 값이 증가하면 공평성은 증가하나 전체 전송률은 감소한다. 따라서 요구되는 공평성을 보장할 수 있는 w 값 중에 최소값을 선택해야 전체 전송률 성능을 최대한 보장하면서도 공평성을 유지할 수 있다.

RTS의 모든 후보 수신기는 (3)에서와 같이 PF 값을 계산한다. 그러나 다른 수신기에 대한 PF 값을 알지 못하므로 채널에 접근할 순위를 알지 못한다. 따라서 각각의 수신기들은 확률적인 방법으로 자신의 우선권순위를 계산한다. 이를 위해 (4)에서와 같이 먼저 자신의 PF 값과 다른 수신기의 PF 값을 확률적으로 비교하여 자신의 PF 값이 다른 수신기의 PF 값 보다 클 확률의 합을 계산한다.

$$\gamma_i(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \Pr(PF_i(t) > PF_j(t)) \quad 0 \leq \gamma_i(t) \leq N-1 \quad (4)$$

$\gamma_i(t)$ 는 i 수신기의 PF 값이 다른 수신기의 PF 값보다 클 확률을 모든 후보 수신기에 대해서 합한 값이 된다. 이때 $\gamma_i(t)$ 는 0보다 크거나 같고 후보수신기의 수 $N-1$ 보다 작거나 같은 값을 갖게 된다. 각각의 수신기는 (4)에서 계산한 $\gamma_i(t)$ 값을 이용하여 자신의 우선순위를 계산한다. (5)은 i 번째 수신기에 대한 우선순위 PO_i 의 계산식을 보여준다.

$$PO_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } \beta_{M-1} \leq \gamma_i(t) \\ 2 & \text{if } \beta_{M-2} \leq \gamma_i(t) < \beta_{M-1} \\ \dots & \\ M & \text{if } \gamma_i(t) < \beta_1 \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 보는 바와 같이 자신의 우선권이 다른 수신기들의 우선권보다 높을 확률의 합, $\gamma_i(t)$,을 문턱값 β 과 비교함으로써 최종적인 우선순위 PO_i 가 결정되고 이에 따라 (1)에서와 같이 backoff가 결정된다. 우선순위 PO_i 값이 작을수록 작은 backoff지연 후에 CTS를 전송하여 채널을 획득할 확률을 증가시킨다. Backoff 값을 결정하기 위한 문턱값 β 은 레벨에 따라 균등한 값을 갖도록 설정하였다.

(4)에서 i 번째 수신기의 PF 값이 다른 수신기의 PF 값보다 클 확률값은 (6)과같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(PF_i > PF_j) &= \Pr\left(\frac{D_i}{R_i} > \frac{D_j}{R_j}\right)_{i \neq j} \\ &= \Pr\left(\frac{R_j}{R_i} D_i > D_j\right) = P_{D_j}\left(0 < d < \frac{R_j}{R_i} D_i\right) \end{aligned} \quad (6)$$

이때 각 수신기의 평균전송률 R_i 와 R_j 값은 송신기의 RTS 패킷으로부터 수신된다. 그러나 다른 수신기에 대한 순시전송률 D_j 값은 알 수가 없다. 따라서 D_j 의 확률적 분포를 통해서 i 번째 수신기의 PF 우선권이 j 번째 수신기의 PF 우선권보다 클 확률을 계산하여야 한다. 이를 위해서는 j 번째 수신기에서 전송률 D_j 에 대한 확률밀도함수 $P_{D_j}(d)$ 를 알아야 한다. i 번째 사용자의 우선순위를 구할 때 모든 다른 수신기 $j=1, 2, \dots, N$ ($\neq i$)는 모두 동일한 확률밀도함수를 갖는다고 가정한다. 본 논문에서는 전송률에 대한 확률밀도함

수가 수신기의 위치와 송신전력에 의해서 결정되는 것으로 가정한다. 수신기들이 송신기의 송신전력을 안다고 가정하면 거리에 따른 전송률을 계산할 수 있다. 따라서 전송률 D_j 가 d_m 일 확률은 (7)와 같이 송신기의 전체 커버리지에 대해 d_m 의 전송률로 서비스되는 영역의 비율로서 구할 수 있다.

$$P_{D_j}(d_m) = \frac{S_{d_m}}{S_{tot}}, m = 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

식(7)에서 S_{d_m} 은 전송률 d_m 으로 전송가능한 영역의 넓이이며 S_{tot} 은 송신기의 전체 커버리지의 면적을 나타낸다. 동일 송신기의 커버리지 내에 있는 모든 수신기에 대한 확률밀도함수 D_j 는 동일하다고 가정하였다. 송신기의 송신전력을 알고 있다고 가정하면 RTS를 받은 모든 후보 수신기들은 (7)에 의 확률밀도함수를 이용하여 독립적으로 (6)의 확률값을 계산할 수 있다. 계산된 결과를 (5)을 이용하여 최종적으로 자신의 우선순위 PO를 획득하게 된다.

3. 시뮬레이션 및 결과

본 절에서는 본 논문에서 제안한 분산화된 비례공정 스케줄링의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였고 OSMa [2]와 전통적인 스케줄링방식인 순환순서 방식과 비교 분석하였다. 채널환경은 레일레이플랫 페이딩 채널을 가정하였다. 시뮬레이션을 위해 802.11 WLAN의 주요 파라미터들을 사용하였다[4]. 모든 수신기에 대해 각 데이터는 항상 backlogged 되어있는 것으로 가정하였으며 각 수신기의 공평성을 측정하기 위해 (8)와 같이 불공평지수를 정의하였다.

$$\text{unfairness index } \sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 - (T_{av})^2 \quad (8)$$

(8)에서 \bar{T}_i 수신기 i의 평균 전송률을 의미하며 N은 시스템에 있는 총 수신기의 수이다. T_{av} 는 시스템내의 모든 수신기에 대한 시스템의 평균 전송률을 의미한다. (8)의 불공평지수 값이 작을수록 보다 공정한 스케줄링을 의미하며 불공평지수 값이 클수록 불공평성이 커짐을 의미한다.

그림 1은 수신기의 수에 따른 전체 전송률성능을 스케줄링 방식에 따라 비교하였다. 제안된 패킷스케줄러의 가중치 인자는 w가 0.7 일때 성능을 분석하였다. 그림에서 보듯이 순환순서 방식이나 OSMa에 비하여 높은 전송률성능을 보여줄 수 있다.

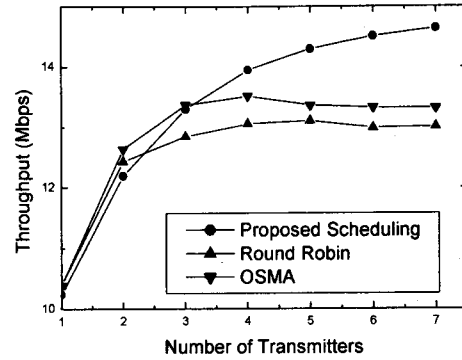


그림 1 스케줄링방식에 따른 전송률 성능의 비교

4. 결론

본 논문에서는 ad-hoc 네트워크에서 다중사용자 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 분산화된 방식의 스케줄링 알고리즘을 제안하고 기존의 multicast RTS 와 prioritized CTS handshake방식에 기반한 매체접근제어 프로토콜을 적용하였다. 제안된 스케줄링 알고리즘은 ad-hoc네트워크에서 각각의 수신기들이 독립적으로 채널상태를 파악하고 자신의 우선순위를 확률적으로 계산함으로써 모든 수신기의 채널상태를 수집하지 않고서도 다중사용자 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과 제안한 방식은 충분한 공평성을 유지하면서도 기존의 방식에 비하여 높은 전송률 향상을 보여주고 있으며 가중치 파라미터를 조절함으로써 공평성과 전송률 성능을 조절할 수 있는 유연성을 보이고 있다.

참고 문헌

- [1] A. Jalali, R. Padovani, R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a High efficiency-high data rate personal communication wireless system," Proc. VTC-2000-Spring, Tokyo, Japan, May 2000.
- [2] J. Wang, H. Zhai, and Y. Fang, "Opportunistic Packet Scheduling and Media Access Control for Wireless LANs and Multi-hop Ad Hoc Networks," Proc. IEEE WCNC 2004, Atlanta, Georgia, Mar. 2004.
- [3] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," proc. of Mobicom2001, 2001.
- [4] Jean-Lien C. Wu, Hung-Huan Liu, and Yi-Jen Lung, "An adaptive multirate IEEE802.11 Wireless LAN," Proc. of Information networking, pp.411-418, Jan. 2001