

IEEE 802.11 기반의 모바일 애드 혹 네트워크에서 전력제어 알고리즘을 통한 공간 재사용

이승대^{1*}, 정용채¹
¹남서울대학교 전자공학과

Spatial Reuse based on Power Control Algorithm Ad hoc Network

Seung-Dae Lee^{1*} and Yong-Chae Jung¹
¹Electronic Engineering, Namseoul University

요약 인프라의 존재 없이 산재한 노드들이 일시적인 네트워크를 구성하는 애드 혹 네트워크에서 지연 감소, 대역폭 공정 분배, 전력 제어 및 네트워크 처리량 개선 등을 위한 MAC 계층의 연구가 활발히 이루어져 왔다. 특히 제한된 에너지를 사용하는 애드 혹 네트워크에서 전력 소모량을 줄이는 문제는 애드 혹 네트워크 분야에서 아주 중요한 연구 분야로 인식되고 있다. 지금까지 전력 제어를 통해 전력 소모량을 감소시키기 위하여 분산 전력 제어, PCM(Power Control MAC) 및 F-PCF(Fragmentation based PCM)등 네트워크 처리량을 유지 하면서 전력 소모 최소화를 위한 알고리즘들이 제시 되어 왔다. 이러한 전력 제어 방법은 전력 소모를 최소화하기 위하여 최적의 송신 전력을 만들도록 설계되어 주변 노드들의 잠재 통신 가능 공간을 생성하지만 아직까지 알고리즘은 전력 소모에 초점을 맞추고 있어 전력 제어를 통해 생성되는 잠재 통신 가능 공간을 적절히 활용 하지 못하고 있다. 본 논문에서는 전력 제어 통해 생성되는 잠재 통신 가능 공간을 활용하여 많은 네트워크 처리량을 향상 시키는 알고리즘을 제시하고자 한다.

Abstract The MAC layer in ad-hoc network which makes network of nodes without infrastructure for a time has become an issue to reduce delay, allocate fairly bandwidth, control TX/RX power and improve throughput. Specially, the problem to reduce power consumption in ad-hoc network is very important part as ad-hoc devices use the limited battery. For solution of the problem, many power control algorithms, such as distribute power control, PCM (Power Control MAC) and F-PCF (Fragmentation based PCM), are proposed to limit power consumption until now. Although the algorithms are designed to minimize power consumption, the latency communication zone is generated by power control of RX/TX nodes. However the algorithms don't suitably reuse the space. In this paper proposes the algorithm to improve data throughput through Spatial Reuse based on a power control method.

Key Words : SR-PCM, Spatial Reuse, PCM, Ad-Hoc, MANET

1. 서론

애드 혹 네트워크의 MAC 계층에서는 지연감소, 대역폭 공정분배, 전력제어 및 네트워크 처리량 개선 등의 문제에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 특히 제한된 에너지를 사용하는 애드 혹 장치에 대한 전력 제어 및

네트워크 처리량에 대한 연구는 많은 관심 분야로 여겨져 왔다. 전력 제어를 통해 최적의 전력으로 네트워크 근원지에서 목적지로의 멀티 홉 정보 전송은 전파 거리의 제곱에 5승에 비례하게 요구되는 송신 전력을 감소시켜 주는 장점이 있다[2,3]. 즉 한 노드가 높은 송신 전력을 소모하는 대신 멀티 홉을 통해 최적의 송신 전력을 소모

본 논문은 2008년도 남서울대학교 교내 연구과제로 수행되었음.

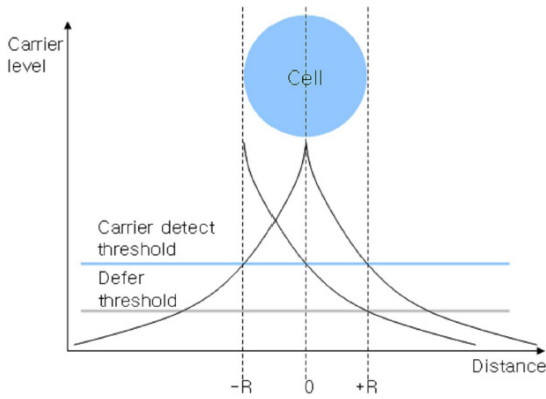
*교신저자 : 이승대(seungdae@nsu.ac.kr)

접수일 09년 12월 09일

수정일 10년 01월 15일

게재확정일 10년 01월 20일

하게 함으로써 네트워크 전체 수명을 연장 할 수 있게 한다. 지금까지 제안된 전력 제어 알고리즘은 근원지 노드의 송신 전력을 다음 홉의 노드가 수신 할 수 있는 최소 적정 송신 전력으로 제어함으로써 불필요한 전력 소모를 줄이면서 네트워크 성능에 영향을 미치지 않는 알고리즘이 연구 되어 왔다.

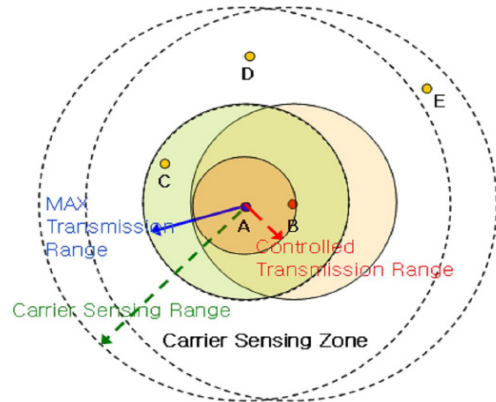


[그림 1] 캐리어 감지 임계값과 지연 임계값[8]

무선 랜 기반의 모바일 애드 혹 네트워크의 MAC 프로토콜은 물리적 캐리어 센싱을 통하여 노드 사이의 전송 충돌을 회피하고 가상적 캐리어 센싱을 통해 숨겨진 노드와 노출된 노드의 문제를 해결하기 위하여 송수신에 영향을 미치는 주변 노드들의 통신을 RTS/CTS/DATA/ACK 최대 송수신 출력으로 전송함으로써 통신 간섭을 제한하고 있다. 특히 MAC 계층 프로토콜 설계 시 대부분의 경우 통신 반경만을 고려해 프로토콜을 설계하지만 그림 1과 같이 캐리어 감지 임계값(carrier Detect Threshold)에 대한 지연 임계값(Defer Threshold) 값이 2배로 설정되기 때문에 캐리어 감지 영역이 통신 반경의 2배가 된다[4]. 따라서 멀티 홉 통신에서 실질적인 캐리어 감지 임계 영역이 아닌 지연 임계 영역에 의해 더 많은 노드 간 간섭이 발생 하게 되고 그 만큼의 네트워크 성능 손실을 가져온다. 이것은 주변 노드가 캐리어 감지 임계 영역 변경 밖에 있더라도 송신 노드의 지연 임계 영역 내에 위치한 경우에는 현 신호가 간섭으로 작용해 전송 오류를 발생시킬 수 있음을 의미 한다.

앞서 설명한 간섭이 존재하는 구간을 도식적으로 나타내면 그림 2와 같다. 노드 A를 중심으로 하는 실선원이 A의 캐리어 감지 임계값인 통신 반경을 나타내고 동일 중심으로 그려진 점선 원이 노드 A의 최대 신호가 간섭으로 작용할 수 있는 지연 임계 영역이다. 노드 C는 캐리어 감지 임계값 이상의 전력을 수신할 수 있고 노드 D는

캐리어 임계값보다 낮은 지연 임계 전력을 수신한다. 하지만 이 신호가 지연 임계값 이상의 전력을 가지기 때문에 노드 D는 매체 접근을 지연하게 된다. IEEE 802.11 무선 랜에서는 이런 지연을 위하여 EIFS (Extended Inter-Frame Space) [5]값을 정의하여 지연 임계값의 전력을 송신 했을 경우 충돌 윈도우 값을 백오프(Back-off)하고 EIFS로 정의된 시간 동안은 매체 접근을 지연하도록 해 충돌을 막고 있다.



[그림 2] 기본 전력 제어와 캐리어 감지 영역

전력 제어 알고리즘을 통한 적정 송수신 전력의 사용은 앞서 설명한 캐리어 감지 영역을 줄이고 주변 노드들의 간섭 영역을 줄여 공간 재사용이 가능한 영역을 만들게 되어 이를 활용한 네트워크의 성능 향상을 가능하게 할 수 있다.

본 논문에서는 전력 제어 알고리즘을 통하여 최적의 송수신 전력으로 실질적인 캐리어 감지 영역을 줄여 산출된 공간 재사용 영역을 활용하여 통신 중인 노드와 주변 노드들의 간섭 없이 동시에 통신이 가능하게 함으로써 네트워크 성능을 향상 시키는 전력 제어 공간 재사용 알고리즘을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 무선 애드 혹 네트워크에서 사용하는 전력 제어 기술에 대해 언급하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 공간 재사용을 위한 전력 제어 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 적합성을 판단하기 위하여 시뮬레이션 평가를 수행하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 무선 애드 혹 네트워크에서 전력 제어 기술

기본적으로 IEEE 802.11 무선 랜에서 사용하는 RTS/CTS/DATA/ACK 메커니즘을 따르는 시스템에서 노드간의 물리적 캐리어 감지를 위하여 송신측이 최대 송신 전력 P_{max} 로 RTS를 송신하고 이를 P_r 의 전력으로 수신한 수신측이 수신 전력 P_r 과 현재 채널 상태를 고려해 바람직한 신호 대 잡음비를 유지 할 수 있는 전력 레벨 P_d 를 정해 CTS에 포함한 뒤 P_{max} 의 전력으로 전송함으로써 송신측으로 하여금 송신 전력 P_d 를 추정 할 수 있도록 한다. 이후 데이터를 전송 시 송신측 노드는 P_d 의 송신 전력을 사용하게 되는데 여기서 CTS를 P_{max} 로 전송하는 이유는 물리적 캐리어 감지를 통해 노드간의 충돌을 해결하기 위해서이다. 하지만 P_d 의 송신전력으로 데이터를 전송 할 때 EIFS 기간이 끝나는 지연 임계값 영역에 존재하는 노드가 P_{max} 의 전력으로 RTS를 전송 할 경우에 송수신 전력과의 전력 비대칭이 초래되어 송수신 노드에 간섭이 발생 할 수 있다.

분산 전력 제어는 송신 가능 전력 레벨을 10단계로 나누고 각각의 노드가 주변 노드와의 최적 송신 전력 레벨을 테이블로 관리하게 하여 전력 소모를 줄일 수 있는 전력 레벨을 선택 하도록 하는 방식이다. 하지만 기본 전력 제어와 마찬가지로 링크의 데이터 전송 시 지연 임계값 영역에 존재하는 노드에 의해 전력 비대칭에 의한 간섭을 초래할 수 있다[6].

PCM의 경우 기본 전력제어와 분산 전력제어에서 나타나는 송신 전력 비대칭 문제를 해결하기 위해 기본 전력 제어 방식에 데이터 전송 시 주기적으로 P_{max} 의 송신 전력으로 데이터를 전송해 줌으로써 전력 비대칭에 따른 간섭의 가능성을 줄여준다. 여기서 이 주기는 EIFS보다 작은 값으로 하며 지연 임계값에 영역에 존재하는 노드들이 통신 시간 동안 계속해서 EIFS 값을 통해 백오프 하게 한다[7]. 비록 P_{max} 에서 P_d 만큼 송신전력을 줄여 데이터를 송수신함으로써 전력 손실은 줄일 수 있지만 정적 전력 P_d 로 통신했으로써 생기는 캐리어 감지 영역내의 노드들의 통신을 중단시킴으로써 네트워크 노드 밀도가 높은 토폴로지에서 네트워크 효율을 저하 시키는 중요한 원인이 된다.

F-PCM은 PCM에서 데이터 전송 시에 주기적으로 데이터를 송신 전력 P_{max} 로 송신하기 때문에 수신측의 캐리어 감지 영역에 존재하는 노드들은 해당 신호를 감지하지 못해 P_{max} 로 RTS를 송신해 수신측 노드에 간섭을 일으키게 되는 문제를 해결하기 위한 알고리즘이다. 이 알고리즘은 EIFS 기간 보다 짧은 시간에 전송 할 수 있는 데이터의 크기로 분할하고 이 각각에 ACK를 최대 송신 전력 P_{max} 로 송신함으로써 수신측 입장에서의 캐리어 감지 영역에 존재하는 노드들을 백오프 시키게 한다[8].

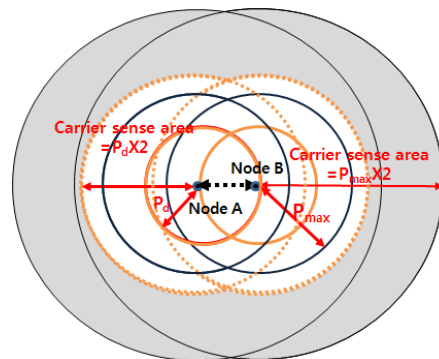
하지만 이 알고리즘은 EIFS값을 사용하면 데이터를 많은 조각으로 분할해서 전송하기 때문에 오버헤드가 커지고 전송 시간을 커버 할 수 있을 만큼의 EIFS 확장이 필요하다.

이 알고리즘은 모든 캐리어 감지 영역에 존재하는 노드들로 하여금 송수신 노드의 통신에 간섭 할 수 없도록 하지만 PCM보다 더 많은 전력을 소모하게 되고 여전히 PCM과 같은 주기적 최대 송신 전력 사용으로 인해 캐리어 감지 영역내의 노드들은 캐리어 감지의 결과로 채널이 비었음에도 특정 노드들이 오랜 시간 동안 매체를 접근하지 않게 되는 문제가 발생된다.

3. 공간 재사용을 위한 전력 제어 알고리즘

지금까지 모바일 애드 혹 네트워크에서 전력 제어 알고리즘은 전력 소모의 효율에 중점을 두고 설계되었기 때문에 주변 노드들의 간섭에 의한 노드들의 네트워크 용량 손실에 대해서는 생각하지 않았다. 하지만 전력 제어 알고리즘을 통한 적정 송수신 전력의 사용은 캐리어 감지 영역을 줄이고 주변 노들의 간섭 공간을 줄여 공간 재사용이 가능한 영역을 만들 수 있다. 본 장에서는 전력제어에서 공간 재사용을 통해 네트워크 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘에 대해 설명한다.

RTS/CTS 교환을 통해 최적의 송신 전력 P_d 를 획득하여 송수신하는 경우에는 그만큼의 캐리어 감지 영역이 작아지기 때문에 간섭을 받는 노드의 수가 작아진다. 하지만 주변 노드와 송수신 노드간의 전력 비대칭 문제로 인한 간섭을 피하기 위하여 기존의 전력제어 알고리즘은 주기적으로 최대 송신 전력을 사용하여 주변 노드를 지연 시켜 줌으로써 실질적인 데이터 전송 시 간섭을 받지 않는 주변 노드들은 휴면 상태를 유지하게 된다.



[그림 3] 이상적인 경우의 캐리어 감지영역

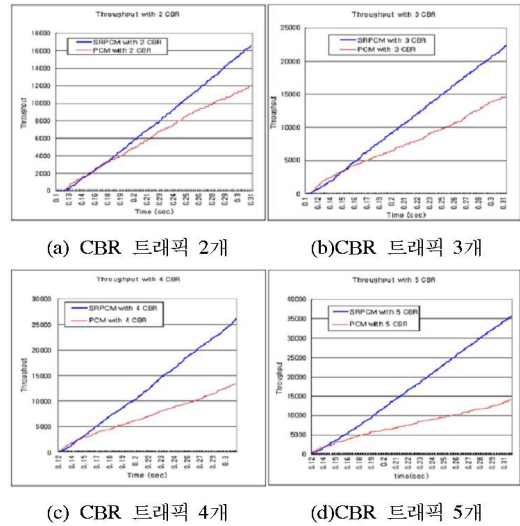
수신 임계값(Rx Threshold)은 채널의 휴지 (idle) 상태를 감지하기 위한 임계 수신 전력을 나타내고 최외각 임계값(Edge Threshold)는 제한된 알고리즘에서 통신 반격 내의 최외각을 구별하기 위한 임계 수신 전력이다. 현재 시뮬레이션의 설정은 수신 임계값과 큰 차이 없이 설정하고 있지만 노드 밀도가 작을수록 적당한 차이를 두어야 기대 효과를 거둘 수 있다.

[표 1] 시뮬레이션 파라미터

	Value
Frequency	5.8GHz
Propagation	Two-ray Model
Antenna	Omni-Antenna
Tx Ant. Gain	1
Rx Ant. Gain	1
Loss factor	1
Rx threshold	1.295999e-9w
CS threshold	8.1e-11w
Edge threshold	1.32e-9w
Traffic	CBR/UDP
Routing Protocol	DSR
Data Size	210bytes

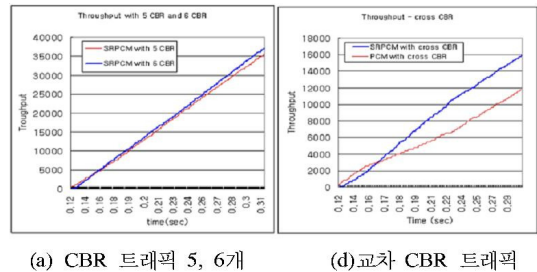
안테나는 방향성 안테나를 사용하였고 전송 속도는 2Mbps로 설정 하였다. 송신 전력 레벨은 표 1의 값을 기준으로 최대 250m 최소 25m의 송신 반경을 가지도록 송신 전력을 10개의 레벨로 나누어 사용하였다. 시뮬레이션은 기본적으로 캐리어 감지 영역의 1/2 거리에 위치한 두 노드가 데이터를 교환하면서 생성되는 캐리어 감지 영역에 격자로 존재하는 주변 노드들에 CBR 트래픽을 추가함으로써 증가되는 데이터 처리량을 PCM과 비교 성능 평가 하였다.

두 노드가 통신 하고 있는 캐리어 감지 영역에 2개 이상의 CBR 트래픽을 추가하면서 측정한 결과 그림 6과 같이 전체적인 데이터 처리량이 향상되는 것을 보여 주고 있다 하지만 공간 재사용 위해 추가적인 처리 과정에 따라 전송 초기에는 기존의 PCM에 비해 초기 지연을 가지는 것으로 나타났다. 데이터 처리량이 CBR 트래픽만큼의 배수로 증가하지 않은 것은 ARP 메시지와 라우팅 테이블 업데이트 및 멀티 홉을 통해 전달되던 패킷의 손실로 인해 발생하였다.



[그림 6] CBR 트래픽에 대한 처리량

그림 7은 처리량의 향상의 한계와 기존 두 노드를 가로 지르는 CBR 트래픽에 관한 결과를 보여 주고 있다. 그림 7의 (a)와 같이 본 시나리오에서 6개의 트래픽부터 처리량의 증가 효과가 거의 없으며 이는 공간 재사용을 할 수 있는 캐리어 감지 영역을 대부분이 사용하고 있음을 나타낸다. 이것은 노드 밀도가 높고 전송하고자 하는 트래픽이 많이 존재한다 할지라도 제한된 성능 향상만을 가져 올 수 있다는 제한성을 보여 주고 있다. 하지만 (b)와 같이 기존 노드를 가로지르는 주변 노드의 CBR 트래픽에서도 공간 재사용 영역에서의 멀티 홉을 통해 성능 향상을 가져 오는 것을 확인할 수 있다.



[그림 7] CBR 트래픽에 대한 처리량

5. 결론

애드 혹 네트워크에서 효율적인 멀티 홉 전송과 전력 손실을 줄이기 위한 전력 제어 알고리즘이 많이 연구되

어 지고 있다. 이러한 전력 제어 알고리즘은 캐리어 감지 영역을 줄여 주변 노드들의 간섭 영역을 줄여 공간 재사용이 가능한 영역을 만들게 되고 이 공간을 활용 한다면 네트워크 전체의 데이터 처리량을 향상 시킬 수 있다.

본 논문에서는 송수신 노드의 전력을 바탕으로 계산된 공간 재사용 전력을 주변 노드에게 전달 해 줌으로서 공간 재사용을 할 수 있는 전력 제어 알고리즘을 소개하고 시뮬레이션을 통해 성능 향상을 증명 하였다. 그 결과는 네트워크의 01.초당 처리율이 트래픽 분포에 따라 11.1%에서 최대 51% 향상 되었다.

본 논문에서 제시된 공간 재사용 전력 제어 알고리즘은 이상적인 경우를 바탕으로 알고리즘의 원리에 대해 중점으로 평가를 수행 하였다. 보다 향상된 알고리즘을 제시하기 위해서 향후 알고리즘의 원리 평가를 위해 가정해 왔던 부분에 대한 해결과 최외각 전달 노드를 선정하기 위한 알고리즘에 대한 연구 및 공간 재사용 영역 내에 존재하는 노드들의 멀티 홉을 위한 라우팅 계층의 경로 설정 및 제한 알고리즘에 대한 연구가 이루어 질 것이다.

참고문헌

[1] C.Siva Ram Mupthy and B. S. Manoj, Ad Hoc Wireless Network-Architectures and protocols, Prentice Hall, 2004

[2] N. Abramson, "The ALOHA SYSTEM- Another Alternative for computer communications", in: Proc. AFIPS Fall Joint Computer Conference, 1970. pp.281-285

[3] Paolo Santi, Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, John Wiley&Sons, 2005

[4] A Kamerman and L. Monteban, "WaveLan-II: A High-Performance Wireless LAN for Unlicensed Band", Bell Labs Technical Journal 2(3), 1997.

[5] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer(PHY) specifications, IEEE Standard 802.11, 2007.

[6] S. Agarwal, S. Krishnamurthy, R. H. Katz, and S. K. Dao, "Distributed power control in ad hoc wireless networks", in Proc, IEEE PIMRC, 2001, pp.56-66.

[7] Eun-Sun Jung, NITIN H. VAIDYA, "A Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks", Springer Science Business Media, 2005, Wireless Network pp.55-66.

[8] Dongkyun Kim, "F-PCM: A Fragmentation- based

power control MAC protocol for IEEE 802.11 mobile ad hoc network", Wiley InterScience, Wireless Communications and Mobile Computing, 2006, no.6 pp727-739.

이 승 대(Seung-dae Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 4월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>
정보통신, 유무선통신

정 용 채(Yong-Chae Jung)

[정회원]



- 1989년 2월 : 한.양대학교 전자공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 1999년 2월 : LG 전자 홈어프라이언스연구소 선임연구원
- 1999년 2월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 부교수

<관심분야>
SMPS, PFC, 유도가열, EMI/EMC, 공진형컨버터 등 전력전자