논문 2009-3-10

Wi-Fi 네트워크를 위한 매체적응 MAC 프로토콜

Link Adaptive MAC protocol for Wi-Fi

김병서*, 한세원**, 안홍영*

Byung-Seo Kim, Se-Won Han, Hong-Young Ahn

요 약 무선 채널은 유선 채널과 달리 시간적 공간적으로 지속적으로 변화하는 특성을 가지고 있으며 이는 네트워크의 성능 변화에도 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 채널의 변화에 대응하여 네트워크의 성능을 향상하고자 하는 노력이 많이 이루어져 왔으며 이는 지역 통신으로 각광받고 있는 Wi-Fi도 예외는 아니다. 기존의 Wi-Fi 네트워크에서의 채널에 적응하여 역동적 속도 조절방식은 Flat-fading에 기반을 두어 이루어져 왔으나 대부분의 Wi-Fi 네트워크가 Indoor상황에서 이루어지기에 오히려 Frequency selective한 채널에 대응하는 방식의 속도 조절 방식이 요구되어지고 있다. 그러나 이러한 방식은 지속적으로 변화하는 채널에 적응하기에는 너무나 큰 overhead를 만들어 옴에 따라 적용되지 못하고 있었다. 본 논문에서는 각 sub-carrier별로 다양한 Rate를 적용할 수 있는 Layer-2 protocol을 제안한다. 제안된 프로토콜은 기존의 sub-carrier별 속도 조절시 에 문제시 되는 overhead의 증가문제를 단 한 개의 OFDM 심벌을 추가함으로써 혁신적으로 개선할 수 있었고 이를 통하여 네트워크의 성능 향상을 가져오게 되었다. 제안된 프로토콜은 simulation과정을 통하여 그 성능의 우월성을 입증하였다.

Abstract A novel protocol is proposed to achieve sub-carrier-based rate adaptation in OFDM-based wireless systems. The protocol requires the addition of one OFDM symbol to the Clear-to-Send (CTS) packet defined in the IEEE 802.11 standard. When receiving a Ready-To-Send (RTS) packet, the receiver determines the number of bits to be allocated in each sub-carrier through channel estimation. This decision is delivered to the sender using an additional OFDM symbol. That is, bit-allocation over sub-carriers is achieved using only one additional OFDM symbol. The protocol also provides an error recovery process to synchronize the bit-allocation information between the sender and receiver. The protocol enhances the channel efficiency in spite of the overhead of one additional OFDM symbol.

Key Words : Bit-Loading, MAC, Wireless, OFDM

Ⅰ. 서 론

IEEE 802.11a에 표준화된 것과 같이 기존의 속도적응 OFDM 기반의 무선 시스템에서는 모든 sub-carrier들이 고정된 constellation size(비트 수, 또는 속도)와 전력 레벨을 사용한다[1]-[3]. 그러나 거의, 혹은 대부분의 sub-carrier들은 multi-path fading 하기 때문에 각기 다른 채널 상태를 경험하게 된다. 결과적으로 모든 sub-carrier가 같은 constellation size를 사용하는 것보다 각 sub-carrier의 상태에 따라 다른 constellation size의 사용이 보다 신뢰성 있고 효율적인 데이터 전송을 제공한다.

Bit-Loading이라 불리는 OFDM 심벌내의 모든 sub-carrier들이 서로 다른 수의 비트를 할당하는 것은 DSL과 같은 유선 통신 시스템에서는 이미 사용되어지고

*정회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
**준회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 2009.04.20, 수정완료.2009.05.31

있다. 게다가 Bit-Loading 기법의 사용은 채널 활용도를 높이고, PER(packet error rate)을 낮추는 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 무선 채널은 유선 채널과는 달리 시간에 따라 변화하므로 Bit-Loading 기법의 적용은 성능을 떨어뜨리는 결과를 가져온다. 무선 채널의 시간에 따라 변화하는 특징은 각 sub-carrier에 할당된 비트들의 수를 보다 빈번하게 바꿔줄 것을 요구한다. 게다가 송신단과 수신단이 할당 정보를 서로 공유해야하기 때문에, 이들 사이의 Bit-Loading 정보를 빈번하게 교환해야 한다. 결국 이것은 overhead의 증가와 네트워크 성능을 저하시키는 결과를 가져온다.

셀룰러 시스템과 같은 중앙 집중형 네트워크에서의 피드백 문제는 모든 단말들이 AP(Access Point)와 통신을 하고 AP가 피드백 정보를 진행 중인 트래픽의 훼방없이 제어 할 수 있기 때문에 분산형 네트워크에서의 문제보다는 덜하다. 이와 더불어, 중앙 집중형 네트워크에서의 단말들은 주기적으로 CSI(Channel State Information)를 보낼 수 있다. 그러나 ad-hoc networks와 같은 분산형 네트워크에서는 통신이 피어(peer)간에 일어나고, 중재하는 단말이 존재하지 않는다. 따라서 각각의 통신쌍은 그들의 CSI를 주고받아야만 하며, 중앙 집중형 네트워크 보다 더 많은 피드백 패킷이 생성된다. 이뿐만 아니라, 피드백 패킷이 AP에 의해 제어가 되지 않기 때문에 전송 중인 패킷들과 충돌(collision)이 발생할 수 있다. 또한, OFDM 심벌에서의 sub-carrier들의 수가 증가하는 것처럼 sub-carrier 상태를 포함하는 피드백 정보도 증가한다. 따라서 무선 ad-hoc networks에서 sub-carrier 기반의 비트-할당을 활용하기 위해서는 최소한의 피드백 정보가 있는 효율적인 프로토콜이 요구된다.

이러한 분야의 연구는 최적의 에너지 할당과 비트들의 수, 그리고 피드백 채널 정보를 이용할 수 있다는 가정에서의 Bit-Loading 계산[4]-[6]의 복잡성 감소 등에 초점이 맞추어져 있었다. 반면, 무선에서의 Bit-Loading 기술을 위한 효율적인 프로토콜의 디자인은 거의 시도되지 않았다. [7]에서 제안한 기법은 오직 가장 강한 sub-carrier들 만이 목표 전송률에 맞추기 위해 높은 constellation size로 사용되어 진다. 수신단은 다음 데이터 전송을 위해 사용되어질 sub-carrier들의 식별번호(ID)를 송신단에 알려준다. 비록 피드백 overhead가 2개의 OFDM 심벌로 줄어들었지만, [7]에서는 모든 sub-carrier들을 완전하게 사용할 수 없었다. 게다가 전송률을 맞추기 위해 sub-carrier들을 선택하였기 때문에 이들 중 몇몇은 높은 constellation size로 다루어질 만큼 충분히 강하지 않을 수 있다.

이 논문에서는 최소한의 오버헤드로 sub-carrier 기반의 속도 적응 기법을 제안하였다. 제안하는 방법에는 오직 하나의 추가적인 OFDM 심벌만 요구된다. 비록 단 하나의 추가적인 OFDM 심벌에 의해 overhead가 발생할지라도, 네트워크의 성능은 향상된다.

Ⅱ와 Ⅲ에서는 제안하는 기법의 전개를 위한 동기를 설명하였고, 세부적인 기술을 서술하였다. Ⅳ에서는 제안하는 기법을 시뮬레이션을 통하여 평가하였고, 이것의 우월성을 입증하였다.

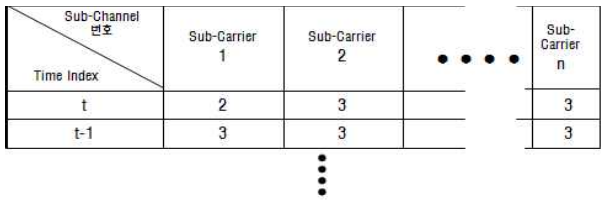

그림 1. Bit-Map의 예
Fig. 1. Example of Bit-Map

Ⅱ. 프로토콜 구성

제안하는 프로토콜은 RTS/CTS/DATA/ACK 의 4-way handshaking을 사용하는 IEEE 802.11 [8]에서의 표준 프로토콜을 기반으로 디자인되었으며 Bit-Map의 사용을 기본으로 한다. 『그림 1』에서 예시 되어진 바와 같이 Bit-Map은 얼마나 많은 비트들이 이전이나 현재의 데이터 패킷에서 OFDM 심벌의 각각의 sub-carrier에 어떻게 배치되어져 왔고, 되어져 있는지를 기록하고 가리키는 테이블이다. Bit-Map은 각 노드의 내부 메모리에 위치한다. Bit-Map은 통신이 시작할 때와 각 통신쌍이 유지될 때 생성된다. 하나의 통신쌍은 같은 Bit-Map을 가져야만 한다. 각 sub-carrier의 비트들의 수는 각 sub-carrier의 전송률에 직접적으로 비례하기 때문에, 우리는 혼란을 막기 위해 지금부터 본 논문에서는 전송률만 사용한다.

제안된 프로토콜에서의 CTS와 데이터의 PLCP 헤더의 패킷 포맷은 『그림 2』에서와 같이 수정된다. “Bit-Map-Flag” 부분은 Bit-Map의 사용을 가리킨다. “Bit-Map-Flag” 부분이 ‘1111’ 로 설정되어 있을 때,

"Bit-Map-Adjustment" OFDM 심벌이 PLCP 헤더와 MPDU 사이에 삽입된다. "Bit-Map-Flag"가 '0000' 일 때에는 비트 개수의 할당이 변화하지 않는다. 따라서 어떤 "Bit-Map-Adjustment" 도 PLCP 헤더 다음에 뒤따르지 않는다. "Bit-Map-Adjustment" OFDM 심벌은 48개의 데이터 sub-carrier와 4개의 parity sub-carrier로 조직되어 있다. 각각의 sub-carrier는 BPSK 심벌은 나른다. 이 추가적인 OFDM 심벌은 다음 번 데이터 전송을 위한 sub-carrier에서의 전송률 배분을 조정하기 위해 사용된다.

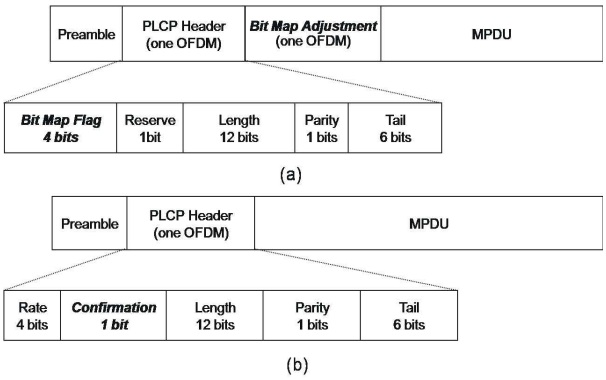

그림 2. 패킷 구조 (a) Bit-Map-Adjustment OFDM 심벌이 포함된 CTS, (b) 데이터 패킷

Fig. 2. Packet Structures : (a) CTS packet with Bit-Map-Adjustment OFDM symbol and (b) DATA packet

Ⅲ. 프로토콜 운영

다음 데이터 전송을 위한 각각의 sub-carrier의 전송률을 업데이트하기 위한 처리는 다음의 순서를 따른다.

·step 1 : 수신단은 수신된 RTS 패킷으로부터 모든 sub-carrier들의 채널 상태를 평가하고, 그 상태에 적당한 전송률을 선택한다.

·step 2 : 각 sub-carrier에 대한 전송률을 현재의 Bit-Map에서 전송률과 비교한 뒤, 수신단은 다음번 데이터 프레임을 위해 각각의 sub-carrier의 전송률을 증가시키거나, 감소시키거나, 바꾸지 않거나, 세 가지 중 하나를 선택하여 동작한다.

·step 3 : step 2 에서의 결정에 따라 수신단은, "Bit-Map-Adjustment" OFDM 심벌의 각 sub-carrier의 결정이 변동이 없다면 수신단은 직전 CTS의 같은 sub-carrier에서 사용된 값으로부터 다른 값으로 설정한다.

·step 4 : 수신단은 『표 1』에서 보여준 규칙에 따라 Bit-Map을 업데이트 한다.

·step 5 : 수신단은 RTS 패킷의 송신자에게 "Bit-Map-Adjustment" OFDM 심벌을 포함한 CTS 패킷을 전송한다.

·step 6 : CTS 패킷이 수신되면 source 또한 『표 1』에 나온 규칙에 따라 Bit-Map을 업데이트 한다.

·step 7 : Bit-Map의 업데이트 된 전송률을 사용함에 따라, source는 "Confirmation" subfield를 '1' 로 설정된 데이터 패킷을 생성하여 전송한다.

·step 8 : destination이 '1' 로 설정된 "Confirmation" subfield를 가진 데이터 패킷을 수신하면, Bit-Map 정보를 기반으로 하여 그것을 복조하고, source에게 ACK을 보낸다.

·step 9 : 만약 source가 ACK 패킷의 수신을 실패한다면, 현재의 전송률 정보를 그것의 Bit-Map에 포함된 이전의 정보로 변경을 하고 RTS를 재전송한다.

·step 10 : non-zero retry bit 와 함께 RTS를 수신하면 수신단은 현재의 전송률 정보를 이전의 Bit-Map에 포함된 이전의 정보로 변경한다.

·step 11 : 데이터 패킷의 수신이 실패한다면, 수신단은 현재의 전송률 정보를 Bit-Map에 포함된 이전의 정보로 변경한다. 이번 경우엔, ACK가 전송되지 않기 때문에, source 역시 현재 전송률 정보를 그것의 Bit-Map에 포함된 이전의 정보로 변경을 한다.

·step 12 : 데이터 패킷 손실의 경우와 마찬가지로 CTS의 전송이 실패한다면, 목적지는 Bit-Map에 포함된 이전의 비트 배치 정보로 돌아간다.

표 1. Bit-Map-Adjustment OFDM에 따른 전송률 조정 규칙

Table 1. Data rate adjustment rule according to Bit-Map-Adjustment OFDM

이전 Bit-Map-Adjustment OFDM 심벌에서의 심벌	현재 Bit-Map-Adjustment OFDM 심벌에서의 심벌	Bit-Map에서의 전송률 조정
-1	-1	이전 전송률로부터 한단계 감소
-1	1	변화 없음
1	-1	변화 없음
1	1	이전 전송률로부터 한단계 증가

Ⅳ. 성능 평가

하나의 AP(Access Point)와 N개의 스테이션으로 구성된 중앙 집중형 WLAN 시스템 환경에서 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 상에서의 물리계층은 『표 2』에 나타나있는 것과 같이, IEEE 802.11a에 정의된 변조방식과 코딩속도의 특성이 다른 8개의 모드로 구성되어져 있다. 보다 세부적인 것들은 [9]에 설명되어 있다. 우리는 Ricean fading 환경에서의 넓은 대역의 채널로 모델링하였다. AP를 제외한 모든 스테이션들은 100m 반경의 원형의 공간 안에 임의적으로 분포되어져 있고, 또한 1 m/s의 속력으로 임의적으로 이동을 한다. AP는 원형 공간의 중앙에 위치하였으며, 트래픽은 1024byte의 패킷을 각 스테이션들이 발생을 하였다.

본 논문에서 제한된 기법(이하 “Adaptive”)의 성능 평가를 위해 두 가지의 다른 기법들과 비교하였다. 그 중 첫 번째는 [7]에서 제안한 “OSS” 라는 기법으로 서론에서 간단하게 소개를 하였다. 다른 하나는 [2]-[3], [10]-[11]에서 소개한 packet 기반의 속도 적응 기법으로 이 기법은 채널에 따라 전송률을 바꾸기는 하지만, 모든 sub-carrier들이 같은 물리계층 모드를 사용한다. OFDM 심벌의 모든 sub-carrier들이 고정된 물리계층의 모드를 사용하기 때문에, 우리는 이 기법을 “Fixed” 라고 명명하였다.

표 2. IEEE 802.11a 물리계층의 모드들
Table 2. IEEE 802.11a PHY modes

mode	modulation	Code rate	Data rate	Minimum sensitivity (dBm)
1	BPSK	1/2	6 Mbps	-82
2	BPSK	3/4	9 Mbps	-81
3	QPSK	1/2	12 Mbps	-79
4	QPSK	3/4	18 Mbps	-77
5	16-QAM	1/2	24 Mbps	-74
6	16-QAM	3/4	36 Mbps	-70
7	64-QAM	2/3	48 Mbps	-66
8	64-QAM	3/4	54 Mbps	-65

우리가 제안하는 기법과, 비교 평가를 위한 두 가지 기법 모두 IEEE 802.11에 정의되어 있는 4-way handshaking(RTS/CTS/DATA/ACK)을 사용한다.

RTS나 CTS, ACK과 같은 control packet에서의 overhead 측면에서 우리의 기법은 “Fixed” 기법과 비교하였을 때, “Bit-Map-Adjustment” OFDM 심벌을 추가했기 때문에, 하나의 OFDM 심벌을 더 갖는다. “OSS” 방식을 구현하기 위해 두 개나 그 이상의 OFDM 심벌이 필요하리라 예상되지만, 본 논문에서는 “OSS”가 운영되는데도 하나의 OFDM 심벌만이 사용된다고 가정하였다. “OSS”에서, 강한 sub-carrier를 선택하기 위해 사용되는 임계치 레벨은 『표 2』에 나타나 있듯 -65dBm에 상응하는 54Mbps로 설정하였다. [7]에서는 오직 선택된 강한 sub-carrier들 만이 패킷 전송에 사용된다고 서술하고 있다. 시뮬레이션에 의하면 『표 2』에서의 8개의 레벨들 중에서 가장 좋은 성능을 제공하는 레벨이 -65dBm이기 때문에 “OSS”의 임계치 레벨과 같은 레벨이 선택되었다. 평가에서 송신단과 수신단의 Bit-Map 사이의 불일치는 고려하지 않았다.

『그림 3』에서는 제안한 이론의 throughput 성능개선을 보여준다. 제안한 이론인 “Adaptive”는 “OSS”와 “Fixed”와 비교하여 약 11% 이상의 throughput 향상을 보이고 있다. “OSS”에 대한 제안된 방법의 성능개선은 일정 조건을 만족하는 한정된 sub-carrier들만을 사용하는 “OSS”에 비하여 제안된 방식은 모든 sub-carrier들을 각각의 현재 채널상태에 맞추어 다양한 비트들의 수를 할당함으로써, 즉 모든 sub-carrier를 충분히 활용함으로써 생기는 이득이라 할 수 있다. 만약 “OSS”가 한 개 이상의 OFDM 심벌을 사용해야 한다면 throughput performance의 차이는 더 증가할 것이다.

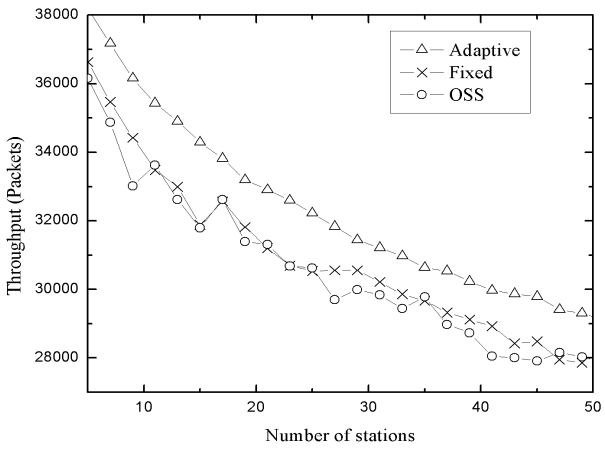

그림 3. 스테이션 수에 따른 성능향상
Fig. 3. Throughput performance as a function of number of stations

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 Wi-Fi 네트워크에서 지속적으로 변화하는 채널에 적응할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 sub-carrier별 속도 조절을 가능케 함과 동시에 하나의 OFDM 심벌만큼의 overhead만을 증가시킴으로써 Indoor 상황에서의 frequency-selective fading 하에서도 에러율이 낮게 속도 조절이 가능하게 한다. 제안된 프로토콜은 IEEE 802.11 표준의 Layer-2 프로토콜에 근거하여 제안되었기에 상용 Wi-Fi 시스템과 호환이 가능하다. sub-carrier 별 속도조절은 수신단으로부터의 각 sub-carrier별 상태 정보에 대한 피드백을 요구하게 되고 이는 이 sub-carrier별 속도 적용의 구현에 있어서 주된 장애요소이다. 그러나 제안한 프로토콜의 overhead는 매우 경미하여 overhead에 의한 성능감소는 sub-carrier별 속도 조절 능력으로 인한 성능 향상으로 상쇄될 뿐만 아니라 더욱 낳은 성능 향상을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

[1] P. Chevillat, J. Jelitto, A. N. Barreto, and H. L. Truong, "A dynamic link adaptation algorithm for IEEE 802.11a wireless LANs", Proc. IEEE ICC'03, vol.2, pp. 1141-1145, May 2003.

[2] D. Qiao, and S. Choi, "Goodput enhancement of IEEE 802.11a wireless LAN via link adaptation", Proc. IEEE ICC'01, vol.7, pp. 1995-2000, June 2001.

[3] D. Qiao, S. Choi, and K. G. Shin, "Goodput anlysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs", IEEE Trans. Mobile Computing, vol.1, pp. 278-291, December 2002.

[4] R. Grunheid, E. Bolinth and H. Rohling, "A blockwise loading algorithm for the adaptive modulation technique in OFDM systems", IEEE VTC 2001 FAll, vol.2, pp. 948-951, Oct 2001.

[5] A. G. Armada, "A simple multiuser bit loading algorithm for a multicarrier WLAN", IEEE ICC 2001, vol.4, pp. 1168-1171, June 2001.

[6] A. G. Armada, "SNR Gap Approximation for M-PSK-Based Bit Loading", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.5, no.1, pp. 57-60, January 2006.

[7] D. dardari, "Ordered subcarrier selection algorithm for OFDM-based high-speed WLANs", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.3, no.5, September 2004.

[8] IEEE 802.11 WG, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical layer(PHY) specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999.

[9] IEEE 802.11 WG, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical layer(PHY) specifications, ANSI/IEEE Std 802.11a/b, 1999, Supplement to ANSI/IEEE 802.11 Std 802.11, 1999 Edition.

[10] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC Protocol for wireless networks," Proc. ACM MOBICOM'01, pp. 236-251, July 2001.

[11] B. S. Kim, Y. Fang, T. F. Wong, and Y. Kwon, "Througput Enhancement through Dynamic Fagmentation with Rate-Adaptation in Wireless LANs," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, no. 4, July 2005.

※"이 논문(저서)은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-331- D00324)"

저자 소개

김 병 서(정회원)

- 1998년 인하대학교 전기공학과 공학사
- 2001년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering M.S.
- 2001년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering Ph.D.
- 1997년 12월 ~ 1999년 5월 한국 모토로라, CIM Engineer.
- 2005년 1월 ~ 2007년 8월 Motorola Inc. Sr. Engineer.
- 2007년 9월 ~ 현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

<주관심분야 : Wireless Networks, Protocol Design, Resource Allocation, Wireless Multicasting, Wireless Security>

안 홍 영(정회원)

- 1975년 서울대학교 전자공학과, 공학사
- 1986년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering M.S
- 1991년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering Ph.D
- 1975년 ~ 1984년 국방과학연구소 선임연구원
- 1984년 ~ 1991년 University of Florida, Research Assistant
- 1991년 ~ 현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

<주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Wireless Internet, VOIP, 4세대 이동통신>

한 세 원(준회원)

- 2009년 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 재학

<주관심분야 : Wireless Networks, Wireless Routing Protocols, Mobile Ad-hoc Networks>