

무선 애드혹 통신망용 멀티 채널/라디오 기반 호접속 제어 메커니즘

(Multi-Channel/Radio based CAC Mechanism for Wireless Ad-hoc Networks)

고 성 원 [†] 강 민 수 ^{**} 김 영 한 ^{***}
(Sungwon Ko) (Minsu Kang) (Younghan Kim)

요 약 본 논문에서는 다수의 라디오와 채널을 사용하는 무선 애드혹 통신망에서 대역폭 측정을 기반으로 호 접속 제어와 연동되는 애드혹 라우팅 프로토콜을 제안한다. 단일 라디오에 단일 채널을 사용하는 기존 애드혹 노드와 달리 제안한 MCQoSR(Multiple Channel Quality of Service Routing) 프로토콜에서는 각 노드가 다수의 채널과 라디오를 사용하여 노드사이에 전이중 통신을 가능하게 하고 경로의 내부 간섭을 감소시켰다. 또한 각 노드마다 수신전용의 고정된 채널을 갖도록 하였으며, 대역폭 측정을 기반으로 새로운 호에 대한 수락제어를 수행함으로써 QoS 제공을 가능하도록 하였다. 제안된 프로토콜은 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다.

키워드 : 무선 애드혹 망, 멀티 채널/라디오, 대역폭 측정, 호 접속 제어, 서비스 질

Abstract In this paper, an Ad-hoc Routing Protocol which works in wireless Ad-hoc communication networks with multiple radios and multiple channels, and controls call admission based on bandwidth measurement is proposed. Unlike the conventional Ad-hoc node with a single radio using a single channel, an Ad-hoc node of the protocol proposed, MCQoSR(Multiple Channel Quality of Service Routing), has multiple radios and uses multiple channels, which makes full duplex transmission between wireless Ad-hoc nodes, and reduces the intra interference on a route. Also, a fixed channel only for reception at each node enables the measurement of the available bandwidth, which is used to control the call admission for QoS provision. The performance of MCQoSR is verified by simulation.

Key words : Wireless Ad-hoc Network, Multiple Radios and Channels, Bandwidth Estimation, Call Admission Control, Quality of Service

1. 서론

CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 기반의 무선 애드혹 통신망에서 RTS(Request To Send), CTS(Clear To Send) 및 ACK 등의 제어패킷과 데이터 패킷을 동일한 채널을

사용하여 전달 할 경우 경로 내부 간섭 및 무선구간의 반 이중(half duplex) 전송의 영향으로 링크의 실제 사용가능한 대역폭이 크게 감소되는 결과가 나타난다[1]. QoS(Quality of Service)를 요구하는 멀티미디어 서비스 제공에는 더욱 어려운 상황이 된다. 본 논문에서는 다수의 라디오와 채널을 사용하여 단일 라디오 단일 채널을 사용하는 기존 무선 애드혹 통신망에서의 대역폭 문제와 QoS 제공 문제를 해결하고자 한다.

CSMA/CA 기반의 802.11 무선 LAN(Local Area Network)에서 다수의 채널을 정의하고 있으며 다수-홉을 사용하는 애드혹 통신망에서도 서로 다른 노드가 서로 다른 채널을 사용하여 데이터를 전송하면 간섭의 영향을 줄여 대역폭의 향상을 가져올 수 있다. 그러나 서로 다른 채널의 사용은 귀막음(Deafness) 또는 다수 채

· 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임

[†] 정 회 원 : 김포대학 인터넷 정보과 교수
swko@kimpo.ac.kr

^{**} 학 생 회 원 : 송실대학교 정보통신과
mdkms@den.ssu.ac.kr

^{***} 종 신 회 원 : 송실대학교 정보통신과 교수
younghak@ssu.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2007년 1월 31일

심사완료 : 2007년 7월 6일

널 숨긴 노드(Multi Channel Hidden Terminal)의 문제를 발생시키며 플러딩(flooding)을 기반으로 하는 애드혹 망의 유지를 어렵게 한다. 이를 극복하기 위해 주기적으로 동시에 동일한 채널을 사용하는 방법을 사용할 수 있으나 구현이 복잡한 단점이 있다[2].

또한, 하나의 라디오에 서로 다른 채널의 사용으로는 무선 노드의 반이중 전송으로 무선 링크의 대역폭을 충분히 사용하지 못하는 단점이 있다. 이에 반해 최근엔 저렴한 라디오의 사용, 다수의 라디오 장착 등이 가능하게 되었다. 이에 Bahl 등[3]은 사용하는 채널의 수와 동일한 수의 라디오를 사용하되 하나의 라디오에 하나의 채널을 할당하는 동일채널할당 방법을 사용한 성능 향상을 제시하고 있으나 적용구조상 많은 비용을 요구하는 단점이 있다.

다수 라디오 사용의 비용을 줄이고 다수 채널 사용의 장점을 살리기 위해 사용 가능 채널보다 적은 수의 라디오를 사용하는 방법이 연구되었으며 라디오에 채널을 동적 또는 정적으로 할당하는 방법이 제시되고 있다. Raniwala 등[4]은 정적인 메쉬망(Mesh Network)에서 12개 채널과 2개 라디오를 사용하여 경로배정 및 채널 할당에 대한 연구 결과를 제시하였다. 이 때, 특정 게이트웨이로 향하는 데이터를 가정 한 후, 사용하는 2개 라디오를 상향 라디오와 하향 라디오로 구분하여 사용함으로써 단일 라디오 단일 채널을 사용하는 방법에 비해 7배의 높은 처리율 향상이 가능함을 보였다.

한편, QoS 제공을 위해서는 망의 트래픽을 관리하여야 하지만 경쟁방식의 MAC(Medium Access Control) 계층을 사용하는 802.11 무선 LAN 환경에서는 특정 트래픽에 대역폭을 할당하는 것에 어려움이 있다. 트래픽 관리가 가능한 유선 환경에서와 달리 무선 환경에서는 특정 트래픽에 일정 대역폭을 할당하는 방법 대신 망 내부로 트래픽 유입을 막아 허가된 호(call)의 대역폭을 보장하는 CAC(Call Admission Control, 호접속제어) 방법을 사용하여 QoS를 제공한다[5]. 망으로의 유입을 원하는 호는 요구하는 대역폭을 제시하고 망은 제공 가능한 대역폭을 측정하여 요구 대역폭이 제공될 수 있으면 호를 허가(accept)하고 대역폭 제공이 불가능하면 거부(reject)하게 된다. 이는 망에 사용가능한 대역폭 내에서만 호를 허용하여 허가된 호의 요구 대역폭을 사용가능하게 한다.

본 논문에서는 다수 채널을 다수 라디오와 함께 사용하여 애드혹 망에서의 대역폭 문제의 해결과 함께 임의 노드마다 특정 라디오에 특정 수신전용 채널을 고정시킴으로써 무선 링크의 사용 가능 대역폭 측정을 가능하게 하고, 측정된 대역폭을 사용하여 CAC를 수행함으로써 QoS를 제공하는 다수 라디오와 다수 채널을 사용하

는 경로배정 프로토콜(이하 MCQoSR(Multi -radio and -Channel QoS Routing Protocol)이라함)을 제안한다.

2장에서는 MCQoSR에서 다수 라디오와 채널을 사용하는 방법을 설명하고 이를 기반으로 3장에서 무선링크의 전송 가능한 대역폭을 측정하여 예측하는 하는 방법을 제안하며 4장에서 측정된 대역폭으로부터 경로내부 간섭의 배제를 고려한 CAC 방법에 대하여 설명한다. 또한 5장에서는 시뮬레이션으로 본 연구의 효과를 검증하고 본 논문의 결론과 추후 과제에 대해 6장에서 기술한다.

2. 다수 라디오와 채널의 사용 방법

다수 라디오와 채널을 사용하는 방법은 공유제어 라디오(채널)과 데이터 송수신 라디오(채널)로 구분하여 사용하는 방법(DCA, Dynamic Channel Assignment) [6]과 수신전용 라디오(채널)과 송신전용 라디오(채널)로 구분하여 사용하는 방법(MCR, Multi-Channel Routing) [7]으로 분류할 수 있다. 라디오(채널)를 공유제어용과 송수신용으로 나누어 사용하는 경우 귀막음 문제없이 사용가능한 채널을 자유로이 사용할 수 있으며 송신전용과 수신전용으로 나누어 사용하는 경우 데이터전송을 위해 동적 채널 할당의 복잡한 작업을 하지 않아도 된다.

라디오에 동적으로 채널을 할당하는 경우에는 일정 기간 동안 각 채널이 사용하는 대역폭을 구분하여 측정하기 어려우므로 무선구간의 사용가능한 대역폭 측정을 기반으로 CAC를 제공하고자 하는 본 연구에서는 임의 무선 노드에 특정 라디오의 특정채널이 정적으로 할당되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 MCR에서와 같이 임의 노드마다 수신전용으로 고정된 라디오(채널)를 사용하여 동적 채널할당의 어려움을 제거하고 임의 노드(채널)의 수신가능 대역폭 측정을 간단하게 수행할 수 있도록 하며 공유제어 라디오(채널)를 사용하여 무선 애드혹 망에서 노드사이의 연결성(Connectivity)을 확보하도록 하였다.

2.1 M개 라디오와 N개 채널의 사용

본 연구는 MAC 계층의 프로토콜로 송신측의 데이터 패킷 전송 후 패킷전송의 성공을 확인하는 수신측의 ACK 패킷전송과 무선채널 확보를 위한 RTS/CTS 패킷을 전송하는 CSMA/CA로 가정한다. 또한 임의 노드는 $M(\geq 3)$ 개 라디오와 공유제어 라디오의 공유제어 채널 1개를 포함하여 최소 4개의 간섭 없는 $N(\geq 4)$ 개 채널을 사용하는 것으로 가정한다. 여기서 1개의 라디오는 1개의 트랜시버(transceiver)를 의미하며 하나의 네트워크 카드에는 하나의 트랜시버가 설치된 것을 가정한다.

본 연구는 기능에 따라 채널을 CoC(common Control only Channel, 제어전용 채널), RoC (Receive only

Channel, 수신전용 채널) 및 ToC(Transmit only Channel, 송신전용 채널)의 3가지로 구분하여 사용한다. CoC는 망의 연결성을 확보하기 위해 모든 애드혹 노드에 동일하게 고정되어 사용되는 1개의 채널로 주기적 헬로(Hello) 메시지나 라우팅(Routing)을 위한 제어패킷의 방송(broadcast)을 위해 사용된다. CoC가 고정되어 사용되는 1개의 라디오, CoR(common Control only Radio, 제어전용 라디오)이 있다.

RoC는 계층3(Layer 3) 데이터를 받기 위해 노드마다 1개 이상 할당되는 채널로 CoC를 제외한 망의 사용가능한 채널 중 노드에 따라 다르게 선택되어 사용된다. RoC는 사용되는 도중 임의로 변경되지 않으며 RoR(Receive only Radio, 수신전용 라디오)에 고정된다. 임의의 수신 노드로 데이터를 전송하고자 하는 송신 노드는 수신 노드의 RoC로 데이터를 전송한다. ToR(Transmit only Radio, 송신전용 라디오)에서 사용하는 ToC는 임의의 송신 노드가 데이터를 전송하고자 할 때 사용하는 채널로 망의 사용가능한 채널 중 CoC와 자신이 사용하고 있는 RoC를 제외한 모든 채널을 사용할 수 있다. 데이터를 보내고자 하는 송신 노드는 자신의 ToC를 수신 노드의 RoC로 변경한 후 데이터를 전송한다. 즉, RoR과 달리 ToR은 사용하는 수신 노드의 RoC에 따라 ToC를 변경하며 사용한다.

RoR과 ToR의 수는 임의의 노드의 트래픽 특성에 따라 정해질 수 있다. 임의의 노드에 송신 트래픽과 수신 트래픽의 양이 같은 경우 RoR과 ToR의 수는 각각 $\lfloor (M-1)/2 \rfloor$ 개와 $\lceil (M-1)/2 \rceil$ 개로 나누어 쓸 수 있다. 이 때 ToR에서 사용하는 채널의 수는 $N-1-\lfloor (M-1)/2 \rfloor$ 개이다.

이하 내용에서 임의의 노드는 CoR, RoR 그리고 ToR 각각 1개씩 3개 라디오를 사용하고 공유제어 라디오의 1개 CoC를 포함하여 1개 RoC와 2개 ToC 즉 4개의 간섭이 없는 채널을 사용하는 것으로 가정한다.

2.2 수신전용 라디오(RoR)의 수신전용 채널(RoC) 설정

임의의 노드의 RoC는 고정되어 사용되며 주변의 1-홉 이웃 노드들과 최대한 서로 다른 채널을 사용하도록 설정된다. 즉, 임의의 노드와 임의의 노드의 1-홉 이웃 노드들은 망의 사용가능한 채널(CoC제외)을 균등한 비율로 나누어 쓴다.

2.2.1 수신전용 채널 RoC의 초기화

애드혹 망에 새로운 노드가 들어오면 자신의 RoC를 망의 사용가능한 채널 중 임의로 선택한다. 이후 공유제어 채널을 사용하여 헬로 메시지를 수신하고 사용가능한 채널 가운데 가장 적은 노드들이 사용하는 채널을 선택하여 자신의 RoC로 변경하여 사용하되 동일한 채널

을 사용하는 노드 수가 동일한 경우, 사용가능한 대역폭이 적은 채널을 선택하여 자신의 RoC로 변경하여 사용한다. 임의의 노드는 자신의 RoC가 변경되면 헬로 메시지를 사용하여 변경된 자신의 RoC를 1-홉 이웃 노드에 전달한다.

그림 1은 그림 중앙에 작은 원으로 표시된 새로운 노드가 애드혹 망으로 들어온 경우 RoC의 초기화를 보여준다. 새로운 노드를 둘러싼 실선의 원은 노드의 전송반경(Transmission Range)을 나타내며 점선의 큰 원은 간섭반경(Interference Range)을 나타낸다. 애드혹 노드를 나타내는 작은 원 안의 숫자는 노드가 RoC로 사용하고 있는 채널의 번호를 나타낸다. RoC로 사용 가능한 채널이 3개(각각의 채널번호는 1,2,3이다.) 있으며 새로 들어온 가운데 노드는 주변 1-홉 이웃 노드들이 수신전용 채널로 1과 3을 각각 2개씩 사용하므로 자신의 RoC로 채널2를 선택하게 된다.

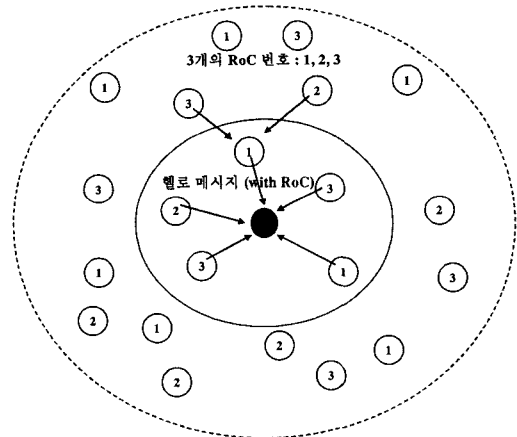


그림 1 임의의 애드혹 노드의 RoC 설정

2.2.2 수신전용 채널 RoC의 변경

임의의 노드는 자신과 동일한 RoC를 사용하는 노드의 수가 많아지면 자신의 RoC를 망의 사용가능한 채널 중 가장 적은 주변의 1-홉 이웃 노드들이 사용하는 채널로 변경하고 헬로 메시지를 이용하여 자신의 변경된 RoC를 1-홉 이웃 노드에 알린다.

이 때, 노드 이동의 전후에 이웃 노드들의 RoC를 변경시킬 수 있으며 이들 노드들의 채널 변경은 또 다른 주변 노드의 채널변경을 유도하여 통신망 전체 이동 애드혹 노드들의 RoC 설정에 불안정을 가져올 수 있다. 이러한 연속적 RoC 변경의 물결효과(ripple effect)는 억제되어야 한다. 임의의 노드는 자신을 경유하는 설정된 활성 경로가 있는 경우 RoC를 변경하지 않으며 이동

노드의 일시적 움직임에 의한 RoC의 일시적 변경은 보류함으로써 물결효과를 억제한다.

3. 무선링크의 전송대역폭 측정

이웃하는 에드혹 노드사이 무선링크 구간의 전송가능 대역폭(aBw, available Bandwidth)은 그림 2에서와 같이 송신노드의 송신가능 대역폭(TaBw, Transmittable Bandwidth)과 수신노드의 수신가능 대역폭(RaBw, Receivable Bandwidth)에 의해 결정된다. 이 때, 임의 라디오(채널)의 TaBw와 RaBw는 라디오(채널)이 송수신을 위해 활성화되지 않은 유휴(idle) 시간을 측정하여 얻는다[8].

다수의 채널을 사용하는 임의 노드에서 RoR에 고정되어 사용되는 RoC의 수신가능 대역폭, RaBw(RoC)는 RoR의 유휴 시간을 측정하여 얻는다. 이 때, 수신전용 라디오의 수신가능 대역폭, RaBw(RoR)은 RaBw(RoC)와 같다. 송신전용 채널의 송신가능 대역폭, TaBw(ToC)은 ToR이 수신 노드의 RoC에 따라 ToC를 변경하여 사용하므로 채널별 측정이 어려울 뿐 아니라 송신을 위하여 임의 ToC를 사용하므로 채널별 측정을 필요로 하지도 않는다. ToR의 유휴시간을 측정하여 ToR의 송신가능 대역폭, TaBw(ToR)로 사용한다. 표 1은 노드, 라디오 및 채널 대역폭의 약어표시 및 관계를 나타낸다.

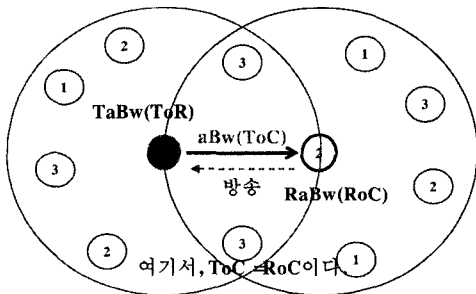


그림 2 무선링크의 전송가능 대역폭

표 1 대역폭 측정과 채널, 라디오 및 노드별 약어

RaBw = RaBw(노드)	= RaBw(RoR)	= RaBw(RoC)
TaBw = TaBw(노드)	TaBw(ToR)	TaBw(ToC)
aBw = aBw(노드)	aBw(ToR)	aBw(ToC)

임의 노드의 1-홉 이웃 노드들은 RoC의 수신가능 대역폭 RaBw(RoC)를 헬로 메시지를 사용하여 방송한다. 임의 노드는 1-홉 이웃 노드로부터 받은 RaBw(RoC)를 채널별로 구분한다. 각 채널에서 가장 작은 사용가능 대역폭이 그 채널을 사용한 전송가능 대역폭이 된다.

3.1 임의 노드에 있어 채널의 대역폭 측정 및 방송

에드혹 망에서 임의 노드는 일정 간격(T)으로 RoR의 유휴 시간을 측정하고 무선링크의 최대전송 대역폭, Bw(Bandwidth)로부터 식 (1)[8]에 의해 자신이 사용하고 있는 RoC의 사용가능 대역폭 RaBw(RoC) 및 ToR의 사용가능 대역폭 TaBw(ToR)을 계산한다.

$$TaBw(ToR)와 RaBw(RoC) = Bw * \left(\frac{\text{idle 시간}}{\text{측정 시간, } T} \right) * \left(\frac{1}{\text{가중치}} \right) \quad (1)$$

여기서, 가중치(a)는 1보다 크거나 같은 값으로 802.11의 특성인 DIFS(DCF InterFrame Space), SIFS(Short InterFrame Space) 및 제어패킷의 사용으로 인한 오버헤드(overhead)로 사용할 수 없는 시간을 대역폭 측정에 포함시킨다. 임의 노드는 자신의 계산된 RaBw(RoC)를 헬로 메시지를 사용하여 1-홉 이웃 노드에 방송한다.

3.2 수신 노드의 채널별 수신가능 대역폭

송신하고자 하는 노드는 1-홉 이웃 노드들이 보낸 RaBw(RoC)들로부터 식 (2)를 사용하여 이웃 노드들이 사용하는 각각의 채널에 따른 수신가능 대역폭 RaBw(RoC)를 계산한다. 이 때, 자신의 RoC와 같은 채널은 제외한다.

$$RaBw(RoC) = \text{Min}\{RaBw(RoC)s\} \quad (2)$$

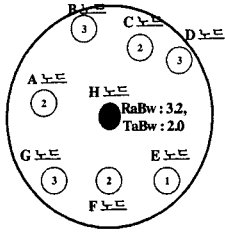
3.3 무선 링크의 채널별 전송가능 대역폭

임의 송신 노드는 자신의 송신전용 라디오의 TaBw(ToR) 및 1-홉 이웃 노드들의 RaBw(RoC)를 사용하여 식 (3)에 의해 각각의 송신가능 채널에 따른 무선링크의 전송가능 대역폭, aBw(ToC)를 결정한다. 이때 송신 노드의 ToC는 수신노드의 RoC와 같다.

$$aBw(ToC) = \text{Min}\{RaBw(RoC), TaBw(ToR)\},$$

$$aBw = \text{Max}\{aBw(ToC)s\} \quad (3)$$

그림 3(a)에는 전송반경의 중심에 있는 노드H를 중심으로 7개의 1-홉 이웃 노드(A,B,C,D,E,F,G)가 있는 경우 전송반경의 중심에 있는 노드H가 무선 링크의 채널별 전송 대역폭을 계산하는 과정을 보여 준다. 각각의 노드는 RaBw(RoC)와 TaBw(ToR)를 측정한다. 노드H의 1-홉 이웃 노드들은 헬로 메시지를 사용하여 각각의 RaBw(RoC)를 노드H로 방송한다. 노드H는 이웃 노드로부터의 정보를 그림 3(b)과 같이 저장하고 자신의 RoC를 제외한 채널 2와 3에 대해 채널별 이웃 노드의 수신 가능 대역폭을 계산한다. 채널2의 경우 $\text{Min}\{2.1, 3.2, 0.9\} = 0.9\text{Mbps}$ 의 전송률로 데이터를 받을 수 있으며, 채널3의 경우 $\text{Min}\{2.5, 4.1, 4.8\} = 2.5\text{Mbps}$ 의 전송률로 데이터를 받을 수 있다. 채널별 무선링크의 전송률을 계산하기 위해 자신의 TaBw(ToR)를 비교한다. 즉, 채널2로는 $\text{Min}\{0.9, 2.0\} = 0.9\text{Mbps}$ 의 전송속도로,



Neighbor 노드	RoC (1,2,3)	RaBw 최대 5.4
A	2	2.1
B	3	2.5
C	2	3.2
D	3	4.1
E	1	1.0
F	2	0.9
G	3	4.8

그림 3 임의 애드혹 노드의 데이터 구조

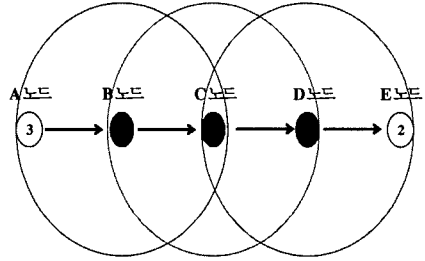


그림 4 경로 내부 간섭

채널3으로는 $\text{Min}(2.5, 2.0) = 2.0\text{Mbps}$ 의 속도로 데이터를 전송할 수 있다. 노드H의 최대 전송 가능 대역폭 aBw는 $\text{Max}(0.9, 2.0) = 2.0\text{Mbps}$ 이다.

4. 수락제어와 애드혹 라우팅

애드혹 망에서 일반적으로 라우팅 프로토콜은 RREQ(Route REQuest)와 RREP(Route REPLY) 제어패킷을 사용한다. RREQ 패킷은 근원(source) 노드에서 시작하여 목적(destination) 노드에 도달할 때까지 중간(intermediate) 노드에 의해 방송되며 호와 관련된 정보를 포함하고 있다. RREP 패킷은 목적노드에서 근원노드로 전송되어 경로의 설정을 근원노드에 알리는 기능을 수행한다.

본 연구에서는 CAC를 수행하기 위해 RREQ 패킷에 2개의 항목, 호의 사용 요구 대역폭(rBw, requested Bandwidth)과 경로상 RREQ를 방송하는 노드를 선택하는 노드의 RoC 항목을 추가하였다. 2개의 항목은 각각 본 연구에서 수행하는 2가지 호 수락(Call Admission) 조건의 만족 여부를 판단하기 위해 사용된다. 전송 대역폭 조건은 RREQ에 포함된 rBw이 임의 노드의 최대 전송 대역폭 aBw보다 크면 RREQ를 방송하지 않는 것이며, 경로 내부간섭 배제조건은 RREQ에 포함된 선행노드의 RoC를 사용하여 설정될 경로의 내부간섭배제 여부를 판단하고 만족하지 않으면 RREQ를 방송하지 않는다. RREQ를 받은 임의 노드에 있어 전송 대역폭 조건은 식 (4)와 같다.

$$\text{전송 대역폭 조건} : aBw > rBw \quad (4)$$

4.1 경로 내부간섭과 간섭배제 조건

멀티-홉 애드혹 망에서는 경로의 내부간섭으로 링크의 전송가능 대역폭을 충분히 활용하지 못 한다[9]. 본 연구에서는 경로의 내부간섭을 배제하기 위한 조건을 라우팅에 적용함으로써 무선 링크의 대역폭 문제를 해결한다.

RTS/CTS를 사용하는 CSMA/CA기반 MAC 프로토콜의 경우 그림 4와 같은 경로에서 경로 내부간섭과 관련하여 다음 3가지의 경우를 고려할 수 있다. 이때, 경로

외부 노드의 간섭 등 외부 환경의 영향이 없음을 가정하고 임의 노드의 RoC는 RoC(임의 노드)로 표기한다.

- 1개 라디오 그리고 $\text{RoC}(B) = \text{RoC}(C) = \text{RoC}(D)$ 경우 (단일 라디오, 단일 채널) : 노드 B로 부터의 데이터가 노드C를 통과하기 위해서는 노드B가 데이터를 받을 때, 노드C가 데이터를 받거나 보낼 때 및 노드D가 데이터를 보낼 때 등 4번의 데이터 송수신에 관여되며 이로 인해 데이터의 전송속도는 이론적으로 링크 전송속도 Bw의 1/4이 된다.
- 2개 라디오 그리고 $\text{RoC}(B), \text{RoC}(C)$ 및 $\text{RoC}(D)$ 가 각각 다른 경우 (단일 라디오, 다수 채널) : 노드B로 부터의 데이터가 노드C를 지나기 위해서는 노드B가 데이터를 받을 때 노드C는 다른 채널을 이용하여 노드D로 데이터를 전송하고, 노드D가 경로의 다음 노드E로 데이터를 보낼 경우 다른 채널을 이용하여 노드B로부터 데이터를 받을 수 있어 이론적으로 링크 전송속도 Bw의 1/2로 동작한다.
- 3개 독립의 수신전용 라디오와 $\text{RoC}(B), \text{RoC}(C)$ 및 $\text{RoC}(D)$ 가 각각 다른 경우 (다수 라디오, 다수 채널) : 노드 C는 노드B의 데이터 수신과 노드D의 송신에 관계없이 송신과 수신을 동시에 할 수 있어 이론적으로 링크의 전송속도 Bw로 동작하게 된다.

그러므로 경로 내부간섭을 배제하기 위해 경로상 임의 노드는 전후 2개의 노드와 다른 수신전용 채널을 사용하여 하며 전후의 두 노드도 서로 다른 수신전용 채널을 사용하여야 한다. 즉, 그림4에서 경로상의 연속된 3개의 노드 B, C 및 D는 다음 식(5)의 조건을 만족하여야 한다.

$$\begin{aligned} \text{경로 내부간섭 배제조건} : & \text{RoC}(B) \neq \text{RoC}(C), \\ & \text{RoC}(C) \neq \text{RoC}(D), \text{RoC}(B) \neq \text{RoC}(D) \end{aligned} \quad (5)$$

4.2 수락제어

본 연구에서 라우팅과정에 있는 임의 노드는 2가지 호 수락(Call Admission) 조건, 즉 전송대역폭 조건 및 경로 내부 간섭 배제 조건의 만족 여부를 판단하고 조건이 만족되지 않으면 전송받은 RREQ를 방송하지 않는다. 그림 5는 RREQ를 받은 노드C에서 호 수락을 위

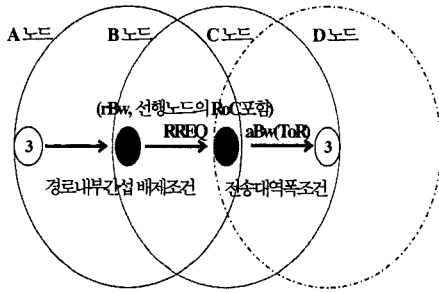


그림 5 호수락(Call Admission) 조건

한 판단 과정을 보여준다. 노드A와 노드B의 RoC를 사용하여 경로내부간섭 배제 조건의 만족을 판단하고 노드D의 RaBw로부터 계산된 aBw(ToR)과 rBw를 비교하여 노드C의 전송 대역폭 조건 만족 여부를 판단한 후, RREQ의 발송 여부를 결정한다.

호를 발생시키고자 하는 근원노드는 호가 요구하는 사용 대역폭, rBw를 식 (6)에 의해 계산한다. 이 때, 호는 매 초당 R개의 패킷을 발생시키며 각 패킷의 크기는 L[Byte]이다.

$$rBw[\text{bps}] = R * L * 8 * \text{가중치} \quad (6)$$

여기서, 가중치(β)는 1보다 크거나 같으며 식(1)의 가중치(a)와 같은 의미를 갖는다. 임의의 노드에서 전송 대역폭 조건은 새로운 호가 요구하는 사용요구 대역폭 rBw가 aBw보다 작아야 한다. rBw가 자신의 aBw보다 크면 호 요구를 거부하고 작으면 RREQ에 있는 선행노드의 RoC 항목에 자신의 RoC를 넣고 rBw를 포함하여 CoC를 통하여 RREQ를 발송한다.

경로 내 임의의 중간 애드혹 노드는 RREQ를 받은 경우 경로 내부간섭 배제조건과 전송 대역폭 조건을 만족하는 경우 RREQ를 발송한다. 임의의 애드혹 노드는 RREQ를 보낸 노드의 RoC와 자신의 RoC가 같거나 RREQ에 포함된 선행노드의 RoC와 자신의 RoC가 같으면 RREQ를 드롭(drop)한다(경로 내부간섭 배제조건). 또한, RREQ를 보낸 노드의 RoC와 자신의 RoC를 제외한 채널들의 모든 aBw(ToC)가 rBw보다 작은 경우에는 RREQ를 드롭한다(전송대역폭 조건). 2 조건이 모두 만족되면 RREQ에 선행노드의 RoC를 변경하고 발송한다.

RREQ를 처음으로 받은 목적노드는 경로 내부간섭 배제조건이 만족되는 경우 라우팅 메트릭(Metric)을 기억한 후, RREP 메시지를 근원노드로 전송(unicast)한다. 이후 보다 나은 메트릭을 갖는 경로가 발생되면 근원노드로 RREP를 다시 전송한다. 이때 사용하는 라우팅 메트릭은 설정된 경로의 홉 수를 n이라 할 때 식 (7)과 같다. 식 (7)은 MCR[7,10]의 라우팅 메트릭의 변

하므로 간섭에 관한 항을 삭제하여 사용한다.

$$MCQoSR = \sum^n (ETT_i + SC(C_i)), SC(j) = Ps(j) * (\text{채널변경 지연시간}) \quad (7)$$

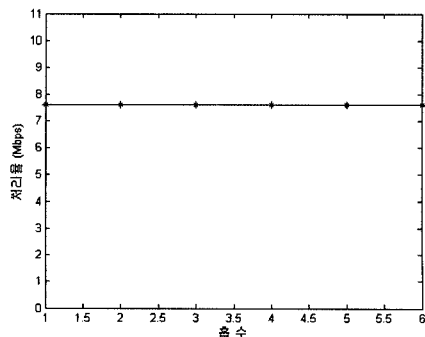
여기서, ETT_i는 경로내 ith-홉의 예상전송시간(Expected Transmission Time)이며, SC(C_i)는 경로상 ith-홉의 노드에서 ToC를 C_i로 변경할 때 생기는 채널 변경 비용(Switching Cost)이다. 채널변경비용은 경로의 ith-홉에 위치하는 노드에서 ToR의 ToC가 j가 아닐 확률 Ps(j)과 채널변경 지연시간(Switching Delay)으로부터 얻을 수 있다.

5. 시뮬레이션

MCQoSR은 무선 링크 대역폭의 처리율을 갖으며 혼잡이 발생하기 전에는 망 전체에 트래픽을 분산하는 효과와 혼잡 발생 후에는 허가된 호의 요구대역폭을 만족시키는 효과를 갖는다. Qualnet[11]을 사용한 시뮬레이션으로 본 연구의 효과를 MCR[7]과 비교하여 검증하였다. 모든 시뮬레이션에서 MCR과의 비교를 위하여 MCR에서와 같이 임의의 노드는 2개 IEEE 802.11a 네트워크 인터페이스 카드와 5개의 간섭 없는 채널(36, 48, 64, 149, 161)[7]을 사용하며 각 인터페이스에서의 채널 변경 지연 시간은 1ms를 사용하였다. 또한 각 무선 링크의 전송률은 12Mbps이며 전송반경은 150m, 간섭반경은 300m를 사용하였다.

5.1 무선 링크의 전송 대역폭 확보

무선 링크의 전송 대역폭 확보를 확인하기 위해 일렬(Chain Topology)로 고정되어 나열된 노드에 단일 호를 생성하고 설정 경로의 홉 수를 증가시키며 대역폭을 측정하였다. MCQoSR에서는 그림 6과 같이 홉 수가 증가하 여도 무선 링크의 70%에 해당하는 일정한 처리율을 얻었다. 이는 멀티 채널과 라디오의 사용 및 경로 내부간섭 배제 조건을 만족하는 경로상 노드 RoC의 배열에 의해 경로 홉 수의 증가에 따른 대역폭 감소 없이



일정한 처리율을 얻을 수 있음을 보인다.

5.2 혼잡발생과 처리율 및 전송지연

MCQosR은 CAC를 적용하지 않는 MCR 등과 혼잡 발생을 전후하여 다른 특성을 나타낸다. MCQosR은 혼잡이 발생하기 전에는 망 전체에 트래픽을 분산하고 국부적 트래픽의 집중을 방지하여 망을 안정적으로 운용하는 부하분산의 효과와 혼잡 발생 후에는 허가된 호를 초과하는 호를 거부함으로써 허가된 호의 사용 요구 대역폭을 만족시키는 효과를 갖는다.

시뮬레이션을 위해 100개 노드들이 격자구조로 배치되었으며 1Mbps의 CBR(Constant Bit Rate) 호를 지속적으로 발생시킴으로써 통신망을 혼잡상황으로 유도하고 혼잡상황에서의 처리율(Throughput) 및 단대단 지연(End to End Delay) 특성을 MCR과 비교하였다. 이 때 전체 시뮬레이션 시간은 60초이며 CBR 호의 지속시간은 60초이다.

그림 7은 MCQosR과 MCR이 17개의 호를 발생시키면 혼잡의 상황에 도달하게 됨을 보여주고 있다. MCR에서는 혼잡의 상황에서도 호를 허가하여 처리율이 하락하지만 MCQosR에서는 호를 거부함으로써 기존의 허가된 호는 사용하고 있던 처리율로 계속하여 서비스되고 있음을 보여 준다.

그림 8은 그림 7과 동일한 환경에서 단대단 지연특성을 보여주고 있다. 혼잡발생을 전후하여 MCR의 경우 전송지연의 급격한 증가를 확인 할 수 있으며 이와 같은 현상은 그림 7에서 처리율의 감소를 확인하여 준다. MCQosR의 경우에는 혼잡발생 후에도 전송지연이 MCR에서와 같은 급격한 증가는 없음을 알 수 있다. 그림 8에서 MCR의 경우, 24번째 CBR호에서 발생하는 급격한 처리지연은 그림 7의 처리율 감소와 함께 혼잡발생의 경우 네트워크 자원 사용의 급격한 효율 저하를 보여준다. MCQosR의 경우, CAC를 수행함으로써 네트

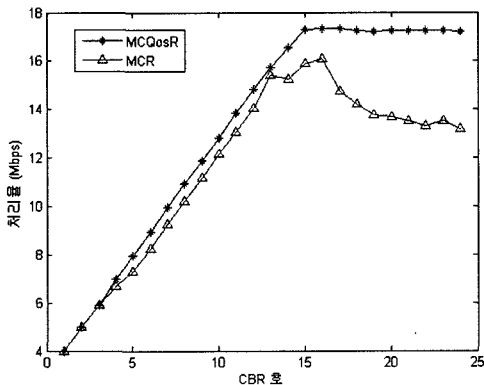


그림 7 혼잡발생과 처리율

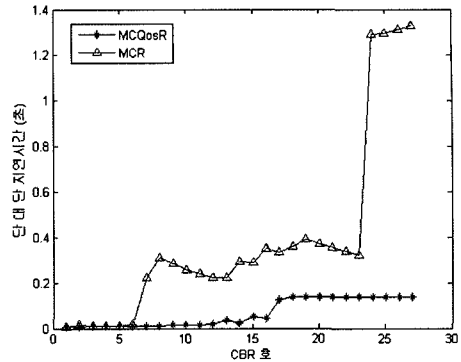


그림 8 혼잡발생과 전송지연

워크 자원을 효율적으로 사용하며 일정한 처리율과 전송지연을 제공함을 알 수 있다.

그림 7에서 혼잡이 발생하기 전, 처리율의 경우 MCQosR은 MCR에 비해 높은 처리율을 보인다. 이는 MCR과 달리 MCQosR에서는 경로 설정 과정에서 경로 내부 간섭 배제 조건을 만족시키기 위해 가능한 다른 RoC를 갖는 노드를 사용하는 경로를 설정하고 전송대역폭 조건을 만족시키기 위해 가능한 사용대역폭이 많은 노드를 경로로 사용함으로써 경로의 일부가 중복되거나 경로의 특정 노드가 중복되는 경우를 배제하여 처리율이 증가됨을 보인다. 또한 그림 8의 전송지연에서도 MCQosR의 경우, 일부 경로나 노드의 중복 설정을 배제함으로써 전송지연이 혼잡 발생 전 MCR에 비해 50%의 감소를 보인다. 그림 8에서 MCR의 경우 7번째의 CBR호와 23번째의 CBR호에서 경로의 일부나 노드의 중복이 발생하고 MCQosR의 경우 17번째 호에서 경로의 일부나 노드의 중복이 발생하였음을 알 수 있다.

5.3 부하 분산 효과

혼잡이 발생하기 전의 부하분산 효과를 확인하기 위해 망 전체에서 부하를 처리하는 활성노드의 수를 그림 7과 동일한 환경에서 확인하였다. 그림 9는 MCR에 비해 MCQosR의 경우 부하를 처리하는 활성노드의 수가 증가하는 것을 보여준다. 그림 9에서 활성노드의 수는 4번째 CBR호부터 MCR에 비해 MCQosR에서 10개 활성노드의 증가를 보인다. 이는 그림 7의 처리율 증가 시기와 일치하며, 경로의 일부나 노드가 중복 설정되기 시작함을 보인다.

시뮬레이션으로 경로 상 노드의 주변 노드들에 의한 경로 외부노드 간섭의 영향 및 헬로 메시지의 사용으로 인한 오버헤드 등으로 무선링크의 대역폭을 완전하게 사용할 수 없으며 경쟁기반의 MAC을 사용함으로써 호에 할당된 대역폭을 완전하게 보장할 수 없음을 알 수 있다. 제어전용 라디오의 사용으로 헬로 메시지를 분리

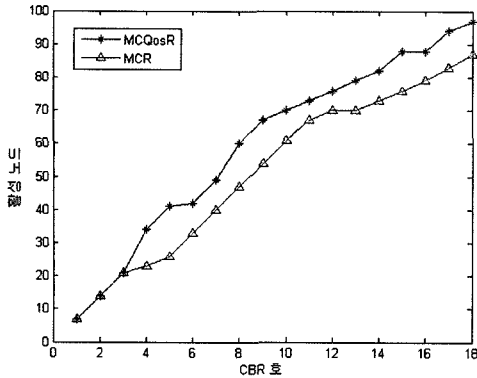


그림 9 혼잡 발생 전 활성노드

하고 IEEE 802.11e의 서비스 레벨에 따른 호의 차별화된 처리를 활용함으로써 보다 나은 대역폭 활용과 대역폭 서비스 보장을 제공할 수 있다.

6. 결론

CSMA/CA 기반의 무선 애드혹 통신망은 단일 라디오와 단일 채널의 사용으로 경로 내부 간섭에 의해 링크 대역폭이 크게 감소하며 경쟁기반 MAC의 사용으로 전송 대역폭의 예측과 보장이 어려워 QoS 제공에 어려움이 있다. 본 논문은 무선 애드혹 망에서 다수의 라디오와 채널을 사용하여 멀티미디어 서비스 제공을 위한 무선 링크의 대역폭을 확보하고 무선 링크의 사용 가능 대역폭 측정에 기초하는 CAC를 수행하여 QoS를 제공하는 라우팅 프로토콜 MCQoSR을 제안하였다.

MCQoSR에서는 경로내부간섭의 배제 및 무선 링크의 사용가능 대역폭 측정을 위하여 임의의 노드마다 수신전용의 채널과 라디오를 설정한다. MCQoSR은 라우팅 과정에서 경로상 노드마다 서로 다른 수신전용 채널을 사용하도록 함으로써 무선 링크 대역폭을 감소시키는 경로의 내부 간섭을 배제하고 전송 가능 대역폭을 증가시키며, 측정된 대역폭을 기반으로 새로운 호가 요구하는 대역폭 제공 여부를 판단하여 호를 허가하는 CAC를 수행함으로써 망의 처리 용량을 넘는 트래픽을 제한하고 허가된 트래픽의 안정된 대역폭 사용을 보장하는 QoS를 제공한다.

경로내부간섭을 배제하고 CAC를 수행함으로써 망의 처리 용량을 넘지 않는 트래픽을 처리하는 경우에 임의의 호의 경로는 길이가 늘어나고 트래픽을 처리하고 있는 활성노드의 수는 증가하지만 전체 트래픽이 망 전체 노드에 걸쳐 분산되는 효과를 발생하며, 망의 처리 용량을 초과하는 트래픽은 차단되어 허가된 트래픽의 대역폭이 보장됨을 시뮬레이션에 의해 검증하였다. 앞으로의 과제는 애드혹 노드의 이동성(Mobility)에 따른 경로의 단절

과 이로 인한 보장 대역폭의 감소, IEEE 802.11e를 사용한 MAC 계층에서의 트래픽제어 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Jinyang Li, Charles Blake, Douglas S. J. De Coute, Hu Imm Lee, and Robert Moriss, "Capacity of Ad hoc Wireless Networks," Proceedings of the 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '01), July, 2001.
- [2] Junming So and Nitin H. Vaidya, "Multi-Channel MAC for ad hoc Networks : Handling Multi-Channel Hidden Terminals using a single Transceiver," in Mobihoc, 2004.
- [3] V. Bahl, A. Adya, J. Padhye, A. Wolman, "Re-considering the Wireless LAN Platform with Multiple Radios," FNDA workshop in SIGCOMM 2003.
- [4] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Networks," in Infocom, 2005
- [5] R. Renesse, M.Ghassemian, V. Friderikos and A. Aghvami, "Adaptive Admission Control for Ad Hoc and Sensor Networks Providing Quality of Service," Technical Report, Center for Telecommunications Research, King's College London, UK, May 2005.
- [6] Shin-Lin Wu, Chih-Yu, Yu-Chee Tseng and Jang-Ping Shew, "A New Multi-Channel MAC Protocol with On-demand Channel Assignment for Multi-hop Mobile Ad Hoc Networks," in International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN), 2000.
- [7] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Link-layer protocols for Multi-Channel Multi-interface Ad hoc Wireless Networks," Mobile Computing and Communications Review, 10(1):32-43, Jan 2006.
- [8] L. Chen and W. B. Heinzelman, "QoS-Aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Journal on Selected Area in Communications (JSAC), March 2005.
- [9] Y. Yang and R. Kravets, "Contention-Aware Admission Control for Ad Hoc Networks," Technical Report 2003-2337, University of Illinois at Urbana-Champaign, April 2003.
- [10] Richard Draves, Jitendra Padhye and Brian Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks," in ACM Mobicom, 2004.
- [11] Qualnet Network Simulator, <http://www.scalable-networks.com/>



고 성 원

1983년 한양대학교 전자공학 졸업(학사)
1985년 한양대학교 전자공학 졸업(석사)
2002년~현재 숭실대학교 정보통신전자
공학부(박사과정). 1986년~1995년 KT
통신망연구소. 1997년~현재 김포대학 인
터넷정보과. 관심분야는 애드혹 망, 라우

팅, QoS, 인터넷 보안관리



강 민 수

2006년 숭실대학교 정보통신공학과 졸업
(학사). 2006년~현재 숭실대학교 정보통
신공학과(석사과정). 관심분야는 컴퓨터
네트워크, 인터넷 네트워킹, 무선 네트워
크, 애드혹 네트워크



김 영 한

1984년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
(공학사). 1986년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1990
년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공
학과 졸업(공학박사). 1987년 1월~1994
년 8월 디지 콤 정보통신연구소 데이터

통신연구부장. 1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자
공학부 교수. 관심분야는 인터넷 네트워킹(QoS, VoIp,
IPv6, 멀티캐스트 등), 이동 데이터 통신망(MANET, 셀룰
라 망 등)