

논문 2007-44TC-5-2

다수 라디오와 채널을 갖는 무선통신망에서 채널경쟁을 고려한 라우팅

(Routing considering Channel Contention in Wireless Communication
Networks with Multiple Radios and Multiple Channels)

고 성 원*, 강 민 수**, 강 남 희***, 김 영 한****

(Sungwon Ko, Minsu Kang, Namhi Kang, and Younghan Kim)

요 약

무선통신망에서 단일 라디오와 채널의 사용은 무선 노드의 반이중 전송 및 경로의 내부간섭으로 통신망의 처리율 및 단대 단 지연 특성을 저하시킨다. 또한, 채널경쟁기반의 무선통신망에서 임의노드 주변에 동일 채널을 경쟁하는 노드가 많으면 경쟁으로 인한 대역폭 감소와 전송 충돌로 인한 지연이 발생하여 통신망의 성능을 저하시킨다. 본 논문에서는 다수 라디오와 채널을 사용하여 무선노드의 전이중전송이 가능하게 하고 경로내부간섭을 배제할 수 있도록 라디오와 채널의 기능을 설정하고 큐잉이론의 해석모델을 이용하여 무선구간의 채널 경쟁 및 충돌을 반영한 무선구간 메트릭 ccf 및 ccf와 함께 채널변경지연, 경로내부간섭을 반영한 경로설정 메트릭 MCCR을 제안한다. MCCR과 MCR을 시뮬레이션을 사용하여 비교하였으며 MCCR을 사용하여 설정한 경로가 MCR보다 통신망 성능을 향상시키는 결과를 얻었다.

Abstract

In wireless communication networks, single-radio single-channel architecture degrades throughput and end-to-end delay due to half-duplex transmission of wireless node and route intra interference. Also, In contention-based MAC(Medium Access Control) architecture, channel contention reduces throughput and packet collision enlarges end-to-end delay. In this paper, we use multi-radio multi-channel architecture which will make wireless node to operate in full duplex mode, and exclude route intra interference. Based on this architecture, we propose a new link metric, ccf which reflects the characteristics of a contention-based wireless link, and propose a routing path metric MCCR considering channel switching delay and route intra interference. MCCR is compared with MCR by simulation, the performance of a route established by MCCR outperforms the performance of a route by MCR in terms of throughput and end-to-end delay.

Keywords : Multiple Radios and Channels, Throughput, End-to-End Delay, Contention and Collision, Metric

I. 서 론

* 정회원, 김포대학 인터넷정보과
(Dept. of Internet Information, Kimpo College)
** 학생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부
(Dept. I&C, Soongsil University)
*** 정회원, 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부
(The Catholic University of Korea)
**** 정회원, 숭실대학교 정보통신 전자공학부
(Dept. I&C, Soongsil University)
※ 본 논문은 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되는 정보통신부의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임.
접수일자: 2007년5월1일, 수정완료일: 2007년5월14일

무선통신망(Wireless Communication Networks)에서 멀티미디어 서비스의 제공 요구는 높은 전송 대역폭, 낮은 전송 지연 등 통신망 성능의 극대화를 절실히 요구한다. 그러나 무선통신망에서 무선구간의 링크는 무선 환경으로 인한 전송 대역폭의 내재적 한계가 있을 뿐 아니라, 802.11 무선 LAN(Local Area Network)과 같은 경쟁방식의 MAC (Medium Access Control)을 사용함으로써 유선망과 달리 무선구간의 대역폭을 확정적

으로 사용할 수 없으며, 단일 라디오와 채널을 사용하는 무선노드의 반이중(Half-Duplex) 전송 및 임의경로에서 동일 채널을 사용하는 무선구간 사이의 내부간섭(Route intra Interference)으로 사용가능한 전송 대역폭을 충분히 활용하지 못하고 있다^[1].

다수-홉 무선통신망의 노드들이 802.11 무선 LAN 규격에 정의된 간섭 없이 사용가능한 다수의 채널을 서로 다르게 사용하여 데이터를 전송하면 경로내부간섭을 줄여 대역폭의 향상을 가져올 수 있다. 그러나 하나의 라디오에 서로 다른 채널의 사용만으로는 무선노드의 반이중 전송으로 무선구간의 대역폭을 충분히 활용하지 못한다. 최근 전자기술의 발전으로 무선노드는 저렴한 다수 라디오를 장착하여 전이중(Full-Duplex) 전송이 가능하게 되었다. 그러나 다수 라디오와 채널의 사용은 라디오의 기능 설정과 채널 할당(Channel Assignment)^[2]의 복잡한 문제를 발생시킨다. 사용 가능 채널의 수보다 적은 수의 라디오를 사용하여 라디오 사용의 비용을 줄이고 임의노드마다 수신전용의 라디오와 채널을 사용함으로써 채널할당의 문제를 해결하고 무선노드의 전이중 전송을 가능하게 하며 경로내부간섭을 배제하는 경로설정 프로토콜, MCR (Multi-Channel Routing)^[3]과 MCR을 이용하여 대역보장 QoS를 제공하는 MCQoSR (Multi-radio and -Channel Qos Routing protocol)^[4]이 제안되었다.

MCR과 MCQoSR 프로토콜은 경로설정과정에서 무선구간 메트릭(metric)으로 탐침(Probe)패킷의 전송과 측정에 기반하는 ETT(Expected Transmission Time, 예상전송시간)^[5]를 사용하고 있다. 또한, ETT를 사용하여 경로내부간섭을 반영하고 송신채널의 변경으로 인한 지연을 반영한 경로설정 메트릭 MCR을 사용한다. 그러나 MCR과 MCQoSR과 같이 무선노드에 수신채널을 고정시켜 사용하는 구조에서, ETT는 측정이 부정확하며 CSMA/CA (RTS/CTS/Data/ACK)를 사용하는 경우에 숨김노드 (hidden Terminal)의 문제가 해소됨으로써 ETT가 무선구간의 전송속도만을 반영하고 전송충돌 등 통신망 성능에 영향을 미치는 채널경쟁 환경을 반영할 수 없어 무선구간 메트릭으로 적합하지 않다.

채널을 경쟁(Contention)하는 무선통신망에서 임의 무선노드는 패킷전송의 충돌(Collision)을 피하기 위해 채널 경쟁윈도우(Contention Window)를 사용한다. 패킷을 전송하고자 하는 무선노드는 Backoff Stage에 따라 결정되는 채널 경쟁윈도우의 크기를 사용하여 임의(random)로 Backoff Counter를 설정하며 Backoff

Counter가 0이 아닌 동안 전송을 보류하며 Backoff Counter가 0이 되면 패킷을 전송한다. Backoff Counter는 슬롯타임(Slot Time, =50 μ s) 동안 채널이 휴지(idle) 상태에 있으면 1씩 감소한다. 무선노드가 패킷을 전송하는 동안 다른 무선 노드가 패킷을 전송하면 충돌이 발생하며, 무선노드는 Backoff Stage를 1 증가시키고 임의의 Backoff Counter를 설정하고 패킷전송을 위해 기다린다^[6].

패킷전송을 시도하는 무선노드의 주변에 동일 채널을 사용하는 노드가 많으면 채널경쟁은 심해지고 무선노드는 채널을 획득할 확률이 적어지며 데이터 전송속도가 줄어든다. 또한, 패킷이 여러 번 충돌한 후에 성공적으로 전송되면 전송지연이 늘어나게 된다. 채널 경쟁과 충돌은 처리율(Throughput)과 단대단 지연(End-to-End Delay)같은 통신망 성능을 저하시킨다. 그러므로 경로를 설정하는 과정에서 경쟁방식의 무선환경을 고려하여 채널 경쟁이 적고 충돌 가능성이 적은 경로를 선택할 수 있는 무선구간 메트릭을 사용하면 무선통신망의 처리율과 단대단 지연 특성을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 1-홉 무선망의 큐잉(Queueing)이론을 이용한 해석모델(Analytical Model)을 다수-홉 무선통신망에 적용하여 채널경쟁 및 충돌을 고려한 무선구간 메트릭, ccf (contention and collision factor, 경쟁충돌요소)를 제안한다. 경쟁방식을 사용하는 무선구간에서 채널 경쟁 및 충돌을 반영하는 ccf는 경로설정과정에서 채널 경쟁과 충돌이 적은 경로를 선택하게 한다. 또한, MCR과 MCQoSR에서와 같이 무선 노드의 수신채널을 고정하는 환경에서 경로내부간섭 및 다수 채널 사용 시 발생하는 채널변경지연(Channel Switching Delay, lms)을 고려한 경로설정 메트릭, MCCR(Multi-radio and -Channel Collision based Routing)을 제안한다. 경로설정 과정에 MCCR을 사용함으로써 다수 라디오와 채널을 사용하는 경쟁방식의 무선 통신망에서 통신망의 성능을 극대화 할 수 있는 경로를 설정할 수 있다.

본 논문의 II장에서는 본 연구에서 사용하는 노드 모형과 다수 라디오/채널의 기능설정 및 사용 환경을 기술하고, III장에서 해석모델을 이용한 무선구간 메트릭 ccf 및 경로 설정 메트릭 MCCR을 기술한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 본 제안의 타당성을 검증하고, V장에서 본 연구의 결론 및 향후 연구를 기술한다.

II. 무선노드의 모형과 다수 라디오/채널의 사용

본 연구에서 임의 무선노드는 그림1과 같은 전송반경과 간섭반경을 갖고 다수의 라디오를 장착한 모형으로 추상화한다. 3개의 라디오와 4개의 채널을 사용하는 임의 무선노드는 작은 원으로 표시하였으며 임의노드가 사용하는 수신전용 채널은 작은 원안의 숫자로 표시했다.

본 연구에서 다수 라디오와 채널은 아래와 같이 다른 용도로 구분하여 사용된다.

(공통) 제어전용 라디오와 (공통) 제어전용 채널 : 무선통신망의 모든 노드는 1개의 라디오를 제어전용 라디오(CoR, common Control only Radio)로 사용하며, 모든 노드에 공통인 1개 제어전용 채널(CoC, common Control only Channel)을 갖는다. 무선통신망의 모든 노드는 CoR의 CoC를 사용하여 Hello 메시지를 방송한다. 임의노드는 Hello 메시지를 이용하여 이웃노드와 정보를 교환하고 통신망의 연결성(connectivity)을 확보한다. 또한, RREQ(Route REQuest)와 RREP(Route REPLY) 메시지를 전송하여 경로설정에 참여한다.

수신전용 라디오와 수신전용 채널 : 무선통신망의 모든 노드는 1개의 라디오를 수신전용 라디오(RoR, Receive only Radio)로 사용하며, 무선통신망에 진입할 때 사용가능한 채널(그림1의 채널 1,2,3)중 이웃(Neighbor)노드와 다른 1개의 수신전용 채널(RoC, Receive only Channel)을 설정한다. 설정된 RoC는 임의로 변경되지 않는다. 노드의 RoC가 고정됨으로써 다수 채널 사용시 발생하는 송수신 채널변경의 어려움이 없

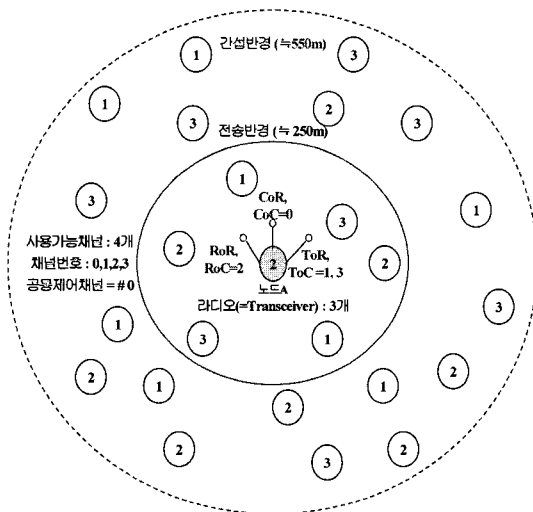


그림 1. 임의 무선노드의 다수 라디오와 채널 사용
Fig. 1. Use of multiple Radios and Channels.

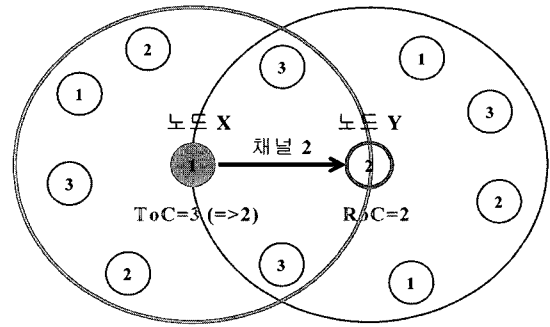


그림 2. 데이터 전송과 ToC의 변경
Fig. 2. Data Transmission and Change of ToC.

다. 임의 무선노드는 RoR의 RoC만을 사용하여 네트워크 계층 데이터를 수신한다.

송신전용 라디오와 송신전용 채널 : 무선통신망의 모든 노드는 1개의 라디오를 송신전용 라디오(ToR, Transmit only Radio)로 사용하며, 임의노드는 송신을 하고자 할 때 사용가능한 채널중 자신의 RoC를 제외한 채널중 하나(그림1의 채널1 또는 채널3)를 사용하여 네트워크 계층 데이터를 전송한다. 이 때, 사용하는 채널을 송신전용 채널(ToC, Transmit only Channel)이라 하며, 송신노드는 현재 ToR의 ToC가 경로상 수신노드의 RoC와 다른 경우, ToC를 수신노드의 RoC로 변경한 후 데이터를 전송한다. 그림2에서 송신노드(X)의 ToC(=3)가 수신노드(Y)에 고정되어 사용되는 RoC(=2)와 다른 경우, 송신노드X는 수신노드Y의 RoC(=2)에 따라 ToC를 채널2로 변경한다.

본 연구에서 임의 무선노드는 다음과 같은 환경을 가정한다. 첫째, 신호채널[(공통) 제어전용 라디오(/채널)]과 데이터채널[데이터 송수신전용 라디오(/채널)]을 구분하여 사용한다. 둘째, 임의노드의 수신 라디오와 수신 채널(RoC)은 고정되어 사용되며 RoC는 노드의 망 진입시 설정된다. 셋째, 임의노드는 자신의 수신전용 채널(RoC)을 송신전용 채널(ToC)로 사용하지 않는다. 넷째, 경로설정과정에서 무선구간의 송신노드와 수신노드의 RoC는 서로 다르게 설정된다. RREQ를 수신한 노드는 RREQ를 송신한 노드의 RoC가 자신의 RoC와 같으면 RREQ를 폐기(discard)한다. 다섯째, 숨김노드(hidden terminal)로 인한 충돌을 피하기 위해 MAC 계층에서 CSMA/CA를 사용한다.

III. 경로 설정 메트릭 MCCR

무선통신망에서는 호(call)의 요구가 있으면 RREQ

및 RREP 메시지를 사용하여 경로를 설정한다. 여러 가지 경로중 하나를 선택할 때, 무선구간 메트릭과 이를 경로에 반영한 경로설정 메트릭을 사용한다. 일반적으로 경로설정 메트릭으로 유선망에서와 같이 홵 수(hop count)를 사용하나 이는 무선구간의 특성을 반영하지 못한다. 무선구간에서 간섭 등의 무선 환경을 고려한 ETX (Expected Transmission Count, 예상전송횟수)^[7]는 성공적 패킷전송을 위한 패킷의 전송 횟수이다. Draves et. al.^[5]은 ETX에 무선구간의 데이터 전송률을 반영한 ETT 및 ETT를 사용하여 경로의 단대단 전송 지연 및 경로내부간섭을 반영한 경로설정 메트릭 WCETT(Weighted Cumulative ETT)를 제안하였다. MCR은 다수 채널을 사용하는 경우 송신전용 라디오에서 송신전용채널의 변경으로 발생하는 채널변경지연을 WCETT에 추가하였다. 대역보장 QoS를 제공하는 MCQoSR은 MCR을 경로설정 메트릭으로 사용한다.

설정된 경로의 홵 수가 m, 사용가능한 채널의 수가 c 일 때 MCR은 식(1)과 같다.

$$MCR = (1 - \beta) * \sum_{i=1}^m (ETT_i + SC(C_i)) + \beta * \max(X_j, 1 \leq j \leq c) \quad (1)$$

여기서, ETT_i는 경로내 i번째 홵의 예상전송시간이며, X_j[= $\sum_{i=1}^m ETT_i, RoC(ni)=j$]는 경로상 무선구간에서 사용되는 채널들의 예상전송시간의 합으로 X_j가 크면 j 채널이 경로 상에 많이 사용됨을 의미하며 이는 곧 경로내부간섭의 영향이 큰 것을 나타낸다. ni(C_i)는 경로상 i번째 홵의 노드(송신채널)를 나타낸다. SC(C_i) [= Ps(C_i) * CSD]는 경로상 i번째 홵의 노드가 ToC를 C_i로 변경할 때 생기는 채널변경 비용(Switching Cost)으로 경로의 i번째 홵에 위치하는 노드에서 ToC가 C_i가 아닐 확률 Ps(C_i)과 채널변경 지연시간(CSD, Channel Switching Delay)으로부터 얻는다. β(=0.5)는 경로의 단대단 전송지연과 경로내부간섭효과에 대한 가중치이다.

1. ETT 사용의 문제점

임의 무선구간의 송신노드와 수신노드는 ETT를 계산하기 위해 탐침패킷을 전송하고 탐침패킷의 송신 및 수신 실패확률(Pf, Pr)을 저장한다. 패킷전송에 실패할 확률, P[= 1 - (1-Pf) * (1-Pr)]과 패킷의 k번째 전송시도에서 패킷을 성공적으로 전송할 확률, s(k)[= Pk-1 * (1-P)]를 계산한다. 하나의 패킷이 무선구간을 지나 성

공적으로 전달되기 위해 MAC 계층에서 전송되어야 하는 예상전송횟수 ETX[= $\sum_{k=1}^{\infty} (k * s(k)) = \frac{1}{1-P}$]는 P로 표현되며, 전송예상시간 ETT는 무선구간의 전송률 B와 패킷크기 S 및 ETX를 이용하여 식(2)로 계산한다. ETT는 무선구간의 안정성 및 대역폭을 고려한다.

$$ETT = ETX * \frac{S}{B} \quad (2)$$

그림3은 Hello 메시지를 탐침패킷으로 사용하는 MCR과 MCQoSR에서 ETT를 계산하기 위해 주기적으로 탐침패킷을 전송하고 성공적으로 전송된 탐침패킷의 수를 세어 Pr과 Pf을 얻는 무선구간의 노드 X와 노드Y를 보여주고 있다. MCR과 MCQoSR의 채널사용에서 수신노드X는 RoC(=j)를 고정하여 사용하고 ToC로 자신의 RoC를 사용하지 않으므로 송신노드X는 수신노드Y의 RoC에 대한 Pr을 계산할 수 없다. MCR과 MCQoSR에서는 ETT를 계산하는 과정에서 Pr을 Pf와 같은 값으로 가정한다. 즉, 수신 노드의 확인응답 ACK (ACKnowledgment)의 전송 실패확률을 예측할 수 없다.

또한, Hello 메시지의 사용은 통신망에 오버헤드(Overhead)를 발생시킬 뿐 아니라 데이터전송 채널과 제어패킷전송 채널을 구분하여 사용하고 데이터 송수신 전용 채널의 사용가능 대역폭을 측정하여 대역보장 QoS를 제공하는 MCQoSR의 경우, 데이터 송수신 전용 채널을 사용한 탐침 패킷의 전송으로 송수신 채널의 정확한 사용가능 대역폭 예측을 어렵게 한다.

무선구간의 전송환경만을 고려한 ETT의 사용은 Data/ACK를 사용하는 경우, 간섭과 충돌의 영향으로 송신노드가 ACK를 받지 못 해 재전송하는 경우가 많 아지므로 타당하지만 RTS/CTS/Data/ACK를 사용하는 경우, 송신노드의 이웃노드들뿐 아니라 수신노드의 이웃노드들도 데이터 전송을 예견하고 자신들의 데이터

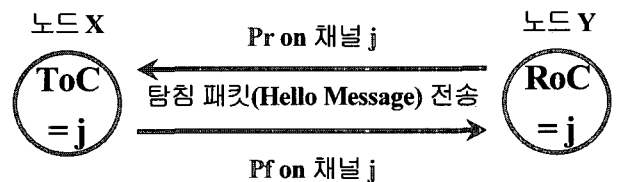


그림 3. MCR과 MCQoSR에서 Pf 와 Pr의 측정
Fig. 3. Measurement of Pf and Pr in MCR and MCQoSR.

전송을 억제하므로 간섭과 충돌의 영향이 적어 ETX가 1에 수렴하게 되며, ETT는 단지 전송지연만을 나타내고 전송률이 높은 경로를 선택하게 된다^[8].

2. 무선구간 매트릭 ccf

경쟁방식의 무선 환경에서 노드간 채널확보를 위한 경쟁과 전송시도의 충돌은 무선구간의 데이터전송에 중요한 역할을 한다. 동일채널을 다수의 노드들이 경쟁하는 경우 경쟁노드의 수가 많으면 채널 경쟁에 많은 시간을 소비하게 되어 경로의 단대단 지연은 무선구간의 채널경쟁지연에 비례하여 늘어나게 된다. 반면, 동일채널을 경쟁하는 노드의 수가 적으면 홑 당 지연시간은 적어지게 되며 데이터를 빠르게 전송할 수 있다. 이는 채널경쟁 노드의 수만을 고려한 경우이며 채널경쟁노드들의 Backoff Counter를 고려한다면 보다 빠르게 전송할 수 있는 경로를 선택할 수 있다. 같은 수의 경쟁 노드가 있어도 전송시도의 충돌 확률이 적은 경우 더욱 빠르게 데이터를 전송할 수 있다. 본 연구에서는 해석 모델을 사용하여 무선구간의 채널경쟁과 충돌을 고려한 무선구간 매트릭을 제안한다.

모든 무선노드는 그림 4(a)와 같이 Hello 메시지를 사용하여 자신의 채널사용상태(RoC, ToC)와 채널경쟁상태(BS, BC)를 주기적으로 이웃노드에게 알린다. 그림 4(a)에서 노드S는 Hello 메시지로부터 이웃노드들에 대한 정보를 얻어 그림 4(b)와 같이 저장한다.

임의 무선노드를 중심으로 전송반경 안에 n개의 노드가 있을 때, 임의 시간(t)에 있어서 임의노드의 패킷 전송을 위한 전송시도확률(transmission attempt probability) $\tau(t)$ 는 n개 노드의 Backoff Counter, $BC_i(t)$ 를 사용하여 식(3)에 의해 구할 수 있다^[9].

$$\tau(t) = (1/n) * \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{BC_i(t)} \right) \quad (3)$$

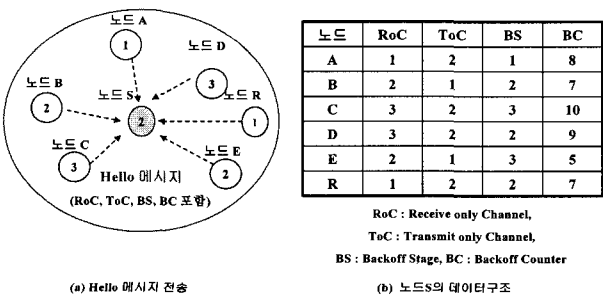


그림 4. Hello 메시지 방송
Fig. 4. Hello Message Broadcast.

또한, 임의 시간(t)에 있어 임의노드의 충돌확률 (collision probability) $p(t)$ 는 전송시도확률 $\tau(t)$ 과 임의 무선노드 주변의 채널경쟁에 참여하는 노드의 수 n으로부터 식(4)을 사용하여 구할 수 있다^[10].

$$p(t) = 1 - (1-\tau(t))^{n-1} \quad (4)$$

임의노드에 대한 $\tau(t)$ 와 $p(t)$ 를 임의 수신노드의 RoC(= j)를 사용하는 무선구간에 적용한다. 송신노드의 전송반경 안에서 채널j의 충돌확률을 $Ps(j)$ 로 나타내고, 수신노드의 전송반경 안에서 채널j의 충돌확률을 $Pr(j)$ 로 나타내면 각각은 식(5)와 같다.

$$Ps(j) \text{ 또는 } Pr(j) = p(\tau(t)), \tau(t) = (1/n) * \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Bi(t)} \right), ToC(i)=j \quad (5)$$

$Ps()$ 와 $Pr()$ 의 계산에서 송신노드는 Backoff Counter를 $\left\lfloor \frac{W-1}{2} \right\rfloor$ 로 하고 채널을 경쟁하는 노드의 수 n에 포함되며, 수신노드는 송신을 위해 채널을 경쟁하지 않으므로 포함되지 않는다. W는 최소 경쟁윈도우 크기 (=16)이다. 송수신 노드 주변에 $ToC = j$ 이고 Backoff Counter가 0인 노드들은 $Ps()$ 와 $Pr()$ 의 계산에서 제외된다.

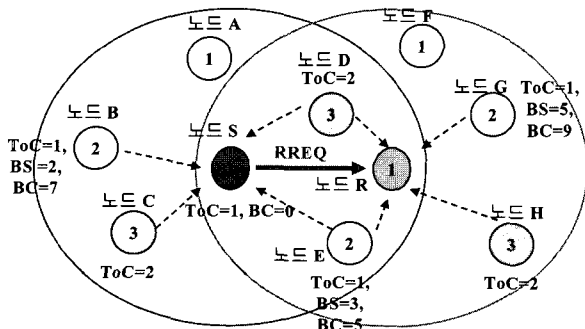
충돌확률을 고려한 무선구간 매트릭 mcf(minimum collision factor, 최소충돌요소)는 채널 j에 대해 식(6)과 같이 표현된다.

$$mcf(j) = (1/2) * (Ps(j) + Pr(j)) \quad (6)$$

그러나 식(6)의 mcf는 무선구간에서의 충돌확률은 보여주지만 송수신 노드 주변의 채널을 경쟁하는 노드의 수를 반영하지는 않는다. 식(6)의 mcf에 경쟁노드의 수($ns()$ 와 $nr()$)를 반영한 ccf (contention and collision factor, 경쟁충돌요소)를 식(7)과 같이 정의한다. 식(7)의 a는 $ns()$ 와 $nr()$ 의 계산에서 중복 계산된 노드를 고려하여 포함되었으며 3/4(= 0.75)를 사용한다. $ns()$ 와 $nr()$ 의 계산에 송수신 노드 주변에 $ToC = j$ 이고 Backoff Counter가 0인 노드들도 포함된다.

$$ccf(j) = a * (ns(j) + nr(j)) * mcf(j) \quad (7)$$

RREQ를 방송하는 송신노드는 자신의 RoC를 제외한 사용가능한 모든 채널에 대한 $Ps()$ 와 $ns()$ 를 계산하여 RREQ에 포함한 후 방송하고 수신노드는 RREQ에 포함된 $Ps()$ 와 $ns()$ 중 자신의 RoC와 같은 채널에 대한



RREQ는 P_s (채널들), n_s (채널들) 및 pre-RoC를 포함한다. 여기서 채널들이란 임의 송신노드의 사용가능한 채널 중 자신의 RoC를 제외한 채널들이다.

그림 5. Backoff Counter를 이용한 무선구간 ccf 계산
Fig. 5. ccf estimation using Backoff Counter.

$P_s()$ 와 $n_s()$ 를 사용하여 무선구간의 $ccf(j)$ 를 구한다.

다수의 라디오를 갖고 다수의 채널을 사용하는 무선 노드로 구성된 그림 5와 같은 무선통신망에서 경로상의 임의의 무선구간에 대해 $ccf(j)$ 를 계산하는 과정은 다음과 같다. 그림 5에서 노드R은 노드S로부터 RREQ 패킷을 받고 자신의 RoC(= 1)를 사용하는 노드S와 노드R의 무선구간을 가정한다.

$ccf(j)$ 의 계산에서 송·수신 노드의 전송반경 내 임의의 노드 가운데 계산에 포함되는 노드는 다음 2개 규칙을 따른다. 규칙1. 이웃노드 중 RoC=j인 노드는 제외된다. 규칙2. 이웃노드 중 ToC=j인 노드만 참여한다.

그림 5의 수신 노드R에서 $ccf(j)$ 를 계산한다. 임의의 시간(t)에 노드S의 주변에서 ToC =1인 노드B와 노드E가 채널1을 사용하여 전송시도를 할 수 있다. 채널 1을 시도하는 노드는 노드S를 포함하여 3(= $n_s(1)$)이며 전송 시도확률 $\tau(t) = (1/3) * (1/7 + 1/5 + 1/8) = 0.16$ 이다. 그러므로 충돌확률 $P_s(1) = 1 - (1 - 0.16)^2 = 0.29$ 이다. 같은 방법으로 노드R에 대하여, $n_r(1) = 3$ (노드E와 노드G, 그리고 노드S), $\tau(t) = (1/3) * (1/5 + 1/9 + 1/8) = 0.14$, $Pr(1) = 1 - (1 - 0.14)^2 = 0.26$ 이다. 수신노드R은 송신노드S와 자신사이의 채널 1을 사용하는 무선구간의 $mcf(1) [= 0.5 * (0.29 + 0.26) = 0.27]$ 및 $ccf(1) [= 0.75 * (3 + 3) * 0.27 = 1.13]$ 을 구할 수 있다.

ccf 의 계산과정에서 송수신 노드의 이웃노드들의 Backoff Counter가 사용된다. 송수신 노드는 이웃노드들이 주기적으로 보내는 Hello 메시지로 부터 이웃노드들의 Backoff Counter를 저장한다. 그러나 Hello 메시지의 전송주기(T, 수백 ms)가 Backoff Counter 감소의 시간단위인 슬롯타임(수십 μs)과 다르기 때문에 ccf 계산과정에 사용되는 임의노드의 Backoff Counter는 현시

점(t)을 제대로 반영한다고 할 수 없다.

임의노드는 과거의 누적된 Backoff Counter를 cBC(cumulative BC)로 저장하고 Hello 메시지를 방송할 때 방송하는 시점의 Backoff Counter, BC와 과거의 누적 Backoff Counter, cBC를 식(8)에 의해 계산하고 cBC를 이웃노드에 방송한다. 식(8)에서 γ 는 과거와 현재 BC의 가중치로 0.5를 사용한다.

$$cBC = (1-\gamma) * BC + \gamma * cBC \quad (8)$$

ccf 는 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째, 경쟁방식의 무선구간을 채널 경쟁과 충돌로 나타내어 채널경쟁 환경을 적합하게 반영한다. 둘째, 해석모델의 적용에서 정상상태(steady state)에 도달한 망의 평균이 아닌 특정 시간(t)의 상황을 나타냄으로써 순간적인 변화에 적응력이 있다. 셋째, 용도를 구분하여 다수의 라디오와 채널을 사용하는 경우, 해석모델을 사용하여 탐침 패킷의 전송과 같은 측정 방법을 배제함으로써 데이터 전송전용 채널의 오버헤드를 줄일 수 있다. 넷째, 각 노드가 가지고 있는 해석모델 정보를 (공통)제어전용 채널로 전달함으로써 ETT와 같은 측정기반의 문제가 발생하지 않는다.

3. 경로설정 메트릭 MCCR

다수 채널을 사용하는 MCR과 MCQoSR의 경우 경로상 송신노드의 ToC는 수신노드의 RoC와 같다. 송신노드의 ToC가 수신노드의 RoC와 다른 경우, 송신노드는 수신 노드의 RoC에 따라 ToC를 변경하며, 채널을 변경하기 위한 지연시간이 발생한다. 이를 채널변경요소(Chsf, Channel switching factor)로 나타낸다. 채널변경 요소는 ToC(송신노드)와 RoC(수신노드)가 같으면 0, 다르면 1로 식(9)과 같다.

$$Chsf = \begin{cases} 0 & , \text{같으면} \\ 1 & , \text{다르면} \end{cases} \quad (9)$$

또한, m-홉의 경로에서 동일 채널을 사용하는 구간이 많으면 경로내부 간섭의 영향으로 전송률의 감소를 발생시킬 확률이 높다. 무선구간이 추가될 때마다 경로내부간섭의 발생 여부를 판단하기 위해 경로내부간섭요소(RintraI, Route intra Interference)를 사용한다. RREQ를 보내고 받은 노드의 RoC가 같으면 수신노드는 RREQ를 폐기한다. 즉 연속되는 2개의 노드는 다른 채널을 사용한다. 그러나 경로 내부 간섭을 배제하기 위해서는 연속되는 3개의 노드가 서로 다른 채널을 사

용해야 한다.

RREQ에는 그림5에서와 같이 RREQ를 보낸 노드의 RoC를 pre-RoC로 저장하고 있다. 경로 내부간섭요소는 RoC(수신노드)와 RREQ에 포함되어 있는 pre-RoC가 다르면 0이고 같으면 1로 식(10)과 같다.

$$RintraI = \begin{cases} 0, & \text{다르면} \\ 1, & \text{같으면} \end{cases} \quad (10)$$

m-홉 경로의 채널경쟁 노드의 수, 충돌확률, 채널변경지연 및 경로내부간섭을 고려한 경로설정 메트릭 MCCR은 식(11)과 같이 표현되며, 목적노드는 메트릭이 적은 경로를 선택한다.

$$MCCR = \sum_{x=1}^m [ccf(x,y) + Chsf(x) + RintraI(x)] \quad (11)$$

IV. 시뮬레이션

Qualnet^[11]을 이용한 시뮬레이션으로 본 연구에서 제안한 경로설정 메트릭 MCCR 성능을 MCR과 비교하여 검증하였다. MCR과의 비교를 위하여 모든 시뮬레이션에서 MCR에서와 같이 임의노드는 2개의 IEEE 802.11a 네트워크 인터페이스 카드와 5개의 간섭 없는 채널(36, 48, 64, 149, 161)^[3]을 사용하였으며 각 인터페이스에서의 채널변경지연 시간은 1ms를 사용하였다. 또한 각 무선 링크의 전송률은 12Mbps이며 전송반경은 150m, 간섭반경은 300m를 사용하였다.

시뮬레이션에서 가로 500m, 세로 500m의 영역에 50개 노드들을 임의로 배치하였으며 50개의 CBR(Constant Bit Rate) 호를 20ms 간격으로 발생시킴으로써 처리율, 단대단 지연 및 패킷 전달률(Delivery Ratio) 특성을 MCR과 비교하였다. 이 때 CBR호의 패킷크기는 1024바이트(Byte)이고 전체 시뮬레이션 시간은 90초이며 CBR 호의 지속시간은 시뮬레이션 시간과 같이 90초이다.

호는 특정형태를 갖지 않고 임의 노드가 발생시키고 임의 노드를 목적 노드로 선정하였다. 그림6은 6번의 서로 다른 호 발생 환경(시나리오)에서 처리율을 MCR과 비교하였다. 각각의 시나리오에서 처리율은 전체 망의 처리율이다. 무선구간의 메트릭으로 ccf를 사용하는 MCCR이 ETT를 무선구간 메트릭으로 사용하는 MCR에 비해 전체 처리율 면에서 향상되었으며 시나리오에 따른 처리율의 차이가 적은 것을 보여준다. MCCR은

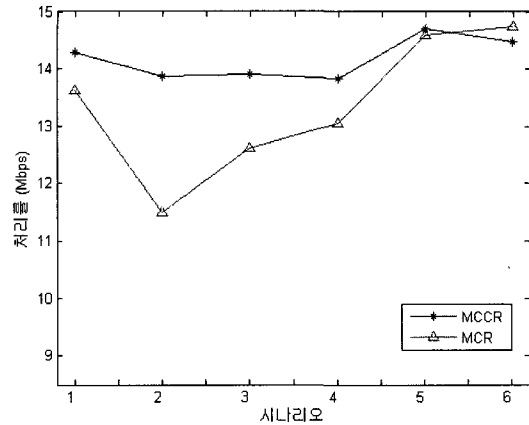


그림 6. 처리율 (MCCR과 MCR)
Fig. 6. Throughput (MCCR and MCR).

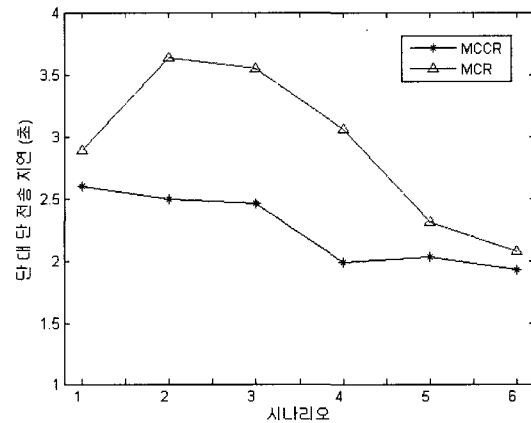


그림 7. 단대단 지연(MCCR과 MCR)
Fig. 7. End-to-End Delay(MCCR and MCR).

경쟁과 충돌이 적은 경로를 선택하는 반면 MCR은 전송속도가 빠른 경로를 선택함으로써 시나리오에 따라 차이를 보인다.

그림 7은 동일한 시뮬레이션 환경에서 단대단 지연 특성을 보여준다. MCCR을 사용한 경우 MCR을 사용한 경우보다 좋은 특성을 보여주고 있다. 전송속도가 빠른 경로를 선택하는 MCR보다 MCCR이 좋은 성능을 나타내는 것은 경로 선택 시 전송속도가 높은 경로를 선택하는 것이 호 지속시간 동안 유지되지 않는 것을 보여주며, 경쟁과 충돌이 적은 경로를 선택하는 것이 호 지속 시간동안 좋은 단대단 지연 특성을 보여줌을 알 수 있다.

그림 8은 동일한 시뮬레이션 환경에서 패킷 전달률을 보여준다. 패킷 전달률에서도 MCCR을 사용하는 경우가 MCR을 사용하는 경우보다 좋은 특성을 나타낼 뿐만 아니라 시나리오에 따른 변동도 없는 것은 보여준

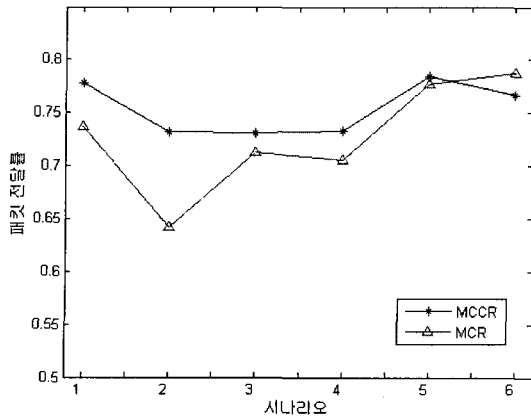


그림 8. 패킷 전달률(MCCR과 MCR)

Fig. 8. Packet Delivery Ratio(MCCR and MCR).

다. 경로설정 과정에서 경쟁과 충돌이 작은 경로를 선택함으로써 모든 시나리오에 변함이 없는 특성을 나타내고 있다.

처리율, 단대단 지연 및 패킷 전달률의 시뮬레이션 결과로부터 ccf를 무선구간 메트릭으로 사용하는 MCCR이 ETT를 무선구간 메트릭으로 사용하는 MCR보다 좋은 성능을 나타낼 뿐 아니라 모든 성능 특성에서 시나리오에 따른 변화없이 일정한 성능을 보여줌을 알 수 있다.

V. 결 론

경쟁방식의 무선통신망에서 무선구간의 특성과 경로 내부간섭은 통신망의 처리율과 단대단 지연 특성을 결정하는 중요한 역할을 한다. 경쟁방식의 무선구간 특성을 반영하지 않으면 경쟁이 심한 노드로 경로가 설정되고 채널 경쟁으로 인한 대역폭 감소와 전송 충돌로 인한 지연으로 통신망의 성능이 저하된다. 또한, 경로내부 간섭을 반영하지 않은 경로설정은 동일 채널사용으로 인한 간섭으로 대역폭 감소와 전송지연증가의 특성을 나타낸다. 경로설정 과정에서 무선구간의 경쟁특성을 반영하는 무선구간 메트릭의 설정과 경로설정 메트릭에서 경로내부간섭이 발생하는 경로의 배제는 통신망의 성능을 향상시킨다.

본 논문에서는 큐잉이론을 이용한 해석모델을 적용하여 무선구간의 채널 경쟁 및 충돌을 반영하여 경쟁과 충돌이 적은 경로를 선택할 수 있는 무선구간 메트릭 ccf를 제안하며 다수 라디오와 채널을 사용하여 무선노드의 전이충전송이 가능하게 하고 경로의 내부간섭을

배제할 수 있도록 라디오와 채널의 기능을 설정하고 이를 경로설정에 반영하여 처리율과 단대단 지연특성이 좋은 경로를 설정할 수 있는 경로설정 메트릭 MCCR을 제안한다. 제안된 MCCR의 성능을 시뮬레이션으로 MCR과 비교하여 검증하였다. ccf를 무선구간 메트릭으로 사용하는 MCCR은 ETT를 사용하는 MCR보다 성능의 변화가 적은 안정적인 특성을 나타낸다.

본 연구에서 임의 무선노드는 Hello 메시지를 이용하여 이웃노드에게 자신의 채널 사용 상태와 채널 경쟁 상태를 전송한다. Hello 메시지를 전송하는 주기(T)가 길어지면 경로설정 과정에서 임의 시점(t)의 노드 상태를 반영하지 못하고 주기(T)를 짧게 하면 통신망에 오버헤드를 증가시킨다. 본 연구를 완성하기 위해 향후, Hello 메시지의 전송 주기(T)에 대한 연구뿐 아니라, 채널의 사용 상태(RoC, ToC)와 경쟁 상태(BS, BC)를 임의 시간(t)이 아닌 누적된 값을 사용하는 것에 대한 연구, 서로 다른 네트워크 환경에서 MCCR의 성능 특성에 대한 시뮬레이션 및 다른 무선구간 메트릭 및 경로설정 메트릭과의 비교 연구가 진행될 것이다.

참 고 문 헌

- [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] Juming 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] 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.
- [4] Sungwon Ko, "Call Admission Control in Wireless Ad-hoc Networks with Multiple Channels and Radios," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.21, No.4, May, 2007.
- [5] Richard Draves, Jitendra Padhye and Brian Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks," in ACM Mobicom, 2004.
- [6] IEEE Standard for wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer

(PHY) Specifications, IEEE Std: 802.11, 1999.

[7] D. De Couto, D. Aguayo, H. Bicket, and R. Morris, "High-throughput path metric for multi-hop wireless routing," In MOBICOM, 2003.

[8] Wei Zhou, Dongbo Zhang, and Daji Qiao, "Comparative Study of Routing Metrics for Multi-Radio Multi-Channel Wireless Networks," WCNC, Vol.1. pp. 270-275, April 2006.

[9] H. Kim and J. C. Hou, "Improving Protocol Capability with Model-based Frame Scheduling in IEEE 802-11-operated WLANs," MobiCOM'03, pp.190-204, San Diego, CA, September 2003.

[10] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(3), pp. 535-547, March 2000.

[11] QualNet Simulator,
<http://www.scalable-networks.com/>, Online Link.

저 자 소 개



고 성 원(정회원)
 1983년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1985년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2004년 숭실대학교 전자공학과 박사과정.
 현재 김포대학 인터넷정보과 교수
 <주관심분야 : 통신, 애드혹, 라우팅, 서비스질>

강 민 수(학생회원)
 2005년 숭실대학교 정보통신공학과 학사졸업.
 현재 숭실대학교 정보통신공학부 석사과정.
 <주관심분야 : 컴퓨터 통신, 라우팅>

강 남 희(정회원)
 1999년 숭실대학교 정보통신공학 학사
 2001년 숭실대학교 정보통신공학 석사
 2005년 Siegen University(독일) 컴퓨터공학 박사
 2006년 다산네트웍스 선임연구원
 현재 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 초빙교수
 <주관심분야 : 컴퓨터 통신, 인터넷보안>

김 영 한(정회원)
 1984년 서울대학교 전자공학 학사
 1984년 한국과학기술원 전기전자공학 석사
 1990년 한국과학기술원 전기전자공학 박사
 현재: 숭실대학교 정보통신공학과 교수
 <주관심분야 : 인터넷 네트워킹(QoS, VoIP, IPv6, 멀티캐스트 등), 이동 데이터 통신망(MANET, 셀룰라 망 등)>