

논문 2012-49TC-5-4

다중 레이트 멀티 홉 무선 네트워크 환경의 처리율 향상을 위한 인트라세션 네트워크 코딩

(Intra-Session Network Coding for Improving Throughput in Multirate
Multihop Wireless Networks)

박 무 성*, 윤 원 식**

(Museong Park and Wonsik Yoon)

요 약

인트라세션 네트워크 코딩은 멀티 홉 무선 네트워크의 스케줄링을 간소화하고 패킷 전송의 효율성을 통하여 처리율을 향상시킬 수 있는 방법으로 제시되었다. 다중 레이트는 대부분의 무선 네트워크에서 사용되고 있으며 기존 연구에서 기회주의적 라우팅 방식과 결합하여 처리율의 증가를 보였다. 본 논문에서는 다중 레이트와 인트라세션 네트워크 코딩 방식을 사용하여 멀티 홉 네트워크 환경에서 처리율을 향상하기 위한 방법을 제안한다. 네트워크 모델을 인트라세션 네트워크 환경으로 모델링하고 제안한 레이트 선택 방법을 통하여 각 노드에서 최적의 전송 속도를 결정한다. 선형계획법을 사용하여 최대 처리율을 도출하고 MATLAB과 lp_solve IDE 프로그램을 이용하여 성능을 평가한다. 성능평가 결과를 통해 다중 레이트를 사용할 경우 단일 레이트 환경에 비하여 처리율이 향상되며 인트라세션 네트워크 코딩 방식은 기회주의적 라우팅 방식에 비하여 처리율이 향상됨을 보였다.

Abstract

Intra-session network coding has been proposed to improve throughput by simplifying scheduling of multi-hop wireless network and efficiency of packet transmission. Multi-rate transmission has been used in multihop wireless networks. An opportunistic routing with multirate shows throughput improvement compared with single rate. In this paper, we propose a method of throughput improvement in multi-hop wireless network by using multi-rate and intra-session network coding. We suggest a method to select an local optimal transmission rate at each node. The maximum throughput is evaluated by using linear programming (LP). To solve the LP, we use MATLAB and lp_solve IDE program. The performance evaluation results show that end-to-end throughput is improved by using multirate and intra-session network coding can achieve better throughput than opportunistic routing.

Keywords : intra-session network coding, multirate, rate selection, linear programming

I. 서 론

활발하게 연구되어 온 멀티 홉 무선 네트워크는 여러 가지 장점을 가지고 있다. 어느 곳에서나 저렴한 비용으로 간편하게 설치가 가능하며, 광범위한 응용이 가능하다. 그러나 멀티 홉 무선 네트워크는 채널 손실에 의한 신뢰성 약화, 경로 감쇠에 따른 링크의 품질 저하 그리고 신호의 간섭문제 등에 의해 전송품질이 저하될 수

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 아주대학교 전자공학과

(Department of Electrical and Computer Eng., Ajou University)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원(2011-0026736) 및 2011학년도 아주대학교 일반연구비 지원을 받아 수행된 것임

접수일자: 2012년2월10일, 수정완료일: 2012년5월12일

있다.^[1]

기회주의적 라우팅 방식은 무선 네트워크 환경에서 안정성과 처리율을 향상시킬 수 있는 방법으로, 무선 채널의 브로드캐스트 특성과 공간적 다이버시티를 활용하여 신뢰성 약화 문제를 완화하기 위한 방법으로 제안되었다.^[2-3] 전송 경로를 미리 지정하여 전송하지 않고 목적지에 가까운 노드에 우선순위를 부여하여 전송함으로써 전송의 효율성을 가지며 처리율을 향상시켰다. 그러나 스케줄링의 복잡도와 전송 대기시간으로 인하여 성능 향상의 한계가 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 네트워크 코딩 방식이 제안되었다.^[4] 네트워크 코딩은 한 노드에서 서로 다른 패킷을 수신하면, 이를 조합하여 전송하는 방식으로 노드 사이에 어떤 패킷을 전송할 지 선택하는 과정이 필요하지 않기 때문에 효율적이며 처리율의 향상을 가져온다.

기존의 인트라세션 네트워크 코딩 연구는 주로 단일 레이트 환경에서 연구가 수행되었다.^[4-5] 그러나 대부분의 무선 네트워크 환경은 IEEE 802.11a/b/g/n와 같은 다중 레이트를 지원하는 방식들이 주류를 이루고 있다. 다중 레이트 환경에서 전송 속도는 전송 거리와 서로 긴밀한 관계를 갖는다. 낮은 전송 속도에서는 긴 전송 범위를 갖고 반대로 높은 전송 속도에서는 짧은 전송 범위를 갖는다. 이러한 전송 범위의 차이는 공간적 다이버시티를 발생시키고 처리율에 영향을 준다. 따라서 최대 처리율을 갖도록 각 노드의 전송 속도를 최적으로 선택하는 것이 중요하다.

다중 레이트 환경에서 기회주의적 라우팅을 사용하여 최대 처리율을 얻는 최적화에 대한 연구^[2]에서는 노드의 지리적 위치를 이용하고 기회주의적 라우팅 방법을 통한 우선순위 결정을 통해 레이트 선택 과정을 제시하였다. 그리고 선형계획법을 사용하여 최대 처리율을 구하여 단일 레이트와 다중 레이트 환경의 처리율을 비교하고 전통적인 라우팅 방법과 기회주의적 라우팅 방법의 처리율을 비교하여 처리율이 증가함을 보였다.

본 논문에서는 노드의 지리적 위치를 이용하고 인트라세션 네트워크 코딩 방법^[6]을 적용하여 다중 레이트에서의 레이트 선택 방법을 새롭게 제시한다. 그리고 인트라세션 네트워크 코딩 전송에서 선형계획법을 통해 근원지와 목적지 사이의 최대 처리율을 구한다. 이를 단일 레이트 환경에서의 결과와 비교하여 다중 레이트에서의 처리율 향상을 확인한다. 또한 기회주의적 라우팅 방식을 이용한 결과와 비교하여 인트라세션 네트워크

코딩 방식에서의 처리율 향상을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 네트워크를 모델링하고 인트라세션 네트워크 코딩 방식을 적용한다. 그리고 다중 레이트 환경에서 레이트 선택 방법을 제시한 후, 최대 처리율을 계산하기 위한 선형계획법을 기술한다. III장에서는 구성된 선형계획법을 MATLAB과 Ip_solve IDE 프로그램을 사용하여 풀어서 성능평가 결과를 제시하며 분석한다. IV장에서는 최종적으로 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 네트워크 모델

다중 레이트 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서 각 노드는 전송 속도 선택을 위한 레이트 선택 과정 이후에 전송이 이루어진다. 노드 i 는 L 개의 다중 레이트 전송 속도를 가지며, 이를 R_i^m ($1 \leq m \leq L$)로 나타낸다. 전송 노드 n_i 는 전송 속도에 따라서 전송 범위 T_i^m 을 가진다. 전송 범위 안에는 여러 개의 주변 노드 n_j 가 있는데 이 중에서 전송 노드의 정보를 받아서 전달하는 노드를 포워딩 노드라고 한다. 전송 노드 n_i 와 주변 노드 n_j 간의 링크의 패킷 전송 확률을 p_{ij}^m 로 나타낸다. 두 노드 사이의 링크 거리를 d_{ij} 로 나타내며, $d_{ij} \leq T_i^m$ 인 경우에 전송이 이루어진다. 전송 범위는 레이트에 따라서 달라지며, 또한 하나의 링크에서 레이트에 따라서 서로 다른 패킷 전송 확률을 가진다. 여기서 송신전력은 일정하다고 가정한다. 높은 레이트에서는 패킷 전송 확률이 감소하며 반대로 낮은 레이트에서는 패킷 전송 확률이 증가한다. 네트워크상에서 전송을 위하여 정보를 만들어내는 노드를 근원지 노드 n_s 라고 하며, 이러한 정보를 최종적으로 받는 노드를 목적지 노드 n_d 라고 한다.

2. 인트라세션 네트워크 코딩

종래의 라우팅 방식은 먼저 종단간의 전송 경로를 설정한 후, 경로상의 노드가 전달 받은 패킷을 다음 노드에 전송한다. 그러나 무선 네트워크 환경의 높은 전달 오류 확률과 가변적인 특성 때문에 기존의 방식은 경로 설정과 링크 선택의 어려움이 있다. 이러한 무선 채널 특성을 극복하기 위하여 기회주의적 라우팅 방법이 사

용되었다. 이 방법은 미리 전송 경로를 선택하지 않고 노드가 우선순위에 따라서 포워딩 노드를 선택하므로 기존의 방식에 비하여 전송 경로 설정과 링크 선택에 유리하다. 그렇지만 각각의 노드에서 우선순위 선택에 따른 대기 시간의 증가와 스케줄링의 복잡성 때문에 성능의 한계가 존재한다. 이를 보완하기 위하여 네트워크 코딩이 대두되었다. 네트워크 코딩 기법은 네트워크 계층에서 수행되며 수신된 서로 다른 패킷을 조합해 전송하는 방식으로 서로 다른 노드가 만드는 링크에 각각 어떤 패킷을 전송할 지 결정하는 과정을 거치지 않는다. 따라서 전송 노드의 전송 범위 안에서 동시에 여러 개의 포워딩 노드를 가질 수 있다. 결국 스케줄링의 간소화를 통한 링크 사용량 증가로 종단간 처리율 향상에 기여한다. 본 논문에서는 동일한 세션에 대해 네트워크 코딩을 행하는 인트라세션 네트워크 코딩^[6] 방식을 사용한다.

전송 노드 n_i 의 여러 포워딩 노드들의 집합을 F_i^m 로 나타낸다. $F_i^m = \{n_{i_1}, n_{i_2}, \dots, n_{i_r}\}$ 이며 전송 노드 n_i 와 F_i^m 의 원소 노드가 각각 패킷 수신 확률 $p_{ii_1}^m, p_{ii_2}^m, \dots, p_{ii_r}^m$ 을 갖는 링크 $l_{ii_1}^m, l_{ii_2}^m, \dots, l_{ii_r}^m$ 을 갖는다.

3. 레이트 선택

무선 네트워크 환경에서 적절한 전송 속도를 선택하는 것은 종단간 처리율을 결정하는데 있어 중요하다. 단일 레이트의 이용은 가변적인 무선 네트워크 환경에 의한 성능 저하에 대한 능동적인 대처가 어렵고 이에 따라 처리율 저하로 이어진다. 다중 레이트 환경에서는 1절에서 언급한 것처럼, 전송 속도에 따라서 전송 범위가 결정되므로 네트워크상의 여러 가지 조건에 따라서 적절한 레이트를 찾는 것이 필요하다. 낮은 레이트를 사용하면 전송 거리의 증가로 네트워크 코딩의 기회가 증가하지만, 동시에 전송 속도의 감소로 인한 공간적 재사용이 악화될 수 있다. 높은 레이트에서는 동일 시간 동안 더 많은 정보를 전송할 수 있지만 짧은 전송 범위로 목적지 노드까지 전송 횟수의 증가를 가져온다. 따라서 다중 레이트에서 적절한 레이트의 선택 과정이 중요하다.

각 노드의 전송 레이트 선택을 위하여 노드의 위치 정보를 활용한다. 네트워크상에서 각 노드들은 자신이 현재 배치되어 있는 위치 정보와 한 홉 떨어진 주변 노드의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 또한 목적지

노드의 위치 정보도 알고 있다고 가정한다. 이 정보들을 활용하여 각각의 링크가 갖는 유효 전송 거리 a_{ii_q} 를 구한다. 이 값은 링크의 전송 확률 $p_{ii_q}^m$ 과 함께 링크의 특성을 나타내는 변수이다. 전송 노드 n_i , 포워딩 노드 n_{i_q} 그리고 목적지 노드 n_d 일 때 유효 전송 거리 a_{ii_q} 는 다음과 같이 표현한다.

$$a_{ii_q} = \text{dist}(n_i, n_d) - \text{dist}(n_{i_q}, n_d) \quad (1)$$

각각의 전송은 네트워크 코딩을 기반으로 이루어진다. 따라서 브로드캐스팅 방식의 전송을 통해 여러 노드가 동시에 포워딩 노드가 될 수 있다. 식 (1)의 a_{ii_q} 은 항상 0보다 크거나 같도록 정해지며, 이는 전송 노드의 포워딩 노드는 전송 노드보다 목적지 노드에 가까운 노드가 선택되는 것을 의미한다. 또한 전송 속도에 따른 전송 범위의 차이로 포워딩 노드의 개수가 전송 속도에 따라서 달라진다. 이러한 조건들을 이용하여 레이트 선택을 위한 유효 전송 속도 z_i^m 을 결정하는 식을 다음과 같이 나타낸다.

$$z_i^m = R_i^m \sum_{q=1}^r a_{ii_q} p_{ii_q}^m \quad (2)$$

유효 전송 속도 z_i^m 는 인트라세션 네트워크 코딩 방식을 이용하여 목적지 노드를 향해 단위 시간당 전송되는 비트 거리를 의미한다. 새로운 노드가 추가될 경우 식 (2)의 유효 전송 속도 z_i^m 은 변하게 된다. 따라서 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있고, 적절한 전송 속도를 선택할 경우 유효 전송 속도가 최대가 될 수 있다.

레이트 선택을 위하여 각각의 노드에서 전송 속도별 유효 전송 속도 z_i^m 을 구하고, 이 때 최대가 되는 레이트를 그 노드의 전송 속도로 선택한다.

4. 동시 전송 집합 설정

무선 네트워크상에서는 다수의 노드가 동시에 전송할 수 있다. 이 때 동시에 전송하는 노드를 동시 전송 집합이라고 한다. 무선 네트워크 환경은 브로드캐스팅 방식으로 전송이 이루어지므로 하나의 전송 노드에 여러 개의 수신 노드가 존재한다. 따라서 각 링크별로 동시 전송 집합을 설정하지 않고 여러 수신 노드의 링크들을 모두 고려하여 동시 전송 집합을 설정한다. 다음은 동시 전송 집합 설정을 위한 제한 조건들이다.

v_i^m 는 네트워크상에서 송신 또는 수신에 사용되는 노드의 집합을 나타낸다. 링크 l_{ij}^m 는 송신 노드 v_i^m 와 수신 노드 v_j^m 사이에서 전송 속도 R_i^m 을 사용한 경우이다. 링크 l_{ij}^m 는 다른 전송 노드의 전송 범위 안에 있지 않을 경우에 링크 사용이 가능하다. 무선 네트워크상의 노드와 링크의 집합을 각각 나타내면 다음과 같다.

$$V = \{v_i^m | i = 1, \dots, N, m = 1, \dots, L\} \quad (3)$$

$$E = \{l_{ij}^m | i, j = 1, \dots, N, i \neq j, m = 1, \dots, L\} \quad (4)$$

하나의 동시 전송 집합을 T_α 로 나타낼 때 이에 속한 링크를 기준으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_\alpha = \{X_{ij}^{m\alpha} | l_{ij}^m \in E\} \quad (5)$$

$$X_{ij}^{m\alpha} = \begin{cases} 1, & l_{ij}^m \text{ is usable} \in T_\alpha \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$X_{ij}^{m\alpha}$ 는 동일 전송 집합에서 링크 이용을 나타내는 지시변수이다. 또한 동일 전송 집합의 노드 이용을 나타내는 지시 변수 $\epsilon_i^{m\alpha}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\epsilon_i^{m\alpha} = \begin{cases} 1, & v_i^m \text{ is usable} \in T_\alpha \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 $\epsilon_i^{m\alpha}$ 가 1인 경우는 v_i^m 이 T_α 에서 송신 노드 또는 수신 노드로 이용되는 것을 의미한다. 인트라세션 네트워크 코딩 방식을 이용할 경우 각 노드는 다수의 주변 노드로 동시에 전송할 수 있다. 반면 수신인 경우에는 한 번에 하나의 노드에서만 수신할 수 있다. 이 조건을 표현하면 아래와 같다.

$$\epsilon_i^{m\alpha} = \min \left(1, \sum_{l_{ij}^m \in E} X_{ij}^{m\alpha} + \sum_{l_{ji}^m \in E} X_{ji}^{m\alpha} \right) \quad (8)$$

또한 동시 전송 집합 T_α 의 송신 노드와 수신 노드를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(v_i^m, \{v_j^m | l_{ij}^m \in E, X_{ij}^{m\alpha} \equiv 1\}) \quad (9)$$

식 (9)에서 서로 다른 송신 및 수신 노드 쌍이 동시에 동작하기 위해서는 링크가 동일한 송신 노드를 가지거나 또는 링크가 서로 간섭하지 않아야한다. 이를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$X_{ij}^{m_1\alpha} + X_{pq}^{m_2\alpha} \leq 1 + I(l_{ij}^{m_1}, l_{pq}^{m_2}), \quad (10)$$

$$\forall m_1, m_2 = 1, \dots, L$$

$$I(l_{ij}^{m_1}, l_{pq}^{m_2}) = \begin{cases} 1, & i = p \text{ or } l_{ij}^{m_1} \text{ and } l_{pq}^{m_2} \\ & \text{do not interfere} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$$\forall m_1, m_2 = 1, \dots, L$$

이상의 수식을 통하여 동시 전송 집합을 설정한다.

5. 선형계획법 설정

무선 네트워크의 노드들은 동시 전송 집합을 설정하여 항상 한 개의 동시 전송 집합만이 전송해야 한다. 각각의 동시 전송 집합 T_α ($\alpha = 1, \dots, M$)에 할당되는 시간 비율을 λ_α ($\alpha = 1, \dots, M$)로 나타내기로 한다. 무선 네트워크의 근원지 노드와 목적지 노드 사이의 최대 처리율을 도출하는 것은 동시 전송 집합의 스케줄링 문제로 변환됨을 주목할 수 있다. 이러한 무선 네트워크의 최대 처리율을 도출하기 위하여 최적화 문제를 설정하고 이에 대한 해를 구한다. 다음 수식은 최대 처리율을 얻기 위한 선형계획법을 나타낸 것이다.

$$\max \gamma \quad (12)$$

subject to :

$$\sum_{l_{ij}^{m_1} \in E} x_{ij}^{m_1} - \sum_{l_{ji}^{m_2} \in E} x_{ji}^{m_2} = 0, \quad (13)$$

$$n_i \neq n_s, n_i \neq n_d, \forall m_1, m_2 = 1, \dots, L$$

$$\sum_{l_{sj}^m} x_{sj}^m = \gamma, \forall m = 1, \dots, L \quad (14)$$

$$\sum_{l_{jd}^m} x_{jd}^m = -\gamma, \forall m = 1, \dots, L \quad (15)$$

$$x_{ij}^{m\alpha} \geq 0, l_{ij}^m \in E, \forall m = 1, \dots, L \quad (16)$$

$$\sum_{\alpha=1}^M \lambda_\alpha \leq 1 \quad (17)$$

$$\lambda_\alpha \geq 0, \alpha = 1, \dots, M \quad (18)$$

$$x_{ij}^{m\alpha} \leq \lambda_\alpha R_i^m p_{ij}^m, \forall m = 1, \dots, L \quad (19)$$

식 (12)는 네트워크상의 근원지 노드와 목적지 노드 사이의 종단간 최대 처리율을 구하기 위한 목적함수이며, γ 는 처리율을 나타내는 변수이다. 식 (13)에서 $x_{ij}^{m_1}$,

x_{ji}^{m2} 는 링크의 트래픽 흐름을 나타내는 변수이다. 즉, 근원지 노드와 목적지 노드를 제외한 모든 노드에서 입력된 트래픽 양과 출력되는 트래픽의 양이 항상 서로 같다는 것을 나타낸다. 식 (14)와 (15)는 각각 근원지 노드와 목적지 노드에서의 트래픽 흐름을 나타내며 근원지 노드에서 인가된 트래픽의 합은 목적지 노드에 입력되는 트래픽의 양과 같다. 또한 이 값은 네트워크의 종단간 최대 처리율과 같다. 식 (16)은 링크의 트래픽 양에 대한 조건이며 항상 0보다 크거나 같다. 식 (17)과 (18)은 동시 전송 집합의 스케줄링에 대한 수식으로 매 순간 동시 전송 집합에서 전송이 이루어져야 함을 나타낸다. 또한 시간 비율이 항상 0보다 크거나 같아야 한다. 식 (19)는 각각의 링크에 흐르는 트래픽의 용량을 결정하는 식으로 링크별로 레이트에 따른 최대 한계를 설정하고 있다. 이상의 수식을 통해 다중 레이트 멀티홉 무선 네트워크 환경에서 인트라세션 네트워크 코딩을 사용하였을 때 종단간 최대 처리율을 구할 수 있다. 또한 도출된 동시 전송 집합의 시간 비율 λ_a 를 통해 전송 스케줄링을 결정할 수 있다.

III. 성능 평가

이번 장에서는 두 가지 성능평가를 진행하였다. 첫째로, 단일채널 단일 라디오의 시스템에서 인트라세션 네트워크 코딩을 통해 기존의 단일 레이트 전송과 본 논문에서 제안한 다중 레이트 전송의 최대 처리율을 선형 계획법을 이용하여 각각 측정하고 비교하였다. 두 번째로, 다중 레이트 전송에서 기회주의적 라우팅을 사용한 전송과 인트라세션 네트워크 코딩을 사용한 전송의 최대 처리율을 측정하여 비교하였다. 선형 계획법의 문제 해결을 위해 MATLAB과 lp_solve 라이브러리를 기반으로 한 lp_solve IDE 프로그램을 사용하여 성능평가를 진행하였다.

첫 번째 성능평가에서는 4×4 의 그리드 토폴로지를 사용하였으며, 전송 속도 R, 1.5R, 2R에 대하여 각각 단일 레이트의 처리율과 다중 레이트 처리율을 비교하였다. 노드 위치는 아래와 같이 설정하였다.

$$\{(X, Y) = (a, b), a, b = 0, 1, 2, 3\}$$

전송 범위는 전송 속도에 따라서 결정되었으며 간섭 범위는 전송 범위와 같도록 설정하였다. 근원지 노드는

(0,0), 목적지 노드는 (3,3)으로 하여 단일 레이트와 다중 레이트에서의 최대 처리율을 비교하였다.

그림 1에 이상의 성능평가 결과를 나타내었다. 그림 1에서 1, 2, 3번은 단일 레이트의 처리율이며, 4, 5번은 다중 레이트의 처리율이다. 다중 레이트를 사용할 경우 단일 레이트의 경우보다 처리율이 증가하는 것을 볼 수 있다.

다음으로 그리드 토폴로지에 이어 랜덤 토폴로지에서 성능평가를 수행하였다. 랜덤 토폴로지에서는 $50units \times 50units$ 의 정사각형 영역에 35개의 노드를 랜덤하게 배치하여 좌측 하단의 노드를 근원지 노드로, 우측 상단의 노드를 목적지 노드로 선택하였다. 그리고 전송 속도 R, 2R, 4R에 대하여 그리드 토폴로지와 동일한 방식으로 단일 레이트와 다중 레이트에서의 최대 처리율을 측정하여 비교하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림 2의 2, 3, 4, 5번에서 2, 3, 4번은 단일 레이트의 처리율이며, 5번은 다중 레이트의 처리율이다. 본 결과를 통해 그리드 토폴로지에서와 마찬가지로 랜덤 토폴로지에서도 단일 레이트를 사용할 때보다 다중 레이트를 사용할 때 처리율이 증가하는 것을 알 수 있다.

또한 그림 2에서는 동일한 랜덤 토폴로지에서 전송 속도 R, 2R, 4R에 대하여 기회주의적 라우팅 방법^[2]과 인트라세션 네트워크 코딩 방법에서의 처리율을 비교하였다. 그림 2의 1은 기회주의적 라우팅 방식을 사용한 결과이며, 5번은 본 논문에서 제안한 인트라세션 네트워크 코딩 방식을 이용한 결과이다. 성능평가 결과를 통해 인트라세션 네트워크 코딩 방법이 기회주의적 라

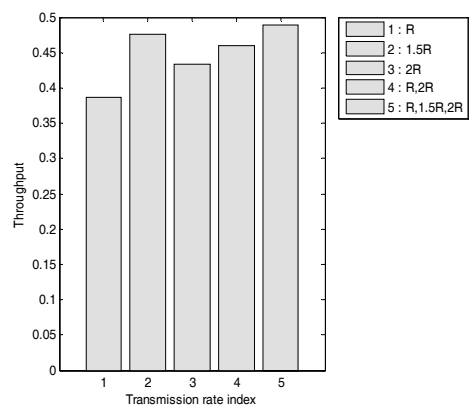


그림 1. 그리드 토폴로지에서 단일 레이트와 다중 레이트의 처리율

Fig. 1. Throughput under single rate and multirate in grid topology.

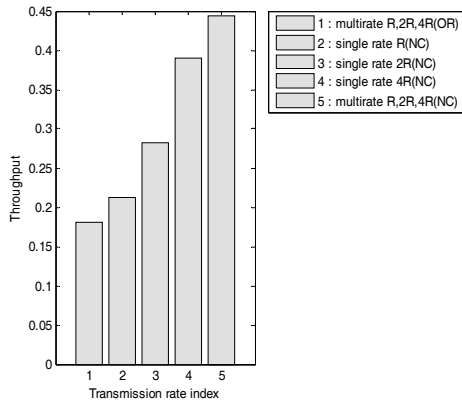


그림 2. 랜덤 토폴로지에서 단일 레이트와 다중 레이트의 처리율 및 기회주의적 라우팅 방법과 인트라세션 네트워크 코딩 방법의 처리율

Fig. 2. Throughput under single rate and multirate, and opportunistic routing and intrasession network coding in random topology.

우딩 방법에 비하여 처리율이 상당히 증가함을 알 수 있다.

이상의 두 가지 성능평가 결과를 종합적으로 볼 때, 다중 레이트 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서 인트라세션 네트워크 코딩 방법을 통해 제안한 레이트 선택 방법은 처리율 향상에 적합한 방법임을 입증해 주고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 단일 레이트 멀티 홉 네트워크 환경을 다중 레이트로 확장하고 인트라세션 네트워크 코딩을 통한 최대 처리율 향상을 위하여 네트워크 모델을 구상하고 레이트 선택 방법을 제시하였다. 또한 네트워크 코딩 수식과 선형계획법을 구성하여 최대 처리율을 도출하였다. 성능평가를 통하여 다중 레이트 활용이 단일 레이트에 비하여 높은 처리율을 가지며, 다중 레이트 인트라세션 네트워크 코딩 방법이 다중 레이트 기회주의적 라우팅 방법에 비하여 향상된 처리율을 얻었다. 본 논문의 연구는 다중 레이트 활용을 위한 레이트 선택 방법과 네트워크 코딩을 통하여 무선 네트워크의 처리율 및 용량 향상에 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] D. Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris,

“A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing,” in Proc. ACM MobiCom’03, San Diego, CA, Sep. 2003.

[2] K. Zeng, W. Lou, and H. Zhai, “Capacity of opportunistic routing in multi-rate and multi-hop wireless networks,” *IEEE Trans. Wireless commun.*, vol. 7, no. 12, pp. 5118-5128, Dec. 2008.

[3] H. Dubois-Ferriere, M. Grossglauser, and M. Vetterli, “Least-cost opportunistic routing,” School of Computer and Communication Sciences, EPFL, Technical Report LCAV-REPORT-2007-001, 2007.

[4] X. Zhang and B. Li, “Optimized multipath network coding in lossy wireless networks,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 27, no. 5, pp. 622-634, June 2009.

[5] 서경수, 윤원식, “멀티라디오/멀티채널 멀티 홉 무선 네트워크에서 처리율 향상을 위한 인트라세션 네트워크 코딩,” 전자공학회논문지, 제 48권 TC편, 제 10호, 29-34쪽, 2011년 10월.

[6] T. Ho and D. S. Lun, *Network Coding : An Introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.

저 자 소 개



박 무 성 (학생회원)
2011년 아주대학교 전자공학부
학사 졸업.
2011년~현재 아주대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야 : 무선네트워크, 이
동통신>



윤 원 식 (정회원)-교신저자
1984년 서울대학교 제어계측
공학과 학사 졸업.
1986년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 석사 졸업.
1991년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 박사 졸업.

1991년 금성전기 선임연구원
1994년 LG정밀 책임연구원
1995년 University of Victoria 방문교수
2001년 콘텔라 CTO
2007년 University of Florida 방문교수
1994년~현재 아주대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크>