

논문 2011-48TC-10-5

# 멀티라디오/멀티채널 멀티 홉 무선 네트워크에서 처리율 향상을 위한 인트라세션 네트워크 코딩

(Intra-session Network Coding for Improving Throughput in Multi-Radio Multi-Channel Multi-Hop Wireless Networks)

서 경 수\*, 윤 원 식\*\*

(Kyeongsu Seo and Wonsik Yoon)

## 요 약

본 논문에서는 멀티 홉 무선 네트워크의 처리율을 향상시킬 수 있는 멀티라디오/멀티채널에서의 네트워크 코딩 방법을 제시한다. 무선 네트워크의 처리율은 노드간 동일 채널 간섭과 무선 링크의 전송손실에 의해 제한을 받는다. 무선 네트워크에서 멀티라디오/멀티채널 환경은 무선노드의 채널 간섭 및 채널 경쟁을 줄여 주며, 네트워크 코딩은 스케줄링의 복잡성을 줄이고 링크의 사용을 늘려 처리율 증가를 가져올 수 있다. 본 논문에서는 멀티 홉 네트워크상에서 효율적인 처리율 향상을 위해 네트워크의 수학적 모델링과 선형계획법을 이용하여 인트라세션 네트워크 코딩에서의 채널 할당 및 전송 스케줄링 방법을 제안한다. 또한 AMPL과 CPLEX를 이용하여 인트라세션 네트워크 코딩 방법의 성능을 시험한다. 시험결과 멀티 홉 무선 네트워크의 인트라세션 네트워크 코딩이 일반적인 라우팅보다 처리율의 향상을 가져온다.

## Abstract

We present a network coding scheme which is designed for improving throughput in multi-hop wireless network with multi-radio multi-channel. The co-channel interference and unreliability of wireless transmissions cause the wireless network to reduce throughput. In wireless network, multi-radio multi-channel technology shows benefit to cut down channel interferences and contentions. And network coding can reduce the complexity of scheduling and improve throughput by increasing usage of links in wireless network. In this paper, we propose a method of channel assignment and transmission scheduling in intra-session network coding that efficiently improve throughput for multi-hop wireless network by using mathematical modeling and linear programming. Moreover, we evaluate the performance of the intra-session network coding scheme by using AMPL with CPLEX. The simulation results show that intra-session network coding can achieve better throughput than traditional routing.

**Keywords :** intra-session network coding, throughput, linear programming

## I. 서 론

오늘날 멀티 홉 무선 네트워크는 쉬운 확장성과 넓은

응용범위로 인해 많은 주목을 받고 있다. 멀티 홉 무선 네트워크는 노드간 동일채널 간섭과 무선 링크의 전송 손실에 의해 처리율에 제한을 받는다. 동일채널 간섭은 주파수가 같은 동일 채널의 둘 또는 그 이상의 전파가 수신기에 간섭하여 장애를 일으키는 현상이며, 무선 환경의 특성상 가변적인 무선 링크로 인해 전송손실이 발생한다.

최신의 무선통신 기술중에서 네트워크의 처리율을 증가시킬 수 있는 하나의 방법으로 멀티라디오와 멀티

\* 학생회원, \*\* 정회원, 아주대학교 전자공학부  
(Department of Electrical and Computer Eng., Ajou University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0022635)

접수일자: 2011년4월12일, 수정완료일: 2011년10월17일

채널의 사용에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다<sup>[1~3]</sup>. 멀티라디오/멀티채널 환경에서는 하나의 노드에서 멀티라디오 인터페이스를 설치하게 되면 각 라디오에서 서로 다른 직교채널을 사용할 수 있으므로 노드간 동시전송이 가능하게 된다. 이로 인해 무선노드의 채널 간섭 및 채널 경쟁을 줄여 처리율의 증가를 가져온다. 기회주의적 라우팅 (Opportunistic Routing) 또한 무선네트워크의 성능향상 방법으로 최근 주목받아 왔다<sup>[4~7]</sup>. 기회주의적 라우팅은 기존의 라우팅 방식보다 무선링크를 효율적으로 사용하여 처리율을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 노드가 증가할 경우 기회주의적 라우팅은 통신 대기시간의 증가를 가져오는 패킷 중복성 검사로 인해 성능 저하를 가져올 수 있다. 이러한 기회주의적 라우팅의 성능저하를 극복할 수 있는 방법으로 네트워크 코딩에 의한 전송방법이 제시되었다<sup>[8]</sup>. 네트워크 코딩이란 네트워크 계층에서 이루어지는 코딩기법으로 중간 노드에서 수신된 서로 다른 패킷을 조합하여 전송하는 것을 말한다<sup>[9]</sup>. 일반적인 라우팅 방법에 비해 네트워크 코딩을 사용할 경우 서로 다른 노드에게 어떤 패킷을 보내야 할지 정보제공을 할 필요가 없으므로 스케줄링이 간소화되며 처리율의 증가를 가져온다. 따라서 위에서 제시한 멀티라디오/멀티채널과 네트워크코딩 방법을 함께 적용하면 멀티 홉 네트워크상에서 보다 효율적인 처리율 향상을 기대할 수 있을 것이다.

이러한 분석을 기초로 하여 멀티라디오/멀티채널 환경에서 네트워크 코딩을 사용하는 경우 수학적 모델링 방법을 통해 소스와 목적지 간에 최대 처리율을 구할 수 있다. 최대 처리율은 구하기 위해서는 최적화된 채널 할당 및 전송 스케줄링 방법을 함께 고려해야 한다.

본 논문에서는 위에서 제시한 전송 방법으로 네트워크의 수학적 모델링과 선형계획법을 이용하여 네트워크 코딩에서의 채널 할당 및 전송 스케줄링 방법을 제시하고 소스와 목적지간의 최대 처리율을 구한다. 또한 실험을 통해 일반적인 라우팅 방법과 처리율을 비교하여 제시된 전송방법이 멀티라디오/멀티채널 멀티 홉 환경에서 처리율 향상을 가져오는 것을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 모델 및 최대 처리율을 구하기 위한 프레임워크를 구성하고 III장에서는 제시된 최적화 방법을 통해 AMPL<sup>[10]</sup> 및 CPLEX<sup>[11]</sup>를 이용한 시뮬레이션 및 결과를 분석한다. 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 본 론

### 1. 시스템모델

$N$ 개의 노드들로 이루어진 무선 네트워크에서 각 노드는 하나 또는 그 이상의 인터페이스 카드를 가지고 있으며, 이는 멀티라디오를 의미한다. 각각의 노드  $i$ 의 라디오 수는  $r_i, i=1, \dots, N$  라고 가정한다. 네트워크상에서 어떠한 채널 간섭이 없는 이용 가능한  $K$ 개의 직교채널들이 있으며, 하나의 라디오는 다른 채널을 사용할 수 있는 채널 스위칭 기능을 가지고 있는 경우를 고려한다. 노드  $i$ 의 전송범위를  $T_i$ 라 하고, 노드  $i$ 와 노드  $j$ 간의 거리를  $d_{ij}$ 라고 한다. 두 노드  $i$ 와  $j$ 는  $d_{ij} \leq T_i$ 일 때 동일한 채널을 사용하여 전송이 이루어진다. 단순화를 위해서 모든 라디오와 채널을 통한 각 노드의 데이터율  $R_i$ 는 동일하며, 무선 링크의 특성상 각 전송링크는 하나의 패킷수신비율만을 가진다. 노드의 집합중에서 정보를 발생하는 노드를 소스노드라고 하고, 정보를 수집하는 노드를 목적노드라고 한다. 네트워크 전송 경로 안에서 브로드 캐스트 방식으로 정보를 전달하는 노드를 전송노드라고 하고, 전송노드의 전송 범위안에 있는 모든 노드를 주변노드라고 한다. 주변 노드중 전송노드에서 정보를 받아 다음 전송노드가 되는 것을 포워딩노드라고 한다. 본 논문에서는 하나의 소스노드와 하나의 목적노드를 가지고, 노드사이의 링크는 방향성이 있다고 가정한다. 마지막으로 모든 링크가 전송할 수 있는 정보의 양은 링크 용량으로 제한된다.

### 2. 인트라세션 네트워크 코딩 및 전송모델

기존의 멀티 홉 무선네트워크에서 라우팅은 최적의 라우팅 경로를 결정하고 라우팅 경로의 노드는 전달받은 패킷을 다음 노드에게 전송한다. 그러나 무선 네트워크상에서의 이와 같은 전송방식은 높은 에러율과 채널 특성의 변화에 따라 안정적인 라우팅 경로를 설정하는데 어려움이 있다. 이러한 무선네트워크의 특징을 효율적으로 사용하기 위해서 기회주의적 라우팅 기법이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 기회주의적 라우팅은 패킷 중복을 피하기 위해 전송노드로부터 전송범위 안에 있는 주변노드들중 목적지에 가장 가까운 노드에 우선순위를 두어 다음 포워딩노드를 결정한다. 하지만 기회주의적 라우팅의 이러한 특성은 거대한 무선 홉 환경에서 스케줄링의 복

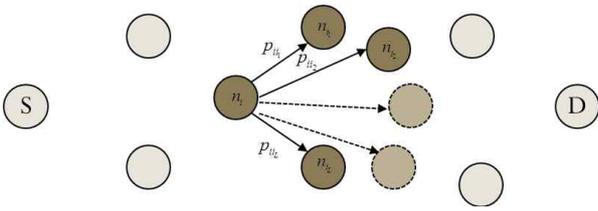


그림 1. 전송모듈의 예  
Fig. 1. An example of transmission module.

잡성과 포워딩 노드의 사용 대기시간 증가로 성능저하를 가져온다. 이를 개선하기 위한 방법으로 네트워크 코딩방법이 제시되었다. 멀티캐스트 성능향상을 위해서 처음 제한된 네트워크 코딩<sup>[6]</sup>은 현재 무선통신망<sup>[13]</sup>까지 응용분야를 넓혀 많은 연구가 진행되고 있으며, 네트워크 성능향상을 보여주었다. 본 논문에서는 하나의 동일한 세션 안에서 네트워크 코딩이 이루어지는 인트라세션 네트워크코딩<sup>[12]</sup>을 이용하여 전송 모듈을 생성하고 노드간 통신이 이루어진다. 인트라세션 네트워크 코딩은 전송노드보다 목적지에 가까운 전송범위 안에 있는 모든 주변 노드들이 무선 네트워크의 브로드 캐스트 특성에 의해서 동시에 포워딩 노드가 될 수 있다. 이는 스케줄링의 복잡성을 줄이고 무선네트워크상에서 링크의 사용을 늘려 링크의 전송손실에 따른 처리율 감소를 줄일 수 있다.

노드  $n_i$ 의 주변 노드중  $n_i$  보다 목적지에 가까운 노드의 집합을 포워딩 노드 집합이라고 하고, 이를 그림 1에 도시화하였다. 이를 수식적으로 표현하자면 포워딩 노드 집합  $F_i = \{n_{i_1}, n_{i_2}, \dots, n_{i_L}\}$ 이며  $n_i$ 와 같은 동일 채널상에서 전송노드  $n_i$ 로부터 패킷을 수신받는다. 또한 본 논문에서는 노드  $n_i$ 와  $F_i$ 를 하나의 전송모듈로 두어  $TM = (n_i, F_i)$ 로 정의한다.  $n_i$ 와  $F_i$ 에는 각각의 패킷수신비율  $p_{i_1}, \dots, p_{i_L}$  ( $1 \leq q \leq L$ )을 가진 링크  $l_{i_1}, \dots, l_{i_L}$ 가 있다.

### 3. 동시 전송 집합

본 절에서는 동시 전송 집합을 구성하기 위한 제약식과 채널할당방식을 제시한다.

네트워크상에서 존재하는 하나의 TM 또는 여러 개의 TM들이 동일한 시간에 동작이 이루어질 수 있다. 네트워크상에서 모든 TM들의 집합 중에서 같은 시간에 동작되는 TM들의 집합을 동시 전송 집합이라고 한다. 본 논문에서 사용하는 동시 전송 집합은 참고문헌

[3]의 CTP (Concurrent Transmission Pattern) 방식과 유사하다. 이는 서로 다른 동시 전송 집합의 시분할 스케줄링 방법과 함께 각 링크용량 제한조건과 범위를 얻을 수 있는 이점을 가지고 있다.

하지만 본 논문에서 제안하는 동시 전송 집합은 참고 문헌 [3]과는 달리 하나의 전송노드에서 전송 범위 안에 있는 주변 노드가 모두 포워딩 노드가 될 수 있다. 따라서 각 링크별로 동시 전송 집합을 구성해야 하는 것이 아니라, 하나의 노드와 연결된 포워딩 노드 집합의 모든 링크들을 기본으로 해서 동시 전송 집합이 만들어진다. 또한 동시 전송 집합은 멀티라디오 시스템 안에서 동일 채널간섭과 각 노드에서 사용하는 라디오 수의 제한조건을 만족해야 한다. 따라서 다음과 같은 제한조건들을 통해 동시 전송 집합을 구성한다.

$v_i^k$ 는 채널  $k$  ( $1 \leq k \leq K$ )를 사용하는  $i$ 번째 노드라 하고, 전송노드 또는 수신노드가 될 수 있다. 하나의 무선링크  $l_{ij}^k$  ( $i \neq j$ )는  $v_i^k$ 가 전송 노드,  $v_j^k$ 가 수신노드이고  $v_j^k$ 가  $v_i^k$ 의 전송범위 안에 있는 링크를 의미한다.  $l_{ij}^k$ 는  $v_j^k$ 가  $v_i^k$ 가 아닌 다른 전송노드의 간섭범위 안에 속해 있지 않을 때 링크 사용이 가능하다. 네트워크에서 사용하는 노드와 링크의 집합을 각각 다음과 같이 표현한다.

$$V = \{v_i^k | i = 1 \dots N, k = 1 \dots K\} \tag{1}$$

$$E = \{l_{ij}^k | i, j = 1 \dots N, i \neq j, k = 1 \dots K\} \tag{2}$$

모든 무선 링크에서 하나의 동시 전송 집합  $T_\alpha$ 는 다음과 같이 지시변수  $X_{ij}^{k\alpha}$ 를 이용하여 동일 시간에 사용되는 링크들의 기준으로 다음과 같이 표현할 수 있다

$$T_\alpha = \{X_{ij}^{k\alpha} | l_{ij}^k \in E\} \tag{3}$$

$$X_{ij}^{k\alpha} = \begin{cases} 1, & l_{ij}^k \text{ is usable} \in T_\alpha \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

아래의 지시변수  $\epsilon_i^{k\alpha}$ 는 동시 전송 집합  $T_\alpha$ 에서  $v_i^k$ 가 하나의 전송노드나 수신노드가 될 수 있을 때 노드의 사용 유무를 나타낸다.

$$\epsilon_i^{k\alpha} = \begin{cases} 1, & v_i^k \text{ is usable} \in T_\alpha \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5}$$

하나의 동시 전송 집합  $T_\alpha$ 에의 전송모듈은 다음과 같이 동일시간에 사용되는 노드들을 기준으로 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$(v_i^k, \{v_j^k | l_{ij}^k \in E, X_{ij}^{k\alpha} \equiv 1\}) \quad (6)$$

채널  $k$ 를 사용하는 전송노드  $v_i^k$ 는 인트라세션 네트워크 코딩의 특성상 여러 개의 수신 노드들에게 패킷을 전송할 수 있다. 하지만 수신 노드는 하나의 전송 노드로부터만 패킷을 받을 수 있다. 따라서 다음과 같은 제약식이 만들어진다.

$$\epsilon_i^{k\alpha} = \min(1, \sum_{l_{ij}^k \in E} X_{ij}^{k\alpha} + \sum_{l_{ji}^k \in E} X_{ji}^{k\alpha}), \quad (7)$$

$$\forall i = 1 \dots N, k = 1 \dots K$$

비록 하나의 노드에서 서로 간섭이 이루어지지 않은 직교채널들을 가지고 다수의 링크를 사용하려 해도 하나의 노드에서 사용할 수 있는 채널의 수는 노드에 설치된 라디오수를 초과할 수 없다. 따라서 다음과 같은 제약식이 설정된다.

$$\sum_{k=1}^K \epsilon_i^{k\alpha} \leq r_i, \quad \forall i = 1 \dots N \quad (8)$$

만약 두개의 무선링크들이 동일한 채널에서 동시에 사용되면 하나의 전송노드를 공유하거나 두 개의 링크들은 서로 간섭이 이루어지지 않는 범위에 있다. 따라서 식 (10)의 지시변수를 이용하여 다음과 같은 제약식을 설정한다.

$$X_{ij}^{k\alpha} + X_{pq}^{k\alpha} \leq 1 + I(l_{ij}^k, l_{pq}^k), \quad \forall k = 1 \dots K \quad (9)$$

$$I(l_{ij}^k, l_{pq}^k) = \begin{cases} 1, & i = p, \text{ or } l_{ij}^k \text{ and } l_{pq}^k \\ & \text{do not interfere} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

제약식 (7), (8), (9)에 의해서 모든 동시 전송 집합의 구성과 채널할당이 이루어진다.

#### 4. 최대 처리율을 위한 선형계획법

네트워크상에서의 모든 동시 전송 집합이  $\{T_1, T_2 \dots T_M\}$  이면 언제든지 하나의 동시 전송 집합의 전송노드들은 동작이 이루어져야 한다.  $\lambda_\alpha$ 를 동시 전송 집합  $T_\alpha$  ( $\alpha = 1 \dots M$ )에 관한 시간비율이라고 하면 소

스노드와 목적노드 사이의 최대 처리율을 얻기 위한 문제는 최적화된 동시 전송 집합의 스케줄링 방법으로 변환된다. 최적화 문제를 풀기 위한 방법으로 선형계획법을 사용한다. 따라서 다음과 같은 제약조건식을 설정하고 선형계획법을 통해 인트라 세션 네트워크 코딩의 소스노드와 목적노드사이의 최대처리율을 구할 수 있다.

$$\max \gamma \quad (11)$$

subject to :

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l_{ij}^k} \sum_{\alpha=1}^M x_{ij}^{k\alpha} - \sum_{k=1}^K \sum_{l_{ji}^k} \sum_{\alpha=1}^M x_{ji}^{k\alpha} = 0, \quad (12)$$

$$\forall i = 1 \dots n, i \neq s, i \neq d$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l_{sj}^k \in E} \sum_{\alpha=1}^M x_{sj}^{k\alpha} = \gamma \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l_{jd}^k \in E} \sum_{\alpha=1}^M x_{jd}^{k\alpha} = -\gamma \quad (14)$$

$$x_{ij}^{k\alpha} \geq 0, \quad \forall k = 1 \dots K, l_{ij}^k \in E \quad (15)$$

$$\sum_{\alpha=1}^M \lambda_\alpha \leq 1 \quad (16)$$

$$\lambda_\alpha \geq 0, \quad \forall \alpha = 1 \dots M \quad (17)$$

$$x_{ii_q}^{k\alpha} \leq \lambda_\alpha R_i p_{ii_q}^k, \quad 1 \leq q \leq L \quad (18)$$

위의 제한조건식에서  $s$ 는 하나의 소스노드로서 어떠한 입력링크를 가지고 있지 않고,  $d$ 는 목적노드로서 어떠한 출력링크를 가지고 있지 않다.  $x_{ij}^{k\alpha}$ 와  $x_{ii_q}^{k\alpha}$ 는 의사 결정 변수로 동시 전송 집합  $T_\alpha$ 에서 각각 링크  $l_{ij}^k$ 와  $l_{ii_q}^k$ 의 트래픽 흐름을 의미한다. 식 (11)는 선형 계획법에서 최대처리율을 얻기 위한 목적함수로  $\gamma$ 는 처리율을 의미한다. 식 (12)는 플로우 보존법칙을 의미하는 제한조건식으로 네트워크상에서 소스노드와 목적노드를 제외한 노드들은 모든 입력 링크의 트래픽 흐름과 모든 출력 링크의 트래픽 흐름은 동일함을 의미한다. 식 (13)과 식 (14)는 모든 동시 전송 집합의 소스노드로부터 목적노드로 보내지는 모든 채널의 모든 링크들의 트래픽 흐름의 총합과 목적노드에서 모든 입력링크의 총합

은 최대 처리율을 의미한다. 식 (15)는 트래픽 흐름에 관한 제한 조건식으로 각 링크의 트래픽 흐름의 크기는 반드시 0보다 크거나 같음을 의미한다. 최적화후에 얻어진  $x_{ij}^{k\alpha}$ 가 0보다 크면 네트워크의 최대처리율을 얻기 위해 동시 전송 집합  $T_\alpha$  안에서 채널  $k$ 를 사용하는 전송 노드  $v_i^k$ 가 사용됨을 알 수 있다. 식 (16)은 동시 전송 집합의 스케줄링 제한 조건식으로 어느 시간이든 적어도 하나의 동시 전송 집합은 스케줄링되어 동작되어야함을 의미한다. 식 (17)는 스케줄링된 시간비율의 제한조건식으로 시간비율은 반드시 0보다 크거나 같아야한다. 여기서  $M$ 은 동시 전송 집합의 수에 의해서 결정되어지며, 최적화 후에  $\lambda_\alpha$ 가 0인 경우는 네트워크상에서 최대 처리율을 얻기 위해서 동시 전송 집합  $T_\alpha$ 가 사용되지 않음을 의미한다. 식 (18)은 동시 전송 집합 안에 있는 전송노드에서 각각의 포워딩 노드로의 트래픽 흐름은 주어진 제한 조건식에 의한 링크용량 범위를 초과할 수 없다는 의미이다. 위에서 제시한 선형계획법을 통해 멀티라디오/멀티채널 멀티홉 무선네트워크에서 인트라세션 네트워크 코딩 전송 방법의 소스노드와 목적노드의 최대 처리율을 구할 수 있으며, 추가적으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 동시 전송 집합  $\{T_\alpha | \alpha = 1 \dots M\}$ 은 네트워크상에서 각 노드의 라디오 채널 할당을 의미하고, 선형계획법에 의해 얻어진  $\{\lambda_\alpha | \alpha = 1 \dots M\}$ 는 전송 스케줄링을 의미한다.

### III. 실험

본 장에서는 싱글라디오/싱글채널 시스템과 멀티라디오/멀티채널 시스템상에서 전통적인 라우팅과 본 논문이 제안한 인트라세션 네트워크 코딩 전송 방법의 최대 처리율을 선형계획법에 의해서 각각 측정하고 비교하였다. 실험은 선형계획법 문제를 위한 대수학적인 모델링 언어인 AMPL<sup>[10]</sup>과 수학적 프로그래밍 엔진인 CPLEX<sup>[11]</sup>를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 4×4 그리드 토폴로지를 두고 패킷 수신 비율에 따른 처리율을 비교하였으며, 또한 11개의 노드로 랜덤 토폴로지를 구성하여 10개의 쌍으로 이루어진 노드간 처리율을 측정하였다. 우선 그리드 토폴로지에서도 각 노드의 위치를 다음과 같이 정의하였다.

$$\{(X, Y) = (0.7 \times m, 0.7 \times n), m, n = 0, 1, 2, 3, 4\}$$

전송범위=1, 간섭범위=1.2로 하고 노드간 각 링크의 패킷 수신비율은 모두 동일하다고 가정하였다. 위치가 (0,0)인 노드를 소스노드로 두고, 위치가 (3,3)인 노드를 목적노드로 두어 패킷 수신 비율에 따른 전통적인 라우팅 방식과 인트라세션 네트워크 코딩 전송 방식의 최대 처리율을 측정하였다.

랜덤 토폴로지의 구성은 200units×300units인 직사각형 크기의 네트워크 영역 안에서 랜덤하게 11개의 노드를 생성하였다. 왼쪽 코너에 위치한 노드를 하나의 소스 노드로 두고 남은 10개의 노드를 목적노드로 하여 전통적인 라우팅 방식과 인트라세션 네트워크 코딩의 최대 처리율을 측정하였다. 소스노드와 목적노드사이의 전송노드와 포워딩 노드는 이미 제시한 전송모듈방법에 의해서 생성되었다. 랜덤 토폴로지에서는 각 노드에 연결된 링크는 거리에 따른 패킷수신비율을 가지고 있으며 전송범위와 간섭범위를 각각 100units와 200units로 가정하였다. 시뮬레이션 결과값을 위해 전통적인 라우팅 방식을 TR로 인트라세션 네트워크 전송 방식을 IN으로 각각 표현하였고, 각 노드가 가지고 있는 라디오와 채널의 수는 “ $\alpha R \beta C$ ”와 같다. 여기서  $\alpha$ 는 라디오의 수를 의미하고  $\beta$ 는 채널의 수로 표현한다. 그림 2와 3은 그리드 토폴로지와 랜덤 토폴로지에서의 시뮬레이션 결과값을 각각 보여준다.

시뮬레이션 결과에 따라 라디오와 채널 그리고 패킷 전송비율의 증가는 전통적인 라우팅과 제안한 인트라세션 네트워크 코딩 방식 양쪽 모두 처리율의 증가를 가져온다. 그리드 토폴로지와 랜덤 토폴로지에서도 모두 라디오와 채널 상태 변화에 따라 제안된 인트라세션 네트

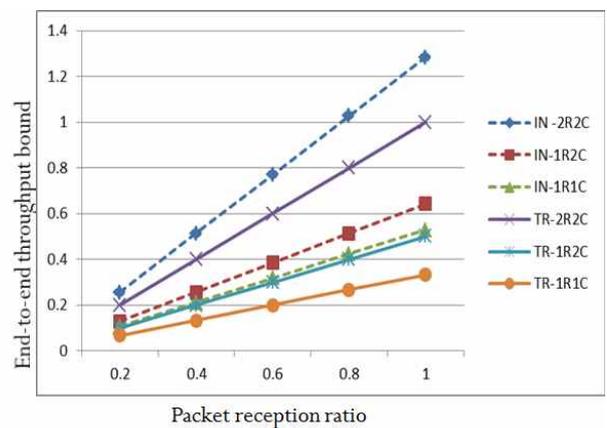


그림 2. 그리드 토폴로지 상에서 패킷 수신 비율에 따른 처리율

Fig. 2. Throughput under different packet reception ratios in grid topology.

워크 코딩 방법이 전통적인 라우팅 방법보다 더 높은 처리율을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과 본 논문에서 제안한 인트라세션 네트워크 코딩전송 방법은 일반적인 라우팅보다 더 효율적인 처리율을 보임을 확인할 수 있었다. 따라서 인트라세션 네트워크 코딩은 네트워크상에서 효율적인 처리율을 얻을 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 멀티라디오/멀티채널 멀티 홉 무선 네트워크에서 처리율을 향상시킬 수 있는 인트라세션 네트워크 코딩 전송 방법을 제시하고 수학적 모델링과 실험계획법을 통한 프레임워크를 구성하였다. 본 논문에서 제시된 모델링 방법을 통해서 소스노드와 목적노드 사이의 최대 처리율을 계산하고 네트워크상에서의 채널 할당 및 스케줄링 방법을 보여주었다. 시뮬레이션에서 보여준 것처럼 인트라세션 네트워크 코딩 전송 방법은 기존의 라우팅보다 더 좋은 처리율을 가진다. 본 논문의 연구는 네트워크 코딩을 이용한 실용적인 채널 할당과 라우팅 프로토콜 구현에 기여할 수 있다.

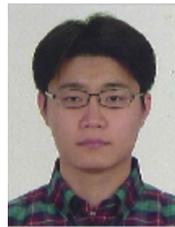
#### 참 고 문 헌

- [1] A. Grimshaw, M. Morgan, D. Merrill, H. Kishimoto, A. Savva, D. Snelling, C. Smith, and D. Berry, "An Open Grid Services Architecture Primer," *IEEE Computer*, vol. 42, pp. 27-34, Feb. 2009.
- [2] J.S. Erickson, S. Spence, M. Rhodes, D. Banks, J. Rutherford, E. Simpson, G. Belrose, and R. Perry, "Content-Centered Collaboration Spaces in the Cloud," *IEEE Internet Computing*, vol. 13, pp. 34-42, Sep. 2009.
- [3] G. D. Abowd, M. Ebling, H. W. Gellersen, G. Hunt & H. Lei (eds), "Special Issue on Context-Aware Computing," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 1, 2002.
- [4] G. Chen and D. Kotz, "A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research," Dartmouth Computer Science Technical Report TR2000-381. Available at <ftp://ftp.cs.dartmouth.edu/TR/TR2000-381.pdf>.
- [5] E. Syukur, D. Cooney, L. S. Wai, and P. Stanski, "Hanging Services: an investigation of context-sensitivity and mobile code for localised services," in Proc. Mobile Data Management, pp.

62 - 73, 2004.

- [6] C. Lee, D. Nordstedt, and S. Helal, "Enabling smart spaces with OSGi," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 2, pp. 89 - 94, July 2003.
- [7] R. S. Hall and H. Cervantes, "Challenges in building service-oriented applications for OSGi," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, pp. 144-149, May 2004.
- [8] The Technical Whitepaper of Prosys, "About the OSGi Service Platform," OSGi Alliance, 2004.
- [9] Open Service Gateway Initiative, "OSGi Service Platform (Version 3)," Mar. 2003, <http://www.osgi.org/>

#### — 저 자 소 개 —



서 경 수(학생회원)  
2007년 목원대학교 정보통신  
공학과 학사 졸업  
2010년~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 전자공학부 교수  
<주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크>