

# 효율적이고 공정한 대역폭 할당을 위한 제휴 게임과 협상 게임의 성능 평가

박재성\*

## 요약

공리적 접근 방법을 이용한 제휴 (Coalition) 게임 이론과 협상 (Bargaining) 게임 이론을 이용하여 다수의 노드가 대역폭을 공유하는 환경에서 각 노드의 트래픽 입력율에 따라 공정하고 효율적으로 대역폭을 할당하는 방안들이 제시되어 왔다. 이들 기법들은 게임 이론이 제공하는 수학적 근거에 따라 공리적 공정성을 만족한다. 그러나 이들 게임들의 공리는 서로 다르기 때문에 동일 통신 환경에서도 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭은 달라진다. 따라서 본 논문에서는 이들 게임 이론들을 이용하여 대역폭 할당 문제를 모델링하고 다양한 통신 환경에서 각 게임 기법들에 의해 송신 노드에 할당되는 대역폭과 이로 인한 손실율을 정량적으로 비교 분석하였다. 분석 결과 협상 게임은 입력율이 낮은 노드보다 입력율이 높은 노드에게 상대적으로 대역폭을 적게 할당하고 제휴 게임은 송신 노드들의 입력율에 비례하여 대역폭을 할당한다는 것을 보였다.

키워드 : 대역폭 할당 문제, 제휴 게임, 협상 게임

## Performance Evaluation of Coalition and Bargaining Games for Efficient and Fair Bandwidth Allocation

Park Jaesung\*

### ABSTRACT

Fair and efficient bandwidth allocation methods using the coalition game theory and the bargaining game theory following the axiomatic approach have been proposed when sending nodes with different traffic input rate try to share the bandwidth. These methods satisfy the axiomatic fairness provided by the mathematical ground of the game theories. However, since the axioms of the two game models are different from one another, the allocated bandwidths to each sending nodes become different even in the same communication environments. Thus, in this paper, we model the bandwidth allocation problem with these game theories, and quantitatively compare and analyze the allocated bandwidth and loss rate of each sending nodes in various communication environments. The results show that the bargaining game allocates relatively less bandwidth to a node with a higher sending rate than that with a lower sending rate while coalition game allocates bandwidth according to the sending rate of each node.

Keywords : Bandwidth Allocation Problem, Coalition Game, Bargaining Game

### 1. 서론

네트워크 내에서는 다수의 송신 노드들이 동일 수신 노드로 데이터를 전송하는 것이 일반적이다. 이 경우 이들 송신 노드들이 전송한 데이터는 동일 수신 노드의 자원인 대역폭을 공유한다. 이와 같이 한 노드의 대역폭을 다수의 송신 노드가 공유하는 환경에서 수신 노드 자원의 효율적 이용과

송신 노드 사이에 자원의 공정한 분배를 위한 대역폭 할당 기법의 개발이 요구된다. 기존에 제안된 대역폭 할당 기법들은 최대-최소 공정성 (min-max fairness) 기법과[1] 비례적 공정성 (proportional fairness) 기법이[2] 대표적이다. 그러나 최대-최소 공정성 기법은 공유 대역폭의 이용을 측면에서 효율성이 낮으며 비례적 공정성 기법은 특정 노드에 보다 많은 자원을 할당하며 기법 개발을 위해 사용한 노드의 유용성에 대한 정량적인 정의가 어렵다는 문제를 가지고 있다.

이에 따라 위와 같은 대역폭 할당 문제 해결을 위해 게임 이론을 이용한 기법들이 다양하게 제안되고 있다. 게임 이

\* 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과  
논문접수 : 2010년 6월 1일  
수 정 일 : 1차 2010년 6월 25일  
심사완료 : 2010년 6월 25일

론은 다수의 게임 참여자들이 유한한 자원의 획득을 위해 경쟁하는 경우 각 참여자들의 요구 사항이나 획득 자원을 통한 이익에 따라 각 참여자들에게 자원을 공정하고 효율적으로 제공할 수 있는 이론적인 배경을 제공하기 때문에 주로 경제학 분야에서 널리 사용되었다. 그러나 게임이론이 다루고 있는 유한한 자원을 다수의 노드가 공유하는 문제는 네트워크 내에서도 빈번하게 발생하기 때문에 최근 들어 게임이론은 센서 네트워크에서의 MAC (Media Access Control) 프로토콜[14], 인지 라디오[15] 등 다양한 유무선 네트워크 분야에서 사용되고 있다 [16-18].

게임 이론을 이용한 대역폭 할당 기법들은 문제 해결을 위해 비협력(non-cooperative) 게임 이론이나 협력(cooperative) 게임 이론을 이용한다. 비협력 게임은 이성적인 게임 참여자들이 자신들의 이익을 극대화 하기 위해 게임을 진행하며 이로 인한 결과로 내쉬 (Nash) 평형점에 도달한다[3]. 내쉬 평형점에서는 다른 사용자의 이익을 감소시키지 않는 한 각 사용자의 이익을 더 이상 증가시킬 수 없다. 그러나 내쉬 평형점은 파레토 최적 (Pareto Optimal)이지 않다는 것이 밝혀져 있으므로[4] 비협력 게임을 통한 대역폭 할당 기법은 대역폭의 낭비를 초래할 수 있다.

반면에 협력 게임 이론은 다수의 사용자가 한정된 자원을 효율적이고 공정하게 공유하기 위한 이론적인 배경을 제공한다. 이에 따라 협력 게임 중 제휴 (Coalition) 게임을 이용한 대역폭 할당 기법과[5], 협상 (Bargaining) 게임에 의한 대역폭 할당 기법이 제시되었다[6, 7]. 이들 협력 게임 기법들은 공리적 접근 방법에 따라 해를 도출하며 도출된 해는 제시된 공리에 따른 공정성과 효율성을 보장한다. 그러나 이들 게임들의 공리는 서로 다르기 때문에 동일 통신 환경에서도 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭은 달라진다. 즉, 공리적 공정성을 제공하는 각 협력 게임 이론들은 적용된 공리가 다르기 때문에 동일한 환경에서도 특정 노드에게 할당되는 대역폭이 다른 노드에 비해 클 수도 있고 작을 수도 있다. 따라서 주어진 네트워크 환경에 따라 제휴 게임이 협력 게임보다 대역폭 할당 측면에서 우수한 특성을 보일 수도 있고 환경이 달라지는 경우 그 반대의 특성을 보일 수도 있다.

그러나 현재까지는 대역폭 할당 문제를 제휴 게임이나 협력 게임으로 모델링 하는 방법에만 연구의 초점이 맞추어져 있으며 서로 다른 협력 게임 이론이 적용되었을 경우 트래픽 전송율이 상이한 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭 측면에서의 정량적 비교는 이루어 지고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 우선 제휴 게임과 협상 게임의 해를 도출하는데 적용된 공리들을 살펴보고 이들 게임 이론들을 이용하여 대역폭 할당 문제를 모델링한다. 이 후 송신 노드의 트래픽 입력율을 변경시키면서 각 게임 기법들에 의해 송신 노드에 할당되는 대역폭과 이로 인한 손실율을 정량적으로 비교 분석하였다. 분석 결과 협상 게임은 입력율이 낮은 노드보다 입력율이 높은 노드에게 상대적으로 대역폭을 적게 할당하고 제휴 게임은 송신 노드들의 입력율에 비례하여 대역폭을

할당한다는 것을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제휴 게임과 협력 게임을 이용하여 대역폭 할당 문제를 모델링 한 후 송신 노드의 트래픽 입력율에 따라 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭을 결정한다. 3장에서는 수치적인 분석을 통해 제휴 게임 모델과 협상 게임 모델이 송신 노드에게 할당하는 대역폭의 양과 이에 따른 각 송신 노드의 손실율을 정량적으로 비교 분석한 후 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 대역폭 할당 게임

본 절에서는 제휴 게임과 협력 게임을 소개하고 각 게임의 공리적 해의 특징을 살펴본 후 이들게임 이론을 이용한 대역폭 할당 문제의 해를 제시한다.

### 2.1 제휴 게임 모델을 이용한 대역폭 할당 기법

#### 2.1.1 제휴 게임 이론

제휴 게임은  $n$  명의 게임 참여자들로 구성된 집합  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 과 특성 함수  $v: 2^N \rightarrow R_+$ 로 구성된다 ( $[n]$ 은  $N$ 의 멱집합이며,  $R_+$ 는 양의 실수를 나타낸다)[8].  $N$ 의 부분집합  $S$ 에 대해  $S$ 의 특성값  $v(S)$ 는 제휴  $S$ 를 구성하지 않는 다른 참여자들 (이후  $N/S$ 로 표기함)의 행동과는 무관하게 제휴  $S$ 를 구성하는 참여자들에 의해 발생하는 전체 이득을 나타낸다. 특성 함수는  $v(\emptyset)=0$ 이며  $S \cap T = \emptyset$ 이면  $v(S) + v(T) \leq v(S \cup T)$ 인 슈퍼어디티브(superadditive)한 특성을 가지므로 게임 참여자들은 제휴에 참여할 동인을 제공한다.

제휴를 통해 얻어진 이득을 제휴 참가자들에게 분배하는 방법은 무한히 많을 수 있다. 그러나  $v(S)$ 를 제휴 참가자들에게 공정하고 효율적으로 분배하는 방법은 Shapley에 의해 연구되었다[9]. 제휴 게임  $(N, v)$ 의 참여자  $i$ 에 할당되는 값을  $\phi_i(N, v)$ 라고 표기하면 Shapley는 공정성에 대한 다음과 같은 공리를 만족하는 유일한 해가 존재한다는 것을 증명하였다[10].

- 효율성 (Efficiency):  $\sum_{i \in N} \phi_i(N, v) = v(N)$ . 즉, 각 참여자에게 할당되는 이득의 합은 전체 제휴 이득과 같다.
- 대칭성 (Symmetry):  $v(S \cup i) = v(S \cup j)$ 이고  $i, j \in N$ 인  $i, j$ 가 존재하면  $\phi_i(S, v) = \phi_j(S, v)$ 이다. 즉, 제휴의 이득에 기여하는 기여도가 같은 참여자들은 동일한 값을 할당 받는다.
- 무상 보조금 금지 특성 (Dummy subsidy-free):  $v(S \cup i) = v(S)$ 이면  $\phi_i(S, v) = 0$ 이다. 즉, 제휴의 이득에 기여하지 않는 참여자에게 할당되는 값은 0이다.
- 가산성 (Additivity): 제휴 게임  $(N, v)$ 와  $(N, u)$ 에 대해  $\phi_i(S, u+v) = \phi_i(S, u) + \phi_i(S, v)$ 이다. 이와 같은 공리는 서로 다른 게임에 의해 할당되는 값을 연관시킬 수 있는 방안을 제시한다.

위와 같은 공리를 만족하는 유일한 해를 Shapley value (SV)라고 하며 다음과 같이 정의 된다.

$$\phi_i(N, v) = \sum_{S \subset N} \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} [v(S) - v(S-i)] \quad (1)$$

식 (1)에서 s는 제휴 S의 원소의 개수를 나타내며 S - {i}는 S에서 참여자 i를 제외한 나머지 참여자들로 구성된 제휴를 나타낸다.

### 2.1.2 대역폭 할당 제휴 게임

n개의 송신 노드가 용량 C인 노드의 출력 대역폭을 공유하는 경우 대역폭 할당 문제는 각 송신 노드의 트래픽 입력을 고려하여 각 송신 노드에 할당되는 대역폭을 공정하고 효율적으로 결정하는 것이다. 따라서 송신 노드 i의 트래픽 입력율이 a<sub>i</sub>인 경우 대역폭 할당 제휴 게임 (N, v)는 다음과 같이 구성된다.

- N={1,2,...,n}: 게임 참여자 i의 트래픽 입력율이 a<sub>i</sub>인 n개의 송신 노드.
- v(S) = max(0, C - ∑<sub>i∈N/S</sub>a<sub>i</sub>), v(N) = C.

즉, v(S)는 제휴 S에 참여하지 않는 모든 참여자 (N/S)들에게 대역폭을 할당 한 후 남은 잉여 대역폭 나타내며 v(∅)는 송신 노드가 없는 경우를 나타낸다. 이제 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭은 SV인 식 (1)에 의해 결정된다.

## 2.2 협상 게임 모델을 이용한 대역폭 할당 기법

### 2.2.1 협상 게임

협상 게임은 이해 관계가 상충하는 다수의 게임 참여자들이 자신의 효용 (utility)를 극대화 하기 위해 서로의 의견을 조율하는 것으로서 협상의 합의점을 협상 문제의 해라고 한다. 따라서 협상 게임은 게임 참여자와 각 참여자들의 효용을 정량적으로 나타내는 효용 함수 (utility function)로 정의된다[11].

협상 해를 구하는 방법은 비협력 게임의 반복을 통한 전략적 접근 방법과 공리적인 접근 방법으로 구분된다. 그러나 전략적 접근 방법은 반복적인 비협력 게임의 평형점 (equivalent point)를 구해야 하므로 이로 인한 시간 소모가 증가되어 대역폭 할당과 같은 실시간 제어 기법에는 적합하지 않다. 반면 공리적 방법은 특정 공리들을 만족하는 해를 구하는 것이다. 자원 할당 측면에서 공리적 협상 해는 자원이 낭비 없이 효율적으로 이용되고 게임 참여자들은 공평하게 자원을 할당 받는다는 것을 보장한다. 제시된 공리에 따라 NBS(Nash Bargaining Solution), Raiffa-Kalai-Smorodinsky Solution, Modified-Thomson Solution 등의 협상 해가 제안되었으나 대역폭 할당 측면에서 이들은 거의 유사한 성능을 보인다는 것이 밝혀졌기 때문에 [12] 본 논문에서는 대역폭 할당 측면에서 NBS와 제휴 게임의 성능을 비교하였다.

n명이 게임에 참여하고 있으며 게임 참여자 i의 효용 함수를 u<sub>i</sub> ∈ R, 모든 협상 결과를 나타내는 협상 집합을 U, d<sub>i</sub>를 협상이 실패하여 게임 참여자 사이에 협력이 없는 경우 참여자 i의 효용,  $\vec{d}=(d_1, \dots, d_n)$ 를 게임의 협상 실패점이라고 나타내면 협상 게임의 목적은 주어진 (U,  $\vec{d}$ )에 대한 공정한 해를 구하는 것이며, Nash는 다음과 같은 공리를 만족하는 유일한 해 (NBS)가 존재한다는 것을 증명하였다 [11].

- 파레토 최적 (Pareto optimality): 협상 해는 협상 집합에서 결정되며 협상 해 이외의 지점에서 한 참여자의 효용 증대는 타 사용자의 효용 감소를 초래한다.
- 선형 변환에 대한 불변성 (Independence of linear transformation): (U,  $\vec{d}$ )의 선형 변환 V에 의한 새로운 게임 (V(U), V( $\vec{d}$ ))의 해는 원래 협상 게임의 (U,  $\vec{d}$ )의 해와 동일하다.
- 관련성 없는 대안들에 대한 불변성 (Independence of irrelevant alternatives): (U,  $\vec{d}$ )의 해가 u\*이고 U<sub>2</sub> ⊆ U<sub>1</sub>, u\* ∈ U<sub>2</sub>이면 u\*는 (U<sub>2</sub>,  $\vec{d}$ )의 해이다. 즉, 해와 협상 실패점이 포함되도록 협상 집합을 축소시키더라도 협상 해는 동일하다.
- 대칭성 (Symmetry): U가 축  $\vec{u}=(u_1, \dots, u_n)$ 에 대해 대칭이고  $\vec{d}$ 가 그 축 위에 있다면 협상 해도 그 축 위에 있다.

위의 공리들에 따라 다음 식 (2)가 최대가 될 때  $\vec{u}=(u_1^*, \dots, u_n^*)$ 가 NBS가 된다. 즉,

$$\vec{u}^* = \arg \max_{\vec{u}} \left( \prod_{i=1}^n (u_i - d_i) \right) \quad (2)$$

### 2.2.2 대역폭 할당 협상 게임

대역폭 할당의 경우 협상 게임 참여자는 각 송신 노드가 되며 참여자 i의 효용은 할당된 대역폭이 클수록 커진다. 참여자 i에 할당된 대역폭을 b<sub>i</sub>라고 하면 i의 효용 함수는 (u<sub>i</sub>) 처리율인 a<sub>i</sub>/b<sub>i</sub>가 되며 협상 결렬은 대역폭 할당이 되지 않은 것을 의미하므로 d<sub>i</sub> = 0이 된다[6]. 최근의 연구에서는 송신 노드 i의 효용 함수로 처리율을 직접 이용하지 않고 응용 서비스의 특성을 반영한 로그 형태의 효용 함수 (log(1+a<sub>i</sub>/b<sub>i</sub>))가 제안되었다 [7, 13]. 따라서 본 논문에서는 두 가지 형태의 효용 함수를 모두 비교 대상으로 선정하였으며 이후 전자의 경우를 Linear, 후자의 경우를 Log로 표기하기로 한다.

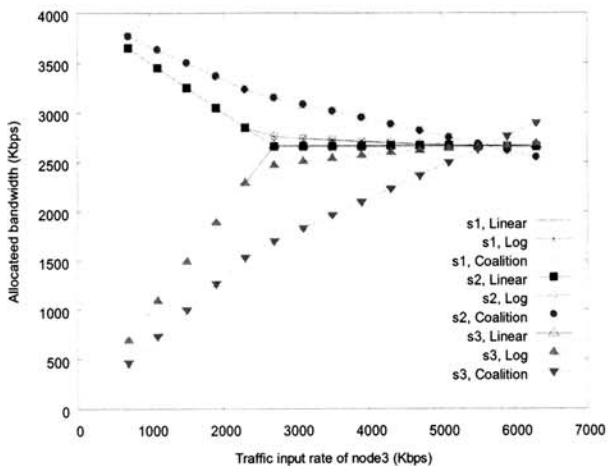
## 3. 성능 평가

본 절에서는 제휴 게임을 이용한 대역폭 할당 기법과 협상 게임을 통한 대역폭 할당 기법의 특성을 C 언어로 구현한 수치적 분석기를 통해 각 노드의 손실율과 공정성 측면

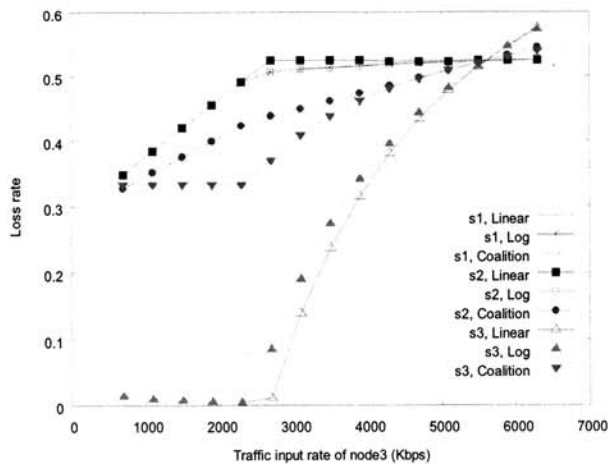
에서 비교한다. 비교를 위해 3개의 송신 노드가 C=8Mbps의 링크 대역폭을 공유하는 환경을 설정하였다. 또한 송신 노드의 트래픽 입력율이 대역폭 할당에 미치는 영향을 고려하기 위해 송신 노드 1 (s<sub>1</sub>)과 송신 노드 2 (s<sub>2</sub>)의 입력율 a<sub>1</sub>과 a<sub>2</sub>를 C의 70%로 매우 높게 설정하거나 혹은 C의 20%로 매우 낮게 고정시킨 후 송신 노드 3 (s<sub>3</sub>)의 입력율을 700Kbps에서 7Mbps로 변화시키면서 각 기법별 특성을 비교하였다.

대역폭 할당 게임 모델들에 의해 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭 특성을 비교하기 위해 (그림 1)~(그림 3)에 각 노드에게 할당되는 대역폭과  $1 - a_i/b_i$ 로 정의되는 손실율(loss rate)을 실험 환경에 따라 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 환경에서 처리율  $a_i/b_i$ 를  $u_i$ 로 직접 사용한 NBS (Linear) 기법은 ( $u_i = \log(1 + a_i/b_i)$ )로 설정된 NBS 기법 (Log)과 거의 유사한 특성을 나타낸다. 또한 제휴 게임 (그림에서 Coalition으로 표현)에 의해 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭은 협상 게임에 의해 할당되는 송신 노드별 대역폭과 차이를 보였다.

s<sub>1</sub>과 s<sub>2</sub>의 트래픽 입력율이 모두 높은 경우 (그림 1) 각



(a) allocated bandwidth

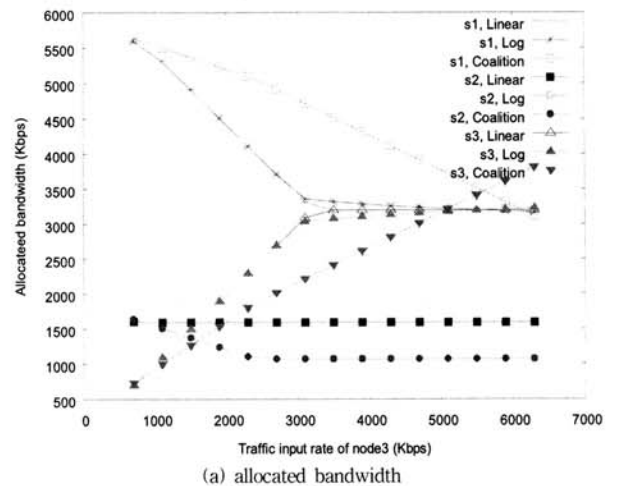


(b) loss rate

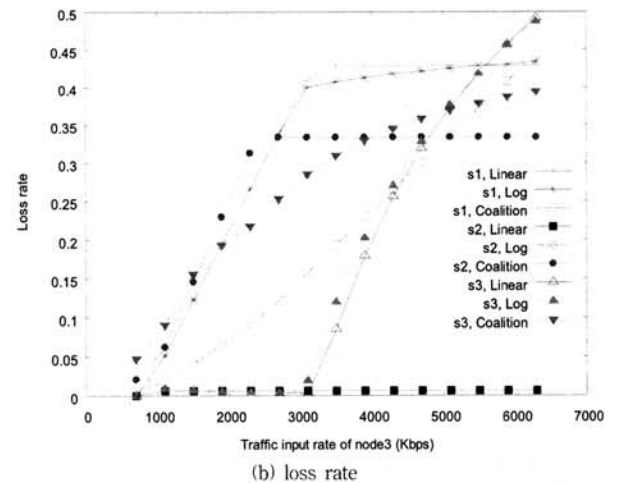
(그림 1) a<sub>1</sub>과 a<sub>2</sub> 모두 링크 대역폭의 70%로 높게 설정된 환경에서 각 게임 모델에 의해 할당되는 대역폭과 손실율 비교

기법들은 대칭성 (symmetry) 특성에 의해 s<sub>3</sub>의 입력율과 무관하게 입력율이 같은 s<sub>1</sub>과 s<sub>2</sub>에게 동일한 양의 대역폭을 할당하므로 s<sub>1</sub>과 s<sub>2</sub>의 손실율은 s<sub>3</sub>의 입력율과 무관하게 동일하다 (그림 1)-(a). 그러나 협상 게임 기법의 경우 a<sub>3</sub>=2.7Mbps에서 각 송신 노드는 C/3을 동일하게 할당 받는 반면 제휴 게임의 경우 모든 송신 노드의 입력율이 동일해지는 a<sub>3</sub>=5.6Mbps 일때 각 송신 노드는 C/3을 동일하게 할당 받고 a<sub>3</sub><5.6Mbps인 경우 s<sub>1</sub>과 s<sub>2</sub>가 s<sub>3</sub>에 비해 보다 많은 대역폭을 할당 받는다. 이로 인해 (그림 1)-(b)와 같이 a<sub>3</sub>이 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>에 비해 낮은 경우 제휴 게임에 의한 s<sub>3</sub>의 손실율은 협상 게임에 의한 s<sub>3</sub>의 손실율에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 그러나 동일 환경에서 제휴 게임은 각 송신 노드의 입력율에 비례하여 대역폭을 할당하므로 입력율이 높은 s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>의 경우 제휴 게임에 의한 손실율이 협상 게임에 의한 손실율보다 낮았다.

(그림 2)는 s<sub>1</sub>의 입력율이 5.6Mbps로 높고 s<sub>2</sub>의 입력율이 1.6Mbps로 낮은 경우 각 대역폭 할당 게임 기법에 의해 송신 노드들에게 할당되는 대역폭과 손실율을 a<sub>3</sub>을 변화시키



(a) allocated bandwidth



(b) loss rate

(그림 2) a<sub>1</sub>은 링크 대역폭의 70%로 높게 설정되고 a<sub>2</sub>는 링크 대역폭의 20%로 낮게 설정된 환경에서 각 게임 모델에 의해 할당되는 대역폭과 손실율 비교

면서 도시한 결과이다.  $a_3 \approx 0.8\text{Mbps}$ 로 혼잡이 발생된 경우 협상 게임은 입력율이 낮은  $s_2$ 의 입력율 1.6Mbps를 보장한다. 또한 이들 기법들은  $s_2$ 에 할당하고 남은 대역폭 6.4Mbps를  $s_1$ 과  $s_2$ 의 입력율에 비례하여 두 노드에게 할당하며  $a_3 > 3.2\text{Mbps}$  이상이 되면 평형상태로 수렴하여  $s_1$ 과  $s_3$ 에게는 남은 대역폭의 반인 3.2Mbps를 균등하게 할당한다. 반면 제휴 게임의 경우  $0 \leq a_3 \leq 2.7\text{Mbps}$ 인 경우  $s_2$ 에 할당되는 대역폭은  $a_2$ 에서 1.1Mbps로 선형적으로 감소되며  $a_3 > 2.7\text{Mbps}$ 인 경우  $s_2$ 에 할당되는 대역폭은 1.1Mbps로 고정되고, 같은 구간에서  $s_3$ 에 할당되는 대역폭은 협상 게임 기법에 비해 느리게 증가된다. 이로 인해 (그림 2)-(b)에 도시한 바와 같이 협상 게임의 경우 입력율이 낮은  $s_2$ 의 손실율은 0으로 보장되지만 제휴 게임의 경우  $s_2$ 의 손실율은 0.3으로 상대적으로 높았다. 그러나 이 경우에도 입력율이 높은  $s_1$ 의 경우에는 협상 게임에 의한 손실율이 제휴 게임에 의한 손실율보다 크다.

$s_1$ 과  $s_2$ 의 트래픽 입력율이 낮고 (1.6Mbps) 수신 노드가 혼잡하지 않은 경우 ( $a_3 < 4.8\text{Mbps}$ ) 각 대역폭 할당 게임 기법들은 각 노드의 트래픽 입력을 만큼 대역폭을 할당한다

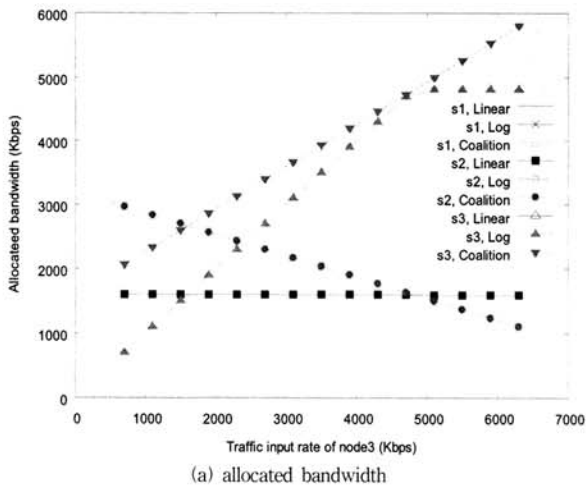
(그림 3)-(a). 그러나  $a_3 > 4.8\text{Mbps}$ 로 트래픽 입력율의 합이  $C=8\text{Mbps}$ 를 초과하는 경우 협상 게임은 평형 상태로 수렴하여 각 노드에게 할당되는 대역폭은 변하지 않는다. 그러나 제휴 게임 기법의 경우  $a_3$ 의 증가로 인해 입력율이 낮은  $s_1$ 과  $s_2$ 에 할당되는 대역폭은 1.1Mbps가 될 때까지 감소된다. 이로 인해 (그림 3)-(b)에 보인 바와 같이  $\sum_i a_i > C$ 가 되는  $a_3 > 4.8\text{Mbps}$ 인 경우 협상 게임에 의해 입력율이 낮은  $s_1$ 과  $s_2$ 의 손실율은 매우 낮게 유지되지만 제휴 게임에 의한  $s_1$ 과  $s_2$ 의 손실율은 급증하지만 제휴 게임에 의한  $s_3$ 의 손실율은 협상 게임에 비해 작았다.

### 4. 결론

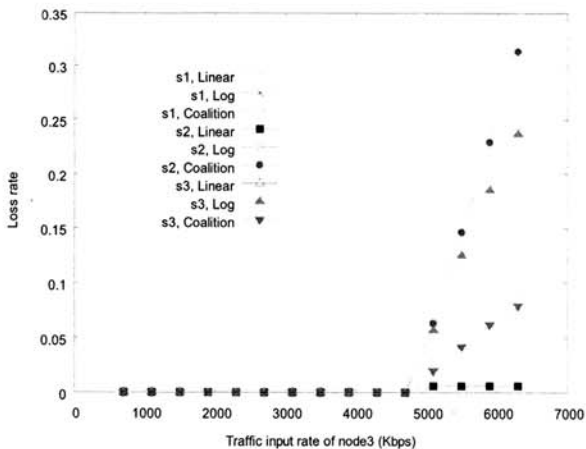
본 논문에서는 제휴 게임과 협력 게임을 이용한 대역폭 할당 기법들의 성능을 각 송신 노드에게 할당되는 대역폭과 이로 인한 각 송신 노드의 손실율 측면에서 정량적으로 비교 분석하였다. 협력 게임 이론은 공리적 공정성과 효율성을 보장하지만 제휴 게임과 협상 게임의 공리가 서로 다르기 때문에 이들을 이용한 대역폭 할당 게임의 결과는 달라진다. 협상 게임의 경우 각 송신 노드의 트래픽 입력율의 합이 공유되는 대역폭과 같아지는 시점에서 모든 송신 노드에게 동일 양의 대역폭을 할당한다. 따라서 과도하게 많은 트래픽을 전송하는 노드의 손실율이 그렇지 않은 노드의 손실율보다 커진다. 제휴 게임의 경우 모든 송신 노드의 트래픽 입력율이 동일한 경우에 각 노드에게 할당되는 대역폭이 같아진다. 따라서 특정 노드가 과도하게 많은 트래픽을 송신하게 되면 송신율이 작은 노드의 손실율이 증가된다. 즉, 이와 같은 결과는 대역폭 할당의 목적에 따라 서로 다른 협력 게임 기법을 선택해야 한다는 것을 의미하며, 향후 주어진 대역폭 할당 환경에 따른 동적인 게임 모델 적용 기법과 같은 추후 연구가 요구된다.

### 참고 문헌

- [1] Flavio Bonomi, and Kerry W. Fendick, "The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit Rate ATM Service," IEEE Network Magazine, Vol.9, No.2, pp.25-39, 1995.
- [2] Frank Kelly, "Charging and Rate Control for Elastic Traffic," European Trans. on Telecommunications, Vol.8, pp.33-37, 1998.
- [3] Martin J. Osborne, 'An Introduction to Game Theory,' Oxford University Press, 2003.
- [4] P. Dubey, "Inefficiency of Nash Equilibria," Mathematics of operational research, Vol.11, No.1, pp.1-8, 1986.
- [5] Edilayne Meneses Salgueiro, Paulo R. F. Cunha, Paulo R. M. Maciel, Jose A. S. Monteiro, and Ricardo J. P. B. Salgueiro, "Defining Bandwidth Constraints With Cooperative Games," in Proc. of ICUMT '09, pp.1-8, 2009.



(a) allocated bandwidth



(b) loss rate

(그림 3)  $a_1$ 과  $a_2$  모두 링크 대역폭의 20%로 낮게 설정된 환경에서 각 게임 모델에 의해 할당되는 대역폭과 손실율 비교



[6] Haikel Yaiche, Ravi R. Mazumdar, and Catherine Rosenberg, "A Game Theoretic Framework for Bandwidth Allocation and Pricing in Broadband Networks," *IEEE/ACM Trans. on networking*, Vol.8, No.5, pp.667-678, 2000.

[7] Corinne Touati, Eitan Altman, and Jerome Galtier, "Generalized Nash Bargaining Solution for Bandwidth Allocation," *Elsevier Computer networks*, Vol.50, No.17, pp.3242-3263, 2006.

[8] M. AOKI, 'The Co-Operative Game Theory of The Firm,' Oxford University Press, 1984.

[9] L. S. Shapley, "A Value for n-Person Games, Contributions to the Theory of Games, Vol.II," *Annals of Mathematics Studies*, Vol.28, Princeton University Press, 1953.

[10] J. C. Harsanyi, "Rational Behavior and Bargaining Equilibrium in Games and Social Situations," Cambridge University Press, 1977.

[11] Martin J. Osborne, Ariel Rubinstein, 'A course in game theory,' The MIT Press, 1994.

[12] Zbigniew Dziong, and Lome G. Mason, "Fair-Efficient Call Admission Control Policies for Broadband Networks - A Game Theoretic Framework," *IEEE/ACM Trans. on networking*, Vol.4, No.1, pp.123-136, 1996.

[13] Hongxia Shen, and Tamer Basar, "Differentiated Internet pricing using a Hierarchical Network Game Model," *IEEE American Control Conference*, pp.2322-2327, 2004.

[14] L. Zhao, L. Guo, J. Zhang, and J. Zhang, "Game- Theoretic Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks," *IET Communications*, Vol.3, No.8, pp.1274-1283, August 2009.

[15] Dust Niyato, and Ekram Hossain, "Cognitive Radio for Next-Generation Wireless Networks: An Approach to

Opportunistic Channel Selection in IEEE 802.11-Based Wireless Mesh," *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.16, No.1, pp.46-54, February, 2009.

[16] Walid Saad, and Zhu Han, Mérouane Debbah, Are Hjørungnes, and Tamer Basar, "Coalitional Game Theory for Communication Networks: A Tutorial," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.26, No.5, pp.77-97, September 2009.

[17] E.Altman, T.Boulogne, R.El-Azouzi, T.Jimenez, and L.Wynter, "A survey on networking games in telecommunications," *Computers & Operations Research*, Vol.33, pp.286-311, 2006.

[18] Mark Felegyhazi, and Jean-Pierre Hubaux, "Game theory in wireless networks: a tutorial," *EPL Technical Report, LAC-REPORT-2006-002*, 2006.



**박재성**

e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr  
 1995년 연세대학교 전자공학과(학사)  
 1997년 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
 2001년 연세대학교 전기,전자공학과(공학박사)  
 2001년~2002년 University of Minnesota  
 PostDoc. Research Faculty

2002년~2005년 LG전자 선임연구원  
 2005년~2008년 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사  
 2008년~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수  
 관심분야: 이동성 관리 기술, 성능 평가, 무선 매쉬 네트워크 설계 등