

모바일 애드혹 네트워크 환경에서 이기적 복제본 할당 문제에 대한 게임이론적 접근*

염지연, 심규선, 최재호, 이상근
 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터통신공학부
 e-mail:{mksalt, bluesks, redcolor25, yalphy}@korea.ac.kr

Game Theoretic Approach to Selfish Replica Allocation over a Mobile Ad Hoc Network

Ji-Yeon Yeom, Kyu-Sun Shim, Jae-Ho Choi, SangKeun Lee
 Division of Computer and Communication Engineering, Korea University

요 약

최근 무선 컴퓨팅 환경과 무선 단말기 관련 기술의 발전으로 인해 모바일 애드혹 네트워크 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 모바일 애드혹 네트워크에서는 노드들이 자유롭게 이동하기 때문에 네트워크가 빈번하게 분리되며, 이로 인해 데이터 접근성 저하 문제가 발생한다. 기존 연구에서는 데이터 접근성이 저하되는 문제를 해결하기 위해 다양한 복제본 할당 기법이 연구되었다. 그러나, 지금까지 연구된 복제본 할당 기법들은 모바일 애드혹 네트워크 환경의 제한된 자원으로 인한 노드들의 이기적인 행동에 대해 고려하지 않았다. 본 논문은 모바일 애드혹 네트워크 상의 노드들이 자신의 이득을 위해 협력이 아닌 이기적인 행동을 택하게 되는 과정을 게임이론을 통해 설명하고, 수익함수 조절을 통해 노드들의 이기적인 행동을 억제할 수 있는 방안을 제시한다.

1. 서론

최근 스마트폰, 노트북 등과 같은 모바일 단말기가 널리 보급되고 무선통신 기술이 발달함에 따라 자유롭게 이동할 수 있는 모바일 노드들로 구성된 모바일 애드혹 네트워크(Mobile ad-hoc network)와 관련된 연구가 활발하다. 별도의 기반 시설 없이 연결 가능한 모바일 애드혹 네트워크는 재난상황이나 응급상황 등 기반 시설을 갖추기 어려운 환경을 위한 기술로 주목받고 있다 [1].

모바일 애드혹 네트워크 노드들의 자유로운 이동으로 인해 네트워크의 위상은 자주 변화하고 노드 간 연결도 자주 끊길 수 있다. 이러한 상황에서 일부 노드들이 다른 노드가 보유하고 있는 데이터에 접근하지 못하는 문제가 발생하게 되고, 결국 시스템 전체 데이터 접근성(Data Accessibility)이 저하될 수 있다 [2]. 최근까지 모바일 애드혹 네트워크에서 데이터 접근성 저하 문제를 해결하기 위한 다양한 연구들이 진행되었다 [2][3][4]. 복제본 할당 기법을 활용하면 노드 간 연결이 끊어져 원본 데이터에 접근할 수 없게 되더라도 미리 로컬 영역에 할당해 둔 해당 데이터의 복제본을 사용할 수 있어 데이터 접근성이 저하되는 것을 막을 수 있다. 그러나 모바일 노드들의 저장 공간은 제한적이므로 한정된 공간 내에서 효율적으로 데이터의 복제본을 할당해야만 한다. 효율적 복제본 할당을 위해 [2]에서는 노드간 협력을 통해 복제본 할당의 중복을 최소화하는 데이터 할당 기법을 제안하였다. 하지만 [2]에서 가정하고 있는 모든 노드간의 협력은 현실에서는 타당하지 않다. 왜냐하면 제

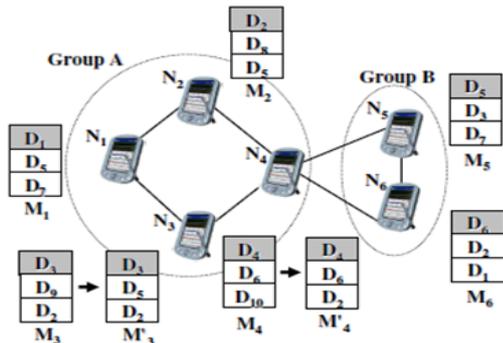
한된 자원을 가지고 있는 모바일 애드혹 네트워크의 노드들은 자신의 자원을 다른 네트워크 환경에 비해 보다 이기적으로 사용하길 원하기 때문이다. 예를 들면, 모바일 애드혹 네트워크의 노드들은 자신이 자주 접근 하는 데이터를 자신의 저장공간에 가지고 있고 싶어한다. 이러한 경우, 각 노드가 가지고 있는 데이터 복제본에 중복이 자주 발생하여 접근 가능한 데이터의 갯수가 줄어들게 된다. 이와 같은 노드의 행동은 각 노드의 질의 시간을 단축시킬 수는 있지만, 전체 시스템의 데이터 접근성을 현저히 떨어뜨린다. 실제로 모바일 애드혹 네트워크에서 데이터 접근성과 질의시간 사이에는 상충관계(Trade-off)가 존재한다고 알려져 있다 [5].

본 논문에서는 데이터 복제본을 저장소에 할당함에 있어서 다른 노드와 협력하지 않고 임의대로 복제본을 할당하는 노드를 이기적인 노드라고 정의한다. 각 노드의 이기적인 정도는 노드의 합리적인 판단에 의해서 결정된다.

<표 1> 데이터 항목에 대한 노드들의 접근 빈도([2]에서 발췌)

데이터	노드					
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
D_1	0.65	0.25	0.17	0.22	0.31	0.24
D_2	0.44	0.62	0.41	0.40	0.42	0.46
D_3	0.35	0.44	0.50	0.25	0.45	0.37
D_4	0.31	0.15	0.10	0.60	0.09	0.10
D_5	0.51	0.41	0.43	0.38	0.71	0.20
D_6	0.08	0.07	0.05	0.15	0.20	0.62
D_7	0.38	0.32	0.37	0.33	0.40	0.32
D_8	0.22	0.33	0.21	0.23	0.24	0.17
D_9	0.18	0.16	0.19	0.17	0.24	0.21
D_{10}	0.09	0.08	0.06	0.11	0.12	0.09

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0077925)



(그림 1) 이기적인 노드들과 데이터 접근성 저하

그림 1은 기존의 데이터 사본 할당 방식 중에서 DCG [2]에 의한 할당 과정 중 일부 노드들의 이기적인 행동으로 인해 전체적인 데이터 접근성이 저하되는 문제를 보여 준다. 그림 1에서 N_1, N_2, \dots, N_6 는 노드, M_1, M_2, \dots, M_6 는 각 노드의 저장소 공간, 그리고 D_1, D_2, \dots, D_{10} 은 전체 노드들에 의해 접근 되어지는 데이터 항목을 나타내며, 복제본의 할당은 표 1의 각 노드별 데이터 접근빈도를 기준으로 이루어졌다. 여기서 노드 N_3 과 N_4 는 다른 노드들에 비해 접근 빈도가 낮은 데이터를 할당받기 때문에 이기적인 행동을 할 유인이 더 크다. 즉, N_3 는 D_9 대신 D_5 를, N_4 는 D_{10} 대신에 D_2 를 저장하고자 한다. 그 결과, 그룹 A의 노드들은 그룹 내에서 D_9 와 D_{10} 에 접근할 수 없게 되며, 이로 인해 그룹 전체의 데이터 접근성이 저하된다.

본 논문에서는 게임이론적 접근을 통하여, 모바일 애드혹 네트워크에서 노드의 이기적 행동으로 인해 발생하는 데이터 접근성 저하 문제를 분석하고 이에 대한 해결방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장과 3장은 각각 관련 연구 소개 및 제안기법에 대해 설명한다. 4장에서는 실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법의 성능향상을 증명하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

모바일 애드혹 네트워크에서 데이터 접근성 향상을 위한 복제본 할당 기법 중 가장 대표적인 기법은 [2]에서는 제안된 다음과 같은 세 가지 기법이다.

- **SAF**: 자신의 데이터 접근빈도가 높은 순서대로 데이터 복제본을 저장소에 할당한다.
- **DAFN**: SAF 기법을 통하여 먼저 각 노드가 복제본을 할당한 후 이웃 노드들 간 협력하여 중복이 발생하지 않도록 복제본을 할당한다.
- **DCG**: 전체 네트워크 위상 파악 후 이중연결 (Bi-connected) 된 노드들로 그룹을 형성한 후, 그룹 내에서 데이터 중복이 발생하지 않도록 복제본을 할당한다.

[2]에서 제안된 기법들은 노드의 이기적인 행동을 고려하지 않았다. 본 논문에서는 위의 세 가지 기법을 가운데

데이터 접근성 측면에서 가장 우수한 성능을 보이는 DCG 기법을 기반으로 게임이론을 적용하여 노드들의 이기적인 행동을 분석하고 데이터 접근성 저하 문제를 해결하고자 한다.

네트워크 분야에서는 데이터 전송 측면에서 노드들의 이기적인 행동을 억제하고 협력을 유도하기 위한 연구들이 진행되어 왔다. 그 중 게임이론에 기반한 연구들은 각 노드가 합리적인 주체이라는 게임이론의 기본적인 가정을 적용하여 네트워크 협력 측면에서 노드들의 이기적 행동을 설명하는 한편, 노드들의 전략을 파레토 효율적인 상태로 수렴하도록 유도하는 방법들을 제안하였다 [6][7][8][9].

그러나 지금까지의 연구는 데이터 전송 측면에서의 이기적 행동만을 고려하였을 뿐, 저장소 공유 측면에서의 이기적인 행동은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 저장소 공유 측면에서 노드들의 이기적인 행동을 설명하고, 노드들의 이기적인 행동을 억제하여 데이터 접근성 향상을 위한 복제본 할당 방법이 보다 효과적으로 동작할 수 있는 방안을 제시한다.

3. 제안기법

3.1 이기적 행동의 게임이론적 분석

모바일 애드혹 네트워크의 노드들을 게임이론의 합리적 행위자로 간주하면 각 노드들은 행동을 결정할 때, 자신의 수익을 극대화 하는 행동, 즉 이기적인 행동으로 결정한다 [10]. 그리고 노드의 행위란 저장소에 어떠한 데이터 복제본을 할당하였는지를 가리키며 행위에 대한 수익은 행위를 통해 얻은 이득 (Gain)에서 행위에 따른 비용 (Cost)을 뺀 값으로, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$Payoff_{N_i}(A_i, A^*) = Gain_{N_i}(A_i, A^*) - Cost_{N_i}(A_i, A^*) \dots (1)$$

A_i 는 노드 N_i 의 행위(또는 전략)를 나타내며 그룹 내 나머지 노드들의 행위 집합은 A^* 라 한다. 노드 N_i 는 항상 자신의 수익을 가장 높여주는 행위 A_i 를 선택한다.

식 (1)에서 노드 N_i 가 얻는 이득은 행위의 결과로 저장소에 할당된 데이터 복제본들로부터 얻는 이득이며, 이는 데이터에 접근하는데 걸리는 시간이 짧을수록, 그리고 접근할 수 있는 데이터의 종류가 많을수록 커진다. 한편, 데이터에 접근하는데 드는 비용은 통신에 소요되는 대역폭 (bandwidth), 에너지 (battery power), 계산비용 (computational cost) 등을 포함한다 [7]. 이같은 고려를 통해 식 (1)은 아래의 식 (2)로 다시 표현될 수 있다.

$$Payoff_{N_i}(A_i, A^*) = \sum_{j=1}^n AF_{N_i}^{D_j} \cdot \frac{\alpha \cdot DA^D(A_i, A^*)}{(1-\alpha) \cdot DD_{N_i}^D(A_i, A^*) + \delta} \left\{ \sum_{D_j \in D_{group}} GroupCost_{N_i}^{D_j}(A_i, A^*) + \sum_{D_j \in D_{global}} GlobalCost_{N_i}^{D_j}(A_i, A^*) \right\} \dots (2)$$

$AF_{N_i}^{D_j}$ 은 노드 N_i 의 데이터 D_j 에 대한 접근빈도를 의미하며, $DA^D(A_i, A^*)$ 와 $DD_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 는 그룹내 노드들의 행위 집합 (A_i, A^*) 로부터 얻어지는 데이터 D_j 의 접근 가능 여부와 노드로부터의 거리를 각각 나타낸다. 노드 N_i 의 이득은

$DA^D(A_i, A^*)$ 가 높을수록, $DD_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 가 낮을수록 커진다.

반면에 비용은 $GroupCost_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 와 $GlobalCost_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 로 나타내어 지는데, 이는 노드가 데이터 D_j 를 접근할 때의 비용을 의미한다. $GroupCost_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 는 D_i 를 공유 그룹 내에서 접근 가능한 경우의 접근 비용을 나타내고, $GlobalCost_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 는 그룹 내에 데이터가 존재하지 않기 때문에 데이터의 원본(source)에 접근해야 하는 경우에 소요되는 접근 비용을 나타낸다. α 는 시스템 파라미터로서 데이터로부터 얻는 이익 계산 시 데이터 접근 가능성과 거리의 가중치를 결정하는 값이다. δ 는 device I/O에 걸리는 시간이다.

모든 노드들이 DCG 기법대로 서로 협력하여 데이터 복제본을 저장하고 있다면 그룹 내 데이터 중복이 줄어들기 때문에 접근 가능한 데이터의 종류가 많아져 $\sum_{j=1}^n DA^D(A_i, A^*)$ 의 값은 최대가 된다. 따라서 합리적인 노드는 수익을 최대화하기 위해 $\sum_{j=1}^n DD_{N_i}^D(A_i, A^*)$ 값도 줄이고자 한다. 그 결과 협력 대신 자주 접근하는 데이터 복제본을 저장하는 것을 선택하게 된다. 하지만 많은 노드들이 그와 같이 이기적인 행동을 선택한다면 결과적으로 그룹 내 데이터들 간 중복이 잦아져 $\sum_{j=1}^n DA^D(A_i, A^*)$ 값이 이기적인 행동을 하기 전보다 작아지고 수익은 감소하게 된다. 모든 노드가 이기적으로 행동하게 될 경우 그 노드들의 수익이 어느 지점부터 감소한다. 그 결과 수익이 감소하기 시작하는 그 지점에서 내쉬균형 (Nash Equilibrium) [6]이 형성된다.

3.2 제안하는 기법

본 논문에서는 노드의 이기적인 행위를 줄이고, 협력적인 행동을 유도하기 위해, 이기적인 행동을 하는 노드들에게 벌칙을 부여하는 기법을 제안한다. 벌칙으로 인해 이기적인 노드들의 수익이 감소한다면 그룹 내의 노드들은 이기적인 행동을 더 이상 진행하지 않게 되어 협력이 증가하고, 그 결과 전체 노드의 데이터 접근성이 향상된다.

벌칙기법은 크게 두 과정으로 나뉘는데, 1) 이기적인 노드 감지 과정과 2) 이기적인 노드에 대한 벌칙 과정이다. 우선 이기적인 노드의 감지는 다음과 같은 방법으로 이루어진다.

각 노드들은 그룹 내 이웃 노드들의 이기적인 정도를 측정한다. 그룹 내에 두 노드 N_i 와 N_k 가 존재할 때, N_i 가 측정하는 N_k 의 이기적인 정도(S_i^k)는 다음의 식 (3)으로 표현된다.

$$S_i^k = \frac{R_F(N_i, N_k)}{R(N_i, N_k)} \dots (3)$$

S_i^k 는 N_i 가 측정하는 N_k 의 이기적인 정도로서, N_k 가 응답했어야 하는 요청 가운데 응답하지 못한 응답의 횟수로 정의된다. $R(N_i, N_k)$ 는 DCG 기법에 따라 데이터 복제본이 할당되

어 있을 때 N_k 가 보유하고 있을 것으로 예상되는 데이터를 N_i 가 N_k 에게 요청한 횟수를 나타내며, $R_F(N_i, N_k)$ 는 N_i 의 요청 가운데 이기적인 행동으로 인해 N_k 의 저장소에 할당을 요청받은 데이터 복제본이 존재하지 않아 응답하지 못한 횟수를 나타낸다. 한 노드의 이기적인 정도는 아래의 식 (4)에서 보는 바와 같이 그룹 내에 존재하는 노드들이 N_k 의 이기적인 정도를 측정된 결과의 합으로 나타내어진다.

$$S^k = \sum_{i=1}^n S_i^k \text{ (단, } n \text{은 그룹 내 노드들의 개수)} \dots (4)$$

S^k 값이 정해진 후, 이기적인 정도에 따라 벌칙이 부과될 노드들을 결정한다. 본 논문에서는 노드의 이기적인 정도를 나타내는 값이 미리 정해진 임계치를 초과하는 경우, 해당 노드에 벌칙을 부과하기로 한다.

이기적인 노드에 대한 벌칙방법은 해당 노드들의 각 데이터 항목에 대한 접근빈도를 모두 '0'으로 설정함으로써 이기적인 노드가 자주 접근하는 데이터를 그룹에 할당할 때 반영하지 않는다. 제안하는 벌칙기법은 간단하지만 효과적이다. 제안하는 벌칙 기법을 통해 이기적인 노드들이 자주 접근하는 데이터는 그룹내에 복제본이 할당될 때 낮은 우선순위를 갖게 된다. 즉, 이기적인 노드로 분류된 노드들은 모든 데이터 항목에 대한 접근빈도가 0으로 계산되어 자주 접근하는 데이터 복제본을 할당받기 어려워진다. 반면에 이기적이지 않은 것으로 분류된 노드들은 접근빈도가 높은 데이터 복제본을 자신의 저장소에 할당할 수 있는 기회가 더 커진다.

제안하는 벌칙기법의 기본 철학은 복제본 할당이 이기적인 노드들이 불이익을 받도록 하는 것이다. 벌칙이 행해짐에 따라 이기적인 노드들은 데이터 복제본 할당에서 불이익을 받게 되므로 수익이 감소할 가능성이 크다. 수익이 감소하면 이기적인 행동의 유인이 줄어들게 되므로 합리적인 노드는 더 이상 이기적인 행동을 보이지 않고, 노드들 간 협력 정도가 증가하게 된다.

4. 성능평가

본 논문에서는 제안한 기법을 평가하기 위하여 수학적 분석을 하였다. 분석에서 가정한 환경은 다음과 같다. 모바일 노드들은 일정 크기에서 자유롭게 이동하며, 속도는 최대 속도 내에서 임의로 선택된다. 노드의 통신 범위는 R 로 주어진다. 모바일 노드와 데이터는 그림 1에서 보는 바와 같이 각각 $N = \{N_1, \dots, N_6\}$ 과 $D = \{D_1, \dots, D_{10}\}$ 로 표현하며 데이터 아이템의 크기는 일정하다. 각 노드는 특정 데이터를(N_i 의 경우 D_1) 원본으로서 가지고 있으며, 저장소 크기는 원본 데이터를 제외하고 최대 2개의 데이터 아이템을 저장소에 할당할 수 있다. 데이터는 갱신이 일어나지 않는다고 가정하였으며, 각 데이터에 대한 노드들의 접근빈도는 표 1과 같이 고정되어 있다.

표 2와 3은 벌칙기법이 적용되지 않은 경우와 벌칙기법이 적용되는 경우 형성되는 내쉬균형을 나타내고 있다. 표 안의

데이터들은 반복되는 재할당 주기에서 각 노드의 이기적인 정도와 그로부터 얻어지는 수익의 크기를 나타낸 것이다. 그리고 음영으로 처리된 부분은 형성된 내쉬균형을 나타낸다.

표 2는 벌칙기법이 적용되지 않은 상태인데, 모든 노드들이 서로 협력하는 초기상태 P_0 에서 N_3 과 N_4 의 수익은 각각 12.57과 10.71로 가장 낮기 때문에 합리적인 두 노드는 자신의 이득을 높이기 위해 이기적인 정도를 한 단계씩 증가시킨다. 그 결과 P_1 에서 N_3 과 N_4 의 수익은 각각 14.13과 12.54로 증가하였다. 여전히 수익이 낮은 N_4 는 이기적인 정도를 한 단계 더 증가시켜 N_4 의 수익은 14.50이 되었다. N_3 과 N_4 의 수익이 증가하는 동안 N_1 과 N_2 의 수익은 각각 17.57에서 16.57, 15.34에서 14.46으로 감소하는데, 이것은 N_3 과 N_4 의 이기적인 행동으로 인해 데이터 접근성이 저하되기 때문이다.

반면 표 3은 벌칙기법이 적용되는 경우의 각 노드들의 이기적인 정도와 수익을 나타낸다. 표 2에서와 마찬가지로 초기상태 P_0 에서의 수익에 만족하지 못하는 N_3 과 N_4 는 이기적인 정도를 증가시켜 P_1 에서의 수익이 증대된다. 이에 대해 벌칙기법이 적용되면 P_2 에서는 N_3 과 N_4 의 수익이 각각 10.27과 10.16으로 최초의 수익보다 줄어든다. 따라서 N_3 과 N_4 는 이기적인 행동을 더 이상 진행하지 않기 때문에 벌칙기법이 적용되지 않는 경우에 비해 내쉬 균형이 개선된다. 벌칙기법이 적용되지 않는 경우의 균형점에서는 전체 저장소의 37.5%가 이기적인 용도로 이용되었으나, 이기적인 노드에 대한 벌칙기법이 적용되는 경우에는 25%의 저장소가 이기적인 용도로 이용되는 지점에서 내쉬 균형이 형성되었다.

<표 2> 벌칙기법이 적용되지 않는 경우

	(이기적인 정도 / 수익)		
	P_0	P_1	P_2
N_1	0/17.57	0/16.61	0/16.57
N_2	0/15.34	0/14.53	0/14.46
N_3	0/12.57	1/14.13	1/14.08
N_4	0/10.71	1/12.54	2/14.50

<표 3> 벌칙기법이 적용되는 경우

	(이기적인 정도 / 수익)		
	P_0	P_1	P_2
N_1	0/17.57	0/16.61	0/16.81
N_2	0/15.34	0/14.53	0/13.80
N_3	0/12.57	1/14.13	0/10.27
N_4	0/10.71	1/12.54	0/10.16

결론적으로 표 2의 벌칙기법이 존재하지 않는 경우의 내쉬균형에 비해 표 3의 벌칙기법이 존재하는 경우의 내쉬균형이 노드의 이기적인 정도를 줄여줌으로써 이기적인 행동 억제 측면에서 보다 개선되었음을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 모바일 애드혹 네트워크 환경에서 데이터 접근성 향상을 위한 데이터 복제본 할당 시 발생할 수 있는 노드의 이기적인 행동을 게임이론에 기반하여 분석하고, 그에 대한 개선방안을 제시하였다. 합리적인 노드들의 행동은 게임이론의 수익함수를 통해 설명될 수 있으며, 개별 노드들의 이기적인 행동이 멈추는 지점인 균형점이 존재한다. 본 논문에서는 벌칙기법을 도입하여 노드들의 이기적인 행동이 멈추는 균형점을 개선할 수 있음을 보였다. 노드들에 대한 벌칙기법은 노드들의 데이터 접근성이나 환경에 따라 영향을 받을 수 있는데, 향후 보다 효과적인 벌칙기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] T. Hara and S. K. Madria. "Data replication for improving data accessibility in ad hoc networks", IEEE TMC, 5(11): 1515-1532, 2006
- [2] T. Hara "Effective replica allocation in ad hoc networks for improving data accessibility" In Proceedings of IEEE INFOCOM, pages 1568-1576, 2001
- [3] G. Karumanchi, S. Muralidharan, and R. Prakash. "Information dissemination in partitionable mobile ad hoc networks" In Proceedings of IEEE SRDS, pages 4 - 13, 1999
- [4] J. Luo, J.-P. Hubaux, and P. T. Eugster. "PAN: providing reliable storage in mobile ad hoc networks with probabilistic quorum systems" In Proceedings of MobiHoc, pages 1 - 12, 2003.
- [5] L. Yin and G. Cao "Balancing the tradeoffs between data accessibility and query delay in ad hoc networks" In Proceedings of IEEE SRDS, pages 289-298, 2004
- [6] Martin J. Osborne "An introduction to game theory" Oxford University Press, 2004
- [7] V. Srinivasan, P. Nuggehalli, C. F. Chiasserini, R. R. Rao, "Cooperation in wireless ad hoc networks," In Proceedings of IEEE INFOCOM, pages 808 - 817, 2003
- [8] R. Mahajan, M. Rodrig, D. Wetherall, J. Zahorjan, "Experiences Applying Game Theory to System Design," In Proceedings of ACM SIGCOMM workshop on Practice and theory of incentives in networked system, pages 183 - 190, 2004
- [9] D. Hales, "From Selfish Nodes to Cooperative Networks - Emergent Link-Based Incentives in Peer-to-Peer Networks," In Proceedings of IEEE P2P. pages 151 - 158, 2004
- [10] Jinbao Li, Yingshu Li, My T. Thai, Jianzhong Li "Data caching and query processing in MANETs", JPCC, 1(3): 169 - 178, 2005