

# 진화게임이론을 이용한 적응적 전력제어 알고리즘

## (Adaptive Power Control Algorithm based on the Evolutionary Game Theory)

김 덕 주 <sup>†</sup>                      김 승 욱 <sup>††</sup>  
 (DeokJoo Kim)                      (Sungwook Kim)

**요 약** 최근 데이터 서비스에 대한 수요가 폭발적으로 증가하는데 반해, 사용가능한 자원은 한정되어 있기 때문에 효율적인 자원 관리가 네트워크 성능을 증가시키기 위한 중요한 요소가 되고 있다. 특히 무선 네트워크에 있어서 제한된 자원의 효율적 활용을 통해 더 많은 수요를 수용함으로써 소비자의 만족도를 증대시킬 수 있다. 본 논문에서는 진화게임을 이용한 적응적 전력제어를 통한 효율적인 자원 할당 기법을 제안한다. 제안된 기법은 네트워크의 채널 상황에 따라 적응적 분산방식으로 전송전력 수준을 조정하여 현재 네트워크 상황에 유연하게 대응함으로써 효율적인 네트워크 관리를 수행한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존에 제안된 전력제어 기법에 비해 본 논문에서 제안한 방법이 다양한 네트워크 환경 하에서 우수한 성능을 가지는 것을 확인하였다.

**키워드** : 진화적 게임이론, 온라인 결정, 전력제어, 무선 네트워크

**Abstract** During wireless network operations, adaptive power control is an effective way to enhance the network performance. In this paper, a new online power control scheme is proposed based on the evolutionary game theory. To converge a desirable network equilibrium, the proposed scheme adaptively adjusts a transmit power level in a distributed online manner. With a simulation study, we demonstrate that the proposed scheme improves network performance under widely diverse network environments.

**Key words** : Evolutionary Game Theory, On-Line Decisions, Power Control, Wireless Network

### 1. 서 론

최근 무선통신 기술의 발전으로 인해 데이터 서비스에 대한 수요가 폭발적으로 증가하는데 반해, 사용가능한 자원은 한정되어 있기 때문에 효율적인 자원 관리가 네트워크 성능을 증가시키기 위한 중요한 요소가 되고 있다. 제한된 자원의 효율적 활용을 통해 더 많은 수요

를 수용함으로써 소비자의 만족도를 증대시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 요구되는 실정이다.

높은 이동성을 유지하기 위해 배터리와 같은 제한된 전력을 사용해야 하는 등 무선 네트워크와는 다른 조건을 갖는 무선 네트워크 환경에서 각 노드들의 목적은 적은 송신전력으로써, 자신의 사용효율을 최대로 하는 것이다. 높은 전력소비는 배터리의 수명을 감소시킴으로써 효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 다른 링크에 간섭을 일으키게 됨으로서 전체 네트워크 성능의 저하를 유발하게 된다.

기존의 연구방식들은 서로 다른 요구사항을 가진 소비자의 상황과 관계없이 네트워크 중심에서 성능을 극대화시키기 위한 작업으로 인해 각각의 소비자 만족도를 충족시키기 어려우며, 중앙 제어형식으로 인하여 많은 계산량에 따른 오버헤드를 수반하게 된다. 본 논문에서는 적응적 전력제어 방식을 제안함으로써 전체 시스템의 간섭을 줄이고 각 노드의 파다한 전력 사용에 패

<sup>†</sup> 비 회 원 : 서강대학교 컴퓨터공학과  
 kimdj@sogang.ac.kr  
<sup>††</sup> 종신회원 : 서강대학교 컴퓨터공학과 교수  
 swkim01@sogang.ac.kr  
 논문접수 : 2009년 9월 15일  
 심사완료 : 2010년 2월 8일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

널티를 줄여서 성능을 향상시킨다. 또한 공평성을 고려하여 소비자의 최소한의 요구를 만족시키면서 시스템의 성능 향상을 유도하도록 한다.

게임이론(game theory)은 경쟁주체가 상대방의 행동을 고려하며 자신의 이익을 효과적으로 달성하기 위한 최선전략(best strategy)을 어떻게 합리적으로 결정할 것인가를 수학적으로 분석하는 이론이다[1]. 게임이론에서는 경쟁적 상황에 놓여진 경기자(player), 상대의 행동 및 상태의 변화에 대해 경기자가 취하는 전략(strategies) 그리고 경기자의 전략에 따라 달라지는 게임의 결과로서 각 경기자의 이익을 나타내는 보수함수(payoff function)를 열거함으로서 한 게임에 대한 묘사를 하게 된다. 전통적 게임이론을 무선 네트워크에 그대로 적용하기에는 비현실적인 가정에 따른 문제점이 존재한다. 모든 경기자가 합리적인 행위를 한다는 가정에서 논의가 전개되는데, 모든 경기자에게 합리적 기대와 합리적 선택의 두 가지 합리성을 요구하고 있다. 즉, 모든 경기자는 다른 경기자의 전략선택에 대한 정확한 기대를 하여야 하고, 동시에 각 경기자의 전략선택은 자신의 기대에 대한 최적대응이어야 하는 것이다. 여기에서 각 경기자가 아무리 복잡한 최적화문제라도 비용을 들이지 않고 쉽게 풀 수 있다는 합리적 선택의 가정도 현실적이기 어려운 가정이지만, 특히 게임이 여러 개의 균형점을 가질 때에는 다른 경기자의 전략에 대하여 정확히 예측한다는 합리적 기대의 가정은 어렵기 때문이다. 이러한 이론적 문제를 해결하는 새로운 접근방법이 요구된다.

스미스(John Maynard Smith)와 프라이스(G. R. Price) 등이 게임이론을 응용하여 동물들의 행동의 많은 부분을 모델화할 수 있음을 보였다[2]. 이 과정에서 진화게임이론이라고 불리는 게임이론의 한 분야가 발전해왔다. 진화게임이론이 중요한 이유는 제한된 합리성을 지닌 경기자가 동일한 게임을 반복하면서 전략을 바꾸어 나가는 학습과정과 학습을 통한 적응과정을 살펴봄으로써 시간의 흐름에 따른 전략선택 변화를 나타낼 수 있다는 것이다. 이는 전통적인 게임이론이 가정하는 합리성을 배제할 수 있다. 그러므로 경기자는 반복, 경험에 의해 게임 속에서 어떻게 행동해야 할지를 배우는 진화적인 방식이 더 현실적이라고 생각한다.

본 논문에서는 진화게임이론을 적용함으로서 소비자의 최소한의 요구를 만족시키면서 시스템의 성능 향상을 유도하도록 한다. 이는 멀티미디어 데이터를 위한 무선 인터넷의 활용이 증가함에 따라, 무선통신 서비스에 대한 소비자의 수요가 더욱 증가할 것으로 예상되므로 제안하는 기법을 통해 제한된 전력 및 대역폭을 효율적으로 사용하여 소비자들의 만족도를 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 소개하고, 게임이론 및 진화게임이론 관해 간단히 언급하고 무선 네트워크에 진화게임을 적용해 본다. 3장에서 진화게임이론의 가변 복제량과 전망이론을 이용한 적응적 비협력 전력제어 게임을 제안한다. 이어서 4장에서는 기존 기법들과의 성능 비교를 살펴보고 5장에서 결론을 내린다.

## 2. 진화적 게임이론

진화게임이론(Evolutionary game theory)에서 사용되는 게임모형은 집단게임모형(population game model)이라는 점에서 보다 복잡한 구조를 갖는다. 진화게임이론은 게임이론을 이용해 각 개체들의 전략에 따라 다른 개체와 상호작용을 통해 개체수의 변화를 나타낸다. 이러한 상호작용 속에서 보다 우월한 전략을 보유한 개체의 묘사를 통해 시간이 지남에 따라 전략이 어떻게 서로 영향을 주는가에 초점을 두고 있다. 진화게임은 진화적 안정전략(Evolutionary Stable Strategy)[2]과 부모의 전략선택을 자식은 유전적으로 그대로 물려받는다든 원리에 기초한 가변 복제량(Replicator Dynamic)[3]으로 설명가능하다.

### 2.1 진화적 안정전략(ESS : Evolutionary Stable Strategy)

진화적으로 안정된 전략이란 개체군의 대다수 구성원에 의해 일단 수용되면 다른 대체 전략이 능가할 수 없는 전략이다. 바꿔 말하면 개체로서 최선의 전략은 개체군의 대부분이 행하고 있는 전략이라는 것이다[2]. 이해 개념은 한 생물집단에 돌연변이(mutation)가 언제든 나타날 수 있는데, 만일 그 생물집단이 안정적인 균형 상태에 있다고 한다면 기존의 개체가 선택하고 있는 전략은 어떠한 돌연변이가 나타나 새로운 전략보다 더 높은 보수를 얻는다는 의미에서 우월한 전략이어야 한다는 사실에 착안하고 있다. 즉 게임을 할 때 우수한 전략이 결국은 살아남는다는 원칙이 확립되었고, 게임을 반복시키면 주어진 정보와 계산능력이 제한되어 있더라도 경험을 통한 학습을 이용하여 진화과정을 설명할 수 있다.

### 2.2 가변 복제량(Replicator Dynamics)

게임이 끝나고, 이에 따라 모든 구성원들이 자신의 전략과 상대방의 전략에 따라 보수를 획득하게 되면 이를 기초로 전략을 수정하며 진행하게 된다. 가변 복제량은 다음과 같은 과정을 통해 진행된다. 하나의 전략을 선정하였을 때, 첫 번째로는 다른 경기자가 선택한 전략이 다르고, 두 번째로 다른 경기자가 선택한 전략이 자신이 얻은 보수보다 크다면, 다른 경기자의 전략을 배워 자신의 다음 전략으로 삼는다. 즉, 어떤 전략이 집단의 평균

보수보다 높은 보수를 얻으면 그 전략의 집단 내에서의 비율은 증가하고, 그 반대의 경우에는 이 비율이 감소하게 된다. 이러한 과정을 통해 어떤 전략이 주어진 환경 하에서 더 상대적으로 높은 보수를 얻는 경향이 있다면 그 전략을 사회에 전파시켜 나가게 된다. 다양한 전략들의 개체군에 대한 진화과정을 묘사한 것이 가변 복제량이며, 과정의 반복으로 어느 전략의 비율도 바뀌지 않는 것을 동태적 균형(dynamic equilibrium)이라고 한다[3].

먼저 각 경기자에게  $n$  개의 순수전략이 허용되고 게임의 보수함수가  $(n \times n)$  행렬  $A$  로 주어진 대칭적 게임에서, 각 경기자가 순수전략만 선택한다고 가정할 때 유도되는 가변 복제량은 다음과 같은 미분 방정식으로 정의된다.

$$\dot{x}_i(t) = x_i(t) \{e_i' Ax(t) - x(t)' Ax(t)\}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

여기서,  $x_i(t)$  는 시간  $t$  에서 순수전략  $i$  의 집단 내에서의 비율을,  $x(t)$  는  $x_i(t)$  를 성분으로 갖는  $(n \times 1)$  벡터로서 순수전략의 집단 내에서의 분포를 나타낸다. 그리고  $\dot{x}_i(t)$  는  $x_i(t)$  의 시간에 대한 미분, 즉  $x_i(t)$  의 시간에 따른 변화율을, 그리고  $e_i'$  는  $i$  번째 원소가 1인 단위 벡터를 의미한다. 따라서  $e_i' Ax(t)$  는 순수전략  $i$  의 기대보수를 뜻하고  $x(t)' Ax(t)$  는 집단 내 모든 전략의 평균보수를 의미하므로, 가변 복제량에 따르면 경기자집단 내에서 각 순수전략의 비율의 성장률은 그 순수전략의 기대보수와 집단 내 모든 전략의 평균보수와의 차가 된다. 즉, 어떤 전략이 집단의 평균보수보다 높은 보수를 얻으면 그 전략의 집단 내에서의 비율은 증가하고, 그 반대의 경우는 이 비율이 감소하게 된다.

### 3. 제안기법

본 논문에서는 게임이론 기반의 적응적 전력제어 기법을 제안한다. 서비스 QoS 제공 및 신뢰성 있는 전력 제어 개발을 위해 주변 노드들의 수 또는 채널 상황에 따라 변화하는 무선 환경을 모델링한다. 이는 각 노드들의 다중 홉 통신 과정에서 발생하는 간섭(interference) 정의하여 서로간의 상관관계를 추론하고 시간의 변화에 따른 환경을 예측한다.

전력제어를 하는데 있어서 진화게임이론을 적용하여, 실행 가능한 전략들 중에 전략들의 평균 보수함수보다 좋은 전략에 대한 실행 확률을 높여줌으로서 우수한 전략으로 점차적으로 진화해 나가는 과정을 이용한다.

무선 네트워크에서 집합  $L = \{1, 2, \dots, N\}$  은 노드로 구성되며, 각각의 링크는 발신노드(transmitter)와 수신노드(receiver)로 구성된다. 네트워크에서  $i$  번째 사용자의

전송전력  $p_i$ , ( $p_i^{\min} \leq p_i \leq p_i^{\max}$ ) 을 정의한다. 사용자 전력 벡터는  $\vec{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$  로 정의한다.  $h_{ji}$  는 사용자  $j$  와 사용자  $i$  사이(사용자  $j$  의 발신노드와 사용자  $i$  의 수신노드)의 path gain,  $\sigma_i$  는 열잡음에 의해 신호가 감소되는 채널 환경에서 사용자  $i$  에 영향을 미치는 부가적인 백색 가우시안 잡음(AWGN: Additive White Gaussian Noise)이라고 표기한다. 그러면 각 사용자  $i \in L$  가 얻게 되는 신호대비 잡음 및 간섭비율(SINR: Signal to Interference Ratio)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma_i(\vec{p}) = \frac{p_i h_{ii}}{\sum_{j \neq i} p_j h_{ji} + \sigma_i} \quad (2)$$

높은 SINR은 낮은 에러 발생률(BER: Bit Error Rate)로 인해 많은 양의 데이터를 처리할 수 있게 된다. 하지만 높은 SINR을 갖기 위해서는 사용자가 높은 전력을 사용하기를 요구한다. 이는 배터리 수명이 짧아질 뿐만 아니라 높은 전력의 사용으로 인해 다른 사용자들에게 간섭을 미치게 된다. 따라서 효용함수(utility function)를 다음과 같이 정의할 수 있다[4].

$$u_i(\vec{p}) = \frac{C_i(\vec{p})}{p_i} \quad (3)$$

where,  $C_i(\vec{p}) = W \log_2(1 + \gamma_i(\vec{p}))$

여기에서  $C_i()$  함수는 SINR의 함수로 표현될 수 있다. Shannon(1948) capacity theorem에 따르면 링크 용량(capacity)은 대역폭(bandwidth)  $W$  에 대해서  $C_i()$  함수로 표현된다. 따라서 사용자 QoS 보장과 효율적인 전력제어를 고려하여 전략  $\vec{p}$  에 대응하여 전략  $p_k$  를 선택할 때의 보수함수 ( $U_i(p_k, \vec{p})$ )로 정의할 수 있다.

모든 노드의 전송전력은 다른 노드들의 전송전력에 영향을 받고, 반대로 영향을 미치게 된다. 따라서 노드  $i$  는  $\vec{p}$  상태(SINR이 결정)에서 자신의 전송파워  $p_i$  를 결정하게 된다.  $p_i$  는 노드가 사용가능한 전송전력의 혼합 전략(mixed strategy)로 표현된다. 이것은 노드  $i$  가 가용한 각각의 전력들을 확률적으로 시행하게 되는 것을 의미한다. 노드  $i$  는 가용한 전력들 중에 전략들의 평균 보수함수보다 좋은 전략(전송전력)에 대해 전략이 선택될 확률을 늘려줌으로서 진화적으로 우월한 전략임을 나타낸다. 따라서 가변 복제량은 다음과 같이 정의된다.

$$\dot{x}_k(t) = x_k(t) \times K_\alpha (U_i(p_k, \vec{p}(t)) - F) \quad (4)$$

where,  $F = \sum_j x_j(t) \times U_i(p_j, \vec{p}(t))$

$x_k$  는  $k$  번째 전략이 선택될 확률로 정의되는데, 이것

은  $k$  번째 전략이 사용될 확률을 의미한다. 또한  $x_k$  는  $x_k$  의 시간에 따른 변화율을 의미한다.  $U_i(p_k, \vec{p}(t))$  는 노드  $i$  가  $p_k$  전략 하에서 받게 되는 이득(payoff)이고  $\sum_j x_j(t) \times U_i(p_k, \vec{p}(t))$  는 노드  $i$  가 선택 가능한 모든 개체군의 전략에 대한 평균 이득을 나타낸다. 가변 복제량에 따르면 개체군 내에서 각 전략이 차지하는 비율의 성장률은 그 전략의 기대이득과 모든 전략의 평균이득과의 차이가 된다. 즉, 어떤 전략이 집단의 평균이득보다 높은 이득을 얻으면 그 전략은 집단 내에서의 비율은 증가하고, 그 반대의 경우에는 이 비율이 감소하게 된다.

$K_\alpha()$  함수는 네트워크 상황의 변화에 따른 적절한 선택을 하기 위한 함수로 정의한다. 이 함수는 어떤 대안이 실현될 수 있는 확률과 대안이 실현되었을 때 얻을 수 있는 가치의 곱으로 계산되는 기대효용의 극대화를 추구한다고 가정된다. 기대효용이론은 선택의 결과에 불확실성이 존재할 때 개인들이 기대효용을 기준으로 의사결정을 한다고 가정하고 개인의 행동을 분석하는 이론이다. 전망이론[5]의 가장 중요한 요소는 기준점 혹은 준거점(reference point)의 존재이다. 개인들은 선택의 상황에서 기댓값에 의해 결정한다는 기대효용이론의 주장과는 달리 전망이론은 이익과 손실의 문제가 중요하다고 주장한다. 기댓값의 변화가 선택에 미치는 영향보다는 개인들이 생각하는 기준점에서의 변화, 즉 이익이 발생했느냐 혹은 손실이 발생했는지를 고려하여 결정에 큰 영향을 미친다는 것이다. 기준점은 대체로 개인들의 현재 상태에서 결정된다고 한다. 전망이론에서 개인들은 이익에 관한 선택에서는 위험회피적(risk-averse)이 되고, 손실에 관한 선택에서는 위험선호적(risk-seeking)이 된다고 한다. 이처럼 기준점을 중심으로 이익이나 손실이냐에 따라 선호방식이 변화하게 된다. 네트워크에서 전망이론이 제시하는 가장 기본적인 기준점은 네트워크 사용자의 현재 전략이다. 이는 현재 행하고 있는 전략을 기준으로 하여 더 많은 자원을 획득하려고 하는 경향은 비교적 약한데 반해, 손실이 발생하게 되었을 때에는 위험을 감수해서라도 이것을 막기 위한 경향이 강할 것이다.

기대효용이론과 전망이론에서 사용되는 절대위험기피 함수(Constant Absolute Risk Utility func.)는 다음과 같이 정의된다[6].

$$K_\alpha(x) = \frac{1}{\alpha} (e^{\alpha x} - 1) \quad (5)$$

본 논문에서는 네트워크 사용자들은 가용한 전략들 중에 높은 효율을 갖는 전략에 대해 가장 많은 확률로 시행중인 상태를 기준점으로 정한다. 사용자들은 이러한 상황에서 이익을 예상하고 있으므로 위험회피적인 성향

을 나타내게 된다. 이는 계속적으로 현재 상태를 유지하는 것에 큰 의미를 두고 있으며 더 많은 이득을 얻기 위해 위험을 무릅쓰지는 않게 되는 것을 의미한다. 하지만 네트워크 상황의 변화에 따라 전략들의 효율치가 변화하게 되었을 때, 즉 가장 높은 확률로 시행하던 전략이 더 이상 가장 높은 효율치를 나타내지 않게 된다면 이에 맞는 빠른 상황 대처가 요구된다. 이러한 경우에는 손실을 회피하고 이전과 같은 상태를 유지하기 위해 위험을 감수해서라도 전략의 변화를 요구하게 된다.

네트워크 상황에 의해 절대위험기피 함수의 매개변수 결정은 다음과 같은 식을 따른다.

$$\alpha = \begin{cases} -1 & \text{if } \arg \max_i \text{Utility}(i) = \arg \max_i x_i \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Utility ( $i$ )는 노드  $i$ 가 전략  $\vec{p}$ 에 대응하여 전략  $p_k$ 를 선택할 때의 보수함수 ( $U_i(p_k, \vec{p})$ )를 의미한다.

#### 4. 성능평가

이 장에서는 본 논문에서 제안한 적응적 전력제어 방법의 성능을 기존에 존재하는 타 기법들과 비교, 분석하였다. 제안 기법의 성능을 평가하기 위해서 무선 네트워크의 시스템 환경은 다음과 같이 가정하였다.

표 1 실험에 사용된 매개변수

Simulation Area	200m × 200m
Number of Nodes	20
Communication distance	50m
Simulation Time	100 seconds
Available Power	50mW ≤ $p_i$ ≤ 100mW
Bandwidth	$W = 10^6 \text{ Hz}$
Node Energy	1 J
AWGN	$\sigma_i = 1.0 \times 10^{-10}$

성능평가는 본 논문에서 제안한 기법과 기존의 논문에서 제안하고 있는 기법(NPCR[4], GTPC[7])에 대해 비교하였다. 비교 항목은 시간에 따른 노드의 평균 에너지 사용량, 네트워크의 총 통신량, 시간에 따른 비트당 전송비율, 매개변수 변화에 따른 수렴속도를 측정하였다. 이는 네트워크의 전체 노드들의 에너지를 얼마나 효율적으로 관리하는가에 대한 평가를 진행하게 된다.

그림 1은 본 논문에서 제안 하는 기법을 노드의 평균 에너지량을 보여준다. 각 노드가 시간이 흐름에 따라 얼마만큼 오래 그 기능을 수행함으로써 네트워크를 안정적으로 운용할 수 있는지 측정하였다.

무선 네트워크 노드가 시간이 흐름에 따라 남은 평균 에너지가 어떻게 변화하였는지를 나타낸다. 시간이 흐름

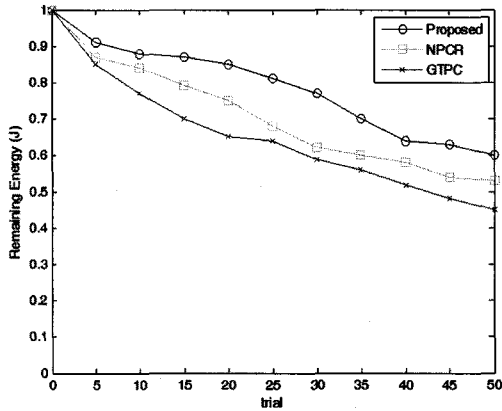


그림 1 시간에 따른 노드의 평균 에너지

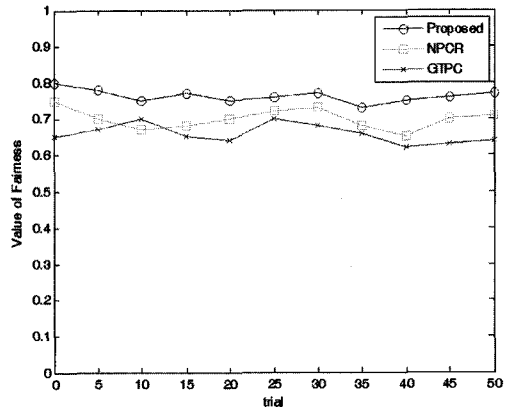


그림 3 네트워크의 공정성

에 따라 제안 기법이 기본 기법보다 안정적으로 에너지를 소비하는 것을 볼 수 있다.

그림 2는 네트워크를 운용함에 있어 얼마나 많은 데이터를 전송하고 처리할 수 있는지를 측정함으로써 제한된 에너지를 얼마만큼 효율적으로 사용했는지 비교하였다.

네트워크의 효율성은 시행 초기에 기존의 기법이 다소 나은 성능을 보여준다. 이는 제안된 기법이 동일한 게임을 반복하면서 전략을 바꾸어 나가는 학습과정과 학습을 통한 변화과정이 필요하기 때문이다. 시간의 흐름에 따라 다양한 전략을 실행함으로써 그에 따른 적응 단계가 요구되기 때문에 이와 같은 결과가 나타날 수 있다. 하지만 충분히 많은 실행 횟수에 의해서는 제안된 기법이 좋은 성능을 유지한다.

무선 네트워크 노드가 시간이 흐름에 따라 각 노드간의 신호 대 잡음비를 측정하였다. Jain's fairness index를 이용하여 서로 공정성 있게 네트워크를 운용하였는지 살펴보았다.

그림 3에서 보이는 것과 같이 각 노드들이 유지하고

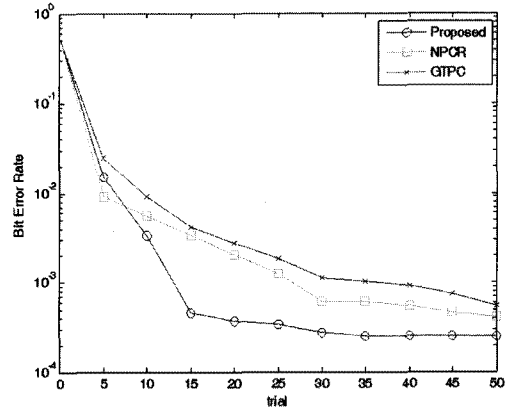


그림 4 시간에 따른 비트당 전송비율

있는 신호 대 잡음비 측면에서 대체적으로 비슷한 성능을 유지하고 있다. 그림 4는 다른 노드들로부터 받는 간섭정도에 따른 비트당 전송비율을 측정하여 데이터 처리율을 확인함으로써 네트워크가 얼마나 더 안정적인지를 비교하였다.

시간이 흐름에 따라 비교적 높은 신호 대 간섭비를 유지하는 제안 기법들의 장점으로 인해 기존의 기법들보다 낮은 에러율을 기록함으로써 성능의 우위를 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 기반으로 성능분석을 수행하였으나 비교된 기법 이외에도 무선네트워크의 전력 제어 전략에 있어서 진화적 안전전략이 유일하게 존재함을 증명하거나[8] 가격정책을 통해 무선자원을 더욱 효율적으로 이용하도록 유도하는 기법[9]도 제안되어 있다.

5. 결론

본 논문에서는 네트워크의 성능을 극대화시키기 위해, 사용전력을 효과적으로 할당하여 인접 노드 간에 발생

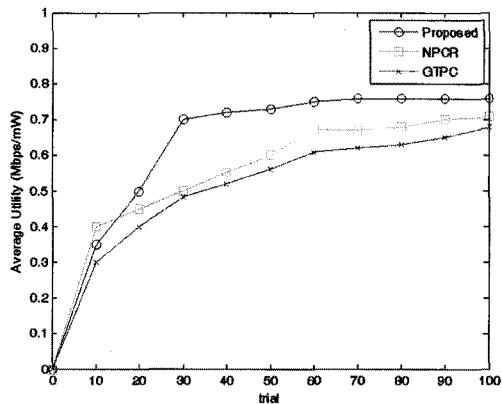


그림 2 네트워크의 평균 효율성

하는 신호간섭과 전력소모를 최소화하는 방법에 대해 제안하였다. 주변의 노드들의 수 또는 채널 상황에 따라 변화하는 동적이고 복잡한 네트워크를 모델링하기 위한 도구인 게임이론을 기반으로 적응적 전력제어 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 진화게임이론을 전력제어 방식에 적용함으로써 전체 시스템의 간섭을 줄이고 각 노드의 과도한 전력 사용에 패널티를 줌으로써 성능을 향상시킨다. 또한 소비자의 최소한의 요구를 만족시키면서 시스템의 성능 향상을 유도하도록 한다. 기존의 기법들과의 여러 가지 측면에서의 성능 평가를 통하여 제안한 알고리즘을 적용한 기법들을 비교 분석하였다. 제안기법으로 노드들 간의 에너지 효율을 높여 네트워크의 총 통신량을 증가시켰음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Hofbauer and K. Sigmund, *Evolutionary Games and Population Dynamics*, Cambridge University Press, 1998.
- [2] J. Maynard Smith, *Game Theory and the Evolution of Fighting, On Evolution*, Edinburgh University Press, 1972.
- [3] P. Taylor and L. Jonker, "Evolutionary stable strategies and game dynamics," *Mathematical Biosciences*, vol.16, pp.455-484, 1978.
- [4] C. Long, Q. Zhang, B. Li, H. Yang and X. Guan, "Non-Cooperative Power Control for Wireless Ad Hoc Networks with Repeated Games," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.25, pp.1101-1112, 2007.
- [5] D. Kahneman and A. Tversky "Prospect theory : An analysis of decision under risk," *Econometrica*, vol.47, pp.263-291, 1979.
- [6] A. Byde, "Applying evolutionary game theory to auction mechanism design," *ACM Conference on Electronic Commerce*, pp.192-198, 2003.
- [7] S. Ginde, J. Neel and R.M. Buehrer, "A game-theoretic analysis of joint link adaptation and distributed power control in GPRS," *Proc. 58th IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.732-736, 2003.
- [8] E. Altman, R. El-Azouzi, Y. Hayel, and H. Tembine, "Evolutionary power control games in wireless networks," *LNCS 4982*, pp.930-942, 2008.
- [9] C. U. Saraydar, N. B. Mandayam, and D. J. Goodman, "Efficient power control via pricing in wireless data networks," *IEEE Transactions on Communications*, pp.291-303, 2002.



김 덕 주

2007년 8월 서강대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2009년 8월 서강대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 관심분야는 QoS, 실시간 전력제어, 무선 네트워크 자원관리



김 승 옥

1993년 2월 서강대학교 전자계산학과 졸업. 1995년 2월 서강대학교 전자계산학과 석사. 2004년 2월 Syracuse University, computer science 박사. 2005년 중앙대학교 컴퓨터공학부 전임강사. 2006년~2009년 서강대학교 컴퓨터공학과 조교수. 2010년~현재 서강대학교 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 QoS, 실시간 제어처리, 셀룰러 네트워크 자원관리