

무선네트워크에서 공평성을 고려한 전력제어 알고리즘

정희원 김 덕 주*, 종신회원 김 승 욱*

Adaptive Power Control Algorithms by Considering Fairness

DeokJoo Kim* *Regular Member*, Sungwook Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 공평성을 고려하여 네트워크의 성능을 최대화하는 새로운 전력제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 기법은 게임 모델을 기반으로 효율성과 공평성을 만족하기 위해 협력한다. 이를 통해 다양한 네트워크 환경에 따라, 유연하게 대응함으로써 공평성을 고려한 네트워크 자원관리를 할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존에 제안된 전력제어 기법에 비해 본 논문에서 제안한 방법이 다양한 네트워크 환경 하에서 우수한 성능을 가지는 것을 확인하였다.

Key Words : On-Line Decisions, Power Control, Fairness, Multi-Objective Optimization

ABSTRACT

In this paper, we propose a new power control scheme to maximize the network throughput with fairness provisioning. Based on the game model, decisions in the scheme cooperatively and collaborate with each other to satisfy efficiency and fairness requirements. The simulation results demonstrate that proposed scheme has excellent network performance, while other schemes cannot offer such an attractive performance balance.

I. 서 론

무선 네트워크와 유선 네트워크의 가장 큰 차이점은 유선 네트워크에서는 각 링크들이 안정되고 신뢰성 있는 대역폭을 유지하고 있는 반면, 무선 네트워크에서의 링크는 주변 노드들의 수 또는 무선 채널 상황에 따라 얻을 수 있는 대역폭이 변화한다는 것이다. 무선 네트워크상의 노드들이 데이터를 전송하기 위해서는 노드들의 위치에 따라 지역적으로 주변 노드들과 한정된 무선 채널 자원의 사용에 대한 경쟁을 해야 한다. 또한, 높은 이동성을 유지하기 위해 배터리와 같은 제한된 전력을 사용해야 하는 등 유선 네트워크와는 다른 조건을 갖는 무선 네트워크 환경에서 각 노드들의 목적은 적은 송신전력으로써, 자신의 사용효율을 최대로 하는 것이다. 결국 필요이상의 전력을 소모하는 노드는 인접 노드에 상대적으로 많은 간섭을 주

게 되는 현상이 발생하기 때문에 빠른 전력제어를 통해 해당 노드에 필요한 최적의 전력 수준을 유지하는 방법이 필수적인 요소가 된다^{1,2)}.

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. 따라서 소비자의 최소한의 요구를 만족시키면서 네트워크의 성능 향상을 유도할 수 있는 새로운 접근방식이 필요하다. 본 논문에서는 적응적 전력제어 방식을 제안함으로써 전체 시스템의 간섭을 줄이고 각 노드의 과도한 전력 사용에 패널티를 줌으로써 성능을 향상시킨다. 또한 공평성을 고려하여 소비자의 최소한의 요구를 만족시키면서 시스템의 성능 향상을 유도하도록 한다^{1,2)}.

* 서강대학교 컴퓨터공학과(kimdj@sogang.ac.kr, swkim01@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-406, 접수일자 : 2009년 9월 14일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 10일

게임이론(game theory)은 경쟁주체가 상대방의 행동을 고려하며 자신의 이익을 효과적으로 달성하기 위한 최선전략(best strategy)을 어떻게 합리적으로 결정할 것인가를 수학적으로 분석하는 이론이다³⁻⁵⁾.

본 연구에서는 게임이론을 적용함으로써 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. 또한, 전체 네트워크를 관리하는 시스템의 입장에서는 전체 사용자들의 성능의 합을 최대화시키고자 하고, 동시에 사용자간의 성능 격차를 줄이는 것을 목적으로 할 수 있다. 이와 같이 서로 다른 문제를 해결하기 위해서 다목적 최적화 기법을 적용한다. 실제 네트워크의 설계에 있어서 최적화 기법을 도입하는 것은 매우 중요하다. 하지만 실제 네트워크의 설계시 최적화하고자 하는 것은 여러 가지가 존재하므로 어느 한 가지만을 고려한다면 전체 시스템의 측면에서는 최적의 해를 제공하지 못하는 결과가 된다. 이런 현실적 문제를 고려하여 공평성을 고려한 다목적 최적화 문제를 해결한다.

II. 관련연구

네트워크 중심에서 시스템 전체의 성능 향상을 도모하는 연구^{4,5)}들과 달리 노드들의 이기적인 특성을 이용하여 게임이론을 적용한 전력제어 문제는 기존에 발표되었던 여러 연구들에서 다루어져 왔다^{2,3)}. 또한 전력제어를 함에 있어서 여러 연구들에서 네트워크의 전력제어 문제에 게임이론을 어떻게 적용될 수 있는가를 설명하고, 여러 가지 형태의 게임을 소개하고 있다^{1,5)}. 대표적으로 Nan Feng 은 CDMA 시스템을 기반으로 사용자 관점에서 전송전력을 결정하고 네트워크 관점에서 이득을 분석하는데 게임이론을 적용해 최적화하는 방법을 소개하였다⁶⁾. Mark Félegyházi 는 Ad-hoc 네트워크에서 게임이론을 적용하여 내쉬 균형이 존재함을 연구하였다⁷⁾. 특히, Chengnian Long 은 NPCR²⁾에서 Ad-hoc 네트워크상에서 각 노드의 사용 전력에 따른 신호 대 간섭비를 정의하고 이에 따른 효용함수를 정의함으로써 게임이론을 이용한 전력제어 기법을 제안하고 있다. 네트워크 환경에서 각 노드의 이익을 최대화 하기위한 비협력적인 상황을 고려하여 반복게임을 통하여 자신의 전송과위를

결정짓게 된다. 또한 Samir Ginde 가 제안한 GTPC³⁾에서는 GPRS 네트워크에서 기지국과 이동국간의 coding scheme과 전력제어를 반복적인 게임을 통해 최적 해를 찾아 나아간다.

전통적 게임이론에서는 모든 참가자가 합리적인 행위를 한다는 가정에서 논의가 전개되는데, 모든 참가자에게 합리적인 기대와 합리적 선택의 두 가지 합리성을 요구하고 있다. 즉, 모든 참가자는 다른 참가자의 전략선택에 대한 정확한 기대를 하여야 하고, 동시에 각 참가자의 전략선택은 자신의 기대에 대한 최적 대응이어야 하는 것이다. 이는 모든 가능한 전략에 대해 서술하기를 요구하게 되는데, 아무리 복잡한 최적화 문제라도 정확히 예측하여 반드시 합리적인 판단을 하여 한다는 가정이 현실적이지 못하기 때문에 새로운 접근 방식이 요구된다.

III. 제안기법

본 논문에서는 게임이론 기반의 다목적 최적화 문제를 해결하기 위한 방법으로 노드들 간의 공평성(fairness)에 따른 예측 기법을 적용한다. 서비스 QoS 제공 및 신뢰성 있는 전력제어 개발을 위해 주변 노드들의 수 또는 채널 상황에 따라 변화하는 무선 환경을 모델링 한다. 이는 각 노드들의 다중 홉 통신 과정에서 발생하는 간섭(interference) 정의하여 서로간의 상관관계를 추론하고 시간의 변화에 따른 환경을 예측한다. 따라서 최소의 소비전력으로 서비스 QoS를 제공할 수 있는 기법에 대해 소개한다.

3.1 효용함수 정의

무선 네트워크에서 집합 $L = \{1, 2, \dots, N\}$ 은 노드의 쌍으로 구성되며, 각각의 링크는 발신노드(transmitter)와 수신노드(receiver)로 구성된다. 네트워크에서 i 번째 사용자의 전송전력 p_i 을 정의한다. ($p_i^{\min} \leq p_i \leq p_i^{\max}$) 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, σ_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.

$$\gamma_i(\vec{p}) = \frac{p_i h_{ii}}{\sum_{j \neq i} p_j h_{ji} + \sigma_i} \quad (1)$$

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 공평성을 고려한 효용함수(utility function)를 다음과 정의할 수 있다.^[2]

$$u_i(\vec{p}) = \frac{C_i(\vec{p})}{p_i} \times F_{jain} \quad (2)$$

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 $U_i(p_k, \vec{p})$ 은 전략 \vec{p} 에 대응하여 전략 p_k 를 선택할 때의 보수함수로 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 전송속도 p_i 를 결정짓게 된다.

효용함수는 사용자들의 채널 상태에 따라 성능 격차가 심하게 발생할 수 있기 때문에, 이와 같은 경우에 제한을 두기 위해 각 사용자간의 공평성을 나타내는 지표로서 Jain's Fairness index^[8]를 이용한다. 이것은 전체 확률변수의 분포 중 개별 SINR의 효율 비율을 계산함으로써 전체 SINR 간의 공평성을 정당하게 도출할 수 있다. Jain's Fairness index는 네트워크에 n 개의 SINR이 존재할 때, (3)식과 같이 나타내어진다.

$$f(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n) = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \gamma_i\right)^2}{n \sum_{i=1}^n \gamma_i^2} \quad (3)$$

식(3)과 같이, 개별 SINR 벡터로 이루어진 전체 랜덤 확률변수 $X(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n)$ 의 분포를 분산과

평균의 제곱의 합으로 나타낸다. 또한 해당 SINR들의 평균의 제곱으로 나타낸다. 이는 0에서 1까지의 수로 표현된다. 완벽한 공평성은 $F_{jain} = 1$ 일 때, 달성된다.

3.2 다목적 최적화를 이용한 전력제어

다목적 최적화를 통하여 얻은 최적해의 집합은 설계안의 최종 결정자가 어느 설계안을 채택할 것인가 하는 선택에 중요한 자료로 이용될 뿐 아니라 각 목적함수의 변화가 어느 정도 민감한지를 알 수 있게 해준다. 이러한 필요성으로 인해 다목적 최적화를 위한 효율적인 해석 기법이 요구된다.

제약식법은 최적해의 집합을 제공하기 때문에 최후의 선택권을 설계자가 가질 수 있게 한다. 이 방법은 여러 목적함수 중 가장 중요하다고 여겨지는 주목적함수를 제외한 나머지 부목적함수를 제약식법으로 변환하여 최적화를 수행하는데 이를 통해 최적해의 집합을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 제약식법은 부목적함수를 제약식법으로 변환하면서 상한치를 ϵ 으로 설정하고 이 값을 일정 범위에서 변화시키면서 Pareto-front 상의 최적해를 구한다. 그러나 이 값의 변화를 얼마만큼씩 주어야 하는가에 대한 기준이 없기 때문에 만일 어떤 목적함수의 변화가 매우 민감할 경우 단순한 변화만으로는 설계자의 판단에 도움이 될 만한 충분한 Pareto 최적해를 구할 수 없다. 이에 네트워크 상황에 맞게 적응적인 ϵ 값 변화를 통해 실시간 관리를 제안하고자 한다.

무선 네트워크상에서 전력제어의 목적은 모든 사용자의 SINR γ_i 이 상한치 ϵ^* 이하로 떨어트리지 않으므로 하여 각각의 사용자들에게 적절한 QoS를 보장시키는 것이다.

$$\gamma_i \geq \epsilon^* \quad \forall i \in L \quad (4)$$

전체 네트워크를 관리하는 시스템의 입장에서는 전체 사용자들의 성능 U_i 의 합을 최대화시키고자 한다. 하지만 네트워크 내에 존재하는 각 사용자들은 많은 자원을 할당받기를 원하며 사용자의 성능을 최대한으로 이끌어내려고 노력하게 된다. 또한 사용자의 채널 상태에 따라 통신을 할 수 있는 최소한의 채널 상태를 나타내는 상한치 ϵ 값을 넘는 경우 일정한 자원을 할당하게 된다.

$$\begin{aligned} & \text{maximize} \quad \sum U_i \\ & \text{subject to} \quad \gamma_i \geq \epsilon \end{aligned} \quad (5)$$

채널의 상태가 좋은 사용자와 동일한 자원을 확보 하였음에도 불구하고 그렇지 못한 사용자는 비교적 제한된 성능을 유지하게 된다. 그렇게 됨으로서 사용자간의 성능 격차가 발생하게 된다. 이는 특정 사용자 만 많은 자원을 할당 받음으로서 사용자간의 경쟁이 동등하지 않게 된다. 따라서 효율을 최대로 하면서 불균형적인 문제를 해결하기 위한 새로운 알고리즘이 필요하다. 그러므로 채널 상태를 나타내는 상한치 ϵ 값을 변경시킴으로서 두 가지 목적함수를 최적화한다. 상한치 ϵ 값이 작으면 요구치를 만족시키기 위해 비교적 적은 자원을 필요로 하며, 조건을 만족시킨 후 채널 상태가 좋은 사용자에게 더욱 많은 자원을 할당할 수 있어서 시스템의 성능은 최적화된 값에 더욱 가까이 접근하게 되나 사용자간의 공평성 문제가 발생한다. 반대로 상한치 ϵ 값을 상대적으로 크게 설정하게 되면 사용자들은 서로 비슷한 성능을 유지하나 상한치 ϵ 값을 넘지 않는 사용자에 대해서는 시스템에서 더욱 많은 자원을 할당함으로써 최적화된 값에서는 멀어진다. 이와 같은 상호 상충(trade-off)되는 요구를 동시에 만족시키는 형태로 작동시켜 비효율적인 상황을 피하고 공평하게 성능을 유지하기 위해서 제안된 알고리즘은 작동한다.

제안된 알고리즘에서 각 사용자의 서비스를 지원하기 위해 일정 채널상태를 보장해 주도록 설계되었는데, 이 채널상태 보장량은 네트워크의 상황에 따라 적절히 조절된다. 현재 단계에서 설정된 목표치보다 좋은 채널상태를 유지하는 사용자 수를 기반으로 목표치를 증가시킨다. 제안된 방법을 통해 네트워크의 내의 사용자들의 채널상태를 기반으로 상한치 ϵ 값을 적극적으로 변경할 수 있다.

$$\epsilon_{next} = \epsilon_{current} \times \left[1 + \frac{Individual}{Population} \right] \quad (6)$$

Population 는 전체 사용자의 수를 의미하며, Individual 는 $\epsilon_{current}$ 제약을 만족시키는 사용자의 수를 나타낸다. 이를 바탕으로 상한치 ϵ 값을 변경시키기 위해서 제안된 효율함수의 변화에 따라 판단을 결정하게 된다. 이에 대한 식은 다음과 같다.

$$\epsilon^* = \left\{ \epsilon \mid \epsilon = \epsilon + \delta \wedge \sum_i U_{n,i} < \sum_i U_{n+1,i} \right\} \quad (7)$$

$U_{n,i}$ 은 n 번째 단계에서 i 번째 사용자의 효율함수로 정의될 수 있다. 이것은 상한치 ϵ 값을 변경함으

로서 $n+1$ 단계에서의 효율함수의 총합이 n 단계에서의 그것보다 효율적인 것을 의미한다. 하지만 상한치 ϵ 값의 증가에 따른 효율함수의 합이 감소하게 된다면 피드백 작용을 통해 효율함수를 최대화하고자 한다.

$$\epsilon_{next} = \epsilon_{current} \times \frac{1}{2} \quad (8)$$

이전 단계에서 상한치 ϵ 값 변화를 통해 효율함수를 증가시키지 못하였다면, 다음 단계에서는 너무 높은 채널상태를 유지하려고 하는 대신 상한치 ϵ 값을 1/2 낮춤으로서 시스템의 성능을 최대화 하도록 유도한다. 이 알고리즘은 슬로우 스타트를 응용하였다 (Jacobson, 1988). 따라서 식(8)을 이용하여 상한치를 낮춘 이후에 다시 식(9)을 통해 상한치를 높이게 된다. 계속해서 상한치 ϵ 값을 변화시키면서 효율함수의 변화를 살피게 된다.

IV. 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.

실험은 노드의 위치에 따라 100초 동안 실시하였으며, 노드의 위치를 확률분포에 따라 임의로 변경시키며 동일한 방법으로 50회 실시하였다. 트래픽 발생 모델은 고정비트율(Constant Bit Rate)을 이용하여 각 노드의 전송요청 확률을 일정하게 가정하였다. 각각의 사용자의 효율함수는 $U_i(p_i, \vec{p})$ 을 사용한다. 이때 대역폭은 $W=10^6 Hz$, AWGN 잡음 $\sigma_i = 1.0 \times 10^{-10}$ 이다. 또한 무선 네트워크 노드의 기본 전력은 1J 로 설정하였고 사용자 i 가 사용가능한 전력은 $50mW \leq p_i \leq 100mW$

표 1. 실험에 사용된 매개변수

Simulation Area	200m × 200m
Number of Nodes	20
Communication distance	10m ≤ Distance ≤ 50m
Simulation Time	100 seconds
Available Power	50mW ≤ p _i ≤ 100mW
Bandwidth	W= 10 ⁶ Hz
Node Energy	1 J
AWGN	σ _i = 1.0 × 10 ⁻¹⁰

이다. path gain $h_{ij} = KS_{ij}(d_0/d_{ij})^\beta$ 정의되는데, 여기에서 d_{ij} 는 두 노드간의 거리이며 $K=10^{-6}$, $d_0=10m$ 는 상수이다. 각각의 path loss exponent $\beta=4$ 이고 shadowing factor S_{ij} 는 거리에 따른 log-normal 분포 모델을 가진다고 가정하였다.

성능평가는 본 논문에서 제안한 기법과 기존의 논문에서 제안하고 있는 기법 (NPCR^[2], GTPC^[3])에 대해 비교하였다. 비교 항목은 시간에 따른 노드의 평균 에너지 사용량, 네트워크의 총 통신량, 시간에 따른 비트당 전송비율을 측정하였다. 이는 네트워크의 전체 노드들의 에너지를 얼마나 효율적으로 관리하는가에 대한 평가를 진행하게 된다.

그림 1은 본 논문에서 제안 하는 기법을 사용했을 때, 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 흐름에 따라 제안 기법이 기본 기법보다 안정적으로 에너지를 소비하는 것을 볼 수 있다. 이것은 제안 기법으로 노드간의 간섭을 최소화하여 적은 에너지 소비로도 효율이 높은 운영이 가능하다는 것을 보여준다. 따라서 전체 네트워크가 그 기능을 수행할 수 있는 시간이 증가한다.

그림 2는 무선 네트워크 노드가 시간이 흐름에 따라 각 노드간의 신호 대 잡음비를 측정하였다. Jain's fairness index 를 이용하여 서로 공평성 있게 네트워크를 운용하였는지 살펴보았다.

그림 2에서 보이는 것과 같이 각 노드들이 유지하고 있는 신호 대 잡음비 측면에서 대체적으로 비슷한

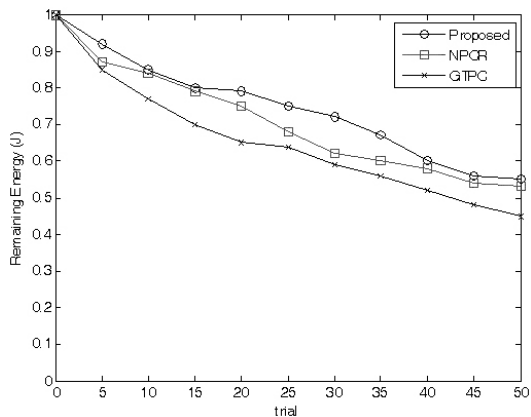


그림 1. 시간에 따른 노드의 평균 에너지

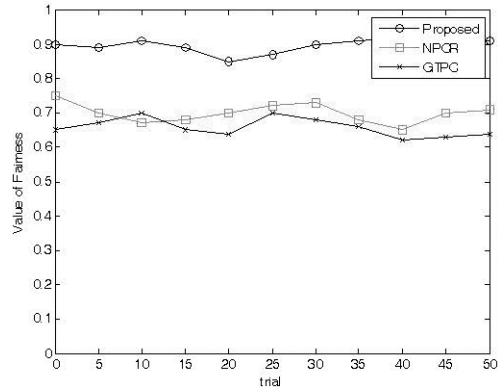


그림 2. 네트워크의 공평성

성능을 유지하고 있으나 제안기법이 비교적 두드러진 공평성의 우위를 보이고 있다. 이것은 효율성 측면에서의 손해를 다소 감수하더라도 공평성 측면을 고려하여 노드간의 성능 격차를 어느 정도 해소한 모습으로 이해할 수 있다. 그림 3은 다른 노드들로부터 받은 간섭정도에 따른 비트당 전송비율을 측정하여 데이터 처리율을 확인함으로써 네트워크가 얼마나 더 안정적인 인지를 비교하였다.

비트당 전송비율은 $BER_i = 1 - \exp(-0.5 \gamma_i)$ 으로 정의하여 제안 기법과 기존 기법의 성능을 비교 측정하여 데이터 처리율을 확인하였다. 시간이 흐름에 따라 비교적 높은 신호 대 간섭비를 유지하는 제안 기법들의 장점으로 인해 기존의 기법들보다 낮은 에러율을 기록함으로써 성능의 우위를 확인할 수 있었다.

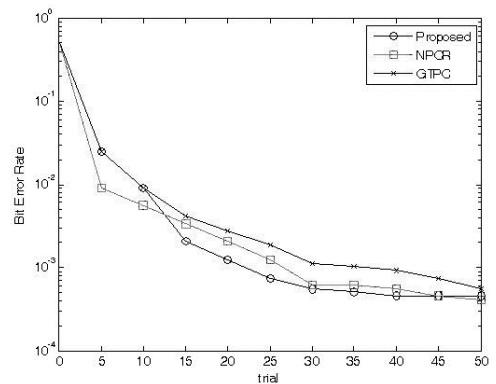


그림 3. 시간에 따른 비트당 오류율

V. 결 론

본 논문에서는 네트워크의 성능을 극대화시키고 전체 사용자간의 성능 격차를 줄이기 위해, 사용전력을

효과적으로 할당하여 인접 노드 간에 발생하는 상호 간섭과 전력소모를 최소화하는 방법에 대해 제안하였다. 주변의 노드들의 수 또는 채널 상황에 따라 변화하는 동적이고 복잡한 네트워크를 모델링하기 위한 도구인 게임이론을 기반으로 다목적 최적화 문제를 노드들 간의 공평성을 고려하여 서비스 QoS 제공 및 신뢰성 있는 전력제어 개발에 적용하였다.

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. 따라서 소비자의 최소한의 요구를 만족시키면서 네트워크의 성능 향상을 유도할 수 있는 새로운 접근방식이 필요하다. 본 논문에서는 다목적 최적화 문제를 전력 제어 방식에 적용함으로써 전체 시스템의 간섭을 줄이고 각 노드의 과도한 전력 사용에 페널티를 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] V. Shah, N.B. Mandayam and D.J. Goodman, "Power control for wireless data based on utility and pricing", *Proc. 9th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol.3, pp.1427-1432, 1998.

[2] 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.

[3] 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

[4] Y. Wu, P. Chou, Q. Zhang, K. Jian, W. Zhu, and S.Y. Kung, "Network Planning in Wireless Ad hoc Networks: A Cross-layer Approach", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.23, pp.136-150, 2005.

[5] A.B. MacKenzie and S.B. Wicker, "Game Theory in

Communications: Motivation, Explanation, and Application to Power Control", *Proc. of GlobeCom*, pp.25-29, 2001.

[6] N. Feng, S. Mau, and N. Mandayam, "Pricing and power control for joint network-centric and user-centric radio resource management", *IEEE Trans. on Communications*, Vol.52, pp.1547-1557, 2004.

[7] M. Félegyházi, J.-P. Hubaux, and L. Buttyán, "Nash equilibria of packet forwarding strategies in wireless ad hoc networks", *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.5, pp.463-476, 2006.

[8] R. Jain, D. Chiu and W. Hawe, "A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system", Digital Equipment Corporation, *Technical Report*, DEC-TR-301, 1984.

김 덕 주 (DeokJoo Kim)

정회원



2007년 8월 서강대학교 컴퓨터 공학과
 2009년 8월 서강대학교 컴퓨터 공학과 석사
 <관심분야> QoS, 실시간 전력 제어, 무선 네트워크 자원관리, 게임이론

김 승 욱 (Sungwook Kim)

종신회원



2003년 12월 Syracuse University, computer science 박사
 2005년 중앙대학교 컴퓨터 공학부 전임강사
 2006년~현재 서강대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <관심분야> QoS, 실시간 제어 처리, 셀룰러 네트워크 자원관리