

SON(Self Organizing Network)기술을 이용한 해양 수중 센서 간 통신에 있어서 데이터 중요도에 따른 패킷 차별화 전송 기법

정회원 박 경 민*, 종신회원 김 영 용*

Differentiated Packet Transmission Methods for Underwater Sensor Communication Using SON Technique

Kyungmin Park* *Regular Member*, Youngyong Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 해양에서 동작하는 센서들 간의 통신 상황에 있어, 정보의 중요도에 따라 패킷에 우선순위를 줌으로써 보다 안정적이고 차별화된 정보 전달이 이루어질 수 있는 방안을 제안한다. 특히 음향통신을 기반으로 하는 해양 수중 통신은 환경 변화에 따라 그 성능이 크게 변화하기 때문에, 본 논문에서는 무작위적으로 분포되어있는 센서 노드들이 환경 변화에 적응적으로 대처할 수 있도록 하기 위하여 기존의 SON(Self Organizing Network) 기법을 효과적으로 적용할 수 있는 방안을 제시한다. 구체적으로 수중에 분포된 센서노드들이 중요도에 따라 두 종류의 패킷을 생성하여 정보수집노드로 전송하는 시스템을 가정하였고, 실험을 통하여 제안 기법을 적용하였을 때 중요도가 높은 패킷이 일반 패킷에 비하여 전송 시간이 단축됨을 확인하였다.

Key Words : Underwater, Wireless, Sensor Network, SON, Priority

ABSTRACT

For the underwater wireless sensor networks, we propose the packet transmission method which distinguishes more important packet than others. Because the ocean underwater transmission environments are extremely unstable, we use SON(Self Organizing Network) techniques to adapt to the constantly varying underwater acoustic communication channels and randomly deployed sensor nodes. Especially we suppose two kinds of packets which have different priorities, and through the simulations we show that high priority packets arrive at the source node faster than lower priority packets with a proposed scheme.

1. 서 론

해양 자원의 활용에 대한 관심 증가와 수중 음향 통신 기술의 급격한 발전을 통하여, 기존의 무선 통신 시스템을 해양 통신에 효과적으로 적용할 수 있는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 해양

자원 개발 및 군사적 방어 시스템을 위해서 효율적이고 안정적인 수중 센서네트워크의 구축은 필수적으로 선행되어야 하는 기술 요소이다. 그림 1은 해양 수중 센서네트워크의 기본적인 구성을 보여준다.

해양 수중 통신 환경은 기존의 무선 통신에 비하여 안정도가 떨어지고 음향 채널 환경의 변화가 급격하

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1011-0006))

* 연세대학교 전기전자공학과 (hong@paper.korean.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-02-086, 접수일자 : 2011년 2월 6일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 4일

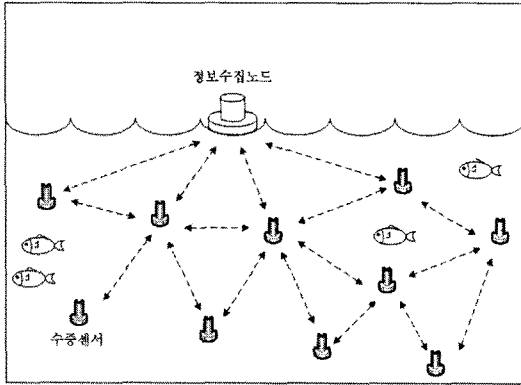


그림 1. 해양 수중 센서네트워크 구성도

기 변화한다는 특징이 있다. 따라서 이러한 환경에 효과적으로 대처하기 위해서는 각각의 센서노드가 개별적으로 동작하여 전체 센서 네트워크의 성능을 향상시키도록 하는 SON(Self Organizing Network) 기술이 시스템의 안정성 향상 및 동작의 복잡도 감소 등의 이점을 갖는다^{1,2)}. 특히 광범위하게 분포된 센서 네트워크 시스템에서는 원거리 통신에 제약이 있는 수중 통신의 특성상 중앙 집중식의 관리가 어렵기에 SON 기술 적용이 더욱 필수적이다. 본 논문에서는 이러한 이점을 갖는 SON 기술들 중에서 여러 센서 노드들이 광범위하게 분포되어 있는 상황에서 부하 분산 기능을 갖는 동시에 네트워크 주변 환경 변화에 적응적으로 대처할 수 있는 ACO(Ant Colony Optimization) 기법을 해양 센서 네트워크에 적용하고, 또한 정보의 중요도에 따라 패킷을 차별화하여 우선적으로 전달할 수 있도록 ACO 기법을 개선하는 방안을 제안한다.

우선 II장에서 기본적인 SON 기술 및 ACO 기법의 적용방안을 제시하고, III장에서 구체적으로 패킷 중요도에 따라 차별화된 정보전달 기법을 제안한다. 또한 구체적인 실험을 통하여 IV장에서 제안 기법의 성능을 분석하고, V장에서 결론을 짓는다.

II. SON 기술의 적용

SON 기술은 시스템을 이루는 각각의 단일 센서들이 제각각 간단한 동작을 함으로써 전체 네트워크의 성능 향상을 추구한다. 즉, 시스템을 구성하는 각 센서노드가 상호작용을 통해 아래서부터, 자발적으로 환경 변화에 적응하기 위한 새로운 질서를 만들어내므로 중앙으로부터의 복잡한 관리 작업 없이 주변 상황의 변화에 유연하게 대처할 수 있다. SON 기술의 기본적인 디자인 방향은 다음과 같다³⁾.

- 시스템 전체의 목적 달성을 위해 각 센서 노드들의 행동 규칙을 정한다.
- 각 센서 노드들의 동작에 관한 완벽한 설계가 아닌 직관적 동작만을 설계한다.
- 시스템 상태에 관한 공유 정보를 최소화 한다.
- 환경변화에 적응적인 프로토콜을 개발한다.

2.1 ACO 기술

본 논문에서는 이러한 SON 특성을 갖는 기술들 중에서 개미들의 동작으로부터 착안한 생태계 모방 라우팅 기법인 ACO(Ant Colony Optimization)를 적용한다. ACO 기법은 최종 도착 노드를 향하기 위하여 바로 다음으로 지나게 되는 이웃 노드들에 대한 선택 확률을 결정하고 그 확률 값을 바탕으로 임의의 이웃 노드로 패킷을 전달하는 방식으로 동작한다. 그림 2와 같이 각 노드에서의 라우팅 테이블을 갱신하기 위하여 Forward Ant와 Backward Ant 두 가지 종류의 제어 패킷이 사용된다. 본 논문은 기본적으로 Caro가 제안한 AntNet 라우팅을 바탕으로 전개된다⁴⁾.

Forward Ant 제어 패킷은 각 노드에서 생성되어 도착노드까지 이동하면서 지나는 노드들의 정보를 수집하는 역할을 한다. 일정한 간격으로 모든 노드들은 Forward Ant를 생성하여 네트워크 안에 있는 임의의 노드를 목적 노드로 하여 전달한다. 목적노드를 향하여 이동하는 도중 중간 노드들을 거치면서 Forward Ant 내에 각각의 지나치는 노드 정보와 걸리는 시간 등이 기록된다. 이 때 Forward Ant는 일반 데이터 패킷과 동일한 우선순위로 대기행렬에서 처리된다. 이는 실제 데이터 패킷이 겪는 상황을 그대로 거침으로써 지연시간 등의 정보를 얻기 위함이다. 또한 AntNet 라우팅 기법이 적용되는 상황에서의 데이터 패킷과 마찬가지로 각 노드에서 확률 값에 의해 임의의 이웃

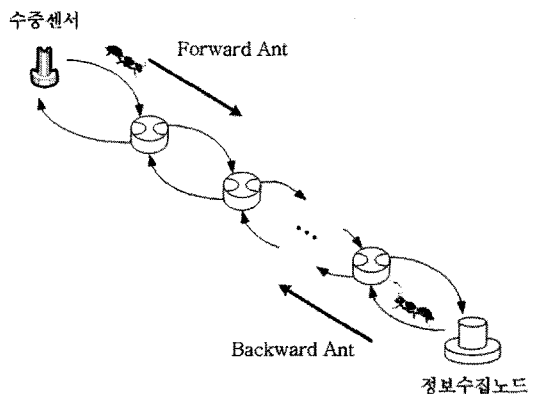


그림 2. 제어 패킷 동작 방법

노드로 전달된다.

Backward Ant는 목적노드에 Forward Ant가 도착할 때마다 생성되는 제어 패킷으로서 시작노드로 재전송된다. Backward Ant는 Forward Ant가 수집한 경로 및 지연시간 등의 정보를 모두 저장하고 있으며 Forward Ant가 지나온 노드들을 정확히 역으로 이동하면서 각 노드들에게 수집된 정보를 전달한다. 전달받은 정보는 각 노드에서 라우팅 테이블을 갱신하는데에 사용된다. 이 때 Backward Ant는 각 노드의 대기행렬 상에서 일반 데이터 패킷들과 구별되어 최우선 순위로 처리된다. 수집된 정보를 최대한 지연 없이 전달하여 시스템에 적용시킴으로써 라우팅 기법이 네트워크의 환경 변화에 빠르게 대처할 수 있도록 한다. 최종적으로 Backward Ant가 Forward Ant를 생성한 시작 노드에 도착하게 되면 정보를 노드에 전달한 후 제거된다.

Backward Ant가 노드에 도착하면 라우팅 테이블에서 해당 목적노드 d' 를 위한 이웃 노드 선택확률 중에 바로 이전에 지나온 노드에 대한 선택확률 $p_{fd'}$ 이 식 (1)과 같이 증가한다. 이에 따라 Backward Ant가 지나온 이웃노드를 제외한 나머지 이웃노드에 대한 선택확률 $p_{nd'}$ 들은 식 (2)와 같이 감소하게 된다.

$$p_{fd'} \leftarrow p_{fd'} + r(1 - p_{fd'}) \quad (1)$$

$$p_{nd'} \leftarrow p_{nd'} - r p_{nd'} \quad (2)$$

여기서 r 은 reinforcement 값으로 얼마나 많은 확률 값을 변화시킬지 결정하는 변수로서 시작노드에서

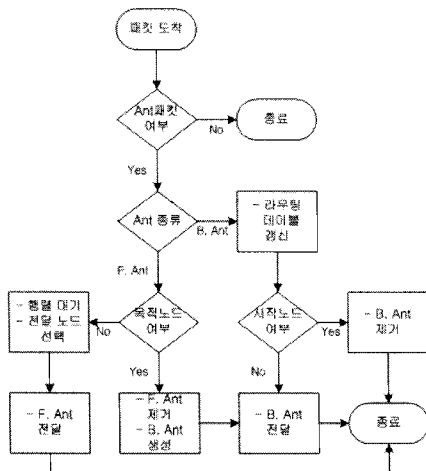


그림 3. Ant 패킷 도착 시 각 센서 노드들의 동작 과정

목적노드까지 걸리는 시간과 이에 대한 통계적인 수치 및 변화하는 정도 등을 고려하여 결정된다. 각 노드에 Ant 패킷이 도착하였을 때의 구체적인 동작 과정은 그림 3과 같다. 이러한 과정을 통하여 얻어진 각 센서노드에서의 경로별 패킷 전송 확률 값을 바탕으로 하여, 실제 데이터 패킷을 패킷 수집 노드로 전달함에 있어서 각 센서노드는 패킷을 건넌 바로 다음 센서 노드를 확률 값에 비례하는 비중을 반영하여 무작위로 선정한다.

2.2 수중 센서 네트워크를 위한 ACO 기술

ACO 기법은 기본적으로 유동적인 네트워크 상황에 효과적으로 적용할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 즉, 현재의 각 경로별 부하정도와 서비스 능력 등을 실시간으로 파악하고 그에 맞는 효율적인 경로로 패킷들을 분산시켜 전송한다. 특히 링크가 단절되는 등의 불의의 상황에도 기존의 라우팅 기법들에 비해 상대적으로 적응적인 대처가 가능하다^[5]. 따라서 이러한 ACO 기법의 특징은 수중 무선 센서 네트워크와 같은 유동적이고 불안정한 환경에서 더욱 그 장점이 부각될 수 있다.

본 논문은 센서네트워크에서 각 센서 노드들이 사용하는 기본적인 MAC(Medium Access Control)기법을 CSMA/CD 로 가정한다. 따라서 멀티홉 전송 시에 다수의 패킷 전달 경로들이 중첩되는 지점에서는 경쟁(contention)이 크게 발생하여 패킷 지체현상이 우선 상황에 비하여 두드러지게 나타난다. 따라서 ACO 기법의 중요한 장점인 다수의 경로들로 패킷들을 고르게 분산하여 전달함으로써 부하를 적절히 분배하는 기능은 수중 센서네트워크 시스템에서 큰 효율을 발휘한다.

III. 정보 중요도에 따라 차별화된 패킷 전송 기법

본 논문에서는 패킷의 종류를 그 중요도에 따라 D_1, D_2 두 가지로 분류한다. D_1 은 D_2 에 비해 상대적으로 전달 속도에 있어서 우선순위를 두어야 하는 패킷이다. 예를 들어 즉각적인 피드백을 요하는 해양 수질을 측정된 결과, 또는 군사 방어 시스템에서 이상 징후 감지 등의 정보는 정보수집 노드로의 정보전달이 빠르게 진행되어야 하는 반면, 수온 측정결과나 염분 변화 등의 정보들은 상대적으로 느리게 전달되더라도 무관하다.

ACO 기법에서 패킷을 전달할 다음 노드 선택은 II장에서 언급한 바와 같이 경로 선택 확률을 기반으

로 하여 무작위로 이루어진다. 그림 4와 같이 확률 값에 따라 패킷을 전달함으로써 패킷들이 각 경로별로 고르게 분산되기 때문에 하나의 경로에 집중되어 발생하는 지체현상을 방지할 수 있다. 따라서 결과적으로 [5]의 실험 결과에서 알 수 있듯이 정보수집노드에 도달하는 패킷들은 어느 경로를 통하여 전달되든지 비슷한 시점에 도착하게 된다.

본 논문에서 제안하는 기법은 이러한 ACO 기법의 동작 방법을 이용하여 D_1 , D_2 패킷들이 차별화되어 전송될 수 있도록 한다. 즉, 패킷 전달 시에 단순히 식 (1), (2)에 의해 정해진 확률에 따라 패킷을 다음 센서노드로 전송하는 것이 아니라 D_1 , D_2 패킷들이 그 중요도에 따라 차등을 두어 경로를 선택하도록 한다. 구체적으로 D_1 패킷이 가능한 한 지연이 덜한 경로로 전송되도록 유도하고, D_2 패킷은 지연이 다소 있는 경로로 우회하도록 유도함으로써 결과적으로 D_1 패킷들이 D_2 패킷들보다 정보수집노드에 빠르게 도착할 수 있도록 한다. 이 때, D_1 패킷들을 지연이 덜한 경로 쪽으로 몰아주는 방식을 취하게 되면, D_1 패킷의 양이 D_2 패킷들의 양보다 상대적으로 많을 경우 오히려 D_1 패킷들이 이동하는 경로에 더 많은 패킷들이 몰리게 되어 전송시간이 지연될 수 있는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 D_1 패킷의 경로 선택 방법을 변화를 주는 대신, D_2 패킷들로 하여금 전송 지체가 덜한 경로를 피해가도록 변화를 주고 D_1 패킷은 자연스럽게 지체가 덜 되는 경로 쪽으로 전송되도록 하는 방식을 사용한다.

그림 4에서 현재 노드 i 에 대하여 D_1 패킷의 경우 그림에 나타난 각 경로별 선택 확률 그대로 p_{ij} , p_{ik} , ..., p_{il} 에 따라 무작위로 다음 전달 노드를 선택한다. 반면, D_2 패킷들은 아래와 같이 변화된 방법에 따라

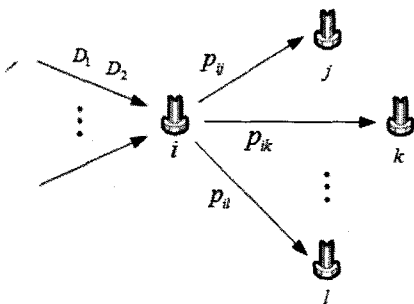


그림 4. ACO 기법에서 경로 선택 확률에 따른 패킷 전달 방법

다음 패킷전달 경로를 선택한다.

- ① 현재 선택확률이 가장 높은 노드 j^* 를 선정
- ② j^* 경로 선택확률: $p'_{ij} = Kp_{ij}$
- ③ 나머지 경로 선택확률: $p'_{ik} = \frac{1-p_{ij} \cdot K}{1-p_{ij}} p_{ik}$

여기서 K 는 (0,1) 범위의 값으로 D_2 패킷이 경로 j^* 를 선택할 확률을 얼마만큼 줄여줄 것인지 정하는 역할을 하며, D_1 패킷의 중요도, 전체 패킷들 중 D_1 패킷이 차지하는 비중 등에 따라 다르게 설정되는 값으로 구체적인 시스템 환경에 맞추어 결정한다.

지금까지 정리한 바와 같이 본 논문이 제안하는 해양 수중 센서네트워크에서 패킷을 전달하는 기법은 패킷들을 구분하여 중요도에 따라 경로선택확률에 변화를 주어 그에 따라 패킷들을 다음 선택 센서노드로 전달하고, 또 II장에서 서술한 경로선택확률을 얻는 방법으로 다시 피드백을 받음으로써 동작한다. 다음 장에서는 제안하는 기법이 어떻게 수렴하여 동작하는지 실험을 통하여 확인하고, 그 성능을 분석한다.

IV. 성능 분석

수중센서네트워크에서 제안한 알고리즘의 동작을 실험하기 위하여 그림 5와 같이 총 20개의 센서노드와 1개의 정보수집노드로 구성된 네트워크를 가정한다. 수심 70m까지 100m 너비에 걸쳐 센서노드들이 분포하여 있고, 정보수집노드는 수면에 가까운 가장 위쪽 중앙에 위치해 있다. 본 실험에서는 2차원의 평면 상태만을 고려한다. 또한 수면의 한 가운데에는 정

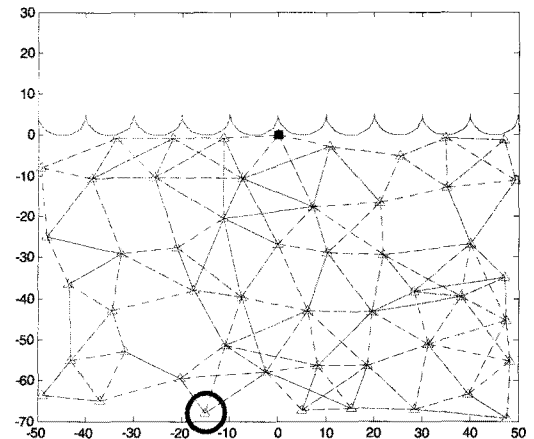


그림 5. 해양 수중 센서네트워크 실험 환경

보수집노드가 위치해 있다. 각 센서노드들은 기본적으로 CSMA/CD를 기반으로 동작하며, 모든 노드들이 일정한 양의 D_1 , D_2 패킷들을 생성하여 정보수집노드로 전달한다. 센서노드들 서로 간에 직접 통신이 가능한 범위를 20m로 설정하고, 그 범위 내에 있는 경우 점선으로 연결하여 표시하였다.

이러한 네트워크 구성을 바탕으로 모든 센서노드는 각각 1000개의 패킷을 발생시켜 정보수집노드로 전송한다. D_1 , D_2 패킷들에 우선순위를 두기 위하여 K 값을 0.5로 설정한다. 이 때 D_1 , D_2 패킷들은 서로 번갈아가면서 하나씩 생성되어 양 패킷들이 동일한 양만큼 발생되도록 한다. 그림 6은 그림 5에서 가로축 -15, 세로축 -68에 위치한 원으로 표시되어있는 센서노드에서 패킷을 전송할 때 각 경로별 선택확률의 변화를 나타낸 그래프이다. 처음에는 모두 1/3의 확률로 모든 경로에 대하여 그 값이 동일하지만 시간이 지날수록 지연이 가장 적은 중앙 경로에 대한 선택 확률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 반면 가장 왼쪽에 위치한 센서노드 쪽으로의 경로는 상대적으로 우회해야만 정보수집노드에 도달할 수 있기 때문에 시간이 지남에 따라 선택 확률이 줄어들게 된다. 또한 점선으로 표시한 D_2 패킷을 전송하기 위한 확률 값들의 변화를 살펴보면, 본래의 선택확률들 중 그 값이 가장 높은 중앙 경로에 해당하는 확률 값에 대하여 K 값을 곱해 주기 때문에, 중앙 경로의 D_2 패킷에 대한 선택 확률 값이 가장 낮은 수치로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 실제로 중앙 경로로 패킷을 전송하였을 때 그 지연시간이 가장 적음에도 불구하고 D_2 패킷들을 적게 보냈으므로, 상대적으로 D_1 패킷들은 중앙 경로로 보내졌을 때 지연시간이 더욱 단축되어 정보수집

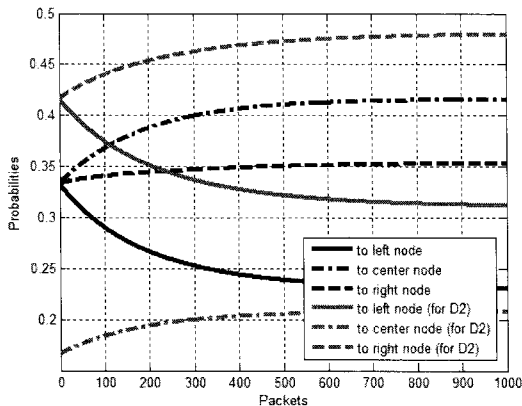


그림 6. 경로별 선택 확률 값들의 변화

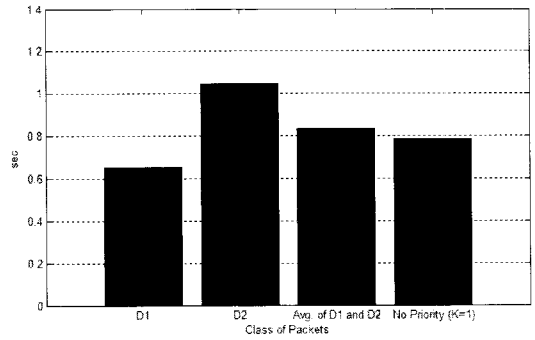


그림 7. 패킷별 평균 전송 시간

노드에 더 빨리 도달할 수 있게 된다.

그림 7은 모든 센서노드에서 생성된 패킷들이 정보수집노드까지 도달하는 평균 시간을 D_1 , D_2 패킷에 대하여 비교한 것이다. 예상한 바와 같이 D_1 패킷들이 상대적으로 적은 시간 내에 정보수집노드까지 도달하는 것을 확인할 수 있다. 다만 그림 7에 나타난 바와 같이 본 실험에서 D_1 , D_2 패킷들 모두에 대한 평균 지연시간을 구한 결과는, D_1 , D_2 패킷들에 대하여 우선순위를 두지 않고 평등하게 전송한 경우 ($K=1$)와 비교하였을 때 다소 증가하였음을 확인할 수 있다. 이는 특정 패킷들에 인위적으로 좋은 환경을 제공하는 본 논문의 기법이 시스템 전체적인 관점에서는 비효율을 초래하기 때문이다. 그러나 본 논문은 중요 패킷과 천천히 전달되어도 무관한 패킷을 분류하여 실질적인 시스템 효율을 높이하고자 하는 것이 목적이다. 따라서 특정 패킷에 대하여 전송속도를 획기적으로 증가시켰고 시스템 전체적인 관점에서의 평균 패킷 전송속도의 감소가 상대적으로 적게 발생한다는 점에서 제안기법은 의미가 있다.

V. 결론

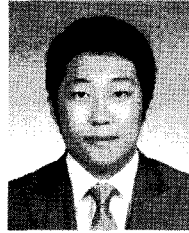
본 논문에서는 해양 수중 무선센서네트워크에서 정보수집노드까지 패킷을 전송함에 있어서, SON 기술을 적용함으로써 부하분산 효과를 통하여 효율적으로 라우팅이 이루어질 수 있게 함과 동시에, 정보의 긴급성 및 중요도에 따라 전송 속도에 차별을 둘 수 있는 방안을 제안하였다. 실험을 통하여 중요도가 높은 패킷의 전송 시간이 일반 패킷에 비하여 단축되었음을 확인하였다. 향후 보다 다양한 환경과 전송조건에서 실험하여 제안 기법이 구체적인 실제 시스템에 효과적으로 동작할 수 있도록 보완하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Sujuan Feng, Eiko Seidel, "Self Organizing Networks in Long Term Evolution," nomor research white paper
- [2] 3GPP TR 36.902 V1.0.1 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions
- [3] Christian Prehofer and Christian Bettstetter, "Self-organization in communication networks: Principles and design paradigms," IEEE Communications Magazine, Vol.43, No.7, pp. 78-85, July 2005.
- [4] G.D. Caro, M. Dorigo, "AntNet: distributed stigmergetic control for communications networks," J. Artif. Intell. Res. 9, 317-365, 1998.
- [5] Kyungmin Park, Youngyong Kim, "Analysis of AntNet routing scheme by using queueing model," Computer Communications, Vol.31, Issue 13, August, 2008.

박 경 민 (Kyungmin Park)

정회원



2005년 2월 연세대학교 전기전자공학과

2005년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석박사통합과정

<관심분야> 무선 통신, Self-Organized Network

김 영 용 (Youngyong Kim)

중신회원



1991년 2월 서울대학교 전자공학과

1993년 2월 서울대학교 전자공학과 석사

1999년 The University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 박사

2000년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수

<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 무선네트워크