

## 무선 Ad-Hoc망에서 에너지 소비율을 고려한 대체경로 라우팅기법

조현경, 김은석, 강대욱

- \* 전남대학교 전산학과(gscho@chonnam.ac.kr)
- \*\* 동신대학교 멀티미디어컨텐츠학과(eskim@dsu.ac.kr)
- \*\*\* 전남대학교 전산학과(dwkwang@chonnam.ac.kr)

### Redundancy Path Routing Method Considering Energy Consumption Rate in Ad-Hoc Networks

Hyun Kyung Cho, Eun Seok Kim, Dae Wook Kang

- \*, \*\*\* Dept. of Computer Science, Chonnam National University
- \*\* Dept. of Multimedia Contents, Dongshin University

#### 요 약

Ad-Hoc 네트워크에서 기존의 On-Demand 방식의 라우팅 프로토콜은 네트워크에서 현재 사용 중인 경로가 혼잡하더라도 네트워크 토폴로지가 변하기 이전에는 새로운 경로를 찾지 못하므로 노드의 이동성이 낮은 환경에서는 트래픽이 특정노드로 집중되는 문제가 발생한다. 또한 노드들의 이동성이 낮아 네트워크가 안정된 상태인 경우 특정 노드의 트래픽이 고려되지 않은 상태에서 최단 경로만을 선택하여 데이터를 전송하기 때문에 특정노드에 트래픽이 집중되어 전송 지연 및 과도한 에너지 소비를 발생시킨다는 문제점을 갖는다. 이런 특정 노드의 과도한 에너지 소비를 차단하여 전체 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 효과적인 방법을 찾기 위한 노력이 진행되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 DSR에 에너지 소비율을 기반으로 경로설정 및 대체경로 설정기능을 추가한 ECLB(Energy Consumption based Load Balancing Method)를 제안한다. ECLB는 현재의 단위시간당 처리되는 패킷수와 과거의 평균 패킷처리율을 바탕으로 에너지 임계치(energy threshold)를 설정하고 이를 바탕으로 최적의 경로를 설정한다. 또한 계속적으로 동일 전송 경로를 사용함으로써 인한 특정노드에 대한 에너지 소모의 심화와 전송지연을 최소화하기 위해 과중한 트래픽 상태를 분산시킬 수 있는 대체경로를 이용하여 데이터 집중에 따른 손실을 최소화시킨다.

#### 1. 서 론

Ad-Hoc 네트워크는 기존 유선 네트워크 환경에서 제공하는 통신 인프라가 존재하지 않는 곳에서 단말기 간의 라우팅만으로 데이터 송수신을 수행하는 무선네트워크로 연구초기에는 군사적인 목적으로 개발되었다. Ad-Hoc 네트워크 내의 단말기는 단말로서의 기능뿐 아니라 라우터, 서버의 역할을 수행하여 네트워크 내의 단말들의 동적인 상태 및 토폴로지 변화를 실시간으로 반영하여 통신을 지원한다.

무선 Ad-Hoc 네트워크의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 무선 인터페이스 방식은 전송대역폭이 작다는 특성이 있다.
- ② 노드수가 많을수록 각각의 노드가 평균적으로 사용할 수 있는 전송 대역이 줄어든다.
- ③ 제한된 전송거리를 갖는다. 즉 무선전송거리가 멀어질수록 데이터 전송률이 낮아진다.
- ④ 노드의 이동성으로 인해 네트워크의 토폴로지 또한 시간에 따라 동적으로 변화한다.
- ⑤ 제한된 용량의 배터리를 에너지원으로 사용한다.
- ⑥ 각종 보안문제에 노출되어 있다.

Ad-Hoc 네트워크는 위와 같은 특징에 따른 여러 가지 문제점이 야기된다. 경로설정과 유지에 대한 문제점과 배터리로 작동되는 네

트워크 내의 모든 노드들은 기존의 송수신기능에 라우터나 호스트 기능을 추가로 수행하게 됨에 따라 추가적인 에너지 소비를 발생시키게 되고, 이는 Ad-Hoc 네트워크의 수명에 직접적인 영향을 미치는 요소로 작용하는 등 Ad-Hoc 네트워크가 실생활에 활용되기 위해 해결해야할 여러 가지 문제점들이 남아있다. 한마디로 Ad-Hoc 네트워크 구축의 최대 관건은 에너지 소비 최소화 및 최적의 경로 설정/유지로 요약될 수 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 네트워크의 특성을 잘 반영한 다양한 형태의 라우팅 알고리즘이 제안되고 있으며, 이러한 라우팅 알고리즘의 부분적인 문제 해결을 위한 개선안에 대한 연구도 계속되고 있다.

본 논문에서는 Source Routing 방식에 기초하고 있는 DSR(Dynamic Source Routing)방식에 간단한 기능을 추가한 ECLB(Energy Consumption based Load Balancing Method)를 제안한다. ECLB는 현재의 단위시간당 처리되는 패킷수와 과거의 평균 패킷처리율을 바탕으로 에너지의 임계치(energy threshold)를 설정하고 이를 바탕으로 최적의 경로를 설정한다. 또한 계속적으로 동일 전송 경로를 사용함으로써 인한 특정노드에 대한 에너지 소모의 심화[5]와 전송지연을 최소화하기 위해 과중한 트래픽을 분산시킬 수 있는 대체경로를 이용하여 데이터 집중에 따른 손실을 최소화시킨다.

본 논문의 2장에서 Ad-Hoc 네트워크의 특성 및 기존 다수형 알고리즘을 소개하고 3장에서는 제안방법인 ECLB에 대하여 소개하고 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론을 도출하고 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 관련연구

2.1. Ad-Hoc 네트워크 환경과 네트워크 모델

Ad-Hoc 네트워크는 중앙의 통제로부터 완전히 독립하여 사용자 하여금 더 많은 자유와 유연성을 확보할 수 있도록 하며 네트워크의 구성과 이동이 용이하다는 장점이 있다.

Ad-Hoc 네트워크는 기존 인프라의 지원 없이 보안 및 라우팅 기능을 수행하여야 하며, 관리를 담당하는 중앙 노드가 없기 때문에 각각의 기능을 네트워크 내의 노드에 분산시켜 수행한다. 또한 네트워크의 토폴로지가 빈번하게 변하므로 노드의 상태를 반영하는 다양한 네트워크 형태를 구성할 수 있으며, 네트워크 토폴로지 변화에 관계없이 지속적으로 서비스를 제공할 수 있어야 한다.

무선 Ad-Hoc 네트워크의 주요 응용분야로는 긴급 서비스를 위한 임시적인 네트워크의 구성을 들 수 있다. 재난구조, 전정터 및 전시장 등과 같은 특수 목적뿐 아니라 하부구조가 없는 일반적인 장소에서 효과적이다[1].

무선 Ad-Hoc 네트워크는 노드간의 통신을 위해 무선 인터페이스를 사용하므로 유선 인터페이스 방식과 비교할 때 전송 대역폭이 작다는 단점이 있다. 무선 인터페이스 방식은 한정된 대역의 주파수를 사용하기 때문에 대역을 통해 보낼 수 있는 데이터 전송률에 제한이 있을 뿐만 아니라, 이를 다수의 노드들이 서로 공유하여 사용하기 때문에 노드수가 많을수록 각각의 노드가 평균적으로 사용할 수 있는 전송 대역폭이 줄어들게 된다.

또한, 무선 인터페이스 방식은 전송거리가 멀어질수록 데이터 전송률이 낮아지게 되므로 적절한 전송률을 유지하기 위해서는 전송거리상 제약이 따르게 된다. 무선 Ad-Hoc 네트워크를 구성하는 노드는 이동성을 가지기 때문에 네트워크의 토폴로지 또한 시간에 따라 동적으로 변화한다. 노드의 이동성은 새로운 노드의 네트워크 내부로의 진입, 네트워크 내부에서의 노드의 이동, 네트워크 외부로의 노드 이동 등을 들 수 있으며, 네트워크 내부에서 노드의 전원 on/off도 네트워크 토폴로지 변화에 영향을 준다.

2.2. Ad-Hoc 네트워크 프로토콜

Ad-Hoc 네트워크 프로토콜에는 Table-Driven(Proactive)방식과 On-Demand(Reactive)방식이 있다[1].

Table-Driven 방식은 Bellman-Ford방식을 기초로 네트워크 내의 각 노드가 도착 가능한 모든 노드들의 라우팅 정보를 라우팅 테이블에 유지하는 방식으로, 빠른 경로 획득이 장점이다. 그러나 라우팅 정보를 갱신하기 위한 주기적인 방송 메시지와 라우팅 정보의 교환은 무선 대역의 낭비를 초래하며 이로 인해 네트워크의 성능저하를 유발한다.

On-Demand 방식은 경로 요청 시에만 경로 획득절차를 수행하여 불필요한 오버헤드를 줄일 수 있다. 데이터 전송을 위해서는 경로획득 절차가 먼저 수행되어야 하므로 데이터전송까지의 지연시간이 길다는 단점이 있으나 노드의 이동이 빈번한 Ad-hoc네트워크에 적합한 라우팅방식이다.

이외에도 Table-Driven방식과 On-Demand 방식을 혼합한 Hybrid 방식인 ZRP(Zone Routing Protocol)방법과 노드의 에너지 상태를 고려한 Power-Aware Routing(PAR), 위치정보를 이용한

Location-Aware Routing(LAR), 성능의 지속성을 고려한 Associativity-Based Long-lived Routing(ABR) 프로토콜등이 있다.

기존 라우팅 프로토콜에서의 트래픽집중현상으로 인한 전송 지연과 전력소모의 문제점을 해결하기 위해 SLAP(Simple Load-balancing Ad hoc routing Protocol)와 LBAR(Load-balancing Wireless Ad hoc routing) 방법이 제안되었다.

SLAP[2]는 특정 노드의 트래픽 양이 일정한 상한 임계치(upper threshold)이상 커져서 혼잡 상태에 이르게 되면 노드가 가장 먼저 수신한 데이터 패킷을 전송한 소스노드에게 GIVE\_UP 메시지를 전송함으로써 다른 우회경로를 설정할 것을 요구하게 된다. 수신한 소스노드는 목적지 노드까지 새로운 경로 설정을 위하여 RREQ 메시지를 브로드캐스팅 함으로써 경로설정 매커니즘을 시작한다.

이 방법은 상한 임계치를 너무 크게 설정하면 기존의 AODV나 DSR과 같은 성능을 보이며, 폭주가 발생했을 경우, 지연이 발생해 부하균등의 의미가 없어진다. 반대로 상한 임계치를 너무 작게 설정하면 GIVE\_UP 메시지의 전송이 빈번해져 지연이 오히려 증가하는 문제가 발생할 수 있다.

LBAR[3] 프로토콜은 Ad-Hoc 네트워크 환경에서 부하 균등을 고려한 대표적인 라우팅 프로토콜로서 네트워크의 트래픽을 고려하여 가장 트래픽 노드가 작은 경로를 찾아낸다. 이를 위해 노드의 활동성과 트래픽 간섭정도를 비용 값으로 사용한다. 노드 활동성은 해당 노드의 현재 트래픽 로드 상태를 나타내며, 트래픽 간섭 정도는 이웃 노드들의 트래픽 노드의 합을 나타낸다. 그러나 LBAR은 이웃 노드들의 트래픽 로드 정보를 정기적으로 수집하기 위한 부가적인 오버헤드가 발생한다. 또한 하나 이상의 경로 설정 메시지를 수신한 목적지 노드가 경로 정보를 모두 저장하고 있어야 하므로 목적지 노드가 유지하고 있는 과거에 수집한 경로 정보를 기반으로 우회 경로를 설정하고 있기 때문에 네트워크 상태가 수시로 변화하는 Ad-Hoc 네트워크 환경에서는 잘못된 경로 선택의 가능성이 높아진다.

3. ECLB(Energy Consumption Load Balancing)

Ad-Hoc 네트워크는 네트워크 토폴로지가 동적으로 변하고 라우팅 프로토콜에서의 single path 구성으로 인한 단절시 재경로 발견 기능을 수행하여 control traffic 오버헤드 및 데이터 전송 지연을 발생시키는 문제점이 있다[4].

기존의 요구기반 방식의 라우팅은 최적 경로 설정 후 메시지 전송이 발생하지만 네트워크 구조의 변화가 적은 상태일 때 경로상의 특정 노드를 라우터로 하여 지속적인 메시지 전송이 발생한다. 그 결과 발생한 과도한 트래픽으로 인해 전송지연을 유발하고 라우터도 이용되는 노드의 에너지 소모를 증가시킴으로써 라우터로서의 기능에 대부분의 에너지를 낭비한다. 즉 노드의 이동성이 낮은 환경에서 트래픽이 특정노드로 집중되는 문제를 발생한다[6].

이렇게 특정 노드에 과도한 트래픽이 집중되어 발생하는 문제 및 single path로 인한 control traffic 오버헤드를 줄이기 위해 에너지 소비율을 기반으로 하는 multipath 라우팅 방법인 ECLB를 제안한다. 제안 방법은 현재 단위시간당 처리되는 패킷수와 과거의 평균 패킷처리율을 기반으로 측정된 에너지 소비율을 기반으로 최초경로구성(initial route setup)시 main path뿐만 아니라 alternative path도 같이 설정을 하고 local redundancy path을 미리 구성하여 노드의 이동에 의한 경로 장애 시 미리 설정되어 있는

redundancy path도 전방에서 local discovery를 위한 신호 시퀀스 및 control traffic 오버헤드를 줄이게 한다. 단절로 인해 main path를 복구할 수 없을 시는 source-initial route discovery를 재수행하지 않고 기존에 구성되어 있는 alternative path로 데이터를 전송한다.

ECLB는 DSR을 기반으로 하여 몇 가지 파라미터와 간단한 기능을 추가하였다.

에너지 임계치는 패킷처리량에 반비례하여 설정될 수 있도록 다음과 같이 계산한다.

$E$  : 각 노드 초기 에너지값  
 $P$  : 현재까지 처리한 패킷 수  
 $MaxP$  : 과거 최대 패킷처리 수의 평균  
 $\alpha$  : Threshold 값을 초기  $E$  값보다 낮추기 위한 조정계수  
 $k$  : Threshold값의 조정을 가속화하기 위한 계수

$$Th_0 = E - \alpha \quad \text{----- (1)}$$

$$Th_{i+1} = Th_i \cdot \left(1 - \frac{P}{MaxP}\right) \cdot k \quad \text{----- (2)}$$

초기 임계치(Threshold) 값  $Th_0$ 는 각 노드의 초기 에너지값보다 약간 작은 값을 갖도록 조정계수  $\alpha$ 에 따라 식(1)과 같이 설정된다. 시간이 지나 패킷들을 처리하면서 시간  $t$ 까지 처리한 패킷수  $P$ 와 네트워크상에서 처리되는 최대 패킷수의 평균값인  $MaxP$ 의 비율에 반비례하도록  $t + \Delta t$ 시간의 Threshold값을 식(2)와 같이 결정한다. 조정계수  $k$ 는 Threshold값 조정을 가속화하기 위한 조정계수로서 Threshold값의 조정이 느린 경우  $k$ 값을 줄임으로서 Threshold값을 조정하여 가속화할 수 있다. 이렇게 계산된 임계치 값은 일정한 시간간격  $\Delta t$ 마다 갱신되어 현재 설정된 path를 통해 전송된다.

이렇게 전송된 임계치를 이용한 multipath설정과 라우팅 경로설정 방법은 다음과 같다.

모든 노드는 파라미터 energy\_remainder를 추가한다. energy\_remainder는  $E$ 로 초기화되고 패킷 처리량에 따라서 감소한다. 각각의 패킷에는 에너지 임계치(energy\_Threshold)를 전송하기 위한 energy\_packet이라는 변수를 추가하고 소스노드는 초기 energy\_packet을  $Th_0$ 로 설정한다. energy\_Threshold는 식(2)에 따라 값이 계산되어진다.

소스노드가 RREQ패킷을 생성함에 있어 패킷의 energy\_packet를 자신의 energy\_Threshold로 셋팅하고 중간노드들은 RREQ를 받으면 자신의 energy\_remainder와 패킷의 energy\_packet를 비교하여 라우팅에 참여여부를 결정한다. 즉 energy\_remainder가 energy\_packet보다 크면 기존의 DSR과 같이 RREQ를 브로드캐스트하고 작으면 패킷을 버림으로써 라우팅에 참여하지 않도록 한다.

경로탐색을 위한 소스노드의 RREQ 브로드캐스트시 중간노드들은 대체 다중 경로에 대해서 에너지 소비율이 작은 순서대로 우선순위를 두어 비교하여 대체경로를 Route Cache에 유지하고 관리한다. 단, 목적지노드는 하나의 링크에 문제가 발생하는 경우 다른 링크에 영향을 주지 않기 위해서 자신에게 도착한 query 패킷중에서 서로 disjoint한 경로만을 선택한다. 데이터 전송중에 다중 경로 중 일부 링크가 단절되면 나머지 경로를 사용함으로써 데이터 손실을 줄이고 전송효율을 높일 수 있으며 다중경로 모두가 손실되면 그

때 Route discovery 메커니즘을 사용함으로써 성능을 개선한다.

4. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 기존에 제안된 방법의 문제점을 해결하기 에너지 소비율을 고려한 부하균등제어기법(ECLB : Energy Consumption based Load Balancing Method)을 제안하였다. 제안방법은 이동성이 낮은 환경에서 트래픽이 특정노드에 집중되는 문제를 해결하기 위해서 각 노드에 에너지 소비율을 계산하여 이를 이용하여 경로선택에서 과도한 트래픽 상태에 있는 노드를 제외시키고 대체 경로를 선택하여 트래픽을 분산시킴으로써 균형적인 에너지 소모를 유도할 수 있다.

제안방법을 통해 기존의 방법에서 single path로 인한 단절로 야기되는 데이터손실을 줄이고 한 노드로 집중되는 데이터전송을 분산시킴으로서 Ad-Hoc 네트워크의 관건인 노드의 불균형적인 전력소모의 문제점을 해결할 수 있다. 또한 빈번한 제어패킷 전송을 줄임으로써 제어패킷으로 인한 무선자원의 낭비를 최소화할 수 있다. 향후 연구로 시뮬레이션을 통하여 타 연구 결과와 타당성 및 효율성을 비교 분석할 예정이다.

참고문헌

- [1] E.M.Royer, C-K Toh, "A review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks" IEEE Personal Communications April 1999 p46-55
- [2] Sanghyun Anh, Yujin Lim, Kyoungchun Kim,"A Load-balancing Routing Protocol in Ad hoc Networks", 4, 2002, Korea Information Science Society.
- [3] Hossam Hassanein and Audrey Zhou,"Routing with load Balancing in wireless ad hoc network", Proc. the 4th ACM international workshop on modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, July 2001, pp89-96
- [4] C.K Toh,"Ad Hoc Mobile Wireless Networks",PH PTR, 2002
- [5] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. J. Pottie, "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," IEEE Personal Communication, Vol. 7, No. 5, pp 16-27, Oct. 2000.
- [6] Charles E. Perkins" AD HOC NETWORKING" Addison Wesley 2002.