

# 이동 애드혹 네트워크에서 데이터 통신 중에 노드간의 에너지 균형을 이루기 위한 알고리즘

이은규<sup>0\*</sup> 유찬수<sup>\*\*</sup> 김명철<sup>\*\*\*</sup> 김민수<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>한국전자통신연구원 공간정보기술센터 4S통합기술팀

<sup>\*\*</sup>클리브랜드 주립대학교 전자전기공학부

<sup>\*\*\*</sup>한국정보통신대학원대학교 공학부

ekyulee@etri.re.kr, c.yu91@csuohio.edu, mckim@icu.ac.kr, minsoo@etri.re.kr

## Energy Balancing Algorithm during Data Transmission in Mobile Ad hoc Networks

Eunkyu Lee<sup>0\*</sup> Chansu Yu<sup>\*\*</sup> Myungchul Kim<sup>\*\*\*</sup> Minsoo Kim<sup>\*</sup>

<sup>0\*</sup>4S Integration Technology Research Team, Spatial Information Technology Center, E TRI

<sup>\*\*</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Cleveland State University

<sup>\*\*\*</sup>School of Engineering, Information and Communications University

### 요약

이동 애드혹 네트워크의 경우, 이동 노드들은 자신의 데이터를 처리하는 기능 이외에 다른 노드의 데이터를 전달하는 기능을 하게 된다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 노드는 더 많은 에너지를 소비하게 되므로, 에너지 소비량이나 에너지 균형과 같은 에너지 관련 문제가 중요한 관심 분야로 조명되고 있다. 이에 관련된 연구들은 최적으로 에너지 균형을 이루는 경로를 찾기 위한 방법에 관한 것이었다. 그러나 기존의 연구들은 데이터 통신 중간의 에너지 균형에 대해서는 고려하지 않고 있으며, 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 '노드 경고 알고리즘 (NOAL)'을 제안한다. NOAL에서, 데이터를 전달하는 중간 노드들은 자신의 에너지 보유량을 검사하여 기준 값 이하일 경우, 자신의 에너지 정보를 다른 노드들에게 알리게 된다. 이는 다른 노드들로부터 자신에게 더 이상의 데이터를 보내지 않도록 하며, 자신은 데이터 전달에 의한 에너지 소모량을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 NOAL을 이용하여 LEAR with NOAL (LENOAL)을 제안한다. 실험을 통해서 결과를 산출했으며, 본 논문에서 제시한 알고리즘이 에너지 균형을 21-36% 정도 향상시킬 수 있음을 보여준다.

### 1. 서론

미래의 네트워크 환경은 기존의 유선망 뿐만 아니라 사용자의 위치에 구애 받지 않는 무선 네트워크 환경이 될 것이다. 그리고 무선 네트워크 환경은 Mobile IP 외에도 별도의 기반 시설 없이 각 노드만으로 네트워크를 구성하여 통신하는 애드혹 네트워크의 형태로 진행될 것이다. 이러한 형태의 네트워크에서 노드의 에너지 소모량은 중요한 문제이며, 적절한 라우팅 알고리즘을 통해서 이에 접근할 수 있다. 본 논문에서는 데이터를 전달하는 중간 노드들이 자신의 에너지 상태를 확인하여 극단적인 에너지 소모를 억제하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기본적인 이동 애드혹 라우팅 알고리즘과 에너지를 인식하여 라우팅 알고리즘에 대해서 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 제시하는, 각 노드의 에너지 상태를 실시간으로 확인할 수 있는 알고리즘을 제안하고, 4장에서는 본 실험에서 사용되는 실험 환경과 결과를 보이고, 이를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시한다.

### 2. 이동 애드혹 라우팅 알고리즘

이동 애드혹 라우팅 알고리즘은 *Internet Engineering Task Force (IETF)* 내의 *Mobile Ad hoc Network (MANET)* 워킹그룹에서 표준화를 진행중에 있다 [1, 7]. 본 논문에서는 필요할 때에만 경로를 이용하는 리액티브 타입의 *Dynamic Source Routing (DSR)* [2]를 범위로 한다. 노드가 다른 노드에게 전송할 데이터가 있을 경우, 우선 데이터를 전송할 경로를 찾게 된다 (*Route Request Packet (RREQ)*, *Route Reply Packet (RREP)*, *Route Error Packet (RERR)*). 경로 찾기 과정에서 찾아진 경로를 통해서 데이터를 목적지까지 전송하게 된다.

논문 [4]에서는 에너지 인식 라우팅과 관련하여 다음과 같은 5가지의 파라미터를 정의하고 있다.

- 패킷당 소모되는 에너지를 최소화
- 네트워크가 분할되기까지의 시간을 최대화
- 노드간의 에너지 격차를 최소화
- 패킷처리 비용을 최소화
- 패킷처리시 노드가 소비하는 비용을 최소화

이동 애드혹 라우팅에서 에너지와 관련된 경우, 최단 경로보다는 최소 비용 경로를 찾는 것이 중요하다. 이는 라우팅 알고리즘이 각 노드의 에너지 상태를 인식하게

함으로써 가능하다.

논문 [5]에서는 논문 [4]에서 제시한 알고리즘을 DSR에 이론적으로 적용하였으며, 이를 Global Energy-Aware Routing (GEAR)라고 명칭하였다. GEAR는 기본적으로 DSR과 동일한 경로 찾기 알고리즘을 사용한다. GEAR에서, 중간 노드는 RREQ를 다음 노드로 전달할 때 자신의 에너지 상태값을 넣는다. 목적지 노드가 RREQ를 받으면, RREQ가 거처온 노드의 에너지 상태값을 확인할 수 있게 되며, 이를 기준으로 경로를 정하게 된다.

논문 [5]에서 제시하는 Local Energy-Aware Routing (LEAR)는 DSR을 기반으로 한다. GEAR에서 목적지 노드가 중간 노드의 에너지 상태값을 확인하는 것과는 달리 LEAR에서는 각 중간 노드가 자신의 에너지 상태값을 확인한다. LEAR의 기본적인 생각은 RREQ를 전달하는 중간 노드에게 경로 찾기 과정에 참가하거나 또는 거부할 수 있는 선택권을 주는 것이다

### 3. 효율적인 에너지 분배를 위한 이동 애드혹 라우팅 알고리즘 LEAR with NOAL (LENOAL)

2장에서 언급한 에너지 인식 라우팅 알고리즘은 경로 찾기 과정에서 에너지 최적화 경로를 찾는다. 그러나 이미 결정된 경로로 오랜 시간동안 데이터를 전송한다면, 중간 노드의 에너지는 소모될 것이며 궁극적으로는 노드간의 에너지 불균형을 초래할 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 노드 경고 알고리즘(Node Alarming Mechanism, NOAL)을 제안한다. NOAL의 기본적인 생각은 노드의 과도한 에너지 소모를 줄이기 위한 것이다. 데이터를 전달하는 중간 노드들은 자신의 에너지 상태를 확인하여 일정 기준값 이하일 경우, 다른 노드에게 자신의 에너지 상태를 알린다. 이는 더 이상의 데이터가 자신에게 전달되지 못하도록 하여 데이터 전달에 의한 에너지 소모를 최소화한다. 본 논문에서는 2장에서 언급된 LEAR에 NOAL을 적용하여, 데이터 전달과정에서 발생할 수 있는 에너지 불균형 문제를 해결하기 위해 LEAR with NOAL (LENOAL)을 제안한다.

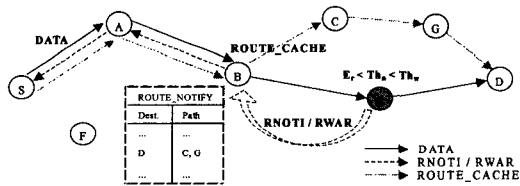


그림 1. LENOAL.

LENOAL은 LEAR에 NOAL을 적용한 알고리즘이다. 경로 찾기 과정은 LEAR에서 제안한 방법과 동일하다. 그렇기 때문에 LENOAL 또한 에너지 최적화 경로를 찾아 데이터 전송을 시작하게 된다.

LENOAL은 데이터 전달 과정에서의 에너지 균형 문제를 해결하기 위해 경로 경고 메시지(Route Warning Message, RWAR)를 사용한다. 그림 1은 노드 S가 경로 A, B, E를 통해서 노드 D로 데이터를 전달하는 과정이다. 중간 노드들(A, B, E)은 자신의 에너지 상태를 확인하게 된다. 에너지 상태값( $E_i$ )이 기준값( $Th_i$ ) 이하일 경우 (그림 1에서 노드 E), 데이터를 발생시킨 노드 S에게 RWAR를

보내게 된다. RWAR를 받은 노드 S는 자신의 라우트 캐시에 다른 경로에 대한 정보(Alternative Path Route, APR)가 있는지를 찾게 되고, 없다면 경로 찾기 과정을 다시 시작한다. 일반적으로 LEAR는 한 개의 에너지 최적화 경로를 찾기 때문에 APR에 대한 정보를 갖지 않는다. 이는 경로 찾기 과정을 통해 데이터 전달 시간이 지연될 수 있음을 의미하며, LENOAL에서는 이를 해결하기 위해 경로 알림 메시지(Route Notify Message, RNOTI)를 사용한다. RNOTI의 기본적인 동작은 RWAR과 동일하다. 그림 1에서 중간 노드(E)의 에너지 상태값( $E_i$ )이 기준값( $Th_i$ ) 이하일 경우, 노드 S에게 RNOTI를 보낸다. RNOTI는 APR을 위한 과정이기 때문에 그 기준값( $Th_i$ )은 RWAR에 대한 기준값( $Th_w$ )보다 낮은 값이며, RNOTI는 RWAR 이전에 발생된다. RNOTI를 노드 S로 전달하는 중간 노드들(B, A)은 자신의 라우트 캐시에 목적지 노드 D에 대한 APR 정보가 있는지를 검토하고, 정보가 있는 경우(그림 1에서 노드 B, APR은 C, G) RNOTI에 실어서 노드 S에게 전달한다. 노드 S는 새로운 경로 (A, B, C, G)로 데이터 전송을 계속하게 된다.

### 4. 실험 환경 및 결과

이번 장에서는 성능 측정을 위해 사용되는 실험 환경과 결과에 대해 알아본다. 실험을 위해서 UCLA의 GloMoSim 2.0 [6]을 사용하며, 40개의 이동 노드가 500초 동안 500mx300m의 지역에서 이동하면서 통신하는 시나리오를 갖는다. 실험을 위해 에너지와 관련된 두 가지 가정을 한다. 첫번째 가정은, 노드가 휴지 상태(Idle mode)에 있는 경우, 에너지 소모량이 없다는 것이며, 두번째는, 노드의 promiscuous 상태를 배제한다는 것이다.

본 실험에서는 이동 노드간의 에너지 균형에 초점을 맞추며, LENOAL의 성능을 비교하기 위해 DSR과 GEAR를 실험한다. 평균 에너지 소모량, 에너지 균형 수치, 에너지 성능 측정값 등이 성능 비교를 위한 파라미터로 사용된다.

#### 4.1 평균 에너지 소모량

그림 2에서, 평균 에너지 소모량에 있어서는 LENOAL이 DSR보다 조금 많은 에너지를 소모한다. 이는 LENOAL이 두 종류의 컨트롤 메시지를 부가적으로 사용하기 때문이다. 그러나 차이는 크지 않다(4%). GEAR의 경우, 컨트롤 메시지에 중간 노드들의 에너지 정보를 포함할 뿐만 아니라, 하나의 RREQ에 대해 여러 경로에 대한 RREP를 발생시키기 때문에 노드의 전체적인 에너지 소모량이 많게 된다.

#### 4.2 에너지 균형

에너지 균형 수치를 나타내기 위해, 본 논문에서는 각 이동 노드의 에너지 소모량의 차이를 표준편차로 계산한다. 또한 각 이동 노드의 에너지 소모량과 평균 에너지 소모량의 차이를 수치로 나타낸다. 그림 3에서 LENOAL은 DSR과 비교해서 24-36%의 성능향상을 보이고 있다. GEAR와 비교할 때, 이동 노드의 이동 속도가 느린 경우에도 LENOAL은 에너지 불균형 문제를 해결할 수 있다는 것을 보인다. 그림 4는 각 이동 노드의 에너지 소모량과 에너지 평균 소모량의 차이값을 나타낸 것이다. LENOAL의 경우 많은 에너지를 소모하는 노드가 없으며, 중간 노드가 다른 노드의 데이터를 전달하면서 자신의 에너지를 전부 소모하는 경우가 없지

는 것을 보인다.

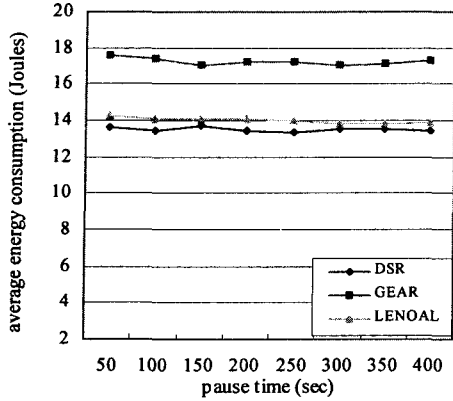


그림 2. 평균 에너지 소모량.

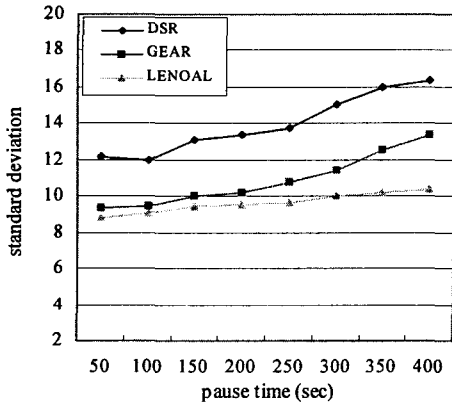


그림 3. 에너지 균형: 표준편차.

### 4.3 에너지 성능 측정

그림 5 은 중간 노드가 한 개의 데이터 패킷을 전달하는 데 소모되는 에너지 수치를 계산하여 산출한 것이다. LENOAL이 가장 좋은 성능을 보인다. GEAR의 경우, 다량으로 발생하는 컨트롤 메시지와 에너지 정보를 포함하는 메시지의 크기 때문에 에너지 소모량은 커지게 된다.

### 5. 결론

본 논문에서는 이동 애드혹 네트워크에서 데이터 전달 과정 중에 발생할 수 있는 이동 노드간의 에너지 불균형 문제를 해결하기 위해서 중간 노드가 자신의 에너지 상태를 확인하여 다른 노드에게 알림으로써 데이터 전달에 의한 에너지의 극단적인 소모를 줄일 수 있는 라우팅 알고리즘을 제시하였다. 실험 결과를 통하여 이동 노드간의 에너지 균형이 이루어졌음을 볼 수 있었다. 본 논문에서는 리액티브 형식의 라우팅 알고리즘만을 대상으로 실험했으며, 프로액티브 라우팅 알고리즘에 대한 연구는 다음으로 미루어 두었다. 본 논문에서 제시한 알고리즘을 활용할 수 있는 이동 애드혹 서비스 연구에 대해서도 많은 노력이 기울여질 것이다.

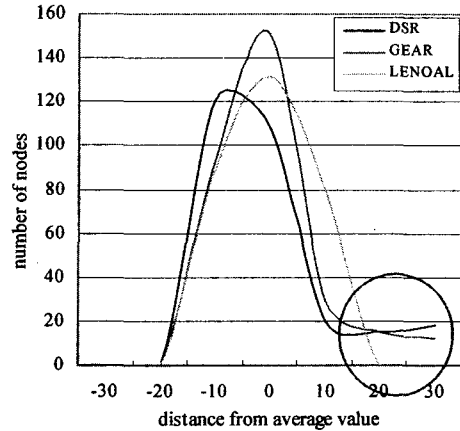


그림 4. 에너지 균형: 분포.

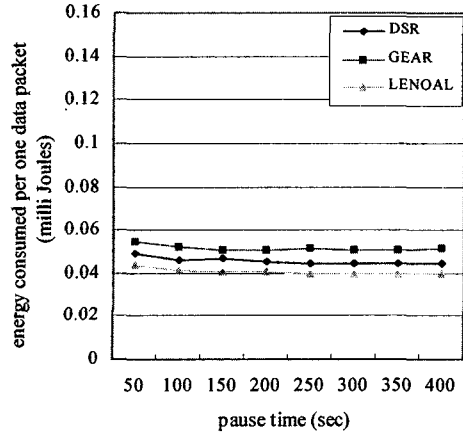


그림 5. 한 개의 데이터 패킷에 소모되는 에너지.

### 6. 참고문헌

- [1] S. Corson, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," IETF, RFC 2501, Jan. 1999.
- [2] David B. Johnson, David A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," Mobile Computing, editor T. Imielinski and Hank Korth, Kluwer, 1996.
- [3] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *MobiCom '99*, Oct. 1999.
- [4] S. Singh, M. Woo and C. S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," *MobiCom '98*, pp. 181-190, Oct. 1998.
- [5] K. Woo, C. Yu, H. Y. Youn, and B. Lee, "Non-Blocking, Localized Routing Algorithm for Balanced Energy Consumption in Mobile Ad Hoc Networks," *MASCOTS 2001*, Aug. 2001.
- [6] X. Zeng, R. Bagrodia and M. Gerla, "GloMoSim: A Library for the Parallel Simulation of Large Scale Wireless Networks," *Parallel and Distributed Simulation Conference (PADS)*, 1998.
- [7] <http://www.ietf.org/>, IETF MANET Working Group.