

이동 애드혹 네트워크에서 단말의 최대 소모 에너지를 최적화하는 라우팅 방안

(A Routing Algorithm Minimizing the Maximum used Power for Mobile Ad-hoc Networks)

유 남 규[†] 김 광 렬^{**} 민 성 기^{***}
(Nam-Kyu Yu) (Kwang-Ryoul Kim) (Sung-Gi Min)

요 약 이동 애드혹 네트워크 (Mobile Ad-hoc Network, MANET)에서 단말은 제한된 배터리 에너지로 통신하게 된다. 따라서 주어진 배터리를 효율적으로 사용하여 통신하는 방법이 중요하다. 본 논문에서는 기존의 에너지를 고려한 라우팅 방법에 대한 연구를 소개하고 MANET에서 쓰이는 라우팅 프로토콜의 경로 선택 방법을 수정 하여 단말의 최대 소모 에너지를 최적화 하는 라우팅 방안 (Minimize the Maximum Used Power Routing, MMPR)을 제안 한다. 기존의 애드혹 라우팅에서는 단말의 에너지는 고려하지 않고 최소 홉 수를 경로 비용 함수의 메트릭으로 사용하였지만, MMPR은 사용된 에너지를 메트릭으로 사용하여 해당 경로에 대한 비용을 계산한다. MMPR은 경로를 알고자 하는 시작 단말이 자신이 알고 있는 다른 단말의 사용 에너지 메트릭 중 최고 값을 알파로 정하고 경로 비용 계산을 시작한다. 만일 새로운 경로가 현재 알파 값보다 큰 단말을 포함하고 있다면 해당 경로는 경로 선택에서 배제될 가능성이 높아진다. MMPR의 유효성을 시뮬레이션을 통해 검증한 결과, 기존의 대표적인 에너지를 고려한 경로 선택 알고리즘인 CMMBCR과 비교하여 시간 별 최대 사용 에너지 및 시간 별 죽은 단말 개 수에서 개선된 성능을 보여주었다.

키워드 : 에너지를 고려한 라우팅, 배터리 효율적인 라우팅, MANET, CMMBCR, DSR

Abstract In this paper, we present a MMPR (Minimizing the Maximum Used Power Routing) Algorithm in a MANET (Mobile ad hoc network) by modifying the route selection algorithm in well-known routing MANET protocol. In the previous route selection algorithms, the metric for cost function is the minimal hop which does not consider the energy status. MMPR uses the metric with used energy. The node that want to know the route for some destination begins calculating the route cost function with alpha which is the maximum used energy in the known route. If the new route that contains the node whose used energy is greater than previous known alpha is known to the node that want to send a packet in some moment, the probability of selecting the new route is lower. Experimental results with MMPR show higher performance in both the maximum used energy and the number of dead nodes than that of the CMMBCR (Conditional Max-Min Battery Routing).

Key words : energy aware routing, battery efficient routing, MANET, CMMBCR, DSR

[†] 비 회 원 : 티렉스소프트 R&D Center
hiva@hcl.korea.ac.kr

^{**} 비 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과
biofrog@gmail.com

^{***} 정 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수
sgmin@korea.a.ckr

논문접수 : 2007년 9월 19일

심사완료 : 2008년 1월 7일

Copyright©2008 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.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제2호(2008.4)

1. 서 론

이동 애드혹 네트워크 (Mobile Ad-hoc Network, MANET)는 유선 기반 망이 없는 무선 네트워크를 말하는데, 각 단말은 전파 범위에 들지 않는 단말과 통신하기 위해 라우터처럼 동작해야 할 때도 있다. 이러한 MANET의 각 단말은 제한된 에너지를 가지고 있으므로 에너지 효율적인 동작이 중요하다. 본 논문은 에너지 효율적인 단말의 동작 중 에너지를 고려한 경로 선택 부분에 초점을 맞추었다.

기존의 애드혹 라우팅 기법으로 AODV (Ad-hoc On

Demand Distance Vector)와 DSR (Dynamic Source Routing)이 대표적이나 에너지를 고려하여 경로를 선택하지 않는다[1,2]. 이러한 단점을 극복하기 위해 에너지 상태를 고려한 경로 선택 알고리즘들이 제안 되었다. 대표적으로 최소 전송 파워 총합 라우팅(Minimum Total Transmission Power Routing, MTPR), 최소 배터리 비용 라우팅(Minimum Battery Cost Routing, MBCR), 최소-최대 배터리 비용 라우팅(Min-Max Battery Cost Routing, MMBCR), 조건부 최대-최소 배터리 라우팅(Conditional Max-Min Battery Routing, CMMBCR), 최소 에너지 소비율 라우팅(Minimum Drain Rate Routing, MDR) 등이 있다[3-5].

기존의 에너지를 고려한 라우팅 방식은 애드혹 망 전체에 대해 총 에너지 소비량을 최소화 하거나, 각 단말의 에너지 소비를 공평하게 하는 것에 목적을 두었기 때문에 이 두 가지를 동시에 최적화 하지 않는다. 이 중 CMMBCR만이 어느 정도 이러한 최적화 문제를 해결하였다고 할 수 있으나, 두 가지 각각의 최적화에 필요한 라우팅 방식을 모두 써야 하는 부담이 있다. 본 논문에서 하나의 경로 비용 수식을 사용하여 망 전체의 총 에너지 소비량과 각 단말의 에너지 소비를 공평하게 할 수 있는 MMPR 라우팅 방안을 제안하고자 한다. 제안된 MMPR의 유효성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 통한 실험을 수행 하여 기존의 CMMBCR의 결과와 비교하였다.

2. 관련 연구

애드혹 망에서 에너지를 고려한 라우팅의 목적은 망 생존 시간의 극대화라 할 수 있고, 이를 이루기 위해서는 각 단말의 에너지 소비 균등 분배 및 총 에너지 소비 최소화의 두 가지 최적화를 필요로 한다. 지금까지 소개된 에너지를 고려한 라우팅 방식은 이 두가지 최적화 중 어느 것을 선택하여 최적화 하였는가에 따라 분류 할 수 있다.

MTPR은 단말들의 전송 시 보내고 받는 에너지의 총합이 가장 작은 경로를 선택한다. 따라서 총 에너지 소비의 최소화를 이루는 방법이다. 하지만 각 단말의 배터리 잔량을 고려하지 않으므로, 특정 단말을 많이 이용하게 되면 해당 단말이 먼저 죽게 되는 단점이 있다.

MBCR은 MTPR의 단점을 극복하기 위해 남은 배터리 용량을 경로 비용 메트릭으로 한 라우팅 방식이다. 어떤 경로에서 각 단말들의 남은 배터리 용량의 역수를 합하여 그 값이 적은 경로를 선택하므로 각 단말의 에너지 소비 최소화를 이루는 방법이다. 하지만 비용 계산 시 총 합에만 의존 하므로 특정 단말이 배터리 잔량이 매우 적고 나머지 단말들이 매우 많은 경우도 이 경로

를 선택하는 단점이 있다.

MMBCR은 특정 단말이 과용되는 것을 방지 하기 위해 MBCR의 경로 비용 산출에서 총합이 아닌 해당 경로에서 배터리 용량이 가장 적은 단말의 남은 배터리 용량을 비교하여, 남은 배터리 용량이 가장 큰 경로를 선택하는 방식이다. 그러므로 단말의 에너지 소비 균등 분배를 최적화 한 방식으로 분류 할 수 있다. 이는 배터리 과용 단말을 포함하는 경로를 배제하는 방식으로 배터리 소비가 망 전체에 균등하게 분배 되지만, 항상 최소 전송 비용을 가진 경로를 선택하는 것이 아니므로 망 전체의 총 배터리 소비는 오히려 더 커질 수 있다는 단점이 있다.

CMMBCR은 MTPR과 MMBCR의 장점을 모두 사용한 방식이다. 따라서 단말의 에너지 소비 균등 분배와 망 전체의 총 에너지 소비 최소화의 두 가지 최적화를 동시에 고려한다. 이를 위해 MTPR과 MMBCR을 망의 에너지 상황에 따라 적절히 사용하는데, 가능한 경로가 모두 어떤 임계 값 보다 큰 배터리 잔량을 가지면 MTPR을 기반으로 경로를 선택하고, 임계 값 보다 작은 배터리 잔량을 가진다면, MMBCR에 기반하여 경로를 선택하는 방법을 사용한다.

이 때문에 CMMBCR은 MTPR 및 MMBCR의 비용 계산 방안을 모두 가지고 있어야 하며, MANET 라우팅 프로토콜의 경로 요청 과정 시 망의 에너지 상황에 따라 MTPR 및 MMBCR에 따르는 다른 과정을 거쳐야 한다. 또한 망의 용도에 따라 임계 값을 조절해야 하며, 임계 값이 클수록 경로 선택 결과가 MMBCR에 가까워지고, 작을수록 MTPR에 가까워진다. 즉, 임계 값을 적절히 주지 않으면 MTPR, MMBCR과 비교해 좋은 결과를 얻지 못할 가능성도 있다.

3. 단말의 최대 소모 에너지를 최적화하는 라우팅 방안

본 논문에서는 단말간 공평한 에너지 사용과 망 전체의 총 에너지 소비를 최소화 하는 두 가지 최적화 모두 수행 할 수 있는 에너지를 고려한 라우팅 방안인 MMPR을 제안한다.

3.1 MMPR의 경로 선택 방법

MMPR의 경로 선택 방법은 트래픽 엔지니어링에 쓰이는 방법과 유사하다. 트래픽 엔지니어링의 목표 중 하나는 망 자원의 공평한 사용인데 이것은 MANET에서 단말 간의 에너지의 공평한 사용과 비슷한 요구 사항이라 볼 수 있다. 트래픽 엔지니어링의 경로 선택 방법의 한 가지로 제안된 LPF-RR 알고리즘은 여러 경로가 존재 하는 트래픽에 대한 전송 요구가 있다면, 링크 대역폭 사용량을 망 전체에 공평하게 분배하도록 경로를 선

택 할 수 있게 한다[6]. LPF-RR의 망 자원에 대한 최적화 방안은 MANET에서 에너지의 소비를 최소화하여 망의 생존시간을 최대로 하는 방법에 적용 가능하다. 본 논문에서 제안한 MMPR은 LPF-RR의 경로 선택 알고리즘 부분을 수정하여 MANET에서 에너지를 고려한 경로 선택에서 사용 가능하게 하였다.

MMPR의 라우팅 메트릭은 노드에서 사용된 에너지이다. 경로 선택의 기본적인 방법은 하나의 종착지에 대하여 여러 개의 경로가 있을 때, 미리 해당 경로를 사용할 경우의 에너지 관련 경로 비용을 계산 하여보고, 경로비용이 가장 작은 경로를 선택하는 것이다. MANET의 라우팅 프로토콜 중 해당 종착지 단말로 가는 여러 경로를 알아 내어 관리하는 방식의 라우팅 프로토콜이라면 이 MMPR 알고리즘을 경로 탐색 및 선택 시에 적용 가능하다. 본 논문에서는 MANET의 대표적인 라우팅 프로토콜인 DSR에서 경로 탐색 및 선택 부분에 MMPR의 경로비용 계산 수식을 적용하기로 한다. 따라서 다음부터는 DSR을 수정하여 적용하는 것을 기준으로 설명 하도록 한다.

DSR에서는 시작 단말에서 종착지 단말로 통신을 하기 위해 먼저 종착지 단말까지 가는 경로를 탐색하게 된다. 이는 경로 요청 메시지(Route Request, RREQ)를 통해 이루어진다. RREQ를 받은 단말들은 자신을 통해 통신 할 경우 드는 비용을 계산해야 한다. 이렇게 계산된 단말의 비용은 경로의 전체 비용을 계산할 때 쓰인다. 한 단말 당 비용 계산은 다음과 같은 수식을 이용하여 계산한다.

$$Cost(N_i) = (E_c + E_{\alpha} + E_{\pi} + (N-1)E_o) + T \cdot \max[0, E_c + E_{\alpha} + E_{\pi} + (N-1)E_o - \alpha]$$

[수식 1] 단말 당 MMPR 경로 비용 계산 수식

첫째 항에서 ($E_{\alpha} + E_{\pi}$)는 현재 경로의 현재 단말에서 다음 단말로 갈 경우 필요한 에너지이다. 따라서 첫째

표 1 MMPR 경로 비용 계산 수식의 파라미터

E_c	현재 단말에서 사용한 에너지 양
E_{α}	현재 단말에서 다음 단말로 전송에 필요한 에너지 양
E_{π}	현재 단말에서 어떤 인접 단말에서 패킷 수신 시 필요한 에너지
E_o	오버헤어링 에너지
α	현재 시작 단말에서 종착지 단말로 가는 경로들의 단말들 중에서 가장 에너지 소모가 많은 단말의 사용한 에너지 양

항 ($E_c + E_{\alpha} + E_{\pi}$)는 해당 경로를 통해 다음 단말로 갈 경우에 총 사용한 에너지 양이다. 즉, 추가로 사용될 에너지 양을 미리 넣어 비용을 계산하여 최적인 경로를 선택한다.

둘째 항의 $\max\{0, (E_c + E_{\alpha} + E_{\pi}) - \alpha\}$ 부분은 현재까지 에너지가 가장 적게 남은 단말의 에너지 사용량인 α 보다 현재 경로를 선택 하였을 경우 에너지 사용량이 더 낮은지 높은지를 보고 높다면 그 값을 취한다. 즉, 현재 단말에서 예상되는 에너지 사용량이 현재까지 가능한 경로들의 단말들 중에서 가장 큰 에너지 사용량을 가지는 단말의 에너지 사용량인 α 보다 높다면 T 라는 가중치를 두어 현재 단말의 비용을 증가 시킨다. T 는 조정 가능한 값이며, α 값보다 큰 단말에 불이익을 더 주고 싶으면 큰 값으로 조정하면 된다. 그러면 결국 에너지 소모량이 α 값보다 큰 단말을 포함하는 경로는 큰 비용을 가지게 되어 경로 선택 시 배제될 가능성이 크게 된다. 현재 해당 단말의 예상 에너지 사용량 ($E_c + E_{\alpha} + E_{\pi}$)이 α 값보다 크다면 이 값이 새로운 α 가 된다.

각 항에서 $(N-1)E_o$ 는, N 개의 주위 단말들 중 현재 RREQ를 보내는 단말을 뺀 $(N-1)$ 개의 단말에서 패킷을 보낼 경우, E_o 라는 오버헤어링 수신 에너지 비용을 곱하여 $(N-1)E_o$ 의 추가 에너지 소모가 발생 하는 것을 고려한 것이다.

그림 1은 MANET에서 각 단말의 통신 범위와 오버헤어링 관계를 나타낸 것이다. 검은색으로 채워진 원은 통신 시 패킷이 거쳐가는 단말이다. 화살표는 통신 방향을 의미하며, 빗금 친 큰 원은 거쳐가는 경로의 오버헤어링 되는 범위를 의미한다. 오버헤어링 되는 단말은 회색으로 표시하였다. 따라서 총 7개의 단말을 거쳐 통신을 하지만, 오버헤어링 되는 단말은 22개이고, 오버 헤

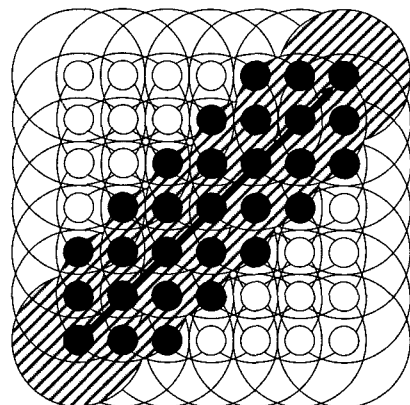


그림 1 MANET에서 단말의 통신 범위와 오버헤어링

어령 회수는 46회이다. 이는 수신 에너지가 비교적 송신 에너지에 비해 1/4 정도로 작다고 하나, 오버헤어링 회수가 매우 많았으므로 에너지 소모는 매우 커진다.

이러한 오버헤어링으로 인한 에너지 소모는 경우에 따라 전체 에너지 소모의 80%에 이를 정도로 큰 비중을 차지하기 때문에 경로 비용 계산에 포함시켰으며[7], 이를 위해 망의 각 단말은 RREQ에 인접한 단말의 수와 해당 단말의 오버헤어링 에너지를 포함시켜 보낸다.

에너지를 고려한 라우팅의 목표는 망 생존 시간의 극대화로 볼 수 있으며, 망의 생존은 망을 구성하는 단말 중 죽은 단말이 없어 단말 사이의 통신이 가능한 상태로 정의할 수 있다. 망 생존시간의 극대화는 다음과 같은 두 가지 최적화를 통해 가능하다. 이 두 가지 최적화를 수식 1의 첫째 항과 둘째 항으로 정리해 보면 아래 표와 같다.

최적화 ①: 각 단말의 에너지 소비 균등 분배

최적화 ②: 총 에너지 소비 최소화

앞서 언급한 CMBCR의 경우 총 에너지 소비 최소화를 위한 최적화 방안으로 MTPR을 각 단말의 에너지 소비 균등 분배를 위해 MMBCR을 망의 에너지 상황에 따른 임계 값에 따라 적용한 반면, MMPR은 하나의 경로 비용 계산식을 가지고 두 가지 최적화를 동시에 수행한다.

3.2 경로 비용 갱신 방법

MANET에서는 짧은 시간 동안에 시작, 종착지 간의 통신이 이루어지고, 이 연결이 얼마나 지속 될지 알 수도 없다. 따라서 이 연결에 대한 최종 에너지 소모량을 아는 것이 힘들다. 또한 MANET에서는 패킷을 보낼 때 마다 배터리 잔량이 항상 줄어드는 특성을 가진다. 따라서 이에 따른 경로 비용을 갱신할 필요성이 있다. 이를 해결하기 위해 MMPR에서는 경로 비용 갱신 알고리즘을 적용하였다.

기존의 에너지를 고려한 애드혹 라우팅 방법은 경로

선택 시에만 에너지를 고려하여 선택하는 문제를 안고 있다. MDR 만이 주기적으로 에너지 감소 속도를 단말에 알려 주어 이 문제점을 어느 정도 해결했다고 볼 수 있다. 하지만 에너지 감소 속도에 대한 정보를 보고 해야 하는 추가 비용이 있다[4].

MANET에서 각 단말들은 일정한 에너지의 배터리를 가지고 있으며 패킷 전송이 일어날 경우 에너지를 소비한다. 따라서 배터리는 항상 소모만 되고 반환 되지 않는 특성을 가지므로 어떤 패킷 전송이 일어날 경우 그 전송에 대한 경로 비용이 항상 커지는 쪽으로 바뀐다. 이로 인해 경로 요청 시에 한번 경로에 대한 비용을 계산하고 그 값을 계속 사용하는 방식은 망의 실제 에너지 상황을 정확히 반영하지 못하여 에너지를 고려한 라우팅의 성능을 저하 시킨다.

따라서 해당 경로로 패킷을 보낼 때 마다 사용한 에너지 비용을 갱신 시켜주어야 하고 이에 따라 α 값이 변한다면 갱신 시켜주어야 한다. 이를 갱신 시켜 주기 위해서는 해당 경로의 단말 각각의 사용한 에너지와 한 패킷 전송에 대해 필요한 에너지를 알아야 한다. 이를 토대로 시작 단말에서 각 단말에 대한 비용을 재계산하여 해당 경로의 비용을 갱신 시켜준다. 이는 DSR과 같은 경로 캐시를 가지는 라우팅 프로토콜에서 적용이 가능한 방법이다.

아래는 DSR의 경우 RREQ 패킷, RREP 패킷에 추가 되어야 할 경로 비용 갱신에 필요한 정보들이다.

표 3 경로 비용 갱신에 필요한 정보

Route Request	사용한 에너지 정보
Route Reply	사용한 에너지 정보
	한 패킷 전송에 필요한 에너지

아래는 DSR을 고려했을 때 구체적인 수행 절차이다.

1. 시작 단말에서 RREQ를 브로드 캐스트 한다.

표 2 MMPR 경로 비용 수식 요약

첫째 항 ($E_c + E_{rx} + E_{tx} + (N - 1)E_o$)	
사용된 에너지 + 사용될 에너지 = 예상 에너지 소모량	
망 전체의 에너지 사용량이 적은 경로를 선택하여 ②를 충족한다.	
둘째 항 $T \cdot \max [0, \text{예상에너지소모량} - \alpha]$	
α : 경로들의 단말 중 가장 많이 소모된 에너지 값	
α 는 CMBCR의 임계값 역할이지만 에너지 변화에 따라 자동 갱신된다.	
예상 에너지 소모량 > α	예상 에너지 소모량 $\leq \alpha$
비용 계산에 둘째 항을 포함하여, T의 가중치로 불이익을 받는다. 따라서 ① ② 모두를 고려한다. T는 ①, ②중 우선순위를 반영 할 수 있다. α 가 현재 노드의 예상 에너지 소모량으로 갱신된다.	첫째 항 만으로 비용을 계산 한다. 따라서 ②만을 고려한다.
예상 에너지 소모량이 큰 단말을 가진 경로를 배제하여 ②와 ①을 모두 충족한다.	

2. RREQ를 받은 단말들은 자신의 사용한 에너지를 RREQ의 추가 부분에 적어 포워딩 한다.
3. RREQ를 받은 종착지 단말에서 해당 소스 라우팅 정보대로 RREP를 유니 캐스트 하되 RREQ에서 받은 단말들의 사용한 에너지를 적어 보낸다.
4. RREP를 받은 단말들은 RREP의 한 패킷 전송에 필요한 에너지 필드를 채운다. (구현에 달려 있음, 예로, 최종 송신 + 최종 수신 에너지 값을 사용 가능)
5. RREP를 받은 시작 단말은 사용한 에너지 정보 필드, 한 패킷 전송에 필요한 에너지 필드와 함께 경로 캐시에 저장하고, α 값을 계산하여 경로 캐시에 저장한다.
6. 시작 단말에서 실제 데이터 패킷을 보낼 때, 종착지로 가는 모든 경로에 대한 비용을 수식 1로 계산한다. 이 값이 가장 작은 경로를 실제 보낼 경로로 선택한다.
7. 선택된 경로로 인해 α 값이 갱신되어야 한다면 갱신한다. 한 패킷 전송에 필요한 에너지를 더한 사용한 에너지 값을 구해서 모든 경로의 단말 에너지 정보를 갱신한다.
8. 시작 단말에서 해당 종착지를 가는 단말들은 6부터 다시 반복한다.

위 절차를 통해 시작 단말은 경로 요청 시뿐만 아니라, 해당 종착지 단말로 데이터를 보내는 동안에도 에너지 감소를 고려한 경로 비용을 알 수 있다. 실시간으로 단말에서 보내온 에너지 정보가 아니라 RREP에서 온 정보를 토대로 추정하여 경로 비용을 갱신 하므로 어느 정도 오차가 있을 수 있다. 하지만 망의 에너지 상황을 주기적으로 알 필요가 없고 시작 단말에서만 필요한 절차를 수행 하면 되므로 중간이나 종착지 단말에 부하가 없다. 따라서 본 논문에서 제안한 경로 비용 갱신 과정은 단말에 큰 추가적인 부담 없이 데이터를 보낼 때 에

너지 감소를 고려하여 경로를 선택 하게 하여 망의 생존 시간을 더 높일 수 있다.

4. 실험 및 성능 분석

본 장에서는 ns-2[8]를 사용하여 MMPR을 평가하기 위한 시뮬레이션 설정 환경에 대해 설명하고 각 시나리오에 대한 설명 및 시뮬레이션 결과를 최대 사용 에너지 및 죽은 단말의 개수에 따라 분석하였다. 그리고 결과를 CMMBCR의 결과와 비교 하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

MMPR은 한 종착지에 대한 다중 경로를 알 수 있는 모든 애드혹 라우팅 프로토콜에 적용 할 수 있으며, 본 논문에서는 ns-2의 DSR 프로토콜을 수정하여 구현 하였다.

DSR은 소스 라우팅을 하는 동안 에너지 관련 정보를 얻어 올 수 있고, 경로 캐시를 가지고 있어서 여러 경로를 관리 할 수 있는 장점이 있다. 에너지를 고려한 경로 선택에서 경로 캐시에서 해당 종착지로 가는 여러 경로와 그에 대한 에너지 정보를 가지고 있으면 구현이 용이하다. 시뮬레이션 시 MMPR의 T 값은 참고 논문 [6]에 따라 50을 사용하였고, CMMBCR의 임계 값은 본 실험을 통해 가장 좋은 성능을 나타내는 40을 사용하였다. 그리고 참고문헌 [9]를 참조하여 단말의 송신에 필요한 에너지와 수신에 필요한 에너지의 비율을 4:1로 하였다. 실험에 사용된 시뮬레이션 환경에 대한 상세한 정보는 다음 표 4와 같다.

4.2 시뮬레이션 결과 분석

시간 별 최대 사용에너지는 망에서 모든 단말 중 측정 시간에서 가장 에너지 사용율이 큰 단말의 사용된 에너지 비율을 나타낸다. 그림 2의 결과를 보면 고정 망에서나 동적인 망 모두에서 MMPR이 항상 CMMBCR 모든 시간 대에서 보다 낮은 최대 에너지 사용율을 보이고 있다. 이는 MMPR의 경로 선택 방법이 최대 에너

표 4 시뮬레이션에 사용된 파라미터 정보

실험 환경			
수정 사항	ns-2 v2.30의 DSR	실험 시간	200초
MAC Layer	802.11b MAC	단말 개수	20개
안테나	omni 안테나	이동 방식	균등 분포 무작위 (0~48번 단말 사이)
단말 통신 범위	250m	이동 속도	지수 분포 무작위 (10초 평균)
망 크기	1200m × 1200m	패킷 전송 간격	0.05초
실험 회수	100회	실험 대용량	49 개
고정 망		동적 망	
7 × 7 단말, 150m간격		49개의 단말 임의 배치	
		10m/s, 임의 방향, 임의 이동 시간, 2초의 쉬는 시간 (Random Waypoint Model)	

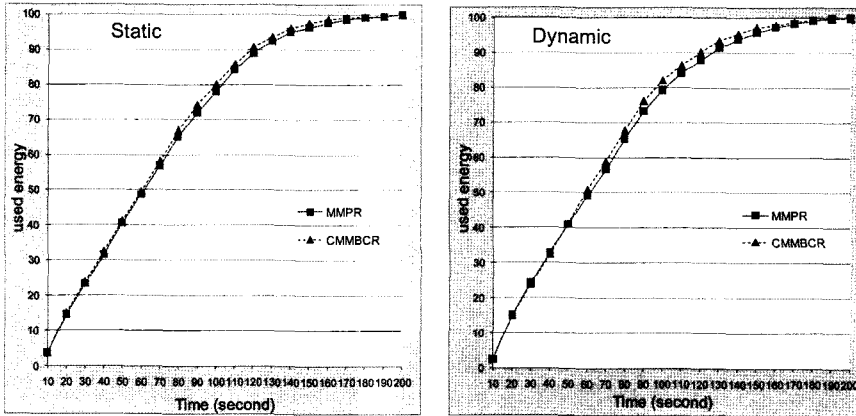


그림 2 시간 별 최대 사용 에너지

지 사용 관점에서 최적화하고 있음을 알 수 있다. 60~150초 사이에서 CMMBCR 보다 고정망은 1.96%, 동적망은 2.84% 향상을 보였다. 성능 개선의 폭은 수치적으로는 크지 않지만 모든 시간 대에서 최대 사용 에너지가 작다는데 의미가 있다.

그림 3은 시간 별 죽은 단말 개수를 나타낸 것이다. 시간 별 죽은 단말 개수가 적을수록 망 전체에서 어떤 단말이 다른 단말과 통신 가능한 확률이 커진다. 따라서 시간 별 죽은 단말 개수는 망 생존 시간의 척도로 볼 수 있다.

결과를 보면, MMPR이 시간 별 죽은 단말 개수가 CMMBCR에 비하여 고정망에서 평균 9.8%, 동적망에서 평균 20.7% 향상되었다. 이는 최대 사용 에너지를 최적화하였을 뿐 아니라 특정 단말이 과하게 사용되어 먼저 죽지 않게 최적화하였기 때문으로 볼 수 있다. 이전 결과에서 최대 사용 에너지의 성능 향상 폭이 크지 않은데 비하여 시간 별 죽은 단말 개수에서 비교적 큰

성능 향상을 보였다. 따라서 MMPR이 최대 사용 에너지 보다는 망의 생존 시간 관점에서 성능 향상의 폭이 더욱 크다 할 수 있다.

그림 4는 망에서 첫번째 죽은 단말의 출현 시간을 나타낸 것이다. 첫번째 죽은 단말의 출현 시간은 망에서 죽은 단말이 없이 완전한 상태를 이루고 있는 시간이 어느 정도 지속되는 지를 나타내는 척도로 볼 수 있다. 이 시간이 될 때 까지 망에는 에너지가 소모되어 통신이 불가능한 단말이 없다는 것을 의미한다. 어떤 특정 단말이 망의 전체의 통신에 큰 역할을 하는 단말인 경우, 이 단말이 첫번째로 죽으면 많은 다른 단말들의 통신이 불가능해진다. 따라서 첫째 죽은 단말의 출현 시간의 측정은 얼마나 완전한 망을 구성하는지를 나타내고 망의 생존 시간으로 의미가 있다. 첫번째 죽은 단말의 출현 시간 측정 결과는 MMPR이 CMMBCR보다 고정 망에서 4.59초, 동적 망에서 6.43초 더 오래 완전한 망을 구성하였다.

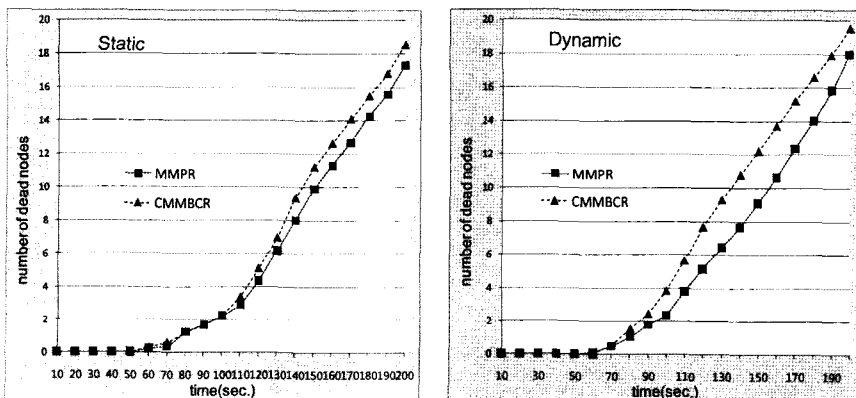


그림 3 시간 별 죽은 단말 개수

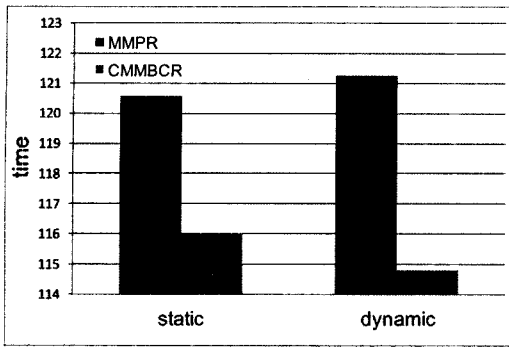


그림 4 첫째 죽은 단말 출현 시간

5. 결론

본 논문에서는 MANET에서 단말의 최대 사용 에너지를 최적화하는 MMRP 라우팅 방안을 제안하였다. MMRP은 망에서 최대 사용 에너지를 최소화하는 것과 망의 각 단말 사이의 고른 에너지 사용, 두 가지 최적화를 만족 할 수 있는 경로 계산 방법을 사용하였다. 이를 통해 MMRP은 망의 남은 에너지를 최대화 할 수 있고 망에서 단말들 사이에 에너지 소비를 적절히 분배 하여 특정 단말이 과도하게 사용되어 먼저 죽는 경우를 방지 할 수 있다.

MMRP은 소스 라우팅을 사용하는 애드혹 라우팅 프로토콜의 경로 선택 부분을 수정하여 적용 가능하며, 실험에서는 ns-2의 DSR 프로토콜을 수정하여 사용 하였다. 실험결과 CMMBCR에 비해 MMRP이 시간 별 최대 소비 에너지에서 적은 배터리 소모를 보였다. 시간 별 죽은 단말의 개수도 MMRP이 CMMBCR에 비해 적었으며, 최초로 죽은 단말의 발생도 MMRP이 CMMBCR 보다 뒤에 나타났다.

향후 연구로는 오버 히어링을 고려한 환경에서 보다 정확한 이웃 단말의 에너지 정보를 이용한 경로 비용 수식에 대한 연구가 필요하다. 또한 주기적인 망 상태를 알려주는 메커니즘이 없이도 망의 에너지 소비를 전체 적으로 예측 할 수 있는 방법에 대한 연구가 더 필요할 것이다. 그리고 중복 단말이 없는 경로 선택 라우팅 프로토콜과의 연동이 필요하다. 실험에 사용된 DSR에서는 목적지로 가는 여러 경로들이 대부분 중복된 단말을 포함하여 경로를 바꾸더라도 에너지 관련 성능 향상이 크지 않은 경우가 많았다.

참 조 문 헌

[1] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC3561, July 2003.

[2] D. Johnson, Y. Hu, D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," IETF RFC 4728, February, 2007.

[3] Toh, C.-K., "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks," Communications Magazine, IEEE, June 2001.

[4] Dongkyun Kim, J.J. Garcia-Luna-Aceves, Katia Obraczka, Juan-Carlos Cano, Pietro Manzoni, "Routing mechanisms for mobile ad hoc networks based on the energy drain rate," IEEE transaction on Mobile Computing(TMC'03), IEEE, April 2003.

[5] Kyungtae Woo, Chansu Yu, Dongman Lee, Hee Yong Youn, Ben Lee, "Non-blocking, localized routing algorithm for balanced energy consumption in mobile ad hoc networks," Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems(MASCOT'01), IEEE, August 2001.

[6] Yufei Wang, Zheng Wang, "Explicit Routing Algorithms for Internet Traffic Engineering," Computer Communications and Networks, IEEE, October 1999.

[7] J.-E. Garcia, A. Kallel, K. Kyamakya, K. Jobmann, J.-C. Cano, P. Monzoni, "A novel DSR-based energy-efficient routing algorithm for mobile ad-hoc networks," Vehicular Technology Conference(VTC'03), IEEE, Fall 2003.

[8] "The Network Simulator - ns - 2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

[9] Laura Marie Feeney, Martin Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFO-COM'01), April 2001.



유 남 규
2005년 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 2007년 고려대학교 컴퓨터학과 석사. 2007년~현재 TmaxSoft. 관심분야는 MANET, 에너지 효율적인 라우팅, 핸드오버



김 광 렬
1994년 경북대학교 전자공학과 학사. 1996년~2000년 LG 정보통신 중앙연구소 주임연구원. 2000년~2005년 LG 전자 시스템 연구소 책임 연구원. 2005년~현재 LG-Nortel R&D Center 책임 연구원. 2002

년~현재 고려대학교 컴퓨터학과 박사 과정 재학 중. 관심 분야는 QoS 제공, 성능분석, 이동성지원



민 성 기

1988년 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 1989년 런던대학교 석사. 1994년 런던대학교 박사. 1994년~2000년 LG 정보통신 중앙연구소 책임연구원. 2001년~현재 고려대학교 컴퓨터학과 부교수. 관심분야는 분산 시스템, 고속통신, 무선 통신