

논문 2008-45TC-1-6

AOMDV(Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector)에서의 전력을 고려한 동적 경로 선택 기법

(Power-aware Dynamic Path Selection Scheme in AOMDV(Ad hoc On-demand Distance Vector))

이 장 수*, 김 성 천**

(Jangsu. LEE and Sungchun. KIM)

요 약

모바일 애드혹 네트워크는 기존의 셀룰러 네트워크와는 다르게 고정된 기지국 없이 모바일 노드들로 구성된 네트워크이다. 또한 모바일 애드혹 네트워크의 각각의 노드들은 제한된 자원과 한정된 용량을 가진 배터리로 동작한다. 그렇기 때문에 만일 어느 한 노드가 배터리를 모두 소모하여 다운이 되서, 중간노드의 역할을 하지 못하게 되면 결과적으로 전체 네트워크가 단절 되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 모바일 애드혹 네트워크에서 노드들의 한정된 전력에 대한 고려는 매우 중요하다고 할 수 있다.

기존의 단일 경로 요구 기반 라우팅 프로토콜(on-demand single path protocol)의 단점을 개선하기 위해 제안된 요구 기반 다중 경로 라우팅 프로토콜(on-demand multipath protocol)은 검색했던 모든 경로가 끊어졌을 경우에만 경로를 탐색하기 때문에, 단일 경로 라우팅 프로토콜과 비교해 봤을 때 경로 탐색으로 인한 오버헤드를 크게 줄일 수 있다. 그중 AOMDV(Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector)는 AODV 기반의 다중 경로 라우팅 프로토콜로, AODV 보다 경로 탐색 횟수가 40% 가까이 줄어든다. 하지만 AOMDV에서는 모바일 애드혹 네트워크에서의 큰 이슈 중에 하나인 전력문제에 대해서는 전혀 고려하지 않아 전력 고갈에 의한 경로 탐색 횟수에 대한 고려는 전혀 찾아볼 수가 없다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 경로 선택 시 응답하는 패킷(RREP)에 선택 경로상의 각 노드들의 전력량에 대해 평균 전력 값을 구하고 그 값을 본 논문의 제안방법의 최대 전력량 경로 선택 함수를 통해 구한 값이 가장 큰 경로를 동적으로 선택하는 기법을 제시하고 경로상의 각 노드의 전력이 위험할 때 에러 패킷을 발생하는 기법을 추가하였다. NS-2 시뮬레이터를 이용하여 실험을 한 결과, 제안한 기법이 AOMDV에 비해 경로 탐색 횟수가 최대 36.57% 까지 감소되었음을 알 수 있었다.

Abstract

Unlike a cellular network, a mobile ad hoc network (MANET) is constructed only by mobile nodes without access point. Mobile nodes in MANET operate with scarce resources and restricted battery. If battery of intermediate node is exhausted, overall network might be diverged. Therefore, power-aware is really important.

An on-demand multipath routing protocol which is proposed to compensate for shortcoming of on-demand single path routing protocol can reduce route discovery overhead because route discovery starts only when all routes are disconnected. AOMDV(Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector) which is on-demand multipath routing protocol based on AODV, reduces 40% of route discovery frequency. However, AOMDV have none of power-aware. So AOMDV have problem that route discovery for power exhaustion is not reduced at all. This paper proposes new power-aware path selection algorithm for AOMDV and scheme that broadcast REER packets when mobile node's battery can be gone. Performance comparison of proposed algorithm with AOMDV using ns-2 simulator shows that route discovery of proposed algorithm is reduced maximally 36.57% than AOMDV's.

Keywords : Ad hoc network, AOMDV, Power-aware

* 정회원, 서강대학교 컴퓨터학과
(Department of Computer Science and Engineering,
Sogang University)

※ 이 논문은 2007년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.
접수일자: 2007년10월25일, 수정완료일: 2008년1월18일

I. 서 론

무선 네트워크의 한 종류인 모바일 애드혹 네트워크는 기존의 셀룰러 네트워크와는 달리 고정된 기지국 대신에 모바일 노드들만으로 구성된 네트워크이다. 모바일 애드혹 네트워크에서 각각의 노드들은 제한된 자원(작은 대역폭, 느린 중앙처리장치 등)을 가지게 된다. 또한 모바일 애드혹 네트워크의 모바일 노드들은 한정된 용량을 가진 배터리로 동작하는데 이 배터리를 모두 소모하게 된다면 라우터의 역할까지 겸하고 있는 노드들이 다운이 되면서, 결과적으로 전체 네트워크가 단절되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 모바일 애드혹 네트워크에서 전력의 고려는 매우 중요하다. 또한, 모바일 애드혹 네트워크는 노드들의 이동성으로 인해 네트워크의 구조가 수시로 변하는 특성을 가지고 있다. 때문에 기존의 유선 네트워크에서 사용하던 라우팅 프로토콜과 다른 모바일 애드혹 라우팅 프로토콜이 연구되어 발표되었다.

모바일 애드혹 라우팅 프로토콜은 크게 두 가지로 나뉜다. 바로 테이블 기반 방식(table-driven)과 요구 기반(on-demand) 방식이다. 테이블 기반 방식의 예로는 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)^[1]가 있고, 요구 기반 방식에는 DSR(Dynamic Source Routing)^[2]과 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)^[3] 등이 있다. 요구 기반 방식의 프로토콜은 시작 노드에서 목적지 노드까지의 경로를 미리 생성해놓지 않고, 노드가 통신을 하려 할 때 경로를 검색하는 방식의 프로토콜이다. 이 방식은 미리 경로를 검색해놓는 테이블 기반 방식보다 라우팅에 드는 오버헤드가 적게 드는 장점이 있다. 하지만 한 번 경로를 탐색할 때 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그래서 노드의 심한 이동성으로 인해 네트워크의 구조가 자주 변하는 환경에서는 경로 탐색에 시간을 많이 할당해야 하기 때문에 그만큼 네트워크 전체의 성능이 떨어질 수밖에 없다.

기존의 요구 기반 라우팅 프로토콜의 단점을 개선하기 위해 제안된 것이 바로 요구 기반 다중 경로 라우팅 프로토콜(On-demand Multipath Protocol)이다. 기존의 단일 경로 라우팅 프로토콜은 하나의 경로만을 사용하기 때문에 그 경로가 끊어졌을 경우마다 경로 탐색을 새로 해야만 했다. 경로 탐색은 전체 네트워크를 거쳐야하기 때문에 시간이 오래 걸리게 된다. 하지만 다중 경로 라우팅 프로토콜의 경우, 한 번의 경로 탐색 시간에 여러 개의 경로를 검색하므로 하나의 경로가 끊어져

도 다른 경로를 대안으로 사용할 수 있다. 또한 검색했던 모든 경로가 끊어졌을 경우에만 경로를 재탐색하기 때문에, 단일 경로 라우팅 프로토콜과 비교해 경로 탐색으로 인한 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

II. 배경 연구

1. AOMDV 라우팅 프로토콜 동작 기술

(1) 라우팅 테이블

AOMDV의 라우팅 테이블은 AODV의 라우팅 테이블과 작은 차이를 제외하고 거의 동일하다. (그림 1)은 AODV와 AOMDV의 라우팅 테이블의 차이를 보여주고 있다.

우선 AOMDV의 라우팅 테이블은 기존에 없던 공개용 홉 수(advertised hop count)를 위한 공간이 있다. 공개용 홉 수는 순차 번호(sequence number)가 바뀌었을 때 업데이트된다. 즉, 새로운 경로 검색을 시행하였을 때 변경되는 것이다. 그리고 AODV와는 달리 경로가 다수이므로 경로가 하나가 아닌 리스트로 저장된다. 그리고 경로를 식별하기위해 firsthop 항목을 사용하고 있다.

dest.	sequence #	hop count	next hop	expiration timeout
-------	------------	-----------	----------	--------------------

(a) AODV

dest	sequence#	advertised hop count	route list			
			hop_count ₁	next_hop ₁	first_hop ₁	expiration_timeout ₁
			hop_count ₂	next_hop ₂	first_hop ₂	expiration_timeout ₂

(b) AOMDV

그림 1. AODV와 AOMDV의 라우팅 테이블 내용
Fig. 1. Routing table of AODV and AOMDV.

(2) 경로 탐색 단계

AODV와 마찬가지로, AOMDV에서는 시작 노드가 통신을 하기 위해 목적지 노드까지의 경로가 필요할 때 경로 탐색을 실행한다. 이때 시작 노드는 경로 탐색을 위한 RREQ(Route REQuest) 패킷을 브로드 캐스팅한다. 이 패킷을 받은 중간 노드들은 패킷을 보낸 노드를 잠재적인 역경로(reverse path)로 간주한다. 이 역경로는 목적지 노드에서 시작 노드로의 경로를 일컫는다.

중간 노드는 이 노드가 자신의 역경로 라우팅 테이블(reverse path routing table)에 저장되어 있는 경로들과 링크 독립(link disjoint)하는지 RREQ packet 안에 저장된 firsthop과 RREQ를 브로드 캐스팅한 노드 주소를 이용하여 판별한 후에 링크 독립 경로일 경우, 자신의 역경로 라우팅 테이블에 저장한다. 그리고 난 다음, 중간 노드는 packet에 지정된 목적지 IP를 봐서 자신이 목적지가 아닐 경우, RREQ packet을 다시 브로드 캐스팅으로 포워드한다.

이때 AODV의 경우, 다른 중간 노드를 경유해온 동일한 RREQ packet을 수신했다면 그 packet을 그냥 버린다. 왜냐하면 이미 시작 노드까지의 역경로가 설정되어 있기 때문이다. 하지만 AOMDV의 경우에는 이를 수신해 잠재적인 새로운 역경로로 간주해 라우팅 테이블에 저장할지를 판별하게 된다.

자신의 역경로 라우팅 테이블에 이미 저장된 경로와 시작 노드는 같지만 경유한 노드가 다른 RREQ packet을 수신한 중간 노드는, 새로운 독립 경로로 간주하고 자신의 역경로 라우팅 테이블에 그 경로를 저장한다. 하지만, 이 RREQ packet은 링크 독립 경로를 지원하기 위해 다시 브로드 캐스팅하지 않고 버린다.^[4]

이렇게 전송된 RREQ packet이 최종적으로 목적지 노드에 도착하면, 목적지 노드는 중간 노드와 마찬가지로 자신의 라우팅 테이블을 갱신하고 RREP (Route REPLY) packet을 전송하게 된다. 이때 여러 개의 RREQ packet을 수신할 수 있으므로, 목적지 노드는 최대 k 개까지 응답한다. 이때에는 packet 안의 firsthop과는 상관없이 응답을 하는데, 이는 후 발생할지 모르는 경로 차단 문제(route cut-off problem)이 생길 수 있기 때문이다.

그림 2는 경로 차단 문제가 발생하는 상황을 보여주고 있다. 목적지 노드 D가 받은 RREQ packet은 모두 첫 홉이 A인 RREQ packet이다. 하지만 지금 현재 역경로는 D → J → F → A → S와 D → J → F → C → S, 두

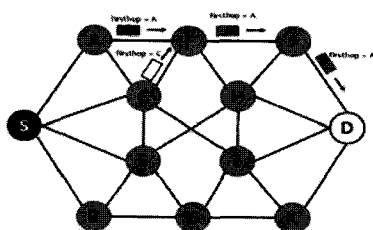


그림 2. 경로 차단 문제
Fig. 2. Problem of route disconnection.

개의 경로가 설정되어 있다. 중간 노드인 F가 하나의 RREQ packet만을 브로드캐스팅했기 때문에 목적지 노드가 수신하는 RREQ의 firsthop은 모두 A로 동일하지만, 실제로는 두 개의 다른 경로가 설정되어 있는 것이다.

그리고 모든 RREQ packet에 응답하는 것이 아닌, k 개까지만 응답하는 것은, 너무 많은 RREP packet으로 인한 성능 저하를 막기 위해서이다. 그리고 너무 긴 경로까지 모두 검색하여서 전체 네트워크의 성능을 떨어뜨릴 수 있는 것 또한 방지할 수 있다. 상수 k의 값은 AOMDV 논문의 저자가 시행한 실험의 결과^[6]를 바탕으로 3으로 설정되었다.

목적지 노드는 RREQ packet을 송신한 노드에게 직접 RREP packet을 Unicast한다. RREP packet을 수신한 중간 노드는 RREQ packet과 동일한 방법으로 순경로 라우팅 테이블(forward path routing table)에 저장하고, 자신의 역경로 라우팅 테이블에 저장된 다음 노드로 RREP packet을 전송한다. 이렇게 전송된 RREP packet이 최종적으로 시작 노드에게 전달되면, 시작 노드는 통신을 시작하게 된다. 보다 전체적인 이해를 높이기 위해서 AOMDV의 경로 탐색 과정을 그림 3을 통해 간단하게 도식화하였다.

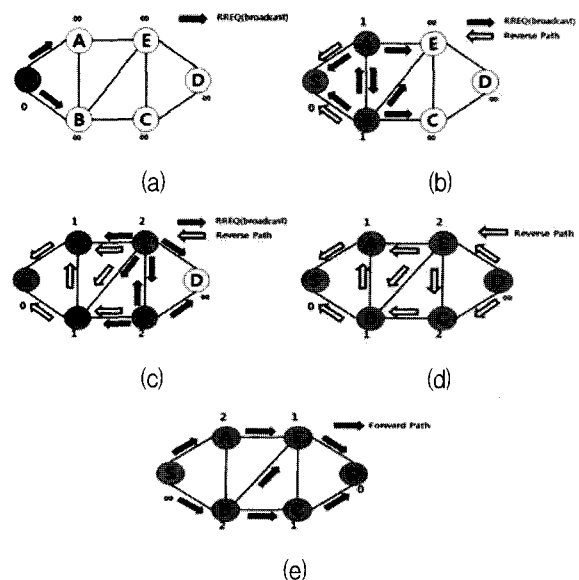


그림 3. 경로 탐색 과정
Fig. 3. Routing path detection.

(3) 경로 유지

AOMDV에서의 경로 유지(route maintenance)는 AODV에서 작은 수정을 거쳤을 뿐 거의 동일하다. AODV에서 경로를 찾지 못했을 때 발생하는 RERR

(Route Error)패킷도 사용하고 있다.

경로 갱신 기법은 AODV에서 사용하던 것을 다중 경로로 그대로 전환하였다. 그림 1의 라우팅 테이블을 보면, 검색한 경로마다 timeout 시간이 저장되어있음을 볼 수 있다. 이전에는 하나의 경로만을 갱신했다면, AOMDV에서는 저장되어 있는 모든 경로를 하나씩 갱신한다.

III. 제안 기법

AOMDV 라우팅 프로토콜은 링크 에러에 의한 경로 탐색 횟수를 줄이는 데에 큰 기여를 했지만, 모바일 애드혹 네트워크에서 중요하게 고려해야할 전력은 전혀 고려하지 않았다. 즉 전력소비관점에서 보았을 때 전력 고갈에 의한 노드의 링크 에러에 의한 경로 탐색에 따른 오버헤드를 줄이고 링크 에러의 횟수를 줄여 전체적인 경로 탐색 횟수를 줄일 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 기법은 AOMDV의 경로 선택 기법을 전력을 고려한 동적 경로 선택 기법으로 새롭게 제시하고, 각 노드의 전력량에 기반을 둔 경로 유지에 관련된 에러 패킷 전송 기법을 추가하고자 한다.

1. 전력을 고려한 동적 경로 선택 기법

제안 기법은 AOMDV의 기본 목적인 다중 경로를 확보하면서 동시에 각 노드의 에너지 잔량을 고려한 경로 선택을 가능하도록 하였다. 그리고 기존의 기법이 단순히 홉 카운트를 기준으로 경로를 선택하는 반면 현재 패스들의 에너지를 비교하여 최적의 경로를 동적으로 사용할 수 있도록 하였다. 제안하는 동적 경로 선택의 구동은 다음의 순서로 진행된다.

- ① 시작 노드에서 발생한 RREQ 패킷이 목적지 노드에 도착하기까지의 단계는 AOMDV와 동일하다. RREQ 패킷이 목적지 노드에 도착한 후 RREP 패킷을 다시 시작 노드로 보낼 때, 경로상의 중간 노드들이 자신의 현재 전력량을 경로 총 전력량 계산 함수를 통해 계산한 후 RREP 패킷의 Sum of Battery Capacity Percentage에 합산하여 다음 노드로 전송한다.
- ② RREP 패킷을 받은 시작 노드는 Sum of Battery Capacity Percentage의 값을 Hopcount의 값으로 나누어서 평균 Battery Capacity을 구한다. 그리고 RREP 패킷을 받았기 때문에 시작 노드는 정해진 경

로를 통해 데이터 송신을 시작한다.

- ③ 새로운 RREP 패킷들이 시작 노드에 도착할 경우 마찬가지로 평균 Battery Capacity을 구한다. 그리고 각 경로 간 최대 전력량 경로 선택 함수(식 2)를 통해 값을 계산하여 비교한 후 가장 큰 값을 가지고 있는 경로로 대체한 후 전송을 계속한다.
- ④ 기존의 전송하고 있던 경로가 단절될 경우에는 최대 전력량 경로 선택 함수(식 2) 값이 큰 순서대로 경로를 대체한다.

본 논문에서 이와 같이 평균 전력량을 고려한 방식으로 경로 선택이 필요한 이유는 만약 전력량을 전혀 고려하지 않고 홉 수에 최적화된 경로를 선택하였을 경우, 전력이 적게 남은 경로를 선택할 수 있기 때문이다. 이 경우에는 그 경로에 속한 노드들의 전력이 빨리 고갈되어 새로운 경로를 재탐색할 수밖에 없다. 예를 들어 (그림 4)에서 두 경로, S - A - F - J - D와 S - E - H - D 가 있을 때 기존의 AOMDV의 경우에는 홉 수가 작은 S - E - H - D 경로를 선택하게 된다. 하지만 선택된 경로 안의 노드 E와 노드 H는 곧 전력이 고갈되어 다운되게 될 것이다.

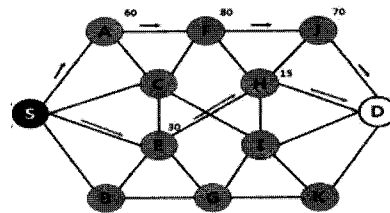


그림 4. 전력을 고려하지 않은 경로 선택 시 발생할 수 있는 문제
Fig. 4. Problem in routing path detection with no power consideration.

가. 경로 설정 방법

제안 기법의 경로 설정은 크게 역 경로와 순 경로 설정으로 나눌 수 있으며, RREQ 패킷에 의한 역 경로 설정은 AOMDV와 동일하다. 우선 통신을 원하는 시작 노드가 RREQ 패킷을 Broadcast하면, 중간 노드가 역 경로를 설정하고 포워딩해 목적지 노드까지 도착한다. 기존의 AOMDV와 기법이 동일하며, RREQ 패킷도 동일하게 사용한다. (그림 5)는 RREQ 패킷의 형식을 보여주고 있다.

목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면, 자신의 라우팅 테이블에 RREQ 패킷에서 얻은 정보를 이용하여 경

Type	Reserved	Reserved	Hopcount
RREQ ID			
Destination IP Address			
Destination Sequence Number			
Originator IP Address			
Originator Sequence Number			
Time Stamp			
Firsthop			

그림 5. RREQ 패킷 형식

Fig. 5. RREQ packet format.

로를 저장한 후, 순 경로 설정 단계로 진행한다. 먼저 목적지 노드는 Min Battery값에 백분율의 최대값인 100을 저장한 RREP 패킷을 RREQ 패킷을 보낸 노드에 전송한다. 즉, 경로 안에 놓여진 노드들의 전력량 중에서 가장 작은 값을 나타내는 Min Battery 값을 최대 로 설정하는 것이다. RREP 패킷을 받은 중간 노드는 AOMDV와 동일하게 자신의 순경로 라우팅 테이블에 경로를 저장하고, 포워딩을 한다. 하지만 그 전에, 중간 노드는 RREP 패킷의 Sum of Battery Capacity에 자신의 전력량을 전력량 계산 공식을 통해 계산한 후 값을 합산한다.

나. 전력 고려 방법

전력량을 계산하는 공식은 아래와 같다.

$$f_p = \frac{P_r}{P_f} \times 100 \quad (1)$$

식 1은 전력량 계산 공식을 나타내는 것으로서 P_f 는 노드의 배터리가 가득 충전되었을 때의 전력량을 의미하고, P_r 은 현재 남은 전력량을 의미한다. 즉, 전력 공식 f_p 는 현재 노드가 가지고 있는 전력량의 백분율을 의미한다. 백분율을 사용한 것은, 모든 기기들이 동일한 배터리 용량을 지니고 있는 것은 아니기 때문이다. 휴대폰이나 노트북 같은 기기들은 기기의 종류에 따라, 또는 기기의 기종에 따라 배터리의 최대 용량이 다르기 때문에 현재의 배터리 잔량만을 가지고는 정확한 수치를 얻을 수 없다. 그러므로 백분율을 사용, 각 기기의 종류와 상관없이 하나의 일관된 수치를 이용해서 경로를 선택할 수 있다. 자신의 전력량에 기반을 둔 함수 값을 RREP 패킷에 합산한 후, 노드는 RREP 패킷의 Min Battery 값과 자신의 현재 전력량을 비교하여 자신이 더 작은 값을 가진다면 자신의 전력량으로 값을 대체한다.

Type	Reserved	Reserved	Hopcount
Destination IP Address			
Destination Sequence Number			
Originator IP Address			
Life Time			
Time Stamp			
RREP ID			
Firsthop			

그림 6. AOMDV에서의 RREP 패킷 형식

Fig. 6. RREP packet format in AOMDV.

Type	Min Battery	Reserved	Hopcount
Destination IP Address			
Destination Sequence Number			
Originator IP Address			
Life Time			
Time Stamp			
RREP ID			
Firsthop			
Sum of Battery Capacity Percentage			

그림 7. 제안 기법의 RREP 패킷 형식

Fig. 7. RREP packet format in proposed scheme.

그림 7은 제안 기법의 RREP 패킷의 포맷을 보여주고 있다. 그림 6의 AOMDV에서 사용하던 RREP 패킷의 포맷에서 경로 내에서 최소의 전력량을 나타내는 Min battery, 경로의 총 전력량을 나타내는 Sum of Battery Capacity가 추가되었을 뿐, 큰 변화가 없음을 알 수 있고 이는 추가적인 패킷 오버헤드가 없음을 뜻한다.

RREP 패킷을 받은 시작 노드는 받은 RREP 패킷에 저장된 내용을 자신의 라우팅 테이블에 저장하고, 그 경로를 통해 통신을 시작한다. 이 후 상수 값으로 값을 정해놓은 3개의 RREP 패킷이 모두 시작노드에 도착하면 시작노드는 RREP 패킷의 Sum of Battery capacity의 값을 이용하여 좀 더 평균 전력량을 가진 경로를 선택하는데 사용하는 함수는 다음과 같다.

$$F = \frac{\sum_{i=0}^h f_{p_i}}{h} \times \text{minbattery} \quad (2)$$

식 2는 최대 전력량 경로 선택 함수이며 f_p 는 경로에 놓여진 i 번째 노드의 전력량 함수 값을 의미하고, h 는 해당 경로의 홉 수를 의미하며, minbattery 값은 경로의 노드들의 전력량 중 가장 작은 값을 의미한다. (식 2)는 경로의 중간 노드들의 평균 전력량에 최소 전력량을 곱한 것이다. 시작 노드는 자신의 라우팅 테이블에 저장된 경로마다 (식 2) 함수를 적용하여서 그 중 가장

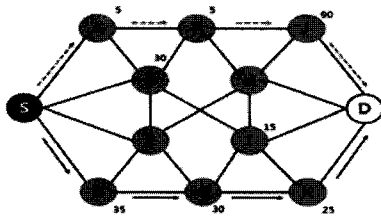


그림 8. 최소 배터리 값이 필요한 예제
Fig. 8. Example of minimum battery.

큰 값을 낸 경로를 선택한다. 여기서 최소 전력량을 곱한 이유는 다음과 같은 문제를 피하기 위함이다.

(그림 8)을 보면, 두 개의 경로 S - A - F - J - D 와 S - B - G - K - D가 있다. 두 경로의 전력량의 합은 각각 100, 90이 된다. 각각을 홉 수로 나눈 값은 25, 22.5가 된다. 만약 여기서 선택을 한다면 경로 S - A - F - J - D가 선택이 되는데, 이 경우 A와 F가 곧 전력이 고갈되어 다운될 것이다. 그렇다면 초기의 의도와 달리 A와 F가 가장 먼저 다운시키는 것이 되므로, 여기서 최소 배터리 값을 적용하는 것이다. 각각 최소 전력량을 곱하면 125, 562.5가 되므로, 시작 노드는 홉 수 값이 더 큰 경로인 S - B - G - K - D를 선택하여 통신을 시작하게 된다.

제안 기법은 전력이 위험한 노드를 우선적으로 보호하고, 전력을 분산적으로 사용하지만, 전력이 크게 차이가 나지 않아도 크게 우회하는 경로를 선택할 수 있는 가능성이 있다. 그러나 이 경우는 노드의 수가 굉장히 적은 상황에서 큰 우회 경로가 일어나는 상황이 아니라면 발생할 확률이 매우 작다.

2. 노드의 전력량에 따른 경로 유지 기법

제안 기법에서 경로 유지는 AOMDV의 기법을 그대로 물려받았다. 하지만 경로 유지에 전력에 대한 고려를 하기 위해 전력량에 기반을 둔 에러 패킷 전송 기법을 추가하였다.

기존의 AOMDV에서는 노드가 경로를 사용할 수 없을 경우에만 에러 패킷인 RERR을 이웃 노드들에게 전달하였지만 경로의 전력량 관점에서 볼 경우 경로의 중간 노드가 자신의 전력을 계속해서 체크하다가 자신의 전력이 위험하다고 판단되었을 때 라우팅 테이블에 저장된 역 경로, 순 경로를 따라 네트워크에 RERR을 전송한다.

각 노드의 전력량에 따라 RERR을 발생시켜 링크의 사용불가를 관련 노드에게 전달하여 경로를 관리함으로써 데이터를 전송할 노드는 마찬가지로 불필요한 경로

des.	sequence#	advertised hopcount	route list				ultimatum
			hop_count ₁	next_hop ₁	first_hop ₁	expiration_timeout ₁	
			hop_count ₂	next_hop ₂	first_hop ₂	expiration_timeout ₂	

그림 9. 제안 기법에서 사용되는 라우팅 테이블
Fig. 9. Routing table in proposed scheme.

탐색을 반복하지 않아도 된다. 각 노드의 전력량에 따른 RERR 패킷을 발생하는 조건은 자신의 전력의 5%로 설정하였다. 10%까지는 안정적으로 통신이 가능하다고 판단하고, 5%보다 적으면 그 이후에 통신에 참여하지 하지 않아도 전력이 고갈될 가능성이 충분히 높다고 생각하기 때문이다. 하지만 이 수치는 환경이나 목적에 따라 충분히 변경될 가능성이 있다.

하지만 모든 경로에 있는 노드가 5% 미만의 배터리량을 가지고 있다면, 경로가 설정이 되자마자 RERR 패킷이 발생되어서 경로가 설정되지 않을 수도 있다. 그래서 이를 방지하기 위해 최후통첩 모드(Ultimatum mode)가 추가로 필요하다. 최후통첩 모드는 시작 노드에서의 RREP의 각 경로들의 평균 전력량 값들이 모두 5이하이고 모든 경로가 RERR 패킷으로 인해 삭제되었을 경우에 시작 노드가 설정한다. 즉, 중간 노드가 자신의 전력이 적을 때에도 최후통첩 모드로 인해 설정된 경로는 삭제할 수 없게 되는 모드를 의미한다. 시작 노드는 RREQ 패킷의 패킷 타입을 최후통첩 모드로 설정한 후에 전송한다. 중간 노드는 이 패킷으로 인해 설정된 경로를 라우팅 테이블에 최후통첩 모드로 설정하고 이 경로는 전력이 고갈되었을 때 삭제 대상에서 제외되게 된다.

그림 9는 제안 기법에서 사용하는 라우팅 테이블을 보여주고 있다. 시작 노드는 최후통첩 모드의 조건에 도달할 때 최후통첩 모드를 설정한다. 최후통첩 모드로 설정된 경로는 ultimatum이 참으로 설정된다. 노드는 ultimatum이 참인 경로에 속한 노드들은 RERR 패킷을 발생하지 못한다.

IV. 실험

NS-2(Network Simulator)^[7] 시뮬레이터를 이용하여 본 논문에서 제안한 기법의 성능을 평가해 본다. AOMDV의 시뮬레이션은 AOMDV 논문의 저자가 웹상에 공개한 소스^[8]를 사용하였고, 제안 기법은 그 소스를 수정하여 실험하였다.

1. 실험 모델

제안 기법의 성능을 평가하기 위해서 모바일 노드는 CMU의 Monarch Research Group에서 개발한 모델을 이용하여 표 1과 같이 설정하였다. 이 환경 모두 CMU의 Monarch 그룹에서 배포하는 setdest 프로그램^[7]을 이용하여 생성하였다. 통신은 분포된 노드 중 임의로 두 개의 노드를 선정해 통신을 하는 방식을 사용하였다. 실험 시간은 실험의 편의성과 가독 편의성을 위해 100초로 설정하였다. 최대 경로 개수인 k, 즉 목적지 노드가 응답할 수 있는 최대 RREP 개수는 3으로 설정하였다. 기존 논문이 실험^[6]을 바탕으로 해 k값을 3으로 설정하여 실험하였기 때문에 동등한 환경을 위해 이번 실험 역시 3으로 설정하였다.

각각의 실험의 결과는 매 변화하는 환경마다 각각 10번씩 시뮬레이션을 수행하여 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 평균값을 사용하였다.

표 1. 모바일 노드 환경
Table 1. Mobile node environment.

MAC protocol	IEEE 802.11 DCF
Traffic pattern	CBR
Size of data packet	512 Bytes
Channel capacity	2 MB/Sec
Link layer type	LL
Interface queue type	DropTail, Priority Queue
Initial Energy	30 J
Rx/Tx Energy	100 mW / 300 mW

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 2. Simulation Environment.

Simulation area	1000m X 1000m
Number of nodes	100
Mobility model	Random waypoint model
Maximum node speed	30 m/s
Simulation time	100 sec

가. 노드의 수 변화

(1) 탐색 횟수에 따른 실험 결과

그림 10은 노드 수에 따른 경로 탐색 횟수 그래프를 보여주고 있다. 경로 탐색 횟수는 제안 기법과 AOMDV 모두 노드 수가 증가함에 따라 증가하고 있다. 그래프에서 볼 수 있듯이 10 ~ 30개의 구간에서는 제안 기법과 AOMDV가 큰 차이가 없지만, 30개를 넘어서부터 제안 기법의 경로 탐색 횟수가 크게 감소했음을 알 수 있다. 특히, 노드 수가 100개인 환경에서는 제안 기법이 AOMDV에 비해 경로 탐색 횟수를 24.38% 감소시켰음을 알 수 있다. 30개까지 성능 향상이 크지 않은 것은 적은 노드의 수를 가진 환경에서는 대안 경로의 수가 적기 때문이다. 다중 경로를 검색한다고 해도 노드의 수가 적게 넓은 곳에 분포되었기 때문에 경로의 수는 한정될 수밖에 없다. 그 때문에 성능 향상이

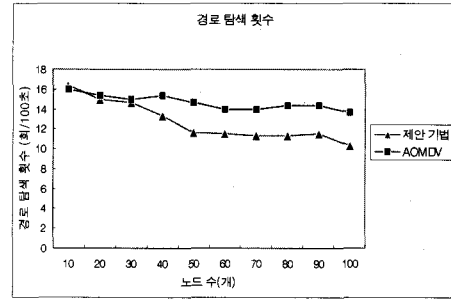


그림 10. 노드 수에 따른 경로 탐색 횟수
Fig. 10. The number of times in route discovery by node number.

크지 않다. 하지만 대안 경로의 수가 상대적으로 많은 40개의 노드 수 이후에는 성능 향상이 뚜렷하게 나타났음을 알 수 있다.

(2) 생존 시간에 따른 실험 결과

그림 11은 노드 수에 따른 노드 생존 시간을 보여주고 있다. 노드 생존 시간은 제안 기법에서 전력이 많은 경로를 선택하면서 동시에 RERR 패킷으로 인한 효과를 관찰하기 위해 실험하였다. 그림 11을 보면 일정 노드 수까지 생존 시간이 빠르게 줄어들다가 다시 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는, 노드 수가 적은 환경에서는 주변 노드들이 보내는 HELLO 메시지의 수신에 의한 전력 감소가 없기 때문이다. 통신에만 전력을 사용하기 때문에 노드의 생존 시간이 상대적으로 길다. 하지만 주변 노드의 수가 많아지면 많아질수록 주기적으로 전송하는 HELLO 메시지를 수신해야하기 때문에 전력 감소율이 심해질 수밖에 없다. 그림 11에서 제안 기법이 노드의 수 40개부터 성능이 좋아지는데, 이는 40개의 노드의 수가 확보되면 네트워크의 밀도가 어느 정도 확보가 되기 때문이다. 밀도가 확보되면 노드의 통신 거리 안에 속한 노드의 수가 많아져서 검색할 수 있는 경로의 수가 늘어나게 된다. 이 실험 결과 역시 앞의 실험과 동일하게 노드 수 30개 이하까지 제안 기법이 좋지

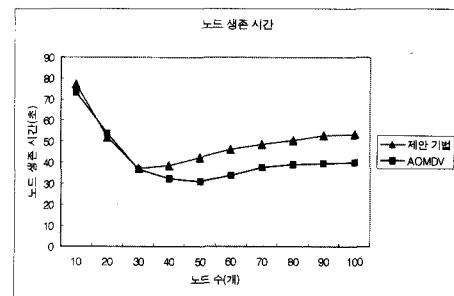


그림 11. 노드 수에 따른 노드 생존 시간
Fig. 11. Life time of node by node number.

많은 성능 향상을 보였다. 마찬가지로 노드의 수가 적어 대안 경로의 수가 적기 때문에 RERR 패킷으로 자신의 경로를 삭제해 다시 경로 탐색을 수행해도 기존의 경로와 동일한 노드들이 속한 경로가 검색될 가능성이 높기 때문에 다시 최후통첩 모드로 설정되어 통신을 시작하게 되므로 성능 향상이 적을 수밖에 없다. 하지만 역시 대안 경로의 수가 많은 40개 이후의 환경에서는 제안 기법이 좋은 성능을 보여 주고 있음을 그림 11에서 알 수 있다. 최대의 성능 향상이 이루어진 노드 수가 90개인 환경에서는 제안 기법이 AOMDV보다 33.46% 정도 긴 수명을 나타내었다.

나. 임의의 초기 전력을 가진 노드의 최대 속도의 변화

(1) 탐색 횟수에 따른 실험 결과

그림 12는 임의로 초기 전력을 설정한 환경에서 최대 노드 속도에 따른 경로 탐색 횟수를 보여주고 있다. 이 실험 결과에서 알 수 있듯이, 제안 기법이 AOMDV에 비해 경로 탐색 횟수를 약 36.57% 감소시켰다. 이는 앞서 동일하게 초기 전력을 설정한 환경에서 29.46% 감소된 것과 비교해볼 때 현실 상황에 좀 더 유사한 환경에서 좀 더 향상된 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이는, 초기 전력이 동일한 상황에서는 초기 몇 초 동안은 제안 기법과 AOMDV의 경로 설정과 경로 선택이 동일하게 이루어지지만, 초기 전력이 서로 다를 경우, 제안 기법이 초반에도 선택하는 경로가 더 안정적인 전력을 가진 경로이기 때문이다. 이런 이유로, 제안 기법이 현실 상황에서 더욱 좋은 성능 향상을 보이고 있다.

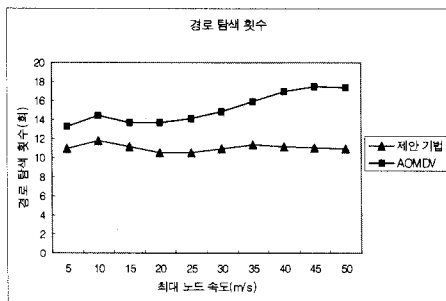


그림 12. 임의의 초기 전력 환경에서 최대 노드 속도에 따른 경로 탐색 횟수

Fig. 12. Number of route discover in random initial power environment by maximum node speed.

(2) 노드 생존 시간에 따른 실험 결과

그림 13은 임의로 초기 전력을 설정한 환경에서 최대 노드 속도에 따른 노드 생존 시간을 보여주고 있다. 이

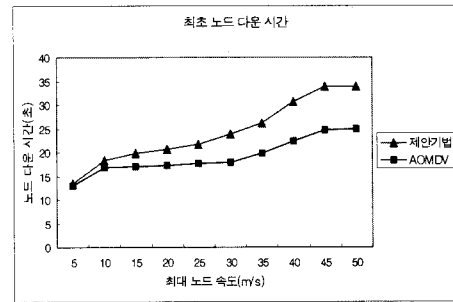


그림 13. 임의의 초기 전력 환경에서 최대 노드 속도에 따른 노드 생존 시간

Fig. 13. Life time in random initial power environment by maximum node speed.

역시 제안 기법이 AOMDV보다 생존 시간을 최대 36.94% 증가 시켰음을 보여주고 있다. 동일한 초기 전력을 설정한 환경에서는 28.02%의 증가가 있는 것과 비교해보았을 때, 역시 실제와 유사한 환경에서 좀 더 나은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 임의로 초기 전력을 설정한 환경이 동일한 초기 전력을 설정한 환경보다 경로들이 가진 전력의 합이 다를 확률이 더 높기 때문에, 제안 기법의 선택할 수 있는 폭이 더 넓고, 더 나은 선택을 할 수 있기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 AOMDV에서 노드의 평균 전력량을 고려하여 사용 가능한 다중 경로를 확보한 후 이를 동적으로 선택하는 기법을 제안하였다. 또한 개별 노드의 전력이 위험 수위에 다다랐을 경우에 에러 패킷을 발생하여 노드의 안전을 보장하는 기법을 도입하였다. 연구 결과 이러한 전력 요소를 고려한 기법 개선이 애드혹 네트워크에의 성능에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

NS-2 시뮬레이터를 이용한 실험을 통하여 제안한 기법을 적용했을 때, 경로 탐색 횟수를 상당히 감소시켰음을 알 수 있었다. 제안한 기법을 적용한 기법이 AOMDV보다 노드 생존 시간을 36.94% 증가시켰고, 이로 인해 경로 탐색 횟수를 36.57% 감소시켰다. 선택 경로의 평균 전력량을 고려한 경로 선택으로 인해 전력이 고갈되어 다운되는 노드의 수를 감소시킬 수 있었고, 그로 인한 경로 탐색 횟수 역시 감소시킬 수 있었다. 또한 홉 수에 최적화 된 빠른 길보다 전력이 더 많은 경로를 선택함에도 홉 수 차이가 0.3홉 이하로 큰 성능 감소가 없음을 알 수 있었다.

향후 연구과제로 본 논문에서 제안한 프로토콜이 성능 향상이 적은 노드 수가 적은 환경과 낮은 이동성을

가진 환경을 고려하는 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 또한 각 노드의 전력량 부족에 따른 RERR 패킷이 발생되는 환경에 대한 좀 더 깊이 있는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] C. Perkins, P. Bhagwat, "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers," In Proceedings of ACM SIGCOMM 94 Conference on Communications Architecture, Protocols and Applications, August 1994, pp.234-244.
- [2] D. Johnson, D. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp.154-181.
- [3] C. Perkins and E. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing," In Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February 1999, pp. 90-100.
- [4] Mahesh K. Marina Samir R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks," In IEEE ICNP 2001, pp. 14-23.
- [5] S.-J. Lee and M. Gerla, "AODV-BR: Backup Routing in Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE WCNC 2000, September 2000, Vol. 3, pp. 1311-1316.
- [6] A. Nasipuri, R. Castaneda, and S. R. Das, "Performance of Multipath Routing for On-demand Protocols in Mobile Ad Hoc Networks," ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications(MONET), Volume 6, Issue 4, August 2001, pp. 339-349.
- [7] The networks simulator-ns-2.
<http://www.isi.edu/nsnam/>.
- [8] "AOMDV - Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector Routing Protocol,"
<http://www.cs.sunysb.edu/~mahesh/aomdv/>.
- [9] Mahesh K. Marina Samir R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks," Stony Brook Univ. Tech report, 2003, pp. 1-35.
- [10] A. P. Subramanian, A.J. Anto, J. Vasudevan, and P. Narayanasamy, "Multipath Power Sensitive Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Wireless on-demand network systems 2004, pp. 171-183.
- [11] C.K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad hoc Networks", IEEE Communication Magazine, June 2001, pp. 138-147.
- [12] Morteza Maleki, Karthik Dantu, and Massoud Pedram, "Power-aware Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", In ISLPED'02, August 2002, pp. 72-75.
- [13] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc.MobiCom '98, Dallas, TX, October 1998, pp. 181-190.

저 자 소 개



이 장 수(정회원)

2005년 서강대학교 컴퓨터학과
졸업(학사)

2007년 서강대학교대학원
컴퓨터학과(공학석사)

2007년 서강대학교 대학원 컴퓨터
학과(공학박사과정)

<주관심분야 : 무선네트워크(센서, 애드혹, 셀룰러 네트워크), 예측 알고리즘(칼만필터), 자원할당 최적화>



김 성 천(정회원)

1975년 서울대학교 공과대학
공업교육학(전기전공)학사

1979년 Wayne State Univ.
컴퓨터공학 공학석사

1982년 Wayne State Univ.
컴퓨터공학 공학박사

1982년~1984년 캘리포니아주립대 조교수

1984년~1985년 금성반도체(주) 책임연구원

1985년~현재 서강대학교 공과대학 컴퓨터학과
교수

<주관심분야 : 병렬처리시스템, WDM technology
를 이용한 cluster system, 유비쿼터스 컴퓨팅>