

AODV 라우팅 프로토콜에서의 에너지 사용량을 고려한 경로 탐색 방법

최지혁⁽¹⁾ 김동균⁽²⁾ 신재욱⁽¹⁾ 남상우⁽¹⁾
⁽¹⁾한국전자통신연구원 {chojih^o, jwshin, namsw}@etri.re.kr
⁽²⁾경북대학교 dongkyun@knu.ac.kr

AODV-ERS: AODV Routing Protocol with a Energy-aware Route Discovery

Jihyuk Choi⁽¹⁾ Dongkyun Kim⁽²⁾ Jaewook Shin⁽¹⁾ Sangwoo Nam⁽¹⁾
⁽¹⁾Electronics and Telecommunication Research Institute
⁽²⁾Kyungpook National University

요약

다중홉 (multi-hop) 이동 애드혹 망 (ad-hoc network)에서 무결정성 (seamless) 통신이 이루어지기 위해 효율적인 라우팅 프로토콜을 필요로 한다. AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜은 단지 먼저 수신된 경로 요구 (route request) 메시지가 전달되어 온 경로만을 고려 할 뿐, 경로 탐색 과정에 있어 각 노드에서의 에너지 사용량을 반영하지 못하고 있다. 이 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜에 기존에 제안된 MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing) 방법을 효율적으로 적용할 수 있는 경로 탐색 방법을 제안한다.

1. 서론

이동 애드혹 망 (ad-hoc network)은 중앙 집중 제어 없이 자체 편성 (self-organizing)된 망이다. 이동 애드혹 망에서는 망의 형태가 자주 변하기 때문에, 이동 노드들 간의 무결정성 (seamless) 통신이 이루어지기 위하여 효율적인 라우팅 프로토콜을 필요로 한다. AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜은 기존에 널리 알려져 사용되고 있는 프로토콜의 하나이다. 그러나, AODV 라우팅 프로토콜은 경로 탐색 과정에서 있어, 단지 먼저 수신된 경로 요구 (route request, RREQ) 메시지가 전달되어 온 경로만을 고려 할 뿐, 에너지 사용량, 링크 상태, 트래픽 부하 등의 다른 요소들을 반영하지 못하고 있다. 하지만, 이는 보다 좋은 경로 설정에 있어 충분하지 못하다. [1]

이 논문에서는 각 노드에서의 에너지 사용량을 고려한 AODV 라우팅 프로토콜에서의 경로 탐색 방법을 제안하고자 한다. 메시지 전달시 노드에서 사용되는 에너지의 양은 각 노드에서 계산되어 RREQ 메시지를 통해 전달되게 된다. 또한, 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서는 중복 수신되는 RREQ 메시지를 단순히 폐기 (silently discard)하나, 더 좋은 경로 설정을 위해 이를 활용하는 방법을 제안하고자 한다.

이후 본 논문 2장에서는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서의 경로 탐색 과정에 대해 서술하고, 3장에서는 에너지를 고려한 경로 탐색 방법을 제안하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

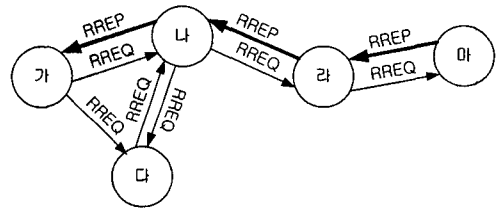


그림 1 AODV에서의 경로 탐색 과정

2. AODV 라우팅 프로토콜에서의 경로 탐색

AODV 라우팅 프로토콜에서 노드들은 자주 사용하지 않는 경로 등의 모든 경로들을 유지하지 않고, 필요한 경우 경로 탐색을 하게 된다. 다시 말하면, 송신 노드가 수신 노드로 데이터를 보내고자 할 때, 송신 노드가 경로 정보를 가지고 있지 않은 경우에만, 송신 노드는 주위 노드에 RREQ 메시지를 방송 (broadcasting) 함으로써, 수신 노드까지의 경로 탐색을 시작하게 된다. [2]

RREQ 메시지는 수신 노드 또는 수신 노드까지의 경로를 알고 있는 중간 노드까지 플러딩 (flooding) 되게 된다. 중간 노드들은 플러딩 되는 RREQ 메시지를 수신 하면, 수신 순서 번호 (destination sequence number) 를 이용하여 이를 수신 한 적이 있는지 판별한다.

중복되지 않은 RREQ 메시지를 수신한 경우는, 그림 2에 기술된 것 처럼 직전의 홉 (previous hop)과 송신 노드

```

if (  $seqnum_i^d < seqnum_j^d$  )
     $seqnum_i^d := seqnum_j^d$ ;
     $hopcount_i^d := hopcount_j^d + 1$ ;
     $nexthop_i^d := j$ ;
endif
    
```

그림 2 AODV의 라우팅 테이블 갱신 규칙. 노드 *가*가 노드 *로*로부터 수신 노드 *d*로의 경로 설정 요구 메시지를 수신할 때 적용된다. 변수 $seqnum_i^d$, $hopcount_i^d$, $nexthop_i^d$ 는 각각 노드 *에서* 수신 노드 *d*에 대한 순서 번호, 홑수, 다음 홑을 나타낸다.

정보 등의 역방향 경로를 라우팅 테이블에 기록한다. 반면, 중간 노드가 중복된 RREQ 메시지를 수신한 경우에는 새로 수신한 RREQ 메시지를 단순히 폐기한다.

예를 들면 그림 1에서 '나'의 경우 '가'로부터 RREQ 메시지를 받은 뒤 '다'로부터 중복된 RREQ 메시지를 받은 경우 이를 단순 폐기한다. 중간 노드는 수신 노드까지 경로를 아는 경우, 경로 응답 (routing reply, RREP) 메시지를 송신 노드로 전송하고, 그렇지 않은 경우 RREQ 메시지를 발송한다. [2]

수신 노드가 RREQ 메시지를 수신하면, 송신 노드로 RREP 메시지를 통해 응답한다. 이 때, 수신 노드로부터 송신 노드로 전송되는 RREP 메시지를 받는 중간 노드들은, RREQ 메시지를 수신 한 경우와 마찬가지로 직전의 홑과 수신 노드 정보, 즉 순방향 경로를 라우팅 테이블에 저장하고, 저장되어 있던 역방향 경로 정보를 참조하여 유니캐스트 (unicast) 한다.

3. AODV-ERS

3.1. 에너지 사용량을 고려한 경로 탐색 절차

AODV 라우팅 프로토콜은 2장에서 설명한 바와 같이 경로 탐색 과정에 있어 단지 먼저 수신된 RREQ 메시지가 전달되어 온 경로만을 고려 할 뿐, 각 노드에서의 에너지 사용량을 반영하지 못하고 있다. 따라서, 이 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜에서의 에너지 사용량을 고려한 경로 탐색 방법 (AODV-ERS, AODV with Energy-aware Route Selection)을 제안하고 자 한다.

AODV-ERS 라우팅 프로토콜은 AODV 라우팅 프로토콜에 MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing)의 개념을 적용하였다. [3] AODV 라우팅 프로토콜이 원래 경로 선택 과정에 있어 베스트 에포트 (best-effort) 방식이기에 최적의 경로 선택은 불가능하나, 선택의 순간들에 있어 가능한 에너지 사용량이 적은 경로를 선택하게 하므로써, 전체적으로 AODV 라우팅 프로토콜보다는 에너지 사용량이 적은 경로 선택이 가능해진다.

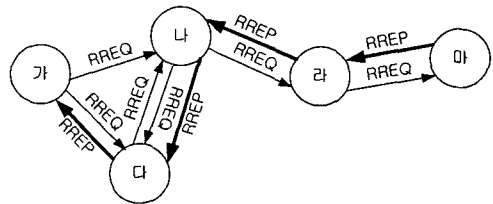


그림 3 AODV-ERS에서의 경로 탐색 과정

그림 3는 AODV-ERS 라우팅 프로토콜에서의 경로 탐색 과정의 예를 보여준다. '나'의 경우 '가'로부터 RREQ 메시지를 받으면 직전의 홑 (previous hop)과 송신 노드 정보, 즉 역방향 경로를 라우팅 테이블에 기록하고, RREQ 메시지를 발송 한다. 그 후 '나'가 '다'로부터 중복된 RREQ 메시지를 받을 경우에도, 일반적인 AODV 라우팅 프로토콜과는 달리, 기존의 경로 보다 새로운 경로의 에너지 사용량이 적은 경우에는 역방향 경로 정보를 갱신한다. 그리고, 이 RREQ 메시지를 발송 하지 않고 폐기한다.

그림 4는 AODV-ERS 라우팅 프로토콜의 라우팅 테이블 갱신 규칙이다. AODV 라우팅 프로토콜과는 달리 중복된 RREQ 메시지를 수신한 경우, 즉 수신 순서 번호가 라우팅 테이블에 기억된 값과 동일하면, 에너지 사용량을 비교하여 새로운 경로가 더 적다면 경로를 갱신한다.

그림 4에 기술한 AODV 라우팅 프로토콜의 라우팅 테이블 갱신 조건은

$$\begin{aligned}
 & (-seqnum_i^d, energy_j^d) \\
 & > (-seqnum_j^d, energy_j^d + energy_i)
 \end{aligned}$$

로 표현 할 수 있고, 이의 비교 순서는 사전식 순서 (lexicographic order)로 이루어진다.

이와 같은 AODV-ERS 라우팅 프로토콜은 기존의 AODV 라우팅 프로토콜과 마찬가지로 라우팅 루프 (routing loop)가 형성하지 않는다. 이에 대한 증명은 '부록'을 참조 바란다.

또한 에너지 사용량만을 고려하는 경우에 전체 경로의 홑수가 늘어날 가능성이 있기 때문에 아래와 같이 변형된 갱신 조건도 가능하다.

$$\begin{aligned}
 & (-seqnum_i^d, hopcount_i^d, energy_j^d) \\
 & > (-seqnum_j^d, hopcount_j^d + 1, energy_j^d + energy_i)
 \end{aligned}$$

3.2. 메시지 서식

RREQ 메시지가 전달되어 온 경로상으로 에너지 사용량이 전달되기 위해, 'energy cost' 필드가 RREQ 메시지에 새로이 추가 되었다. 그림 5는 AODV-ERS를 위해 변형된 AODV 라우팅 프로토콜의 RREQ 메시지 서식이다. 만약 'E' 필드가 설정되면, 'energy cost' 필드는 각 노드에서 RREQ 메시지를 전달 시 그 값이 채워져서 전송 될 것이고, 'E' 필드가 설정되지 않으면, 'energy cost' 필드는 사용되지 않고 기존의 AODV 프로토콜과 동일하게 동작 한다.

```

if (seqnumid < seqnumjd) or
((seqnumid = seqnumjd) and
(energyid > (energyjd + energyi))) then

    seqnumid := seqnumjd;
    hopcountid := hopcountjd + 1;
    energyid := energyjd + energyi;
    nexthopid := j;
endif
    
```

그림 4 AODV-ERS의 라우팅 테이블 규칙. 노드 i 가 노드 j 로부터 수신 노드 d 로의 경로 설정 요구 메시지를 수신할 때 적용된다. 변수 $energy_i^d$ 는 송신 노드로부터 노드 i 까지의 경로 상의 각 노드들의 에너지 사용량의 합을 나타내며, 변수 $energy_i$ 는 노드 i 에서 메시지 전송 시 사용되는 에너지 사용량을 나타낸다.

4. 결론

경로 탐색 과정에서 단지 먼저 수신된 RREQ 메시지가 전달되어 온 경로만을 고려하는 일반적인 AODV 라우팅 프로토콜과는 달리 기존에 MTPR(Minimum Total Transmission Power Routing) 방법과 같은 파워를 고려한 경로선택 방법을 실제 AODV에 탑재할 수 있는 방법을 AODV-ERS의 이름으로 제안하였다. 이는 새로운 라우팅 메시지 전송 절차의 추가 없이, 즉 부하 (overhead)의 증가 없이 AODV 라우팅 프로토콜의 성능을 보다 향상시킬 수 있으리라 기대된다. 마지막으로, 한정된 지면 관계로 성능 비교 결과는 추후 다른 지면을 빌려 소개하고자 한다. [5]

참 고 문 헌

[1] C. K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*, Prentice Hall PTR, 2002.
 [2] C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. Das, "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing," *IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-13.txt*, Feb. 2003.
 [3] K. Scott and N. Bambos, "Routing and channel assignment for low power transmission in PCS," in *the proceeding of IEEE International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC)*, Cambridge, MA, Sep. 1996.

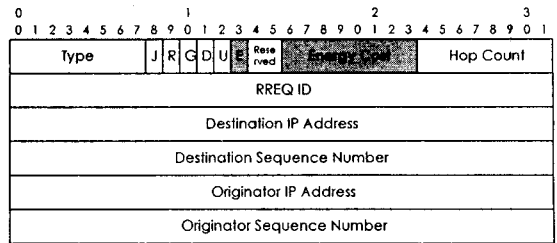


그림 5 수정된 RREQ 메시지 서식

[4] M. K. Marina and S. R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks," in *the proceeding of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, Riverside, CA, Nov. 2001.
 [5] <http://jhchoi.bawi.org>
 [6] 한국정보통신기술협회, 정보통신용어사전, 두산동아.

부 록

크기 m 의 루프 $(i_1, i_2, \dots, i_m, i_1)$ 가 수신 노드 d 까지의 경로에 존재한다고 가정하자. 노드 i 와 노드 j 가 경로상의 연속된 노드라면 (경로상에서 노드 j 가 앞쪽에 위치)

$$seqnum_i^d \leq seqnum_j^d$$

인 것은 자명하다.

따라서, 이를 루프에 적용하여 보면,

$$seqnum_{i_1}^d \leq seqnum_{i_2}^d \leq \dots \leq seqnum_{i_m}^d \leq seqnum_{i_1}^d$$

이고, 따라서,

$$seqnum_{i_1}^d = seqnum_{i_2}^d = \dots = seqnum_{i_m}^d = seqnum_{i_1}^d$$

이를 라우팅 테이블 갱신 조건에 적용하면,

$$energy_{i_1}^d > energy_{i_2}^d + energy_{i_1}$$

$$> energy_{i_3}^d + energy_{i_1} + energy_{i_2} > \dots$$

$$> energy_{i_m}^d + \sum_{j=1}^{m-1} energy_{i_j} > energy_{i_1}^d + \sum_{j=1}^m energy_{i_j}$$

따라서,

$$energy_{i_1}^d > energy_{i_1}^d + \sum_{j=1}^m energy_{i_j}$$

$energy_{i_j} > 0$ 인 것은 자명하므로, 위의 가정은 모순.

따라서, AODV-ERS는 루프를 형성하지 않는다.