

MANET에서 CSP/FDR을 이용한 EAODV 라우팅 프로토콜 검증

안영아⁰, 전철욱, 김일곤, 이명선, 최진영
고려대학교 컴퓨터학과

{ellaahn⁰, cwjeon, igkim, mslee, choi}@formal.korea.ac.kr

CSP/FDR Using Verification of EAODV Routing Protocol in MANET

Young-Ah Ahn⁰, Chul-Wook Geon, Il-Gon Kim, Myoung-Sun Lee, Jin-Young Choi,
Department of Computer Science & Engineering, Korea University

요약

MANET에서 라우팅 경로가 설정되었다고 하더라도 노드의 이동성으로 인하여 네트워크의 끊김 현상이 발생하여 재라우팅을 해야 하는 오버헤드와 전송 지연이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 노드의 에너지를 기반으로 에너지 그룹을 형성하고, 반응적 라우팅 프로토콜인 AODV를 수정하여 EAODV(Energy aware ADODV)를 제안하고 이를 정형 기법을 통해 명세하고 항상 라우팅 패스를 찾는다는 속성을 검증한다.

1. 서론

에드 혹은 네트워크는 기존의 기지국이 유선 시스템에 연결된 형태의 통신 인프라 기반과는 다르게 언제, 어디서나 단말기가 이동하는 환경에서 서로 직접적인 통신을 가능하게 해준다. 또한 노드의 일부가 무선 전송 범위에 위치하지 않더라도 원활한 데이터 전송을 위해 멀티 홉 무선 링크로 구성되어 여러 개의 중간 단말기들이 새로운 포워딩 및 경로 설정을 수행하는 새로운 형태의 통신망이다[1].

무선 네트워크는 기반구조를 이용한 기존의 이동통신 서비스와 특수한 환경에서 기지국과 같은 고정장치나 중앙 집중식 통제 없이 일시적인 통신망이 형성되는 MANET 그리고 두 가지 방식을 조합한 하이브리드 무선 네트워크까지 다양한 형태로 발전하고 있다. 또한 노드의 라디오 전파범위의 제약으로 인해 무선 도메인에서의 경로는 다중 홉으로 구성된다. 그리고 노드들이 임의로 예측할 수 없이 이동하므로 토폴로지가 동적으로 빈번하게 변화한다는 특성을 가지며, 고정 네트워크에 비하여 가용할 대역폭과 전력 양에 제약이 크다[1].

본 논문은 MANET에서 라우팅 경로가 설정되었다고 하더라도 노드의 이동성으로 인하여 네트워크의 끊김 현상이 발생하여 재라우팅을 해야 하는 오버헤드와 전송 지연이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 노드의 에너지를 기반으로 에너지 그룹을 형성하고, 반응적 라우팅 프로토콜인 AODV를 수정하여 EAODV(Energy aware ADODV)를 제안하고 이를 정형 기법을 통해 명세하고 항상 라우팅 패스를 찾는다라는 속성을 검증한다.

2절은 무선 네트워크 라우팅 프로토콜을 설명하고, 3절은 에너지 그룹의 필요성 그리고 4절은 정형 기법을 이용한 모델링, 5절은 결론 및 향후 연구과제를 기술한다.

2. 무선 네트워크 라우팅 프로토콜

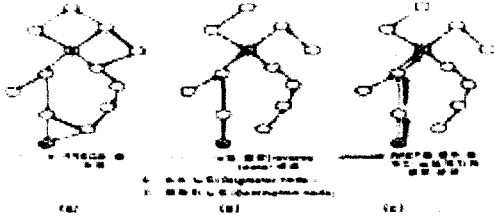
무선 에드혹 네트워크의 라우팅 방식은 경로를 결정하는 시기에 따라 순항적(Proactive) 라우팅 방식과 반응적(Reactive) 라우팅 방식, 혼합(Hybrid)방식으로 분류할 수 있다. 순항적 라우팅 방식은 주기적으로 네트워크 정보를 수집하여 모든 목적지에 대한 경로를 미리 결정해 두는 방식이다. 순항적 라우팅 방식은 미리 경로가 결정되어 있으므로 즉시 패킷을 전송할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 기존의 유선망에서 사용하고 있는 거리벡터 알고리즘, 링크상태 알고리즘이 있다. 무선 에드혹 네트워크를 위한 순항적 라우팅 방식으로 DBF, DSDV, WRP이 있다[2].

반응적 라우팅 방식은 패킷을 보낼 필요가 있을 때 요구 기반 방식으로 경로를 설정한다. TORA, DSR, AODV, ABR, RDMAR이 있다. 순항적 라우팅 방식으로 설정된 경로는 라우팅 정보를 교환하기 위하여 많은 양의 대역폭과 제어 패킷을 발생시켜서 비효율적이다. 이전 연구에서 동적으로 변화하는 에드혹 네트워크의 특성상 순항적 라우팅 방식보다는 반응적 라우팅 방식이 더욱 좋은 결과를 제공한다는 것을 발견하였다. 혼합방식은 순항적 방식과 반응적 방식의 혼합형태로 ZRP와 같이 각 노드가 홉 카운트를 반경으로 하는 지역에 대해서 사전에 라우팅 정보를 유지하고 지역을 벗어나는 라우팅 정보에 대해서만 경로 설정 절차를 요구하는 방식이다[2].

3. 에너지 그룹의 필요성

AODV[2]는 유니캐스트와 멀티캐스트를 모두 지원하는

라우팅 프로토콜로서, 실제로 트래픽 플로어가 발생한 경우에만 경로를 계산하는 요구 기반 프로토콜이므로 필요하지 않은 목적지 혹은 그룹에 대한 라우팅 오버헤드를 피할 수 있다. AODV는 하나의 공유 데이터 전달 트리를 구성하는데, 루프를 방지하기 위해 경로 요청에 대하여 여러 개의 경로 응답을 받는 경우 이들 가운데 하나를 선택해서 트리를 구성한다. 또한 무한대까지 카운트해 나가는 수렴 문제를 방지하기 위하여 라우팅 정보에 순차 번호를 부여하고 더 큰 순차 번호를 통해 최신 정보를 받아들인다. 그리고 IP 데이터그램을 이용해 이웃 발견을 구현하고 이를 통해 트리 분할을 발견하며 재 연결을 시도하는데, IP 계층에서 이와 같은 감시 작업을 하기 위한 오버헤드가 크다.



[그림 1] AODV 라우팅 프로토콜

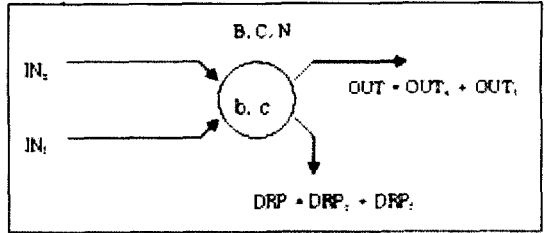
[그림 1]의 AODV 라우팅 프로토콜은 RREQ의 플러딩 과정과 역경로 설정, 순경로 설정을 통해 라우팅 경로를 유지한다. 여기에서 송신 단말에서 수신 단말로의 경로가 설정되고 이때 AODV는 경로 설정 과정 동안 최소의 홉수를 갖는 경로를 선택하기 위해 노력할 것이다. 그러나 이와 같이 경로가 설정되었다고 할지라도 노드의 이동성 등으로 인해 인접한 두 단말 사이의 공간적 거리가 멀어지고 있는 상태라면 그만큼 경로의 끊어짐이 발생할 확률이 높아진다. 결국, 단말의 이동성에 의해 경로의 끊어짐이 자주 발생한다면 송신 단말에서 수신 단말까지의 경로를 재 설정하기 위한 전송 지연이 발생할 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 반응적 라우팅 방식인 AODV 라우팅 프로토콜을 기반으로 에너지를 고려한 에너지 그룹을 제안하고 에너지 그룹을 통해서 패킷을 라우팅하므로 네트워크의 끊김 현상을 방지하는 EAODV(Energy aware AODV)프로토콜을 제안한다.

4. 정형 기법을 이용한 모델링

4.1 EAODV 정형 모델

AODV 라우팅 프로토콜에서 트리 형태의 검색을 이용하여 에너지 그룹을 형성한다. 각 노드의 초기 배터리 레벨과 초기 신용 레벨, 상수 비용을 이용하여 에너지를 결정한다.



[그림 2] Nuglets 모델

[그림 2]의 "Nuglets" 모델[1]로서 B는 초기 배터리 레벨이고 C는 초기 신용 레벨이며, N은 상수 비용이다. b는 배터리이고 c는 신용 카운터이다. OUT_0 는 전체 라이프타임 동안 자신의 패킷을 송신하는 것이다. OUT_i 는 전체 라이프타임 동안 패킷 송신을 포워딩 하는 것이다. DRP는 노드에서 폐기되는 패킷을 의미한다.

여기서 OUT_0 가 최대가 되기 위한 조건으로

- $OUT_0, OUT_i \geq 0$
- $N \cdot OUT_0 - OUT_i \leq 0$
- $OUT_0 + OUT_i = B$ 이어야 한다.

4.2 CSP 명세

CSP(Communicating Sequential Process)는 프로세스 Algebra 언어로서, 병렬성을 갖는 통신 프로토콜의 동작을 효율적으로 명세하기 위해 제작되었다. 처음에는 일반적인 통신 프로토콜과 제어 시스템을 명세하기 위해 사용되었다. CSP 에서 제공하는 Pure synchronization(|)과 Interleaving parallelism(||) 개념은 무선 네트워크에서 사용하는 라우팅 프로토콜 모델을 정형적으로 표현할 수 있다[3]. 예를 들면, 무선 네트워크에서 동작하는 에너지 그룹을 이용한 EAODV 라우팅 프로토콜은 다음과 같이 간략하게 표현될 수 있다.

```
// Spec Node
NODE A = ch.a.b -> NODE B [|] ch.a.c -> NODE C
           [|] ch.a.d -> NODE D
NODE B = ch.b.a -> NODE A [|] ch.b.c -> NODE C
           [|] ch.b.e -> NODE E
NODE C = ch.c.a -> NODE A [|] ch.c.b -> NODE B
           [|] ch.c.d -> NODE D [|] ch.c.e -> NODE E
           [|] ch.c.f -> NODE F
NODE D = ch.d.a -> NODE A [|] ch.d.c -> NODE C
           [|] ch.d.f -> NODE F
NODE E = ch.e.b -> NODE B [|] ch.e.c -> NODE C
           [|] ch.e.f -> NODE F
NODE F = ch.f.c -> NODE C [|] ch.f.d -> NODE D
           [|] ch.f.e -> NODE E
```

[그림 3] Spec 모델 정형 명세

[그림 3]은 CSP 정형 명세 언어를 이용해서 에너지를 그룹을 모델에서 만족하는 각 노드의 속성을 명세한 것이다. EAODV 라우팅 프로토콜에서 라우팅 경로를 찾기 위한 기본 검색 경로를 통해 에너지 그룹이 형성되므로 네트워크 토폴로지가 형성된다. 에너지 정보는 주기적으로 자신의 이웃 노드와 주고 받으므로 에너지 그룹의 멤버의 유무를 확인할 수 있다.

정형 모델은 노드가 항상 에너지 그룹을 통과해서 라우팅을 해야 하는 요구 사항을 만족해야 한다. 그림 3에서는 각 노드의 Spec 모델을 기술하였다. 각 노드가 모든 노드로 라우팅 할 수 있음을 명세하였다.

```
// Energy Group
POWX = ch.powx.a -> IMPA [] ch.powx.powy -> POWY
      [] ch.powx.powz -> POWZ
POWY = ch.powy.b -> IMPB [] ch.powy.e -> IMPE
      [] ch.powy.powz -> POWZ [] ch.powy.powx ->
POWX
POWZ = ch.powz.d -> IMPD [] ch.powz.f -> IMPF
```

그림 4] 에너지 그룹 정형 명세

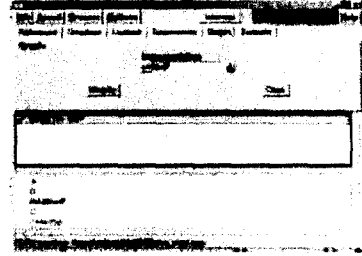
[그림 4]의 모델은 실제로는 여러 채널이 존재하지만 임계값 이상의 에너지를 가진 노드를 이용해서 에너지 그룹을 명세하였다. 즉, 모든 노드는 반드시 에너지 그룹을 거쳐서 라우팅 해야 한다. 이 속성을 만족하는 정형 모델은 실 세계의 에너지 그룹 라우팅 환경을 제공한다. 각 노드가 구현 모델에서 가져야 하는 속성을 명세한 것이다. 각 노드는 이벤트를 통해서 다른 노드로 전이하면서 새로운 노드의 속성을 가진다. 이렇게 명세함으로써 패스에 대한 정보를 기억하므로 EAODV 라우팅 프로토콜을 명세하였다.

4.3 결과

```
// SPEC Model
SPEC = A [ [ NOTPATH ] ] STOP
BASEIMP = IMPA [ [ ch.a.powx <- ch.a.g, ch.powy.b <- ch.c.b,
ch.powy.e <- ch.c.e, ch.powz.f <- ch.c.f, ch.powz.d <- ch.c.d ] ]
// Set of POWEREVENT
POWREVENT = { [ ch.powx.powz, ch.powx.powy, ch.powy.powx,
ch.powy.powz, ch.powz.powx, ch.powz.powy ] }
// IMPLEMENTATION Model
IMP = BASEIMP [ [ NOTPATH ] ] STOP W POWREVENT
// FDR에서 Trace 모델 검증
assert SPEC [ T = IMP
```

[그림 5] FDR 검증 명세

[그림 5]는 CSP 로 명세한 모델을 FDR[4]을 통해 검증한 결과이다. 검증은 assert 를 통해 스펙과 구현 모델의 trace 집합을 통해 safety 를 검증하였다. 각 모델의 스펙과 구현 모델의 명세이다.



[그림 6] FDR 검증 결과

[그림 6]은 CSP 로 명세한 모델을 FDR 을 통해서 검증한 결과이다. 검증 결과로 SPEC 에서 말하는 모든 노드는 에너지 그룹을 통해서 라우팅 해야 한다는 요구 사항을 구현에서 다 만족함을 나타낸 것이다. 이러한 결과를 통해서 에너지 그룹을 통해서 라우팅 하는 노드는 항상 라우팅 될 수 있음을 정형 모델로 검증하였다.

5. 결론

본 논문에서는 MANET에서 라우팅 경로가 설정되었다고 하더라도 노드의 이동성으로 인하여 네트워크의 끊김 현상이 발생하여 재라우팅을 해야 하는 오버헤드와 전송 지연이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 노드의 에너지를 기반으로 에너지 그룹을 형성하고, 반응적 라우팅 프로토콜인 AODV를 수정하여 EAODV(Energy aware ADODV)를 제안하고 이를 정형 기법을 통해 명세하고 항상 라우팅 패스를 찾겠다는 속성을 검증한다.

노드의 에너지 정보를 이용하여 네트워크 토폴로지를 형성하고 각 에너지 그룹의 노드만 라우팅에 참여한다. 모든 노드는 라우팅 그룹을 통해서만 라우팅 할 수 있다. 에너지 그룹은 노드의 에너지 정보를 주고 받아 일정한 임계값 이상의 에너지를 가진 노드의 그룹을 형성하여 이들 에너지 그룹만 라우팅에 참여하므로 네트워크의 연결성과 가용성을 제공해 주며 특정한 노드에 집중하는 현상을 막고, 네트워크의 끊김 현상을 줄일 수 있다.

향후 연구 과제로는 이 제안한 방법을 시뮬레이션을 통해 성능을 평가해 보는 것이며, 노드가 무한히 증가하더라도 에너지 그룹을 이용하여 라우팅이 가능한지를 정형 모델을 통해 검증하고자 한다.

6. 참고문헌

- [1] Jean-Pierre Hubaux, Security of Wireless Ad Hoc Networks, 2002
- [2] C-K Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Network", PH PTR, 200299
- [3] A. W. Roscoe, "The Theory and Practice of Concurrency", PRENTICE HALL, 1998.
- [4] Formal Systems(Europe) Ltd. Failure Divergence Refinement-FDR2 User Manual, Aug. 1999.
- [5] Songwu Lu, "Network-centric Security Design for Mobile Ad Hoc Networks", MobiHoc 2002