

MANET에서의 신뢰성을 고려한 경로 설정 매커니즘

한상희⁰ 김상하

충남대학교 컴퓨터과학과 네트워크 연구실

{shhan, shkim}@cclab.cnu.ac.kr

Dynamic Link Failure and Power Aware Reliable Path Routing in MANET

Sang-Hee Han⁰ Sang-Ha Kim

Dept. of Computer Science, Chungnam National University

요 약

현재 제안된 MANET에서의 유니캐스트 라우팅[3][4]들은 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 응용에는 적합하지 않다. 신뢰성 있는 데이터 전송을 위하여 제안된 다중 경로 라우팅 매커니즘[5][6]은 추가적인 오버헤드와 비효율적인 자원의 이용이라는 문제점을 발생시킨다. 본 논문에서는 노드의 링크 단절 빈도와 데이터 전송시의 배터리 소모를 기반으로 하는 신뢰성 있는 단일 경로 설정 매커니즘을 제안한다. 제안된 매커니즘의 경우 단절될 확률이 적은 노드들로 구성된 경로를 선택함으로써 기존의 라우팅 알고리즘보다 신뢰성 높은 경로를 설정할 수 있는 동시에 높은 동적 환경에서는 다중 경로를 설정하여 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

1. 서론

Mobile Ad hoc NETWORK (MANET)는 특정 네트워크 기반구조나 중앙 관리 없이 동적으로 임시적인 네트워크를 형성하는 이동 노드들의 집합이다[1]. MANET에서는 노드들의 이동성으로 인해 경로가 끊어질 때마다 네트워크 토폴로지의 변화가 생기고 경로 재설정이 이루어진다. 따라서, 네트워크의 동적 변화에 유연하게 대처하기 위한 유니캐스트 라우팅[3][4]이 제안되었다. 그러나 이들은 가장 짧은 경로를 선택하며 경로가 끊어졌을 때 경로상의 노드들은 데이터 패킷을 버리고 새로운 경로 설정을 요청한다. 이러한 구현은 노드의 이동성, 신호 간섭, 패킷 충돌 등으로 인해 경로 단절이 자주 발생하는 애드 혹 환경에는 적합하지 않다. 또한 전쟁 지역이나 재해 복구와 같은 MANET 응용에서는 데이터 전송에 대한 신뢰성에 대한 요구가 점점 증가하고 있다.

다중 경로 라우팅[2]은 주경로가 끊어졌을 때에도 대체 경로를 통하여 데이터 패킷을 전송하게 해 줌으로써 유니캐스트 라우팅보다 높은 신뢰성을 제공한다. [5]는 소스 라우팅 매커니즘을 이용하여 보다 좋은 대체 경로들을 제공하며 다중 경로 라우팅을 위한 Dynamic Source Routing(DSR)의 확장이다. 또한 유연성을 향상시키기 위해서 주경로는 분리된 경로를 형성하는 노드들로 이루어져 있다. Split Multipath Routing(SMR)[6]은 경로상의 혼잡을 피하고 전송 효율을 높이기 위하여 데이터 트래픽을 다중경로로 분리 하며 수정된 플래딩 알고리즘을 사용한다.

앞에서 살펴 보았듯이 경로 단절의 유연성을 위한 기존의 연구들은 주로 다중 경로 라우팅을 이용하여 해결하려고 하고 있다. 그러나 다중 경로를 유지하기 위한 추가적인 부담들-

제어 메시지 수의 증가, 노드들의 라우팅 목록의 증가, 각 경로의 재설정을 위한 경로계산이 생겨나게 된다. 게다가 중복된 데이터 패킷들로 인한 불필요한 자원들을 낭비하게 된다. 이러한 추가적인 부담들과 비효율적인 자원의 사용은 제한된 파워를 가진 노드들과 부족한 대역폭을 가진 링크들로 구성된 MANET에서는 적합하지 않다.

이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 Dynamic Link Failure and Power Aware Reliable Routing (LPAR) 프로토콜을 제안한다. LPAR은 단절될 확률이 가장 낮은 노드들로 구성된 최대로 안정된 단일 경로를 설정함으로써 경로 단절에 대한 유연성을 제공한다. 또한, LPAR은 높은 동적 환경에서는 신뢰성을 위해 다중 경로를 설정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. MANET에서의 신뢰성 있는 경로 설정의 필요성과 그 문제점을 설명한 서론에 이어 2장에서는 새롭게 제안하는 신뢰성 있는 경로 설정 매커니즘을 설명한다. 마지막으로 3장에서는 결론을 맺는다

2. 제안 매커니즘

2.1 개요

MANET에서는 배터리 소모로 인한 노드들의 실패나 또는 이웃하는 노드들이 전송 범위를 벗어났을 때 노드 사이 의 링크 단절이 일어난다. 이를 나타내기 위해서 Normalized Link Failure(NLF) 와 Normalized Node Failure (NNF)라는 두 가지 개념을 제안한다. 첫 번째로 NLF는 링크 단절의 빈도를 나타내며 다음과 같이 정의할 수 있다

$$NLF_{cur} = \frac{\# \text{ of link failure observed}}{TIME_WINDOW \times \# \text{ of neighbors}} \quad (1)$$

$$NLF = \alpha * NLF_{cur} + (1 - \alpha) * NLF \quad (2)$$

α 는 0에서 1사이로 조정되는 값이며 초기에는 0으로 설정된다. NLF은 매 TIME_WINDOW마다 노드의 이웃하는 링크와의 단절 빈도를 나타낸다. 이 개념을 이용하면 현재 노드의 주위 환경이 얼마나 동적인가를 알 수 있다. 따라서 NLF값이 작으면 노드 주위에서 링크의 단절 정도가 낮은 것이다. 또한 NLF의 값은 네트워크의 위상변화나 배터리 소모에 따라 주기적으로 또는 랜덤하게 업데이트 된다.

링크 단절의 측면에서 살펴보면 동적인 환경의 변화가 거의 없는 곳에 위치하면 신뢰성이 높은 노드라고 할 수 있다. NLF의 정의에 의해 값이 작다는 것은 이웃 노드들과 같이 움직이거나 노드가 덜 동적인 지역에 있다는 것을 의미한다. 그래서 만약 출발지에서 목적지까지의 경로가 높은신뢰성이 가진 노드들의 연속으로 설정된다면 해당 노드 주변의 링크들은 긴 주기 동안 링크 단절이 일어나지 않을 것이다.

게다가 파워 즉, 배터리와 관련하여 노드의 전송범위 감소나 노드의 실패에 따라 경로 단절이 일어난다. 이동 노드들은 패킷을 받거나 경로를 찾는 것과 같은 일을 수행하는 것보다 데이터를 전송해 주는 일을 할 때 상당히 많은 과외를 소모한다. 이러한 이유 때문에 더 많은 패킷들을 전송하는 노드들은 더 적은 가용한 파워를 지니게 되어 보다 높은 노드 실패 확률을 가지게 된다. 두 번째로 NNF는 노드 실패 확률을 정량화한 값이며 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$NNF = \frac{\text{remaining amounts of battery}}{TIME_WINDOW \times \# \text{ of forwarded packets in } TIME_WINDOW} \quad (3)$$

정의에 따르면 노드를 통해서 전송되는 패킷의 수가 많아질수록 노드의 NNF 값은 작아진다. 따라서 식 (2) 와 (3)을 이용하여 Normalized Reliability(NR)을 정의할 수 있다. 즉, NR은 링크 단절의 빈도와 배터리 소비 요인에 의존한다. 노드의 NR 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$NR = NNF * NLF \quad (4)$$

따라서 각 노드의 NR 값을 기본으로 출발지에서 목적지까지의 Normalized Path Reliability(NPRs,d)를 결정할 수 있다. kth 경로의 신뢰성은 경로를 구성하는 노드들의 NR 값의 합으로 결정된다.

$$NPR_{s,d}^k(TIME_WINDOW) = \sum_{i \in k^{th} \text{ path}} NR_i \quad (5)$$

NLF나 NNF중에서 하나의 요소만을 고려하여 노드의 NR 값을 계산한다면 낮은 링크 단절 빈도를 가진 노드들의 연속으로 이루어진 경로를 통해 많은 연결들이 겹쳐지게 된다. 그 결과 신뢰성 있는 노드들의 배터리 소모가 급격히 늘어나서 노드 실패 확률이 증가하게 된다. 따라서 노드의

NR 값을 계산할 때에 NNF를 추가함으로써 선택된 신뢰성 있는 노드들이 전송하는 패킷 수에 따라 적절하게 경로의 신뢰성 정도를 분산시킬 수 있게 된다.

2.2. 경로 발견 및 유지

LPAR은 요구 기반 방식으로 경로를 설정한다. 목적지에 대한 정보를 모르고 있는 상태에서 출발지에서는 목적지와 연결을 위해서 Route Request 패킷을 풀러딩한다. 목적지가 아닌 노드들은 Route Request 패킷을 받으면 <목적지, 출발지> 목록을 만들고 역경로 설정을 위해 이웃 노드들의 주소들을 기록한다. 노드들은 Route Request 패킷의 Node List(NL)에 자신의 주소와 NR값을 추가해서 다시 브로드캐스팅한다.

목적지에서는 첫 번째 Route Request 패킷을 받으면 모든 가능한 경로를 알 수 있도록 잠시 동안 기다린다. 그리고 (5)의 수식을 이용하여 모든 알고, 있는 경로들의 NPR을 계산하여 경로 선택 구조에 따라서 가장 견고한 경로를 선택하게 된다. 경로 선택에는 세 가지 매커니즘들이 있으며 다음 절에서 자세히 설명할 것이다. 이 과정을 수행 후에 목적지에서는 Route Reply 패킷을 역경로를 따라 보내게 된다. 출발지에서는 Route Reply 패킷을 성공적으로 받으면 경로 발견 과정은 종료된다.

데이터를 주고 받는 상황에서 경로상의 중간 노드들은 NR 값을 새롭게 갱신할 수 있으며 경로의 활성화 타이머가 만료되지 않았으면 NR 값과 자신의 주소를 데이터 패킷에 피기백한다. 목적지는 NPR의 변화를 감시할 수 있다. 피기백된 정보를 이용하여 목적지에서는 아직 경로 만료 시간이 남아있더라도 불안정한 경로를 대체 경로로 대체할 수 있다. 중첩된 패킷 전달이나 링크의 단절로 인해 현재의 경로상에 NPR이 급격히 증가하는 것을 알아냈다면 경로 설정때처럼 출발지에 Route Request 패킷을 보낸다. 출발지에서는 Route Request 패킷을 받으면 Route Reply 패킷을 보내지 않으며 데이터 패킷을 새로 대체된 경로로 계속해서 보내게 된다.

만약에 중간 노드들이 경로가 만료 되기 전에 링크의 단절을 감지했다면 받은 데이터 패킷을 소스에게 돌려 보낸다. 이와 동시에 중간 노드는 경로의 무효성을 알리기 위해서 Route Error 패킷을 출발지에 보낸다. 출발지에서 미리 링크 단절 전에 대체 경로를 설정했다면 Route Error 패킷은 무시된다. 이 경로를 통해 출발지에서는 단절된 지점으로 되돌아온 패킷들을 보내며 또한 새로운 데이터 패킷도 보낸다. 그렇지 않으면 출발지에서는 경로 발견을 위해서 Route Request 패킷을 보낸다.

2.3. 경로 선택 매커니즘들

목적지에서 각 Route Request 패킷에 명시된 다수의 NL을 받았을 때 신뢰성 있는 경로를 설정하기 위한 서로 다른 세 가지 매커니즘을 제안한다. 첫 번째, 매커니즘 1은 모든 알고 있는 경로들 중에서 평균 NPRs,d가 가장 작은 값을 가진 경로를 가장 신뢰성 있는 경로로 선택한다. 평균 NPRs,d는 다음과 같다.

$$ANPR_{s,d}(TIME_WINDOW) =$$

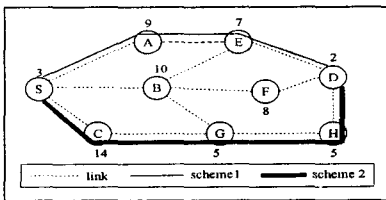
$$\min_{i \in \text{cleared routes}} (NPR_{s,d}^i / \# \text{ of nodes along } i^{\text{th}} \text{ path}) \quad (6)$$

만약 같은 값을 가진 다수의 경로가 존재한다면 목적지에서는 홑수가 가장 작은 경로를 선택한다. 그래서 메커니즘 1에서는 오직 하나의 경로만 설정된다. 기본적으로 메커니즘 2에서는 한계치 T를 초과하는 NR값들을 지닌 중간 노드들의 수가 최소인 경로를 선택하게 된다. 만약 초과하는 수가 같다면 평균 NPR_{s,d}가 가장 작은 것에 높은 우선순위를 준다. 한계치 값(T)은 수동적으로 또는 자기 생성 방법에 의해 결정된다. 자기 생성 방법에 의한 한계치는 각 노드에서 측정된 평균 NPR 을 통합한 자료에 근거하여 구해진다. 메커니즘 3은 높은 동적 환경에서 출발지와 목적지 사이의 다중 경로를 설정을 허용함으로써 메커니즘 1과 메커니즘 2의 보완한다. 메커니즘 1 또는 메커니즘 2를 기준으로 다중 경로를 정하게 된다.

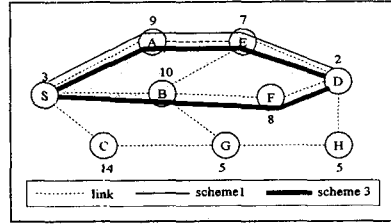
<그림 1>, <그림 2>, <그림 3>은 각각 제안한 메커니즘을 위한 네트워크 예를 설명한 것이다. 세 개의 분리된 경로가 있다. 경로 1 (S-A-E-D), 경로 2 (S-B-F-G) 그리고 경로 3 (S-C-G-H-D)이다. 메커니즘 1은 가장 작은 ANPR을 가진 경로 1을 가장 신뢰성 있는 경로로 선택한다. 메커니즘 2는 한계치를 초과하는 NR을 가장 적게 가진 노드들로 이루어진 경로 3을 가장 신뢰성 있는 경로로 선택한다. 메커니즘 1을 통한 메커니즘 3은 가장 작은 ANPR값을 가진 경로 1과 경로 3보다 작은 값을 가진 경로 2를 선택하게 된다. 메커니즘 2를 통한 메커니즘 3은 초과하는 노드들의 수가 같음에도 불구하고 경로 2보다 ANPR 값이 작은 경로 1을 대체 경로로 설정한다.

	Route 1	Route 2	Route 3
ANPR	5.25	5.75	5.8
Exceeding nodes	2 (A, E)	2 (B, F)	1 (C)

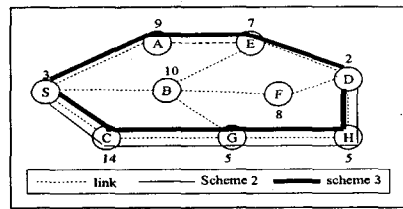
<표 1> 각 경로들의 주요 값들



<그림 1> 메커니즘 1과 메커니즘 2를 통한 경로 설정



<그림 2> 메커니즘 1을 통한 메커니즘 3의 경로 설정



<그림 3> 메커니즘 2를 통한 메커니즘 3의 경로 설정

3. 결론

본 논문에서는 다중 경로를 설정하는 대신에 노드의 링크 단절 빈도와 데이터 전송시의 배터리 소모를 기반으로 하는 신뢰성 있는 단일 경로 라우팅 프로토콜을 제안한다. 이는 다중 경로대신에 안정성 있는 단일 경로를 유지함으로써 제어 메시지가 경로 유지 부담을 현저히 줄여 준다. 또한 LPAR은 대체 경로를 통해 불안정한 경로를 적응성 있게 대체할 수 있도록 중간노드들이 NR값의 변화를 감지하고 있으므로 분산 라우팅을 가능하게 한다.

참고 문헌

- [1] MANET Working Group , <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] H. Suzuki et al., "Fast Bandwidth Reservation Scheme with Multi-link & Multi-path Routing in ATM Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 2233 - 2240, May 1992.
- [3] C. E. Perkins et al., "Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers," in Proceedings of ACM SIGCOMM, pp. 234 - 244, Oct. 1994.
- [4] D.B. Johnson et al., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-09.txt, Apr. 2003.
- [5] A. Nasipuri et al., "On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," in Proceedings of the 8th Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N), Boston, MA, pp. 64 - 70, Oct. 1999.
- [6] S. J. Lee et al., "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks," in Proceedings of IEEE ICC, pp. 3201 - 3205, Jun. 2001.