

논문 2008-45CI-6-9

네트워크의 신뢰도를 고려한 OLSR 프로토콜

(The network reliability based OLSR protocol)

우 현재*, 이 동열*, 이 채우**

(Hyun-Jae Woo, Dong-Yul Lee, and Chae-Woo Lee)

요약

모바일 애드 흑 네트워크(MANET)는 네트워크 토폴로지의 변화로 인해 데이터 전송의 정지 확률과 경로가 끊어질 확률이 높아 경로 유지가 힘들다. 이러한 MANET의 특성 때문에 안정적인 데이터 전송률을 보장하기 어렵다. 따라서 노드 간 링크의 데이터 전송률에 대한 신뢰도를 평가하고, 이에 기반을 둔 라우팅 알고리즘이 필요하다. 이에 본 논문에서는 링크 신뢰도 기반 라우팅을 다음과 같이 제안한다. 먼저 과거 정보를 사용하여 가설을 추론하는 베이지안 추론을 적용하여 노드 간 링크의 신뢰도를 측정 할 수 있는 링크 신뢰도 측정 모델을 제안한다. 또한, 노드의 흡수와 노드 간의 연결성을 고려한 기존의 OLSR 프로토콜에 추가적으로 링크 신뢰도 측정 모델을 적용한 링크 신뢰도 기반 OLSR 프로토콜을 제안한다. NS-2를 사용한 시뮬레이션 결과는 링크 신뢰도 측정 모델을 적용한 OLSR 프로토콜이 기존의 OLSR 프로토콜에 비해 전송 성공률과 안정성 측면에서 성능이 우수함을 보여준다.

Abstract

It is difficult to maintain routes in the mobile ad hoc network (MANET) due to the high probability of disconnected routes break by frequent change of topology. The links can have the different reliability about data transmission due to these characteristics. Hence a measure which can evaluate this reliability and a algorithm which reflects this are required. In this paper, we propose routing algorithm based on reliability about transmission. First the bayesian inference which infers the hypothesis by past information is considered to obtain the link's transmission reliability. The other is that the link-based reliability estimation model which considers each link's reliability additionally is proposed while the standard uses only Dijkstra's shortest path algorithm. the simulation results using NS-2 show that the performance of proposed algorithm is superior to the standard OLSR in terms of throughput and stability.

Keywords : MANET, reliability, bayesian inference, OLSR , stability.

I. 서 론

모바일 애드 흑 네트워크(MANET)는 네트워크를 관리, 유지하는 중앙의 기반 시설 없이 무선 환경에서 이동 단말들이 자율적으로 네트워크를 구성하여 통신하는 네트워크를 말한다. 이러한 특성으로 인해 MANET은 중앙 관리가 불가능한 전쟁터나 재난 지역의 네트워크

에 널리 이용된다.

그러나 MANET은 구조적 특성상 노드의 이동성을 전제로 하기 때문에 찾은 네트워크 토폴로지의 변화, 무선 채널상의 데이터 전송 오류 및 대역폭의 제한의 문제를 갖기 때문에 안정적인 통신 환경을 보장하기 힘들다. 이렇게 네트워크 환경의 변화가 큰 MANET에서는 안정적인 데이터 전송을 위해 유동적인 환경에 효과적으로 적용할 수 있는 라우팅 프로토콜이 필요하다.

기존에 제안된 MANET의 라우팅 프로토콜은 라우팅 정보를 갱신하는 방법에 따라 세 가지로 나눈다.^[1~3]

동적으로 변하는 네트워크에 대응하기 위해 주기적으로 혹은 네트워크 구조에 변화가 있을 경우 라우팅 정보를 전체 네트워크로 전파시켜 네트워크상의 모든

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Ajou University)

※ This work was supported by the MKE of Korea[2008-S-023-1, Development of Next Generation RFID Technology for Item Level Applications].

접수일자: 2008년10월10일, 수정완료일: 2008년10월30일

노드가 최신의 라우팅 정보를 갖는 Proactive (Table-Driven) 라우팅 프로토콜, 데이터 전송에 대한 요구가 발생 했을 경우에만 경로를 탐색해 데이터를 전송하는 Reactive(On-Demand) 라우팅 프로토콜, 그리고 위의 두 기법의 장점을 결합시킨 Hybrid 방식으로 나눌 수 있다.

Reactive 라우팅 프로토콜의 경우, 데이터 전송을 요구한 노드에 대해서만 경로를 찾게 되므로 제어 메시지의 오버 헤드를 줄일 수 있다. 하지만 데이터 전송이 요구 될 경우 경로 탐색 과정을 거쳐야 하기 때문에 데이터를 전송하기까지의 전송 지연이 발생한다는 단점을 가진다. 이 프로토콜의 대표적이 예로는 DSR(Dynamic Source Routing)^[4], AODV(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector)^[6]이 있다.

Proactive 라우팅 프로토콜의 경우, 네트워크상의 모든 노드가 최신의 라우팅 정보를 갖기 때문에, 데이터 전송이 필요 할 경우 경로 설정에 필요한 시간 지연 없이 바로 최적의 경로를 통해 데이터를 전송할 수 있는 큰 장점을 가진다. 하지만 각 노드가 라우팅 정보 관리를 위해 지속적으로 제어 메시지를 전체 네트워크로 전달하기 때문에, 제어 메시지의 오버헤드가 크고 그에 따른 상당히 큰 대역폭 소비 문제가 존재한다. 대표적인 알고리즘으로는 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)^[5], OLSR(Optimized Link State Routing) 프로토콜^[7]이 있다.

OLSR 프로토콜은 Proactive 라우팅 프로토콜이 갖는 제어메시지의 오버헤드를 줄이기 위해 제안된 라우팅 프로토콜이다.^[3~4] 기존의 Link State Routing^[2]는 네트워크의 모든 노드가 주기적으로 제어 메시지를 교환함으로써 전체 네트워크 토폴로지의 정보를 알지만, OLSR 프로토콜은 MPR^[9]로 선정된 노드들이 제어 메시지를 전송하도록 제한하여 제어 메시지 오버헤드 및 대역폭의 소비를 효과적으로 줄인다. MPR 노드를 선정하기 위해 데이터를 전송하는 노드들 간의 흡수와 이웃 노드와의 연결성이 고려되고, 노드 간의 흡수를 고려한 Dijkstra's shortest path algorithm을 이용해 라우팅 테이블이 만들어진다.

OLSR 프로토콜은 단순히 노드의 흡수 및 노드간의 연결성 등의 토폴로지의 구성 정보만을 고려하였다. 하지만 MANET이 가지는 구조적 특성으로 데이터 전송에 대한 성공률은 네트워크 환경에 따라 유동적이다. 기존에 제안된 OLSR 프로토콜에는 이러한 환경에 대한 고려가 부족하기 때문에 안정적인 데이터 전송 성공

률을 보장 하지 못한다. 따라서 지속적으로 변하는 네트워크 환경에서 안정적인 데이터 전송의 성공률을 보장하기 위한 신뢰성 연구가 필요하다.

본 논문에서는, 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장 할 수 있도록 데이터 전송률에 대한 링크의 신뢰도를 판단 할 수 있는 링크의 신뢰도 측정 모델을 만들며, 이 모델을 단순히 노드의 흡수와 노드간의 연결성을 라우팅 알고리즘의 조건으로 고려한 OLSR 프로토콜에 적용해 안정적인 데이터 전송에 대한 링크의 신뢰도를 고려한 링크 신뢰도 기반 OLSR 프로토콜을 제안한다.

그 방법으로 과거로부터 축적된 실험적 결과로부터 얻어진 증거로 자신이 세운 가설의 옳은 정도를 추론하는 통계적 모델인 베이지안 추론을 사용한다. 이로부터 과거 노드들의 데이터 전송에 대한 성공과 실패의 결과에 대한 횟수를 저장하여 데이터 전송 성공 확률에 대한 링크의 신뢰도를 측정할 수 있도록 한다. 이 추론을 사용하여 관측된 데이터 전송의 성공과 실패의 횟수에 따라 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰 정도를 판단할 수 있도록 한다. 또한 각각의 노드가 링크 신뢰도 측정 모델로부터 측정한 신뢰도의 전송을 MPR 노드들이 전송하게 한다. 이로써 단순히 모든 노드들이 자신의 정보를 이웃 노드들에게 전파하는 다른 알고리즘들에 비해 오버헤드를 줄일 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 베이지안 추론 및 확실성의 개념을 적용한 링크 신뢰도 측정 모델을 제안하며 III장에서는 기존 OLSR 프로토콜, IV장에서 링크 신뢰도 측정 모델을 적용한 OLSR 프로토콜을 설명한다. 또한 V장에서는 기존 OLSR 프로토콜과 제안한 OLSR 프로토콜의 성능을 평가한 결과를 살펴본다. 마지막으로 VI장에서 결론으로 본 논문을 마무리 한다.

II. 링크 신뢰도 측정 모델

지속적으로 네트워크 환경이 변하는 MANET 특성 때문에 네트워크에 존재하는 노드 간 링크의 데이터 전송 성공률은 유동적이다. 이에 따라 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장 할 수 있도록 노드 간 특정 링크가 가지는 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰도를 판단할 수 있는 척도와 이를 적용한 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장하기 위해 데이터 전송에 대한 링크 신뢰도의 판단 근거를 과거로부터 관찰된 데이터 전송 성공률과 데이터 전송의 시도 횟수로 정한다. 즉, 큰 이동성과 많은 제약을 갖는

네트워크 환경에서 보다 많은 데이터 전송 성공을 경험한 링크들에게 보다 큰 신뢰도를 부여하기 위함이다. 데이터 전송 성공 횟수에 따라 링크의 신뢰도를 부여하기 위해 본 논문에서는 베이지안 추론(Bayesian inference)을 적용하여 링크 신뢰도 측정 모델을 제안한다.^[10, 13]

베이지안 추론이란 과거로부터 축적된 실험적 결과로부터 얻어진 증거로 자신이 세운 가설의 옳은 정도를 추론하는 통계적 모델을 말한다.^[10, 13] 베이지안 추론은 네트워크 내의 노드들에 적용하여 데이터 전송 성공률에 대한 링크의 신뢰도를 측정하도록 한다.

베이지안 추론에 따라 노드가 과거에 이웃 노드로 데이터를 전송하여 전송에 성공한 횟수와 실패의 횟수를 각각 α, β 로 저장하면 총 전송 횟수 $\alpha + \beta$ 에 대한 전송 성공률은 $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ 가 되며 전송 성공률에 대한 분포 함수는 베타분포, $Beta(\alpha, \beta)$ 을 통해 나타낼 수 있다.^[11~12] 베타분포를 통해서, 관찰된 α, β 의 크기에 따라 전송 성공률 $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ 의 분산의 크기 변화로 전송 성공률에 대한 신뢰 정도를 판단할 수 있다. 확률변수 X 의 확률 밀도 함수가 식(1)과 같이 나타날 경우 확률변수 X 는 모두가 α, β 인 베타 분포, $Beta(\alpha, \beta)$ 을 따른다고 한다.^[11]

$$f_X(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}, 0 < x < 1, \alpha > 0, \beta > 0 \quad (1)$$

여기서 $B(\alpha, \beta)$ 는 식 (2) 와 같이 정의 된다.^[11]

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx \quad (2)$$

관찰되어진 성공과 실패의 횟수를 각각 α, β 로 저장할 때 총 전송 횟수 $\alpha + \beta$ 에 대한 전송 성공률의 베타

$\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ 분포, $Beta(\alpha, \beta)$ 의 식(1)과 같이 정의된 확률 밀도 함수의 그래프는 그림 1과 같다.

관찰된 α, β 가 각각 1인 $Beta(1,1)$ 의 경우 그림1(a)과 같이 전송 성공률이 [0,1]에서 균일분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 1(b),(c)에서는 저장된 α, β 가 크면 클수록 데이터 전송 성공률에 대한 분산의 크기가 점점 작아지는 것을 확인 할 수 있다.

즉, 관찰된 데이터 전송의 성공과 실패의 횟수 α, β 로부터 얻은 전송 성공률 $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ 는 과거로부터의 관찰된 α, β 의 횟수가 많으면 많을수록 전송 성공률에 대한

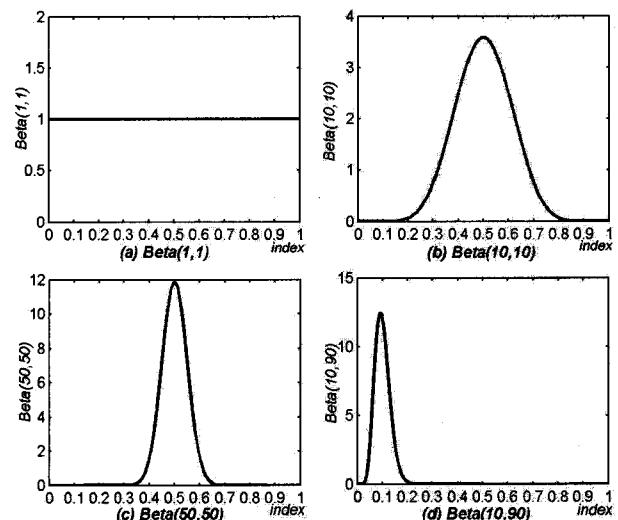


그림 1. 베타 분포

Fig. 1. The Beta distributions.

분산이 작아짐을 의미한다. 이는 곧 전송 성공률 자체는 같더라도 좀 더 많은 관찰 횟수로부터 얻은 전송 성공률이 평균에 대한 분산이 작기 때문에 적은 관찰 횟수로부터 얻은 전송 성공률 보다 신뢰의 정도가 크다는 것이다.

따라서 본 논문에서는 베타 분포의 분산에 대한 정의로부터 링크의 전송 성공률에 대해 신뢰의 정도를 판단 할 수 있는 확실성(c)을 정의 하며 확실성으로부터 최종 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 구한다. 베타 분포 함수는 축적된 관찰 성공과 실패에 대한 횟수 α, β 의 따른 전송 성공 확률에 대한 분포함수로써 α, β 로부터 얻은 전송 성공 확률과 관찰된 횟수를 반영한다. 함수의 그래프는 관찰된 데이터 전송에 대한 성공과 실패의 횟수가 많을수록 전송 성공 확률에 대해 좁아진 형태의 그래프를 보인다. 즉, 베타분포의 분산은 전송 성공과 실패의 횟수 α, β 로부터 나타내며 식 (3)과 같이 정의 된다.^[11~12]

$$Var(X) = \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} \quad (3)$$

분산식의 최대값은 대략 0.083이 되기 때문에 본 논문에서는 최대값이 1, 최소값이 0이 되도록 베타 분포의 분산 식을 정규화하기 위해 식(3)을 0.083으로 나누어 식(4)을 얻을 수 있다.

$$u = \frac{12 \cdot \alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} \quad (4)$$

식 (4)로부터 α, β 가 커짐에 따라 0에 가까워짐을 확인 할 수 있다. 즉, 관찰된 횟수가 많아질수록 전송성공률에 대한 분산이 0에 가까워진다. 이에 본 논문에서는 과거로부터 관찰된 데이터 전송의 성공과 실패의 횟수가 많아질수록 전송 성공률에 대한 신뢰의 정도를 커지도록 하기위해 식(4)을 식(5)과 같이 정의 한다.

$$c = 1 - \frac{12 \cdot \alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} \quad (5)$$

본 논문에서는 관찰된 α, β 의 횟수가 많을수록 1에 가까워지는 식(5)을 전송 성공률에 대한 신뢰의 정도를 나타내는 확실성(c)이라 정의한다. 다음으로, 관찰된 성공과 실패의 횟수에 따라 측정된 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰 정도를 판단 할 수 있도록 전송 성공 확률에 확실성(c)을 곱함으로써 최종 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 식(6)과 같이 정의한다.

$$R = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \left(1 - \frac{12 \cdot \alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} \right) \quad (6)$$

데이터 전송의 성공과 실패에 대해 관찰된 횟수에 따라 [0,1] 사이의 값을 갖는 확실성(c)을 전송 성공률에 곱해 확실성(c) 값이 1에 가까울수록 측정된 데이터 성공률에 가까운 값을 얻게 된다. 이로써 노드들은 자신에게 연결된 특정 링크의 데이터 전송률에 대한 신뢰 정도를 판단 할 수 있게 된다.

본 논문에서는 최종적으로 얻은 링크 신뢰도 측정 모델(R), 식(6)을 기준에 제안된 OLSR 프로토콜에 적용하여 각각의 노드들이 위 모델을 통하여 자신의 이웃 노드들 간의 링크의 신뢰도를 판단할 수 있다. III장에 선 기준의 OLSR 프로토콜을 설명하고 IV장에선 노드 신뢰도 측정 모델을 적용한 링크 신뢰도 기반 OLSR 프로토콜을 설명 한다.

III. Standard OLSR 프로토콜

OLSR 프로토콜^[7]은 데이터 전송에 대한 요구가 발생했을 때 경로 설정을 위한 지연 없이 즉시 데이터 전송이 가능한 특징을 갖는 proactive 라우팅 기법 중의 하나이다. 네트워크상에 존재하는 모든 노드가 전체 네트워크로 전파되는 제어 메시지를 통해 전체 네트워크에 대한 구조 정보를 갖는 Link State Routing^[2] 기법에 제어메시지의 전송을 담당하는 MPR을^[9] 적용해 기존의 연결 상태 라우팅 기법을 최적화한 기법이다.

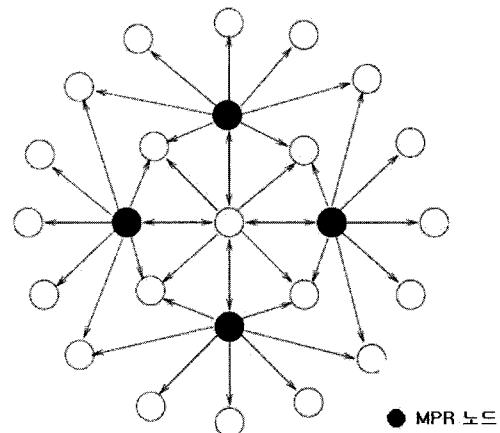


그림 2. OLSR 프로토콜
Fig. 2. The OLSR protocol.

기존의 Link State Routing 기법에서는 네트워크상에 존재하는 노드가 이웃 노드와의 연결 상태를 확인하고 제어 메시지를 이웃 노드들에게 전파 한다.^[2] 이 제어 메시지는 이웃 노드들에 의해 전체 네트워크로 전파된다. 이 과정에서 동일한 제어 메시지가 한 노드에 중복 전송 되어 제어 메시지의 불필요한 오버헤드를 야기한다. 이러한 제어 메시지의 중복 전송으로 인한 불필요한 오버헤드를 줄이기 위해 OLSR 프로토콜이 제안되었다. OLSR 프로토콜은 MPR을 적용하여 그림 2와 같이 선택된 MPR노드만이 제어 메시지를 재전송 할 수 있게 하여 동일한 제어 메시지의 중복 전송을 피하게 했다.

OLSR 프로토콜은 두 가지 장점을 가진다. MPR로 선택된 노드에 연결된 링크만을 정의함으로써 제어 메시지의 크기를 줄일 수 있다. 또한 MPR로 선택된 노드들에게만 제어 메시지를 전송하게 함으로써 네트워크 상의 전파되는 제어 메시지의 트래픽 양을 줄일 수 있다. 즉 임의의 노드 n으로부터 MPR로 선택되지 않은 이웃 노드들은 노드 n으로부터 받은 제어 메시지를 읽고 처리 할 수 있지만 이 제어 메시지를 자신의 이웃 노드들에게 재전송 할 수 없게 된다. 이런 방법으로 OLSR 프로토콜은 제어메시지가 이웃노드로 전파되는 과정에서 제어 메시지의 재전송 수를 상당하게 줄였다.^[5]

OLSR 프로토콜은 크게 제어 메시지 전달을 위한 MPR 노드 선택 과정과 데이터 전송을 위한 라우팅 테이블 작성 과정으로 나눌 수 있다. MPR 선택 과정에서는 임의의 노드 n의 2-홉 떨어진 모든 노드들에게 제어 메시지를 재전송할 수 있도록 노드 n의 1-홉 떨어진 노드들 중에서 2-홉 노드로의 가장 많은 연결성을 제공하

는 노드를 MPR로 선택한다.^[7~8] 또한 라우팅 테이블 계산의 경우, 제어 메시지의 전파를 통해 전체 네트워크 토폴로지에 대한 정보를 알고 있는 각 노드들은 노드 간 흡 수를 바탕으로 한 Dijkstra's shortest path algorithm 으로 라우팅 테이블을 작성한다.^[8]

이처럼 기존의 OLSR 프로토콜은 단순히 노드의 흡 수만을 고려했기 때문에 노드의 이동으로 인하여 잦은 네트워크 변화가 생기는 네트워크 환경에 효율적으로 대처할 수 없으며 이에 따라 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장하지 못한다.

따라서 본 논문에서는 노드의 흡 수와 노드 간의 연결성 등의 토폴로지의 구조적 특징만을 고려한 기존 OLSR 프로토콜에 유동적으로 변하는 네트워크 환경에서 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장하기 위해 II장에서 정의한 노드 신뢰도 측정 모델을 적용하여 링크 신뢰도 기반 OLSR 프로토콜을 제안한다.

IV. 링크 신뢰도 기반 OLSR 프로토콜

제안하는 OLSR 프로토콜의 기본적인 동작 및 특성은 기존에 제안된 OLSR 프로토콜^[7~8]과 동일하지만 차이점은 보다 안정적인 데이터 전송을 보장하기 위해 2장에서 제안한 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 적용하여 노드의 흡 수와 노드 간 링크의 데이터 전송에 대한 신뢰도를 바탕으로 MPR 선정과 라우팅 테이블을 작성한다는 점이다.

기존의 OLSR 프로토콜에 II장에서 제안한 링크 신뢰도 측정 모델을 적용하기 위해 네트워크를 구성하는 각 노드들은 자신이 전송하는 데이터에 대한 성공과 실패의 횟수를 각각 α, β 로 저장한다. 각각의 노드들은 저장된 α, β 로부터 이웃 노드 간 링크의 데이터 성공률에 대한 신뢰도를 식(6)을 통해 계산 할 수 있다. 또한 노드 간 링크의 전송 성공률에 대한 신뢰도를 바탕으로 MPR 노드가 선택되게 된다. 또한 MPR 노드들은 이웃 노드들의 링크 신뢰도를 제어 메시지에 담아 이웃 노드들에게 전파한다. 이웃 노드의 링크 신뢰도 전송을 MPR 노드들에게 한정시킴으로써 모든 노드들이 제어 메시지를 전송하게 하지 않아 이웃 노드의 링크 신뢰도를 담은 제어메시지로 인한 오버헤드를 줄일 수 있도록 했다. MPR 노드의 제어메시지의 전송으로 인해 각 노드들에 저장된 토폴로지 정보를 바탕으로 노드 간의 흡 수와 링크의 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰도를 고려해 각 노드들은 라우팅 테이블을 작성한다. 노드의 신

뢰도 측정 모델을 적용한 MPR 선택 과정과 라우팅 테이블 계산 과정은 다음과 같다.

1. MPR 선택 과정

제안하는 MPR 선택 알고리즘은 기존 OLSR 프로토콜의 MPR 선택 알고리즘^[7]에서 고려한 임의의 노드 n 의 1-흡 떨어진 노드들이 갖는 노드 n 으로부터 2-흡 떨어진 노드에 대한 연결성에 각각의 노드가 갖는 데이터 전송 성률에 대한 신뢰도를 고려한다. MPR 노드를 선택하는 과정은 다음과 같다.

- 1단계: 멀티포인트 릴레이 집합 $MPR(x)$ 초기화
- 2단계: $D(x,y)$ 계산
- 3단계: $N(x)$ 의 노드 중 $N2(x)$ 노드로의 유일한 패스를 제공 하는 노드를 $MPR(x)$ 에 추가
- 4단계: $N2(x)$ 의 노드 중 $MPR(x)$ 의 노드에 의해 관리되지 않은 노드가 존재한다면
 - 4-1단계: $MPR(x)$ 에 속하지 않은 $N(x)$ 의 각 노드에 대해서 $MPR(x)$ 에 의해 관리되지 않은 $N2(x)$ 노드들로의 연결성 계산
 - 4-2단계: 가장 큰 연결성을 가지는 $N(x)$ 노드를 $MPR(x)$ 에 추가
 - 4-3단계: 4-2단계에서 가장 큰 연결성을 가지는 $N(x)$ 가 두 개 이상 존재 할 경우 큰 링크 신뢰도 (R)를 갖는 노드를 $MPR(x)$ 에 추가

$MPR(x)$ 는 노드 x 에 대한 MPR 노드들에 대한 집합, $N(x)$ 는 노드 x 의 1-흡 이웃 노들들의 집합, $N2(x)$ 는 노드 x 의 2-흡 이웃 노들들의 집합, 그리고 $D(x,y)$ 는 $N(x)$ 에 속하는 노드 y 로부터 $N(x)$ 노드들을 제외한 1-흡 떨어진 이웃 노드들로의 노드 당 연결수를 뜻한다. 위에서 제시된 것처럼 1-흡 이웃 노드들이 갖는 2-

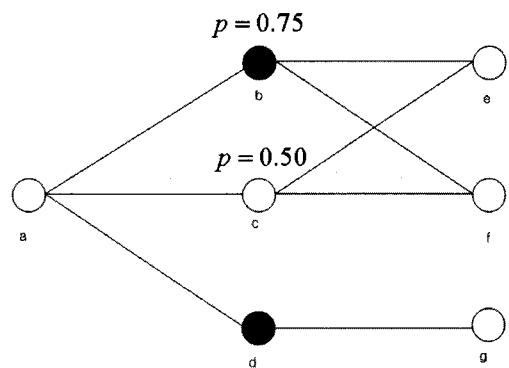


그림 3. MPR 선택 예제

Fig. 3. Example for the MPR selection.

홉 노드에 대한 연결성을 1차 조건으로 고려하며 동일한 연결성을 갖는 1-홉 노드들이 존재하는 경우 2차 조건으로 각각의 노드에 저장된 링크의 신뢰도를 고려하여 최종적으로 MPR을 선택한다.

그림 3은 간단한 토플로지에서 제안된 MPR 선택 과정 따라 MPR 노드가 선택되는 것을 보여주기 위한 그림이다.

노드 a의 제어메시지가 전파되는 경우 제안된 MPR 선택과정에 따라 노드 a로부터 MPR 노드들이 선택되는데, 노드 a로부터 $N_2(x)$ 에 속하는 노드 g로의 유일한 경로를 제공하는 노드 d가 MPR 노드로 선택되어 또한 $N(x)$ 의 노드 중 $N_2(x)$ 로의 동일한 연결성을 갖는 노드 b와 노드 c 중에 링크 신뢰도 측정 모델(R)에 의해 계산된 높은 신뢰도를 갖는 노드 b가 MPR로 선택된다. 이렇게 선택된 MPR 노드 b, d에게 a로부터 전송된 제어메시지를 이웃 노드로 재전송 할 수 있는 권한이 주어지며 그 외의 노드들은 제어메시지를 읽고 처리할 순 있지만 이웃노드로 재전송 할 수 없게 된다. MPR 노드들로 하여금 네트워크에 존재하는 모든 노드들은 네트워크 토플로지 정보를 알 수 있게 되며 이를 바탕으로 각 노드들은 이웃 노드들에 대한 라우팅 테이블을 계산한다. 노드 간 링크의 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰도가 적용된 라우팅 테이블 계산 과정은 다음과 같다.

2. 라우팅 테이블 계산

MPR 노드들에 의해서 전파된 제어 메시지를 통해 각 노드들은 네트워크 토플로지 정보를 저장하며 이 정보를 바탕으로 이웃 노드에 대한 라우팅 테이블을 계산한다. 제안된 라우팅 계산 알고리즘에서는 기존에 적용된 흙 수를 바탕으로 한 Dijkstra's shortest path algorithm^[8]을 사용하여 동일한 흙 수를 갖는 경로가 존재 할 경우 2차 조건으로 경로 상에 존재하는 노드들에 저장된 링크의 신뢰도를 더해 경로 전체의 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰도가 가장 큰 경로를 선택하고 라우팅 테이블을 작성한다. 이로써 기존의 OLSR 프로토콜의 라우팅 알고리즘에 비해 데이터 전송 성공률에 대해 높은 신뢰도를 가진 경로를 통해 데이터를 전송 할 수 있게 했다.

V. 성능 분석

이번 장에서는 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 본 논문

에서 제안한 링크 신뢰도 측정 모델을 적용한 OLSR 프로토콜의 우수함을 증명한다. 또한 본 논문에서 제안한 링크 신뢰도 측정 모델(R)의 안정성을 증명하기 위해 식(6)에서 확실성(c)을 제외한 단순히 과거로부터 축적된 전송확률만을 고려한 단순 축적 알고리즘을 제안해 비교한다. 따라서 기존 알고리즘, 단순축적 알고리즘 그리고 제안하는 알고리즘을 전송 성공률과 안정성 측면에서 성능을 비교를 한다.

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 수행하기 위해 표 1과 같이 시뮬레이션은 NS-2 시뮬레이터^[7]를 사용하였다. 또한 네트워크 크기를 $300 \times 300\text{m}^2$ 로 정하고 노드 수는 10개에서 50개 까지 10개씩 늘려가며 random way point 방식을 사용하여 임의로 네트워크 안에 위치하도록 하였다. 그리고 본 논문에서 제안한 알고리즘의 네트워크 환경이 좋지 않은 곳에서 안정적인 데이터 전송 성공률을 보임을 증명하기 위해 노드 간 링크의 데이터 전송 확률을 평균 0.5로 임의로 갖도록 하여 데이터 전송 실패의 횟수를 늘렸다. 시뮬레이션은 각 노드 수 별로 100번을 반복하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

파라미터	값
네트워크 크기	$300 \times 300\text{m}^2$
시뮬레이션 시간	300초
노드 이동성 모델	Random way point mobility model
노드수(개)	10~50
전송 속도(Mbps)	11
링크 전송확률	평균 0.5

2. 시뮬레이션 시나리오

본 논문에서는 링크 신뢰도 측정 모델(R)이 데이터 전송이 시도된 횟수에 따른 신뢰도 측정의 안정적 측면을 강조하기 위해 링크 신뢰도 측정 모델에서 확실성(c)을 제외한 단순히 과거로부터 축적된 전송 성공 확률만을 고려한 단순축적알고리즘을 제안하여 제안한 알고리즘과 비교 분석 한다. 즉 식(6)에서 확실성(c)을 제외한 과거로부터의 전송 성공률 $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ 만을 적용하여 노드 간 링크의 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰도를 판단한다. 단순 축적 알고리즘은 과거로부터의 전송 성

공률만을 링크 신뢰도로 저장 한다는 점을 제외하면 V 장에서 제안한 링크 신뢰도 기반 OLSR 프로토콜과 동일한 과정으로 MPR을 선정하고 라우팅 테이블을 계산 한다.

이로써 본 논문에서는 기존에 제안된 기존 알고리즘, 단순히 전송률만을 데이터 전송에 대한 링크의 신뢰도로 고려한 단순축적 알고리즘, 그리고 III장에서 제안한 링크 신뢰도 측정모델(R)을 적용한 제안한 알고리즘을 다음의 두 가지 측면에서 노드 수를 10개에서 50개까지 증가 시켜 가면서 성능을 분석한다.

- 전송 성공률 : 임의로 배치되는 노드와 임의의 전송 확률을 갖는 링크로 구성된 네트워크에 대한 데이터의 전송 성공률. 100번의 시뮬레이션에 대한 평균값.
- 안정성 : 100번의 시뮬레이션을 통해 얻은 임의의 노드들로부터 전송된 데이터의 전송 성공률 중 하위 10%값들의 평균값.

본 논문에서 정의한 안정성은 네트워크 환경이 좋지 않은 경우에 최악의 전송 성공률들을 측정하여 제안한 알고리즘이 네트워크 환경이 보장되지 않은 환경에서 다른 알고리즘에 비해 안정된 전송 성공률을 보장 하는지를 판단하기 위한 것이다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서 제안하는 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 적용한 OLSR 프로토콜의 성능을 위해서 정의한 전송 성공률과 안정성을 이용하여 평가하였다.

그림 4는 노드 수에 따른 각 알고리즘에 대한 전송 성공률에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 본 논문에

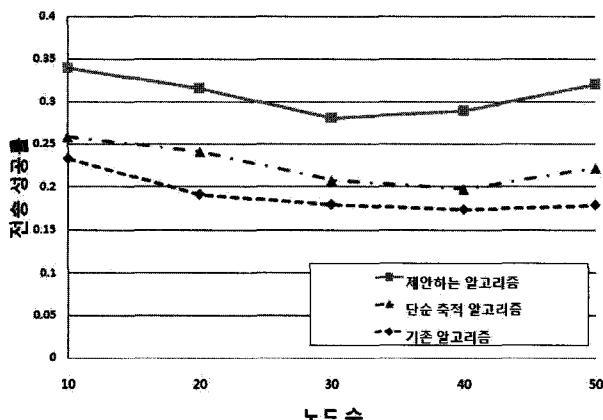


그림 4. 노드 수에 따른 전송 성공률

Fig. 4. Throughput vs. The number of nodes.

서 제안한 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 적용한 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘과 단순 축적 알고리즘에 비해 높은 전송 성공률을 보인다.

단순히 노드의 흡수만을 고려한 Dijkstra's shortest path algorithm을 사용한 기존 알고리즘은 전송률을 고려하는 두 알고리즘에 비해 안 좋은 링크 신뢰도를 갖는 이웃노드를 라우팅 테이블에 포함 시킬 확률이 높아 다른 알고리즘에 비해 전송 성공률이 낮다.

단순축적 알고리즘의 경우 노드의 흡수에 관찰된 과거 전송률을 고려하여 라우팅 테이블을 작성하므로 기존 알고리즘에 비해 전송 확률이 높은 링크를 가지는 이웃 노드를 선택할 확률이 높지만 과거로부터 관찰된 전송 성공 확률만을 고려하기 때문에 측정된 횟수가 적을 경우 그만큼 신뢰도 떨어지는 링크를 가지는 노드를 선택할 확률 또한 높다. 이에 따라 관찰된 횟수에 따라 전송 성공률의 신뢰정도를 판단할 수 있는 제안한 알고리즘에 비해 낮은 전송 성공률을 보인다. 또한 자신의 이웃노드가 증가 하는 노드수가 40개 50개일 때의 경우 제안하는 알고리즘과 단순 축적 알고리즘의 전송 성공률의 차가 증가 하는 것을 볼 수 있다. 이는 단순 축적 알고리즘의 경우 자신의 이웃 노드들 중에서 단순히 관찰된 전송 확률만을 고려하기 때문이다. 그로인해 이웃 노드 수가 많을수록 잘못된 선택, 즉 전송 확률은 높지만 측정된 횟수가 적어 신뢰도가 낮은 링크를 가지는 이웃 노드를 선택 할 확률이 높다. 제안하는 알고리즘은 이웃노드가 많을수록 전송 신뢰도가 높은 링크를 선택 할 확률이 단순축적 알고리즘 및 기존 알고리즘에 비해 우수한 전송 성공률을 보인다.

그림 5는 노드 수에 따른 각 알고리즘에 대한 안정성에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 본 논문에서 제

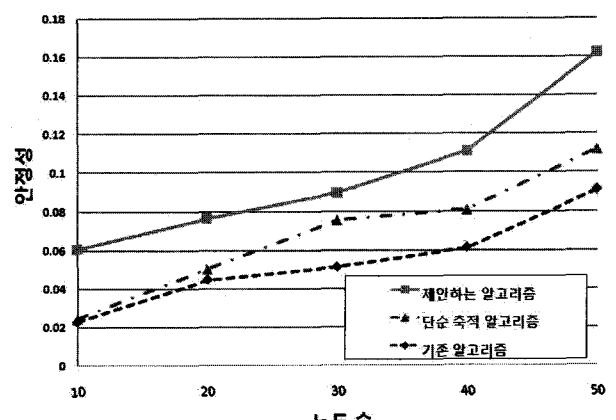


그림 5. 노드 수에 따른 안정성

Fig. 5. Stability vs. The number of nodes.

안한 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 적용한 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘과 단순 축적 알고리즘에 비해 높은 안정성을 보인다.

그 이유는 다음과 같다. 기존 알고리즘, 단순 축적, 그리고 제안하는 알고리즘 모두 확률적으로 데이터를 전송할 링크를 선택한다. 그런데 네트워크의 채널 환경이 안 좋을수록 다른 알고리즘들은 안 좋은 링크를 가지는 이웃을 선택할 확률이 높아지는데 반해, 제안하는 알고리즘은 가장 신뢰성 있는 링크를 가지는 노드를 선택할 확률이 높기 때문이다.

또한 라우팅 알고리즘은 네트워크 환경이 좋지 못한 경우에 만족할 만한 수준의, 임계점 이상의 전송 성공률을 보장해야 한다. 그럼 5를 통해서 알 수 있듯이 단순축적 알고리즘의 경우 기존 알고리즘에 비해선 좋은 안정성을 제공한다. 하지만 전체적으로 전송확률이 낮은 링크들로 구성된 환경에서 측정된 횟수를 추가적으로 고려하지 않고 단순히 전송 성공 확률만을 고려하기 때문에 신뢰도 높은 링크를 선택할 확률이 적다.

제안하는 알고리즘은 측정된 횟수에 따라 관찰된 전송 성공률의 신뢰 정도를 판단 할 수 있기 때문에, 네트워크 환경이 좋지 못한 경우라 하더라도 기존 알고리즘 및 단순 축적 확률 알고리즘에 비해 측정된 횟수에 따라 좀 더 좋은 신뢰도의 링크를 가진 노드를 선택할 확률이 높다. 그에 따라 다른 알고리즘에 비해 높은 안정성을 가진다.

따라서 본 논문에서 제안한 신뢰도 측정 모델을 적용한 제안한 알고리즘이 전송 성공률 및 안정성 측면에서 기존 알고리즘과 단순축적 알고리즘 보다 우수한 성능을 가짐을 시뮬레이션을 통해 확인 하였다.

VI. 결 론

기존에 제안된 OLSR 프로토콜은 네트워크를 구성하는 노드들의 흡수 및 연결성 등의 토플로지 구성정보만을 고려해 경로를 설정하여 지속적으로 변하는 네트워크에 대해서 고려 정도가 적어 서로 다른 네트워크 환경에 대해서 안정적 데이터 성공률을 보장하기 어렵다. 이에 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장하기 위한 라우팅 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 노드 간 링크의 데이터 전송 성공률에 대한 신뢰 정도를 판단하기 위해 통계적 추측 모델 중에 하나인 베이지안 추론을 사용하여 측정된 횟수에 따라 전송 성공률의 신뢰도를 판단할 수 있는 링크 신뢰

도 측정 모델(R)을 제안 하였다. 그리고 제안한 링크 신뢰도 측정 모델(R)을 기준의 OLSR에 적용하여 노드의 흡수와 노드 간 링크가 가지는 데이터 전송 성공률 대한 신뢰도를 동시에 고려한 OLSR 프로토콜을 제안하였다.

또한 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 제안한 OLSR 프로토콜, 기존의 OLSR 프로토콜, 단순히 전송성공률만을 적용한 단순축적 OLSR 프로토콜과의 성능 비교를 하였다. 그 결과 데이터 전송 성공률과 논문에서 제시한 안정성 측면에서 제안한 OLSR 프로토콜이 기존 알고리즘 및 단순 축적 알고리즘에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인 하였다.

본 논문에서는 안정적인 데이터 전송 성공률을 보장하기 위한 신뢰성 연구를 OLSR 프로토콜에 적용했다. 이밖에도 여러 라우팅 프로토콜에 대해서 효율적인 에너지 소비, 짧은 전송 지연 등을 보장하기 위한 신뢰성 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 좀 더 넓은 범위에서 신뢰성을 보장 할 수 있는 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E. Belding-Royer, C. Toh, "A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks," IEEE Personal Communications 46-55, 1999
- [2] J. Moy, "OSPF Version 2," IETF, RFC 2328, April 1998.
- [3] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad Hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," RFC 2501, Jan. 1999.
- [4] B. Johnson and D.A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," in: Mobile Computing, Kluwer Academic, 1996
- [5] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers," in: Proceedings of ACM SIGCOMM'94, London, UK, 1994
- [6] C. E. Perkins, "Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing," IETF Internet Draft, November 1998
- [7] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," IETF, RFC 3626, October 2003.
- [8] T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Muhlethaler, A. Qayyum, L. Viennot, "Optimized

- link state routing protocol," in: IEEE INMIC, Pakistan, 2001.
- [9] A. Qayyum, L. Viennot, A. Laouiti, "Multipoint relaying technique for flooding broadcast message in mobile wireless networks," in: HICSS: Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, 2002.
- [10] OLSR implementation, ns-2simulator.
<http://hipercom.inria.fr/OOLSR/downloads.html>,
- [11] F Li, A Srinivasan, M Lu, J Wu "Uncertainty Mitigation for Utility-Oriented Routing in Wireless Ad Hoc Networks" Global Telecommunications Conference, 2007.
- [12] Jie Li, Ruidong Li, "Future Trust Management Framework for Mobile Ad Hoc Networks," in: IEEE Communications Magazine, April 2008.
- [13] G. Theodorakopoulos and S. Baras, "On Trust Models and Trust Evaluation Metrics for Ad Hoc Networks," IEEE JSAC, Special Issue on Security in Wireless Ad Hoc Networks, Feb. 2006.

저자 소개



우 현 재(학생회원)

2008년 아주대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2008년 3월~현재 아주대학교 전자공학과 석사 과정
 <주관분야 : Ad-Hoc Network, Sensor Network, Routing Protocol>



이 동 열(학생회원)

2008년 아주대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2008년 3월~현재 아주대학교 전자공학과 석사 과정
 <주관분야 : Game theory, wireless LAN, Cooperative Communicaton>



이 채 우(정회원)

1985년 서울대학교 제어계측 학사 졸업.
 1988년 한국과학기술원 전자공학과 석사 졸업.
 1995년 University of Iowa 박사 졸업
 1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
 1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
 1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies Korea 이사.
 2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
 2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과 부교수.
 <주관분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous networking, Traffic Engineering>