

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 다중경로를 이용한 부하균형 라우팅 프로토콜

정수진, 조현진, 김문정, 엄영익
성균관대학교 정보통신공학부
{sjjung, hjcho, tops, yieom}@ecc.skku.ac.kr

Multipath-based Routing Protocol with Load Balancing Function in Wireless Ad-hoc Network Environments

Soo-jin Jung, Hyun-jin Cho, Moon Jeong Kim, Young Ik Eom
School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ.

요 약

무선 ad-hoc 네트워크란 기반 시설의 도움 없이 노드들 간의 수평적인 통신을 제공하는 임시적인 네트워크이다. 이러한 네트워크 환경에서는 각 노드의 네트워크 참가 및 이탈이 동적으로 가능하다. 현재 이러한 환경에서 높은 이동성을 지원하는 동시에 라우팅 오버헤드를 최소화하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존에 제안된 무선 ad-hoc 라우팅 프로토콜들은 부하균형 메커니즘을 지원하지 않으므로 특정 노드에 많은 부하가 발생할 수 있다. 이로 인해 종단 간 지연시간이 길어지며 네트워크의 신뢰성이 낮아질 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제의 해결을 위해 각 노드가 자신의 부하를 측정하고, 경로 요청 시 노드의 부하 정보를 이용하여 부하가 적은 경로를 선택하도록 한다. 또한 데이터 전송 중에 해당 경로의 부하를 확인하여, 보조 경로를 이용하거나 새로운 경로를 검색하여 경로의 혼잡을 해결함으로써 종단 간 지연시간 및 네트워크의 신뢰성을 향상시키는 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 특정 노드에 라우팅 오버헤드가 집중되는 것을 방지하며 이로 인해 종단 간 지연시간을 줄이고 네트워크의 신뢰성을 향상시킨다.

1. 서 론

무선 ad-hoc 네트워크는 무선 이동 노드들로 구성되며 노드의 잦은 이동으로 네트워크의 토폴로지가 수시로 변할 수 있는 특징을 갖는다. 이러한 환경에서 라우팅 오버헤드를 감소시키고 높은 이동성을 지원하는 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되고 있다. 무선 ad-hoc 네트워크 환경을 위해 제안되는 라우팅 프로토콜은 크게 table-driven 과 on-demand 방식으로 나누어질 수 있으며, 현재 on-demand 방식의 라우팅 프로토콜들이 주로 연구되고 있다[1-3]. 기존의 라우팅 프로토콜들은 특정 노드에 라우팅 부하가 집중될 수 있는 문제점을 해결하지 못한다. 따라서 현재 무선 ad-hoc 네트워크 환경을 위한 부하 분산 라우팅 프로토콜이 연구되고 있다[4-6]. 이를 위해서는 각 노드의 정확한 부하측정과 그 정보를 전달하는 과정이 필요하다. 또한 무선 ad-hoc 환경에서 다중 경로를 유지함으로써 경로 재설정 비용을 줄이는 기법에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[7].

본 논문에서는 부하가 집중되는 것을 피하기 위해 각 노드가 부하를 측정하고 부하가 적은 노드로 구성된 경로를 선택하는 기법을 제안한다. 출발지 노드는 하나의 목적지에 대해 주경로와 보조경로를 유지하며, 데이터 전송 중에 해당 경로에 포함된 노드들의 부하정도가 높아지면 출발지노드가 데이터 전송 경로를 보조경로로 변경하는 기법이다. 본 제안 기법은 데이터 전송 중에 해당 경로에 포함된 노드들의 부하를 측정하며 필요하면 보조경로를 이용하여 동적으로 데이터 전송경로를 변경하는 기법으로 특정 노드에 부하가 집중되지 않도록 하여 네트워크의 신뢰성으로 높이며, 종단 간 지연을 줄이도록 한다. 특히 다량의 데이터를 장시간 전송하는 경우 보다 유용하게 적용되는 기법이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 적용되는 기술에 대한 관련연구를 설명하고 3장에서 본 논문에서 제안하는 기법을 설명한다. 4장에서는 간단한 분석을 보이며 5장에서 결론 및 향후과제를 기술한다.

2. 관련연구

본 절에서는 기존의 부하분산 라우팅 프로토콜에 대해 간략히 설명한다.

2.1 LBAR

LBAR은 해당노드가 포함한 경로 및 이웃노드가 속한 경로의 수를 부하의 기준으로 한다. 출발지노드가 목적지노드에게 경로 요청 패킷을 발송하면, 중간노드는 자신의 부하를 경로 요청 패킷에 기록하여 전달한다. 목적지노드는 수신한 경로 요청 패킷 중 최소 부하를 포함하는 경로에 대해 경로 응답 패킷 생성하여 출발지노드로 전송한다. 이 기법은 이웃노드에 속한 경로의 수를 알기 위한 주기적으로 부하 정보를 교환해야 하는 오버헤드가 존재한다. LBAR의 부하 측정 기법은 트래픽의 종류에 따른 노드의 부하를 제대로 반영하지 못한다는 단점을 갖는다.

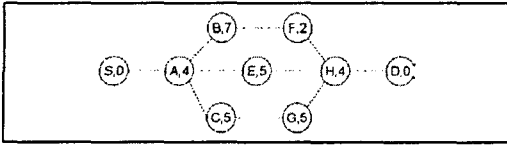
2.2 DLAR

DLAR에서는 큐에 존재하는 패킷의 수를 기준으로 노드의 부하를 측정한다. 출발지노드가 경로 요청 패킷을 발송하면, 이를 수신한 중간노드는 자신의 부하 정보를 해당 패킷에 기록하여 전달한다. 목적지노드는 수신한 경로 요청 패킷 중 최적의 경로에 대해 경로 응답 패킷을 생성하여 출발지노드로 전송하고 나머지는 저장한다. 데이터 전송 중 경로에 혼잡이 발생하면 목적지는 출발지노드로 경로 요청 패킷을 발송하여 재경로 설정을 시도한다. 부하가 큰 트래픽을 전달하는 노드의 인터페이스의 큐에는 패킷이 많이 쌓인다는 점에서 DLAR은 LBAR보다 정확한 부하측정이 가능하다. 하지만 이 방법은 시간의 흐름에 따라 부하의 크기가 차이는 트래픽에 대한 특징은 반영하지 못한다는 단점을 갖는다.

3. 제안기법

3.1 개요

본 논문에서 제안된 기법이 적용될 네트워크의 환경은 그림 1에서 보인다. 그림 1에서 정선은 해당 노드가 무선 전송 범위 내에 포함됨을 의미한다.



[그림 1] 네트워크 환경

본 논문에서 제안하는 기법은 부하를 고려한 요구기반 방식의 다중 경로 라우팅 프로토콜이다. 본 제안 기법에서는 노드의 데이터 전송 큐에 있는 패킷의 수를 부하 연산의 기준으로 하여 과거의 값을 반영해 시간에 따른 부하의 변화를 반영한다. 또한 다중경로를 유지하여, 데이터 전송 중 주경로에 혼잡이 발생하면 동적으로 보조경로를 사용한다.

3.2 패킷형식과 자료구조

각 노드는 CIT(부하 정보 테이블)과 RCT(라우트 캐쉬 테이블)를 유지하며, 또한 보조경로에 속한 각 노드는 RMT(경로 유지 테이블)를 유지한다. 이들 자료 구조는 그림 2에서 보인다.

Cost	Timeout					
(a) 부하 정보 테이블(CIT : Cost Information Table)						
Dest	List	SeqNo	Flag	Csum	Timeout	
(b) 라우트 캐시 (RCT : Route Cache Table)						
Src	Dest	List	Timeout			
(c) 경로유지 테이블 (RMT : Route Maintenance Table)						

[그림 2] 각 노드에 필요한 자료구조

각 노드는 자신의 인터페이스 큐에 있는 패킷의 수(n)를 확인하여 자신의 부하를 측정하게 된다. 계산식은 그림 3에서 보이며, α값의 크기에 따라 시간 흐름에 따른 부하의 가중이 결정된다.

$$cost_i = \alpha \cdot cost_{i-1} + (1-\alpha)n_i \quad (\text{단, } 0 \leq \alpha < 1)$$

[그림 3] 부하계산 수식

본 제안 기법에서 사용되는 패킷의 형식은 그림 4에서 보인다.

Type	Src	Dest	SeqNo	Flag	List	Csum	TTL		
(a) 경로 요청 (RREQ : Route REQuest) 패킷									
Type	Src	Dest	SeqNo	List	Csum	TTL			
(b) 경로 응답 (RREP : Route REPLY) 패킷									
Type	Src	Dest	List	FailP					
(c) 경로 에러 (RERR : Route ERRor) 패킷									
Type	Src	Dest	SeqNo	CFlag	OFlag	Data	List	Csum	TTL
(d) 데이터 패킷									

[그림 4] 패킷형식

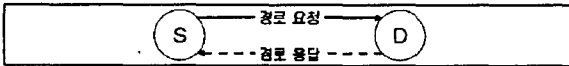
RERR(경로 에러) 패킷은 경로 단절, 경로 혼잡, 및 보조경로 확인을 PCG, PCRT메시지로 나뉜다. 경로 검색에 필요한 패킷은 그림 4에서 보

3.3 시스템의 동작

본 제안 기법은 크게 경로 발견 단계와 경로 유지 단계로 구성된다. 데이터를 전송하고자하는 노드는 목적지노드의 경로를 검색하기 위해 경로 발견 단계를 시작하게 된다.

3.3.1 경로 발견 단계

경로 발견 단계는 데이터를 보내고자 하는 출발지노드(S)가 목적지노드에 대한 경로 요청을 위해 RREQ 패킷을 발송하는 경로 요청 단계와 목적지노드(D)가 이에 대한 응답으로 RREP 패킷을 전송하는 경로 응답단계로 구성되며, 이 기본 동작은 그림 5에서 보인다.



[그림 5] 기본 동작

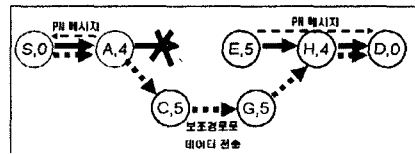
목적지노드는 가장 먼저 도착한 두 개의 RREQ 패킷에 대해 각각 RREP 패킷을 생성하여 출발지노드로 응답하게 된다. 이를 수신한 출발지노드는 가장 먼저 도착한 RREP 패킷에 의한 경로 정보를 주경로로 하여 데이터를 전송하고, 두 번째 도착한 RREP 패킷과 부하 정보를 비교하여 부하가 작은 경로를 주경로로 하고 나머지를 보조경로로 RCT에 유지한다. 출발지노드는 보조경로로 RPCTR 타입을 가지는 RERR를 전송하고, 이를 받은 중간노드들은 자신의 RMT에 기록하고 다음 노드로 전달한다. 출발지가 자발적으로 데이터 전송 경로상의 혼잡도를 측정하도록 요구하면 데이터를 전송하는 각 노드는 자신의 부하정보를 데이터 패킷에 기록하고 이를 바탕으로 목적지노드는 해당 경로를 그대로 사용하거나 새로운 경로를 찾아 줄 수 있다.

3.3.2 경로 유지 단계

경로 유지 단계는 먼저 데이터를 보내는 중 경로가 실패되는 경우, 주경로에 혼잡이 발생하는 경우, 그리고 보조 경로의 단절이 발생하는 경우로 구분될 수 있다.

(1) 주경로가 단절되는 경우

주 경로로 데이터를 보내는 동안에 경로가 단절된 경우를 그림 6에서 보인다.



[그림 6] 데이터 전송 실패의 경우

경로 단절을 발견한 노드는 출발지노드로 Type 필드에 PN값을 갖는 RERR 패킷을 전송하고, 이를 수신한 출발지 노드는 자신의 RCT를 수정한 후 보조경로로 데이터를 전송하게 된다. 데이터 패킷을 전달하는 중간 노드는 자신의 RMT의 해당항목을 삭제하게 된다.

(2) 동적인 경로 할당 기능(혼잡의 해결)

출발노드가 자발적으로 데이터 패킷의 CFlag 필드를 이용하여 해당 경로의 부하 측정을 요구할 수 있다. 이때, 자신의 RCT에 보조경로가 없으면, OFlag에 없음을 표시하여 보내게 된다. 이 데이터 패킷을 전달하는 중간 노드들은 자신의 부하 정보를 데이터 패킷의 Csum 필드에 더하여 전달하게 된다.

데이터 패킷을 수신한 목적지노드는 Csum 필드를 참고하여 해당 경로가 혼잡 경로인지를 확인하고, 혼잡 경로인 경우 데이터 패킷의 OFlag를 참조하여, 출발지노드에 보조경로가 있으면 PCG Type을 갖는 RERR 패킷을 출발지 노드로 전송하여 경로의 혼잡을 알린다. 만일, 출발지노드에 보조경로가 없으면, Flag 필드에 1을 설정하여 RREQ 패킷을 발송하게 된다. PCG Type의 RERR를 수신한 출발지노드는 보조경로로 데이터를 전송하게 되며, 데이터 패킷을 전달하는 중간 노드는 자신의 RMT의 해당항목을 삭제하게 된다. Flag 필드가 1인 RREQ를 수신한 출발지노드는 가장 먼저 도착한 두 개 RREQ 패킷의 정보를 기반으로 경로 유지 및 데이터 전송을 하게 된다.

(3)보조경로의 유지

자신의 RMT에 엔트리가 있으면 자신은 보조경로의 일부이므로 보조경로유지의 기능을 이행한다. 이웃 노드와의 단절이 발생하는 경우 이를 출발지 또는 목적지 노드로 알린다.

3.3. 알고리즘

보낼 데이터를 가진 노드는 자신의 RCT에 해당 도착노드로의 엔트리가 있는 지 살펴보고, 없으면 RREQ를 보낸다. 패기여부를 확인 후 LIST에 자신의 ID를 넣고 브로드 캐스팅한다. 도착 노드에서는 ad-hoc 네트워크의 특성상 다수의 RREQ를 수신할 수 있다. 수신노드는 시간순서대로 도착한 2개의 RREQ에 대해서 RREP을 전송한다. RREP전송 시, 중간노드들은 자신의 Cost를 RREP의 Csum필드에 더한다. RREP를 받는 시작노드의 동작은 알고리즘1과 같다.

[알고리즘 1] 응답을 받은 시작노드의 동작

```

if( 해당 SeqNo로 첫 번째 RREQ 패킷 ) {
    그에 대한 엔트리를 RCT에 생성
    해당 엔트리의 Flag를 1로 세팅
} else {
    if(수신된 RREQ의 CSum이 RCT의 기존 엔트리의 CSum보다 큼) {
        수신된 RREQ에 대한 엔트리를 RCT에 생성
        해당 엔트리의 Flag를 0으로 세팅
    } else {
        수신된 RREQ에 대한 엔트리를 RCT에 생성
        해당 엔트리의 Flag를 1으로 세팅
        기존 엔트리의 Flag를 0으로 세팅
    }
}
PCTR 메시지를 Flag가 0인 경로(보조경로)로 포워딩
    
```

시작노드는 알고리즘 1을 사용해 경로를 설정한 후 RCT의 해당 도착노드로의 엔트리 중 Flag가 1인 경로를 데이터 전송의 주경로로 설정하고 0인 경로를 보조경로로 유지한다. 경로설정후 시작노드는 보조경로로 PCTR메시지를 보내는 데, 이 메시지는 보조경로의 노드들이 자신의 보조경로 구성 노드의 여부를 알린다. 시작노드에서 도착노드로의 데이터 전송시, 시작노드는 주기적으로 데이터패킷(DATA)의 CFlag를 1로 세팅해서 중간노드의 경로 부하리포팅을 유도한다. 이때 DATA의 OFlag는 자신의 경로가 1개일때 1이 세팅되고, 2개이면 0이 세팅된다. CFlag가 1인 DATA를 받은 중간노드는 패킷의 CSum필드에 자신의 Cost값을 더한 후 포워딩한다. 경로 부하리포팅 받은 도착노드의 동작은 알고리즘 2와 같다.

[알고리즘 2] 경로 부하 리포트를 받은 도착노드의 동작

```

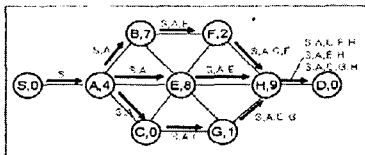
if( DATA의 CSum값이 임계수치를 넘음 ) {
    if( OFlag가 1 ) Flag가 1인 RREQ를 전송
    else PCG메시지를 DATA가 수신된 경로로 통해 시작노드로 포워딩
}
    
```

Flag가 1인 RREQ를 받은 패킷의 폐기여부를 확인한 후, 자신의 부하를 CSum필드에 더하고 브로드 캐스팅한다. Flag가 1인 RREQ를 받은 시작노드는 알고리즘 1과 비슷한 과정을 통해 경로를 설정한다. PCG 메시지를 받은 시작노드는 RCT에서 현재의 경로를 버리고, 보조경로의 Flag를 1로 세팅한다. 주경로로 데이터 전송 시, 경로를 이루는 노드의 이동으로 인해 경로의 단절이 발생할 수도 있다. 이웃 노드와의 링크의 단절은 MAC계층에서 발견하여, 경로가 단절된 경우 끊어진 링크의 양끝단 노드들이 시작노드와 도착노드에게 통보해서, 시작노드는 보조경로를 주경로로 사용하거나, 새로운 경로를 검색한다. 그리고 통보된 메시지를 통해서 보조 경로에 있는 중간노드들은 자신이 보조노드를 벗어났다는 사실을 알게 된다.

3.5 시나리오

3.5.1 경로 발견

S가 D로 경로 요청 패킷을 발송하면, D는 S로 두 개의 경로 응답 패킷을 전달하게 된다. 그림 7은 경로 요청 패킷이 전달되는 과정을 보인다.



[그림 7] S에서 D로의 forward단계

3.5.2 경로 유지

그림 8의 주경로(실선)로 데이터를 보내는 도중 CFlag와 CSum은 도착지노드는 경로에 혼잡이 발생했다고 판단한 후(이 경우 경로의 총부하치가 20을 넘긴 경우 경로가 혼잡이라고 가정하였다.), 데이터패킷의 보조경로가 존재하므로 데이터 패킷의 OFlag는 off이고, 그에 따라 도착노드는 시작노드에게 혼잡이 일어난 경로를 따라서 PCG메시지를 발송한다. PCG메시지를 받은 시작노드는 보조경로로 OFlag가 on인 데이터패킷을 이어서 보낸다.

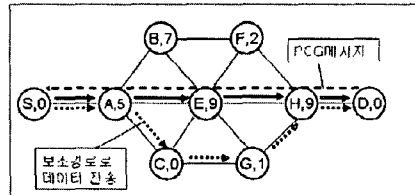


그림 8 경로 혼잡발생의 해결

4. 분석

본 논문에서 제안한 기법과 다른 부하균등 라우팅 프로토콜기법과의 비교는 표 1에서 보인다.

[표 1] 부하 분산 라우팅 프로토콜 간의 비교

	다중 경로	동적경로 할당	혼잡시점리우	비고
LBAR	X	X	x	트래픽 종류당 구별하지 않음
DLAR	X	O	O	시간 의존적인 트래픽에 대한 부하측정 어려움
제안기법	O	O	X	부하측정이 간단하며 다중경로, 동적 할당 기법 가짐

본 논문에서 제안된 기법은 트래픽의 종류 및 시간에 따라 변하는 트래픽에 따른 부하 측정이 가능하다는 장점을 갖는다. 또한 보조경로를 유지하므로, 혼잡 발생시 경로 요청 패킷을 발송할 필요 없이 바로 다른 경로를 사용할 수 있다는 장점을 갖는다.

5. 결론 및 향후과제

부하분산 메커니즘을 지원하지 않는 ad-hoc 라우팅 프로토콜이 사용될 때 특정 노드에 부하가 집중되어 네트워크의 신뢰성, 종단 간 지연시간이 증가하게 될 수 있다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서 부하분산 ad-hoc 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 노드의 부하를 보다 정확히 측정해서 저부하 경로를 설정하며, 데이터 전송 중 혼잡 여부를 확인하여 데이터 전송 경로를 동적으로 변경할 수 있는 기법을 제안하였다. 본 제안 기법은 종단 간 지연시간을 줄이고, 네트워크의 신뢰성을 향상하는 기법이다.

향후과제로는 노드들의 컴퓨팅 파워를 고려한 부하측정 기법에 관한 연구와, RREQ 패킷에 대한 부하를 줄이는 방법에 대한 연구가 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," RFC 2501, IETF, Jan. 1999.
- [2] A. Boukerche, "Performance Comparison and Analysis of Ad Hoc Routing Algorithms," in Proc. of the 2001 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference, Apr. 2001
- [3] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and Y. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad-hoc Networks (DSR)," Internet Draft, IETF, Apr. 2003.
- [4] A. H. Altalhi and G. G. Richard "Load-Based Routing through Virtual Paths: Highly Adaptive and Effective Routing Scheme for Ad-hoc," in Proc. of the 23rd International Performance, Computing, and Communications Conference(IPCCC), 2004
- [5] H. Hassanein and A. Zhou "Routing with Load Balancing in Wireless Ad hoc Networks," In Proc. of the 4th ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, pp 89-96, 2001
- [6] S. Lee, and M. Gerla, "DLAR(Dynamic Load Aware Routing in Ad-hoc networks)," In Proc. of The 3rd IEEE Symposium on Application-Specific Systems and Software Engineering Technology (ASSET 2000), 2000
- [7] A. Nasipuri and S. R. Das, "On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. of the 8th International Conference on Computer Communications and Networks, Oct. 1999