



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

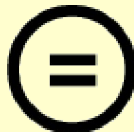
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 박 사 학 위 논 문

Ad hoc 네트워크에서 전력인지 QoS
라우팅 프로토콜



2012년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

컴 퓨 터 공 학 과

김 윤 도

공 학 박 사 학 위 논 문

Ad hoc 네트워크에서 전력인지 QoS 라우팅 프로토콜

지도교수 서 경 룡

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.



2012년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

컴 퓨 터 공 학 과

김 윤 도

김윤도의 공학박사 학위논문을 인준함

2012 년 2 월 24



주	심	공학박사	윤	성	대	(인)
위	원	공학박사	정	목	동	(인)
위	원	공학박사	여	정	모	(인)
위	원	공학박사	박	휴	찬	(인)
위	원	공학박사	서	경	룡	(인)

목 차

Abstract.....	viii
제 1 장 서 론.....	1
1.1 연구 동기 및 배경	2
1.2 선행 연구의 검토.....	3
1.3 MANET 의 전력 문제와 라우팅.....	5
1.4 연구 목적 및 방법.....	7
1.5 논문의 구성	8
제 2 장 관련 연구.....	10
2.1 애드 혹 네트워크.....	10
2.2 MANET 의 고려사항	12
2.3 MANET 라우팅 프로토콜	16
2.3.1 라우팅 프로토콜의 분류.....	17
2.3.2 사전 설정 라우팅 프로토콜.....	20
2.3.3 요구기반 라우팅 프로토콜	22
2.3.4 혼합 라우팅 프로토콜	23
2.4 주요 라우팅 프로토콜	24
2.4.1 DSDV	24
2.4.2 DSR.....	26
2.4.3 AODV.....	31
2.4.4 ZRP	38
2.5 QoS 라우팅	41
2.5.1 라우팅 프로토콜의 정의.....	42
2.5.2 대역폭을 고려한 라우팅.....	44

2.5.3 지연을 고려한 라우팅	45
제 3 장 전력 인지 QoS 라우팅	49
3.1 전력 인지 라우팅	49
3.1.1 전력 고려 방식의 제안	50
3.1.2 라우팅 프로토콜	61
3.1.3 성능평가	71
3.1.4 결론	75
3.2 지연 고려 전력 인지 라우팅	75
3.2.1 홉 지연 조절 메커니즘	76
3.2.2 라우팅 프로토콜	78
3.2.3 성능 평가	87
3.2.4 결론	93
제 4 장 비교 및 분석	95
4.1 전력 인지 방식 비교 분석	95
4.1.1 홉 변화에 따른 전력 인지 방식의 경로 비교	95
4.1.2 경로에 대한 수명 평가 분석	101
4.2 홉 지연 값에 대한 분석	104
4.2.1 홉 지연에 따른 링크 탐색 횟수	105
4.2.2 홉 수에 대한 전력 분석	109
제 5 장 결 론	113
참 고 문 헌	116

그림 목 차

[그림 1] 기반 구조 네트워크(A) 와 애드 혹 네트워크(B) 형태	1
[그림 2] 애드 혹 네트워크 통신 개념도.....	10
[그림 3] 중간 노드를 경유하는 애드 혹 통신	17
[그림 4] MANET 라우팅 프로토콜의 분류.....	18
[그림 6] 링크 상태 라우팅의 링크 비용.....	19
[그림 5] 링크 상태 라우팅의 연결 모양.....	19
[그림 7] 사전 설정 방식에서의 노드의 이동 전파.....	21
[그림 8] 요구 기반 라우팅에서의 경로 요청 시작.....	22
[그림 9] 혼합 라우팅 프로토콜	23
[그림 10] DSR 의 경로 탐색.....	27
[그림 11] 불필요한 우회 경로 통보.....	30
[그림 12] 노드 1 에서 4 로 가는 경로를 찾기 위해서 RREQ 방송.....	32
[그림 13] 목적 노드까지 RREQ 가 방송되는 모양.....	33
[그림 14] 목적 노드에서 RREP 를 전송.....	34
[그림 15] 소스노드로 전달되는 RREP	35
[그림 16] 소스 노드에서 데이터를 전송.....	36
[그림 17] 경로 에러의 전달	37
[그림 18] ZRP 라우팅	41

[그림 19] MANET 토폴로지와 경로의 전송 조건들	42
[그림 20] MANET 라우팅 절차.....	44
[그림 21] 대역폭을 고려한 라우팅 절차.....	45
[그림 22] S에서 D까지 최단 홉 라우팅	46
[그림 23] 전달 지연을 고려한 라우팅 절차	47
[그림 24] 전송 거리에 따른 전송 에너지 소모량 비교	51
[그림 25] 전송 전력 인지 라우팅 경로	53
[그림 26] 전송전력 인지 라우팅 경로요청	54
[그림 27] 전송전력 인지 라우팅 경로설정	55
[그림 28] 잔류 전력 인지 라우팅 설정 경로.....	57
[그림 29] 잔류 전력 인지 라우팅 경로 요청 절차	58
[그림 30] 잔류 전력 인지 라우팅 경로 설정 절차.....	59
[그림 31] 경로 요청 흐름도.....	62
[그림 32] 목적노드 처리 절차(D_NODE_PROCESS) 흐름도.....	63
[그림 33] 경로 설정 흐름도	64
[그림 34] 경로 요청(RREQ) 메시지 포맷.....	65
[그림 35] RREQ 경로 탐색 절차	66
[그림 36] 목적노드에서 RREQ 처리 절차.....	69
[그림 37] RREP 메시지 포맷	70

[그림 38] RREP 처리 절차.....	71
[그림 39] 경로 설정 회수에 따른 패킷 전송 성공률.....	72
[그림 40] 경로 설정 회수에 대한 시스템 잔존 전력.....	73
[그림 41] 경로 설정에 따른 경로 홉의 변화.....	74
[그림 42] 경로 요청 순서도.....	79
[그림 43] 목적노드 처리 절차 순서도.....	80
[그림 44] 경로 설정 흐름도.....	81
[그림 45] RREQ 처리 절차.....	83
[그림 46] 목적노드에서 RREQ 처리 절차.....	85
[그림 47] RREP 처리 절차.....	87
[그림 48] 경로 설정에 따른 패킷 전송 성공 율.....	89
[그림 49] 경로설정에 따른 시스템의 잔존전력.....	90
[그림 50] 경로 설정에 따른 상대 전달 지연.....	91
[그림 51] 경로 설정에 따른 상대 소요 전력.....	92
[그림 52] 2 홉(최소 홉)으로 선택되는 각 방식의 경로들.....	96
[그림 53] 3 홉으로 선택되는 각 방식의 경로들.....	97
[그림 54] 4 홉으로 선택되는 각 방식의 경로들.....	99
[그림 55] 5 홉으로 선택되는 각 방식의 경로들.....	100
[그림 56] D=0 일 경우의 링크 탐색 횟수.....	105

[그림 57] $D=1$ 일 경우의 링크 탐색 횟수.....106

[그림 58] $D=2$ 일 경우의 링크 탐색 횟수.....107



표 목 차

[표 1] 거리 백터 라우팅의 거리 테이블의 예.....	20
[표 2] 각 전력 인지 방식에 대한 각 경로들의 비교 분석표.....	102
[표 3] D 값 설정에 따른 경로 탐색 전력 소모.....	108
[표 4] 각 흡의 평균 비교 표	110



Power Aware QoS Routing Protocol for ad hoc Networks

Yoon do Kim

Department of Computer Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

In the ad hoc networks, the limitation on the availability of power for operation is a significant bottleneck, given the requirements of portability, weight, and size of mobile devices. Hence, the use of routing metrics that consider the capabilities of the power sources of the network nodes contributes to the efficient utilization of energy. This paper presents a QoS routing protocol that minimize the power consumed by a packet in traversing from source node to the destination node. Results obtained of simulation show that, with our approach we can reduce the power consumption of nodes and increases the life time of the network.

Power aware routing protocol of MANET(Mobile Ad hoc Network) minimized the power consumption of each node and helped to extend the duration of the network. But due to the nature of the protocol, it tends to increase the delay transmission, so multimedia transmissions were difficult to apply. In this paper, power aware routing protocol is proposed considering the delay transmission that can be applied to Ad hoc network. The proposed protocol consider two conflicting index,

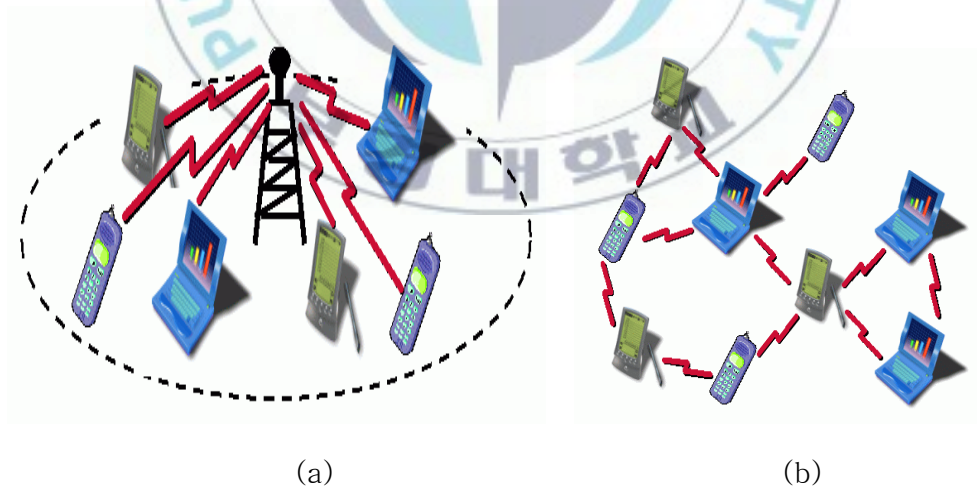
delay transmission and power consumption at the same time, maintaining a certain level of delay transmission while minimizes the power consumption.

In Simulation, we compared to not-considering delay transmission are, delay transmission significantly decreased by 30% while the power consumption less than 10% increased.



제 1 장 서 론

오늘날 휴대폰과 같은 개인용 정보 통신 기기들의 보급이 확대되어 생활의 필수품이 되어가고 있다. 특히 스마트폰과 같은 고성능의 기기들은 통신속도도 빠르고 CDMA, 와이파이, 블루투스 등의 여러 가지 무선 통신 기능을 지원하고 있어 실 생활에서 이동 중에서도 항상 네트워크에 연결될 수 있을 뿐만 아니라 주변 기기나 이동 기기들 간의 연결도 쉽고 간편하게 할 수가 있다. 그러나 다른 한편으로는 기반 통신 시설이 설치되지 않은 산간 오지나 통신 음영 지역과 기반 시설이 파괴된 전쟁, 재해, 정전 지역 같은 경우 급하게 통신이 필요한 경우에는 큰 불편을 느끼게 된다. 이럴 때 긴급하게 대체할 수 있는 통신 방식이 애드 혹 네트워크이다.



[그림 1] 기반 구조 네트워크(a) 와 애드 혹 네트워크(b) 형태

그림 1 은 기반 구조 네트워크(a) 와 애드 혹 네트워크(b) 형태를 보여 준다. 기반 구조 네트워크는 액세스 포인트나 라우터(Router) 같은 기반 시설이 있는 구조이며, 애드 혹 네트워크는 이러한 기반 시설 없이 단말 들간에 P2P(Peer to Peer)통신과 중간 노드의 중계 역할을 통해서 통신을 하는 방식이다.

1.1 연구 동기 및 배경

애드 혹 네트워크는 "ad hoc network"라고 쓰며, “계획되지 않은 네트워크”, “임시변통의 네트워크”로 번역할 수 있다. 애드 혹 네트워크는 주로 무선 네트워크에서 사용되는 기술이며, “무선 애드 혹 네트워크”로 표기하는 것이 정확한 표현에 가깝지만 일반적으로 애드 혹 네트워크로 표기한다. 애드 혹 네트워크는 무선통신기능과 망 형성 기능을 가진 둘 이상의 장치들의 집합체로서 장치들 간에는 전송 범위 안에 있거나 전송 범위 외부에 존재하면서, 소스로부터 전송되는 패킷을 중간 노드가 목적 노드로 전달해 줌으로써 네트워크 하부 기반시설(Infrastructure) 없이 통신이 이루어지는 무선 통신망을 의미한다. 애드 혹 네트워크는 이동성이 크게 없는 무선 센서 네트워크(WSN)와 항상 노드들의 이동성을 전제로 하는 이동 애드 혹 네트워크(MANET)로 분류해 볼 수 있다. MANET은 주소 중심(Address-centric)적 특성을 가지며 이에는 PDA, 노트북컴퓨터, 휴대전화기, 기타 휴대용 기기들로 네트워크가 구성된다. 구성 노드들의 이동성 때문에 토폴로지의 변화가 일어나므로 프로토콜이나 애플리케이션은 이러한 특성을 감안하여 설계하여야 한다. MANET에서는 통신이 필요 할 경우 노드 간 직접적인 접근을 하여 데이터를 전송하고 만약 직접적으로 접근 할 수 없는 경우 목적노드까지의 중간 노드를 경유하여 데이터를 전송한다. 이로 인해

목적노드로 통신을 위한 수많은 경로가 존재 할 수 있으므로 적절하게 목적노드까지의 경로를 구하는 라우팅 프로토콜이 필수적이다.

보통의 유선 라우팅에서는 토폴로지가 고정되어 있어 회선속도, 전송지연, 회선 신뢰도, 회선 사용량, 홉 수, 최대 전송 단위 등의 요소로 메트릭 숫자를 만들어 라우팅 테이블을 만들고, 라우팅 테이블을 검색해 데이터를 전송한다. 그러나 MANET에서는 망을 구성하고 있는 노드들이 이동성이 있다는 것이 주요한 특성으로서, 네트워크에 새로운 노드가 추가되거나 기존의 노드들 중에서 한 개나 그 이상의 몇 개가 망으로부터 빠져나가는 것을 망의 새로운 배치로 받아들여지고, 이러한 노드의 위치 변경은 결과적으로 연결의 변화나 망의 재구성을 가져오게 한다. 또한 노이즈나 간섭 같은 무선통신의 특성으로 인하여 두 노드 간의 연결은 끊임없이 변화가 생길 수 있다. 따라서 애드 hoc 네트워크에서 어느 순간의 연결성을 논할 때 앞에서 말한 그런 요인들을 무시하고 얘기할 수는 없는 일이며, 연결이라는 것은 현실적으로 개연성의 문제로 볼 수가 있게 된다. 따라서 MANET에서의 라우팅은 사전 결정 테이블 방식 보다는 데이터를 전송 할 시점에 목적 노드를 찾아 경로를 탐색하는 요구기반 방식을 더 많이 선호한다. 요구 기반 방식은 소스 노드에서 목적 노드 찾기 위해 경로 요청 메시지를 방송하는데, 이때 전력 상황을 고려하여 경로를 탐색하거나 QoS 지원을 위한 경로를 탐색하여 그에 알맞은 경로를 선택 할 수 있다.

1.2 선행 연구의 검토

MANET(Mobile Ad hoc NETwork)은 군사적 목적으로 연구, 개발되었으나 특유의 유연성에 힘입어 재해환경, 인프라 구성이 어렵거나 비용이 소모되는 한시적 네트워크, 홈 네트워크 등에 광범위하게 활용될

수 있다[1-4]. MANET은 노드들의 이동성으로 인하여 각 노드들은 통상적으로 주 전력을 제한적인 전력을 가진 배터리를 사용 함으로써, 네트워크를 구성하는 각 단말들이 배터리를 전부 소모하게 되면 해당 노드는 라우팅 경로에 참여 할 수가 없다. 따라서 네트워크 시스템의 수명을 연장하기 위해서는 전력 소모를 줄이는 것이 필수적이다. MANET의 전력 소모는 기기 내부의 처리에 소모되는 전력과 외부와의 통신에 소비되는 전력으로 구분 할 수가 있다. 내부처리에 소모되는 전력은 비교적 소모량이 적고, 외부와의 통신을 위한 전파 방출에 소비되는 전력 소모는 매우 큰 특성이 있다. 외부 기기와의 통신을 위한 전파 방출시의 전력 소비는 통신 거리와 경로 설정 방법에 따라서 전력 소모량에 있어서 차이가 많이 발생되고, 중간에서 중계하는 기기들의 전력 소모도 같이 발생하는 것으로서, 전체 네트워크 시스템의 수명을 연장 하기 위해서는 통신 경로 설정시의 전력에 대한 고려가 필수적이다. 이 때문에 전력소비를 고려한 다양한 라우팅 프로토콜이 개발되었다[5-8,59].

현재 국내에서는 아직 MANET 라우팅에 대한 연구가 부족하고, 전력 인지 라우팅 방식에 대한 연구도 아직 시작 단계이므로 이에 대한 연구 자료를 찾기 힘들다. 그나마 조금 있는 전력인지 라우팅에 대한 대부분의 연구가 WSN과 관련된 연구로 MANET에서 적용하기는 문제가 있다. WSN에서는 노드의 이동성이 거의 없고 지연이나 대역폭과 같은 QoS를 잘 고려하지 않기 때문이다.

우리나라에서도 이제는 ICU, KAIST, 서울대 등 대학을 비롯한 많은 기관에서 MANET의 실용적인 연구를 하기 시작하였고, 한국전자통신연구원에서도 상용화 추진을 목표로 장기적인 연구 개발을 시작하였다. 최근 들어 MANET에 기반한 WPAN이나 홈 네트워킹 등의 어플리케이션이 점차 실생활에 응용이 되고 있고, Ubiquitous

Computing이나 Pervasive Computing 등 좀 더 진보된 형태의 네트워크 출현이 예측되고 있는 현실을 감안하면 MANET에 대한 연구도 지속적으로 발전할 것으로 전망된다

1.3 MANET의 전력 문제와 라우팅

MANET 통신은 직접적인 통신이 불가능할 때 중간에 있는 다른 기기들의 중계를 통한 통신을 하기 때문에, 자신의 전력 소모는 물론이고 중계하는 기기들의 중계 전력 소모도 같이 고려되어야 전체 시스템의 수명이 길어진다. 그러므로 전력을 고려한 통신 경로를 설정하는 것은 시스템의 수명과 직결되는 대단히 중요한 것이다.

MANET에서 가장 치명적인 것이 전력문제 인데, 전력 인지 라우팅 연구의 대부분이 전체 전송 전력이나 경로상의 노드들의 잔류 전력 합을 고려 함으로써 개별 노드의 전송 수명을 고려하지 못하고 있다. 좀더 완전한 전력인지 라우팅은 경로상의 전송 전력과 잔류 전력을 모두 고려하는 방식이 필요하며 각 노드의 전력 상태와 해당 경로 전체의 수명도 고르게 반영할 필요가 있다. 즉 애드 혹 네트워크의 통신 경로 설정 시에는 개별 노드의 수명을 반영 해야 하며, 경로의 평균 적인 수명도 반영하여 수명이 가장 긴 경로를 설정하되 멀티미디어 전송을 위해서는 QoS에 대해서도 고려하여야 한다.

멀티미디어 전송에 있어서 QoS 요소 중 하나인 대역폭의 경우 전력소비와 관련하여 거의 독립적으로 설정되는 지표이기 때문에 비교적 쉽게 특정 대역폭을 만족하면서 전력 소비를 최소화 하는 경로를 구할 수 있다. 하지만 전달 지연의 경우 근거리에 있는 노드를 경유하여 목적 노드에 도착할 경우 전력 소비는 줄어들지만 전달 지연이 늘어난다. 이와

같이 전달 지연과 전력 소비와는 서로 상충되므로 상충하는 요소들을 서로 절충시키는 메커니즘도 필요하다.

통상의 전력인지 라우팅 프로토콜은 통신이 필요한 각 노드간의 경로를 설정함에 있어서, 그 경로에 소모되는 전송 전력을 최소화 하도록 한다. 그러나 이러한 전송전력 인지 라우팅에는 중간노드의 잔존 전력을 고려하지 않아 잔존 전력이 적은 노드가 경로에 포함되면 경로의 수명이 짧아 지는 문제가 발생할 수 있는데, 본 논문에서는 이러한 점을 개선하여 각 노드의 잔존 전력 상태를 경로 설정에 반영 하도록 한다. 이러한 전력 인지 라우팅에서 얻을 수 있는 이점은 시스템의 생존시간을 최대한 늘리는데 있다.

멀티미디어 전송에서는 전송 품질(QoS)을 보장해야 하는데, 통상의 전력인지 애드 혹 라우팅에서는 많은 노드를 경유함으로써 전송 품질이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 멀티미디어 전송을 위해서 MANET 라우팅에서 고려되는 QoS로는 크게 대역폭과 전달 지연이 있다[9,10]. 대역폭은 무선 통신에서 사용되는 주파수의 범위이며, 대역폭이 클수록 데이터의 전송량은 늘어나지만 로스 패킷도 늘어나는 경향이 있다.

전달 지연은 데이터를 보내고자 하는 소스노드에서 데이터가 도착되어야 하는 목적노드까지의 전송시간이다. 전달 지연의 경우 소스 노드에서 목적 노드까지의 수많은 경로 중 얼마나 많은 노드를 거치고 가느냐에 따라 전송시간은 확연히 차이가 난다. 그러므로 홑 수를 줄여서 전달 지연을 줄이도록 라우팅을 하지만, 무선 통신의 특성상 전송 홑 수를 줄이면 전송 거리가 멀어져 전송하는 노드의 전송 전력 소비가 크게 증가하는 경향이 있어 이에 대한 연구가 필요하다.

1.4 연구 목적 및 방법

배터리를 주 전원으로 사용하는 MANET에 있어서 다른 것보다 중요한 것이 시스템의 수명과 직결되어있는 전력 문제라고 볼 수 있다. MANET에서 전력은 가장 치명적인 것으로써 전력이 고갈되면 시스템의 모든 기능과 서비스가 종료되기 때문이다.

본 논문에서의 연구 목적은 애드 혹 네트워크 통신 경로 설정에서 QoS를 보장하면서 전력을 고려하는 라우팅 프로토콜을 제안하여, 애드 혹 네트워크 시스템의 수명을 늘리고자 하는 것이다. 애드 혹 네트워크 시스템의 수명을 늘리기 위해서 첫 번째로 수명 비교 방식의 전력인지 라우팅을 제안 하고, 두 번째로 QoS 보장을 위한 지연 고려 전력 인지 라우팅을 제안 한다. 지연 고려 전력 인지 라우팅은 전력 인지 라우팅에서의 홉 지연을 제한하기 위해서, 전달지연이 일정범위 안에 있는 경로의 집합을 구하고, 여기에서 전송 수명이 가장 긴 경로를 선택 하여 시스템의 수명이 오래 유지 될 수 있도록 한다. 요구기반(reactive) 라우팅 프로토콜의 하나인 AODV 방식을 사용하고 RREQ 방송 시 노드의 잔류 전력과 전송 소비 전력 이 두 가지를 다 고려하여 각 노드의 전송 수명을 먼저 계산한다. 다음으로 경로상의 노드들의 평균 수명과 최소 수명을 조사하여 이 둘의 평균을 구하여 경로의 평가 값으로 한다. 목적 노드에서 이 평가 값을 다른 경로의 평가 값과 비교하여 평가 값이 가장 큰 경로를 선택하여 소스 노드에게 경로를 회신한다.

전력 인지 라우팅의 단점인 홉 지연을 제한하기 위해서 동적인 홉 지연 조절 메커니즘을 구현한다. 구현 방법은 경로 탐색 단계에서 소스로부터 각 노드까지의 최소 홉에 지연 허용 범위 값을 패킷에 추가 하여 RREQ(Route Request)를 방송 한다. 이는 전력 인지 방식에서 홉

제한 없이 RREQ를 방송 하던 것을 일정 범위로 홉(hop) 지연을 제한 하여 과도한 홉 지연을 방지하는 역할을 위해서이다.

MANET에서는 시작노드에서 목적노드까지의 전송품질을 다루는 QoS(Quality of Service), 주 전력을 배터리로 사용하면서 야기되는 네트워크 시스템의 생존시간을 다루는 전력소비, 무선 통신에서 태생적인 문제인 보안등이 고려되어야 할 중요한 사항이다. 이 중 본 논문에서는 MANET의 경로 탐색에서 전력을 고려하여 시스템 생존시간을 최대로 늘리기 위한 라우팅 프로토콜과 이로 인해 발생하는 홉 지연을 조절하는 메커니즘에 대한 연구로써 WSN에도 준용 할 수 있다

스마트 기기들의 상용화와 유비쿼터스 시대가 도래하면 모든 사물과 사람은 네트워크로 연결되는 세상이 온다. 제안된 전력 인지 방식과 홉 지연 조절 메커니즘은 주로 배터리를 사용하는 애드 혹 통신인 MANET이나 WSN등에서 통신 경로를 찾을 때 사용할 수 있으므로, 군 작전 시 대원간 장비간 통신, 긴급 재해 지역 통신, 일시적인 대형 행사나 전시회, 휴대폰 음영지역 연결, 홉 네트워크, 차량간 통신이나 센스 네트워크 등에 활용되어 배터리의 소모를 절감하여 시스템의 수명을 연장 하는데 크게 기여 할 수 있을 것이다.

1.5 논문의 구성

본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구로 애드 혹 네트워크와 라우팅 프로토콜에 대해서 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 전력인지 QoS 라우팅 프로토콜에 대한 설명으로, 전력 인지 라우팅 프로토콜 부분과 지연을 고려한 전력인지 라우팅 프로토콜 부분을 따로 설명하고 두 가지 방식 각각의 라우팅 프로토콜과 성능평가와 결론을 서술한다. 4장에서는 비교 및 분석으로 3장에서 제안한 전력 인지 방식들을 비교

분석하고, 흡 지연 조절메커니즘의 지연 값 변화에 따른 시스템의 수명변화에 대해서 분석 한다. 그리고 마지막 5장에서 전체적인 결론을 내린다.



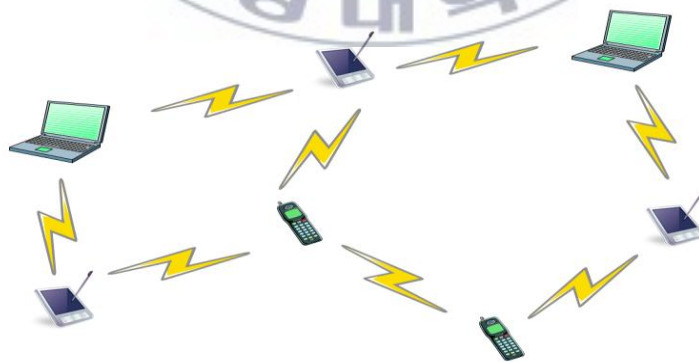
제 2 장 관련 연구

이 장에서는 기존의 애드 혹 네트워크와 MANET에 대해 살펴보고 라우팅 프로토콜에 대해서 소개한다. 그리고 MANET의 고려 사항과 여러 과제들을 살펴봄으로써 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜의 필요성에 정당성을 부여하고자 한다.

2.1 애드 혹 네트워크

무선 애드 혹 네트워크는 액세스 포인트와 같은 인프라 기반이나 중앙 집중 관리자가 없는 환경에서 서로 직접적인 무선 전송 범위에 위치하지 않은 단말기 간의 원활한 통신을 위해 다중 홉 무선링크로 구성되어 여러 개의 중간 단말기들의 데이터 전송과 경로 라우팅에 의존하는 형태의 통신망이다.

그림 2는 애드 혹 네트워크의 통신의 개념도를 나타내었다.



[그림 2] 애드 혹 네트워크 통신 개념도

애드 혹 네트워크는 기반 인프라의 구축이 없이 짧은 시간 내에 통신망을 구성하는 장점을 가진 통신망이라 할 수 있으며 아직 해결해야 할 문제점들이 많이 남아 있긴 하지만, 이미 우리 일상생활에 까지 깊숙하게 들어와 있는 통신 시스템이라 하겠다. 애드 혹은 아래와 같이 MANET과 WSN으로 분류[60]하여 볼 수 있다.

(1) MANET

MANET(Mobile Ad hoc NETwork)이란 사전계획이나 예측 불가능한 노드들의 이동성으로 인하여 빈번히 일어나는 토폴로지 변화에 대응하면서, 기존의 통신 인프라에 의존하지 않으며 단말기의 이동에 빠르게 대응하기 위해서는 모든 단말노드들이 호스트(host)인 동시에 라우터(Router)로서의 역할이 필요한 협력체제에서 결여된 기능을 노드들 스스로가 맡아 통신망을 구성할 수 있어야 한다.

MANET은 초기에는 군사적인 목적으로 연구가 시작되었으나 네트워크의 기술발달로 인해 여러 가지 상업적인 응용분야가 나타나고 있다. MANET은 네트워크에 속하는 각 이동 단말들 상호간의 통신 시 다중으로 이동단말들을 경유 하여 통신하는 무선 네트워크이며 이동 단말들의 유동적인 움직임으로 인해 네트워크의 토폴로지가 동적으로 변하는 네트워크이다. 각 이동 단말들의 주된 사용 전력은 배터리이므로 네트워크를 유지 하는데 한계를 가지는 네트워크이기도 하다.

(2) WSN

WSN(Wireless Sense Network)은 애드 혹 형태의 통신망을 구성하면서 적게는 10개미만의 숫자에서부터 애플리케이션의 필요에 따라

많은 수 십만 개의 감지 부분(Sensing Component), 데이터 처리 부분(Data Processing Component), 통신 부분(Communicating Component)으로 이루어진 다 기능의 센서들의 통신망인 WSN은 MANET과는 또 다른 특성들을 가지고 있다. WSN의 노드들은 소형화, 저가화, 저 에너지 소모적이며 동정 추적(target tracking), 데이터 수집, 감시기능 등에 적합하며 WSN의 센서는 특정 응용에 적합(Application-Aware) 해야 한다. MANET 은 이동 단말기이기는 하나 필요 경우 배터리를 교체나 충전이 가능하지만 WSN은 한번의 배치로 배터리가 소진되면 수명이 다 하는 것이 일반적이다. WSN은 일반적인 용도로 네트워크를 구성한다기보다는 특수한 목적으로 사용되므로 특정 응용을 알고 그 용도에만 서비스해야 하는 점이 MANET과는 다르다.

2.2 MANET의 고려사항

MANET은 고정된 인프라가 없는 환경에서 제한된 전송 범위를 가지는 이동 노드들로 구성되어, 노드의 이동성이나 자율성 무선통신 등의 특성과 관련된 많은 고려 사항이 있다. 이러한 이슈나 고려 사항들에 대해서 간단하게 살펴본다.

(1) 물리/링크 계층 특성

MANET에서는 제어를 담당하는 중앙 모듈이 없이 Peer-to-Peer 통신을 하기 때문에 모든 노드는 공유된 채널을 통해 접근해야 하며, 이동 단말 간에 상호 간섭이 최소화되어야 한다. 따라서 동일한 채널을 공평하고 효율적으로 사용해야 한다. 네트워크에서의 MAC프로토콜과 관련된 연구들은 애드 혹 네트워크에서의 대표적인 문제인 숨은 터미널

문제를 해결하는 방법이 대부분이었지만, 최근에는 다중 채널사용, 방향성 안테나 사용, 효율적인 전력 사용 방법 등을 포함하고 있다. MANET은 일반적으로 가까운 거리의 통신을 가정하고 있다. 각각의 단말 노드가 보통 배터리에 의해 동작하기 때문이다. 이동 노드 간에 직접적인 통신이 가능하기 위해서는 싱글 홉은 물론이고 멀티 홉 라우팅에 의해서 단일 홉 밖에 있는 노드들 간에도 통신이 가능하게 할 수 있다. 먼 거리의 노드와의 통신을 위해서는 중간 노드에서의 라우팅 릴레이 기능을 이용하여 가능 할 수 있다. 싱글 홉 라우팅만이 지원되는 경우는 layer-3 이상에서 라우팅 프로토콜의 추가에 의해 멀티 홉 라우팅이 가능하게 할 수 있다. 멀티 홉 라우팅에 관해서는 많은 라우팅 연구가 진행 되고 있다.

(2) QoS

기술이 발전함에 따라 각 네트워크를 구성하는 단말들의 성능은 크게 향상되었으며 성능 향상에 힘입어 전송을 요하는 데이터의 형태도 기본적인 문자나 숫자에서 다양한 멀티미디어 데이터인 그림이나 사진, 음성, 영상 데이터 등등 매우 다양해 졌다. 네트워크에서 멀티미디어 데이터를 전송 할 때 특정한 통신품질이 필요한데 이를 QoS(Quality of Service)전송 이라고 한다. 네트워크시스템에서의 QoS 라우팅은 RFC 2386에서 근원지에서 목적지까지 패킷을 전송할 때 네트워크가 제공 해야 할 서비스, 종단간의 전송 지연, 지터, 대역폭, 패킷 손실 률 등의 집합으로 규정되어 있다. 경로가 설정되면 그 경로를 통하여 데이터 전송이 이루어지고 네트워크의 자원을 소비하게 되는데 이를 정량화 하기 위하여 네트워크 모델에 따라 다양한 매트릭을 사용하게 된다. MANET에서는 무선 링크의 품질이 주변 환경에 따라 쉽게 변하기

때문에 링크 상태 정보를 얻고 관리하기가 매우 어렵고, 단말기의 이동성으로 인하여 QoS 지원[10]을 위한 전략은 더욱 복잡해질 수밖에 없다.

전송지연 D 는 중요한 지표 중 하나이다. 링크 (i,j) 의 전송지연을 $D(i,j)$ 라고 하면 $D(s,d) = \sum_{(i,j) \in R(s,d)} D(i,j)$ 는 종단 간 경로 $R(s,d)$ 의 전체 전송지연이 된다. 이 경우 $D(s,d)$ 를 최소화 하는 경로를 구하는 것이 전송지연 조건의 라우팅 프로토콜이라 한다. 전송지연 지표는 사용하는 라우팅 프로토콜에 따라 다르게 계산된다. 본 논문에서는 문제를 단순화하기 위하여 전송지연의 여러 항목들 중 홑을 사용하였다. 하지만 현실적인 응용프로그램은 좀 더 다양한 제약조건을 필요로 한다.

대역폭은 링크 설정 시에 유휴 대역폭을 검사하여 고려 할 수 있다. 대역폭 W 를 고려하는 경우 라우팅 프로토콜은 링크 (i,j) 의 대역폭을 $W(i,j)$ 로 표시하면, $W \leq W(i,j) : (i,j) \in R(s,d)$ 를 만족하는 종단 간 경로 $R(s,d)$ 를 구하는 것으로 된다.

(3) 에너지 관리

MANET에서 사용되는 단말들은 대부분 배터리를 주 전력으로 사용한다. 각 단말들은 MANET를 구성하는 링크 이며 단말노드가 배터리의 전력을 완전히 소모함으로써 네트워크가 단절되는 현상이 일어난다.

현실적으로 배터리를 사용하는 MANET는 계속 유지될 수 없다. 다만 에너지 관리를 통한 네트워크 단절현상을 감소시켜 전체 시스템의 수명을 연장시키는데 큰 의미가 있다.

(4) 응용분야

MANET은 천재지변이나 갖은 재난으로 인해 기반 통신 시설의 이용이 불가능 할 경우, 긴급 조난 지역에서 구조 활동을 위해 신속한 통신 경로 구성을 필요로 하는 긴급 서비스(Emergency Service), 오염 및 위험 지역 또는 접근 성이 어려운 지역, 회의장이나 전시장 등 임시적으로 많은 사람들에게 동시에 데이터 전달이 필요한 경우 등에 응용할 수 있다. 또 전쟁터에서 작전 수행을 위해 장비나 군인간의 통신, 데이터 교환이 필요한 경우에도 이용될 수 있고, 사무실에서 개인 장비간의 PAN(Private Area Network)을 구성하는 경우나 가정에서 정보, 통신, 가전 기기간의 네트워크를 구성하는 경우에도 이용될 수 있다. 또한 이동 통신의 음영 지역에 통신 범위의 확장을 위하여 중간 전달 역할로써 MANET가 응용될 수 있다.

(5) 보안

애드 혹 네트워크의 요구되는 보안은 다른 유무선 통신 네트워크의 보안에서 요구되는 기본적인 인증, 비밀성, 무결성 등 여러 항목들과 동일하다. 그 중에서 중요시 되는 부분은 애드 혹 네트워크가 무선으로 통신을 함으로 인해 생기는 매체의 신뢰도이다. 무선 통신의 특성상 신뢰도가 유선 통신에 비해 낮으므로 암호를 사용할 수밖에 없어 암호 키에 크게 의존한다. 그러므로 각 노드 별로 신뢰할 수 있는 관계를 형성하고, 네트워크 내에 있는 각 노드 별로 이 키를 분배하는 것이 애드 혹 네트워크 보안의 주된 과제이다. 보통의 애드 혹 네트워크에서는 공개키 암호화 방식을 사용하고 있다. 공개키 암호화 방식은 지정된 인증단말에 의해 제공되는 암호 키를 사용하는 방식이다. 예를 들어, 애드 혹 네트워크 내에 A, B, C 라는 각 그룹들이 존재한다고 가정했을 때,

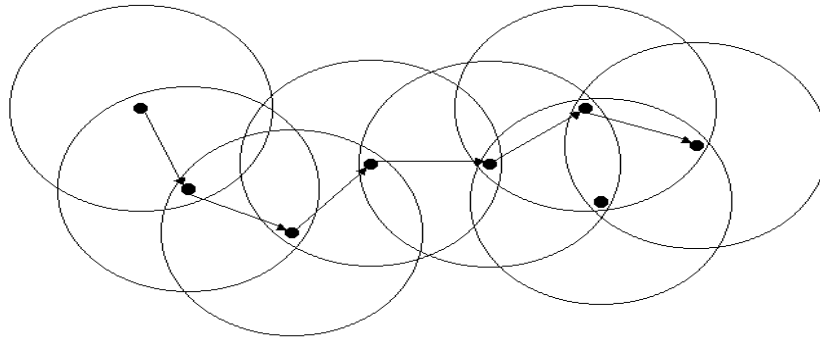
그룹 A의 대표 노드는 신뢰 위임 절차를 주도하며 서버 노드 역할을 한다. 그러면 각개 그룹의 대표 노드들은 자기 그룹이 정한 공개 키를 다른 그룹과 교환하며 그룹간의 신뢰관계를 형성하게 된다.

2.3 MANET 라우팅 프로토콜

1970년대 이후 미 국방성의 지원 하에 MAENET의 연구가 시작되었으며, 이동 노드들의 집합체에서 통신하고자 하는 두 노드가 직접 연결 가능한 범위 이내가 아니라 하더라도, 경로상의 다른 참여 노드들의 패킷 전달과 같은 협력체제가 구성되어 통신이 이루어 질 수가 있게 된다. 따라서 애드 혹 네트워크에서의 보다 유리한 경로탐색 방법의 연구를 위하여 많은 라우팅 프로토콜들이 제안되었다.

애드 혹의 네트워크의 작동 방식은 흩어져 있는 노드들끼리 서로 자율적으로 통신을 하는 구조의 네트워크이다. 이러한 구조에서는 중간에 제어하는 노드가 없으므로 각 노드들은 자신이 가질 수가 있는 정보를 최대한 활용하여 통신을 해야 하고 먼 거리의 노드와의 통신에는 다른 노드들을 경유하여 통신한다. 이에 따라 통신 조건에 맞는 경로를 구하는 라우팅 방식이 필요하다.

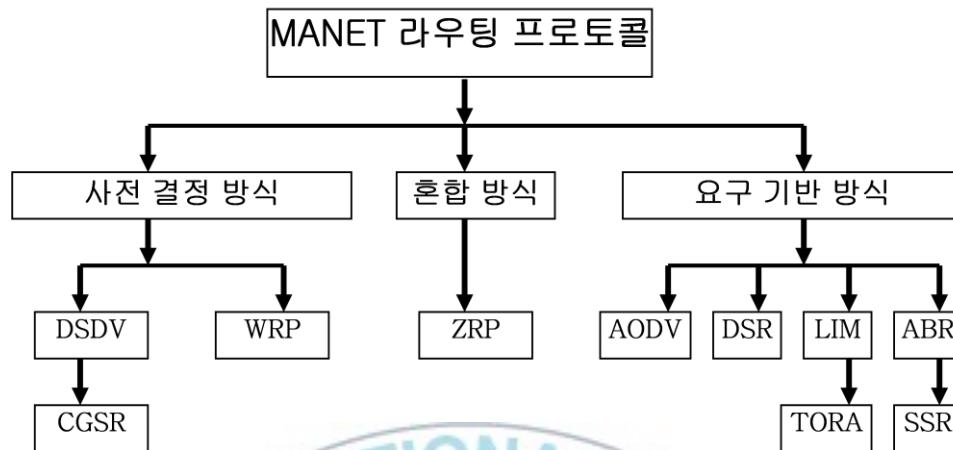
그림 3은 중간 노드를 경유하는 애드 혹 통신 방식을 나타낸다. 주파수가 도달하는 범위내의 다른 노드들의 중계를 통해서 목적하는 노드와 통신이 가능하다.



[그림 3] 중간 노드를 경유하는 애드 혹 통신

2.3.1 라우팅 프로토콜의 분류

라우팅 프로토콜은 크게 보아서 다음과 같이 분류가 가능하다. 소스에서 메시지의 헤드에 경로를 삽입함으로써 중간 노드들은 전달만 행하는 중앙 집중 형과 각 노드가 다음 노드를 계산하여 찾아가는 분산 형, 또한 각 노드가 테이블을 유지하는 고정(Static)형과 네트워크의 부하상태와 밀도에 따라 경로를 선택하는 다이나믹 형, 그리고 전체 네트워크를 편평(Flat) 한 토폴로지로 취급하는 평면형과 네트워크를 본질적으로 계층적(Hierarchical)이라고 생각하는 계층 형, 또한 분산 형에서 다음 노드의 계산을 위하여 정보유지가 필요한, 따라서 라우팅 테이블 유지를 위한 오버헤드가 많이 발생하는 고정형과 그러하지 않음으로써 경로를 그때마다 탐색하여 긴 지연이 발생하는 비 고정(Stateless) 형 등으로 MANET과 WSN의 라우팅 프로토콜들을 크게 나누어 생각할 수 가있다

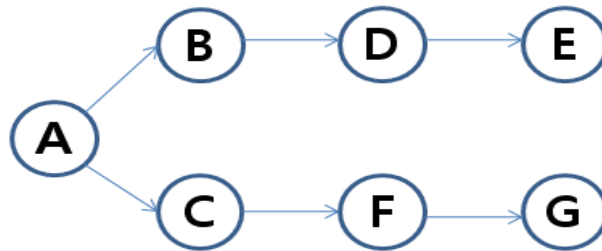


[그림 4] MANET 라우팅 프로토콜의 분류

그림 4는 MANET 라우팅 프로토콜의 분류를 보여 준다. 우선 라우팅 프로토콜을 메시지를 보내려고 하는 소스 노드가 목적 노드까지 경로를 탐색하는 방법에 따라 사전 설정(Proactive, Table-Driven) 방식, 요구 기반(Reactive, On-Demand) 방식, 혼합 방식(Hybrid)의 3가지로 나누어 질 수 있는데, 사전 설정 방식에서는 모든 경로들이 실제 필요한 시점이 오기 전에 계산되고, 요구 기반 경우는 데이터 전송이 필요 할때 경로를 찾게 되는 것이며, 혼합 방식은 이 두 가지를 다 활용한다.

또한 다음 홉(Next-Hop) 라우팅, 소스 라우팅, 링크 상태(Link-State) 라우팅 그리고 거리 벡터(Distance-Vector) 라우팅 등으로 탐색 방법에 따라 분류하기도 하는데, 우선 다음 홉(Next-hop) 라우팅의 개념은 각각의 노드가 어떤 임의의 목적 노드의 경로 선택을 위한 이웃 노드로서 다음 홉을 유지하는 라우팅이고, 그와는 대조적으로 소스 라우팅은 각각의 목적 노드까지 이를 수 있는 전체 경로를 소스가 가지고 있다. 또 링크 상태 라우팅 이라는 개념은 모든 목적 노드까지 이르는 나가는 링크(Outgoing link)의 링크 값을 주기적으로 방송하고, 노드들이 이러한 정보를 얻으면 네트워크 토폴로지를 갱신함으로써 각 노드는 네트워크

토폴로지를 전체적으로 알게 되며, 각 노드는 최단경로 알고리즘에 따라 목적노드로 이르는 최적의 경로를 결정 할 수 있다.



[그림 5] 링크 상태 라우팅의 연결 모양

목적 노드	다음 홉	비용
E	B	3
F	C	2
G	C	3

[그림 6] 링크 상태 라우팅의 링크 비용

그림 5와 그림 6은 링크 상태 라우팅의 연결 모양과 링크 비용(links cost) 테이블을 보여준다. A노드에서 목적 노드에 대한 다음 노드 ID와 홉 수의 비용 정보를 가지고 있다. 다음으로 거리 벡터 라우팅 은 목적 노드 x에 대하여 호스트는 거리 벡터인 $\{dij(x) | j \text{ is a neighbor of } i\}$ 의 거리를 유지한다. 그리고 모든 j에 대하여 $dik(x)$ 가 최소인 k가 다음 홉이 된다. 또 업데이트는 모든 노드가 자신의 나가는 링크의 비용을 살펴보고 모든 이웃 노드들에게 주기적으로 최단 경로에 대한 현재의 계산 값을 발송한다.

표 1은 거리 백터 라우팅의 거리 테이블의 예를 보여준다.

[표 1] 거리 백터 라우팅의 거리 테이블의 예

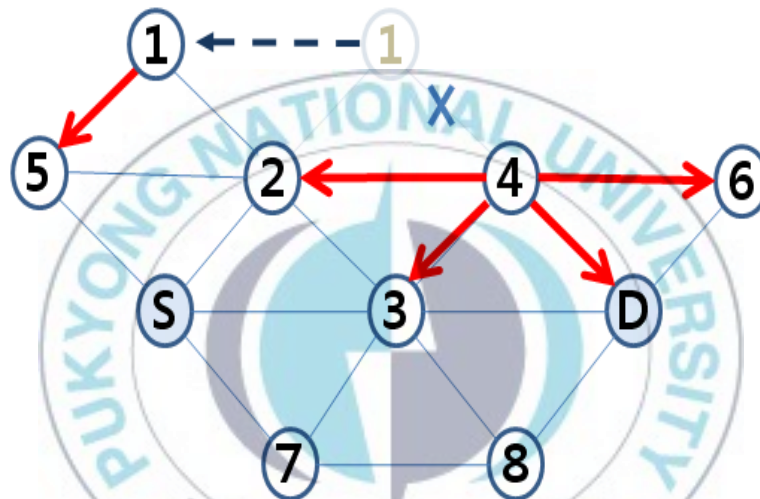
이웃	거리 $d_{ij}(X)$
j1	2
j2	3
⋮	⋮

그 외 노드의 에너지 상태를 고려한 라우팅 방식으로 전력 인지(Power-Aware) 라우팅 방식이 있는데 이는 애드 혹 네트워크는 제한된 배터리 용량 때문에 전체 네트워크의 에너지 소모량을 최소화 하기 위하여 배터리 사용을 최소화할 수 있는 루트를 탐색하거나 특정 노드의 에너지 소진을 방지 함으로써 네트워크 전체의 연결을 유지할 수 있는 시간을 최대화할 수 있는 라우팅 메커니즘이다. 또 위치 정보를 이용함으로써 DSR같은 요구기반 방식에서 경로 요청으로 인한 과도한 오버헤드의 발생을 감소하는 라우팅 방식과 ABR같이 경로의 지속성을 고려한 라우팅 방식으로 분류되는 것도 있다.

2.3.2 사전 설정 라우팅 프로토콜

사전 설정(Table Driven) 라우팅 프로토콜은 네트워크 내의 모든 노드가 자신을 제외한 나머지 노드의 라우팅 정보를 유지하는 것으로, 노드의 라우팅 테이블이 반드시 하나 이상 존재한다. 또한 주기적으로 라우팅 정보를 방송하며 모든 노드들은 자신의 라우팅 정보가 변경되었을 때 변경된 정보를 다른 노드들에게 방송 하게 된다. 실제 필요하지 않은

상황에서도 임의의 두 노드 쌍 간에 호스트와 목적노드로 하는 경로들을 항상 유지하고 있으며, 애플리케이션이 시작되면 그 경로 테이블에서 경로를 선택하므로 가장 짧은 값의 경로를 즉시 라우팅 할 수 있게 된다. 따라서 오래된 경로를 지속적으로 업데이트하기 위한 제어 패킷이 필요하여 라우팅에 큰 부하를 주고 오버헤드가 증가하며 배터리 소모가 크다는 단점이 있다.



[그림 7] 사전 설정 방식에서의 노드의 이동 전파

그림 7은 사전 설정 방식에서의 노드의 이동 전파를 보여 주고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 노드 1이 노드 5의 위치로 이동 한다면 노드1은 이동 후 전체 노드에게 변경된 자신의 라우팅 정보를 전체 노드에게 방송하기 위해서 자신의 이웃 노드인 5에게 먼저 알린다. 노드 4에서도 헬로 메시지에 대한 응답이 없으면 1번 노드의 이탈을 이웃 노드들에게 전파한다. 이렇게 전파된 경로 정보가 전체 노드에게 전파되어 전체 라우팅 테이블이 갱신되면 이후부터 정상적인 통신이 가능하다.

2.3.3 요구기반 라우팅 프로토콜

요구 기반 라우팅은 노드 간의 통신 요구가 있을 때만 경로 설정 절차를 수행하는 방식이다. 요구기반 프로토콜은 노드의 위치 이동이 많더라도 통신 요구 시에만 네트워크를 갱신하므로 사전 설정 라우팅에 비해 배터리 소모가 월등히 적다. 하지만 통신 요구가 있을 때 마다 현재의 애드 혹 네트워크의 전체를 검색하므로 경로 설정 시 지연시간이 길어지고, 많은 제어 트래픽(Traffic)을 발생 시킨다.



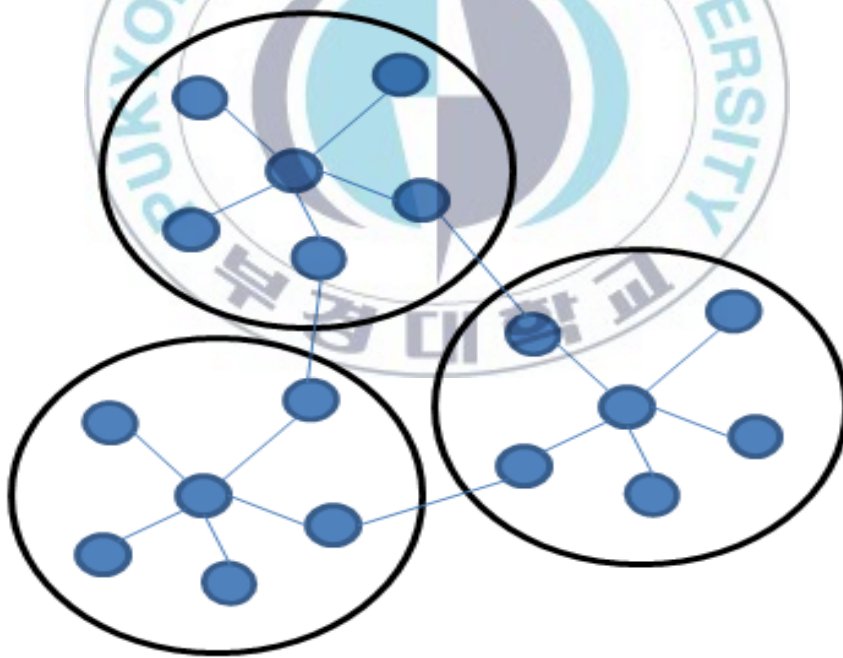
[그림 8] 요구 기반 라우팅에서의 경로 요청 시작

그림 8과 같이 S노드에서 D노드로의 통신요청이 들어온 경우 요구기반 프로토콜은 S노드부터 인접한 노드로 경로 요청 프로토콜을 전파하여 전체 망을 검색하여 D노드로 통신할 수 있는 경로를 찾는다.

2.3.4 혼합 라우팅 프로토콜

혼합 라우팅 프로토콜은 사전 설정 라우팅 프로토콜과 요구 기반 라우팅 프로토콜의 이점을 조합한 라우팅 방식이다. 각각의 노드는 홑수로 망을 그룹 짓고 각각의 그룹 내에서는 주기적으로 노드의 라우팅 정보를 유지하고 타 그룹과의 통신요청이 들어왔을 경우 전체 노드의 라우팅 정보를 갱신한다. 근접노드끼리의 통신은 효율적이나 먼 거리의 노드끼리의 통신에서는 요구기반 라우팅 프로토콜이 가지는 문제점을 그대로 가지고 있다.

그림 9는 혼합 라우팅 프로토콜의 네트워크 토폴로지를 보여준다.



[그림 9] 혼합 라우팅 프로토콜

2.4 주요 라우팅 프로토콜

본 장에서는 MANET의 라우팅 프로토콜들 중에서 사전 설정 라우팅 프로토콜 중의 DSDV, 또 요구기반 라우팅 프로토콜 중에서 AODV 와 DSR을 선택하고, 마지막으로 두 카테고리(Category)를 복합적으로 활용하여 혼합 라우팅 프로토콜이라 분류하는 ZRP등 4가지 주요 프로토콜들을 하나씩 분석 연구한다.

2.4.1 DSDV

DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)는 각 노드가 주기적으로 루트 업데이트를 방송하는 홉 바이 홉(hop-by-hop) 거리 벡터 라우팅 프로토콜로서, MANET용으로 제안된 라우팅 프로토콜들 중 최초의 것 중 하나다. 이는 네트워크상에서 모든 노드가 다른 모든 노드들에 이르는 가장 짧은 거리와 그 경로상의 첫 번째 노드를 표시하는 table을 유지하는 Bellman-Ford 알고리즘을 개선한 것으로, 여타의 거리 벡터 프로토콜에 비교해서 DSDV의 주요 장점으로는 순차 번호 태그(Sequence Number Tag)을 가지는 테이블 업데이트로 루프 방지(loop-freedom)을 보장한다는 점을 들 수 있고, 보다 빠른 수렴(Convergence)를 들 수가 있다. 언제든지 모든 노드를 목적 노드로 하는 경로를 바로 찾을 수 있는 테이블을 유지하고 있으며, 그 테이블은 네트워크 토폴로지의 업데이트를 유지하기 위하여 주기적으로 이웃 노드들 간에 정보를 교환한다. 즉 각 노드는 패킷의 목적지 노드에 도달하기 위한 “다음 홉”의 경로 정보를 갖는 라우팅 테이블을 관리한다. 테이블에 대한 업데이트는 많은 오버헤드를 요구하는데 이에 대한

솔루션으로 두 가지 방식을 보면 그 중 하나가 점증(Incremental) 업데이트이고 다른 하나는 전체 덤프(Full Dump)이다. 전체 덤프가 복수의 Network Data Packet Unit(NDPU)를 업데이트하는 데에 비하여 점증 업데이트는 로컬 토폴로지에서 중대한 망의 변화가 일어나지 않는 한 점증적으로 업데이트하는 알고리즘이다. 전체 덤프는 토폴로지의 변화가 크든지 점증 업데이트가 하나 이상의 NDPU의 업데이트를 요구할 때 실행하는 알고리즘이다.

테이블은 각 경로에 대하여 목적 노드에서 시퀀스 번호를 앞의 것보다 큰 것을 붙여서 시작이 되는데, 경로 R의 시퀀스 번호가 R'보다 큰 값을 가지면 R을 새로운 경로로 인식하여 경로로 선택한다. 만약 두 경로의 시퀀스 번호가 같을 경우에는 작은 매트릭(Metric) 값을 선택하며 이는 광고되는 패킷의 홉의 수가 증가함에 따라 매트릭 값이 커지므로 작은 매트릭 값을 가진 경로를 선택한다. 네트워크상에서 각 경로는 주기적으로 시퀀스 번호를 증가시키면서 라우팅 테이블 업데이트를 광고한다. 예를 들어, 노드 B가 목적지 노드 D로의 경로가 단절되었음을 감지하면 무한대의 매트릭 값과 단절된 경로의 시퀀스 번호 보다 1이 큰 시퀀스 번호를 붙여서 홀수의 시퀀스 번호로 만든 후에 목적지 노드 D의 경로를 광고하는데, 이는 B를 경유하는 임의의 노드 A가 더 큰 값의 시퀀스 번호를 갖는 D까지의 경로를 알게 될 때까지 자신의 라우팅 테이블에 목적지 D의 경로에 대해 무한대의 매트릭 값을 갖도록 하는 효과가 있다.

이 DSDV 프로토콜의 장단점을 열거하면, 항상 모든 노드를 목적지로 하는 경로가 준비되어 있다는 것이 경로 탐색에 소요되는 시간의 절감이라는 관점에서 보면 가장 큰 장점이 될 수 있다. 점증 업데이트 알고리즘은 유선 네트워크의 프로토콜을 무선 통신에 응용한 것으로서 특성에 따른 몇 가지의 보완만으로 애드 혹 망에 사용하는 것이다.

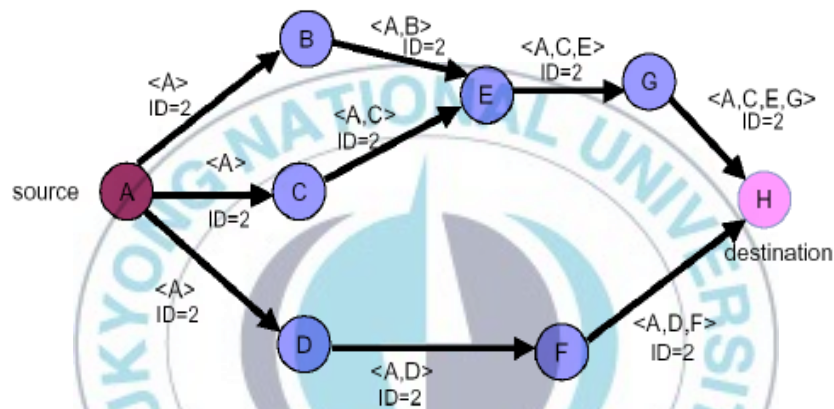
그런데 업데이트한 정보를 모든 노드들의 네트워크 토폴로지를 갱신한 것으로 유지하기 위해 망 전체에 방송하는데 그로 인한 오버헤드, 특히 이동성이 큰 경우에 망의 단절로 인한 업데이트는 너무 큰 오버헤드의 부담을 주게 되는 단점이 있다. 작은 네트워크지만 이동성이 큰 경우나 이동성은 적지만 망이 큰 경우 둘 다 주어진 대역폭을 소진시키게 되고, 따라서 본 라우팅 프로토콜은 네트워크의 노드 수에 비례해서 과도한 컨트롤 오버헤드가 발생하며 그로 인하여 대역폭의 제약이 크고 동적인 토폴로지를 갖는 애드 혹 네트워크의 확장성을 불가능하게 만드는 결과를 가져온다. 또 다른 본 프로토콜의 단점을 들자면 어떤 특정노드에 대한 경로 정보를 얻기 위해서는 동일한 노드를 목적 노드로 하는 업데이트 메시지가 올 때까지 기다려야 하는 문제점을 들 수 있는데 이것은 결과적으로 지연을 초래함으로써 경로 정보의 잘못된(Invalid) 결과를 가져오기도 한다.

2.4.2 DSR

DSR(Dynamic Source Routing) Protocol은 요구 기반 라우팅 프로토콜들 중의 하나로서 한 홉씩 라우팅 대신 전송되는 패킷 안에 패킷이 경유해야 되는 노드들의 완전한 순서를 내장한 소스 라우팅을 사용함으로써 사전 설정 방식 라우팅 프로토콜들처럼 테이블 업데이트를 위한 주기적인 업데이트 메시지가 없어 제어 패킷으로 인한 대역폭의 소모가 없다는 것이 특징이면서 그 장점이다. 소스 라우팅을 사용하면 패킷 내에 이미 라우팅에 대한 결정이 포함되어 있기 때문에 중간 노드들이 패킷을 전달하기 위한 최신의 라우팅 정보를 관리할 필요 없게 되고, 따라서 중간 노드들은 다른 프로토콜에서는 필요한 주기적인 경로의 광고와 이웃 노드를 감지하기 위한 헬로 패킷이 불필요하다.

모든 요구기반 라우팅 프로토콜이 그렇듯이 경로설정 단계에서 경로 요청(Route Request)를 방송하고 경로 요청을 수신한 목적 노드는 경로 응답(Route Reply)를 소스 노드에 보내어 응답하는데 그 응답에는 경로 요청 패킷이 거쳐 온 경로의 역으로 전달된다.

그림 10은 DSR의 경로 탐색을 나타낸다.



[그림 10] DSR의 경로 탐색

어떤 노드 D를 목적 노드로 해서 데이터 패킷을 보내고자 하는 소스 노드 S가 그 목적 노드 D까지 이르는 루트를 가지지 못하고 있다면 S는 경로 요청 패킷을 발생시켜 네트워크 전체에 방송하고, 그 패킷을 수신한 각 노드들은 패킷의 생존 횟수(Time-to-Live)가 아직 유효하고 그 패킷이 전달한 적이 없는 새로운 것으로서, 자기 자신이 그 목적 노드 D가 아닐 경우 그 패킷을 이웃 노드들에게 다시 방송하는 방식으로 전달한다. 각각의 경로 요청은 소스 노드로부터 만들어진 시퀀스 번호와 경로 요청의 역 경로를 갖고 있는데, 경로 요청 패킷을 받은 노드는 그것을 전달하기 전에 먼저 패킷 상의 시퀀스 번호를 확인해 보고 동일한

경로 요청을 전달한 적이 없는 경우에만 이웃 노드로 전달을 하는데, 패킷에 있는 시퀀스 번호는 루프(loop)가 생기지 않도록 하기 위해 사용되며, 여러 경로를 통해 받은 중간 노드가 동일한 경로 요청을 여러 번 전송하는 것을 방지하게 해준다. 따라서 목적 노드를 제외한 모든 노드들은 경로 설정 단계에서는 경로 요청을 이웃 노드들에게 전달한다.

각 노드는 학습되었거나 청취된(Overhear) 소스의 경로를 캐시(cache) 메모리에 저장하여 관리함으로써 경로 요청의 발생과 전파를 줄여서 경로 탐색 과정의 오버헤드를 줄인다. 경로 유지 과정은 소스 노드 S가 기존의 경로 상의 두 노드가 서로 통신 범위를 벗어나는 토폴로지 변화로 목적지 D까지의 패킷 전송을 할 수 없게 되었음을 감지하는 과정이다. 소스 노드 S는 경로 에러(Route Error) 패킷을 수신하면 소스의 경로가 단절되었음을 인식하고, 이 때 소스 S는 이미 캐시 메모리에 저장되어 있는 다른 경로를 찾아 재 전송을 시도하거나 다른 경로가 없을 경우에는 새로운 경로를 찾기 위한 경로 탐색 과정을 다시 한 번 실행하게 된다.

이 프로토콜의 성능개선을 위한 여러 가지 연구들이 행해져 왔고 그들 중 몇 가지 제안을 보면, DSR은 중간 노드들이 저장하고 있는 루트정보를 사용해서 경로를 찾는데, 그 루트 정보라는 것은 전달하는 데이터 패킷에 포함되어 있는 정보로부터 얻은 루트 정보다. 이 저장된 캐시(Cache) 정보는 경로 요청을 소스 노드로부터 받은 중간 노드가 요구되는 목적 노드까지의 경로를 자기 캐시에 가지고 있는지 확인해서 있을 경우 그 경로 정보를 소스 노드 S에게 응답해준다. 수신하는 모든 정보를 여과(Filtering) 하지 않고 전부 받아들이는 방식인 무차별 모드(Promiscuous Mode)에서는 중간 노드가 루트의 단절에 대한 정보를 얻게 되고, 그렇게 해서 얻은 정보로 경로 캐시를 업데이트함으로써 경로

캐시에 저장되어 있는 경로 중에서 실제 사용 시 단절된 경로사용을 피할 수가 있다.

네트워크의 고립이 발생하면 해당 노드는 경로 요청을 발생하여 새로운 경로를 탐색하고, 목적 노드가 흩어져서 연결이 안 될 경우 네트워크에서 빈번한 경로 요청을 피하기 위해 exponential back-off 알고리즘을 사용하며, 경로 요청에 데이터 패킷의 piggy-back도 허용을 해서 경로 요청에 데이터 패킷을 보낼 수도 있다. 또한 최적화 방안의 한 가지로서 중간 노드들도 경로 응답을 발생시킬 수가 있다면 소스 노드는 중간 노드들로부터 많은 수의 응답을 받고 소스 노드는 그들 중에서 가장 최근의 또 가장 좋은 경로를 선택할 수 있으며, 그렇게 얻은 경로를 통해서 보내고자 하는 데이터 패킷을 전송하면 된다. 물론 데이터 패킷은 목적 노드까지의 완전한 루트를 패킷 헤더에 가지고 있다.

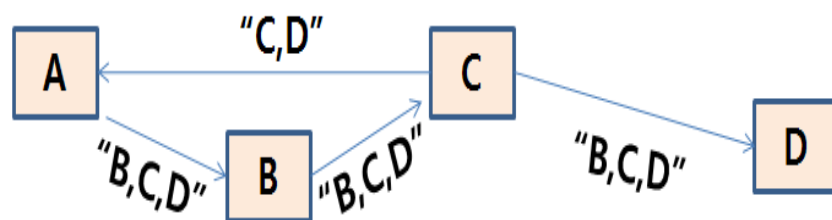
루트상의 하나나 그 이상의 노드가 이동하여 무선통신망을 단절하는 결과를 가져오게 되는 경우에는 그 이웃의 노드가 소스 노드에게 링크의 단절을 알리는 경로 에러 패킷을 보내고, 이를 받은 소스 노드는 루트 설정 단계를 다시 시작한다. 경로 에러를 받으면 중간 노드들과 소스 노드에 저장되어 있는 경로 캐시 참가(Cache Entry)는 삭제된다.

DSR 프로토콜은 사전 설정에서 요구되는 주기적인 업데이트가 없기 때문에, 전송할 데이터 패킷이 있어서 루트가 필요할 경우에만 루트 설정의 알고리즘을 실행하는 메커니즘으로서 중간 노드들도 제어 패킷의 감소를 위하여 캐시 정보를 효율적으로 사용하는 장점이 있지만, 경로 유지 메커니즘은 단절된 링크를 국부적으로 회복 할 수가 없고, 또한 실효된 경로 캐시 정보로 인하여 루트의 재설정 단계에서 일관성의 결여를 가져오는 결과를 초래한다. 또한 연결 준비로 인한 지연은 사전 설정보다 길기 때문에 본 프로토콜이 고정적인 통신망이나 이동성이 낮은 통신망의 경우에는 그 효율이 크지만 그러하지 않을 경우에는 이동성이

증가할수록 성능이 떨어지며 상당한 정도의 라우팅 오버헤드가 소스 라우팅 메커니즘으로 인해 발생하는데 그 라우팅 오버헤드는 경로의 길이에 직접 비례하는 단점이 있다. 그 외에 DSR의 라우팅 환경개선을 위하여 제안된 많은 최적화들 중 흥미로운 것들을 보면 패킷 구조(packet salvaging), 불필요한 우회 경로 통보(Gratuitous Route Reply -Bypass) 등의 제안들이 있다.

패킷 구조란 경로 에러가 발생하는 경우 그 경로 에러 메시지를 보내는 노드가 그 경로 에러로 인해서 잃어버리게 될 수 있는 패킷을 자기 자신의 캐시에서 목적 노드까지의 경로를 찾아 전송함으로써 패킷을 구조하는 효과를 가져 오는 알고리즘이며, 같은 패킷이 다른 노드에서 또다시 구조되지 않도록 하기 위해 구조되었다는 표시를 붙여서 전송된다.

불필요한 우회 경로 통보라는 것은 중간 노드가 경로에서 이탈할 경우, 사용 중에 있는 경로를 자동적으로 단축시키는 메커니즘이다. 그림 11에서 보듯이 노드 C가 A에서 "BCD"로 가는 경로를 청취하고 B가 이탈되었을 경우 경로를 단축해서 "CD"로 바로 갈 수 있음을 A에게 알린다.



[그림 11] 불필요한 우회 경로 통보

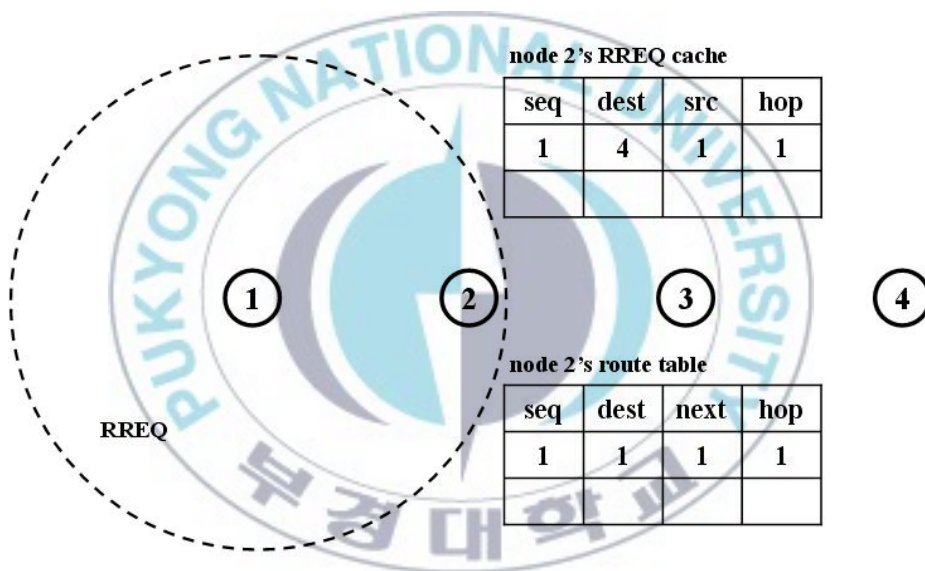
2.4.3 AODV

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance-Vector)는 DSDV와 DSR을 혼합한 라우팅 프로토콜로서, 경로탐색 시에 전송할 데이터 패킷을 가진 노드의 요구에 의해서 경로가 만들어지며, 동시에 가장 최신의 경로임을 확인하기 위해서 목적 노드가 붙이는 순차 번호를 사용하는 알고리즘이다.

경로 탐색과 경로 유지는 DSR로부터 빌려왔고, 홉 바이 홉 라우팅, 순차 번호, 주기적인 비컨(Beacon) 신호는 DSDV로부터 가져온 것이다. 같은 요구 기반 프로토콜의 카테고리에 속하지만 DSR과의 차이점을 들자면 DSR은 데이터 패킷이 모든 경로정보를 포함하는 소스 라우팅 방식이지만 AODV 경우는 소스 노드와 중간 노드들이 데이터 패킷의 전송 시 각각의 흐름에 대응해서 다음 홉 정보를 기억하고 있는 것이다. 다시 말해, 노드 S가 목적지 D까지 라우팅 하고자 할 때 해당 목적지에 대해 알려진 최근의 시퀀스 번호와 함께 인접 노드들에게 경로 요청 메시지를 발송하며, 그 경로 요청은 목적지 노드 D까지의 경로를 가진 노드에 도달할 때까지 전파된다. 경로 요청을 전달하는 각 노드는 해당 노드에서 노드 S까지의 역 경로(Reverse Route)를 생성하고, 목적지 D까지의 경로를 갖는 노드에 도달하였을 때 그 노드는 목적지 노드 D까지 도달하는데 필요한 홉 수, 노드 D에 대한 최근의 시퀀스 번호를 포함하는 경로 응답으로 회신한다. 이 경로를 소스 노드 S로 전달하는 모든 중간 노드들은 복수의 경로를 전달하게 될 경우 가장 최근의 순차 번호로 업데이트한다. 소스 노드 S에서 목적지 노드 D까지 경로를 따라 각 노드에서 생성된 상태는 홉 바이 홉 상태로 단지 다음 홉 만을 기억하고 소스 라우팅처럼 전체경로를 기억하지는 않는다.

경로 요청 및 경로 설정과 경로 복구에 관한 간단한 예를 보이기 위해서 4개의 노드로 구성된 경로 설정 단계를 설명한다. 노드 1에서

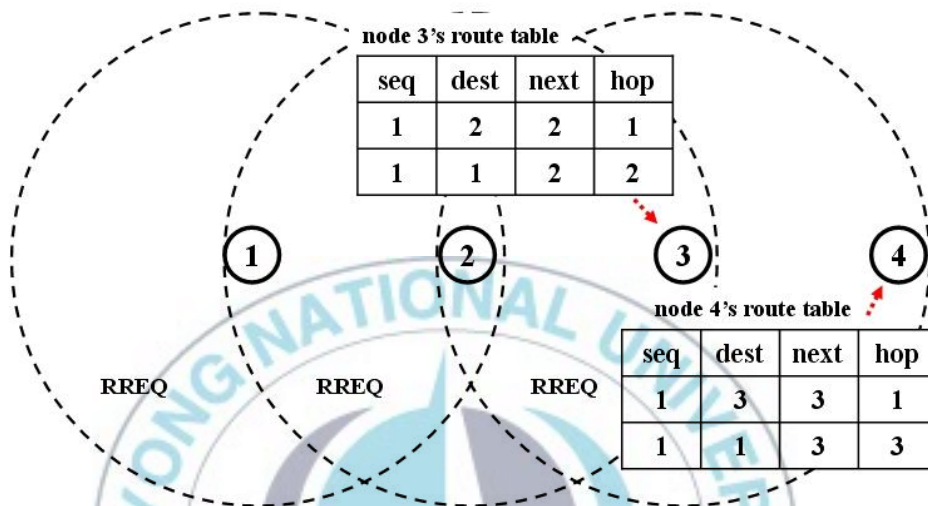
노드 4에게 데이터 메시지를 보내고자 할 때의 한 예이다. AODV 프로토콜의 상위 계층에서 노드4로 보내는 데이터 메시지를 받은 때, 먼저 4로 가는 경로 정보를 찾기 위해 경로 테이블을 찾는다. 유효한 경로 정보가 없는 경우, AODV 프로토콜은 경로를 찾기 위해 경로 요청(RREQ)을 방송하게 된다.



[그림 12] 노드 1에서 4로 가는 경로를 찾기 위해서 RREQ 방송

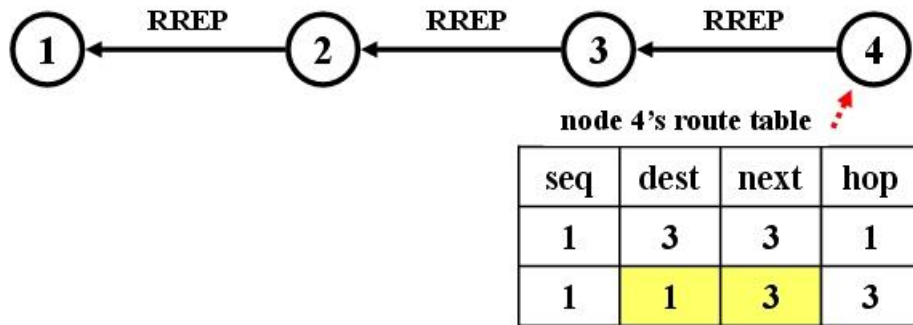
그림 12에서 1번 노드는 4번 노드의 경로를 찾기 위해서 다음 홉으로 RREQ를 방송을 하고, 노드 2는 RREQ를 받게 된다. 동일한 RREQ를 다시 방송하는 것을 방지하기 위해 RREQ 캐시에도 RREQ의 정보를 저장하는 것이다. 그리고 2번 노드는 경로 캐시 테이블을 작성하고 순차번호(seq), 목적지(dest), 소스노드(src), 홉 수(hop)를

기록한다. 경로 테이블은 RREP를 소스노드로 전송하기 위해 필요한 것이다.



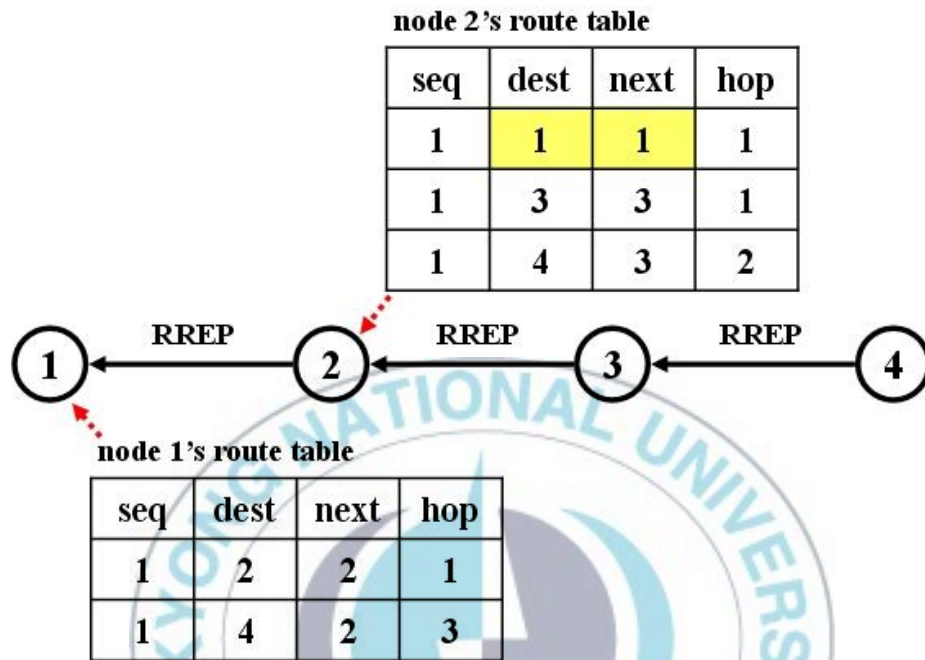
[그림 13] 목적 노드까지 RREQ가 방송되는 모양

그림 13은 중간 노드들을 거쳐서 목적 노드까지 RREQ가 방송되는 과정이다. 3번 노드에서 방송한 RREQ가 목적 노드에 도착 함으로써 목적 노드는 RREQ가 자신을 찾는 것임을 알고 더 이상 RREQ를 방송하지 않는다.



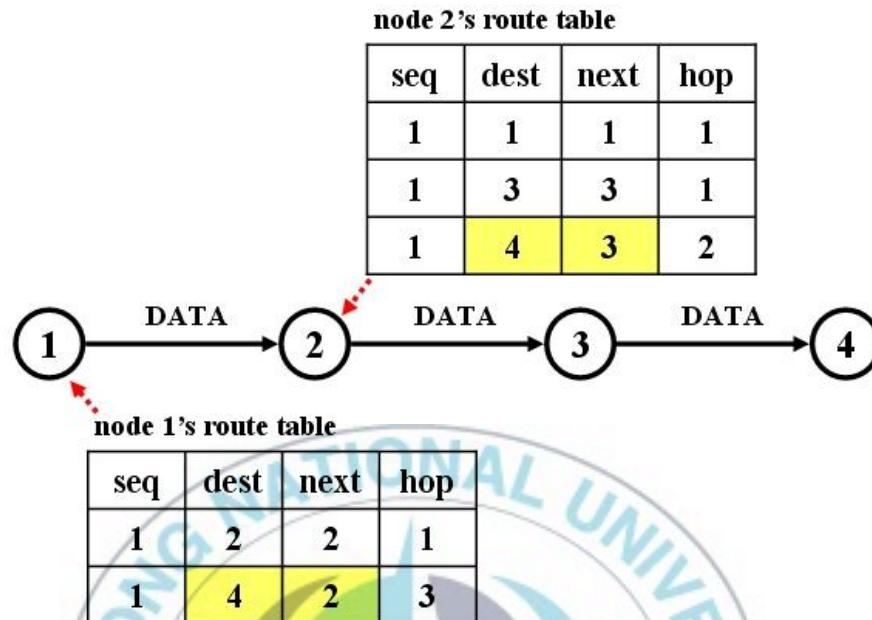
[그림 14] 목적 노드에서 RREP 를 전송

그림 14는 4번 목적 노드에서 RREP를 전송하는 것을 보여준다. 경로 설정을 위한 RREP는 1번 노드로 보내야 하는데, 경로 테이블에 1번 노드로 보내기 위해서는 3번 노드로 보내야 한다는 것이 기록되어 있으므로 3번 노드에게 유니캐스트한다.



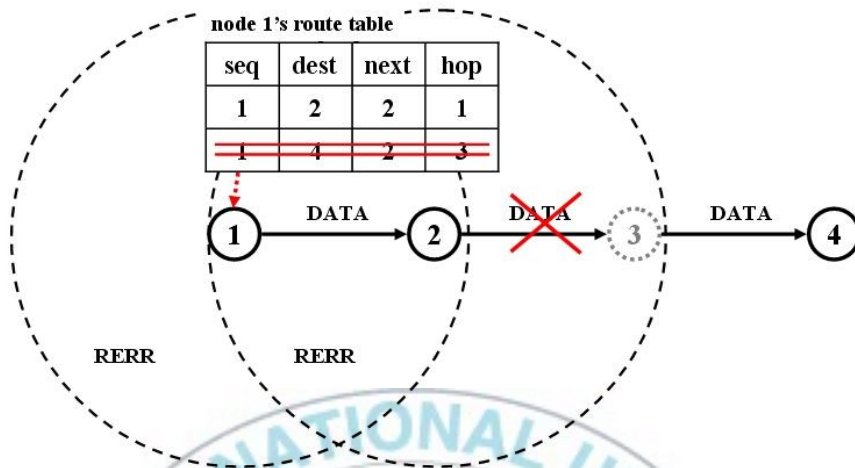
[그림 15] 소스노드로 전달되는 RREP

그림 15는 RREP가 역 경로로 전송되어 1번 소스 노드로 도착하게 되면, 소스 노드에서는 경로 테이블을 기록하고 경로 설정을 완료한다. 다음으로 목적 노드 4번으로 데이터를 전송하기 위해서는 경로 테이블을 확인하여 다음 홉인 2번 노드로 데이터를 전송하게 된다.



[그림 16] 소스 노드에서 데이터를 전송

그림 16은 소스에서 출발한 데이터가 목적 노드를 향해 순차적으로 홉을 거쳐가는 것을 보여 준다. 계속해서 데이터 메시지는 설정된 경로를 통해 노드 1에서 노드 4에 전달되게 된다.



[그림 17] 경로 에러의 전달

그림 17은 링크(2,3)이 단절되어 설정되어 있던 경로가 끊어진 경우를 나타내고 있다. 노드 2는 지속적으로 노드 3의 데이터 메시지를 전송하는 데 실패하면, 데이터가 전송되어 온 역 경로를 통해 경로 오류 (RERR) 메시지를 보내게 되고 이를 받는 역 경로의 노드들과 소스 노드는 경로 테이블의 기록된 경로를 지우고 다시 경로 탐색 과정을 시작하게 된다. AODV 가 다른 여타의 요구 기반 라우팅 프로토콜과의 주요한 차이점은 경로 선택에 있어서 목적 노드 순차 번호를 사용한다는 것이다.

경로의 유지관리를 위해서 AODV에서는 기본적으로 각 노드가 헬로 메시지를 주기적으로 생성하고, 인접 노드로부터 연속적으로 3번의 헬로 메시지의 수신에 없을 경우에는 인접 노드의 연결이 단절된 것으로 간주한다. 이에 대한 대안으로 AODV 사양은 인접 노드 간의 단절을 감지하는 물리 계층이나 링크 계층 방식을 사용할 수 있음을 명시하였다.

링크가 단절되었을 경우 해당 목적지에 대해 무한대의 매트릭 값을 포함하는 응답 없음(Unsolicited Route Reply) 메시지를 단절된 노드까지 최근의 패킷을 전달했던 노드들로 거슬러 올라가 전송함으로써 노드의 단절을 알린다.

경로 응답 전송 시에도 앞에서 언급한 경로 탐색을 사용하여 목적지까지 새로운 경로를 구성한다. 경로가 요구 기반으로 구성된다는 점과 목적 노드의 시퀀스 번호를 사용해서 목적 노드에 이르는 최근의 경로를 찾는다는 것이 본 프로토콜의 주요 장점이며, 따라서 연결 설정에 시간이 상대적으로 짧게 소요된다. 그렇지만 중요한 단점의 하나로서는 소스 노드가 가지고 있는 시퀀스 번호가 오래된 것이고 중간 노드들이 그 보다는 큰 숫자를 가지면서도 최근의 번호가 아닐 경우에 중간 노드들에 의해서 경로의 일관성이 해치는 일이 발생하고 따라서 경로의 정보가 확실하지 못한 결과를 가져오는 단점이 있다. 또한 하나의 경로 요청에 대해서 복수의 경로 응답을 보내게 되면 과도한 제어 오버헤드가 발생할 수도 있으며, 또한 주기적인 헬로 신호는 불필요한 대역폭의 소모를 가져온다.

2.4.4 ZRP

ZRP(Zone Routing Protocol) 는 사전 설정과 요구 기반 라우팅 프로토콜의 장점을 효과적으로 결합하여 만든 결합 프로토콜이다. 기본적인 개념은 모든 노드의 r-홉까지의 이웃을 포함하는 범위 이내에서는 사전 결정 메커니즘을 사용하고 그 범위를 벗어나는 노드들에게는 요구 기반 메커니즘을 사용한다는 것이다. 라우팅 존은 모든 노드가 클러스터 헤드와 또 다른 클러스터의 멤버로서의 역할을 하는 것을 빼고는 클러스터와 유사하며, 그 존은 서로 겹칠 수도 있다. 각

노드는 무선 통신 홉 관련하여 존 반경을 명시하는데, 그래서 선택된 존의 크기는 애드 혹 통신 성능에도 영향을 미치게 된다.

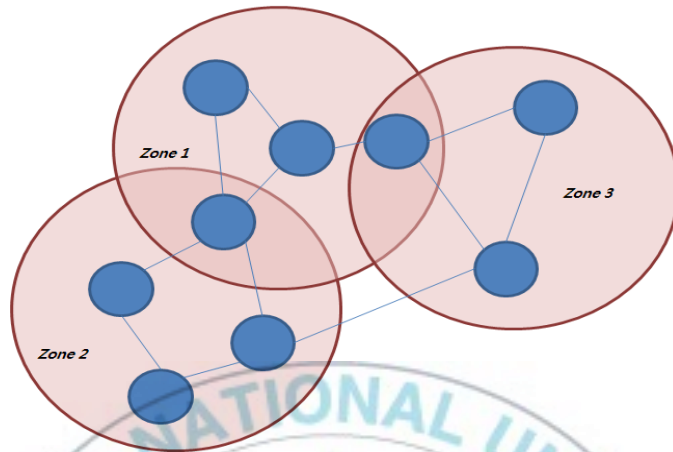
ZRP에서 라우팅 존은 r 개의 이동 애드 혹 노드들로 이루어지며 이는 중심 노드로부터 1, 2개 혹은 몇 개의 많지 않은 홉들만큼 떨어진 거리이다. 이 존 안에서는 사전 설정 방식에 기반 한 라우팅 프로토콜을 사용한다. 즉 다시 말해서 루트 업데이트는 그 존 이내의 노드들만으로 이루어진다. 따라서 각 노드들은 그 존 이내의 모든 노드들에 이르는 루트를 가지게 되며, 목적 노드가 소스 존(source zone) 외부에 존재할 경우에는 요구 기반 프로토콜 방식의 탐색 질의(search-query) 라우팅 방법이 사용된다.

ZRP에는 사전 설정 프로토콜인 IARP (Intrazone Routing Protocol)와 요구 기반 프로토콜 종류인 IERP(Interzone Routing Protocol) 그리고 BRP(Broadcast Resolution Protocol)의 세 종류의 하부 프로토콜들이 있다. 그 중 IARP는 현재의 링크 상태나 거리 벡터 라우팅을 이용하여 구현되며 라우팅 정보는 라우팅 존의 경계로 전파된다. 이웃 노드의 존재 여부확인을 위해 IARP는 기존의 이웃 탐색(Neighbor Discovery) 프로토콜에 의존하는데, 주 역할이라면 존 이내의 각 노드가 최신 정보를 올려 주면 존 내부의 다른 노드들에 도달하는 정보에 대한 테이블의 일관성을 확인해주는 것이라 하겠다. IERP는 그와 달리 현재의 존 밖에 존재하는 노드들에 대한 라우팅 정보를 탐색하기 위한 요구 기반 라우팅을 이행하기 위해서는 경계에 있는 노드들에 의지한다. 다른 존 내부의 노드들에도 조회 방송이 침투해 들어가도록 허용하는 대신 메시지를 접수하는 다른 존의 경계지역의 노드들은 그 메시지를 더 이상 전파시키지 않고 IERP는 방송 해제(Broadcast Resolution) 프로토콜을 사용하게 된다.

애드 혹 루트의 일부분은 다른 라우팅 프로토콜을 사용하기 때문에 그것들의 특성 또한 따라서 다르다. 루트의 어떤 부분은 라우팅의 적당한 통합에 의존하고 또 어떤 부분은 발견된 존 내부의 루트가 얼마나 정밀한지에 의존하기도 한다. 그래서 라우팅 안정성이라는 측면에서 확신하기가 어려운데, 적당한 질의 조절이 없이 ZRP는 실제로 일반적으로 표준화된 방송 기반 프로토콜들 보다 그 성능이 떨어진다. ZRP의 경로 탐색 절차는 그래서 경로 테이블에 의존하기도하고 존 내부의 질의 탐색(Query Search)에 의한다. 노드의 이동으로 말미암아 루트가 단절되지만 그 이동한 노드가 같은 지역 안에 있다면 링크변화 이벤트로 취급되어 사전 설정 라우팅에서 사용되는 이벤트(Event-Driven) 기반 경로 업데이트가 존 내부의 모든 노드들에게 그 정보를 통보하고, 만약 그 이동원인이 변두리 노드에 의한 것이거나 다른 존의 노드일 경우, 경로 질의 탐색의 형식으로 경로 복구 동작이 이루어지거나 아니면 최악의 경우 그 이동 노드는 겨울 실패로 인식이 된다.

ZRP는 사전 설정 프로토콜에서 요구하는 주기적인 루트정보의 방송이나 요구 기반 프로토콜에서 발생하는 경로 요청 메커니즘에 비교할 때 제어 오버헤드의 감소효과가 크다, 그러나 질의 조절이 없기 때문에 오히려 앞서 말한 프로토콜들보다 더 많은 오버헤드를 발생시키는 결과를 가져온다. 이것은 노드들의 라우팅 존의 중첩이 많아지기 때문에 생기는 것으로서 잉여 정보나 같은 정보의 범람을 제어하는 질의 조절이 있어서 그런 것들을 전달하지 못하도록 해야 하며 존의 크기에 대한 결정도 또한 프로토콜의 성능에 중요한 지장을 미친다.

그림 18에서는 ZRP라우팅의 토폴로지를 보여 준다. 3개의 존으로 구성되어있다.



[그림 18] ZRP 라우팅

2.5 QoS 라우팅

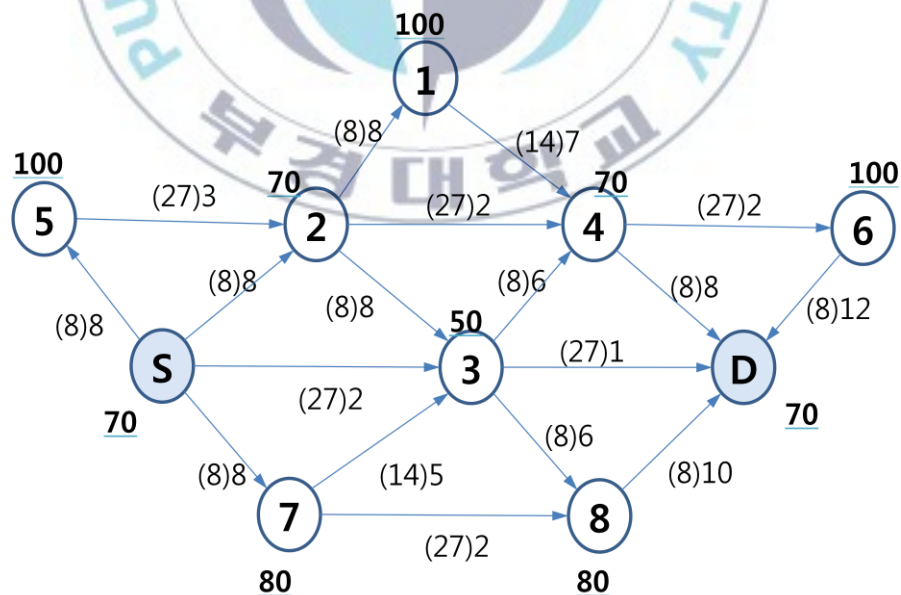
멀티미디어 전송 시대를 맞아, 애드 혹 네트워크도 예전의 문자 위주의 데이터 전송에서 멀티미디어 데이터 전송으로 전환 됨에 따라, 멀티미디어 전송을 위한 경로 설정을 요구한다. 이에 따라 라우팅 단계에서부터 일정기준 이상의 QoS(Quality of Service) 제공을 위한 대역폭(W) 제공과 전달지연을 고려 하여야 하는데 본 장에서는 라우팅 프로토콜에 대한 정의를 먼저 정리하고, 유휴 대역폭을 고려하는 라우팅과 전달 지연 요소 중 하나인 홉(Hop)지연을 고려한 라우팅 프로토콜에 대해서 살펴본다.

대역폭의 경우 다른 조건들과는 독립적으로 작용하므로 다른 조건과 같이 적용하기가 용이하다. 전달지연 D 도 멀티미디어 경로 설정에서 중요한 지표 중 하나이지만 애드 혹 에서는 전력 소비 문제와 상충

하므로, 애드 혹 의 상태에 따라 적응적으로 설정가능 하게하여 지연이나 전력 중 더 중요한 부분을 비중을 두고 고려 하도록 하여야 한다.

2.5.1 라우팅 프로토콜의 정의

MANET은 n 개의 노드로 구성되며 각 노드는 $n, 1 \leq n \leq N$, 으로 구별한다. 노드 i 에서 인접한 노드 j 까지 직접적인 전송이 가능하며 이때 노드 i, j 에는 링크(i,j)가 존재한다. 이때 소스 노드 s 에서 목적 노드 d 까지의 경로는 $R(s,d)$ 라고 하고 이는 노드 s 에서 노드 d 까지의 링크 순열이다. 즉 $R(s,d)=[s, *, \dots, *, d]$, 여기서 $*$ 는 임의의 노드 n 을 표시한다. 어떤 MANET에 $R(s,d)$ 가 존재한다면 노드 s 에서 노드 d 간의 데이터 전송이 가능한 링크가 존재한다는 것을 의미한다.



[그림 19] MANET 토폴로지와 경로의 전송 조건들

여기서 MANET 의 라우팅 프로토콜은 특정 조건을 만족하는 $R(s,d)$ 를 구하는 것으로 정의된다. 단순히 어떤 $R(s,d)$ 를 구하는 것만으로도 라우팅 프로토콜이 될 수 있다.

그림 19은 설명을 위해서 열 개의 노드로 구성된 MANET 토폴로지를 나타내었다. s 는 소스 노드이고 d 는 목적노드를 표시 하였으며, 화살표는 소스에서 목적노드를 탐색하기 위한 링크를 표시한다. 각 노드는 ID가 있고 노드에서의 숫자는 잔류 전력량을 나타내었고, 각 링크 위의 숫자 중 괄호 안은 전송 소비 전력을 나타내며, 그 뒤에 숫자는 직전 노드의 잔류 전력에 전송 전력을 나누어 산출한 링크 전송 수명을 나타내었다.

그림 19에서 각 경로 $R_1(s,d)=[s, 3, d]$, $R_2(s,d)=[s, 2, 4, d]$, $R_3(s,d)=[s, 2, 3, d]$, $R_4(s,d)=[s, 3, 4, d]$, $R_5(s,d)=[s, 2, 3, 4, d]$ 등은 노드 s 에서 노드 d 까지의 전송경로가 될 수 있지만 각 경로의 전송조건은 서로 다르다. 여기서 MANET의 라우팅 프로토콜은 특정 조건을 만족하는 $R(s,d)$ 를 구하는 것으로 정의된다.

그림 20는 MANET 라우팅 절차의 한 예를 보인다. 소스 노드에서 목적 노드를 찾기 위해서 RREQ(Route Request)를 방송하게 되면, 방송을 수신한 인접노드 j 는 그림 20의 절차에 따른다. 1행에서 목적 노드 인가를 확인하고 목적 노드가 아니면 다시 RREQ를 방송하고 목적노드이면 RREP(Route Reply)를 역 경로로 전송하라는 라우팅 절차이다. 이렇게 단순히 어떤 경로 $R(s,d)$ 를 구하는 것만으로도 라우팅 프로토콜이 될 수 있다.

```

1. if (j≠d){
2. broadcast RREQ with R(s,j), d;
3. }
4. else {
5. send RREP to i with R(s,d);
6. }

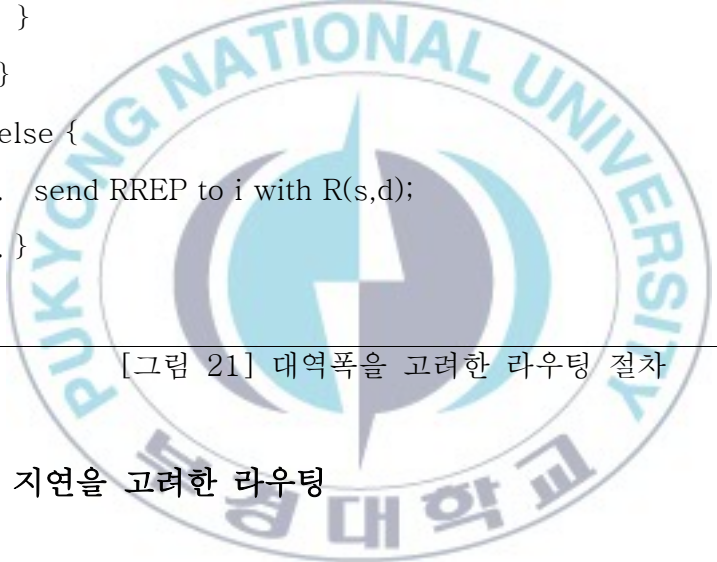
```

[그림 20] MANET 라우팅 절차

2.5.2 대역폭을 고려한 라우팅

대역폭 W 을 고려하는 경우 라우팅 프로토콜은 링크 (i,j) 의 대역폭을 $W(i,j)$ 로 표시하면, $W \leq W(i,j : (i,j) \in R(s,d))$ 를 만족하는 $R(s,d)$ 를 구하는 것으로 된다. 대역폭의 경우 다른 조건들과는 독립적으로 작용하므로 다른 조건과 같이 적용하기가 용이하다.

그림 21는 대역폭을 고려한 라우팅 절차를 보여 준다. 단순히 목적 노드를 찾는 것이 아니라 멀티미디어 전송을 위해서, 멀티미디어 전송에 적합한 대역폭을 확보 할 수 있는 경로를 찾는 라우팅 절차이다. 2행에서 유틸 대역폭을 확인하는 절차이다. 이때 유틸 대역폭을 가지지 못한 링크라면 RREQ를 폐기하고, 유틸 대역폭이 요구 대역폭 이상일 경우에만 다음 노드로 다시 RREQ를 방송하여서 목적지 노드까지 도달하면 RREQ패킷에 기록된 노드들의 역 순서로 RREP를 전송하여 경로를 설정하는 것이다. 마지막 목적 노드에서는 RREP를 전송한다.



```

1. if (i≠d) {
2.   if ( W(i,j)<W) {
3.     then    discard RREQ;
4.   }
5.   else {
6.     broadcast RREQ with W, R(s,j), d;
7.   }
8. }
9. else {
10.  send RREP to i with R(s,d);
11. }

```

[그림 21] 대역폭을 고려한 라우팅 절차

2.5.3 지연을 고려한 라우팅

기존의 유선 망에서나 애드 홀의 AODV에서의 라우팅 프로토콜은 대부분 홉 지연을 고려한 최소 홉 라우팅 경로로 설정 되었다. 링크(i,j)의 전달 지연을 $D(i,j)$ 라고 하면 경로 $R(s,d)$ 의 전체 전달지연 식은 다음과 같다.

$$D(s,d) = \sum_{(i,j) \in R(s,d)} D(i,j) \quad \text{[식 1]}$$

이 경우 $D(s,d)$ 를 최소화 하는 경로를 구하는 것이 전달지연 조건의 라우팅 프로토콜이다.

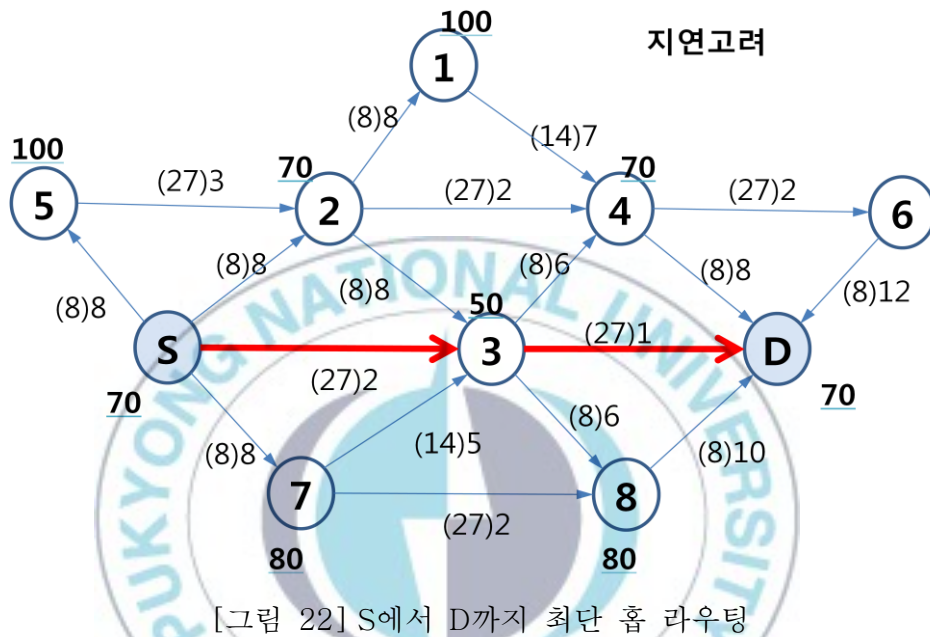
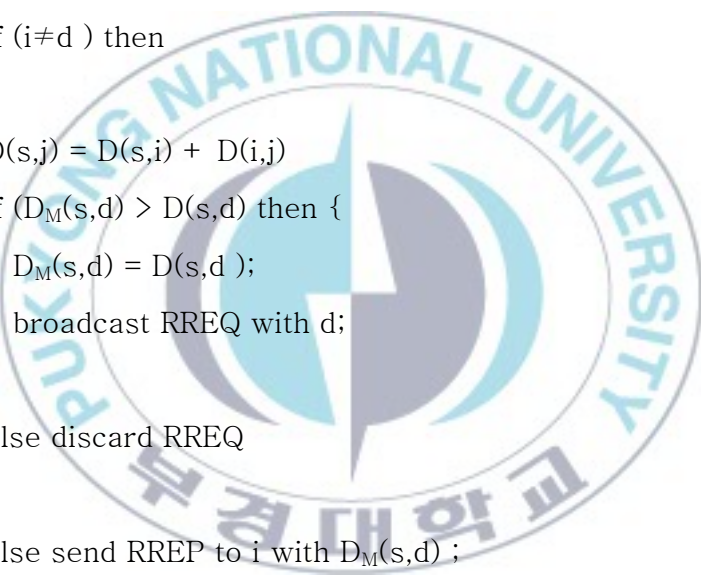


그림 22에서는 S에서 D까지 최단 홉 라우팅을 표시 하였다. 설명을 위해서 전송 조건들을 가시적으로 표시한 MANET 토폴로지(topology)에서 소스 노드 S에서 목적 노드 D까지 최단 홉으로 경로를 설정하는, 지연 고려 라우팅 설정 경로를 표시 하였다. 소스 노드에서 노드 3을 거쳐 2 홉으로 목적 노드에 도달하는 최소의 홉 경로이다. 다른 경로는 모두 2 홉보다 홉 수가 많으므로 최단 홉 경로가 설정 되지 못한다. 홉 지연 라우팅은 최소 홉만 고려 하므로 지연은 최소이다. 그러나 이때의 전송 전력 소비는 $27 + 27 = 54$ 인데 다른 경로에 비하여 전력 소비는 많다.

최단 홉으로 전송 지연을 고려한 라우팅 방식은 전달지연은 최소가 될 수 있으나 전력소비를 고려하지 못하는 면이 있다. 무선 통신에서 전송 소비 전력은 약 통신거리의 3제곱에 해당하는 전력 소비가 필요하다. MANET의 주된 전원은 배터리 방식으로 한정된 자원에서 전력소비가 많은 경로가 설정 된다면 네트워크의 수명은 오래 가지 못할 것이다. 그래서 전송 전력 소모를 고려한 라우팅을 모색 하게 된다.



```

1.  if (i≠d ) then
2.  {
3.    D(s,j) = D(s,i) + D(i,j)
4.    if (DM(s,d) > D(s,d) then {
5.      DM(s,d) = D(s,d );
6.      broadcast RREQ with d;
7.    }
8.    else discard RREQ
9.  }
10. else send RREP to i with DM(s,d) ;

```

[그림 23] 전달 지연을 고려한 라우팅 절차

그림 23은 전달지연을 고려한 라우팅 절차를 나타내었다. 경로상의 각 중간 노드에서 RREQ를 전달 할 때 가장 적은 지연 값을 기억하고 있다가 이 값 보다 큰 지연 값을 가진 RREQ는 폐기한다. 5번 행에서 현재까지 경로의 지연 값을 구하고, 경로의 최소 지연 값과 비교하여 지연이 더 작으면 최소 지연 값을 갱신하고 다음 노드로 방송한다. 비교

값이 더 크면 RREQ를 폐기 한다. 만약 목적 노드라면 RREP를 역 경로로 전송한다.

지연 고려 라우팅에서의 문제 점은, 홉 수가 작은 경로를 선택하면 전송 거리가 커진다는 점이다. 무선 전송은 전송 거리에 3 제곱에 해당하는 전송 전력이 소비되므로 전송 거리는 전력 소비와 밀접한 관계다. 한정된 전력을 가진 노드에서 전력 소비가 많으면 노드의 전력이 고갈되어 모든 통신과 QoS가 중단되는 치명적인 결과가 발생된다. 이러한 치명적인 결과를 줄이기 위하여 전력을 고려하는 라우팅 프로토콜이 필요하다.



제 3 장 전력 인지 QoS 라우팅

MANET을 구성할 경우 각 노드는 배터리를 주 전력으로 사용 하는 것이 일반적이다. 따라서 전력이 완전히 소모된 노드는 MANET을 구성함에 있어 제 역할을 할 수 없게 된다. 이런 경우 전력 소모를 고려하는 전력인지 라우팅이 필요하다. 전력을 고려 할 때 여러 가지 전력 인지 방식이 있을 수 있다. 각 단말기에서의 남아 있는 전력을 고려하여 전력이 많이 남아 있는 노드들을 경유하여 경로를 설정 하는 방식이 있고, 전송시의 소비 전력을 고려하여 소비 전력이 적은 경로를 선택하는 방식도 있다. 또한 이 두 가지를 전력을 다 고려하는 방식도 고려해 볼 수 있으며, 또 다른 QoS 요소 들과 같이 고려해서 라우팅 하는 것도 고려해 볼 수 있다.

본 장에서는 전력인지 QoS 라우팅을 제안한다. 3.1절에서는 수명 비교 방식의 전력 인지 라우팅에 대해서 서술하고, 3.2절에서는 전력 인지 라우팅의 문제점인 홉 지연을 개선한 지연 고려 전력 인지 라우팅에 대해서 서술한다.

3.1 전력 인지 라우팅

한정된 전력을 가진 노드의 작동 시간을 연장하여 네트워크 서비스를 제공하기 위해서는 전력을 고려하는 라우팅이 필수적이다. 전력을 고려한 라우팅을 적용 방식으로 구분하면 QoS를 먼저 고려하고 전력을 고려하는 방식과 반대로 전력을 우선 고려하고 QoS를 고려하는 것으로 구분 할 수가 있겠는데, 본 절에서는 전력을 우선 고려하는 전력인지 라우팅 방식을 제안한다. 전력 고려 방식을 적용하기 위해서 우선 두 가지 전력

고려 방식인 전송전력 고려 방식과 잔류 전력 고려 방식들을 살펴 보고 그들의 장점을 취한 수명 비교 방식을 제안한다. 다음으로 제안된 수명 비교 방식의 라우팅 프로토콜을 제시하고, 제시된 방식의 성능 평가와 결론을 살펴본다..

3.1.1 전력 고려 방식의 제안

전력을 고려하는 방식에 따라 여러 가지의 전력 고려 방식이 있지만 크게 나누어 보면 통신할 때 소비되는 전송 전력을 고려하는 방식과 노드의 잔류 전력을 고려하는 방식으로 나눌 수 있다. 두 가지 방식은 모두 어느 한쪽의 전력을 고려하는 방식으로 전력의 일부분을 고려한다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 양쪽의 전력을 다 고려하는 수명 평가 방식을 제안한다. 그리고 경로의 평균 전력 상태를 고려하지 않고 각 노드마다 수명을 바로 계산하여 계산된 수명의 최소 값과 평균 값을 합하여 평균을 취해서 경로의 평가 값을 측정하고 이것을 다른 경로들과 비교하여 최대의 평가 값을 가진 경로를 선택하는 방식이다. 전력 고려 방식의 비교를 위해서 우선 전송 전력 고려 방식과 잔류 전력 고려 방식에 대해서 살펴보고, 이 두 가지를 모두 고려하는 수명 비교 방식을 제안한다.

3.1.1.1 전송 전력 고려 방식

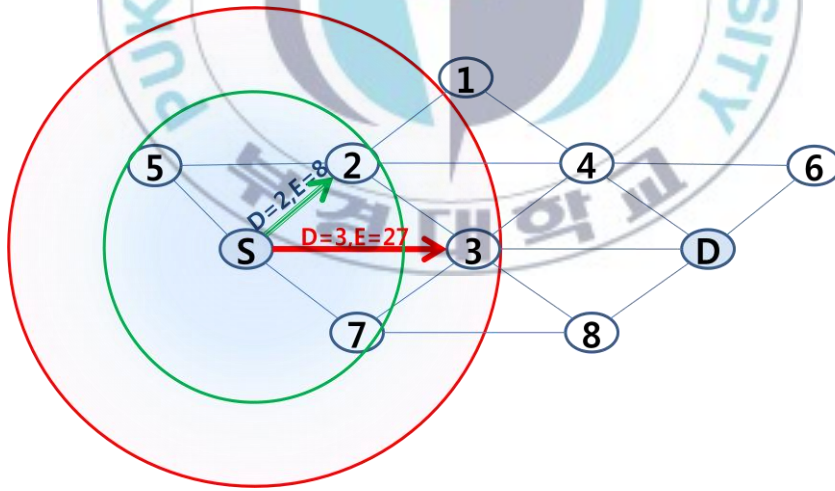
전송 전력을 고려하는 방식은 경로 상의 전체 전송 소모 전력을 비교하여 소모 전력이 최소인 경로를 설정하는 방식이다. 링크(i, j)를 통하여 단위 데이터를 송수신할 때 노드 i 와 j 는 각각 일정한 전력을 소모하게 된다. 이 전력을 $E(i, j)$ 라 하면, 단 대 단 경로 $R(s, d)$ 를 통하여 단위데이터를 전송할 때 소요되는 전력은 경로의 각 링크의 전송전력과

수신 전력의 합이다. 노드 i 가 링크 (i,j) 를 통하여 노드 j 에 k 비트의 데이터를 전송할 경우 노드 i 는 송신 전력 $E_T(i,j)$ 를, 노드 j 는 수신 전력 $E_R(i,j)$ 를 소모하게 되는데 두 노드간의 거리를 d_{ij} 라 하면 각각은 식 2, 3로 표시된다[13].

$$E_T(i,j) = E_{TX} \cdot k + E_{AMP} \cdot K \cdot d_{ij}^n \quad [\text{식 2}]$$

$$E_R(i,j) = E_{RX} \cdot k \quad [\text{식 3}]$$

여기서 E_{TX} , E_{RX} 는 각각 전송 에너지 소모와 수신에너지 소모를 나타내고 E_{AMP} 는 전파 방출 에너지 손실을 표시하며 n 은 상수로 주변상황에 따라 2에서 4의 값을 가진다.



[그림 24] 전송 거리에 따른 전송 에너지 소모량 비교

그림 24에서 전송 거리에 따른 전송 에너지 소모량 비교를 살펴 보면 식 2에 의해서 계산된 전파 방출 에너지 소비량을 전송거리 2와 3일 때의 전송 소비 전력으로 계산한 값으로 나타내었다. K를 1비트로 보았을 때 식 2에서 다른 항목 들은 대개가 상수이거나 1차 식으로서 큰 변화가 없지만 n은 평균 3으로 거리 d값에 3제곱으로 변화 함으로 d값은 대단히 민감한 값을 알 수 있다. 그림에서는 2차원적인 비교로써 평면적으로 따지면 3제곱으로 증가 하지 않을 듯 하지만 실제로 공간상에서는 상하좌우 모든 방향으로 확산 되기 때문에 이와 같이 큰 변화를 가져온다. 식 2에서 다른 모든 상수는 고정된 값이므로 고려하지 않고, 거리에 따른 전파 방출 에너지만 계산하면 s노드에서 2번 노드 까지는 거리가 2(D=2)이므로 $2^3 = 8(E=8)$ 이고, s에서 3번 노드 까지는 거리가 3이므로 $3^3 = 27$ 이다. 거리가 2일 때는 8이라는 전송 전력이 소모 된다면, 거리가 3일 때는 27이라는 전송 전력이 소모된다. 거리 변화에 비교해서 전송 전력은 그 변화가 대단히 크다는 것을 알 수 있다.

식 2, 식 3로부터 노드 i가 노드 j로 링크(i,j) 를 통하여 단위데이터를 송수신하는데 필요한 에너지는 식 4와 같다.

$$E(i,j) = E_T(i,j) + E_R(i,j) \quad [\text{식 4}]$$

소스노드 s에서 목적노드 d까지 경로를 R(s,d) 라고 하면 R(s,d)를 통해 전송 할 때 전체 소비전력 E(s,d)은 식 5로 표시된다. 즉 경로상의 총 전력 소비는 경로상의 각 링크들의 전력 소비의 합과 같다

$$E(s,d) = \sum_{(i,j) \in R(s,d)} E(i,j) \quad [\text{식 5}]$$

이 경우 존재 가능한 $R(s,d)$ 경로들 중 전력소모 $E(s,d)$ 를 최소화 하는 $R(s,d)$ 를 구하는 것이 전력인지 라우팅 프로토콜의 한 예이다. 이 경우 전체 네트워크에서 전송 에너지의 소모를 최소화하는 경로를 설정함으로써 전체 시스템의 수명을 최대한 오래 유지하게 한다. [8,59].

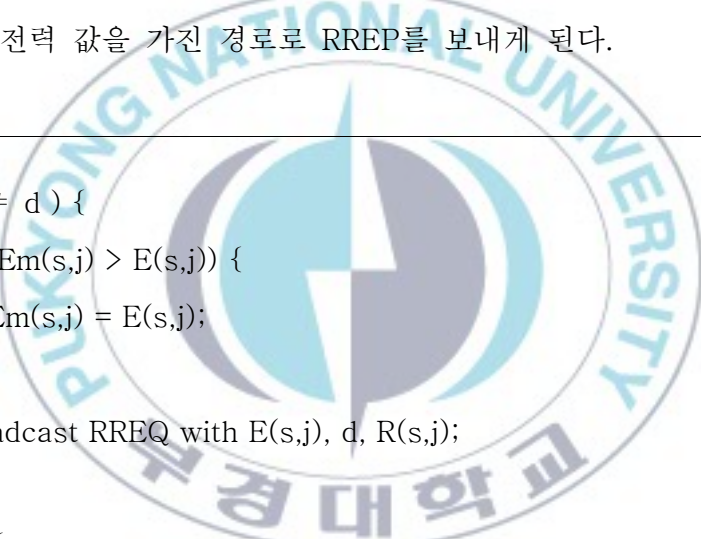


그림 25에서 전송 전력 인지 라우팅 프로토콜의 설정 경로를 보여 준다. 전송 전력을 고려하여 경로 설정을 하면 굵은 화살표로 표시된 것처럼 $[s, 2, 3, 4, d]$, $[s, 2, 3, 8, d]$ 두 가지 경로가 있다. 이때의 전력소비는 $8 + 8 + 8 + 8 = 32$ 로써 최단 홉 경로 $[s, 3, d]$ 의 54 보다 40% 줄었지만 홉 수는 4로써 홉 지연은 두 배 늘었다. 전송 전력은 거리에 약 3제곱에 비례하는데, 전송 소비 전력 인지 라우팅에서는 전송 거리를 최대한 줄혀 전송 전력을 최소화하는 경로를 택하기 때문이다. 전송 거리를 줄혀 전력소모를 최소화 하는 경로는 홉 지연을 증가시키는

원인이다. 또한 전송 소비 전력을 고려한 경로 설정은 단 대 단 경로 ($R(s,d)$)의 소비 전력의 합만을 고려하며, 경로 상 노드들의 현재 잔류 전력을 고려하지 못함으로써 경로 상에 잔류 전력이 부족할 경우 네트워크의 단절이 빨리 올 수 있다.

그림 26, 그림 27은 전송 전력 인지 라우팅의 경로 요청과 경로 설정을 나타내었다. 그림 26 경로 요청 2번 행에서 각 중간 노드는 전송 전력 소모 값을 비교하여 더 작은 RREQ 경우에만 경로를 설정 한다.

그림 27에서 목적 노드는 각 경로의 전송 전력 값을 비교하여 제일 적은 전송 전력 값을 가진 경로로 RREP를 보내게 된다.



```

1. if (j ≠ d) {
2.   if (Em(s,j) > E(s,j)) {
3.     Em(s,j) = E(s,j);
4.   }
5.   broadcast RREQ with E(s,j), d, R(s,j);
6. }
7. else {
8.   send RREP to i with Em(s,d);
9. }

```

[그림 26] 전송전력 인지 라우팅 경로요청

```

1. if (Erm > Em(s,d)) {
2.   Erm(s,d) = Em(s,d);
3.   add k to routing table with Erm;
4.   if (j≠s) {
5.     send RREP to i with Erm(s,d);
6.   }
7. }
8. else {
9.   discard RREP ;
10. }

```

[그림 27] 전송전력 인지 라우팅 경로설정

3.1.1.2 잔류 전력 고려 방식

잔류 전력 고려 방식은 경로상의 각 노드에 현재 남아있는 잔류 전력을 고려하여 라우팅을 설정하는 방식이다. 각 경로의 경유하는 노드들의 잔류 전력 합이 제일 큰 경로를 선택하는 방식으로 시스템의 전력 소비를 균일하게 하기 위함이다.

다음 식 6는 이러한 잔류 전력을 고려하는 방식의 평가 함수의 예이다[61].

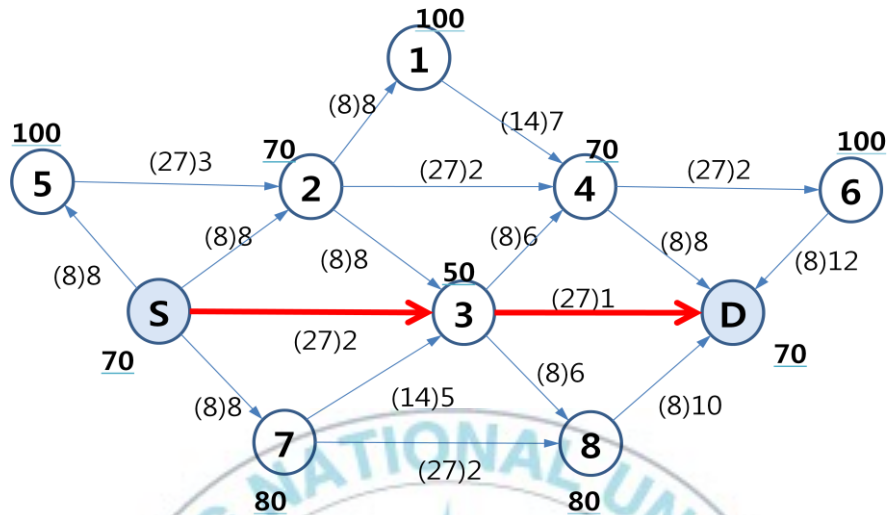
$$\alpha = \frac{Min_RE \cdot P + ARE(1-P)}{\#Hops \cdot k} \quad [식 6]$$

·Min_RE : 경로 상의 노드의 최저 잔류 에너지 값.

- ARE : 경로 상의 노드의 평균 잔류 에너지 값.
- # Hops : 경로의 홉 수.
- P : ARE와 Min_RE에 대한 비율 인자 ($0 \leq P \leq 1$)
- k : 홉 수에 대한 가중치.

위의 식 6에서 α 의 값이 가장 큰 경로를 선택한다. 즉, 상대적으로 경로상의 노드의 평균 잔류 에너지 값과 최저 잔류 에너지 값이 크고 홉 수가 작은 경로를 선택한다. 다른 노드에 비해 잔류 에너지가 적은 노드가 경로에 선택되는 것을 제한한다. 식에서 인자 P를 두어 경로 선택 시 최저 잔류 에너지(Min_RE)와 평균 잔류 에너지(ARE) 간의 반영 비율을 적절히 조정할 수 있다. 즉, P를 1에 가깝게 설정하면 최저 잔류 에너지에 많은 비중을 두어 경로 설정을 하므로 잔류 에너지가 적은 노드 위주의 에너지 소모 균형을 유도하고, 0에 가깝게 설정하면 평균 잔류 에너지에 비중을 두어 경로상의 전체 노드의 에너지 수준을 고려한 균형을 유도한다.

여기에서 잔류 에너지의 단위가 줄(Joules)인 점을 감안하면 1홉의 차이는 단지 한 번의 전송과 수신을 더하는 것이므로 에너지 측면에서는 상대적으로 매우 작은 차이라고 할 수 있다. 그러므로 홉 수의 차이가 경로 선택에 너무 큰 비중으로 반영되지 않도록 홉 수에 대한 가중치 k를 두었다. 이 값은 센서 네트워크의 트래픽 모델, 대역폭(bandwidth), 에너지 모델을 고려하여 한 홉의 증가에 따른 에너지 소모비의 근사값을 구하여 설정한다. 즉, 하나의 패킷을 전송하고 수신하는데 필요한 에너지를 계산하여 가중치로 사용한다.



[그림 28] 잔류 전력 인지 라우팅 설정 경로

그림 28는 잔류 전력 인지 라우팅 설정 경로를 나타내었는데, S에서 D로 가는 여러 가지 경로 중에서 식 6에 의해서 선택된 경로이다. 홑이 작을수록 평가되는 ∞ 값이 크므로 결국 최소 홑 라우팅과 거의 비슷한 결과를 나타낸다. 이러한 잔류 전력 경로 설정에서의 문제는 노드들의 잔류 전력과 홑 수만을 고려하였을 뿐 전송전력을 고려하지 않아 전송 전력이 많이 소모되는 경로를 택하는 경우가 많다. 그림에서도 [s, 3, d]의 경로는 전송 소비 전력이 54로써 높은 편이다. 그리고 3번 노드의 전송 수명이 1이므로 경로의 수명은 결국 1이다.

그림 29, 그림 30에서는 잔류 전력 인지 라우팅 경로 요청과 경로 설정 절차를 보여 준다..

```

1. Update_RREQ()
2. {
3.   If Node receive RREQ message then
4.   {
5.     RREQ.Hop_count  $\leftarrow$  RREQ.Hop_count + 1;
6.     RREQ.TRE  $\leftarrow$  RREQ.TRE + Res_Energy;
7.     If (RREQ.Min_RE  $\leftarrow$  -1 or RREQ.Min_res_Energy)
8.     then RREQ.Min_RE  $\leftarrow$  Res_Energy;
9.   }
10.  Re-broadcast RREQ
11. }

```

[그림 29] 잔류 전력 인지 라우팅 경로 요청 절차

잔류 전력 고려 방식에서는 전송 전력을 고려하지 못하고 잔류 전력만을 고려함으로써 경로의 수명에 대한 잘못된 판단을 할 수 있다.

다음 3.1.1.3에서 제안 하는 수명 비교 전력 인지 방식에서는 경로상의 모든 노드에서 전송 소비전력과 노드의 잔류 전력을 고려하여, 최대한 수명이 오래 가는 경로를 선택하는 방식이다. 잔류나 전송전력 한가지의 전력만 고려하는 알고리즘들은 다른 하나의 전력을 고려하지 않아 반쪽의 전력인지 라우팅으로서 효과가 반감되었다. 예를 들면 라우팅 경로 설정 시 소비 전력이 적은 경로를 선택했다고 하더라도, 경유노드들의 잔존 전력이 적다면 결국 경로는 빠르게 단절 될 것이다. 마찬가지로 노드들의 잔존 전력 합이 많은 경로를 택한다 할지라도 그 경로에 잔존 전력이 적은 하나의 노드라도 포함되어 있거나, 전송 소비

전력이 크다면 역시 전력이 소진되는 노드가 빠르게 발생 하여 경로의 수명은 빠르게 끝난다.

```
1. Reply_RREP
2. {
3. if first RREQ message received then
4. {
5. Start timer_RREQ;
6. i ← 0
7. while (timer_RREQ is not expired) do
8. { //calculate ARE, Alpha and store forwarding node ID for each
   route.
9. ARE ← RREQ.TRE/(RREQ.Hop_count-1);
10. Alpha[i]←(RREQ.Min_RE*P+ ARE*(1-P))/(RREQ.Hop_count*k);
11. Forwarding_node[i] ← RREQ.forwarding_node_ID;
12. i ← i+ 1;
13. Wait for next RREQ;
14. }
15. Find index value n for maximum alpha value;
16. Send RREP message to forwarding_node[n];
17. }
18. }
```

[그림 30] 잔류 전력 인지 라우팅 경로 설정 절차

이러한 이유로 탐색되는 경로의 노드들의 전송 수명을 바로 계산하여 경로 설정에 반영하는 방법이 필요하다. 다음 3.1.1.3에서 제안하는 수명 비교 전력인지 방식의 알고리즘과 프로토콜을 자세히 설명한다.

3.1.1.3 수명 비교 방식 제안

앞 절에서 소개한 전송 전력 고려 방식은 노드들의 잔류 전력을 고려하지 못하고, 노드의 잔류 전력을 고려하는 방식은 전송 전력을 고려하지 못하는 단점이 있었다. 반쪽의 전력을 고려 할 뿐만 아니라 평균 전력을 고려함으로써 개별적인 노드의 수명을 알지 못한다. 이러한 방식 들의 단점을 개선한 수명 비교 방식은 개별 노드들의 잔류 전력과 전송 소비 전력을 모두 고려하기 위하여 RREQ시에 노드의 잔류 전력을 링크의 전송 소비 전력으로 나누어 노드의 전송 수명을 계산한다. 경로상의 모든 노드들의 수명을 계산하고 이것을 바탕으로 경로상의 최소 수명과 평균 수명을 갱신하며 모든 노드들을 거쳐 마지막 목적 노드에 와서, 소스 노드부터 목적 노드까지의 경로의 평균 수명과 최소 수명을 합하여 2로 나누어 평균을 구해서 이를 경로의 수명 평가 값으로 한다. 이러한 평가 값을 가지고 여러 경로를 비교하여 수명이 가장 긴 경로를 찾아 낸다.

각 노드의 수명 평가 값을 구하는 식과 목적 노드에서 각 경로를 평가하는 식은 다음과 같다.

$$\text{노드의 수명 평가 값} = \text{노드의 잔존 전력} / \text{링크의 전송 소비 전력} \quad [\text{식 } 7]$$

$$\text{경로의 수명 평균 값} = \text{경로의 수명 합} / \text{경로의 hop수} \quad [\text{식 } 8]$$

$$\text{경로의 수명 평가 값} = (\text{경로의 수명 최소 값} + \text{경로의 수명 평균 값}) / 2 \quad [\text{식 } 9]$$

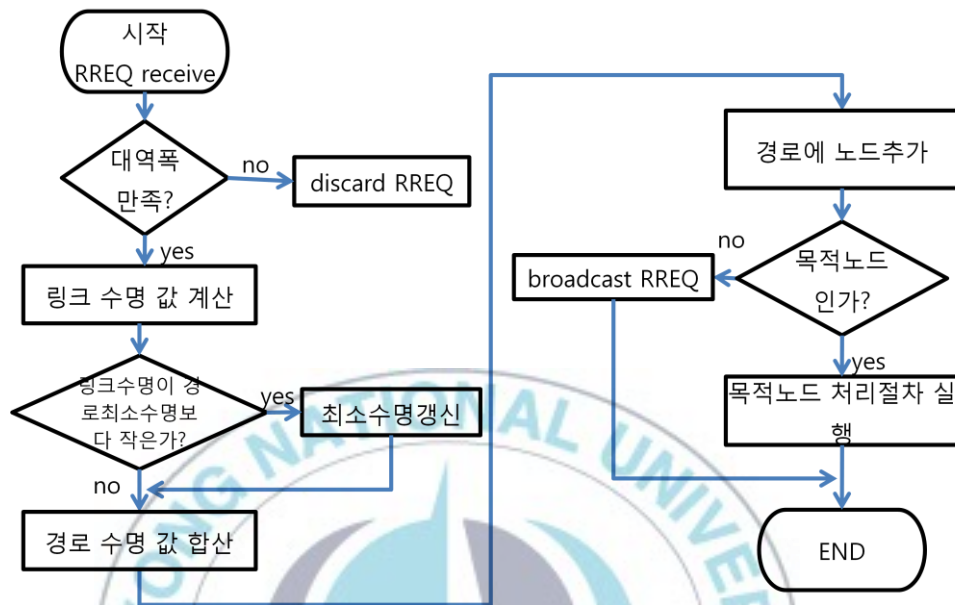
경로를 설정 함에 있어서 여러 가지 평가 함수들이 존재 할 수 있지만 대체로 전력을 고려한다는 것은 해당 경로와 전체 네트워크의 수명을 늘이고자 함이다. 경로의 최소 수명은 해당 경로의 최소 수명 노드의 값으로 판단 할 수가 있으며, 경로 수명의 평균은 해당 경로의 노드들의 평균 수명을 말해 준다. 노드들의 평균 수명과 최소 수명의 평균 값은 수명 비교 경로 설정 판단의 기준이 된다. 경로의 평균 수명이 크다 해도 노드의 최소 수명이 작으면 경로의 수명은 작고, 노드의 최소 수명이 크다 해도 경로의 평균 수명이 작은 경로는 시스템 전체의 수명을 짧게 한다. 그러므로 시스템 수명과 해당 경로의 수명을 같이 고려하기 위하여, 경로의 수명의 평균과 경로 최소 수명 노드 값을 반영하여 수명을 직접 판단한다. 각 노드의 수명을 구하여 각 노드 별로 판단하는 방식은 직접적이고 확실하여, 다른 방식의 판단 보다 경로의 수명을 잘 반영한다고 할 수 있다.

3.1.2 라우팅 프로토콜

제안하는 전력 인지 라우팅 프로토콜은 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 경로를 탐색하기 위한 경로 요청, 목적노드 처리 절차와 경로 설정 부분으로 나눌 수가 있다. 우선 흐름도와 함께 개괄적으로 설명한 다음, 3부분을 다시 한 부분씩 나누어 처리 절차를 상세히 설명한다.

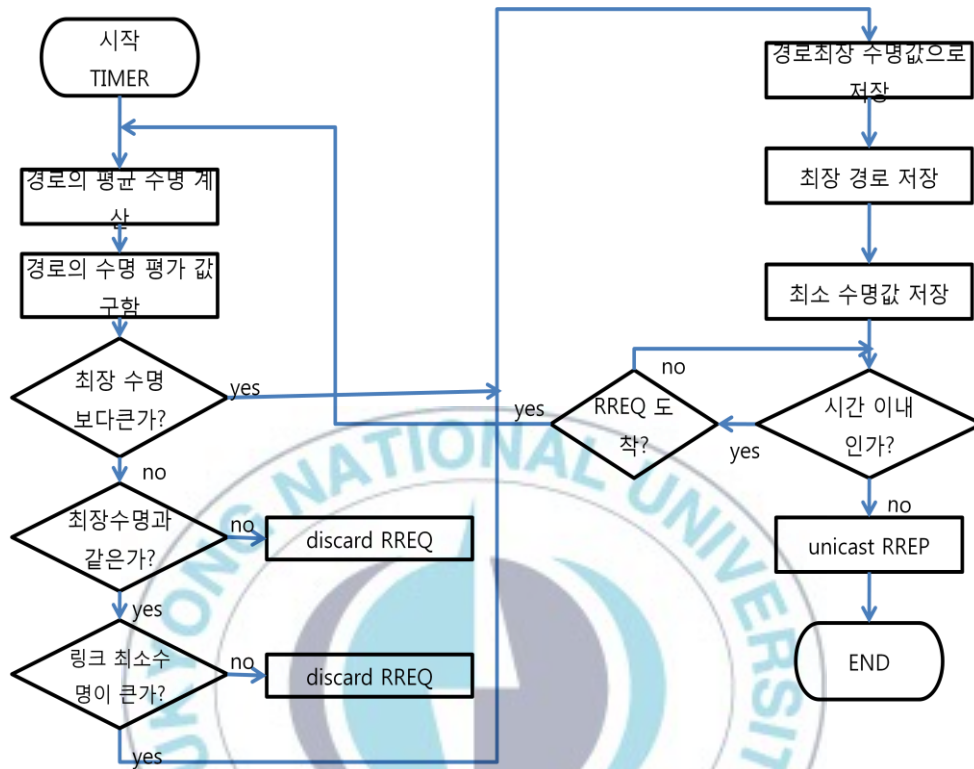
3.1.2.1 흐름도

제안하는 전력 인지 라우팅은 기본 적으로는 AODV 방식에 QoS 를 고려하는 QAODV 방식과 가장 유사하며 RREQ시에, 각 경유 노드에서 노드의 전송 수명을 산출하여 경로 설정에 반영 하도록 한다.



[그림 31] 경로 요청 흐름도

그림 31에서 제안된 알고리즘의 경로 요청 흐름도를 나타내었다. 먼저 제시하는 프로토콜은 경로 설정을 위한 RREQ 방송 중에 QoS 제공을 위한 각 링크의 유희 대역폭을 검사하고, 전력을 고려하기 위해서 경유하는 노드마다 노드의 수명 값을 구한다. 경로의 경유 노드들에서의 최소 수명 값과 수명 합을 구하고 해당 노드가 목적 노드인가를 판단하여 목적 노드가 아니면 RREQ를 다시 방송하고, 목적 노드에 도착하게 되면 목적노드 처리절차인 D_NODE_PROCESS를 실행한다. 만약 중간 노드가 목적노드의 경로를 알고 있다 하더라도 경로의 수명 정보를 수집하기 위해서는 목적 노드까지 RREQ를 전송한다.

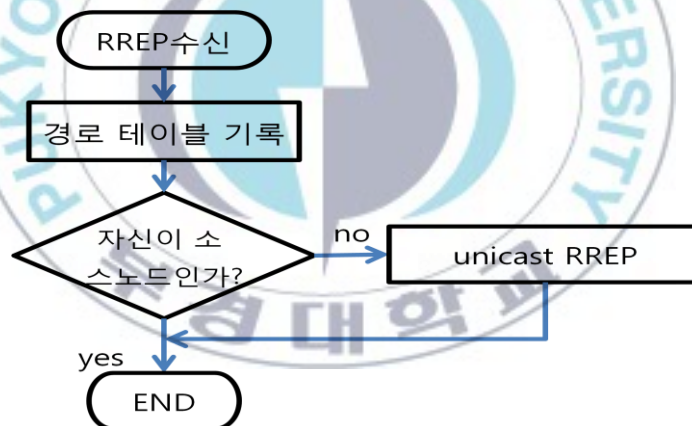


[그림 32] 목적노드 처리 절차(D_NODE_PROCESS) 흐름도

그림 32은 목적 노드처리 절차(D_NODE_PROCESS) 흐름도를 나타내었다. 일단 RREQ가 목적노드에 도착 하였으므로, RREQ의 경로를 평가하여 다른 경로들과 비교해 가장 수명이 큰 경로를 결정해야 한다. 첫 번째 처리 절차로서, 타이머를 가동하고 미리 지정된 시간(예 : 첫 RREQ 걸린 시간의 두 배) 동안 다음과 같은 처리를 한다. 해당 경로의 수명 합(RLS)을 홉으로 나누어 평균 수명(RLM)을 구하고 이 평균수명(RLM)과 최저수명(RLT)을 합하여 2로 나누어 경로의 수명 평가 값(RPL)을 구하여 해당 경로를 평가한다. 경로 평가 값을 이전에 도착한 최고 평가 값과 비교하여 평가 값이 크면 이 경로를 저장하고 다음

RREQ가 도착 하면 계속 비교하여 가장 큰 값을 저장하고, 해당 경로와 최소 수명 값도 저장한다. 이때 수명 평가 값이 같을 경우에는 최소 수명 값을 비교하여 최소 수명 값이 큰 경로를 선택하여 저장하도록 한다. 경로의 수명은 근본 적으로는 경로상의 최소 수명 값을 가진 노드의 수명과 같기 때문이다.

다음으로는 설정된 시간 이내 인지를 타이머를 통해 확인하고, 설정된 시간 이내이면 RREQ를 대기하고, 대기하다가 RREQ가 새롭게 도착하면 경로의 평가부터 다시 시작하여 처리 과정을 반복한다. 만약 설정된 시간이 끝나면 목적노드는 저장된 최장의 수명 평가 경로를 실어 RREP를 소스 노드에게 $R(s,d)$ 경로의 역순으로 유니캐스트(Unicast)한다.



[그림 33] 경로 설정 흐름도

그림 33은 경로 설정 흐름도이다. RREP가 목적노드로부터 유니캐스트 될 때 중간 노드와 소스 노드들이 이 RREP를 받아 처리하는 과정이다. 우선 해당 노드는 경로 테이블에 목적지 방향의 경로 테이블을 작성하고 다음으로 자신이 소스 노드인가를 확인한다. 소스 노드가 아니면 $R(s,d)$ 의 역 경로로 RREP를 재 전송하고, 자신이 소스 노드이면

경로 설정 과정을 끝내고 필요하면 데이터 전송을 시작하면 된다. 다음 절에서 제안된 프로토콜의 경로요청과 목적 노드 처리 절차, 경로설정 과정을 자세히 설명한다.

3.1.2.2 경로요청

소스노드(s)는 데이터 전송을 위한 목적노드(d)를 찾기 위하여 라우팅 테이블을 검사하고 유효한 경로가 있으면, 경로로 전송을 시작하고, 없다면 목적노드 탐색을 위하여 대역폭(W), 지연계수(D), HOP, 경로 최소 수명(RLT), 경로 수명 합(RLS)을 포함한 RREQ를 인접노드에 방송 한다.

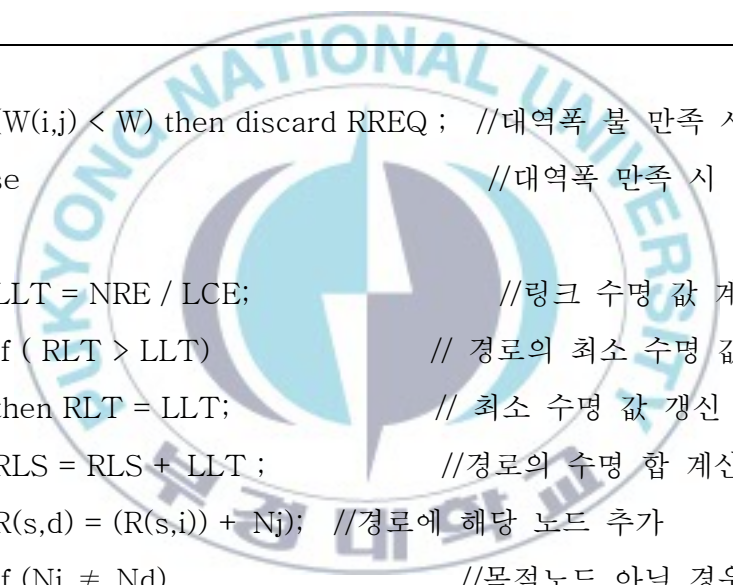
그림 34는 경로 요청 RREQ의 메시지 포맷(format)을 보여준다. RFC 3561에 따른 메시지 포맷에 아래 두 줄의 대역폭(W), 최소수명(RLT), 경로 수명 합(RLS)을 추가 하였다. 패킷에 추가된 정보는 64비트로 그리 많은 데이터 량은 아니다.

Type	J	R	G	D	U	Reserved	Hop Count
RREQ ID							
Destination IP Address							
Destination Sequence Number							
Originator IP Address							
Originator Sequence Number							
Route Lifetime Sum							
Route LifeTime				bandWidth			

[그림 34] 경로 요청(RREQ) 메시지 포맷

Type 1
J Join flag
R Repair flag
G Gratuitous RREP flag
D Destination only flag
U Unknown sequence number

그림 34의 첫 행의 타입 번호와 약자의 의미는 위와 같다.



```

1. if (W(i,j) < W) then discard RREQ ; //대역폭 불 만족 시 폐기
2. else //대역폭 만족 시
3. {
4.   LLT = NRE / LCE; //링크 수명 값 계산
5.   if ( RLT > LLT) // 경로의 최소 수명 값 비교
6.   then RLT = LLT; // 최소 수명 값 갱신
7.   RLS = RLS + LLT ; //경로의 수명 합 계산
8.   R(s,d) = (R(s,i)) + Nj); //경로에 해당 노드 추가
9.   if (Nj ≠ Nd) //목적노드 아닐 경우
10.  then broadcast RREQ with R(s,j), RLT, RLS; //RREQ 재 방송
11.  else do D-NODE PROCESS; //목적노드이면 D-NODE
        PROCESS 실행
12. } //대역폭 만족 시 실행 범위 끝

```

[그림 35] RREQ 경로 탐색 절차

그림 35는 RREQ 경로 탐색 절차를 나타낸 것이다. 인접노드 i 로부터 RREQ를 수신한 노드 j 는 링크(i, j)의 유틸리티 대역폭이 요구 대역폭 W 를 만족하는 지를 검사한다. 대역폭을 만족하지 않으면 RREQ를 폐기하고, 대역폭 조건을 만족하는 경우에는 현재링크의 전송 소비 전력(LCE)으로 노드의 잔존 전력(NRE) 값을 나누어 현재 링크의 수명(LLT)을 계산한다. LLT를 경로의 최소 수명 값(RLT)과 비교하여 LLT가 작으면 LLT값을 RLT값으로 갱신해준다. 현재 링크의 수명 값을 경로의 수명 합(RLS)에 더하여 경로의 수명 합을 갱신해 준다.

경로($R(s, i)$)에 해당 노드 j 를 추가해주고, 자신이 목적노드인가를 검사하여 목적노드가 아니면 RREQ를 재 방송 하고, 목적노드일 때는 D_NODE PROCESS를 거쳐 경로 설정(RREP) 과정으로 들어간다. RREQ과정에서는 중간노드가 목적지 노드까지의 경로 정보를 가지고 있더라도 소스로부터 목적지 노드까지의 경로 상에 있는 링크들의 수명 값을 수집하기 위해 계속해서 목적지 노드까지 RREQ를 전달한다. 하나의 노드를 거쳐 전달될 때마다 현재 링크의 수명 값을 구하여 경로의 최저 수명과 경로 수명의 합을 갱신하게 된다. 해당 노드를 경로에 추가하고 목적 노드인지를 검사한다. 만약 목적 노드가 아닐 경우 RREQ를 재 방송하고 목적 노드일 경우에는 D-NODE PROCESS를 실행한다.

3.1.2.3 목적노드 처리 절차

목적 노드 처리 절차(D_NODE PROCESS)는 RREQ가 목적 노드에 당도 했을 때 목적 노드에서 수행하는 처리 절차이다.

그림 36은 목적 노드에서 RREQ를 처리하는 절차를 나타내었다. 자신을 찾는 RREQ가 당도하면 미리 정해진 시간 동안 다음과 같은 처리를 한다. 해당경로의 최소 수명 값(RLT)과 경로 수명 합을 HOP으로

나누어 경로의 평균 수명을 계산한다. 경로의 평균 수명과 최저 수명을 합하여 2로 나누어 경로의 수명 평가 값(RPL)을 구한다음, 이 평가 값을 지금까지 최대 경로 평가 값인 RPL_g 와 비교 하여 해당 경로($R(s,d)$)의 RPL값이 크면 RPL_g 를 갱신하고 $R(s,d)$ 를 $R_G(s,d)$ 에 저장한다. 해당 경로의 최소 수명 값도 RLT_g 에 저장한다. RLT를 저장 하는 것은 경로 수명 값이 같을 때 최소 수명 값을 비교하여 큰 것을 선택 하기 위해서 이다. 이와 같은 처리를 정해진 시간 동안 계속 다음 RREQ를 기다려 반복한다. 정해진 대기 시간이 끝나면 저장된 최장 수명 경로($R_G(s,d)$)를 실어 RREP을 $R_G(s,d)$ 의 역 경로를 따라 전송한다.



```

1.  while (s_time < d_time) do //정해진 시간 동안
2.  {
3.      RLM=RLS/HOP;           //경로의 평균 수명 구함
4.      RPL= RLT+ RLM/2       //경로의 평가 수명 구함
5.      if (RPLg < RPL ) //R(s,d)의 최장경로수명과 비교하여 크면
6.      then {
7.          RPLg = RPL;       //경로들의 최장 수명으로 치환
8.          RG(s,d) = R(s,d); //해당 경로를 최장 경로로 저장
9.          RLTg = RLT;       //경로 최소수명 최장 값 기록
10.     }
11.     else if (RPLg = RPL){ //최장 수명과 같으면
12.         if (RLTG < RLT) { //경로 최소 수명 최고와 비교하여 크면
13.             RPLg = RPL;   //경로들의 최장 수명으로 치환
14.             RG(s,d) = R(s,d); //해당 경로를 최장 경로로 저장
15.             RLTg = RLT;   //경로 최소수명 기록
16.         }
17.         else discard RREQ ; //최소 수명이 작으면 버림
18.     }
19.     else discard RREQ ; //최장 수명과 안 같으면 버림
20.     wait for next RREQ; //다음의RREQ 대기
21. } //정해진 대기 시간 끝나면
22. send RREP to j with RG(s,d); // 최장 수명 경로 응답

```

[그림 36] 목적노드에서 RREQ 처리 절차

3.1.2.4 경로설정

노드 k로부터 RREP를 수신한 노드 j는 자신이 소스 노드가 아니면 RREP를 재 전송하고 자신이 소스 노드이면 전송된 경로를 경로 캐시 테이블에 기록하고 경로 설정을 완료한다. 이와 같이 제안한 프로토콜은 경로의 수명 평가 값이 큰 경로가 설정된다.

Type	R	A	Reserved	Prefix Sz	Hop Count
Destination IP address					
Destination Sequence Number					
Originator IP Address					
Originator Sequence Number					
Lifetime					
$R_G(s,d)$					

[그림 37] RREP 메시지 포맷

Type 2

R Repair flag; used for multicast.

A Acknowledgment required.

그림 37은 RREP 메시지 포맷을 나타내었다. 타입은 2이고 약자에 대한 설명은 그림 아래에 나타내었다.

그림 38는 노드 j가 RREP를 수신 했을 때 처리하는 절차를 나타낸다.

전력을 고려하지 않는 원래의 AODV 라우팅은 경로 설정 이후에 완성된 경로상의 노드에서 장애가 발생하여 경로가 단절되면 경로 복구 프로토콜을 실행하여 주변의 노드를 통한 우회경로를 설정하기도 하는데, 전력을 고려하는 본 프로토콜에서는 우회경로는 전력 고려 경로를 보장할 수 없다. 전력 고려 경로를 보장 하려면 새롭게 경로를 다시 설정하여야 한다.

```

1. if( $J \neq s$ ) then //자신이 소스노드가 아니면
2.   send RREP to i; //RREP 재 전송
3. else //자신이 소스 노드이면
4.   add  $R_i$  to routing table with  $R_G(s,d)$ ; //경로 테이블에 기록

```

[그림 38] RREP 처리 절차

3.1.3 성능평가

전력 인지 라우팅의 성능 평가를 위해서, 500m x 500m의 이차원 평면에 100개의 노드를 무작위로 배치하여 성능평가를 수행 하였다. 각 노드의 통신 반경은 50m로 설정하였는데 이는 하나의 노드 통신반경에 3.5 개 정도의 노드가 존재하는 밀도로 2-3개의 통신 가능한 이웃 노드가 있는 것을 의미한다.

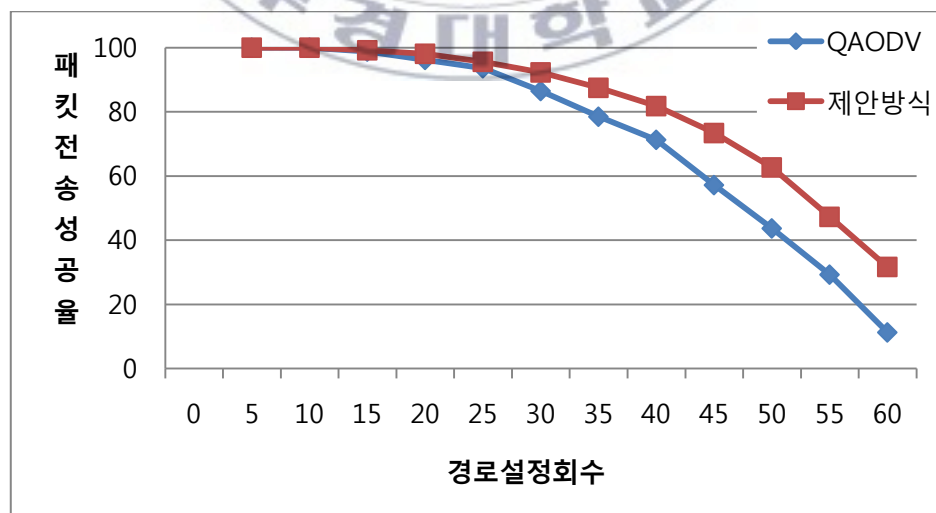
각 노드의 특성을 다음과 같이 가정한다. 모든 노드들은 이동성이 없고, 처음 할당된 에너지 이외의 에너지를 충당할 수 없어 에너지 제약적이다. 또한 모든 노드들은 고유의 ID를 가지고 응답시간을

바탕으로 전송 거리를 측정할 수 있으며, 전송 거리에 따라 전송 전력을 조절할 수 있다고 가정한다.

프로토콜의 동작은 Linux 시스템에서 ns-2를 사용하여 검증하였으며 패킷 전송 성공률을 측정하였다. 하지만 에너지 소비와 관련된 지표는 동일한 조건에서 C로 프로그램 하여 각 노드의 전력 상태를 조사 하였다.

노드 i에서 노드 j로 단위 패킷을 전송하는데 소요되는 전력은 $E_T(i,j) = E_{TX} \cdot k + E_{AMP} \cdot K \cdot d_{ij}^n$, ($4 \geq n \geq 2$)로 정해지는데 여기서 $n = 3$ 으로 하였다. 각 노드의 초기 전력을 100으로 두고 10m인접한 각 노드 간의 단위 패킷의 전송에너지가 1이 되도록 상수 k 를 조절하였다.

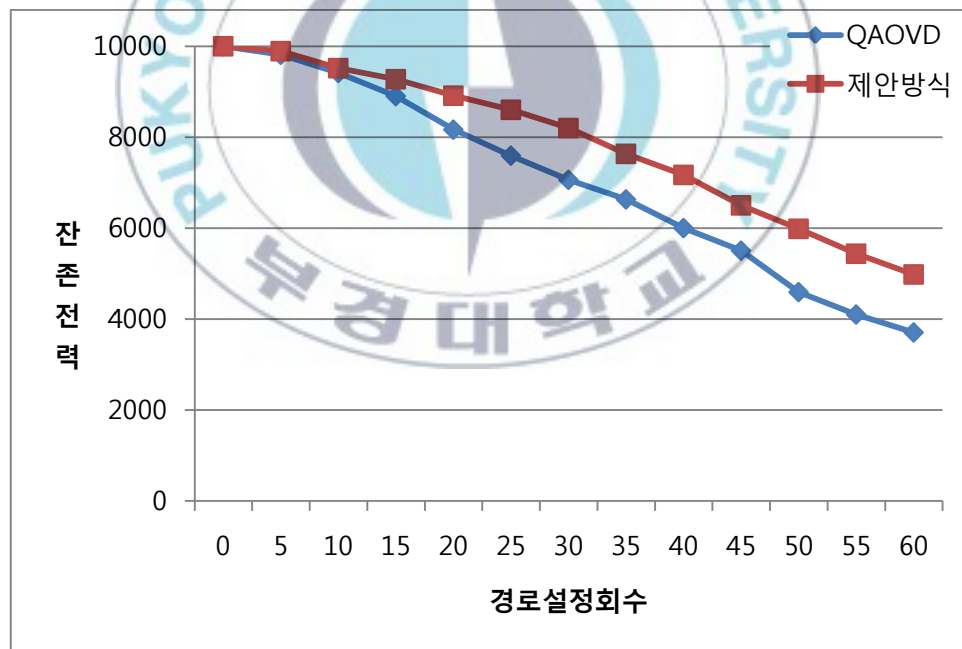
실험은 300m이상 떨어진 노드가 소스와 목적 노드가 되도록 선정하여 경로를 설정하고 단위 패킷을 전송하여 에너지를 소모하는 것으로 하여 경로설정을 반복적으로 수행 하여 성능평가를 하였다. 각각 60회의 경로 설정과 단위 패킷을 전송하는 동안 각 10회마다 패킷 전송 성공 율, 노드들의 잔존 전력, 전송 소비 전력과 전송 홉 수에 의한 전달 지연을 측정 하였다.



[그림 39] 경로 설정 회수에 따른 패킷 전송 성공률

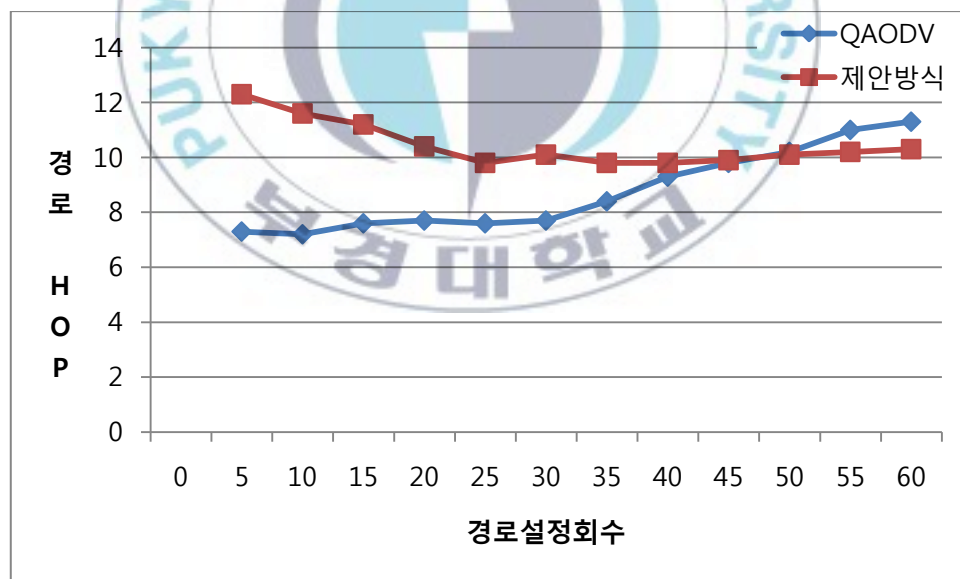
그림 39는 경로 설정 회수에 따른 패킷 전송 성공 율을 보여 준다. 패킷전송 성공률은 경로가 형성되지 않았거나 경로가 형성되었다 하더라도 전송 중에 전력을 모두 소비한 노드가 발생하면 패킷전송이 실패하게 되므로 애드 혹 라우팅에서 매우 중요한 지표가 된다.

기존의 QAODV 에서는 전력문제를 고려하지 않아서 경로의 설정이 반복 될수록 전력을 모두 소비한 노드의 증가로 네트워크에서 단절현상이 발생하여 패킷 전송 성공률이 감소하게 된다. 하지만 제안된 방법은 전력문제를 고려하기 때문에 각 노드는 상대적으로 수명이 증가하여 네트워크가 단절되는 경우가 줄어들게 되어 경로설정 횟수가 50을 넘어가도 30% 이상 높은 확률로 경로 설정을 할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 40] 경로 설정 회수에 대한 시스템 잔존 전력

그림 40을 통하여 경로 설정 회수에 대한 시스템의 잔존 전력의 상관관계를 확인할 수 있다. 실험 결과에서 설정경로당 소비되는 전력에 큰 차이가 발생함을 볼 수 있는데 60번의 경로설정이 경과된 후 QAODV의 경우 시스템의 전체전력은 35%정도 남게 되고 경로 설정 확률은 10% 정도밖에 되지 않는다. 하지만 제안된 프로토콜은 약50%의 전력을 남기고 있으며 그 결과 30%를 넘어서는 패킷 전송 성공 율을 보인다. 이러한 결과는 제안된 프로토콜은 소비전력을 최소화하기 위하여 노드간 거리가 짧은 노드를 통한 우회경로를 선택하여 전송 전력이 적게 소비되는 쪽으로 경로를 설정하기 때문이다. 전송 거리를 짧게 한다는 것은 경로의 홑 수를 증가 시키는 경향이 있으므로 설정경로의 홑이 커지게 된다. 이는 제안된 방식의 단점으로 볼 수 있다.



[그림 41] 경로 설정에 따른 경로 홑의 변화

그림 41는 경로 설정에 따른 경로 홉 수를 측정한 그래프이다. 제안하는 방식이 처음에는 QAODV보다 훨씬 많은 홉 수를 가진 경로를 설정하면서 홉 지연이 크다. 그러나 그 차이는 점점 줄어들어 45회를 넘어가는 시점에서는 다른 현상을 보이는데 QAODV의 경우는 경로설정이 가능한 노드가 전력소모로 인하여 사용불능 상태가 되고 우회경로를 선택하여야만 경로설정이 가능하기 때문에 경로의 HOP이 길어지는 것으로 판단된다.

3.1.4 결론

제안된 전력 인지 방식은 멀티미디어 전송에 필요한 대역폭을 확보하면서 전송 평가 수명이 가장 긴 경로를 확보한다. 제안된 방식에 대하여 성능평가를 수행하여 기존의 QAODV 방식에 비하여 전체시스템의 전력소비를 15% 정도 줄였고, 전력 소모에 의하여 발생하는 네트워크 단절현상이 개선되어 전송성공율을 높이는 것을 확인하였다. 단 전력문제만을 고려하여 선정된 경로의 HOP이 커지게 되는데 이로 인하여 멀티미디어 네트워크의 중요한 전송품질인 전송지연을 나쁘게 하는데 이에 대한 개선이 필요하다.

3.2 지연 고려 전력 인지 라우팅

3.1절에서 제안한 전력인지 라우팅 방식은 주요한 전송 품질인 홉 지연을 크게 하는 단점이 있었다. 전달지연의 경우 그 자체 문제만으로 NP-complete에 속하는 복잡한 문제로 분류된다[5,9]. 본 절에서는 홉 지연을 고려한 전력 인지 라우팅 방식을 제안 한다. MANET에서의

전달지연 지표는 사용하는 라우팅 프로토콜에 따라 다르게 적용된다. 본 논문에서는 전달지연을 고려하는데, 문제를 단순화 하기 위하여 전달지연의 여러 항목들 중 홉을 사용하였다. 하지만 프로토콜 구성을 살펴보면 다른 형태의 지연함수도 사용 가능하다. MANET의 각 노드들이 동일한 기기일 때 처리 하는 속도는 동일하다고 볼 수 있으므로 경로의 지연은 단 대 단 홉 수에 비례할 것이다. 그러므로 홉에 의한 지연 측정은 단순하면서도 효과적이다. 최소 홉 라우팅 방식이 바로 홉 지연을 고려한 라우팅 방식이라고 할 수 있다.

멀티미디어 라우팅은 전송을 위해서 우선 대역폭과 홉 지연을 보장해야 하지만, 홉 지연은 전력 소비와 서로 상충하는 관계에 있다. 앞 절에서 제안한 전력 인지 QoS 라우팅은 전송 지연을 고려하지 못하였다. 이 절에서는 어느 정도 홉 지연을 방지 하면서 전력을 고려하는 절충 방식을 고려한다. 홉 지연은 QoS 상황에 따라 가변적으로 조절이 가능하도록 해야 한다. 경로 설정 단위로 급한 패킷은 바로 전달하고 그렇지 않은 패킷은 전력 소비를 절감하는 경로로 패킷을 전달 할 수가 있다. 서로 상충하는 요소인 전력과 홉 지연을 절충하기 위해서 조절 메커니즘이 필요한데, 다음 절에서 홉 지연 조절 메커니즘을 설명한다.

3.2.1 홉 지연 조절 메커니즘

전력 인지 라우팅에서의 단점인 홉 지연을 제한하기 위해서 홉 지연 조절 메커니즘을 제안한다. 제안하는 홉 지연 조절 메커니즘은 전력 소모와 상충하는 홉 지연을 일정 범위로 제한하여, 두 요소가 서로

절충하는 방식으로 일정 범위로 홉 지연을 제한하되, 네트워크의 상황에 따라 적응적으로 조절이 가능 하여야 한다.

홉 지연 조절 메커니즘은 경로를 요청하는 RREQ의 방송 시에 홉 지연 허용 값인 D 를 설정하여 지연 범위를 제한해 준다. RREQ가 각 노드를 통과 할 때, 소스부터 해당 노드까지의 최소 홉에 지연 값 D 를 더한 만큼의 홉을 가진 RREQ들만 해당 노드를 통과 하도록 하고, 허용치를 초과하는 홉을 가진 RREQ들은 폐기하여 RREQ의 과다 방송에 의한 오버헤드를 방지하고 과다한 홉 지연을 방지한다.

적절한 홉 지연 제한 값은 홉 지연을 적게 하면서 전력 절감 효과는 크게 한다. 적절한 홉 지연 제한 값을 얻기 위하여 휴리스틱 알고리즘으로 분석하였다. 4.2 절에서 분석한 홉 지연 값 변화에 대한 경로 수명의 상관 관계를 분석한 결과, 최소 홉의 2배에서 가장 수명 평가 값이 증가 하였다. 그러므로 홉 지연 값은 최소 홉 값과 같이 설정하여 전체적으로 최소 홉의 2배가 되게 한다.

D 값 변화에 따른 특성들을 살펴보면 D 값을 0에 가까이 주면 최소 홉 라우팅 과 같이 동작하고 D 값을 크게 줄수록 홉 지연을 고려 하지 않는 전력 인지 라우팅과 같이 동작한다. 특별히 홉 지연 값을 지정할 필요가 없을 경우에는 휴리스틱 방법으로 찾은 최소 홉 값으로 D 값을 설정한다. 결과적으로 최소 홉의 2배 이내에 있는 경로 들 중에서 수명이 제일 긴 경로를 찾는 것이다.

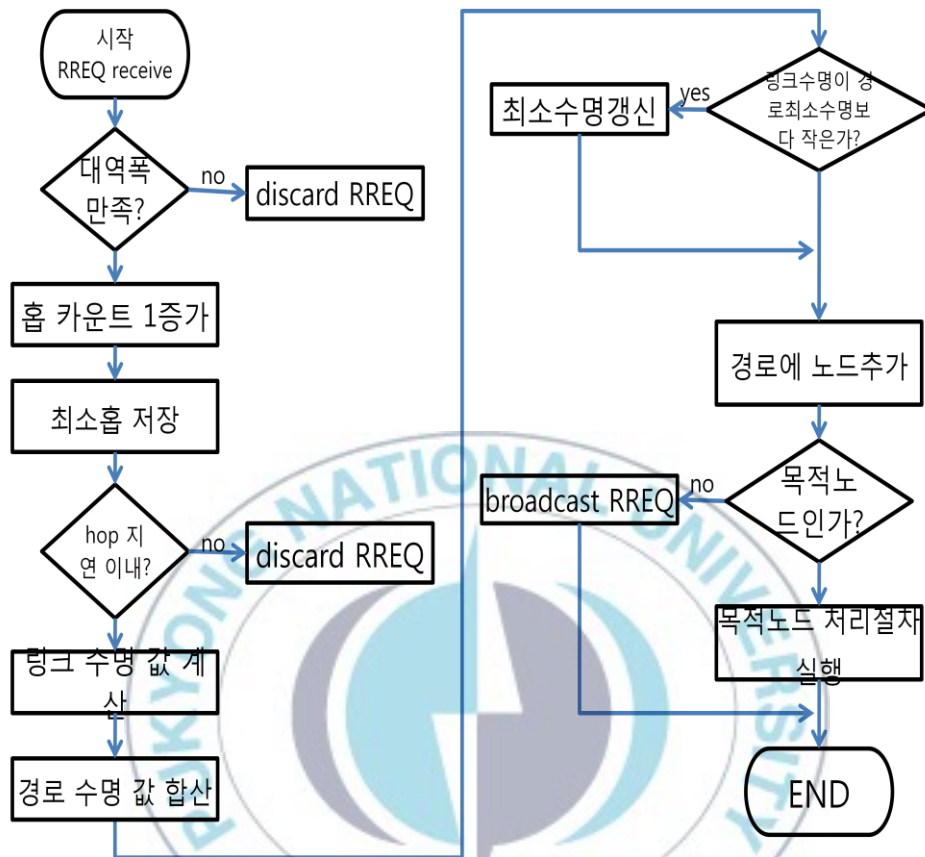
3.2.2 라우팅 프로토콜

제안하는 라우팅 프로토콜은 지연을 고려한 전력 인지 라우팅 프로토콜로서 크게 3부분으로, 경로 요청, 목적노드 처리와 경로 설정 부분으로 나눌 수가 있다. 우선 흐름도와 함께 개괄적으로 설명한 다음, 3부분을 다시 한 부분씩 나누어 처리 절차를 상세히 설명한다.

3.2.2.1 흐름도

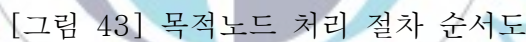
제안하는 지연 고려 전력 인지 라우팅 프로토콜은 기본 적으로는 AODV 방식과 가장 유사하며, RREQ시에 각 경유 노드에서 노드의 전송 수명을 산출하여 경로 설정에 반영 하도록 한다. 제안된 프로토콜은 경로 요청 절차, 목적노드 처리 절차와 경로 설정 절차 부분으로 나눌 수가 있는데, 이에 대한 설명도 세 부분으로 나누어 설명한다.

그림 42에 경로 요청 순서도를 나타내었다. 경로 요청은 소스 노드가 경로를 설정 하고자 할 때, 목적 노드를 찾기 위하여 RREQ를 방송하면서 시작된다. 경로 요청 순서도는 RREQ를 받은 노드들이 처리하는 순서도이다. 먼저 QoS 제공을 위해 현재 링크의 유희 대역폭을 검사하여 요구하는 대역폭 이상인가를 검사하고, 대역폭을 충족하면 설정된 홉 지연 범위 이내인가를 검사하여, 홉 지연 범위 이내의 경로들만 해당 노드를 경유 하도록 하고 범위를 초과하는 RREQ 패킷은 폐기 한다.



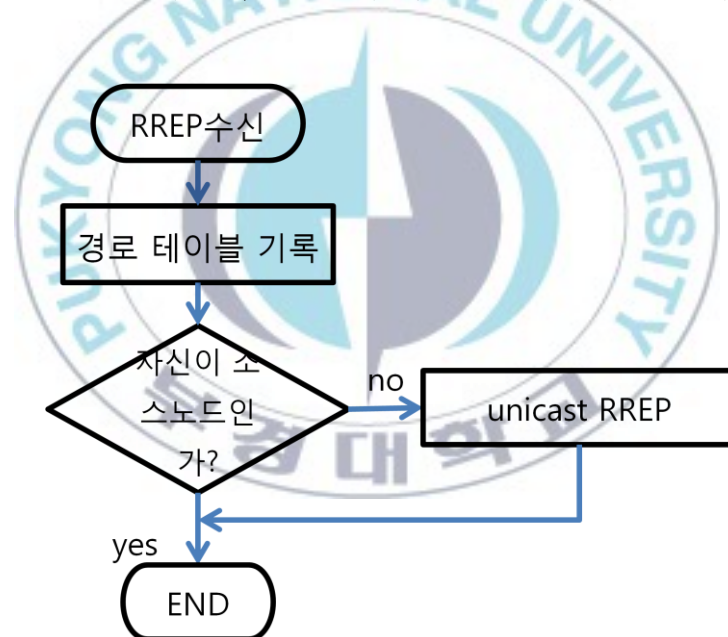
[그림 42] 경로 요청 순서도

경유하는 노드마다 노드의 잔존 전력을 전송 전력 소비 값으로 나누어 노드의 수명 값을 구하고, 경로의 경유 노드들에서의 최소 수명 값과 수명 합을 구하고 해당 노드를 라우팅 경로에 포함한다. 해당 노드가 목적 노드인가를 판단하여 목적 노드가 아니면 RREQ를 다시 방송하고 목적 노드에 도착하게 되면 목적노드 처리절차인 D_NODE_PROCESS를 실행한다. 만약 중간 노드가 목적노드의 경로를 알고 있다 하더라도 경로의 수명 정보를 수집하기 위해서는 목적 노드까지 RREQ를 전송한다.



경로 평가 값을 이전에 도착한 최고 평가 값과 비교하여 평가 값이 크면 이 경로를 저장한다. 다음 RREQ가 도착 하면 계속 비교하여 수명

평가 값이 가장 큰 값으로 저장하고 해당 경로와 최소 수명 값도 저장한다. 경로의 수명 평가 값 비교 시에 평가 값이 같은 경우에는 최소 수명 값을 비교하여 최소 수명 값이 큰 경로를 선택하여 저장하도록 한다. 경로의 수명은 근본 적으로는 경로상의 최소 수명 값을 가진 노드의 수명과 같기 때문이다. 다음으로는 설정된 시간 이내 인지를 타이머를 통해 확인하고, 설정된 시간 이내이면 RREQ를 대기하며 RREQ가 새롭게 도착하면 경로의 평가부터 다시 시작하여 처리 과정을 반복한다. 만약 설정된 시간이 끝나면 목적노드는 저장된 최장의 수명 평가 경로를 실어 RREP를 소스 노드에게 $R(s,d)$ 경로의 역순으로 유니캐스트한다.



[그림 44] 경로 설정 흐름도

그림 44은 경로 설정 흐름도로서, RREP가 목적노드로부터 유니캐스트 되어 올 때 중간 노드와 소스 노드는 이 RREP를 받아 처리하는 과정이다. 우선 해당 노드는 RREP 경로를 경로 테이블에

기록하여 목적지로의 경로를 기록한 다음 자신이 소스 노드인가를 확인한다. 소스 노드가 아니면 $R(s,d)$ 의 역 경로로 RREP를 재 전송하고, 소스노드이면 경로 설정 과정을 끝내고 데이터 전송을 시작하면 된다.

다음 절에서 제안된 프로토콜의 경로요청과 목적노드 처리과정, 경로설정 과정을 부분 별로 자세히 설명한다.

3.2.2.2 경로요청

소스노드(s)는 데이터 전송을 위한 목적노드(d)를 찾기 위하여 라우팅 테이블을 검사하고 유효한 경로가 있으면, 경로로 전송을 시작하고, 없다면 목적노드 탐색을 위하여 대역폭(W), 지연계수(D), HOP, 경로 최소 수명(RLT), 경로 수명 합(RLS)을 포함한 RREQ를 인접노드에 방송 한다.

[그림 45]는 각 경유 노드에서의 RREQ 처리 절차를 보여준다.

인접노드 i로부터 RREQ를 수신한 노드j는 링크(i,j)의 유틸 대역폭이 요구 대역폭 W를 만족하는 지를 검사한다. 대역폭을 만족하지 않으면 RREQ를 폐기하고, 대역폭 조건을 만족하는 경우에는 홉 카운트를 1 증가한다. 소스로부터 현재 j노드까지의 최소 홉이 HOP(j)에 저장되어있는데 HOP이 HOP(j) 값보다 작으면 HOP값을 HOP(j)로 치환한다. HOP(j) 값에 지연허용 계수 D를 더하면 지연허용 홉 값이 된다. 이 허용치 값 이내의 HOP을 가진 RREQ들은 해당 노드를 경유 하고, 지연 허용치 값을 넘는 RREQ들은 폐기된다. 예를 들어 D가 2일 때 HOP(j) 가 2인 노드에서는 $2 + 2 = 4$ 이므로 4 홉 까지는 해당노드를 통과하게 될 것이다. 이 과정에서 지연 허용계수인 D값을 적절히 설정한다면, 전력인지 라우팅에서와 같은 과도한 홉 카운트 허용으로 인한 과다지연 경로 설정이나 RREQ 방송 과다에 의한 오버헤드를 줄일 수 있다.

```

1.  if ( $W(i,j) < W$ ) then discard RREQ ;//대역폭 불 만족 시 폐기
2.  else                                //대역폭 만족시
3.  {
4.    HOP = HOP+ 1;    //홉 카운트 증가
5.    if ( $(HOP(j) + D) \geq HOP$ ) then //지연허용치 이내이면
6.    {
7.      HOP(j) = MIN(HOP(j),HOP); //최소 홉 저장
8.      LLT = NRE / LCE; //링크 수명 값 계산
9.      if (  $RLT > LLT$  ) then // 경로의 최소 수명 값 비교
10.      RLT = LLT; // 최소 수명 값 갱신
11.      RLS = RLS + LLT ; //경로의 수명 합 계산
12.       $R(s,d) = (R(s,i)) + Nj$ ; //경로에 해당 노드 추가
13.      if ( $Nj \neq Nd$ ) //목적노드 아닐 경우
14.      then broadcast RREQ with  $R(s,j)$ , RLT, RLS; //RREQ 방송
15.      else do D-NODE PROCESS; //목적노드 처리 절차 실행
16.    } //지연허용치 이내 실행 끝
17.  else discard RREQ ; //지연허용치 이상이면 RREQ폐기
18.  }

```

[그림 45] RREQ 처리 절차

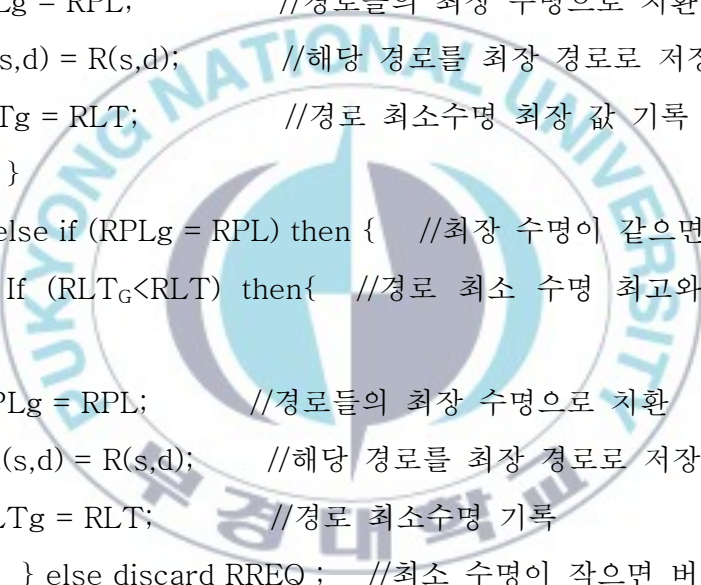
다음으로 현재링크의 전송 소비 전력(LCE)으로 노드의 잔존 전력(NRE) 값을 나누어 현재 링크의 수명(LLT)을 계산한다. LLT를 경로의 최소 수명 값(RLT)과 비교하여 LLT가 작으면 LLT값을

RLT값으로 갱신해준다. 현재 링크의 수명 값을 경로의 수명 합(RLS)에 더하여 경로의 수명 합을 갱신해 준다.

경로($R(s,j)$)에 해당 노드 j 를 추가해주고, 자신이 목적노드인가를 검사하여 목적 노드가 아니면 RREQ를 재전송 하고, 목적 노드일 때는 D_NODE PROCESS를 거쳐 경로 응답(RREP) 과정으로 들어간다. RREQ과정에서는 중간노드가 목적지 노드까지의 경로 정보를 가지고 있더라도 소스로부터 목적지 노드까지의 경로 상에 있는 링크들의 수명 값을 수집하기 위해 계속해서 목적지 노드까지 RREQ를 전달한다. 하나의 노드를 거쳐 전달될 때마다 홉 수를 갱신 비교하여 링크의 통과 여부를 결정하고, 현재 링크의 수명 값을 구하여 경로의 최저 수명과 경로 수명의 합을 갱신하게 된다.

3.2.2.3 목적 노드 처리 절차

목적 노드 처리 절차(D_NODE PROCESS)는 RREQ가 목적 노드에 당도 했을 때 목적 노드에서 수행하는 처리 절차이다.



```

1. while (s_time < d_time) do //정해진 시간 동안
2. {
3.   RLM=RLS/HOP;           //경로의 평균 수명 구함
4.   RPL= RLT+ RLM/2        //경로의 평가 수명 구함
5.   if (RPLg < RPL ) //R(s,d)의 최장경로수명과 비교하여 크면
6.   {
7.     RPLg = RPL;           //경로들의 최장 수명으로 치환
8.     RG(s,d) = R(s,d);    //해당 경로를 최장 경로로 저장
9.     RLTg = RLT;           //경로 최소수명 최장 값 기록
10.  }
11.   else if (RPLg = RPL) then { //최장 수명이 같으면
12.     If (RLTG<RLT) then{ //경로 최소 수명 최고와 비교하여
        크면
13.       RPLg = RPL;           //경로들의 최장 수명으로 치환
14.       RG(s,d) = R(s,d);    //해당 경로를 최장 경로로 저장
15.       RLTg = RLT;           //경로 최소수명 기록
16.     } else discard RREQ;    //최소 수명이 작으면 버림
17.     } else discard RREQ;    //최소 수명이 안 같으면 버림
18.     wait for next RREQ;     //다음의RREQ 대기
19.   } //정해진 대기 시간 끝나면
20.   send RREP to j with RG(s,d); // 최장 수명 경로 응답

```

[그림 46] 목적노드에서 RREQ 처리 절차

그림 46은 목적 노드에서의 처리 절차를 나타내었다. 목적 노드에 RREQ가 당도하면 미리 정해진 시간 동안 다음과 같은 처리를 한다. 해당경로의 수명 합을 HOP으로 나누어 경로의 평균 수명을 계산한다. 경로의 평균 수명과 경로 최소 수명 값(RLT)을 합하여 2로 나누어 경로의 수명 평가 값(RPL)을 구한다음, 이 평가 값을 지금까지 최대 경로 평가 값인 RPLg와 비교 하여 해당 경로(R(s,d))의 RPL값이 크면 RPLg를 갱신하고 R(s,d)를 $R_G(s,d)$ 에 저장한다. 해당 경로의 최소 수명 값도 RLTg에 저장한다. RLT를 저장 하는 것은 경로 수명 값이 같을 때 최소 수명 값을 비교하여 큰 것을 선택 하기 위해서 이다. 이와 같은 처리를 정해진 시간 동안 계속 다음 RREQ를 기다려 반복한다. 정해진 대기 시간이 끝나면 저장된 최장 수명 경로($R_G(s,d)$)를 실어 RREP을 $R_G(s,d)$ 의 역 경로를 따라 전송한다.

3.2.2.4 경로설정

노드k로 부터 RREP을 받은 노드 j는 전송된 경로 $R_G(s,d)$ 를 경로 캐시 테이블에 기록하고 자신이 소스 노드인가를 검사한다. 자신이 소스 노드가 아니면 $R_G(s,d)$ 를 포함한 RREP를 $R_G(s,d)$ 의 역 경로로 노드 i에게 재 전송하고, 자신이 소스 노드인 경우에는 경로설정을 완료한다. 이제부터는 데이터를 전송하려면 경로 캐시 테이블을 확인 하여 유효한 시간 이내의 경로이면 바로 데이터를 보낼 수 있다.

그림 47에 RREP처리 절차를 나타내었다.

1. add Ri to routing table with $R_G(s,d)$; //경로를 테이블에 기록
2. if (J $\neq$ s) //자신이 소스노드가 아니면
3. send RREP to i; //RREP 재 전송

[그림 47] RREP 처리 절차

3.2.3 성능 평가

본 논문에서는 500m x 500m의 이차원 평면에 100개의 노드를 무작위로 배치하여 성능평가를 수행 하였다. 각 노드의 통신반경은 50m로 설정하였는데 이는 하나의 노드 통신반경에 3.5 개 정도의 노드가 존재하는 밀도로 2-3개의 통신 가능한 이웃 노드가 있는 것을 의미한다.

각 노드의 특성을 다음과 같이 가정한다. 모든 노드들은 이동성이 없고, 처음 할당된 에너지 이외의 에너지를 충당할 수 없어 에너지 제약적이다. 또한 모든 노드들은 고유의 ID를 가지고 응답시간을 바탕으로 전송 거리를 측정할 수 있으며, 전송 거리에 따라 전송 전력을 조절할 수 있다고 가정한다.

프로토콜의 동작은 Linux 시스템에서 NS-2를 사용하여 검증하였으며 패킷 전송 성공률을 측정하였다. 하지만 에너지 소비와 관련된 지표는 동일한 조건에서 C로 프로그램 하여 각 노드의 전력 상태를 조사 하였다.

노드 i에서 노드 j로 단위 패킷을 전송하는데 소요되는 전력은 $E_T(i,j)$
 $= E_{TX} \cdot k + E_{AMP} \cdot K \cdot d_{ij}^n$, ($4 \geq n \geq 2$)로 정해지는데 여기서 $n =$

3으로 하였다. 각 노드의 초기 전력을 100으로 두고 10m인접한 각 노드 간의 단위 패킷의 전송에너지가 1이 되도록 상수 k 를 조절하였다.

실험은 300m이상 떨어진 노드가 소스와 목적 노드가 되도록 선정하여 경로를 설정하고 단위 패킷을 전송하여 에너지를 소모하는 것으로 하여 경로설정을 반복적으로 수행 하여 성능평가를 수행 하였다. 각각 60회의 경로 설정과 단위 패킷을 전송하는 동안 각 10회마다 패킷 전송 성공 율, 노드들의 잔존 전력, 전송 소비 전력과 전송 홉 수에 의한 전달 지연을 측정 하였다.

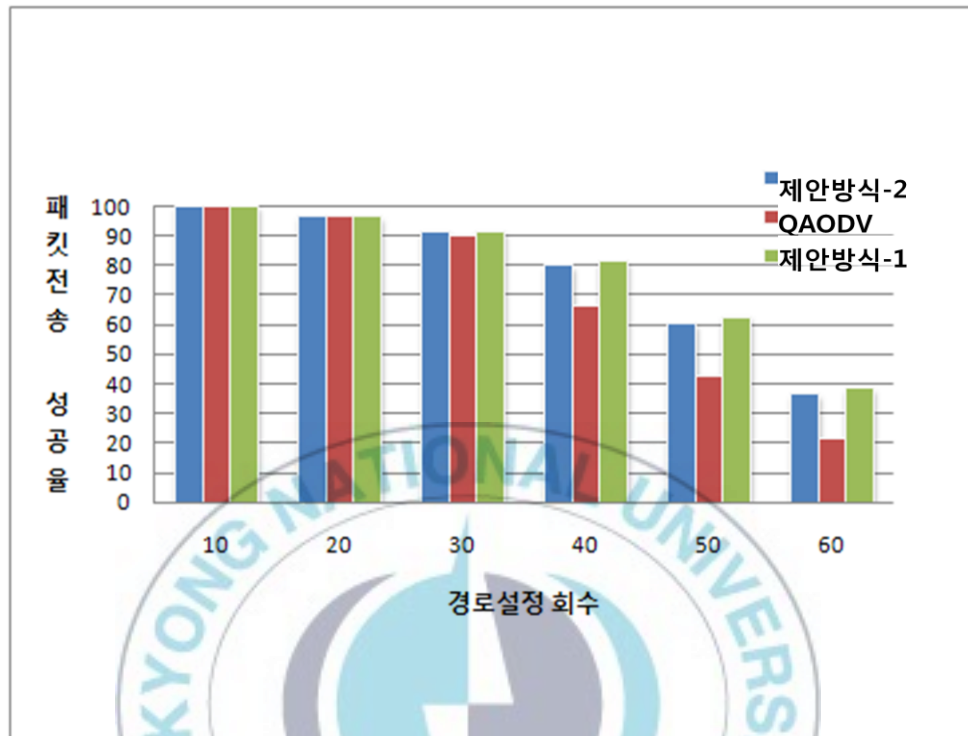
제안한 라우팅 프로토콜과 비교 분석하기 위해 다음의 세가지 라우팅 모델을 고려한다. 비교대상의 프로토콜 모델은 QoS을 고려한 최소 홉 라우팅 프로토콜(QAODV)과, 3.1절에서 제안한 전력 인지 라우팅 프로토콜(제안방식-1) 그리고 3.2 절에서 제안한 지연 고려 전력 인지 라우팅 프로토콜(제안방식-2)로 아래와 같이 구분한다.

QAODV : 전달 지연을 우선 고려한 AODV 라우팅 방식

제안방식-1 : 전력 우선 고려 전력인지 라우팅 방식

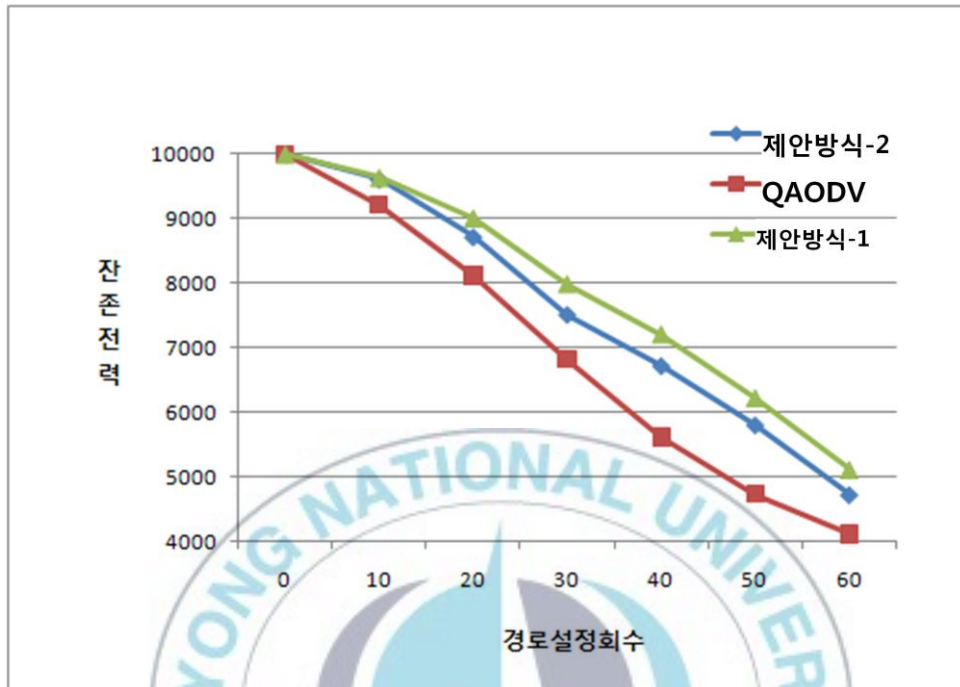
제안방식-2 : 지연 고려(최소 홉 + 2홉) 전력 인지 라우팅 방식

그림 48은 경로 설정 회수에 따른 각 라우팅 방식의 패킷 전송 성공률을 보인 것이다. 제안방식-1과 제안 방식-2는 패킷 전송 성공률 면에서 비슷하지만, QAODV와는 15% 정도의 더 높은 패킷 전송 성공률을 보여 줌으로서 성능이 향상 되었음을 나타내준다.



[그림 48] 경로 설정에 따른 패킷 전송 성공율

경로설정과 해지를 반복하면 전력 소모를 다한 노드가 발생하며, 전력이 고갈된 노드는 경로 상에서 탈퇴 됨으로써 경로 단절과 홉 지연으로 이어져 패킷 전송이 점점 어렵게 된다. QAODV 의 경우 홉 지연 조건을 최 우선적으로 고려하여 홉이 적은 경로를 설정 하며, 홉이 적은 경로는 홉당 전송 거리가 멀어 전송 전력 소모가 많아 경로상의 노드의 전력이 빨리 고갈 되기 때문으로 보인다. 전력소비는 전송 거리에 3제곱에 비례하므로 홉당 전송거리가 가장 큰 경로는 전력 소비도 가장 크기 때문에 전력 고갈 노드가 다른 방식보다 빨리 생긴다.

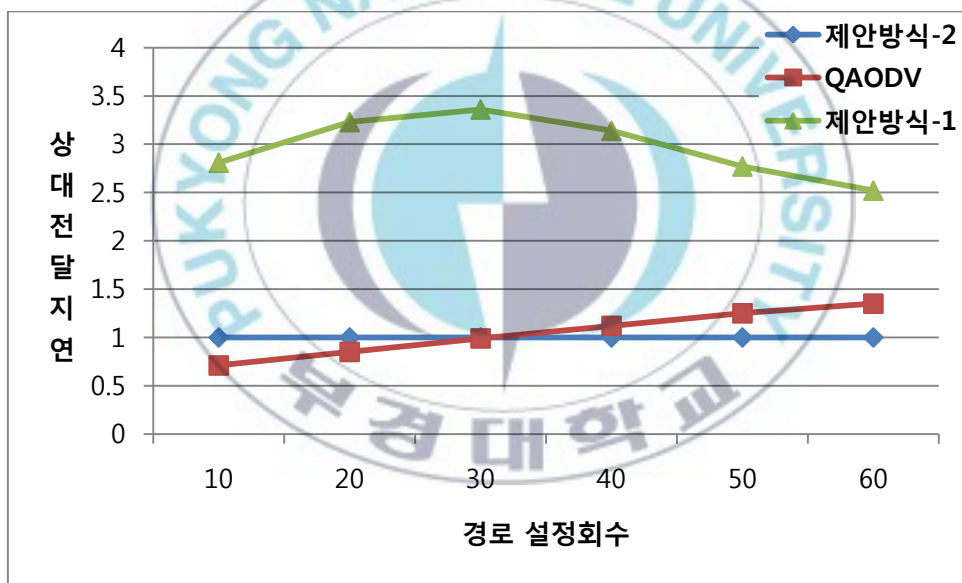


[그림 49] 경로설정에 따른 시스템의 잔존전력

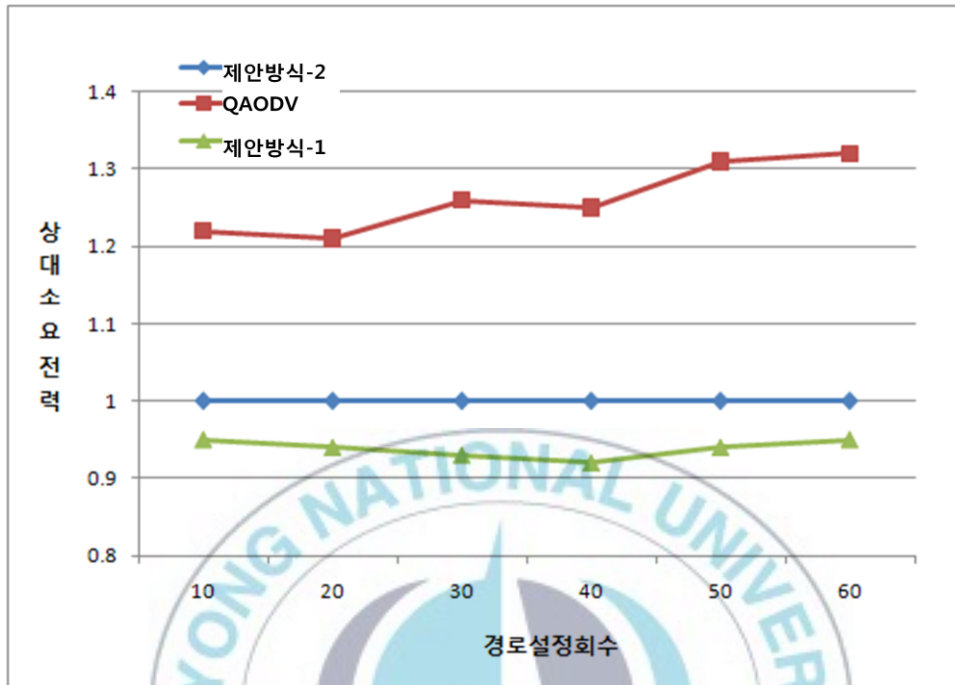
그림 49은 이 결과를 더욱 명확히 한다. 시스템 전체에 잔존하는 전력량은 시스템의 수명과 관련된 지표로 QAODV 는 경로설정이 반복되면 타 프로토콜과 비교하여 전력이 급하게 소모되는 것을 확인할 수 있다. 특히 제안방식-1은 전달지연을 고려하였음에도 불구하고 전달지연을 고려하지 않은 제안 방식-1과 비슷한 전력 소모 결과를 보여 준다. 이러한 결과는 홉 지연을 적절하게 하여 수명이 긴 경로 들을 선택한 결과이다.

그림 50은 경로 설정에 따른 각 방식의 상대적 전달지연을 비교하였다. 각 지표는 제안방식-2에 대한 상대적인 값들을 나타낸다. 제안 방식-2를 100으로 보았을 때 QAODV 방식은 처음에는 약 70%의 더 적은 전달 지연 값을 보이다가 30회부터는 거의 같은 전달 지연을

나타내고, 그 이후에는 제안 방식-2보다 더 많은 전달 지연을 나타낸다. 이는 처음에는 홉 수가 적은 경로를 선택 하다가 전력이 고갈된 노드들이 증가 함으로써 단축 경로들이 없어져서 점차 홉 수가 많은 경로로 우회 하면서 홉 수가 증가 된 것으로 보여진다. 제안방식-1은 120%~130%의 전달 지연을 보여준다. 이러한 결과는 제안 방식-1은 전달 지연을 전혀 고려하지 않아 홉 수가 많은 경로를 선택하기 때문이고, 제안 방식-2는 홉 수를 처음부터 일정한 수준 이내로 제한하여 경로를 설정 함으로서 과도한 우회 경로를 피하였기 때문으로 보여진다.



[그림 50] 경로 설정에 따른 상대 전달 지연



[그림 51] 경로 설정에 따른 상대 소요 전력

그림 51에서는 경로 설정에 따른 상대 소요 전력을 보여준다. 제안방식-2를 100으로 놓고 보면, 제안방식-1은 약91%~95% 정도의 전력을 소비하고 QAODV 방식은 120%~130%의 전력을 소비하고 있음을 보여준다. 이는 제안 하는 방식들의 전력 소비가 QAODV 대비 월등히 적음을 표시 하는데, 이는 전력 소비를 고려하는 것과 고려하지 않는 차이라고 볼 수 있다. 또한 제안 방식-1과 제안 방식-2의 차이는 전력을 우선 고려하고 지연을 고려하는 방식(제안방식-1)과 지연을 적절히 조절한 상태에서 전력을 고려하는 방식(제안방식-2)차이라고 볼 수 있다.

결과적으로 전력을 고려하지 않는 QAODV 방식 대비, 전력을 우선 고려하는 방식인 제안방식-1은 전달 지연이 20~30% 증가한 경로들에서 전력소비를 25%~35% 절감하는 효과를 거두었지만, 지연과 전력을

절충한 방식인 제안방식-2는 전달 지연 10%이내의 증가에서 20%~30%의 전력을 절감 하였다. 즉 QoS 를 크게 훼손하지 않는 범위에서 전력을 고려하여 수명이 긴 경로를 설정하였다.

3.2.4 결론

전력 인지 라우팅은 전력을 고려하기 위하여 전송 거리를 줄임으로써 어느 정도까지 홉의 지연을 야기한다. 전달 지연의 경우 그 자체 문제만으로 NP-complete에 속하는 복잡한 문제로 분류되고 있다. 전송 전력 소모와 홉 지연은 서로 상충하는 요소 들로서, 이 두 가지를 적절히 조절하는 메커니즘이 필요하였다.

본 지연 고려 전력 인지 라우팅에서는 멀티미디어 QoS 지원을 위한 홉 지연과 전송 전력이라는 두 가지 상충하는 요소에 대한 조절 메커니즘과 노드의 수명을 고려한 전력인지 라우팅을 제안하였다. QoS 고려 부분에서는 대역폭은 고려하기가 쉬웠으나 전달 지연은 전력 소비와 서로 상충 관계에 있으므로 고려하기 어려운 문제였지만 조절하는 메커니즘을 제안하여 이를 해결하였다. 지연 고려 전력 인지 라우팅에서는 여러 지연 요소 중 홉을 측정 지표로 삼아, 최소 홉 + D 만큼의 홉을 추가로 허용하면서 최소 홉 부근의 복수의 경로들을 탐색 하도록 하였다. D값의 설정에 따라 최소 홉 방식이나 전력 우선 고려 방식의 라우팅이 가능 하도록 하였고, 평상시에는 지연과 전력을 절충하는 경로를 설정하여 두 치명적인 요소로부터 시스템을 안전하게 운용할 수 있도록 하였다. 적절한 홉 지연 절충 값은 휴리스틱 분석결과 최소 홉에 2배 정도의 지연 값으로 분석되었지만, 전송 거리와 노드밀도 등에 의해서 달라질 수 있다. 절충 경로는 홉 지연을 고려하지 않는

전력인지 라우팅에 비해 RREQ시의 과다 방송에 의한 오버헤드를 줄이고, 홉 지연도 적절하게 조절 할 수 있었다.

시뮬레이션 실험결과 제안된 지연 고려 전력 인지 라우팅은 D값의 적절한 조절로 최소 홉 라우팅과 전력 인지 라우팅으로 사용 할 수 있을 뿐만 아니라, 이 두 가지 방식을 절충하는 경로도 적응적으로 선택할 수 있다. 절충된 경로는 전달 지연 만을 고려한 AODV 라우팅에 비교하여 약10%의 지연을 감수하면서, 네트워크 시스템의 수명의 지표에서는 30% 정도의 성능향상을 보이는 경로를 설정하였다. 이는 전달 지연을 약간 감수하여 전체 네트워크의 생존시간을 크게 늘여서 네트워크의 QoS 제공 시간을 그만큼 더 늘였음을 의미한다.



제 4 장 비교 및 분석

본 장에서는 3.1.1 절에서 서술한 전력 인지 라우팅의 3가지 방식에 대한 비교 분석과 3.2.1 절에서 서술한 홉 지연 조절 값 D에 대한 비교 및 분석을 통해 제안하는 방식과 제안하는 메커니즘을 평가 한다.

4.1 전력 인지 방식 비교 분석

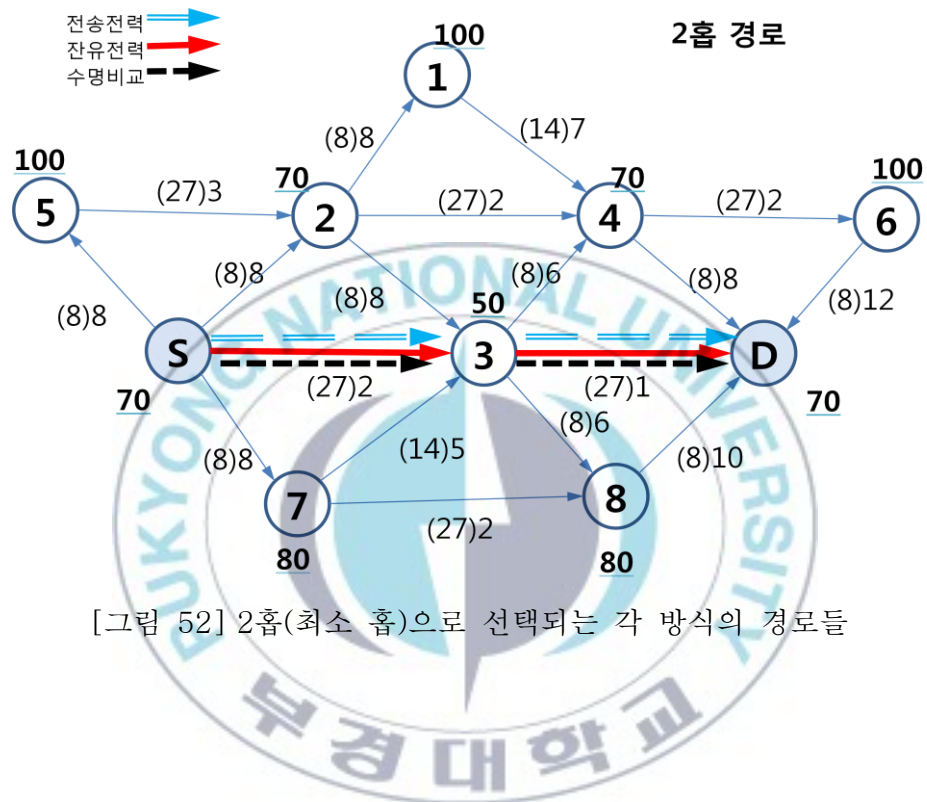
대표적인 전력 인지 방식인 전송 전력 방식과 잔류 전력 방식, 그리고 본 논문에서 제안한 수명 비교 방식에 대해서 3.1.1절에서 서술하였다. 각 방식 중에서 어느 방식이 전력을 고려하는 가장 효과적인 방식인지를 비교 분석하기 위해서 각 홉 수에 반응하는 각 방식의 경로들을 분석해 보고 전체적인 경로에 대한 각 방식의 평가 값으로 분석해 본다.

4.1.1 홉 변화에 따른 전력 인지 방식의 경로 비교

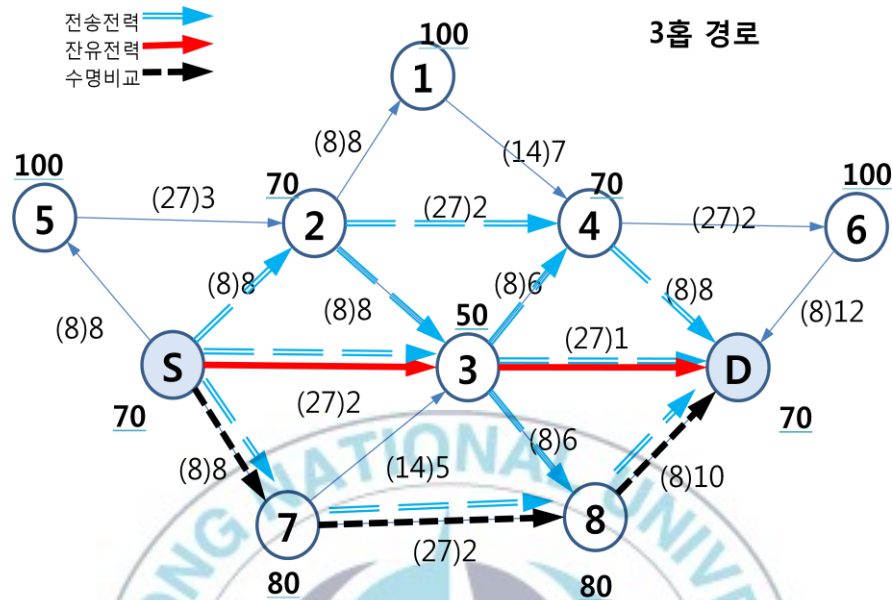
각 전력 인지 방식이 얼마나 경로의 상태를 잘 반영하여 적절한 경로를 선택하는가를 비교하기 위하여, 경로 상의 홉의 수를 바꿔 가면서 한 홉씩 증가 할 때마다 각각의 경로를 비교해 가며 분석해 본다.

그림 52에서는 2홉(최소 홉) 의 경로만 허용할 때 각 방식의 설정된 경로들을 보여 준다. 그림의 토폴로지에서는 1홉으로는 소스노드 s에서 목적 노드 d까지는 갈수 없으므로 2홉부터 설정되는 경로를 비교해 보기로 한다. 최단 홉 2홉에서는 하나의 경로 외에는 다른 경로가 없어

모두 같은 경로 [s, 3, d]를 설정 할 수 밖 없다. 하지만 다른 토폴로지의 경우에는는 최단 홑도 여러 경로가 있을 수 있다.



[그림 52] 2홑(최소 홑)으로 선택되는 각 방식의 경로들



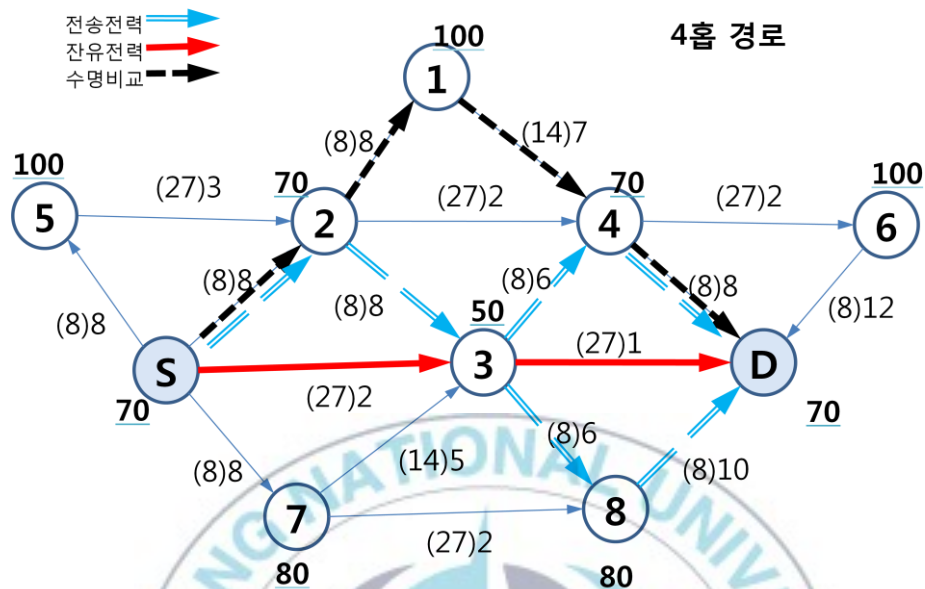
[그림 53] 3 홉으로 선택되는 각 방식의 경로들

그림 53에서는 허용 홉을 최소 홉 + 1홉인 3홉에서 선택되는 각 방식의 경로들을 보여 준다. 첫 번째 전송 전력 경로는 [s, 2, 4, d], [s, 2, 3, d], [s, 3, 8, d], [s, 3, 4, d], [s, 7, 8, d]등의 여러 경로가 있다. 이러한 경로들은 모두 전송 전력 값이 각 링크의 괄호 속의 값을 더한 43으로서 3홉의 경로에서는 최소의 전송 전력 값이다. 두 번째 방식인 잔류 전력 방식에서는 2홉에서와 마찬가지로 [s, 3, d] 경로가 가장 평가 값이 높은 경로로 설정된다. 잔류 전력의 평가 식은 ((최소 잔류 전력 + 평균 잔류 전력) / 홉 수) 이고 가중치는 무시하였다. 식 6에서의 잔류 전력이나 홉 수에 대한 가중치는 사용자의 의도에 따라서 달라 질 수 있으므로 평균적인 방식을 계산하기 위해서 가중치 들은 무시하였다. 이 경로의 목적 노드를 뺀 잔류 전력은 70, 50으로써 평균 잔존 전력은 60이다. 위의 식에 대입하면 $(50 + 60) / 2 = 55$ 로써 이 경로의 잔류 전력 평가 값은 55로서 최고 값이다. 이 경로와 비교하기 위해서 [s, 7, 8, d]의

경로의 잔류 전력 평가 값을 계산해 보면, 목적노드를 뺀 [s, 7, 8]의 노드에 잔류 전력은 70, 80, 80으로 합하면 230이고 평균은 77이다. 식에 대입하면 $((70 + 77) / 3) = 49$ 로써 [s, 3, d] 경로 보다 적다. 그러나 잔류 전력에서 설정한 경로 [s, 3, d] 는 전력 소모가 많아 최소 수명이 1인 링크가 있어 수명이 가장 짧다.

세 번째의 수명 비교 방식에서는 최소 전력 소비 경로 들 중의 하나인 [s, 7, 8, d] 경로를 설정 한다. 이 경로의 수명 평가 값은 노드에 표시 되어있는 잔류 전력 값을 각 링크의 전송 전력 값(괄호 안)으로 나눈 수명 값이 괄호 뒤에 표시 되어있기 때문에 이 수명 값의 평균을 구하면 목적 노드를 제외하고 [S, 7, 8] 노드의 수명이 8, 2, 10이므로 $20 / 3 = 6.7$, 평균 수명이 6.7이다. 수명 비교 방식의 평가 식은 $((\text{경로의 수명 최소 값} + \text{경로의 수명 평균 값}) / 2)$ 이므로 $(2 + 6.7) / 2 = 4.4$ 로써 3홉 이내의 경로 중에서는 평가 수명 값이 가장 높다.

3홉에서 전송 전력 방식의 설정 경로 들이 많지만 그 중에서 트래픽이 집중되고 잔류 전력이 최소인 3번 노드를 거쳐가지 않는 경로는 두 개 경로뿐이다. [s, 2, 4, d], [s, 7, 8, d] 인데 전송 소비 전력이 똑 같다고 볼 때 그 중에서 노드의 잔류 전력이 더 많은 것은 [s, 7, 8, d]이므로 이 경로가 가장 수명이 긴 경로이다. 그러므로 전송 전력 방식에서 선택하는 경로보다 수명 비교 방식에서 선택하는 경로가 잔류 전력까지 고려 하므로 수명이 더 긴 경로를 선택할 수 있다. 한편, 잔류 전력에서 설정한 [s, 3, d] 경로의 수명은 링크(3, d)의 수명이 1로서 최소 수명이 가장 짧다. 결과적으로 수명 비교 방식에서 설정하는 경로가 가장 수명이 길고 잔류 전력이 많은 경로를 설정하였다.



[그림 54] 4홉으로 선택되는 각 방식의 경로들

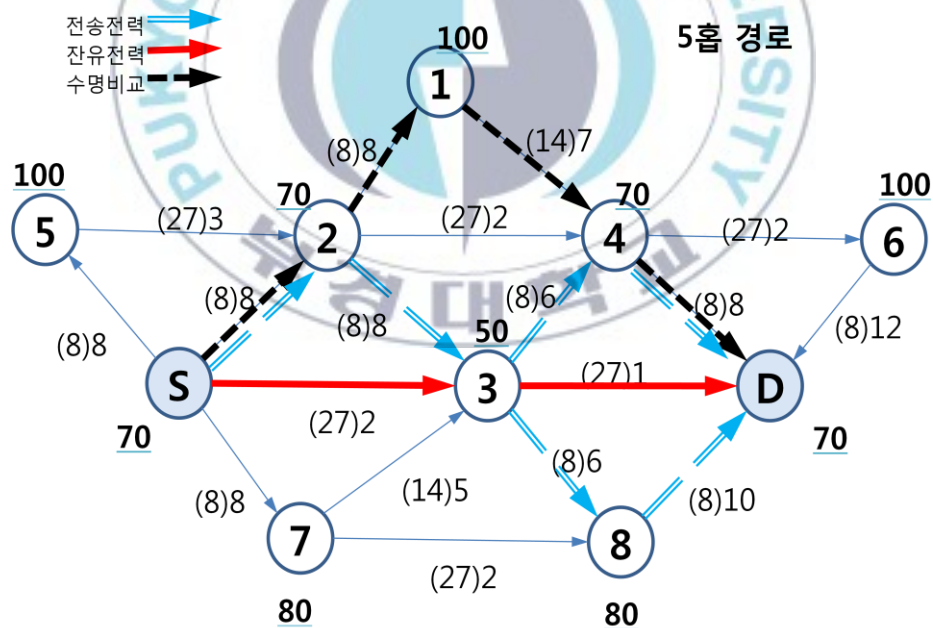
그림 54에서는 4홉으로 선택되는 각 전력 고려 방식의 경로들을 보여 준다. 먼저 전송 전력 방식으로 선택된 경로를 보면, [s, 2, 3, 4, d], [s, 2, 3, 8, d]의 두 가지 경로가 있다. 이때의 전송 전력 값은 32로써 3홉 일 때의 43보다 적다.

잔류 전력 고려 방식에서는 여전히 [s, 3, d]의 경로를 택하고 있어 2홉에서부터 선택한 경로를 지키고 있다. 잔류 전력 방식은 경로의 홉 수에 반비례 하여 평가 값이 낮아 지므로 그림과 같은 토폴로지에서는 최소 홉 라우팅 방식과 같이 작동 하므로 제일 적은 홉에서 가장 높은 평가 값이 나오고 이후에도 바뀌지 않는다.

수명 비교 방식에서는 3홉 일 때의 경로와 다르게 [s, 2, 1, 4,]의 경로를 선택하게 되는데, 이 경로의 평가 값은 $(7 + 7.8) / 2 = 7.4$ 이다. 3홉에서 설정한 경로의 평가 값이 4.4인 것에 비하면 높은 평가 값이다. 경로의 최저 수명 노드가 7이므로 3홉에서의 2보다 훨씬 커져서 이러한

결과가 나오며 경로상의 노드들의 수명을 즉각적으로 반영하는 결과이다. 수명 비교 방식의 경로는 전송 전력 방식에서 설정한 경로 들보다 전력 소비는 약간 더 많지만 노드들의 잔존 전력이 높아 수명이 더 긴 경로이다.

수명비교 방식 경로의 최소 수명은 7인데 반해 전송 전력 방식에서의 경로는 최소 수명이 6이하이다. 이로써 수명 비교 방식이 수명이 더 긴 경로를 선택 할 뿐만 아니라, 트래픽이 집중되고 잔류 전력이 적은3번 노드를 피하고 잔류 전력이 많은 1번 노드를 경유함으로써 전력 소비를 분산 시키게 된다. 결과로서 수명 비교 방식이 가장 수명이 긴 경로를 설정하고 전력 소비도 고르게 한다는 사실을 알 수 있다.



[그림 55] 5홉으로 선택되는 각 방식의 경로들

그림 55에서는 5홉으로 선택되는 각 전력 고려 방식의 경로들을 보여 준다. 그림에서 선택된 경로 들은 4홉 일 때 선택된 경로들과 모두 똑 같다. 더 많은 홉들을 고려해 본다 해도 모두 경로의 변경은 없다. 잔류 전력 방식은 2홉 의 경로를 가장 높은 평가 값으로 설정 하였고, 전송 전력과 수명 평가 방식에서는 4홉의 경로를 가장 평가 값이 높은 경로로 설정 하였다. 이러한 경로들은 5홉 이상의 경로 에서도 그대로 유지 된다. 각 홉에서 수명 비교 방식의 경로가 항상 수명이 같거나 가장 긴 경로를 선택 하였으며 다른 경로들은 수명 비교와 같거나 수명이 더 짧은 경로를 선택 하고 노드의 트래픽이 집중되는 경로를 피하지 못 하였다. 이로서 전력 인지 라우팅의 3가지 방식의 모든 홉 비교에서, 항상 수명 비교 방식의 경로가 수명이나 여타 잔류 전력과 전송 전력도 고려 하는 가장 적절한 경로를 선택 한다고 볼 수 있다.

4.1.2 경로에 대한 수명 평가 분석

표 2는 그림 55와 같은 토폴로지에서의 각 전력 인지 방식들에 대한 경로들의 비교 분석을 나타낸 표 이다. 첫 번째 열은 임의로 정한 경로의 순번이고, 두 번째 열의 경로 경유 노드는 경로상의 노드 들의 순열이며, 세 번째 열은 경로 전송 전력(링크의 괄호 안 값) 합으로써 전송 전력 방식의 경로 평가 값을 위해 산출 하였다.

경로 전력 소비 합 항목은 전송 전력 방식에서 평가하는 방식으로 각 경로를 평가한 것이다. 각 경로에서 전송 시에 소비 되는 링크들의 전송 전력의 합을 구한 것이다. 전송 전력 소비 합은 값이 적을수록 좋은 경로라고 할 수 있는데 8번과 9번 경로가 경로 전송 전력 값이 제일 작다.

[표 2] 각 전력 인지 방식에 대한 각 경로들의 비교 분석표

경로 번호	경로 경유 노드	경로 전력 소비 합	경로 잔류전력 평가	경로 평가 수명	경로 홉수	비고
1	s3d	54	55.0	1.3	2	잔류전력
2	s78d	43	49.0	4.9	3	
3	s24d	43	46.7	4.0	3	
4	s38d	43	39.0	4.0	3	
5	s34d	43	37.7	3.7	3	
6	s23d	43	37.7	3.4	3	
7	s73d	49	39.0	2.9	3	
8	s238d	32	29.5	7.2	4	전송전력
9	s234d	32	28.8	6.9	4	전송전력
10	s214d	38	37.0	7.4	4	수명비교
11	s738d	38	30.0	6.2	4	
12	s734d	40	29.5	5.9	4	
13	s246d	70	37.0	4.3	4	
14	s524d	71	37.0	3.6	4	
15	s346d	74	30.8	3.8	4	
16	s2346d	59	24.4	4.6	5	
17	s5214d	65	30.4	4.9	5	
18	s2146d	65	30.4	4.7	5	
19	s7346d	65	25.6	4.4	5	
20	s5246d	97	30.4	3.7	5	
21	s52346d	86	21.2	4.3	6	
22	s52146d	96	25.8	4.4	6	
평균		57	34.2	4.5	4.0	

경로 잔류 전력 평가 값은 잔류 전력 방식의 평가 함수를 적용해 평가 한 값으로, 평가 식은 ((최소 잔류 전력 + 평균 잔류 전력) / 홑 수) 이고, 이 값이 큰 것일수록 좋은 경로 이다. 경로 잔류 전력 평가 값은 식 6에 의해서 평가된 값으로 클수록 경로 상의 노드들의 잔류 전력은 많고 홑 수는 적다는 것인데, 2홑 일 때 가장 높은 55이고, 홑 수가 증가 할수록 그 값이 적어 진다. 이러한 결과는 경로의 잔류 전력을 홑 수로 나눔으로써 생기는 결과로 보여 진다. 식의 결과 값이 홑 수에 너무 치우쳐 평가되는 결과가 나와서 최소 홑 방식과 거의 비슷하다. 식에서는 홑 수에 가중치 값을 곱하라고 되어 있었지만 가중치를 부여하여도 결과는 마찬가지가 되었다. 결과적으로 잔류전력에서 선택하는 경로는 1번 경로로써 평가 값이 55이다.

마지막 수명 비교 방식을 위해서 경로 들의 평가 수명을 산출 해 보았다. 평가 식은 ((경로의 수명 최소 값 + 경로의 수명 평균 값) / 2)이고 이 값이 클수록 좋은 경로이다. 2홑 일 때의 평가 수명은 1.3으로써 최악의 평가 값이 나왔고, 홑 수가 증가 할수록 값이 커져서, 4 홑 일 때 최대 값 7.4가 나왔으며, 그 이상의 홑 에서는 평가 값이 더 작아 지는 추세이다. 이러한 결과는 잔류 전력과 전송 전력을 다 적용한 결과로써 노드의 잔존 전력이 많은 차이가 없을 때 경로의 수명은 전송 전력과 밀접한 관련이 있는 것으로 볼 수 있으며, 더 나아가서 전송 전력에서 고려하지 못하는 잔류 전력까지 고려 함으로써, 전송 전력 방식이 찾아내지 못한 10번 경로와 같은 수명이 더 긴 경로를 찾아 낼 수 있었다.

세가지 방식 중에서 가장 수명이 긴 경로를 찾는 방식은 수명 비교 방식이 가장 효과 적이다. 다른 전력 인지 방식으로 찾을 수가 없었던 경로를 수명 비교로서 찾을 수 있었으며, 다른 전력 인지 방식에서 같은 평가를 받는 경로들도 수명 비교 방식에서는 그 평가가 확연히 차이가

나는 것을 볼 수 있다. 이로서 수명비교 방식의 우수한 점을 알 수가 있다. 다시 말하면 다른 전력 인지 방식은 경로의 잔류 전력이나 전송 전력 한가지를 평균하거나 최소 값을 가지고 경로를 결정 함으로써 분석치가 정밀 하지 못하고 경로의 정확한 수명을 파악할 수가 없었지만, 수명 비교 방식은 각각의 노드마다 잔류 전력과 소비 전력 두 가지 요소와 이를 이용한 정확한 수명을 평가 함으로써 좀더 정확하게 수명이 긴 경로를 찾아 준다. 각 노드의 수명 값을 바탕으로 경로의 최소 수명과 평균 수명을 균등하게 반영하여 수명 평가 값을 산출 함으로써 해당 경로와 전체 시스템의 전력을 고르게 반영한다.

제안된 수명 비교 방식의 장점은 아래와 같다

- (1) 잔류 전력과 전송 소비 전력을 모두 고려한다.
- (2) 각 노드마다 전송 수명 값을 바로 측정 할 수 있다.
- (3) 정확한 노드의 수명 값을 바탕으로 경로를 분석한다.
- (4) 경로의 수명과 시스템 전체의 수명을 균등히 고려한다.

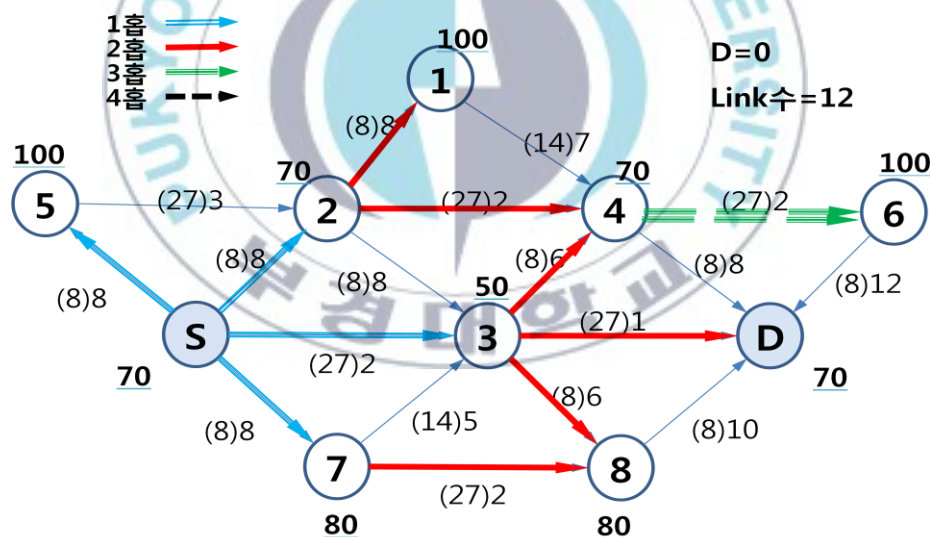
4.2 홉 지연 값에 대한 분석

홉 지연 값 D 는 전력 인지 라우팅에서 전력을 고려하기 위해서 허용 가능한 홉 지연 값을 설정 해주는 것이다. 홉 지연을 전혀 주지 않으면 전송 전력이 적은 경로를 탐색 할 수가 없다. 그렇다고 홉 지연을 무한정 줄 수는 없다. 홉 지연이 길어지면 전송 품질이 나빠지고 경로 설정시의 RREQ 과다 방송에 의한 오버헤드가 발생하기 때문이다. 적절한 홉 지연 값으로 오버헤드와 전송 전력을 절감하고, 전송 품질도 훼손하지 않아야 한다. 적절한 지연 범위를 모색하기 위해서 D 값 변화에 대한 비교 분석을

한다. 지연 허용 범위 D 값 설정에 따른 링크 탐색 횟수에 대해서 분석하며, 각 홉 수에 대해서 수명과 관련한 값들을 비교 분석해 본다.

4.2.1 홉 지연에 따른 링크 탐색 횟수

홉 지연 허용은 종단간 지연을 허용 하는 것뿐만 아니라 경로 탐색 시에도 중복 탐색을 허용함으로써 지연과 전력 소비를 유발한다. 그림 56~그림 58은 라우팅에서의 D값 설정에 따른 경로 설정시의 링크 탐색 하는 횟수를 나타낸 그림이다

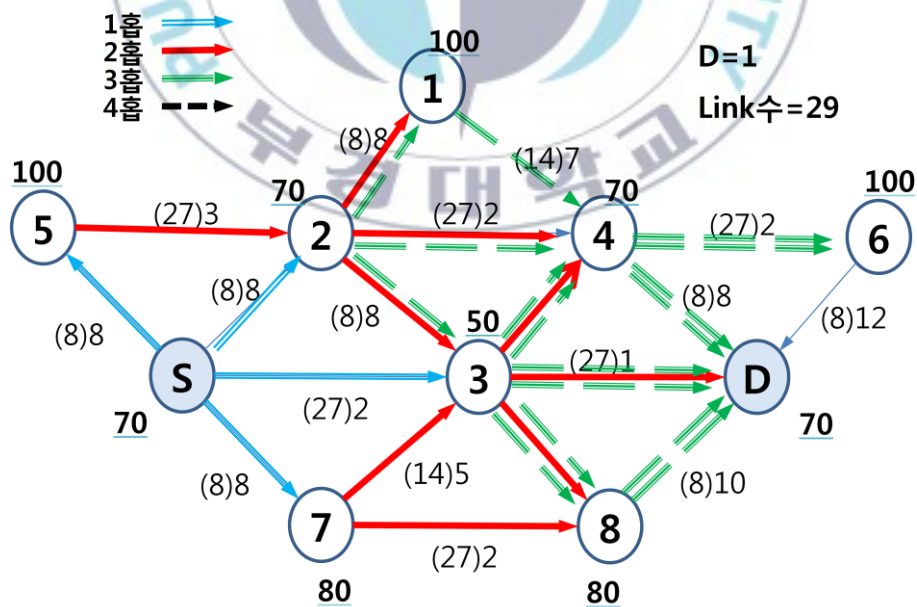


[그림 56] D=0 일 경우의 링크 탐색 횟수

그림 56은 D = 0일 때의 RREQ의 방송이 확산하는 모양인데 각 중간노드와 목적노드에서 최소 홉인 RREQ들만 해당 노드를 경유 할 수 있어 RREQ방송에 대한 경로 설정 오버헤드가 전혀 없이 12개의 링크만

RREQ가 통과한다. 경로 설정은 목적 노드에 제일 먼저 도착하는 [s, 3, d] 하나의 경로만 목적 노드에 도착하고 다른 경로는 모두 2홉보다 많아 도착하자마자 폐기된다. 한번 이상 중복 탐색하는 링크는 링크(4,6) 하나 뿐이고 경로 탐색에 대한 오버헤드는 전혀 없는 편이다. 모든 탐색하는 링크의 수는 총 12개의 링크이다.

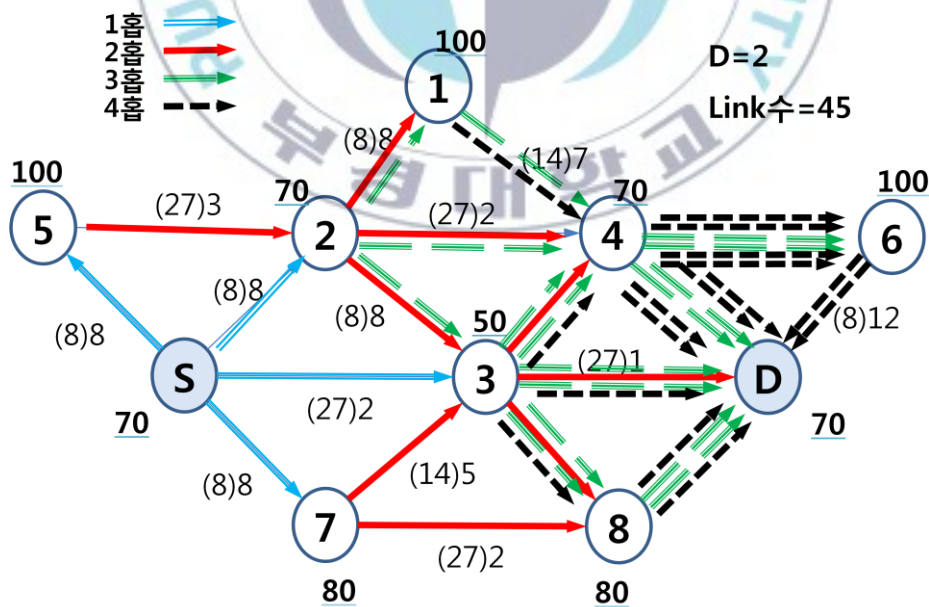
설정되는 경로는 홉 지연 값이 전혀 없는 최소 홉이지만, 최소 홉은 전송시의 노드간 전송 거리가 멀어 전송 전력 소비가 매우 크다. 그림에서도 알 수 있지만 이러한 최단 경로는 대부분 중앙 쪽의 노드를 거쳐 최단 거리로 전송 함으로써 중앙에 있는 노드들의 전력이 급격하게 소모 되는 단점이 있다. 그림에서는 한번의 전송 후에 노드3의 경로가 단절되어 경로 복구나 경로를 다시 설정 하여야 함으로 매우 비효율적인 경로이다.



[그림 57] D=1 일 경우의 링크 탐색 횟수

그림 57은 $D = 1$ 일 때의 RREQ의 방송이 확산하는 모양인데 최단 홉에 1 홉을 더한 홉 수를 가진 RREQ들만 해당 노드를 통과하게 되며 목적 노드에서도 최소 2 홉에 1 홉을 더한 3홉 이하의 경로 들만이 목적노드에 도착을 허용하게 되어 3 홉 이하의 경로만이 경로 설정 대상에 포함 될 수가 있다. 1홉 이후의 링크 들은 중복 탐색되는 경우가 대부분이며, RREQ시의 경로 탐색 링크는 총 29개로써 $D = 0$ 일 때 보다 배 이상 많다.

설정되는 경로는 3홉으로서 해당되는 경로가 6개 더 늘어 남으로써 목적지에 도착 할 수 있는 경로들이 6배 늘어 났다고 볼 수 있다. 다시 말해서 경로 탐색 링크는 2배 늘어난 반면, 설정 가능한 경로가 7배 늘어 났으므로 늘어난 경로에서 전력을 절감하는 경로도 포함되어 있어, 이 정도의 홉 지연은 잃는 것 보다 전송 전력 절감으로 이득이 훨씬 많다고 볼 수 있다.



[그림 58] $D=2$ 일 경우의 링크 탐색 횟수

그림 58는 $D = 2$ 일 때의 RREQ의 방송이 확산하는 모양인데 최단 홉에 2 홉을 더한 홉 수를 가진 RREQ들만 해당 노드를 통과하게 되며 목적노드에서도 최소 2 홉에 2 홉을 더한 4홉 이하의 경로 들만이 목적노드에 도착을 허용하게 되어 4 홉 이하의 경로만이 경로 설정 대상에 포함 될 수가 있다. 그림에서 1홉을 넘는 링크에서 2중, 4중의 중복 탐색되는 링크가 나타나며, 최소 홉 2 홉을 넘으면 6중으로 중복 탐색되는 링크들도 나타난다. 총 탐색되는 링크는 45 개로써 최소 홉 탐색 12개의 3.7배 이상 이다.

홉 지연 D 값을 크게 설정 할수록 경로 설정시의 RREQ링크 탐색 중복은 계속 증가 할 것이다. 그러나 홉 지연을 늘린다고 해서 계속해서 전력 효율적인 경로가 늘어 나는 것은 아니다. 위 그림에서는 4홉 이상의 경로, 즉 $D=3$ 이상의 경로에서는 오히려 전력 소비가 증가한다. $D=3$ 이상을 설정하여 링크들을 중복 탐색하는 것은 전력 소비 절감과 같은 효과를 기대 할 수 없어 탐색시의 오버헤드가 된다.

[표 3] D 값 설정에 따른 경로 탐색 전력 소모

D 값 설정	누적탐색 링크 수	홉 평균 전력 소비누적	경로 탐색에너지	비고
$D = 0$	12	17.5	210	기준
$D = 1$	29	14.2	412	약2배
$D = 2$	45	14.3	644	약 3배
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	

표 3에서는 D값 설정에 따른 경로 탐색 전력 소모를 보여 준다. 경로 설정 시에 탐색되는 링크 수에 링크당 평균 소비전력을 곱하여 계산한 경로 탐색에너지를 보여 주는데, 탐색 링크 수가 증가 하는 만큼 탐색 전력 소모도 증가 한다. 그림 58에서는 한쪽 방향으로만 탐색하는 경우로 설정하였지만, 하나의 노드에서 사방으로 RREQ를 방송 할 때는 이 증가 폭이 매우 커진다. 때문에 각 노드에서 홉의 지연을 일정 범위 이내로 제한 하는 것은 전력 소비나 지연을 위해서 상당한 효과를 기대 할 수가 있다.

4.2.2 홉 수에 대한 전력 분석

표 4는 각 홉의 평균을 나타낸 비교 표이다. 홉 지연 값의 설정에 대한 비교를 위해서 각 홉들에 대한 평가 항목들의 변화를 비교해 본다.

먼저 최소 홉 2홉에 지연 값 D를 1로 준 경우에는 전체 홉 수가 3홉이 되는데, 3홉 평균 행을 살펴보면 경로 전력 소비 합과 홉당 소비 전력 평균은 2홉 일 때보다 감소하여 전송 전력이 감소하는 긍정적인 효과가 있다. 잔류 전력과 관련된 항목에서, 노드 잔류 전력 평균 값은 2홉 보다 10%이상 증가 하였지만 경로 잔류 전력 평가 항목에서는 오히려 낮은 평가 값이 나왔다. 이는 홉 수가 증가 하면서 상대적으로 평가 값이 낮아진 것이다. 경로 잔류 전력 평가 값은 홉에 영향을 매우 많이 받는다는 것으로 볼 수 있다.

[표 4] 각 흡의 평균 비교 표

경로경유노드	경로 전력소 비합	흡당 소비 전력평 균	노드 잔류 전력평 균	경로 잔류전 력평가	경로최 소수명 값	경로수 명평균	경로평 가수명	경로흡 수
s3d	54	27.0	60	55.0	1	1.5	1.3	2
2 흡 평균	54	27.0	60	55.0	1	1.5	1.3	2
s78d	43	14.3	77	49.0	2	6.7	4.4	3
s24d	43	14.3	70	46.7	2	6.0	4.0	3
s38d	43	14.3	67	39.0	2	6.0	4.0	3
s34d	43	14.3	63	37.7	2	5.3	3.7	3
s23d	43	14.3	63	37.7	1	5.7	3.4	3
s73d	49	16.3	67	39.0	1	4.7	2.9	3
3 흡 평균	44	14.6	68	41.5	2	5.7	3.7	3
s238d	32	8.0	68	29.5	6	8.0	7.2	4
s234d	32	8.0	65	28.8	6	7.5	6.9	4
s214d	38	9.5	78	37.0	7	7.8	7.4	4
s738d	38	9.5	70	30.0	5	7.3	6.2	4
s734d	40	9.5	68	29.5	5	6.8	5.9	4
s246d	70	17.5	78	37.0	2	6.5	4.3	4
s524d	71	17.5	78	37.0	2	5.3	3.6	4
s346d	74	18.5	73	30.8	2	5.5	3.8	4
4 흡 평균	49	12.3	72	32.4	4	6.8	5.6	4
s2346d	59	11.8	72	24.4	2	7.2	4.6	5
s5214d	65	13.0	82	30.4	3	6.8	4.9	5
s2146d	65	13.0	82	30.4	2	7.4	4.7	5
s7346d	65	13.0	78	25.6	2	6.7	4.4	5
s5246d	97	19.4	82	30.4	2	5.4	3.7	5
5 흡 평균	70	14.0	79	28.2	2	6.7	4.5	5
s52346d	86	14.3	77	21.2	2	6.5	4.3	6
s52146d	96	16.0	85	25.8	2	6.7	4.4	6
6 흡 평균	91	15.2	81	23.5	2	6.6	4.3	6
전체 평균	56	14.7	72	35.0	2.7	6.1	4.4	4.0

수명과 관련된 항목에서는 경로 최소 수명 값, 경로 수명 평균, 경로 평가 수명항목 모두 증가 하였는데, 특히 경로 수명 평균 급증으로 경로 평가 수명도 약 3배에 가까이 증가 하여 긍정적인 신호들이 많이 나타났다. 이로써 2홉 경로 보다 잔류 전력을 제외하고 모두 효과적인 것으로 나타났다. 다만 경로 잔류 전력 평가는 홉 증가에 민감함으로 홉이 더 많은 3홉의 경로들에서는 감수 하여야 할 항목이다.

지연 홉을 2홉으로 설정 했을 경우 전체 4홉이 되는데, 4홉 평균행을 살펴보면, 전송 전력의 항목들인 경로 전력 소비 합 항은 3홉 보다는 조금 크고 2홉 보다는 작다. 4홉 전반부 4개의 경로는 2홉이나 3홉 보다 전송 전력이 낮은 반면 4홉의 후반부 3개의 경로는 2홉이나 3홉보다 훨씬 전송 전력 소비가 크다. 이는 전반부 4개 경로는 2홉이나 3홉 때의 전송 거리를 단축하는 효과가 있는 반면에 후반의 3개 경로는 전송 거리를 단축 시키는 효과가 없이 필요 이상의 우회 하는 경로로 볼 수 있다. 홉당 소비 전력 평균을 보면 2홉이나 3홉보다 적으므로 긍정적이다.

잔류 전력 평가 항목들을 보면, 노드 잔류 전력 평균 항목은 홉 수가 증가 할수록 증가 하는데 반해, 경로 잔류 전력 평가 항목은 홉이 증가 할수록 평가 값이 더 낮아지는 반대 현상을 보인다. 이는 홉 수에 너무 민감한 잔류 전력 평가 방법에 문제 있는 것으로 볼 수 있다.

수명 비교 방식 항목들에서는 경로 최소 수명 값과 경로 수명 평균이 모두 높아져 최고의 정점을 이룬다. 이는 매우 긍정적인 효과가 있다는 것이다.

지연 홉을 3홉 이상 설정 했을 경우의 5 홉과 6홉 평균 행을 살펴보면, 전송 전력 소비 합과 홉당 소비 전력 평균 값이 증가함으로써 부정적인 효과가 나타나고, 잔류 전력 평가 항목에서 노드 잔류 전력 평균 항목은 증가하고 있지만 경로 잔류 전력 평가 값은 계속 작아지고

있어 부정적이다. 수명 비교 항목인 경로 최소 수명과 경로 수명 평균 모두 약간씩 감소 하고 있으므로 경로 평가 수명도 점차 감소하여 부정적인 결과가 확인된다.

홉 지연 D 값에 대한 휴리스틱 분석결과

- (1) 홉 지연 값이 증가 할수록 경로 요청시의 RREQ 방송 오버헤드가 커짐. 그러나 RREQ는 경로 설정 시 한번만 방송함.
- (2) 전송 전력 지표는 낮아 졌다가 다시 증가하는데, $D = 2$ 일 때 가장 최저 점에 있어 $D = 2$ 일 때 가장 적절함
- (3) 잔류 전력 지표 중 노드들의 잔류 전력 평균 항목은 D값이 증가 할수록 증가 하여 긍정적이지만, 홉 수에는 반비례 하게 되므로 D값이 증가 할수록 계속 낮아져서 엇갈리는 평가 값을 보임
- (4) 수명 비교 항목 들에서는 $D = 2$ 일 때를 정점으로 점차 높아 졌다가 다시 낮아지므로 $D = 2$ 일 때가 가장 적절함

결론 적으로 $D = 2$ 일 때가 가장 긍정적인 항목들이 많으므로 $D = 2$ 로 할 때 가장 적절한 절충 경로라고 할 수 있다. 이는 최소 홉의 2배의 값이다. 그러나 다른 네트워크 토폴로지에는 전송거리와 노드 밀도 등에 의해서 적절한 지연 값은 달라 질 수 있다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 두 가지의 전력 인지 라우팅 방식을 제안하였다. 첫 번째는 전력을 우선 고려하는 전력 인지 라우팅 프로토콜이고, 두 번째는 첫 번째 방식의 단점인 홉 지연을 개선한 지연 고려 전력 인지 라우팅 프로토콜이다.

첫 번째 방식의 전력 인지 라우팅 방식은, QoS를 보장하는 QAODV 프로토콜에 전력을 우선 고려한 라우팅 경로를 설정하는 방식이다. 제안된 전력인지 QoS 라우팅 프로토콜은 소스에서 목적지까지 가는 모든 경로의 대역폭을 보장하는 경로 중에서 경로의 평가 수명이 가장 큰 경로를 선택하는 전력 인지 방식을 적용하였다. 시뮬레이션 테스트 결과 60회의 경로 설정을 반복하였다. 시뮬레이션 결과에서 전송 대역폭을 보장하면서 전력을 고려하지 않는 라우팅 방식인 QAODV 대비, 시스템의 잔존 전력량을 15% 높일 수 있었으며 이로 인해 전송 성공율을 20% 더 높일 수 있었다. 하지만 경로의 홉 수가 증가하여 멀티미디어 전송을 위한 QoS 요소들 중에서 지연을 보장할 수 없는 단점이 있었다.

두 번째로 제안한 지연을 고려한 전력 인지 라우팅은 첫 번째 제안한 전력 인지 방식의 단점인 홉 지연을 개선하기 위한 전력과 QoS 절충 방식이다. 전력 소비와 홉 지연은 서로 상충하는 요소들로서 둘 다 만족할 수가 없기 때문에 적절히 조절하기 위한 메커니즘을 추가한 라우팅 프로토콜이다. 전송 전력은 전송거리의 3제곱에 비례하여 증가한다. 전력 인지 라우팅은 전송 전력을 절감하기 위해서 전송 거리를 짧게 설정하기 때문에 홉 수는 늘어난다. 홉 수의 증가는, 증가하는 만큼의 전송 지연도 함께 증가시킨다. 그러나 전송 전력 소비는 홉 수의 증가에 비례하여 계속 감소하지는 않는다. 즉, 홉 수를 어느 정도 까지 늘일 때는 전력

소비가 줄어 들지만 어느 한계를 넘어서면 오히려 전력 소비는 늘어 난다. 이는 홉 증가를 적절한 범위까지 조절하는 적절한 메커니즘을 요구 하였다. 요구되는 메커니즘은 평상시엔 홉 지연과 전력을 적절히 절충하여 경로를 설정 하고, 네트워크의 상황이나 관리자의 의도에 따라서 최소 홉 지연 방식이나 최소 전력 소비 방식으로도 활용이 가능하여야 하는 매우 적응적인 방식이 요구 되었다.

전달 지연은 그 자체만으로도 NP complete에 속하는 어려운 문제였기 때문에 제안하는 절충 메커니즘에서는, 지연 허용 값의 적절한 조절로 최소 홉 라우팅과 전력 인지 라우팅으로도 사용 할 수 있도록 하였으며 두 요소를 절충 하여 경로를 설정 할 수 있도록 하였다. 제안하는 지연 조절 메커니즘에서는 여러 지연 요소 중 홉을 측정 지표로 삼아, 최소 홉 + D 만큼의 홉을 추가로 허용하면서 최소 홉 부근의 복수의 경로들을 탐색 하도록 하였다. 지연 조절 메커니즘은 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 지연과 전력을 분석한 결과, 최소 홉과 같은 값의 지연 값이 가장 적절한 값으로 판단 되었다. 즉 지연 조절 메커니즘은 최소 홉에 2배 이내의 경로들에서 수명이 가장 긴 경로를 설정하여, 지연과 전력이라는 두 치명적인 요소로부터 시스템을 효율적으로 운용할 수 있도록 하였다. 이와 같은 절충 메커니즘의 지연 값은 다른 시스템에서의 적용 시 전파 전송 반경과 노드 밀도에 따라 이 지연 값은 변동 될 수 있다.

지연 전력 절충 경로는 지연을 고려하지 않는 전력 인지 경로에 비해, RREQ시의 과다 방송을 제한하여 오버헤드를 줄이고, 홉 지연도 제한 하여 전송 품질도 보장 하도록 하였지만 전력 소비는 약간 증가 하였다. 그러나 전력을 고려하지 않는 QAODV 방식에 비해서는 전력 절감 효과는 크다.

시뮬레이션 결과 지연을 고려한 전력 인지 라우팅은 지연 조절 메커니즘을 사용하였을 때, 전달 지연만을 고려한 QAODV 라우팅 프로토콜에 비교하여 약 10%의 홉 지연을 허용하여서 시스템의 수명과 관련된 전력의 지표에서는 30% 정도의 향상을 보이는 경로를 설정하였다. 이는 전달 지연이 많지 않은 최소 홉 주변의 경로들 중에서 경로의 수명이 긴 경로를 선택 함으로서 경로의 단절율이 적어지고, 전체 네트워크의 생존 시간을 크게 늘였음을 의미한다.

이러한 효과는 더 많은 노드들을 거쳐서 데이터를 전송하게 될 경우 효과는 더 커질 것이라 예상되며 실제 사용이 예상되는 자연재해 지역이나 전쟁 지역 등에서는 실험에서 적용한 지역의 크기보다 훨씬 더 클 것으로 예상되므로, 제안한 프로토콜은 넓은 지역에서 먼 거리의 노드와의 통신에서 더 많은 효과를 발생하리라 예상된다.

본 논문에서는 경로를 설정하는 과정에서, AODV의 특성상 단일 전송 경로를 설정하고 데이터를 전송하는 방식이었다. 이러한 단일 경로로 많은 데이터를 보낼 때 설정된 경로의 노드들에 전력소비가 집중되는 경향이 있다. 이에 다중 경로를 설정하고 분산 전송하여 경로의 지속성을 높이고 전력을 분산하는 라우팅 방법이 필요하다. 이에 대한 연구는 추후 과제로 남긴다.

참 고 문 헌

- [1] C. Perkins and E.M. Royer, "Ad hoc On- Demand distance vector routing," Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100, Feb. 1999.
- [2] C. Perkins, E.M. Royer and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector(AODV) routing," IETF RFC 3561, July 2003.
- [3] K.J. Negus, J. Waters, J. Tourrilhes, C. Romans, J. Lansford, and S. Hui, "HomeRF and SWAP: Wireless Networking for the Connected Home," ACM SIGMOBILE Mobile Computing Communication Rev., pp. 28-37, Oct. 1998.
- [4] C.R. Lin and M. Gerla, "Real-Time Support in Multi-hop Wireless Networks," ACM/ Baltzer Wireless Networks Journal, Vol.5, No.2, pp. 125-135, Mar. 1999.
- [5] I. Chlamtac, M. Conti and J.J.N. Liu, "Mobile ad hoc networking:Imperatives and challenges," Ad Hoc Networks, Vol.1, No.1, pp. 13-64. July 2003.
- [6] Arjan Duresi, Vamsi Paruchuri and Leonard Barolli, "Delay-Energy Aware Routing Protocols for Sensor and Actor Networks," Proc. of the 2005 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2005.
- [7] Nitin Muchhal and Dr Roopam Gupta, "Minimizing End to End Delay by Poewr Aware Routing in Wireless Mobile adhoc Network," Indian Journal of Computer science and engineering, Vol.1 No. 1, pp.21-23.

- [8] Alok Kumar jagadev, et al, "Power and Delay Aware On-Demand Routing For Ad Hoc Networks," International Journal on Computing Science and Engineering, Vol. 02, No. 04, pp. 917-923, 2010.
- [9] Salim M Zakt, et. al, "A Review of Delay Aware Routing Protocol in MANET," Computer Science Letter, Vol. 1, No. 1 ,June 2009.
- [10] Qi Xue and Aura Ganz, "Ad hoc QoS on-demand routing(AQOR) in mobile ad hoc networks," J. of Parallel and Dist. Computing, 2003
- [11] Royer E.M., "Review of current routing Protocols for ad hoc mobile wireless networks", Personal Comm. IEEE, Vol. 6, Issue 2, pages 56-55, April 1999
- [12] Takagi H., "Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals", Comm. IEEE transaction, Vol. 32, Issue 3, pp.245-257, Mar 1984
- [13] A. Misra and S. Banerjee, "MRPC: Maximizing Network Lifetime for reliable routing in Wireless Environments," Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 800-806, 2002
- [14] C.E. Jones, J.M.Sivalingam, P.Agarwal, A Survey of Energy Efficient Protocols for Wireless Networks, Wireless Networks, Vol. 7, No. 4, pp. 343-358, 2001
- [15] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat, Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers, ACM SIGCOMM Computer Communication Review,

- Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications, Volume 24 Issue 4, 1994
- [16] J. Broch, D. B. Johnson, and D. A. Maltz, The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks, Internet-Draft, draft-ietfmanetdsr- 01.txt, work-in-progress, 1998.
- [17] Marinescu, D.C, Marinescu, G.M, Yongchang Ji, Boloni, L.; Siegel, H.J., Ad hoc grids: Communication and computing in a power constrained environment, Performance, Computing, and Communications Conference, 2003, Conference Proceedings of the 2003 IEEE International 9-11, pp.113-122, 2003
- [18] I. Foster, C. Kesselman, The Grid: Blueprint for a new Computing Infrastructure, Morgan Kaufmann Publishers, 1998
- [19] Tracy C., "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", WCMC, Vol. 2, No.5 pp.483-502, 2002
- [20] V. Vidhyashnker, B. S. Manjo, and C. Siva Ram Murthy, "Slot Allocation Scheme for Delay-sensitive Traffic Support in Asynchronous Wireless Mesh Networks," Proc. of HiPC 2003, LNCS 2912, pp.333-342, Dec. 2003.
- [21] C. Bisdikian, An Overview of Bluetooth Wireless Technology, IEEE Communication Mag., Dec. 2001, pp. 86-94
- [22] F. Bennett, D. Clarke, J.B. Evans, A. Hopper, A. Jones, and D. Leask, "Piconet:Embedded Mobile Networking," IEEE Personal Communication, Oct. 1977, pp. 8-15.
- [23] C.R. Lin and M. Gerla, "Real-Time Support in Multi-hop Wireless Networks," ACM/Baltzer Wireless Networks Journal, vol. 5, no. 2, pp. 125-135, March 1999.

- [24] C. Perkins, E. M. Royer and S. R. Das, "Quality of Service for Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing," draft-ietf-manet-aodvqos-00.txt, 2000
- [25] M. Cagalj, J. Phubaux and C. Enz, "Minimum-Energy Broadcast in All-Wireless Networks: NP-Completeness and Distribution Issues," Proc. of Mobile Computing and Networking (Mobicom), Sep. 2002.
- [26] Natarajan Meghanathan, "On-Demand Maximum Battery Life Routing with Power Sensitive Power Control in Ad Hoc Networks," ICNICONSMCL, 2006.
- [27] S. Singh, M. Woo, and C. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. MobiCom '98, Dallas, TX, Oct. 1998.
- [28] A. Safwat, H. Hassanein, and H. Mouftah, "Energy-Aware routing in Wireless Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of the International Conference on Wireless Networks 2002, 2002.
- [29] Shanghong Peng, Simon X. Yang, Stefano Gregori and Fengchun Tian, "An Adaptive QoS and Energy-Aware Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation, Zhangjiajie, China, pp. 573-583, 2008.
- [30] Arjan Duresi, Vamsi Paruchuri, Leonard Barolli. "Delay-Energy Aware Routing Protocol for Sensor and Actor Networks," Proceedings of the 2005 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'05) IEEE, 2005
- [31] Haojun Huang, Guangmin Hu and Fucai Yu, "Sensitive and

- Power-Aware routing in wireless ad hoc networks," Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UESTC of China, Ministry of Education Chengdu, China, IEEE pp. 497-499, 2010
- [32] Kazuhiko Kinoshita, Naosuke Yokoe, Yusuke Hirota, Hideki Tode, and Koso Murakami "A Network Service Platform Providing Stable QoS Based on Dynamic Allocation of Distributed Components", 2010 International Conference on Network and Service Management - CNSM, ,: Short Papers 2010, p.p. 447~450, 2010
- [33] Ravi R. Mazumdar, Fellow, Ness B. Shroff, Senior, "Degenerate Delay-Capacity Tradeoffs in Ad-Hoc Networks With Brownian Mobility," IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 52, NO. 6, JUNE 2006
- [34] Abolfazl Toroghi Haghighat and Omid Jafarzadeh Khoshroidi, "Stable QoS Routing by AODV protocol", SoftCOM2007. pp.1-5, Sept. 2007.
- [35] E. Crawley, R. Nair, B.Rajagopalan, and H. Sendick, "A Framework for QoS-based Routing in the internet," RFC 2386, <http://www.ietf.org/rfc/rfc.2386.txt>, Aug 1998.
- [36] Dipika Darshana and Mainak Chatterjee, Kevin Kwiat, "Delay Based Routing for Real-time Traffic in Ad hoc Networks" 978-1-4244-7042-6/10/\$26.00 ©2010 IEEE, p.p.33
- [37] Jamal N. Al-Karaki Ahmed E. Kamal, "Stability helps Quality of Service Routing in Wireless Ad hoc Networks" 0-7803-8396-6/04/\$20.00 © 2004 IEEE, pp.329

- [38] Aggelou George: "Mobile Ad Hoc Networks", Mc Graw-Hill, 2004
- [39] S. Chen and K. Nahrstedt: "Distributed Quality of Service Routing in Ad Hoc Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 0733-6716, Aug. 1999
- [40] Chun Huang, Fei Dai, and Jie Wu: "On-Demand Location-Aided QoS Routing in Ad Hoc Networks", Proceedings of the 2004 International Conference on Parallel Processing (ICPP'04), 0190-3918/04 © 2004 IEEE
- [41] Y. S. Chen, Y. C. Tseng, J. P. Sheu, and P. H. Kuo: "An on-demand, link-state, multi-path QoS routing in a wireless mobile ad-hoc network", Computer communication, vol 27, no. 1, pp. 27-40, Jan, 2004
- [42] Atef Abdrabou and Weihua Zhuang: "A Position-Based QoS Routing Scheme for UWB Ad-Hoc Networks", 1-4244-0355-3/06, in proceedings of IEEE ICC 2006.
- [43] Yuan Li¹, XinMeng Chen¹, Dan Yu¹: "Disjoint Multi-Path QoS Routing in Ad Hoc Networks", 0-7803-9335-X/0 © 2005 IEEE
- [44] Gerhartz, M., de Waal, C., Frank, M., Martini, P. and James, P: "Strategies for Finding Stable Paths in Mobile Wireless Ad Hoc Networks", IEEE Press, Piscataway, NJ, 130-39, In Proceedings of IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN'03) (Bonn, Germany, 2003).
- [45] P. Gupta and P. Kumar, "The capacity of wireless networks," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 46, no. 2, pp. 388-404, Mar. 2000.
- [46] M. Grossglauser and D. N. C. Tse, "Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks," in Proc. IEEE INFOCOM,

2001, pp.1360–1369.

- [47] A. E. Gamal, J. Mammen, B. Prabhakar, and D. Shah, “Throughputdelay trade-off in wireless networks,” in Proc. IEEE INFOCOM, 2004.
- [48] M. Neely and E. Modiano, “Capacity and delay tradeoffs for ad-hoc mobile networks,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, no. 6, pp. 1917–1937, Jun. 2005.
- [49] G. Sharma and R. Mazumdar, “Delay and Capacity Trade-Off in Wireless Ad Hoc Networks with Random Way-Point Mobility,” School of ECE, Purdue Univ., W. Lafayette, IN, 2005. Proprint. Availabel: [Online] at <http://ece.purdue.edu/~gsharma>.
- [50] S. Toumpis and A. Goldsmith, “Large wireless networks under fading, mobility, and delay constraints,” in Proc. IEEE INFOCOM, 2004.
- [51] X. Lin and N. B. Shroff, “The fundamental capacity–delay tradeoff in large mobile ad hoc networks,” in Proc. Third Annu. Mediterranean Ad Hoc Netw. Workshop, 2004.
- [52] M. Franceschetti, O. Dousse, D. N. C. Tse, and P. Thiran, “On the Throughput Capacity of Random Wireless Networks,” Dept. ECE, Univ. Calif., San Diego, La Jolla, 2005. Preprint. Available: [Online] at <http://fleece.ucsd.edu/~massimo/>.
- [53] A. Agarwal and P. R. Kumar, “Capacity bounds for ad-hoc and hybrid wireless networks,” ACM SIGCOMM Computer Commun. Rev., Special Issue on Science of Networking Design, vol. 34, no. 3, pp. 71–81, Jul. 2004.
- [54] D. Brillinger, “A particle migrating randomly on a sphere,” J.

- Theoret. Probab., vol. 10, no. 2, pp. 429-443, Apr. 1997.
- [55] R. Durrett, Probability : Theory and Examples, 2nd ed. Belmont, CA: Duxbury, 1996.
- [56] N. Bansal and Z. Liu, "Capacity, delay and mobility in wireless ad-hoc networks," in Proc. IEEE INFOCOM, Apr. 2003.
- [57] X. Lin, G. Sharma, R. Mazumdar, and N. Shroff, "Degenerate Delay-Capacity Trade-Offs in Ad Hoc Networks with Brownian Mobility," School of ECE, Purdue Univ., W. Lafayette, IN, Tech. Rep., 2005.
- [58] G. Sharma, R. Mazumdar, and N. Shroff, "Delay and capacity trade-offs in mobile ad hoc networks: A global perspective," in IEEE INFOCOM 2006, 2005.
- [59] 김운도, 서경룡, "멀티미디어 ad hoc 네트워크에서의 전력인지 QoS 라우팅," 한국 멀티미디어학회 논문지 제 14 권 20 호, pp. 258-264, 2010
- [60] 최종갑 "유비쿼터스 통신을 위한 MANET, WSN 결합모형 및 라우팅 프로토콜에 대한 연구", 부산 대학교 공학석사 학위논문, 2005.8
- [61] 한옥표, 이희춘, 정영준 "무선 센서 네트워크에서 유니캐스트를 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜" 정보 과학회 논문지 ; 정보통신 제 34권 제4호, pp. 266. 2007

감사의 글

대기 만성이라 하지만 참 늦은 나이로 여러 가지 곡절도 많았지만 항상 어릴 적부터 꿈꾸어 오던 박사가 되고 싶다는 생각을 버릴 수가 없었습니다. 이제 모든 것을 이겨내었고 늦었지만 원하는 결실을 맺게 되어 내 자신으로서는 매우 뿌듯한 마음입니다. 돌이켜 보면 많은 사람들의 도움과 희생이 있어 오늘의 이 기쁨을 누릴 수 있었기에 여기에 감사의 글을 남깁니다.

먼저 늦은 대학생활에 가정과 생업을 같이 하면서 너무 모자란 것이 많았지만, 항상 질책하지 않으시고 너그러이 지도해주시고 헌신적으로 도와주신 서경룡 교수님께 진심으로 감사의 인사를 드립니다. 그리고 부족한 저의 논문을 심사하시면서 많은 부분 조언을 해주신 윤성대 교수님, 정목동 교수님, 여정모 교수님 그리고 해양대학교 박휴찬 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 알찬 수업으로 열강 해 주신 컴퓨터 공학과 대학원 모든 교수님께도 또한 깊이 감사드립니다.

같은 연구실에서 한동안 생활을 같이한 최홍석, 허준호 군에게도 동고동락을 함께 해주어서 감사하고, 특히 가장 힘들었을 때 조언과 따뜻한 격려를 아끼지 않았던 김길호, 박창수 선배 박사님들에게 정말 큰 힘이 되었다고 전하고 싶습니다. 그 밖에 짧지 않은 6년의 대학원 박사과정에서 함께 했던 여러 학우들, 박주현, 석홍일, 김원희, 황진호, 전현준, 장혜정 등 많은 이들에게 감사의 인사를 전합니다.

그리고 지금은 안 계시지만 나를 낳아 주시고 길러주신 부모님께 이 기쁨을 전할 수 있었으면 좋겠습니다. 지금도 옆에서 언제나 밝은 모습으로 항상 성원해 주는 내가 가장 사랑하는 아내 정경자와, 잘해주지 못해 항상 미안한 생각이 드는 우리 공주들 여울, 나래에게 미안하고 사랑한다고 전하고 싶습니다. 또한 항상 뒤에서 후원해 주신 항도 학원 이 동우 이사장님께도 감사의 인사를 드리며 저를 멀리서 가까이서 성원해 주신 모든 분들에게 정말 고맙고 감사의 인사를 드립니다.