

# 멀티미디어 Ad hoc 네트워크에서 전달지연-전력인지 라우팅 프로토콜

허준호<sup>†</sup>, 김윤도<sup>\*\*</sup>, 서경룡<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

이동 ad hoc 네트워크 (MANET)에서의 전력인지 라우팅 프로토콜은 각 노드의 전력소비를 최소화 하여 네트워크의 수명을 연장할 수 있도록 하였다. 하지만 프로토콜의 특성상 전송지연을 증가시키는 경향이 있어 전송지연이 중요한 멀티미디어 전송에는 적용하기 어려웠다. 따라서 본 논문에서는 ad hoc 네트워크에 적용할 수 있는 전송지연-전력인지 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 전송지연과 전력소비 두 가지의 상충된 지표를 동시에 고려하는데 전송지연을 일정한 수준으로 유지하면서 소비전력을 최소화 하는 방식을 사용한다. 시뮬레이션 결과 기존의 전송지연을 고려하지 않은 방식에 비하여 전송지연은 30% 정도로 크게 감소한 반면 전력소비는 10% 미만의 증가에 그쳤다.

## Delay-Power Aware Routing Protocol for Multimedia Ad hoc Networks

Jun-ho Huh<sup>†</sup>, Yoondo Kim<sup>\*\*</sup>, Kyungryong Seo<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Power Aware Routing Protocol of MANET(Mobile Ad-hoc Network) minimized the power consumption of each node and helped to extend the lifetime of the network. But due to the nature of the protocol, it tends to increase the transmission delay, so multimedia transmissions were difficult to be applied. In this paper, a delay-power aware routing protocol is proposed considering the delay transmission delay that can be applied to ad hoc network. The proposed protocol consider two conflicting index, transmission delay and power consumption at the same time, maintaining a certain level of delay transmission delay while minimizes the power consumption. It is observed from the simulation results compared to not-considering delay transmission delay that the proposed protocol decrease transmission delay by 30% while the power consumption less than 10% increase.

**Key words:** Ad hoc(Ad hoc), Power Aware(전력인지), Delay(지연), Multimedia Routing Protocol(멀티 미디어 전송 프로토콜)

## 1. 서 론

이동 ad hoc 네트워크 (MANET)는 무선 단말장치로만 구성되는 네트워크로서 유선망을 구성하기

어렵거나 네트워크를 구성한 후 단기간 사용되는 경우에 적합하다.

MANET은 군사적 목적으로 연구, 개발되었으나 특유의 유연성에 힘입어 기반 네트워크가 태풍, 지

※ 교신저자(Corresponding Author) : 서경룡, 주소: 부산광역시 남구 대연3동 599-1(608-737), 전화 : 051)629-6254, FAX : 051)629-6210, E-mail :krseo@pknu.ac.kr  
접수일 : 2011년 8월 9일, 수정일 : 2011년 11월 18일  
완료일 : 2012년 1월 4일

<sup>†</sup> 준회원, 부경대학교 교육대학원 전산교육학과  
(E-mail : 72networks@pknu.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 부경대학교 컴퓨터공학과  
(E-mail : win2003@korea.com)

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원, 부경대학교 컴퓨터공학과  
(E-mail : krseo@pknu.ac.kr)

진, 화재 등으로 손실된 재난 지역, 소수의 사용자를 위해 설비를 투자하기 어려운 산간 지역과 같은 오지, 계획되지 않은 임시회의, 홈 네트워크 등에 광범위하게 활용되고 있다[1-4].

MANET에서는 통신이 필요한 노드 간에 직접적인 경로가 없을 경우 중간노드를 통한 전송이 필요하게 되고 적절한 중간노드를 구하는 라우팅 프로토콜이 필수적이다.

MANET에서 고려되어야 할 중요한 사항은 전원 문제이다. 각 노드는 통상 전원으로 전력공급이 제한된 전지를 사용하여 전지가 소모되면 MANET을 구성하기 어려워진다. 이 때문에 전력소비를 고려한 다양한 라우팅 프로토콜이 개발되었다[5-9].

MANET에서의 통상적인 전력인지 라우팅 프로토콜은 통신이 필요한 각 노드간의 경로를 설정하는데 그 경로에 소모되는 소비전력을 최소화 하도록 한다. 단 특정 응용프로그램이 필요로 하는 전송조건(QoS)이 있으면 이를 동시에 고려하기도 한다. 멀티미디어 전송을 위한 MANET에서 고려되는 QoS로는 크게 대역폭과 전송지연이 있다[6-10]. 대역폭의 경우는 전력소비와 관련하여 거의 독립적으로 동작하는 지표이기 때문에 비교적 쉽게 특정 대역폭을 만족하면서 전력소비를 최소화 하는 경로를 구할 수 있다. 하지만 전송지연의 경우 전력소비와 서로 상충되어 전력소비를 최소화 하는 경로는 전송지연을 크게 하는 경향을 가진다[7-9].

본 논문에서는 멀티미디어 ad hoc 네트워크에 적용할 수 있는 적절한 전송지연을 보장하면서 전력소비를 최소화 하는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 여기서는 On-Dem and 방식을 사용하여 일정한 전송지연 범위 안에 있는 경로들의 집합을 구하고 여기에서 전력소모가 최소인 경로를 선택한다. 제안된 프로토콜은 여러 가지 조건에서 기존의 라우팅 방식에 비교하여 성능을 검증하였다.

본 논문의 구성은 2장의 관련연구에서 MANET의 라우팅 프로토콜에 대하여 살펴보고 3장에서 제안된 프로토콜을 설명하고 4장에서 프로토콜의 성능평가를 하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

본 장에서는 1절에서 MANET의 라우팅 프로토콜

을 설명하고 2절에서는 멀티미디어 전송에서 요구하는 QoS 라우팅 프로토콜에 대해서 살펴보고 3절에서는 최소전력 소모를 구하는 프로토콜인 전력인지 라우팅에 대해서 살펴보고 문제점을 제시한다.

### 2.1 MANET 라우팅 프로토콜

라우팅 프로토콜의 역할은 송신노드가 수신노드까지 데이터를 전송하기 위해 전송 경로를 탐색하고 유지하는 것이다. MANET의 라우팅 프로토콜은 전송 경로를 확보하는 시점에 따라서 Table-Driven 방식과 On-Demand 방식으로 나눌 수 있다. Table-Driven 방식은 MANET의 모든 노드들이 주기적으로 메시지를 교환하여 한 노드가 다른 모든 노드까지의 경로를 항상 확보 하는 기법이며, On-Demand 방식은 데이터 전송을 위한 라우팅 경로가 필요한 경우에 경로를 탐색하고 유지하는 방식으로, 데이터 전송시 경로 획득 절차를 수행하기 때문에 경로 획득시간이 길어지는 문제점을 가지고 있으나 전력소모가 적어 한정된 전력을 가진 모바일 통신에서는 유리한 점이 많다. On-Demand 방식의 라우팅 프로토콜로는 AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing), DSR(Dynamic Source Routing) 등이 있다[1,2,8,11].

MANET은 N개의 노드로 구성되며 각 노드는  $n_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ ,으로 구별한다. 노드  $n_i$ 에서 인접한 노드  $n_j$ 까지 직접적인 전송이 가능하면 노드  $n_i, n_j$ 에는 링크  $(i, j)$ 가 존재한다. 이때 소스 노드  $n_s$ 에서 목적 노드  $n_d$ 까지의 경로는  $\pi(s, d)$ 라고 하고 이는 노드  $n_s$ 에서 노드  $n_d$ 까지의 링크 순열이다. 즉  $\pi(s, d)=[s, *, \dots, *, d]$ , 여기서 \*는 임의의 노드  $n_i$ 을 표시한다. 어떤 MANET에  $\pi(s, d)$ 가 존재한다면 노드  $n_s$ 에서 노드  $n_d$ 간의 데이터 전송이 가능하다는 것을 의미한다. 단순히 어떤  $\pi(s, d)$ 를 구하는 것만으로도 라우팅 프로토콜이 될 수 있다.

그림 1은 다섯 개의 노드로 구성된 MANET 전송 경로의 한 예이다. 여기서 화살표는 전송링크를 표시하며 여기에 표시된 숫자는 노드간 거리를 나타낸다.

$$\pi_1(1, 5) = [1, 3, 5], \quad \pi_2(1, 5) = [1, 2, 4, 5]$$

$\pi_3(1, 5) = [1, 2, 3, 4, 5]$ 는 노드 1에서 노드 5까지의 전송경로가 될 수 있다. 하지만 각 경로의 전송조건은 서로 다르다.  $\pi_1$ 은 2 hop을 경유하고,  $\pi_2$ 는 3 hop을

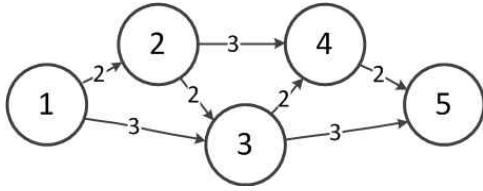


그림 3. MANET 전송경로

경유한다. hop 만 비교하면  $\pi_1$ 이  $\pi_2$ 에 비교하여 우월한 경로로 보이지만 전력문제나 대역폭 같은 다른 조건을 고려하면  $\pi_1$ 보다  $\pi_2$ 가 더 나은 경로가 될 수 있다.

### 2.2 QoS 프로토콜

멀티미디어 데이터를 전송 할 때 특정한 통신품질이 필요한데 이를 QoS(Quality of Service)전송 이라고 한다. 네트워크에서 QoS 라우팅은 RFC 2386[12]에서 근원지에서 목적지까지 패킷을 전송할 때 네트워크가 제공해야할 서비스, 종단간의 전송지연, 지터, 대역폭, 패킷손실률 등의 집합으로 규정되어 있다. 경로가 설정되면 그 경로를 통하여 데이터 전송이 이루어지고 네트워크의 자원을 소비하게 되는데 이를 정량화 하기위하여 네트워크 모델에 따라 다양한 메트릭을 사용하게 된다. MANET에서는 무선 링크의 품질이 주변 환경에 따라 쉽게 변하기 때문에 링크 상태 정보를 얻고 관리하기가 매우 어렵고, 단말기의 이동성으로 인하여 QoS 지원을 위한 전략은 더욱 복잡해질 수밖에 없다[13].

대역폭  $W$ 는 멀티미디어 전송에서 요구하는 가장 중요한 QoS로 간주된다. 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,  $W \leq W(i, j; (i, j) \in \pi(s, d))$ 를 만족하는 종단 간 경로  $\pi(s, d)$ 를 구하는 것으로 된다.

전송지연  $\delta$ 도 중요한 지표중 하나이다. 링크  $(i, j)$ 의 전송지연을  $\delta(i, j)$ 라고 하면  $\delta(s, d) = \sum_{(i, j) \in \pi(s, d)} \delta(i, j)$ 는 종단 간 경로  $\pi(s, d)$ 의 전체 전송지연이 된다. 이 경우  $\delta(s, d)$ 를 최소화 하는 경로를 구하는 것이 전송 지연 조건의 라우팅 프로토콜이라 한다. 전송지연 지표는 사용하는 라우팅 프로토콜에 따라 다르게 계산된다. 본 논문에서는 문제를 단순화하기 위하여 전송

지연의 여러 항목들 중 hop을 사용하였다. 하지만 현실적인 응용프로그램은 좀 더 다양한 제약조건을 필요로 한다.

### 2.3 전력인지 라우팅 프로토콜

MANET의 각 노드는 전지 구동 방식이 일반적이다. 따라서 전원이 완전히 소모된 노드는 MANET에서 역할을 할 수 없게 된다. 경로  $\pi(s, d)$  중의 한 노드가 이러한 경우라면 경로  $\pi(s, d)$ 를 통한 데이터 전송은 불가능해 진다. 이 경우 전력인지 라우팅 프로토콜이 필요하다. 링크  $(i, j)$ 를 통하여 단위데이터를 송수신할 때 노드  $n_i, n_j$ 는 각각 일정한 전력을 소모하게 된다.

노드  $n_i$ 가 링크  $(i, j)$ 를 통하여 노드  $n_j$ 에  $k$ bit의 데이터를 전송할 경우 노드  $n_i$ 는 송신전력  $e_T(i, k)$ 를 노드  $n_j$ 는 수신 전력을  $e_R(j, k)$ 를 소모하게 되는데 두 노드간의 거리를  $d_{ij}$ 라 하면 각각은 식(1)로 표시된다[9,14].

$$\begin{aligned} e_T(i, k) &= e_{TX} \cdot k + e_{AMP} \cdot k \cdot d_{ij}^n \\ e_R(j, k) &= e_{RX} \cdot k \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $e_{TX}, e_{RX}$ 는 각각 전송 에너지 손실과 수신 에너지 손실을 나타내고  $e_{AMP}$ 는 전파 방출 에너지 손실을 표시하며  $n$ 은 상수로 주변상황에 따라 2에서 5의 값을 가지는데 본 논문에서는 문제를 단순화 하기 위하여 3으로 고정하여 사용한다.

식 (1)로부터 노드  $n_i$ 가 노드  $n_j$ 로 링크  $(i, j)$ 를 통하여 단위데이터를 전송하는데 필요한 에너지는  $e(i, j) = e_T(i, 1) + e_R(j, 1)$ 로 됨을 알 수 있다.

소스노드  $s$ 에서 목적노드  $d$ 까지 경로를  $\pi(s, d)$ 라고 하면  $\pi(s, d)$ 를 경유할 때 전체 소비전력  $E(\pi(s, d))$ 은 식 (2)로 표시된다.

$$E(\pi(s, d)) = \sum_{(i, j) \in \pi(s, d)} e(i, j) \quad (2)$$

존재 가능한  $\pi(s, d)$ 중 전력소모  $E(s, d)$ 를 최소화 하는  $\pi(s, d)$ 를 구하는 것이 전력인지 라우팅 프로토콜의 한 예이다. 전력소모를 최소화 하는 경로는 전송지연을 증가시키는 것으로 밝혀져 있다. 따라서 전송지연을 최소화 하면서 동시에 전력소비를 최소화 하는 조건을 만족하는 프로토콜을 구성하는 것은 불가능하기 때문에 각 조건의 적절한 조정이 필요하다.

### 3. 전송지연-전력인지 라우팅 프로토콜

대역폭 조건을 만족하고 최소전력을 소비하는 경로를 구하는 효율적인 프로토콜은 이미 존재한다 [8,9]. 하지만 전송지연의 경우 그 자체 문제만으로 NP-complete에 속하는 복잡한 문제로 분류된다 [6-8]. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 멀티미디어 전송에 필수적인 QoS인 대역폭 조건은 만족한다. 하지만 전달지연과 최소전력 전송경로는 서로 상충되는 조건을 가지고 있어 동시에 만족할 수 없다. 또한 최소전달지연 조건을 만족하는 효율적인 알고리즘은 존재하지 않아 모든 가능한 경로를 탐색하여야 하고 이는 제어패킷의 수를 증가시켜 네트워크의 효율에 나쁜 영향을 미친다.

따라서 본 논문에서는 최적의 전달지연을 만족하지는 않지만 최소전력과 전달지연문제를 동시에 고려하여 전력소비조건과 전달지연에 대한 허용범위를 두어 비록 최적의 조건을 만족하지는 않지만 최적에 가까운 경로를 탐색하는 휴리스틱을 사용한다. 대역폭 조건은 경로탐색과정에서 대역폭을 만족하지 않는 링크는 제외하는 방법으로 구현이 가능하다.

라우팅 프로토콜의 기본 구성은 [9]의 멀티미디어 전력인지 라우팅과 유사한 방식이다. 멀티미디어 전력인지 라우팅 프로토콜은 경로탐색과 경로설정을 위하여 요구대역폭  $W$ 와 전송소비전력  $E(s,d)$ 를 포함한 RREQ와 RREP패킷을 사용한다. 즉 AODV 라우팅에 요구대역폭  $W$ 와 전송소비전력  $E(s,d)$ 를 고려하는 프로토콜을 사용하였는데, 본 논문에서는 이에 전달지연 허용계수  $\delta$ 값을 추가하여 전력인지 라우팅의 전송지연을 일정범위 이내로 제한한다.

그림 1에서 가장 기본적인 라우팅 방법인 hop 카운트 라우팅 방식은  $\pi_1$ 으로  $n_3$ 를 거쳐 2 hop이 되어 최소 hop 경로이다.

그러나 이때의 소비전력  $E(\pi_1(1,5)) = 3^3 + 3^3 = 54$ 로 계산된다. 이에 비하여  $\pi_2$ 는 3 hop이고 소비전력은  $E(\pi_2(1,5)) = 2^3 + 3^3 + 2^3 = 43$ 이다. 전송전력소모를 줄이기 위해서 전력인지 라우팅을 사용한다면  $n_2, n_3, n_4$ 를 거쳐 경로를 설정할 것이다. 이때의 소비전력은  $E(\pi_3(1,5)) = 2^3 + 2^3 + 2^3 + 2^3 = 32$ 로 최소가 된다. 하지만 전달지연을 살펴보면 hop 수는 4로써 최대이다.

이 예에서 보듯이와 같이 경로의 소비전력과 전달지연과는 서로 상충하는 관계를 가지게 되고 두 조건

을 동시에 만족할 수는 없다. 따라서 두 조건을 적절히 조절하여 비록 최적은 아니지만 전력소비를 최소화 하면서 전달지연을 감소 할 수 있는 알고리즘을 제안하고 다음에서 알고리즘의 경로탐색과 경로설정 과정을 자세히 설명한다.

#### 3.1 경로탐색

소스노드  $n_s$ 는 통신을 하기위하여 목적노드  $n_d$ 를 찾기 위하여 라우팅 테이블을 검사하고 유효한 경로가 없다면 경로를 찾기 위하여  $W, \delta, E(s,j)$ 를 포함한 RREQ를 인접노드에 방송한다. 여기서  $W$ 는 멀티미디어 전송에 필요한 대역폭을,  $\delta$ 는 지연허용계수를 표시하고  $E(s,j)$ 는 소스에서 노드  $n_j$ 까지 전송하는데 소요되는 에너지를 중간 계산하는 용도로 사용한다. 인접노드  $n_i$ 로부터 RREQ를 수신한 노드  $n_j$ 는 링크( $i,j$ )가 요구대역폭  $W$ 를 만족하는지를 검사한다. 만약 대역폭을 만족하지 않으면 RREQ를 무시하고 대역폭조건을 만족하는 경우에는 현재까지 구성된 경로의 소비전력을 계산하고 hop 카운트를 1 증가한다.

소스로부터 현재 노드까지의 최소 hop이  $\text{hop}(j)$ 에 저장되어있는데 이 값에 지연허용 계수  $\delta$ 를 곱하면 지연허용 hop 값이 된다. 이 허용치 값 이내의 hop을 가진 RREQ들은 해당 노드를 경유하도록 하고, 지연허용치 값을 넘는 RREQ들은 폐기된다. 예를들어 지연허용  $\delta$ 값을 1을 준다면 최소 hop들만 해당 노드를 통과할 것이며, 1이상 즉 1.5를 준다면 최소 hop이 2일때  $2 * 1.5 = 3$ 이므로 3 hop까지는 해당노드를 통과하게 될 것이다. 이 과정에서 지연 허용계수인  $\delta$ 값을 적절히 설정하여 전력인지 라우팅에서와 같은 과도한 hop 카운트 허용으로 인한 전송지연 경로 설정이나 RREQ 과다 방송에 의한 오버헤드를 줄일 수 있다. 다음으로 RREQ를 받은 현재의 노드  $n_j$ 가 목적노드가 아닐 때는 RREQ를 다시 주변노드  $n_k$ 에 방송하고, 목적노드  $n_d$ 일 경우에는 해당경로의 전력소비 값  $E(s,d)$ 와 목적노드에 저장된 최소 전력소비 값  $E_M(s,d)$ 를 비교하여 전송된 전력소비 값  $E(s,d)$ 가 더 작은 경우  $E(s,d)$  값을  $E_M(s,d)$ 로 갱신하고 RREP을  $\pi(s,d)$ 의 역 경로를 따라 전송한다. 상세한 경로 탐색 알고리즘은 다음과 같다.

**경로탐색**

1. 소스노드  $n_s$ 는 목적노드  $n_d$ ,  $hop = 0$ , 허용오차  $\sigma$ ,  $\pi = \phi$ 를 포함한 RREQ를 인접노드에 브로드캐스트 한다.
2. 노드  $n_i$ 로부터 RREQ를 수신한 노드  $n_j$ 는  $E(s,j) = E(s,i) + E(i,j)$ 로  $hop = hop + 1$ 로 설정한 후 현재까지 구성된 경로의 소비전력을 계산하고 이 값을  $E(s,j)$ 로 저장한다. 만약  $hop(i) * \sigma \geq hop$  조건을 만족하면  $hop = MIN(hop(i), hop)$ 으로 계산하고  $E(s,j)$ ,  $hop$ ,  $\pi \leftarrow \pi(i,j)$ 을 저장한다. 조건을 만족하지 않으면 패킷을 무시한다.
3. 노드  $j$ 가 목적노드일 경우  $E(s,d)$ ,  $hop, \pi \leftarrow \pi(i,d)$ 을 포함한 RREP를 노드  $i$ 에 전송한다. 노드  $j$ 가 중간노드일 경우(목적노드가 아닐 때)  $E(d,j)$ ,  $HOP, \pi \leftarrow \pi(i,d)$ 을 포함한 RREQ를 주변 노드에 브로드캐스트 한다.

**3.2 경로설정**

노드  $n_i$ 로부터 RREP을 받은 노드  $n_j$ 는 자신이 소스노드가 아니면  $E_M(s,d)$ 를 포함한 RREP를  $\pi(s,d)$ 의 역 경로로 재전송하고, 자신이 소스노드인 경우에는 전송된 경로  $\pi(s,d)$ 의 전력소비 값  $E(s,d)$ 와 경로테이블에 저장된 최소 전력소비 값  $E_M(s,d)$ 를 비교하여  $\pi(s,d)$ 의 전력소비 값이 더 적으면 경로 테이블을 갱신하고 경로설정을 완료한다. 자세한 경로 설정 알고리즘은 아래와 같다.

**경로설정**

1. 모든 노드  $n_j$ 는  $E_j = \infty$ 로 초기화 한다.
2. 만약 노드  $n_j$ 가 소스노드이면 소스노드는 RREP를 수집한후 모든 RREP 중  $E(d,s)$ 가 최소인 경로  $\pi(d,s)$ 를 선택한다.
3. RREP를 수신한 노드  $j$ 가 소스노드가 아닐 경우  $E_j > E(s,d)$  조건을 만족하면  $E_j = E(s,d)$ 로 설정하고 노드  $n_i$ 로 RREP를 전송한다. 조건을 만족하지 않으면 패킷을 무시한다.

그림 1에서  $\sigma$ 를 1.5로 하여 제안하는 방식으로 경로탐색과 경로설정 과정을 수행하면 설정되는 경로는  $\pi_2(s,d) = [s, 2, 4, d]$ 나  $\pi_4(s,d) = [s, 3, 4, d]$  경로가 선택된다. 이때 전력소비는  $8 + 27 + 8 = 43$ 이고 hop은 3이

다. 이는 전력인지 알고리즘과 최소 hop 알고리즘의 중간 값을 알 수 있다. 이러한  $\sigma$ 값의 설정에 따른 경로의 비교를 표 1에 나타내었다.

표 1에서 살펴보면 제안하는 알고리즘의 장점을 알 수 있다. MANET의 상태나 요구하는 의도에 따라 지연계수  $\sigma$ 의 적절한 값을 설정하여 경로 요청을 할 수 있다. 즉  $\sigma = 1$ 인 경우 설정되는 경로가 최소 hop 라우팅이 되며, 반대로  $\sigma > 2$ 인 경우 전력인지 라우팅이 되고,  $\sigma = 1.5$ 일 때는 위 두 가지를 적절히 절충하는 라우팅이 되므로 MANET에 적용적으로 활용할 수 있다.

표 1. 지연계수  $\sigma$ 값 설정에 따른 경로 비교

$\sigma$ 값	전력소비	hop 수	경유경로
$\sigma = 1$	54	2	1-3-5
$\sigma > 2$	32	4	1-2-3-4-5
$\sigma = 1.5$	43	3	1-2-4-5

**4. 성능평가**

본 논문에서는  $500m \times 500m$ 의 이차원 평면에 100개의 노드를 무작위로 배치하여 성능평가를 수행하였다. 각 노드의 통신반경은  $50m$ 로 설정하였는데 이는 하나의 노드 통신반경에 3.5개 정도의 노드가 존재하는 밀도로 2~3개의 통신 가능한 이웃노드가 있는 것을 의미한다. 프로토콜의 동작은 Linux 시스템에서 ns-2를 사용하여 검증하였으며 패킷전송 성공률을 측정하였다. 하지만 에너지 소비와 관련된 지표는 동일한 조건에서 C로 프로그램하여 각 노드의 전력 상태를 조사하였다.

노드  $n_i$ 에서 노드  $n_j$ 로 단위패킷을 전송하는데 소요되는 전력은  $k \cdot d(i,j)^n$ , ( $3 \leq n \leq 5$ )로 정해지는데 여기서는  $n=3$ 으로 하였다. 각 노드의 초기 전력을 100으로 두고  $10m$  인접한 각 노드간의 단위패킷의 전송에너지가 1이 되도록 상수  $k$ 를 조절하였다.

실험은  $300m$  이상 떨어진 노드가 소스와 목적노드가 되도록 선정하여 경로를 설정하고 단위패킷을 전송하여 에너지를 소모하는 것으로 하여 경로설정을 반복적으로 수행하여 성능평가를 수행하였다. 비교 대상의 프로토콜은 전송지연을 고려한 라우팅 프로토콜(AODV-D)[8]과 대역폭을 고려한 전력인지 라우팅 프로토콜(AODV-W)[9]이다.

그림 2는 각 프로토콜의 패킷전송 성공률을 보인 것이다. 경로설정 해지를 반복하면 전력소모를 다한 노드가 발생하며 패킷전송이 어렵게 된다. 실험 결과 제안된 알고리즘은 AODV-W에 비교하면 약간 성능이 떨어지지만 AODV-D에 비교하면 우월한 특성을 보인다. AODV-W는 전달지연을 고려하지 않기 때문에 최소전력 경로를 선정하게 되고 시스템의 수명은 가장 길다고 할 수 있다. 따라서 제안한 프로토콜은 전달지연을 고려하면서도 전력소비의 측면에서 매우 우수한 것을 알 수 있다. 이에 반하여 AODV-D는 전송지연 조건을 우선적으로 선택하여 전력소비가 큰 경로를 설정하고 시스템의 수명은 가장 짧은 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 이 결과를 더욱 명확히 한다. 시스템 전체에 잔존하는 전력량은 시스템의 수명과 관련된 지표로 AODV-D는 경로설정이 반복되면 타 프로토콜과 비교하여 전력이 급하게 소모 되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안된 프로토콜은 전송지연을 고려하였음에도 불구하고 전력소모를 줄여 시스템의 수

명을 연장하도록 동작한다.

그림 4는 각 프로토콜이 설정한 경로의 전달지연을 비교하였다. 여기서는 지연계수  $\delta$ 를 1.5로 하여 시뮬레이션을 수행하였으며 측정된 전달지연을 제안방식에 대한 상대적인 값으로 표시하였다. 제안 프로토콜은 AODV-D에 비교하면 예측한 바와 같이 15% 정도의 지연증가를 보인다. 하지만 전송지연을 고려하지 않은 AODV-W에 비교하면 전송지연이 1/3 수준으로 감소됨을 볼 수 있다.

그림 5에서는 설정된 경로의 소비전력을 계산하여 상대적인 값을 보인 것이다. 제안된 프로토콜은 AODV-D와 비교하여 약 70% 정도의 전력을 소모하는 경로를 설정하였다. 즉 제안된 프로토콜은 전송지연의 측면에서 AODV-D 보다는 약간 불리하지만 전력소모 면에서는 확연히 우월함을 확인할 수 있다.

제한된 프로토콜은 전달지연을 고려하였기 때문에 AODV-D와 같이 지수 복잡도를 가지도록 설계되었다. 따라서 RREQ, RREP 같은 제어패킷의 수가 시스템의 노드 수에 따라 크게 변화한다. 제어패킷의

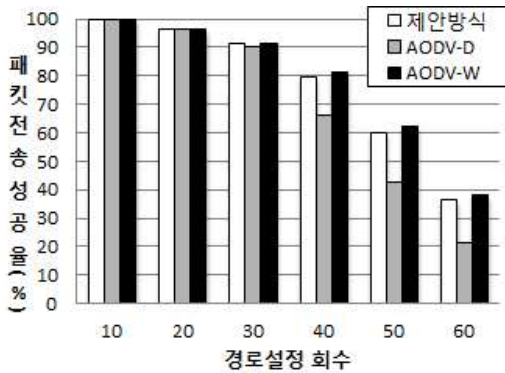


그림 2. 경로설정에 따른 패킷전송 성공률

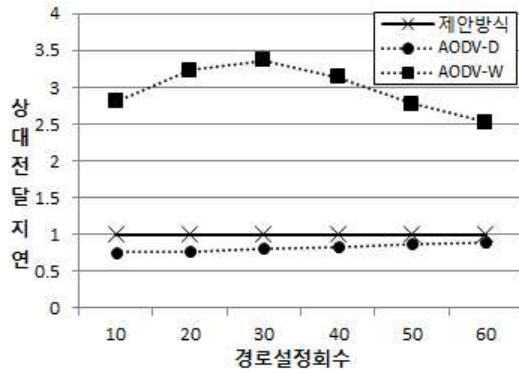


그림 6. 경로설정에 따른 상대 전달지연

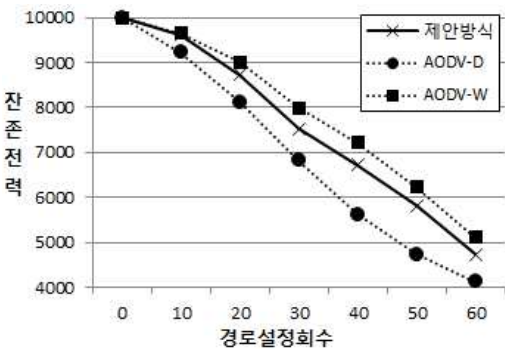


그림 3. 경로설정에 따른 시스템 잔존전력.

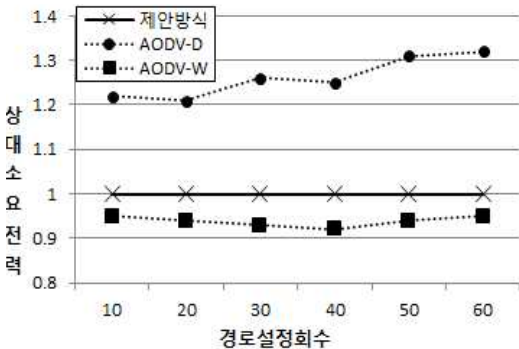


그림 5. 경로설정에 따른 상대소요전력

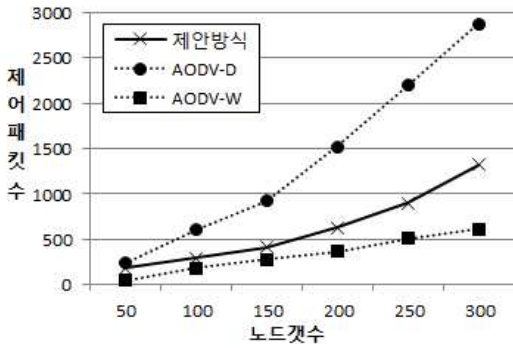


그림 6. 경로설정에 따른 제어패킷 수

수는 경로설정에서 필요하지만 과도한 제어패킷의 증가는 시스템 성능에 악영향을 미친다. 제어패킷의 수에 대한 평가결과가 그림 6이다.

제안된 프로토콜은 지연계수  $\sigma$ 를 1.5로 하였으며 그림 6과 같이 AODV-D에 비교하여 매우 우수함을 알 수 있다.

제안된 프로토콜은 지연계수의 설정에 따라 특성을 변형할 수 있으며 지연계수  $\sigma$ 가 클수록 AODV-W와 유사하게 동작한다. 따라서 지연계수를 증가시킨다면 제어패킷의 수는 AODV-W에 근접할 것이다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 MANET에서 적용 가능한 전력인지 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 전력문제와 전송지연을 동시에 고려하였으며 두 가지 독립적인 지표에 대하여 지연계수  $\sigma$ 를 통하여 적절한 조정이 가능하도록 구성하였다. 즉 지연계수  $\sigma = 1$ 인 경우 설정되는 경로가 최소 hop 라우팅이 되며, 반대로  $\delta > \sigma$ 인 경우 전력인지 라우팅이 되고,  $\sigma = 1.5$ 일 때는 위 두 가지를 적절히 절충하는 라우팅이 되므로 MANET에 적응적으로 활용할 수 있다.

실험결과 제안된 전송지연을 고려한 전력인지 라우팅 프로토콜은, 전송지연을 고려한 프로토콜에 비교하여 약간의 지연손실을 감수하면서 전력소모의 지표에서는 30% 정도의 성능향상을 보였다. 전송지연을 고려하지 않은 전력인지 프로토콜에 비하면 전력소모지표는 나쁘지만 전송지연지표는 월등히 우월함이 확인되었다. 이처럼 전송지연을 고려하지 않은 프로토콜에 근접하는 전력소모지표를 가지면서 전송지연이 매우 우수한 프로토콜인 것을 실험으로

확인하였다.

더 정교한 전송지연 모델과 허용오차  $\sigma$ 의 변화에 따른 성능평가는 추후 연구과제로 남아있다.

### 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, 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, 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, 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, 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*, pp. 292-298, 2005.
- [7] Nitin Muchhal and Dr Roopam Gupta, "Minimizing End to End Delay by Power Aware Routing in Wireless Mobile adhoc Network," *Indian Journal of Computer science and engineering*, Vol.1 No.1, pp. 21-23. 2010.
- [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.2, No.4, pp.

917- 923, 2010.

[9] 김윤도, 서경룡, “멀티미디어 ad hoc 네트워크에서 의 전력인지 QoS 라우팅,” 한국 멀티미디어학회 논문지, 제14권, 20호, pp. 258-264, 2010.

[10] Salim M Zakt, et al., “A Review of Delay Aware Routing Protocol in MANET,” *Computer Science Letter*, Vol.1, No.1, pp. 1-12, 2009.

[11] Qi Xue and Aura Ganz, “Ad Hoc QoS On-demand Routing(AQOR) in Mobile Ad Hoc Networks,” *J. of Parallel and Dist. Computing*, Vol.63, No.2. pp. 154-165. 2003.

[12] E. Crawley, R. Nair, B.Rajagopalan, and H. Sendick, “A Framework for QoS-based Routing in the Internet,” *IETF RFC 2386*, August 1998.

[13] Charles E. Perkins, *AD HOC NETWORKING*, Addison Wesley, Boston, Massachusetts USA, 2002.

[14] 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.



**김 윤 도**

2003년 2월 한국방송통신대학교 컴퓨터학과(학사)  
 2005년 8월 부산대학교 산업대학원 전산학과(석사)  
 2012년 2월부경대학교 컴퓨터공학과(박사)

관심분야 : 분산시스템, 컴퓨터 네트워크, 모바일 통신



**허 준 호**

2007년 8월 제주대학교 해양과학대학 해양생산과학부 (중식학, 해양학, 해양생물공학) 이학사  
 2007년 8월 제주대학교 공과대학 통신컴퓨터공학부 컴퓨터공학과 복수전공 공학사

2010년 3월~현재 부경대학교 교육대학원 전산교육학과 석사과정

관심분야: Ad-Hoc 네트워크, 분산시스템, 그린 IT



**서 경 룡**

1983년 2월 부산대학교 전기기계공학과 공학사  
 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1995년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

1991년 10월~현재 부경대학교 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야: 분산시스템, 컴퓨터 네트워크