

# 이동 애드혹 네트워크를 위한 생체모방 라우팅 프로토콜

최 현 호\*, 노 봉 수\*, 최 형 석\*, 이 정 룬°

## Bio-Inspired Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

Hyun-Ho Choi\*, Bongsoo Roh\*, HyungSeok Choi\*, Jung-Ryun Lee°

### 요 약

생체모방 라우팅 프로토콜은 동적 환경에서 집단 생명이 분산 자율적인 방식으로 최적 경로를 찾아가는 원리를 이용하여 네트워크 토폴로지 변화에 따라 오버헤드를 줄이며, 라우팅 성능을 극대화하고, 경로 단절시 빠른 복구가 가능하다. 본 논문에서는 이동 애드혹 네트워크를 위한 생체모방 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안 방식은 추가적인 오버헤드 없이 라우팅 정보를 얻기 위하여 무선 매체의 엿듣기(overhearing) 기능을 사용한다. 엿듣기를 통해 출발지와 목적지 사이의 최단 경로 주변에 페로몬을 확산시키고, 확산된 페로몬을 기반으로 확률적 경로 탐색을 수행하여 출발지와 목적지 간 유용한 대체 경로를 확보한다. 이와 같은 방식으로 제안 프로토콜은 제어 오버헤드를 줄이면서 최신의 라우팅 정보를 획득할 수 있다. 시뮬레이션 결과 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜은 기존 AODV 및 AntHocNet 프로토콜 보다 우수한 라우팅 성능을 보여주면서 AntHocNet 보다 오버헤드를 크게 감소시킨다.

**Key Words** : Routing protocol, Bio-inspired routing, Mobile ad hoc network, Overhearing, Pheromone diffusion

### ABSTRACT

Bio-inspired routing protocol uses a principle of swarm intelligence, which finds the optimal path to the destination in a distributed and autonomous way in dynamic environments, so that it can maximize routing performances, reduce control overhead, and recover a path failure quickly according to the change of network topology. In this paper, we propose a bio-inspired routing protocol for mobile ad hoc networks. The proposed scheme uses a function of overhearing via wireless media in order to obtain the routing information without additional overhead. Through overhearing, the pheromone is diffused around the shortest path between the source and destination. Based on this diffused pheromone, a probabilistic path exploration is executed and the useful alternative routes between the source and destination are collected. Therefore, the proposed routing protocol can ensure the up-to-date routing information while reducing the control overhead. The simulation results show that the proposed scheme outperforms the typical AODV and AntHocNet protocols in terms of routing performances and significantly decreases the routing overhead against the AntHocNet.

※ 본 연구는 국방과학연구소(ADD-IBR-245)의 지원을 받아 수행되었습니다.

• First Author : Hankyong National University, Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, hhchoi@hknu.ac.kr, 정희원

° Corresponding Author : Chung-Ang University, School of Electrical Engineering, jrlee@cau.ac.kr, 종신희원

\* Agency for Defense Development, {saintroh,chs}@add.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2015-09-285, Received September 1, 2015; Revised Octoberr 14, 2015; Accepted Octoberr 14, 2015

## I. 서 론

이동 애드혹 네트워크(mobile ad hoc network, MANET)는 동적인 토폴로지와 불안정한 무선 채널 환경을 갖는다. 경로 손실 및 페이딩(fading), 간섭, 제한된 무선 자원, 노드의 이동성 등으로 인하여 링크 실패(link failure)가 발생하며, 제한된 배터리 파워, 노드의 고장, 노드의 진출입 등으로 인하여 노드 실패(node failure)가 발생할 수 있다. 또한 다수의 멀티홉 세션 상황에서 다양한 서비스 품질(quality of service, QoS)을 요구하는 데이터 트래픽이 전송된다. 이와 같이 MANET 환경은 라우팅 관점에서 매우 동적인 토폴로지를 제공한다.

토폴로지가 동적으로 변화하는 환경에서 라우팅을 하기 위해 파악된 토폴로지 정보는 데이터를 전송하는 시점에서는 이미 과거의 정보가 된다. 따라서 MANET에서 단말은 항상 최단 경로를 선택하여 데이터를 전송하는 것은 불가능하며, 현재까지 파악된 토폴로지 정보를 가지고 최선의 경로를 선택하게 된다. 이러한 상황에서 사전에 얼마나 제어 패킷 오버헤드를 줄이면서 최선의 유용한 토폴로지 정보를 취득했느냐가 라우팅 성능을 결정하는 주요 요인이 된다. 근본적으로 오버헤드 량과 라우팅 성능 간에는 트레이드오프(tradeoff) 관계가 존재하므로 사용 환경에 따라 성능 목표를 만족시키면서 오버헤드를 최소화하는 라우팅 프로토콜을 설계해야 한다<sup>1)</sup>.

기존 MANET 라우팅 프로토콜 중 proactive 방식은 주기적으로 많은 제어 패킷을 발생시켜 라우팅 오버헤드가 큰 단점이 존재하며, reactive 방식은 비주기적으로 필요시에만 동작하여 경로 탐색 지연을 유발한다. 또한 단일 경로 라우팅 방식의 경우 토폴로지 변화에 취약한 반면, 다중 경로 라우팅 방식의 경우 전체 네트워크의 용량 감소 및 특정 단말의 자원 고갈 등으로 로드 밸런싱(load balancing) 문제를 야기할 수 있다. 아울러 기존 라우팅 알고리즘은 중간 노드의 독자적인 판단에 의해 라우팅 경로를 선택하여 실제 전송 서비스가 요구하는 종단간(end-to-end) QoS를 만족시키기 어렵다<sup>1)</sup>.

기존 MANET 라우팅 알고리즘 대비, 생체모방 라우팅 알고리즘은 다음과 같은 특징을 갖는다<sup>2)~5)</sup>. 첫째, 개미나 벌과 같은 곤충 집단은 분산 및 자율적인 방식으로 동적 환경에서도 최적 경로를 찾아나가므로 이를 모방한 라우팅 알고리즘은 이동 환경의 다양한 변화에 대해서 운용자의 개입 없이 자율적으로 최적의 네트워크 상태를 유지시키는데 알맞다. 둘째, 집단

생명체는 다수의 개체가 한정된 자원을 가지고도 유연한 적응 능력을 통해 최적 경로를 손쉽게 찾아내므로 생체모방 라우팅 알고리즘은 대규모 네트워크에서 자원의 제약이 존재할 때 오버헤드를 줄이며 라우팅 성능을 극대화할 수 있다. 셋째, 집단 생명체는 다양한 외부 상황 변화에 적응하여 스스로 문제를 해결해 나가므로 생체모방 라우팅 알고리즘은 이동시 발생하는 예측 불허한 링크 단절 및 노드 손실에 대하여 빠른 회복이 가능하다.

이와 같은 이유로 본 논문에서는 생체모방에 기반한 MANET 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜은 라우팅 정보를 취득하기 위하여 무선 매체의 엿듣기(overhearing) 기능을 사용한다. 엿듣기를 통해 출발지(source)와 목적지(destination) 사이의 최단 경로 주변에만 페로몬(pheromone)을 확산시키고, 이 확산된 페로몬을 기반으로 확률적 경로 탐색을 수행하여 출발지와 목적지 간 유용한 대체 경로를 확보한다. 이는 개미가 최단 경로를 따라 움직일 때 쌓이는 페로몬이 점점 주변으로 확산되어 경로가 끊어져도 확산된 페로몬을 따라 주변 경로를 자연스럽게 이용하는 원리와 유사하다. 이러한 개미의 이동 원리에 착안한 제안 라우팅 프로토콜은 오버헤드를 줄이면서 최선의 유용한 라우팅 정보를 획득할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 제안 방식과 비교 대상이 되는 기존 대표 MANET 라우팅 프로토콜과 생체모방 라우팅 프로토콜을 설명하고 이들의 문제점을 제시한다. III장에서는 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜을 상세히 설명한다. IV장에서는 종단간 전송 성능 및 오버헤드 측면에서 제안 라우팅 프로토콜의 성능을 보여준다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존 연구

대표적인 MANET 라우팅 프로토콜로는 Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)를 꼽을 수 있으며, 제안 방식과 관련된 대표적인 생체모방 MANET 라우팅 프로토콜로는 AntHocNet을 꼽을 수 있다. 본 장에서는 비교 대상이 되는 AODV와 AntHocNet 프로토콜에 대해서 자세히 설명한다.

### 2.1 AODV

AODV는 가장 많이 인용되고 연구된 MANET 라우팅 프로토콜이다<sup>6,7)</sup>. 기존 Destination-Sequenced

Distance Vector (DSDV)<sup>[8]</sup>의 on-demand 버전으로 DSDV 처럼 거리 벡터(distance vector) 테이블에 기반하여 홵대홵(hop by hop) 라우팅 방식을 사용한다. 거리 벡터 기반의 알고리즘이나 Bellman-Ford 알고리즘을 사용하지 않으며, reactive 방식으로 데이터의 전달 경로를 모르는 경우에 경로를 찾기 시작한다.

AODV는 전송 경로를 찾기 위해 Route Request (RREQ) 메시지를 네트워크에 플러딩(flooding)한다. 이때 RREQ를 수신한 각 노드는 자신의 라우팅 테이블에 출발지로 가는 포인터를 남겨 놓는다. RREQ가 목적지에 도착하면 목적지 노드는 Route Reply (RREP) 메시지를 출발지 노드에게 역으로 전송한다. RREP는 앞서 RREQ가 설정한 포인터 정보를 따라 출발지로 돌아가면서 목적지 방향으로의 포인터를 추가한다. 이와 같은 동작을 통해 RREP가 출발지에 다르면 출발지와 목적지간 새로운 양방향 경로가 설정된다. 이후부터 출발지에서 목적지로 가는 데이터 패킷은 경로상의 노드에 기설정된 포인터 정보를 따라 전달된다. 전송 경로 상에서 링크가 단절되면 해당 노드는 Route Error (RERR) 메시지를 발생시켜 출발지 노드에게 링크 단절을 알려주고 새로운 경로 탐색 절차를 시작하도록 한다. 또는 성능 향상을 위해 링크가 단절된 중간 노드부터 새로운 경로를 찾는 지역적인 복구(local repair) 방식도 사용할 수 있다.

## 2.2 AntHocNet

AntHocNet은 reactive와 proactive로 구분되는 애드혹 라우팅 프로토콜의 두 가지 속성을 모두 갖는다<sup>[9-11]</sup>. 처음에 목적지로의 라우팅 정보가 없을 때에는 reactive 방식으로 경로 설정 절차가 수행된다. 하지만 통신 중 기존 경로에 대한 정보를 유지하고 개선하는 경로 유지(route maintenance) 과정은 proactive 방식으로 수행된다.

AntHocNet은 기본적으로 거리 벡터 기반의 라우팅 방식을 따르지만, 이 거리 벡터 대신 이를 확률적인 값으로 가공한 페로몬을 사용한다. 페로몬 값을 거리 벡터 대신 사용하는 것은 ant 기반의 생체모방 라우팅 프로토콜의 주된 특징에 해당된다. AntHocNet에서는 regular 페로몬과 virtual 페로몬이라 불리는 두 종류의 페로몬을 사용하며 라우팅 테이블은 두 페로몬 값을 분리하여 관리한다. Regular 페로몬은 목적지 노드까지의 비용의 역수로 결정되어 해당 경로에 대한 선호도를 나타낸다. 반면 virtual 페로몬은 선호도에 대한 또 다른 추정 정보에 해당되며, proactive 경로 유지 과정동안 이웃 노드로부터 보고된 선호도

값에 기반하여 연산을 통하여 구해진다.

AntHocNet도 AODV와 마찬가지로 출발지에서 발생한 데이터 패킷의 최종 목적지에 대한 정보가 라우팅 테이블에 없으면 reactive 경로 설정 절차를 시작한다. 이를 위해 reactive forward ant를 네트워크에 플러딩 한다. 이를 수신한 중간 노드는 해당 목적지에 대한 라우팅 정보를 갖고 있으면 유니캐스트(unicast)로 전달하며, 다음 식을 사용하여 확률적으로 다음 노드  $n$ 을 결정한다.

$$P_{in}^d = \frac{(\tau_{in}^d)^{\beta_1}}{\sum_{j \in N_i^d} (\tau_{ij}^d)^{\beta_1}}, \quad \beta_1 \geq 1 \quad (1)$$

여기에서  $P_{in}^d$ 은 노드  $i$ 가 목적지  $d$ 로 가는 경로에 대하여 다음 노드  $n$ 을 선택할 확률이며,  $\tau_{in}^d$ 은 노드  $i$ 가 다음 노드  $n$ 을 통하여 목적지  $d$ 까지 갈 때의 regular 페로몬 값이며,  $N_i^d$ 는 노드  $i$ 에서 목적지  $d$ 로 갈 때 경로를 제공할 수 있는 이웃 노드의 집합을 의미하며,  $\beta_1$ 은 확률 값을 제어하는 가중치 상수이다. 보는바와 같이 regular 페로몬  $\tau_{in}^d$ 에 비례하여 다음 노드  $n$ 을 선택할 확률 값이 높아진다. 반면, 중간 노드에서 해당 목적지에 대한 라우팅 정보가 없으면 reactive forward ant를 계속 브로드캐스트 방식으로 플러딩 한다. 이때 플러딩 오버헤드를 줄이기 위해서 각 노드는 수신된 reactive forward ant 중 가장 먼저 수신한 것만 플러딩 한다. Reactive forward ant 패킷은 목적지까지 지나온 모든 노드를 헤더에 저장하면서 전달된다. Reactive forward ant가 목적지에 도착하면, 목적지 노드는 이에 대한 응답으로 reactive backward ant 패킷을 발생시킨다. 이 reactive backward ant는 reactive forward ant가 거쳐 온 경로 정보를 패킷 헤더에 복사하여, 이 경로 정보를 정확히 거꾸로 거슬러 출발지 노드로 전달된다. 위 과정 중 경로상의 각 링크 품질 정보를 수집하며, 각 중간 노드와 출발지 노드는 수집된 링크 품질 정보를 기반으로 목적지까지의 페로몬 값을 계산하고 라우팅 테이블을 갱신한다.

경로 설정 완료 후 AntHocNet은 proactive 경로 유지 절차를 시작한다. 이를 통해 라우팅 정보를 주기적으로 갱신 및 개선하게 된다. Proactive 경로 유지 절차는 페로몬 확산(pheromone diffusion)과 proactive ant 샘플링의 두 절차로 구성된다. 먼저, 페로몬 확산

을 위해 네트워크 상의 모든 노드는 세션 유무에 상관 없이 주기적으로 자신의 가장 좋은(best) 페로몬 정보(라우팅 테이블의 각 목적지에 대한 페로몬 값 중 가장 큰 값)를 방송한다. Best 페로몬 정보는 노드의 존재 유무를 알리는 hello 메시지에 포함되며, 모든 노드들은 이를 t\_hello의 시간 주기마다 비동기 방식으로 주변에 방송한다. Hello 메시지를 수신한 이웃 노드는 기존에 알고 있던 비용(cost) 정보와 수신한 best 페로몬 정보를 결합하여 다음 수식과 같이 페로몬 값을 갱신한다.

$$\kappa_{ji}^d = \left( (v_i^d)^{-1} + c_j^i \right)^{-1} \quad (2)$$

여기에서  $v_i^d$ 는 노드  $i$ 에서 목적지  $d$ 까지 가는 가장 좋은 경로에 대한 best 페로몬 정보이며,  $c_j^i$ 는 지역적으로 유지되는 비용 값으로 노드  $j$ 에서 노드  $i$ 로 패킷을 보낼 때 소요되는 비용이다. 이와 같이 이웃 노드  $i$ 로부터 수신한 best 페로몬 값  $v_i^d$ 의 역수와 비용 값  $c_j^i$ 을 더한 값이 노드  $j$ 에서 노드  $i$ 를 통해 목적지  $d$ 까지 가는데 필요한 전체 비용이 되며, 이의 역수가 노드  $j$ 가 노드  $i$ 를 통하여 목적지  $d$ 까지 갈 때의 새로운 페로몬  $\kappa_{ji}^d$ 이 된다. 각 노드는 이렇게 업데이트 된 페로몬 값을 각 주기에 맞춰 전파한다. 이와 같은 페로몬 확산에 의해 얻어진 페로몬은 virtual 페로몬이라고 불리며 별도로 관리된다. 상대적으로 ant 패킷들의 직접적인 경로 탐색에 의해 만들어진 페로몬을 regular 페로몬이라고 부른다. Virtual 페로몬은 proactive ant 샘플링을 지원하는데만 사용된다. 즉, virtual 페로몬은 proactive forward ant의 전달에만 사용되고, 뒤에 전송되는 proactive backward ant가 regular 페로몬을 만든다.

Proactive ant 샘플링은 주기적으로 proactive forward ant를 발생시켜 경로를 추출하고 이를 통해 regular 페로몬 정보를 갱신하는 과정이다. 이를 위해 통신 세션이 유지 되는 동안 모든 출발지 노드는 주기적으로 proactive forward ant를 발생시켜 목적지로 보낸다. Proactive forward ant의 전송 주기도 t\_hello로 설정된다. Proactive forward ant는 확률적인 방식으로 전파되는데, 다음 노드  $n$ 을 결정하는 확률 값은 regular와 virtual 페로몬을 둘 다 고려하여 다음 식으로 계산된다.

$$P_{in}^d = \frac{\left[ \max(\tau_{in}^d, \omega_{in}^d) \right]^{\beta_2}}{\sum_{j \in N_i^d} \left[ \max(\tau_{ij}^d, \omega_{ij}^d) \right]^{\beta_2}}, \quad \beta_2 \geq 1 \quad (3)$$

여기에서  $P_{in}^d$ ,  $\tau_{in}^d$ ,  $N_i^d$ 은 앞서 정의한 값과 동일하며,  $\omega_{in}^d$ 은 노드  $i$ 가 다음 노드  $n$ 을 통하여 목적지  $d$ 까지 갈 때의 virtual 페로몬 값이며,  $\beta_2$ 은 확률 값을 제어하는 가중치 상수이다. 보느바와 같이 regular 페로몬  $\tau_{in}^d$ 과 virtual 페로몬  $\omega_{in}^d$  중 더 큰 값을 사용하고, 이에 비례하여 확률 값이 계산된다. Proactive forward ant가 목적지에 도착하면 proactive backward ant로 변환되고 이 backward ant가 출발지로 거꾸로 거슬러가면서 regular 페로몬을 남긴다. 즉, 목적지를 찾아가는데 사용된 virtual 페로몬은 regular 페로몬으로 변환된다. 이와 같이 AntHocNet에서는 페로몬 확산을 통하여 새로운 경로를 추천하고, proactive ant의 송수신을 통하여 이를 확인하는 방식으로 경로를 유지 및 개선한다.

데이터 패킷의 전달은 홑대홑 방식으로 regular 페로몬만을 사용하여 확률적으로 다음 노드를 결정한다. 다음 노드  $n$ 으로 가는 확률 값은 다음 식과 같이 계산된다.

$$P_{nd} = \frac{\left( \tau_{in}^d \right)^{\beta_3}}{\sum_{j \in N_i^d} \left( \tau_{ij}^d \right)^{\beta_3}}, \quad \beta_3 \geq 1 \quad (4)$$

여기에서  $\beta_3$ 은 이 확률 값을 제어하는 가중치 상수이다.

### 2.3 기존 라우팅 프로토콜의 문제점

AODV는 on-demand 방식으로 동작하여 네트워크 플러딩을 통하여 경로를 찾는다. 플러딩 방식은 네트워크 전체에 제어 패킷을 전파하므로 오버헤드가 매우 크다. 특히 단일 경로 라우팅 방식을 취하는 AODV의 경우 링크 단절시마다 경로 재탐색을 위하여 플러딩을 수행해야 하므로 이동성이 높은 환경일 수록 플러딩 오버헤드가 더 심각한 문제로 작용한다. 또한 AODV는 경로 설정 후 경로를 유지 관리하는 별도의 동작이 마련되어 있지 않아 이에 대한 오버헤드는 존재하지 않지만, 이동성에 따른 토폴로지 변경 시 항상 최적의 경로를 사용하지 못하는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 AODV 기반의

다중 경로 라우팅 방식이 몇몇 제안되었지만 동작 복잡도가 높으며, 아직 프로토콜로써 표준화 논의가 없는 상태이다<sup>12-14)</sup>.

AntHocNet은 페로몬 확산과 proactive ant 샘플링 동작시 많은 제어 패킷 전송 오버헤드가 발생한다. 이는 네트워크의 모든 노드가 주기적으로 best 페로몬 정보를 포함한 hello 메시지를 전송해야 하고, 주기적으로 양방향 proactive ant를 전송해야 하기 때문이다. 이와 같이 각 노드에서의 주기적인 제어 패킷의 전송은 큰 오버헤드로 작용하여 데이터 패킷 전송 효율을 떨어뜨린다. 또한 AntHocNet의 페로몬 확산 과정은 DSDV 라우팅 방식을 그대로 따르는데, DSDV는 기본적으로 이동성이 높은 환경에서 토폴로지 변화를 추적하는 속도가 떨어진다<sup>18)</sup>. 따라서 AntHocNet의 페로몬 확산 과정도 이동성이 높은 환경에서는 수렴 속도가 떨어져 목적지에 대한 정확한 라우팅 정보를 제공하지 못한다. 아울러 AntHocNet의 proactive 경로 유지 동작은 regular 페로몬과 virtual 페로몬 중 큰 값을 사용하여 다음 노드를 결정하므로 virtual 페로몬 값에 큰 변화가 없다면 regular 페로몬 값에 주로 의존하여 동일한 경로를 반복적으로 탐색하게 되는 경로 침체(stagnation) 문제가 발생한다. 경로 침체 문제는 proactive ant 패킷의 불필요한 발생을 의미하여 오버헤드를 증가시키고, 토폴로지 변경에 따라 최적의 경로를 선택하지 못하게 만든다<sup>11)</sup>.

### III. 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜

본 장에서는 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜의 전체적인 동작을 예를 들어 보여주고, 7가지 주요 기능 별 상세 동작을 설명한다. 아울러 AntHocNet과의 기능별 차이점을 비교 설명한다.

#### 3.1 동작 개요

제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜은 무선 미디어가 갖는 브로드캐스트 속성을 이용하여 각 노드가 주변에 전송되는 제어 신호를 엿듣게 만든다. 라우팅을 위해 전송되는 제어 패킷들을 주변 노드에서 엿듣고, 이 주변 노드들이 엿들은 제어 정보를 활용한다면 별도의 제어 패킷 전송 오버헤드 없이 추가적인 라우팅 정보를 얻을 수 있다. 엿듣는 패킷은 어떠한 출발지-목적지 간에 송수신 되는 라우팅 관련 제어 패킷에 해당되는데, 이 출발지-목적지 간 전송되는 양방향 제어 패킷을 모두 엿들을 수 있는 노드는 해당 경로의 1-홉 이웃 노드(one-hop neighbor node)가 된다. 즉, 네트

워크의 각 노드는 엿듣기를 통하여 자신이 어떠한 출발지-목적지 경로에 대한 1-홉 이웃 노드인지를 스스로 알 수 있다. 참고로 이러한 주변 노드의 엿듣기 동작은 개미가 출발지-목적지 경로를 왔다 갔다 하면서 뿌려놓은 페로몬이 주변으로 확산 되는 것과 유사하다.

그림 1은 제안 라우팅 프로토콜의 전체적인 동작을 7개의 스냅 샷으로 나누어 보여준다. 각 스냅 샷에서는 다음과 같은 동작을 수행한다.

(a) 경로 설정: 초기에 경로 설정 과정을 통하여 출발지-목적지 간의 가장 짧은 경로가 찾아진다. 제안 라우팅 프로토콜에서는 신속한 경로 설정을 위하여 기존의 AODV와 동일한 플러딩 과정을 채용한다. 이후 설정된 경로를 따라 데이터 /ACK(acknowledgement) 패킷 및 주기적인 forward/backward exploitation ant 패킷이 왔다 갔다 한다. Forward 및 backward exploitation ant는 제안 방안에서 새롭게 정의하는 제어 패킷으로 출발지-목적지 상의 가장 짧은 경로를 확보하기 위해 주기적으로 전송된다. 이 ant 패킷의 상세한 기능 및 동작은 다음 절에서 설명한다.

(b) 엿듣기: 출발지와 목적지의 최단 경로를 왔다 갔다 하는 forward 및 backward exploitation ant를 주변 노드들이 엿듣는다. 이 경로 주변에서 일정 시간 내에 forward와 backward exploitation ant를 모두 엿들은 노드만이 이 출발지-목적지 경로에 대한 1-홉 이웃 노드가 된다.

(c) 페로몬 확산: 1-홉 이웃 노드는 엿들은 ant 패킷을 이용하여 자신의 라우팅 테이블의 페로몬 정보 등을 업데이트 한다. 여기에서 페로몬이라 함은 엿들은 ant 패킷을 송신한 노드를 통하여 출발지 또는 목적지까지 가는데 필요한 비용의 역수에 해당한다. 또한 추가적인 페로몬 확산을 위하여 1-홉 이웃 노드는 해당 목적지로 향하는 가장 좋은 페로몬 정보를 hello 메시지에 포함하여 주기적으로 방송한다. 본 논문에서는 이렇게 확장된 hello 메시지를 hello+ 메시지라고 정의한다. 이 hello+ 메시지를 수신한 주변 노드들은 해당 목적지에 대한 페로몬을 업데이트한다. 이와 같이 엿듣기와 hello+ 메시지의 수신에 의해 얻게 된 페로몬 정보는 비활성(inactive) 페로몬으로 설정된다.

(d-f) 경로 유지: 출발지 노드는 주기적으로 forward exploitation ant와 forward exploration ant 패킷을 발생시킨다. Forward exploitation ant는 가장 좋은 활성(active) 페로몬(즉, 라우팅 비용이 가장 작은 다음 노드)을 따라 목적지까지 이동하여 현재 이용 가능한 라우팅 정보 하에서 출발지와 목적지 간에 최

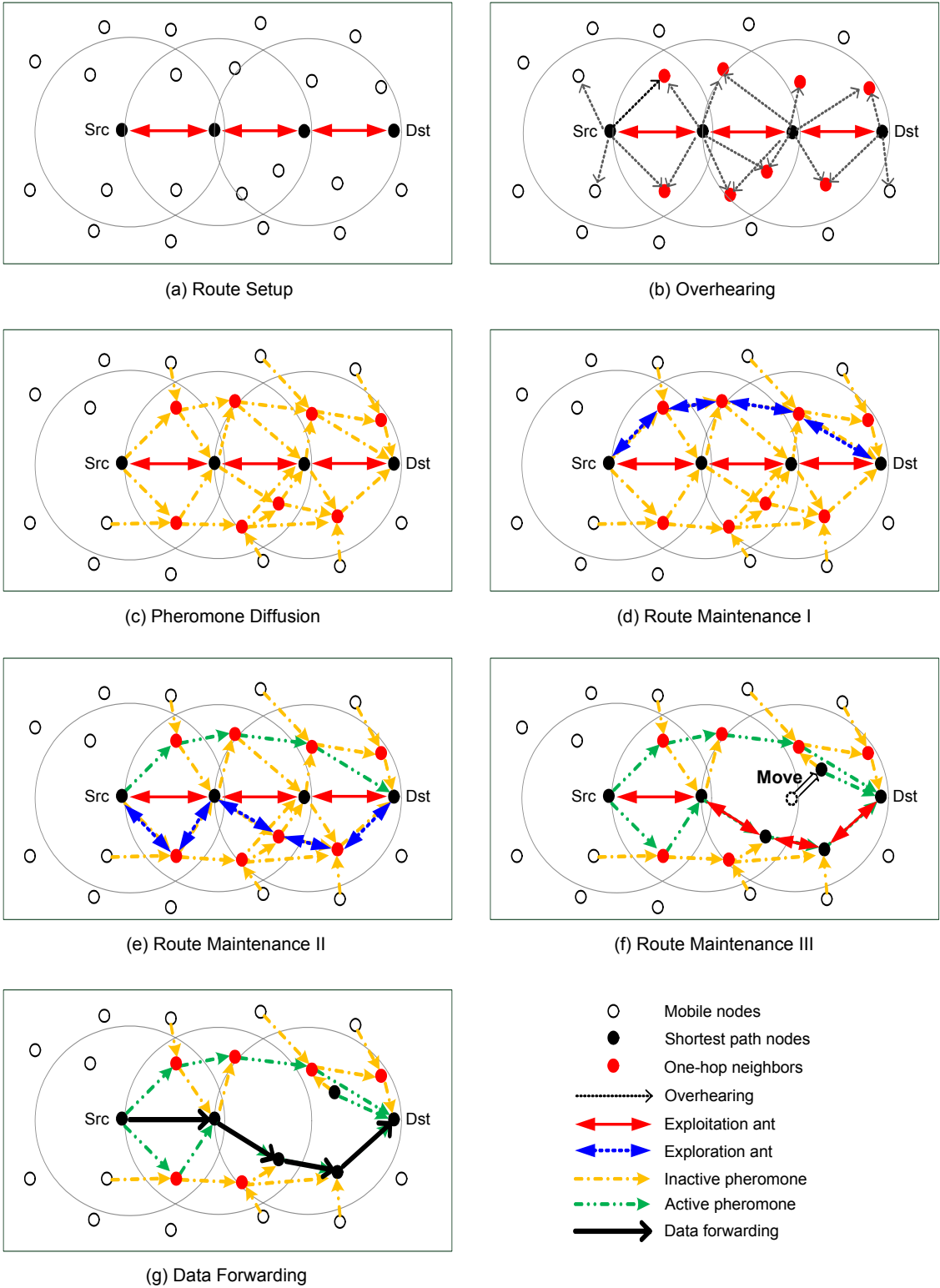


그림 1. 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜의 동작 예  
 Fig. 1. Operation example of the proposed bio-inspired routing protocol

단 경로를 유지시켜준다. 반면 forward exploration ant는 출발지와 목적지 경로 주변에 설정된 비활성 페로몬을 기반으로 확률적으로 목적지까지 이동하여 출발지-목적지간 이용 가능한 대체 경로를 제공한다. 여기에서 exploration ant가 거쳐 간 경로는 기존 비활성 페로몬에서 활성 페로몬으로 상태가 변경되어 데이터 및 exploitation ant의 전송에 사용될 수 있다. 그림 1의 (d)와 (e)에서는 주기적으로 전송되는 exploration ant에 의해 출발지-목적지 사이의 최단 경로 주변에 대체 경로들이 설정되고 있음을 보여준다. 그림 1의 (f)와 같이 노드의 이동성에 의해 토폴로지가 변경되면 exploitation ant는 또 다른 최단 경로를 찾아준다. 이와 같이 토폴로지가 변하는 환경에서 exploitation ant는 출발지-목적지 사이에서 가장 좋은 경로를 확보하고, exploration ant는 출발지-목적지 주변에서 대체 가능한 경로를 제공한다.

(g) 데이터 전달: 데이터 및 ACK 패킷은 위의 과정을 통해 확보된 활성 페로몬을 기반으로 확률적으로 다음 홉 노드를 선택하여 목적지까지 전달된다. 확률적 라우팅을 하는 이유는 네트워크 상에 야기되는 데이터 트래픽의 로드 밸런싱을 위함이다.

### 3.2 기능 별 상세 동작

본 절에서는 제안 라우팅 프로토콜을 라우팅 테이블 관리, 경로 설정, 엿듣기, 페로몬 확산, 경로 유지, 데이터 전달, 경로 복구의 7가지 기능으로 나누고, 각 기능별 동작을 자세히 설명한다.

#### 3.2.1 라우팅 테이블 관리

제안 방식의 라우팅 테이블은 한 목적지에 대하여 다중 경로 정보를 관리한다. 또한 기존 라우팅 테이블에서 관리하는 정보 외에 업데이트 시간, 페로몬, 페로몬 상태 (활성/비활성) 정보를 추가적으로 관리한다. 그림 2는 제안방안에서 한 노드에서 목적지 노드 100번에 대하여 관리하는 라우팅 테이블 정보의 예를 보

Dst	Next	Cost	Ant ID	Update Time	Pheromone	Status
100	11	5	10	09:30:00	0.27	ACTIVE
	12	6	10	09:30:05	0.28	ACTIVE
	15	8	11	09:30:10	0.31	ACTIVE
	18	6	6	09:27:00	0.021	INACTIVE
	20	7	8	09:28:00	0.015	INACTIVE
	22	10	5	09:25:45	0.005	INACTIVE

그림 2. 제안 방식의 라우팅 테이블 정보의 예시  
Fig. 2. Example of routing table information in the proposed bio-inspired routing protocol

여준다. 기입되는 각 항목은 다음과 같다.

**Next:** 전달 가능한 다음 홉 노드의 번호이다. 제안 방식은 기본적으로 다중 경로 라우팅 방식을 따르므로 한 목적지에 대하여 여러 개의 next 값을 가질 수 있다.

**Cost:** 목적지까지 패킷을 전달하는데 소요되는 비용 값을 나타낸다. Cost 정보로는 홉 수, 지연 값, expected transmission time (ETT), expected transmission count (ETX), received signal strength (RSS), signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR), bit error rate (BER), 전송률 등의 다양한 값을 사용할 수 있다.

**Ant ID:** 수신한 ant 패킷의 identity (ID) 값을 기록한다. 수신한 ant 패킷의 ID가 테이블에 저장되어 있던 ant ID 보다 큰 경우에만 관련 정보들을 업데이트한다.

**Update Time:** 해당 라우팅 정보가 업데이트된 시간을 저장한다.

**Pheromone:** 다음 홉 노드로의 선호도를 나타낸다. 따라서 페로몬 값은 cost에 반비례한다. 또한 경과 시간이 작을수록 이동성에 의한 변동이 작다고 판단하여 경과시간에 반비례한다. 여기에서 경과 시간은 ‘현재시간 - update time’으로 정의된다. 노드  $j$ 에서 노드  $i$ 를 거쳐 목적지  $d$ 로 가는 경로에 대한 페로몬은  $\tau_{ij}^d = (1/c_{ij}^d)^\alpha (1/t_{ij}^d)^\beta$ 로 정의되며, 여기에서  $c$ 는 cost,  $t$ 는 경과시간,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 가중치 상수를 나타낸다.

**Status:** 제어 패킷(RREQ, RREP, RERR, ant)에 의해 얻은 정보는 ACTIVE로 설정되며, 엿듣기 및 hello+ 메시지에 의해 얻은 정보는 INACTIVE로 설정된다. ACTIVE 상태는 ROUTE\_TIMEOUT 시간 뒤에 INACTIVE 상태로 변경되며, INACTIVE 상태의 라우팅 정보는 ROUTE\_DELETE 시간 뒤에 삭제된다. ACTIVE 라우팅 정보는 데이터 및 exploitation ant의 전달에만 사용되며, INACTIVE 라우팅 정보는 exploration ant의 전달에만 사용된다.

참고로 그림 2의 라우팅 테이블의 예에서 exploitation ant가 이 노드에 도착한 경우 선택되는 다음 노드는 활성 상태의 라우팅 정보 중에서 cost 값이 가장 작은 11번 노드가 된다. 또한 forward exploration ant가 이 노드에 도착한 경우 선택될 확률이 높은 다음 노드는 비활성 상태의 정보 중에서 페로몬 값이 가장 큰 18번 노드가 된다. 이와 관련된 상세 동작은 뒤의 경로유지 부분에서 설명한다.

### 3.2.2 경로 설정

경로 설정 절차는 한 노드에서 데이터 패킷이 발생 하였는데 목적지에 대한 라우팅 정보가 없는 경우 시작된다. 기본적으로 제안하는 라우팅 프로토콜은 빠른 경로 설정을 위하여 AODV와 동일한 플러딩 방식을 따른다. 따라서 출발지 노드는 RREQ를 네트워크 상에 플러딩하며, 이를 수신한 목적지 노드는 RREP로 응답한다. 출발지 노드가 RREP를 수신함으로써 출발지에서 목적지로의 전송 경로가 설정된다. Reactive 방식으로 동작하며 플러딩 후에도 목적지까지의 경로를 찾지 못하면 Route Request (RREQ) timeout이 발생하여 다시 시도된다.

### 3.2.3 엿듣기

네트워크의 모든 노드는 자신을 목적지로 하지 않는 forward 및 backward exploitation ant 패킷을 엿듣는다. 이를 위하여 각 노드는 2계층의 목적지 주소가 내 것이 아니라라도 상위계층으로 올려 분석한다. 엿듣기를 통하여 자신이 어떠한 출발지-목적지 경로에 대하여 1-홉 이웃 노드인지 아닌지를 결정할 수 있는데, 같은 출발지-목적지 쌍에 대해 forward와 backward exploitation ant 패킷을 일정 시간 내에 둘 다 수신하는 경우 1-홉 이웃 노드로 선정된다. 1-홉 이웃 노드들은 엿듣은 패킷을 분석하여 목적지로가는 비용 정보를 계산하여 라우팅 테이블에 저장한다. 새로 업데이트 되는 cost 값은  $c_{ij}^d = c_j^d + c_i^j$ 의 식을 따른다. 즉, 노드  $i$ 에서  $j$ 를 통하여 목적지  $d$ 로 가는 전체 cost 값( $c_{ij}^d$ )은 노드  $j$ 에서 목적지  $d$ 로 갈 때 필요한 cost 정보( $c_j^d$ )에 노드  $i$ 에서 노드  $j$  사이의 cost( $c_i^j$ )의 합으로 결정된다.

### 3.2.4 페로몬 확산

첫 번째 페로몬의 확산은 엿듣기를 통해 이루어진다. 또한 페로몬의 추가 확산을 위하여 1-홉 이웃 노드는 hello 메시지에 자신이 관리하고 있는 목적지로 가는 가장 좋은 페로몬 정보를 추가한 hello+ 메시지를 주기적으로 방송한다. Hello+ 메시지를 수신한 주변 노드들은 이 정보를 이용하여 목적지로 가는 cost 정보를  $c_{ij}^d = c_j^d + c_i^j$ 로 업데이트한다. 이와 같이 엿듣기와 hello+ 메시지의 방송으로 확산된 페로몬은 ant 패킷이 출발지-목적지 간의 경로 상에서 직접 얻은 정보가 아니기 때문에 비활성 페로몬으로 취급된다.

### 3.2.5 경로 유지

제안 라우팅 프로토콜에서 최단 경로의 유지는 exploitation ant에 의해 수행되며, 대체 경로의 탐색은 exploration ant에 의해 수행된다. 출발지 노드는 경로 설정 후 주기적으로 forward exploitation ant를 발생시킨다. Forward exploitation ant는 활성 상태의 라우팅 정보 중 라우팅 비용이 가장 작은 다음 홉 노드를 선택하면서 목적지까지 유니캐스트로 전달된다. 목적지는 forward exploitation ant를 수신하면 이에 대한 응답으로 backward exploitation ant를 발생시킨다. Backward exploitation ant도 마찬가지로 출발지 노드를 향해 라우팅 비용이 가장 작은 다음 홉 노드를 선택하면서 출발지까지 유니캐스트로 전달된다. 이때 forward 및 backward exploitation ant가 지나간 경로 상의 노드들은 각각 출발지 및 목적지에 관한 라우팅 테이블 정보를 갱신한다.

또한 출발지 노드는 경로 설정 후 대체 경로를 확보하기 위하여 주기적으로 forward exploration ant를 전송한다. Forward exploration ant는 비활성 상태를 갖는 라우팅 정보 중에서 페로몬 값에 기반하여 확률적으로 다음 홉을 선택하고 유니캐스트로 전송된다. 이때 사용되는 확률 값은 다음과 같이 결정된다.

$$P_{in}^d = \frac{\tau_{in}^d}{\sum_{j \in N_i^d} \tau_{ij}^d} = \frac{(1/c_{in}^d)^\alpha (1/t_{in}^d)^\beta}{\sum_{j \in N_i^d} (1/c_{ij}^d)^\alpha (1/t_{ij}^d)^\beta}, \quad (5)$$

$$\alpha \geq 1, \beta \geq 1$$

여기에서  $P_{in}^d$ 은 노드  $i$ 가 목적지  $d$ 로 가는 경로에 대하여 다음 노드  $n$ 을 선택할 확률이며,  $\tau_{in}^d$ 은 노드  $i$ 가 다음 노드  $n$ 을 통하여 목적지  $d$ 까지 갈 때의 페로몬 값이며,  $N_i^d$ 는 노드  $i$ 에서 목적지  $d$ 로 갈 때 경로를 제공할 수 있는 이웃 노드의 집합을 의미한다. 위에서 정의한 대로 페로몬  $\tau_{in}^d$ 은 cost 값( $c_{in}^d$ )과 경과 시간( $t_{in}^d$ )에 반비례하며, 가중치 상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 에 의해 제어된다. Forward exploration ant는 목적지에 도달할 때까지 거쳐 온 노드 정보를 헤더에 저장하면서 목적지까지 전달된다. 목적지에서는 forward exploration ant를 수신하면 이에 대한 응답으로 backward exploration ant를 발생시킨다. Backward exploration ant는 forward exploration ant가 왔던 경로의 역으로 출발지 노드에게 전달된다. 이와 같은 과정에서 forward 및 backward exploration ant가 지나



은 경로 상에 있는 노드들은 관련 라우팅 테이블 정보를 갱신하고 활성화 시킨다.

### 3.2.6 데이터 전달

데이터 패킷은 네트워크의 로드 밸런싱을 위하여 다중 경로를 통하여 확률적으로 전달된다. 데이터 패킷 전달시 다음과 같은 확률 값에 기반하여 다음 노드를 결정한다.

$$P_{nd} = \frac{(\tau_{in}^d)^\gamma}{\sum_{j \in N_i^d} (\tau_{ij}^d)^\gamma}, \gamma \geq 1 \quad (6)$$

여기에서  $N_i^d$ 는 활성 상태의 라우팅 정보를 갖는 이웃 노드를 나타낸다.  $\gamma$ 는 가중치 상수로 낮은 라우팅 비용을 갖는 다음 노드를 선택하기 위해서 보통 높은 값으로 설정된다<sup>[11]</sup>. 데이터를 여러 없이 수신한 노드에서는 라우팅 테이블의 update time 정보를 갱신한다.

### 3.2.7 경로 복구

노드는 하위 데이터 링크 계층에서 데이터 또는 제어 패킷의 전송이 실패하였음을 보고받거나 hello 메시지의 주기적인 수신 실패 시 링크가 단절되었다고 판단한다. 한 노드에서 데이터 패킷 전송시 링크 단절로 인하여 목적지로 전송할 다음 홉 정보가 하나도 없게 된다면 해당 라우팅 테이블 정보를 삭제하고 RERR 패킷을 만들어 이웃 노드에게 방송한다. RERR을 수신한 노드는 RERR을 송신한 노드로의 링크에 대해 라우팅 테이블을 갱신한다. 이 노드의 갱신된 라우팅 테이블 정보에 목적지로 가는 다음 홉 정보가 하나도 없으면서 해당 목적지로 전송해야 할 데이터가 있는 경우에는 다시 RERR을 만들어 전파한다. 이러한 방식으로 링크 단절을 계속 관련 노드에게 알리고, 해당 노드들은 라우팅 테이블을 갱신하게 된다. 결국 출발지 노드까지 RERR을 받고 전송할 다음 홉이 존재하지 않게 된다면 경로 설정 절차를 새로 시작한다. 제안 라우팅 프로토콜은 다중 경로 라우팅 방식으로 주기적으로 대체 경로 샘플링을 수행하기 때문에 지역적인 복구 방식은 고려하지 않는다.

### 3.3 AntHocNet과의 비교

표 1은 앞서 설명한 라우팅 프로토콜의 7가지 기능에 따라 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜과 기존 AntHocNet과의 정성적인 비교를 보여준다. 라우팅 테이블 관리 측면에서 제안 방안은 status와 update

표 1. AntHocNet과 제안 라우팅 프로토콜의 비교  
Table 1. Comparison between AntHocNet and the proposed routing protocol

	AntHocNet	Proposed routing
Routing table management	Manages regular and virtual pheromones	Adds status and update time, Consider evaporation of pheromone
Route setup	Reactive routing, Flooding-based	Reactive routing, Flooding-based
Overhearing	Not used	Used, Decides one-hop neighbor nodes
Pheromone diffusion	All nodes transmit hello+ message	Only one-hop neighbor nodes transmits hello+ message, Overhead is reduced
Route maintenance	Transmits proactive ant	Transmits exploitation ant and exploration ant, Mitigates the route stagnation problem
Data forwarding	Decides the next node probabilistically	Decides the next node probabilistically
Route recovery	Uses repair ant	Uses RERR

time을 추가하며, 페로몬 결정시 페로몬이 시간에 따라 줄어드는 증발(evaporation)을 고려한다. 또한 엮듣기 기능은 제안 방안에서만 사용되는 고유한 기능으로 이를 통해 오버헤드 없이 1-홉 이웃 노드를 결정할 수 있다. 페로몬 확산의 경우 AntHocNet에서는 모든 노드가 hello+ 메시지를 전송하여 오버헤드가 큰 반면, 제안 방안은 1-홉 이웃 노드만 hello+ 메시지를 전송하게 만들어 오버헤드를 줄이면서 유용한 대체 경로를 빠르게 확보할 수 있다. 경로 유지 측면에서 제안 방안은 두 종류의 exploitation ant 및 exploration ant를 주기적으로 전송함으로써 최단 경로 관리와 대체 경로 탐색을 효과적으로 수행한다. 이와 같은 두 종류의 ant를 활용하는 방식은 AntHocNet에서 최단 경로 위주로 대체 경로가 샘플링 되는 침체 문제를 경감시킨다. 경로 설정, 데이터 전달, 경로 복구 측면에서는 AntHocNet과 제안 프로토콜은 유사한 방식을 사용한다.

## IV. 결과 및 고찰

### 4.1 시뮬레이션 환경

성능 평가를 위하여 OPNET 시뮬레이터를 사용하였다. 라우팅 효과를 확인하기 위해 초기에 출발지-목적지 간 최단 경로 홉 수가 3홉 이상이 되는 경우만

결과에 반영하였다<sup>15)</sup>. 또한 초기 경로 설정을 위한 플래딩 시에 AODV 표준의 확장된 링 탐색(expanding ring search) 기법을 사용하지 않고 RREQ가 네트워크 전체에 플래딩 되도록 TTL 값을 충분히 크게 하였다. 아울러 RREP는 중간 노드에서는 발생하지 않고 목적지에서만 발생한다고 가정하였다<sup>16)</sup>. 그림 3은 OPNET의 초기 설정 화면을 보여주며, 표 2는 사용한 시뮬레이션 파라미터를 보여준다.

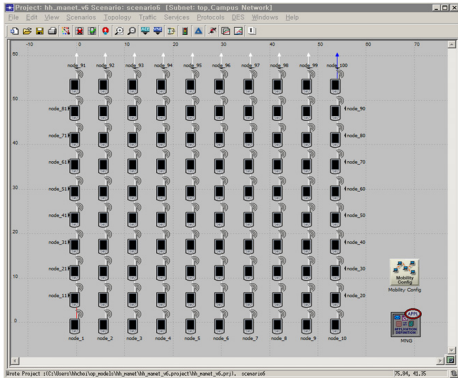


그림 3. OPNET 시뮬레이션 설정  
Fig. 3. Simulation setup in OPNET

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation parameters

Name	Value
# of simulated topologies	40
Simulation time	900 s
# of nodes (N)	100
# of sessions	1
Width = Height	1000 m
Communication range ( $2 * \text{width} / \sqrt{N}$ )	200 m
Mobility model	Random Waypoint
Speed interval	[0, 10~40] m/s
Pause interval	[0, 30] second
Direction interval	[-180, 180] <sup>o</sup>
ROUTE_TIMEOUT timer	3 s
ROUTE_DELETE timer	3 s
Period of data packet generation	0.25 s
Period of hello message generation	1 s
Period of proactive forward ant gen.	1 s
Period of forward exploitation ant gen.	1 s
Period of forward exploration ant gen.	1 s
TTL of forwarding exploration ant	20

그림 4는 이동성(Random Waypoint (RWP) 모델의 최대 속도)의 증가에 따라 전송 중에 손실되지 않고 목적지까지 전달되는 데이터 패킷의 비율을 나타낸다. 데이터 전송시 경로의 단절에 의해서 패킷이 손실될 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 UDP를 가정하여 손실된 패킷에 대하여 종단간 재전송을 허용하지 않는다<sup>11)</sup>. 전체적으로 단말의 이동성이 커질수록 경로 단절이 증가하므로 성공적으로 전달되는 데이터의 비율이 낮아진다. AODV는 단일 경로 라우팅 방식이기 때문에 다른 두 방식에 비해 상당히 낮은 패킷 전달률을 갖는다. AntHocNet과 제안 방식은 다중 경로 라우팅 방식으로 높은 전달률을 보이며, 이동성이 커질수록 제안 방식이 AntHocNet 보다 더 좋은 성능을 갖는다. 이는 제안 라우팅 프로토콜이 출발지-목적지 사이의 경로 단절에 대비하여 더 효과적인 대체 경로를 찾기 때문이다.

그림 5는 RWP 모델의 최대 속도에 따라 전달된 데이터 패킷의 종단간 평균 지연 성능을 보여준다. AODV의 경우 이동성이 커질수록 링크가 자주 끊어

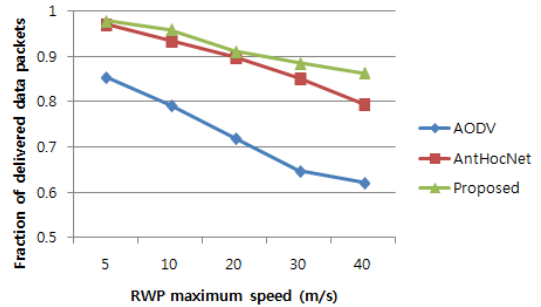


그림 4. RWP 최대 속도에 따른 전달되는 데이터 패킷의 비율  
Fig. 4. Fraction of delivered data packets vs. RWP maximum speed

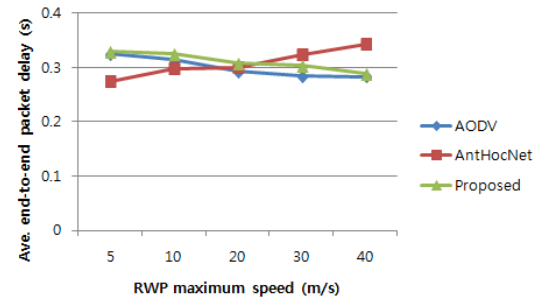


그림 5. RWP 최대 속도에 따른 종단간 평균 패킷 지연  
Fig. 5. Average end-to-end packet delay vs. RWP maximum speed

저 최단 경로를 다시 찾는 경우가 많이 발생하여 중단 간 지연은 오히려 감소하게 된다. AntHocNet의 경우 이동성이 커질수록 짧은 경로를 제대로 찾아 사용하지 못해 지연이 증가한다. 제안 라우팅 프로토콜은 이동성이 커짐에 따라 현재 사용 중인 경로의 비용이 증가하게 되면 비용이 더 적은 대체 경로를 사용하게 되어 점점 지연이 감소하는 경향을 보인다.

그림 6과 7은 RWP 모델의 최대 속도에 따라 제어 패킷 오버헤드 량을 보여준다. 그림 6의 소요되는 제어 패킷 수는 데이터 패킷 하나를 전달하는데 소비되는 제어 패킷의 개수를 나타내며, 그림 7의 소요되는 제어 패킷의 바이트 크기는 데이터 패킷의 1 바이트를 전달하는데 필요한 제어 패킷의 바이트 크기를 나타낸다. AntHocNet의 경우 모든 노드가 hello 메시지를 주기적으로 전송하기 때문에 오버헤드가 매우 크다. AODV는 주기적으로 발생하는 제어 패킷이 전혀 없기 때문에 오버헤드가 매우 낮다. 이동성이 증가할수록 경로 단절이 빈번하여 AODV와 AntHocNet의 경우 오버헤드가 증가한다. 제안 방안의 오버헤드 성

능은 AODV와 AntHocNet 사이에 위치하며 이동성이 증가하여도 경로 단절이 적어 오버헤드가 일정한 수준으로 유지된다.

### V. 결론

제안한 생체모방 라우팅 프로토콜은 엷듣기 기능을 통해 출발지-목적지 간 최단 경로 주변에 1-홉 이웃 노드를 자율적으로 결정하고, 이들 이웃 노드 영역 내에서만 페로몬을 확산시켜 기존 방식 대비 제어 패킷 전송 오버헤드를 현저히 줄인다. 또한 확산된 페로몬을 기반으로 확률적 경로 탐색을 수행하여 출발지-목적지 간 유용한 대체 경로를 확보한다. 제안 방안은 경로 유지를 위하여 두 종류의 ant 패킷을 발생시키는데, exploitation ant는 출발지-목적지 사이에서 가장 좋은 경로를 확보하는 역할을 하고, exploration ant는 출발지-목적지 주변에서 대체 가능한 경로를 제공하는데 사용한다. 이와 같은 역할 분리는 토폴로지가 동적으로 변하는 환경에서 항상 최단 경로를 사용할 수 있게 해주며, 경로 침체 문제없이 효과적으로 대체 경로를 탐색할 수 있게 해준다. 시뮬레이션 결과 제안 방식은 패킷 전달률 및 중단간 지연 측면에서 기존 AODV 및 AntHocNet 보다 우수한 성능을 보여주면서 AntHocNet 보다 오버헤드를 크게 감소시킨다. 제안 라우팅 프로토콜은 이동성이 증가할수록 기존 방식 대비 더 높은 성능 이득을 보이므로 전술/기동 환경과 같이 이동성이 높고 동적인 무선 채널 환경을 갖는 애드혹 네트워크에 효과적으로 적용 가능하다.

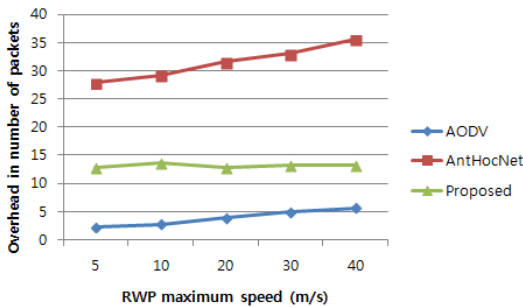


그림 6. RWP 최대 속도에 따른 소요되는 제어 패킷 수  
Fig. 6. Overhead in number of packets vs. RWP maximum speed

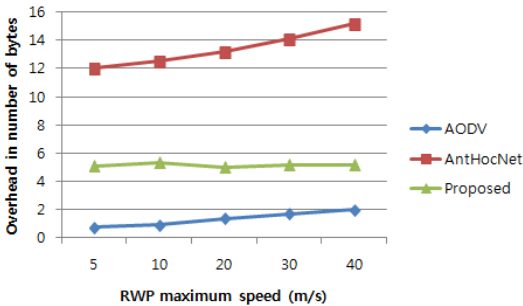


그림 7. RWP 최대 속도에 따른 소요되는 제어 패킷의 바이트 크기  
Fig. 7. Overhead in number of bytes vs. RWP maximum speed

### References

- [1] L. Hanzo and R. Tafazolli, "A survey of QoS routing solutions for mobile ad hoc networks," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 9, no. 2, pp. 50-70, 2007.
- [2] H.-H. Choi and J.-R. Lee, "Communication and networking technologies based on bio-inspired algorithms," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 29, no. 4, pp. 62-71, 2012.
- [3] F. Dressler and O. B. Akan, "Bio-inspired networking: from theory to practice," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 11, pp. 176-183, 2010.
- [4] S. Bitam, A. Mellouk, and S. Zeadally, "Bio-inspired routing algorithms survey for

- vehicular ad hoc networks,” *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 17, no. 2, pp. 843-867, 2015.
- [5] Z. Zhang, K. Long, J. Wang, and F. Dressler, “On swarm intelligence inspired self-organized networking: Its bionic mechanisms, designing principles and optimization approaches,” *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 16, no. 1, pp. 513-537, 2014.
- [6] C. E. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Ad-hoc on-demand distance vector routing,” in *Proc. IEEE Workshop on Mob. Comput. Syst. Appl.*, 1999.
- [7] C. E. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing,” *IETF RFC 3561*, 2003.
- [8] C. E. Perkins and P. Bhagwat, “Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers,” in *Proc. ACM SIGCOMM'94 Conf. Commun. Architectures, Protocols and Appl.*, pp. 234-244, Oct. 1994.
- [9] G. Di Caro, F. Ducatelle, and L. M. Gambardella, “AntHocNet: an adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc networks,” *Eur. Trans. Telecommun. (ETT)*, vol. 16, no. 5, 2005.
- [10] F. Ducatelle, G. Di Caro, and L. M. Gambardella, “Using ant agents to combine reactive and proactive strategies for routing in mobile ad hoc networks,” *IJCA*, vol. 5, no. 2, 2005.
- [11] F. Ducatelle, “Adaptive routing in ad hoc wireless multi-hop networks,” Ph.D. Dissertation, Universita della Svizzera italiana, Lugano, Switzerland, May 2007.
- [12] J. Zhou, H. Xu, Z. Qin, Y. Peng, and C. Lei “Ad hoc on-demand multipath distance vector routing protocol based on node state,” *Commun. Netw.*, pp. 408-413, May 2013.
- [13] N. Jaisankar and R. Saravanan, “An extended AODV protocol for multipath routing in MANETs,” *IACSIT Int. J. Eng. and Technol.*, vol. 2, no. 4, 2010.
- [14] T.-H. Kim, S.-H. Chung, S.-Y. Kang, and Y.-H. Yoo “A node-disjoint multi-path routing protocol in AODV-based mobile ad-hoc networks,” *J. KICS*, vol. 34, no. 12, pp. 1371-1379, 2009.
- [15] H.-H. Choi, H.-G. Lee, and J.-R. Lee, “A new energy-aware source routing protocol for maximization of network lifetime in MANET,” *IEICE Trans. Inf. Syst.*, E97-D(2), pp. 335-339, Feb. 2014.
- [16] M. Woo, “An ant-based routing method using enhanced path maintenance for MANETs,” *J. KICS*, vol. 35, no. 9, pp. 1281-1286, 2010.

**최 현 호 (Hyun-Ho Choi)**



2001년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 졸업  
 2003년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
 2007년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
 2007년 3월~2011년 2월: 삼성 종합기술원 전문연구원

2011년 3월~현재: 국립환경대학교 전기전자제어공학과 부교수

<관심분야> 차세대 이동통신시스템, 저전력 통신 프로토콜, 매체접속제어, 분산자원관리, 생체모방 알고리즘

**노 봉 수 (Bongsoo Roh)**



2004년 2월: 한양대학교 전기공학부 졸업  
 2006년 2월: POSTECH 컴퓨터공학과 석사 졸업  
 2006년 4월~현재: 국방과학연구소 연구원

<관심분야> 차세대 이동통신시스템, 에드혹 라우팅, 저전력 통신 프로토콜, 매체접속제어, 분산자원관리, 생체모방 알고리즘

최 형 석 (HyungSeok Choi)



1999년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 졸업  
2002년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 석사  
2014년 8월 : 충남대학교 정보  
통신공학과 박사  
2002년 1월~현재 : 국방과학연  
구소 연구원

<관심분야> 무선 MAC 프로토콜, 라우팅, 위성통신

이 정 루 (Jung-Ryun Lee)



1995년 2월 : 서울대학교 수학  
과 졸업  
1997년 2월 : 서울대학교 수학  
과 석사  
2006년 8월 : KAIST 전기 및  
전자 공학과 박사  
2008년 3월~현재 : 중앙대학교  
전자전기공학부 부교수

<관심 분야> 저전력 통신 프로토콜, 메쉬 네트워크,  
네트워크 이동성, 생체모방 통신 등