

정보 속성을 고려한 Swarm Intelligence 알고리즘 기반의 Ad hoc 네트워크 라우팅

허선희^o 장형수

서강대학교 컴퓨터공학과

kissiskiss^o@sogang.ac.kr, hschang@sogang.ac.kr

Data Dependant Swarm Intelligence Routing Algorithm for Mobile Ad hoc networks

Seon Hoe Heo^o Hyeong Soo Chang

Department of Computer Science and Engineering, Sogang University

1. 서론

본 논문에서는 Mobile Ad hoc Network(MANET) 상에서 정보를 효율적으로 전달하기 위해 Swarm Intelligence 알고리즘을 바탕으로 정보 속성을 고려한 Data Dependent Swarm Intelligence Routing Algorithm(DSRA)을 제안한다. DSRA는 정보를 realtime 기반의 정보와 non-realtime 기반의 정보로 구분하고 realtime 정보는 지연시간(delay)이 최소화되도록 경로를 설정하며 non-realtime 정보는 에너지 소비를 최소화하도록 경로를 설정함으로써 기존의 알고리즘보다 네트워크의 lifetime과 정보 전송률에서 더 나은 성능을 보인다.

1.1 문제정의

본 논문에서는 MANET 상에서 정보의 속성을 고려한 효율적인 경로 설정을 통해 네트워크의 lifetime을 증가시키면서 정보 전송률을 최대화하는 문제를 풀고자 한다. 이동성(mobility)을 가지는 노드들로 구성된 MANET에서 특정한 시간동안 노드가 고정되어 있다고 가정하고 주어진 연결된(connected) 그래프 $G=(V, E)$ 에 대하여 $V=(v_1, v_2, \dots, v_k)$ 는 각각의 무선 노드들의 집합을 각각의 노드 v_i 는 에너지 소비량(power consumption)정보 $pc(v_k)$ 를 가지며 이는 현재 노드에 남아있는 에너지량을 나타낸다. 임의의 source 노드 $v_s \in V$ 와 destination 노드 $v_d \in V$ 을 연결하는 노드들의 집합은 $PATH_{v_s, v_d} = \{v_s, v_a, v_b, \dots, v_k, v_d\}$ 로 나타내며 이때 v_i, v_j, \dots, v_k 는 중간 노드들이다. 이때 hop counter $hcnt_{v_s, v_d} = |PATH_{v_s, v_d}| - 1$ 이며 경로를 구성하는 노드들의 총 에너지 소비량은 $pc(PATH_{v_s, v_d}) = \sum pc(v_k), v_k \in PATH_{v_s, v_d}$ 이다. DSRA에서는 정보의 속성을 구분하기 위해 delay tolerance factor $DT \in \{0, 1\}$ 를 이용한다. Realtime 기반의 정보인 경우 $DT=0$ 으로 설정하며 non-realtime 기반의 정보는 $DT=1$ 이 된다. 본 논문에서 풀고자 하는 문제를 다음과 같이 정형화 할 수 있다.

주어진 $G=(V, E)$ 에 대해, 임의의 source 노드 $v_s \in V$ 와 임의의 destination 노드 $v_d \in V$ 을 연결하는 경로 $PATH_{v_s, v_d} = \{v_s, v_a, v_b, \dots, v_k, v_d\}$ 중, $DT=0$ 인 정보는 $hcnt_{v_s, v_d}$ 을 최소화하는 경로 $PATH_{v_s, v_d}^*$ 을 찾고 $DT=1$ 인 정보는 $\sum pc(v_k), v_k \in PATH_{v_s, v_d}$ 을 최소화하는 $PATH_{v_s, v_d}^*$ 을 찾는다.

위 문제의 최적해를 구하기 위해 heuristic algorithm인 ACO를 기반으로 한다.

2. Data Dependent Swarm Intelligence Routing Algorithm(DSRA)

2.1 알고리즘 Description

각각의 노드들은 1-hop 노드에 대해 Neighbor Searching을 주기적으로 실행하여 생성되거나 소멸된 이웃노드의 정보와 각 노드의 에너지정보를 업데이트하여 저장한다. 임의의 source 노드 v_s 에서 보내고자 하는 정보가 발생하면 우선 v_s 는 이전에 경로 설정 과정을 통해 저장된 destination 노드 v_d 정보를 확인하여 정보가 있을 경우 그 경로를 이용하고 정보가 없을 경우 Forward Ant를 v_d 로 전송함으로써 경로 설정을 실시한다. 이후 v_d 에서는 Forward Ant가 만든 경로($PATH_{v_s, v_d}$)를 평가하는데 이때 realtime 정보는 경로 상에 존재하는 hop 수($hcnt_{v_s, v_d}$)를 비교하고 non-realtime 정보는 경로를 구성하는 노드들의 에너지 소비량($pc(PATH_{v_s, v_d})$)을 비교함으로써 가장 좋은 성능의 경로를 $PATH_{best}$ 로 선택하게 된다. 이를 통해 네트워크의 lifetime을 증가시키고 realtime 정보의 지연시간(delay)을 최소화하는 문제의 최적해 $PATH_{v_s, v_d}^*$ 를 근사하게 된다. Destination 노드는 Backward Ant를 이용해 Forward Ant가 만든 경로를 역이동하며 pheromone 업데이트 후 경로 설정을 종료한다. Pheromone 업데이트는 realtime 기반의 정보이며 가장 성능이 좋은 경로상의 edge만 실시하게 된다. 경로 설정이 완료되면 실제 정보 전송이 시작되는데 realtime 정보의 경우 전송 중에 주기적으로 Forward Ant와 Backward Ant를 실행함으로써 경로 정보를 업데이트 하게 된다. 이때, 소멸되는 노드에 의한 지연시간을 줄이기 위해 2-hop 노드에 대한 지역 정보 재 설정을 실행한다.

2.2 지역 경로 재설정

$DT=0$ 인 realtime 속성을 가지는 정보는 특정 노드가 소멸되면 빠른 경로 재설정이 필요하다. 이를 위해 경로에 속한 각 노드들은 Forward Ant와 Backward Ant를 자신과 2-hop 거리에 있는 노드와 실행함으로써 특정 노드가 소멸되었을 경우 대체하기 위한 path를 유지하게 된다. 이를 통해 특정 노드가 소멸되어도 추가적인 지연시간을 최소화하면서 최적을 근사한 경로를 설정하게 된다. $DT=1$ 인 non-realtime 정보는 지연시간에 큰 영향을 받지 않

때문에 위와 같은 지역 경로 재설정 필요하지 않다.

2.3 Neighbor Searching

각각의 노드들이 주기적인 브로드캐스팅을 통해 임의의 노드 $v_i (v_i \in V)$ 의 1-hop 거리에 위치한 이웃노드의 집합을 $N(v_i) = \{v_a, v_b, \dots, v_k\}$ 라고 하면 노드 v_i 는 이웃노드들의 에너지 소비량 $pc(v_k)$, $v_k \in N(v_i)$ 정보를 유지하게 된다.

2.4 Forward Ant

임의의 source 노드 $v_s \in V$ 에서 임의의 destination 노드 $v_d \in V$ 로 정보를 전달하기 위한 경로를 설정하기 위해 노드 v_s 는 v_d 로 **Forward Ant** $A_s = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ 를 생성하여 보내게 된다. 이때 노드를 경유할 때마다 $hcnt_{a_k}$ 을 증가시키는데 네트워크 대역폭의 낭비를 막기 위해 $hcnt_{a_k}$ 가 일정한 수에 도달할 때까지 v_d 에 도착하지 못하면 **Forward Ant**는 소멸된다. 정보의 delay tolerance factor $DT \in (1, 0)$ 을 고려하여 생성된 경로 $PATH_{best}$ 값은 문제의 최적해 $PATH_{v_s, v_d}^*$ 를 근사하는 해를 갖게 된다.

2.5 Backward Ant with pheromone update

Forward ant에 의해 $PATH_{best}$ 를 얻게 되면 이를 이용해 **Backward Ant** a_k 를 생성하게 된다. 이때 $DT=1$ 인 non-realtime 정보에 기반을 둔 **Backward Ant** a_k 는 pheromone 업데이트 과정을 생략하고 $DT=0$ 인 realtime 정보에 기반을 둔 **Backward Ant** a_k 는 **Forward Ant**가 만든 $PATH_{best}$ 를 역으로 진행하면서 pheromone 업데이트를 실시하게 된다.

2.6 정보 전송

경로 설정 과정이 완료되면 실질적인 정보의 전송이 시작된다. 이때 realtime 및 non-realtime 정보는 기존의 ACO 알고리즘과 다르게 단일 경로를 사용하여 정보를 전송하게 된다. Realtime 정보의 경우 정보 전송 중에 지역 경로 재설정 실행을 통해 경로상의 노드 소멸 시 정보 전달 지연시간을 최소화한다. 반면 non-realtime 정보는 추가적인 경로 설정 과정 없이 정보를 전달한다.

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 DSRA의 성능을 평가하기 위해 MANET상에서의 라우팅 알고리즘들이 표준으로 비교하는 AODV, DSR, Anthocnet을 비교하였다. 실험은 50개의 노드를 $1500 \times 300m^2$ 의 직사각형 공간에서 실시하였다. 각각의 노드들은 random waypoint model로 움직이며 이 때 노드의 최고이동속도는 $20m/s$ 이고 정지시간은 30초로 설정하였다. 총 실험시간은 900초이고 노드에서 생성되는 정보는 non-realtime과 realtime 속성으로 구분하여 실험하였으며 노드의 최대전송거리는 $300m$ 로 설정하였다. 이때 Neighbor Searching 주기는 5초로 하였고 $maxhcnt \alpha = 50$ 로 설정하였으며 pheromone 업데이트를 위한 evaporation factor $\rho = 0.9$ 로 설정하였다. 실험에서 비교한 것은 크게 두 가지로 노드의 에너지 소모량과 정보의 전송률로 모두 50회의 실험을 수행한 후 결과의 평균을 정리하였다.

3.1 에너지 소모량

<표1>은 각각의 알고리즘을 이용한 전송과정에서 시간에 따른 에너지 변화량을 표시한 것이다. Anthocnet과 DSRA의 경우 실험 초반에는 경로설정 과정에서 빈번한 확률적 경로설정 과정에 의해 AODV, DSR에 비해 좋지 않은 성능을 나타내지만 시간이 지나면서 경로 정보의 누적에 의해 확률적 경로설정(**Forward Ant** 및 **Backward Ant**에 의한 경로설정) 과정이 줄어들기 때문에 점점 성능이 개선되었다. 최종시점(900초)에서 DSRA의 남은 에너지 양이 다른 알고리즘보다 평균적으로 높음을 알 수 있고 이를 통해 DSRA가 다른 알고리즘보다 더 적은 에너지를 소모함을 확인 할 수 있다.

3.2 정보 전송률

정보 전송률은 realtime 정보와 non-realtime 정보를 구분하여 실험하였다. non-realtime 정보의 전송률은 source 노드에서 생성된 정보가 destination 노드에 도착하는 비율(transmission rate)로 정의하였고 realtime 정보의 경우 source 노드에서 destination 노드까지 도착하는데 걸린 시간(delay)을 정보 전송률로 정의하였다. Non-realtime 정보의 전송률은 전송의 안정성을 측정하였는데 source 노드에서 생성된 정보가 destination 노드에 도착되는 비율이 높지 않다면 알고리즘의 안정성이 낮아지게 된다. <그림1>은 non-realtime 정보의 전송 실험 결과를 그래프로 나타낸 것으로 DSRA이 다른 알고리즘과 비슷한 결과를 나타내며 안정적인 알고리즘임을 보여준다. <표2>는 각각의 알고리즘을 이용한 전송과정에서 시간에 따른 지연시간을 표시한 것이다. 실험과정에서 일부 노드는 에너지를 모두 소모하고 소멸되거나 확률에 의해 소멸되었다. 이 과정에서 DSRA는 지역 정보 재설정 과정을 통해 이를 효과적으로 대처하는데 이는 결과를 통해 잘 드러난다. 다른 알고리즘은 시간이 지나면서 성능이 나빠지거나(AODV) 지연 시간에 큰 변화가 없는데(DSR) 반해 ACO 기반의 Anthocnet과 DSRA는 시간이 지나면서 경로 정보가 축적됨에 따라 지연시간을 감소시키고 더 나은 성능을 가지게 되었다.

time	AODV	DSR	Anthocnet	DSRA
0	5000	5000	5000	5000
100	4621	4659	4405	4415
200	4054	4121	3960	3968
300	3567	3601	3341	3355
400	3102	3159	2946	2905
500	2645	2678	2567	2558
600	2159	2204	2305	2331
700	1698	1749	1798	1815
800	1154	1289	1321	1397
900	689	798	897	934

표1. 네트워크의 에너지 변화량

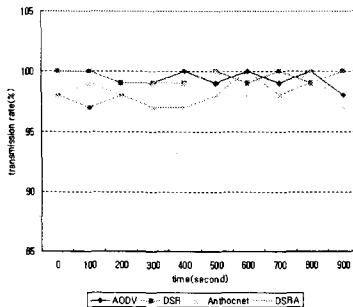


그림1. non-realtime 정보의 전송률

time	AODV	DSR	Anthocnet	DSRA
0	3.45	3.41	3.56	3.49
100	3.49	3.42	3.49	3.48
200	3.43	3.34	3.56	3.46
300	3.26	3.26	3.16	3.01
400	3.37	3.28	2.98	2.78
500	3.51	3.16	2.94	2.46
600	3.68	3.15	2.79	2.64
700	3.26	3.11	2.69	2.45
800	3.46	3.06	2.58	2.38
900	3.51	3.02	2.62	2.12

표2. realtime 정보의 지연시간