

클러스터화와 개미군최량화에 기초한 다중경로 경로화규약

리철화, 남철만

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 확고히 앞세우고 과학기술과 생산을 밀착시키며 경제건설에서 제기되는 모든 문제들을 과학기술적으로 풀어나가는 기풍을 세워 나라의 경제발전을 과학기술적으로 확고히 담보하여야 합니다.》

오늘 우리앞에는 인민경제의 과학화, 정보화를 실현할수 있는 과학기술적문제들을 세계적수준에서 풀어나가야 할 과업이 나서고있다.

현재 물리적량의 측정감시, 수감부망을 리용한 대상감시 및 경보체계설계 등이 널리 연구[1-4]되고있다.

본문에서는 클러스터화, 다중경로화와 개미군최량화(ACO)에 기초하여 반작용적인 WSN을 위한 다중경로 경로화규약(MRP)을 고찰하였다.

1. 클러스터형성알고리즘

일반적인 계층경로화알고리즘[1-3]은 반작용적인 WSN에서 폭발사건들을 감시하는데 적합치 않다.

실제로 발생하는 사건이 없다 해도 매 마디는 주기적으로 클러스터들을 재구조화하기 위해 많은 조종패킷들을 가져야 한다.

클러스터화알고리즘은 다음과 같은 규칙들에 준한다.

① 사건영역에 위치한 마디들은 수신되는 신호세기(RSS)에 따라 사건이 발생한 지점까지의 거리를 수감할수 있다.

② 마디들은 사건영역에서 린접마디들의 여유에너지를 알고있다.

③ $RSS_i \geq \text{턱값}$ 이면 마디 i 는 사건영역에 놓인다. (RSS_i 는 마디 i 의 수신신호세기이다.)

정리 CH(Cluster Header)가 사건영역의 중심에 놓일 때 자료를 전송하는데 드는 에너지소비의 총합은 그 클러스터에서 가장 작다.

증명 클러스터에 분포된 N 개 마디들이 있다. 마디 i 는 자리표 $(0, 0)$ 으로 사건영역의 중심에 놓인다. 마디들사이의 통신에너지소비는 d^γ 에 정비례한다. ($\gamma = 2$)

$$D_i = \sum_{k=1, k \neq i}^m (x_k^2 + y_k^2) \quad (1)$$

여기서 D_i 는 같은 클러스터에서 마디 i 와 다른 마디들사이의 평방거리의 합이다.(마디 i 는 CH이다.)

마디 j 가 자리표 (x_j, y_j) 를 가진 CH로 선출되면

$$D_j = \sum_{k=1, k \neq j}^m (x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 \quad (2)$$

을 얻는다.

식 (1), (2)의 기대값을 계산하면 다음과 같다.

$$E(D_i) = E \left[\sum_{k=1, k \neq i}^m (x_k^2 + y_k^2) \right] \quad (3)$$

$$E(D_j) = E \left[\sum_{k=1, k \neq j}^m (x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 \right] \quad (4)$$

식 (3), (4)를 더 전개하면 다음과 같다.

$$E(D_i) = E \left[(x_j^2 + y_j^2) + \sum_{k=1, k \neq (i, j)}^m (x_k^2 + y_k^2) \right] = E(x_j^2 + y_j^2) + (m-2) \times E(x^2 + y^2) \quad (5)$$

$$E(D_j) = E \left[(x_j^2 + y_j^2) + \sum_{k=1, k \neq (i, j)}^m (x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 \right] \quad (6)$$

여기서 x 와 y 는 일반마디의 자리표이다.

식 (6)으로부터

$$\begin{aligned} E(D_j) &= E \left[(x_j^2 + y_j^2) \right] + E \left[\sum_{k=1, k \neq (i, j)}^m (x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 \right] = \\ &= E \left[(x_j^2 + y_j^2) \right] + (m-2) \times C(x, y) \end{aligned} \quad (7)$$

를 얻는다. 여기서 $C(x, y)$ 는

$$\begin{aligned} C(x, y) &= E \left[(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 \right] = E(x_k^2 + x_j^2 - 2x_k x_j + y_k^2 + y_j^2 - 2y_k y_j) = \\ &= 2 \left[E(x^2) + E(y^2) \right] - 2E^2(x) - 2E^2(y) \end{aligned} \quad (8)$$

이고 $E(x) = 0$, $E(y) = 0$ 이다.

식 (7), (8)로부터

$$\begin{aligned} E(D_j) &= E \left\{ (x_j^2 + y_j^2) + 2 \sum_{k=1, k \neq \{i, j\}}^m \left[(x_k)^2 + (y_k)^2 \right] \right\} = \\ &= E(x_j^2 + y_j^2) + 2(m-2) \times E(x^2 + y^2) \end{aligned} \quad (9)$$

를 얻는다.

식 (5), (9)로부터 다음식이 성립한다.

$$E(D_i) < E(D_j), \quad 2 < m \text{ 일 때} \quad (10)$$

무선통신모형에 따라 에네르기소비가 무선통신거리와 관계된다는것을 알수 있다. 즉 무선통신거리가 더 짧을수록 에네르기소비는 더 작게 된다.

식 (10)으로부터 사건영역의 중심에 놓인 CH가 자료를 전송하는데 가장 적은 에네르기를 소비한다고 말할수 있다.

망수명을 연장하려면 클러스터에서 에너지를 소비를 최소화하는 한편 클러스터의 작업시간을 최대로 하여야 한다. 이 클러스터화의 목적을 다음과 같이 형식화할 수 있다.

$$\max T_c, \min \sum_{(i, j \in Se)} E_{Se} \quad (11)$$

여기서 T_c 는 클러스터의 작업시간, E_{Se} 는 클러스터에서 에너지소비의 합이다.

CH가 클러스터에서 많은 작업을 수행하기때문에 CH를 선출할 때 여유에너지를 고찰하여야 한다. 정리와 식 (11)에 기초하여 더 많은 여유에너지와 린접들, 강한 신호세기(그 마디는 신호중심에 가장 가깝다.)를 가진 마디는 사건영역에서 CH로 될 수 있는 많은 기회를 가진다고 볼 수 있다.

CH로 되기 위한 목적함수 q_i 는 다음과 같다.

$$q_i = (E_i)^{k_1} \times (K_i)^{k_2} \times (SE_i)^{k_3} \quad (12)$$

여기서 E_i 는 마디 i 의 여유에너지, K_i 는 마디 i 의 일시적인 모임, SE_i 는 사건을 수신하는 신호세기, k_1, k_2, k_3 은 각각 E_i, K_i, SE_i 의 무게조종파라미터이다.

망형성단계에서 CH로 선출된 마디 i 가 CH라는것을 방송할 때 기다리는 시간 T_i 는 다음과 같다.

$$T_i = q/q_i \quad (13)$$

여기서 q 는 T_i 의 값조종결수로서 q_i 에 거꾸비례한다.

2. 개미군최량화에 기초한 다중경로 경로화알고리즘

MRP에서 CH가 집합마디까지 자료를 전송할 때 개선된 ACO알고리즘은 최량 혹은 준최량에너지소비를 가진 다중경로들을 확립하는데 이용된다.

MRP에는 세가지 개미종류가 있다.(탐색개미(S개미), 거꾸개미(B개미)와 이상개미(A개미)) S개미는 경로를 따라 움직임으로써 다중경로들과 중간마디들에 대한 정보를 수집한다. B개미는 거꾸로 경로를 따라가면서 페로몬값을 갱신한다. 그리고 마디의 여유에너지, 경로길이와 현재경로의 에너지소비와 같은 경로의 정보를 원천마디에 제공한다. MRP는 개미의 새로운 형인 이상개미(A개미)를 추가한다. 그것은 규약의 침체를 얼마간 회피하는데 이용된다.

다중경로들에 대한 탐색절차는 다음과 같다.

① CH는 집합마디를 탐색하기 위해 S개미들을 창조한다. S개미들은 경로를 따라 움직임으로써 경로정보를 수집한다.

② 집합마디는 한 S개미가 도착하면 하나의 B개미를 창조한다. 이 B개미는 역경로를 따라 거꾸로 전송된다. 하나의 B개미가 이동할 때 역경로에서 결합 (i, j) 에 대한 페로몬을 갱신하여야 한다.

③ S개미가 중간마디에 도착할 때 A개미가 생성될 수도 있고 생성되지 않을 수도 있다.

1) 탐색개미(S개미)

클러스터형성단계가 끝난 다음 집합마디까지의 여러 최량 및 준최량경로들을 찾아야

할 CH는 경로정보를 얻기 위하여 많은 S개미들을 전송한다. 경로발견시간과 부가처리를 줄이기 위하여 S개미의 수를 망규모와 응용의 요구에 관련시킨다.

S개미의 통보문형식은 그림 1과 같다.

Message Type	S_ID	D_ID	K	E _{min}	E _p	H	TTL
--------------	------	------	---	------------------	----------------	---	-----

그림 1. S개미의 통보문형식

S_ID마당은 이전마디식별자, D_ID마당은 다음마디식별자, K마당은 S개미의 개수, E_{min}은 현재마디까지의 최소에너지, E_p마당은 현재마디까지의 에너지소비의 합, H마당은 지금까지의 경로길이, TTL(time-to-live:살아있는 시간)마당은 S개미가 여행할수 있는 길이를 준다.(S개미가 앞방향으로 갈 때 TTL값은 감소된다. 즉 TTL이 S개미가 집합마디에 도착하기 전에 0에 도달하면 S개미통보문은 버린다.)

마디들사이에 부하를 균형화하고 망수명을 최대화하기 위하여 다음과 같이 ACO의 방정식을 변경한다.

$$P_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha}(t) \times \eta_{ij}^{\beta}(t)}{\sum_K \tau_{ij}^{\alpha}(t) \times \eta_{ij}^{\beta}(t)}, & \forall j \in N_i \text{ 및 } j \notin M^K \\ 0, & \text{다른 경우} \end{cases} \quad (14)$$

여기서 $P_{ij}(t)$ 는 현재마디 i 가 다음의 도약마디 j 를 선택할 확률, η_{ij} 는 경로 (i, j) 의 국부제발값, τ_{ij} 는 경로 (i, j) 에서 페로몬값이다. α 와 β 는 각각 페로몬자리길과 제발값의 상대적무게를 조종하는데 이용되는 파라미터들이다. M^K 은 이미 방문한 마디들을 포함한다. M^K 은 S개미의 기억기에 보관하지 않고 마디의 기억기에 보관된다. 이 방법은 전송되는 자료크기와 보관하는 에너지를 줄일수 있다.

η_{ij} 는 다음과 같다.

$$\eta_{ij} = \begin{cases} \eta_{\max}, & \mu_{ij} > \mu_{\max} \\ \mu_{ij}, & \mu_{\min} \leq \mu_{ij} \leq \mu_{\max} \\ \eta_{\min}, & \mu_{ij} < \mu_{\min} \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{ij} = \frac{(E_j)^{k_4}}{(d_{ij})^{k_5}} + \theta_{ij} \quad (16)$$

$$\theta_{ij} = \begin{cases} \frac{(E_j)^{k_4}}{(d_{ij})^{k_5}} \times \left(\frac{d_{is}}{d_{js}} \right)^{k_6} & (h_j \leq h_i) \\ 0, & \text{다른 경우} \end{cases} \quad (17)$$

여기서 k_4, k_5, k_6 은 μ_{ij} 에 대한 E_j, d_{ij}, θ_{ij} 의 영향을 각각 조종하는데 이용되는 파라미터이다.

η_{\min} 과 η_{\max} 는 미리 결정되는 파라미터이다.

다음식은 경로 (i, j) 에서 페로몬값을 갱신하는데 이용된다.

$$\tau_{ij}(t, t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) \quad (18)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) = \lambda(E_i + E_j)/d_{ij}^2 \quad (19)$$

여기서 ρ 는 증발인자로서 그것은 시간초과가 있는 자리길의 세기를 감소시키는데 쓰인다. λ 는 결수, d_{ij} 는 마디 i 와 j 사이의 거리, E_i 는 마디 i 의 여유에너지이다.

2) 거꿀개미(B개미)

B개미가 S개미가 지나간 역경로를 따라 거꾸로 올 때 B개미는 또한 경로 (i, j) 에서 페로몬값을 갱신하여야 한다.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t, t+1) = c \times \frac{f(t+1) - f_{best}(t^*)}{f_{best}(t^*)} + c_1 \times f(t+1) \quad (20)$$

$$f(t) = c_0 \frac{f_1^{k_7}(t)}{f_2^{k_8}(t) f_3^{k_9}(t)} \quad (21)$$

$$f_1(t) = \min_{i \in (n_1, n_2, \dots, n_m)} (E_i) \quad (22)$$

$$f_2(t) = \sum_{(i, j) \subset p} E_{ij} \quad (23)$$

$$f_3(t) = \sum_{(i, j) \subset p} (i, j) \quad (24)$$

$$f_{best}(t^*) = \max[f(t)], t^* = 1, \dots, t \quad (25)$$

여기서 $f(t)$ 는 현재경로에 대한 평가함수, $f_1(t)$ 는 경로 p 에서 최소에너지마디, $f_2(t)$ 는 경로 p 에서 에너지소비의 합, $f_3(t)$ 는 경로 p 의 길이, $f_{best}(t^*)$ 는 현재의 최량풀이다. (n_1, n_2, \dots, n_m) 은 경로 p 에 따르는 마디들의 순서를 나타낸다. c, c_1, c_0 은 결수들이다. 그것은 각각 식 (20), (21) 값을 조종하는데 리용될수 있다. k_7, k_8, k_9 는 각각 $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$ 의 상대적인 중요성을 결정하는 무게들이다.

식 (20)에서 부귀환방안은 현재결과에 대한 실제적인 보상이나 처분을 하는데 도입된다.

B개미의 통보문형식은 그림 2와 같다.

Message Type	D_ID	K	E _{min}	E _p	Length
--------------	------	---	------------------	----------------	--------

그림 2. B개미의 통보문형식

통보문형태마당은 그것이 B개미라는것을 나타낸다. 길이마당은 집합마디로부터 현재 마디까지의 경로길이이다. 다른 마당들의 의미는 S개미의 통보문과 같다.

3. 제안한 경로화규약의 성능평가

여러가지 성능기준들이 WSN에서 각이한 경로화방법들을 비교하는데 리용된다.

① 평균에너지: 모의끝에서 모든 마디들의 평균에너지를 제공한다.

② 에너지소비: 집합마디까지 자료파케트들을 전송하기 위해 사건영역에 있는 마디들의 에너지소비를 제공한다.

③ 에너지의 표준편차: 모든 마디들에서 에너지준위들사이의 평균편차를 제공한다.

④ 망수명: 에너지를 다 소비한 첫번째 마디가 나타날 때까지의 시간을 제공한다.

MATLAB로 개발된 모의기를 리용하여 제안한 방안이 TEEN인 동적클러스터화알고리즘과 MP와 MACS에서 준 다른 두가지 다중경로알고리즘과 각각 비교되었다.

100부터 500까지의 마디들로 된 수감망들의 모임에서 이 4가지 알고리즘들을 평가하였다. 같은 마디수에 대하여 우연적으로 10개의 망위상들을 생성하였으며 평균적인 결과들을 얻기 위해 이 알고리즘들을 실행시켰다. 매 망에서 수감마디들은 $M=200m$ 인 $M \times M$ 영역에 우연적으로 분포된다.

무선통신전력소비를 설정하기 위하여 첫번째 순서모형[1]을 취급하며 $E_{elec}=50nJ/bit$,

$E_{amp}=10pJ/bit/m^2$ 으로 설정한다. 자료응집에너지는

EDA=5nJ/bit로 설정한다. 파라미터들($k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9$)은 (0.5, 0.1, 0.4, 2, 1, 1, 0.4, 0.2, 0.4)로 설정한다.

사용되는 파라미터값들은 표와 같다.

각이한 알고리즘들의 성능을 비교하기 위하여 마디들의 초기에너지가 같은 경우(그림 3)와 같지 않은 경우(그림 4)를 고찰하였다.

그림 3에서 마디의 초기에너지는 2J이고 그림 4에서 마디들의 에너지는 1J과 2J사이에 우연적으로 분포되었다.

그림 3으로부터 각이한 망규모에서 MRP가 다른

알고리즘들보다 성능이 더 좋다는것을 알수 있다.

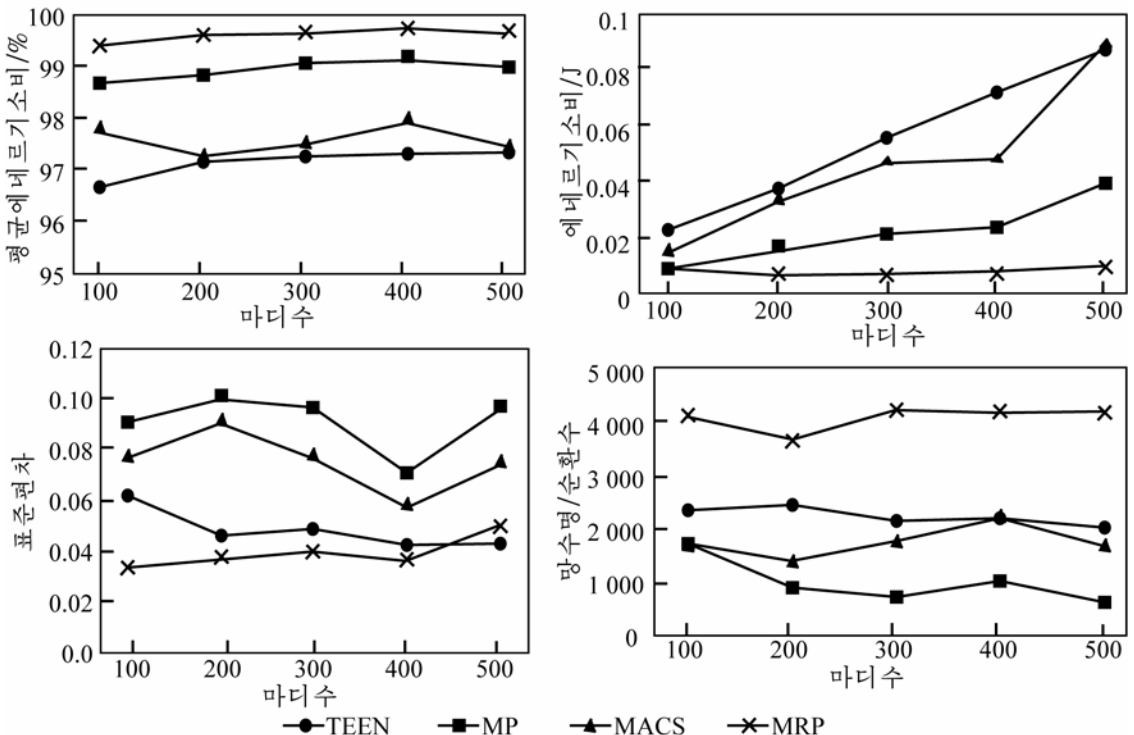


그림 3. 초기에너지가 같을 때 WSN의 성능

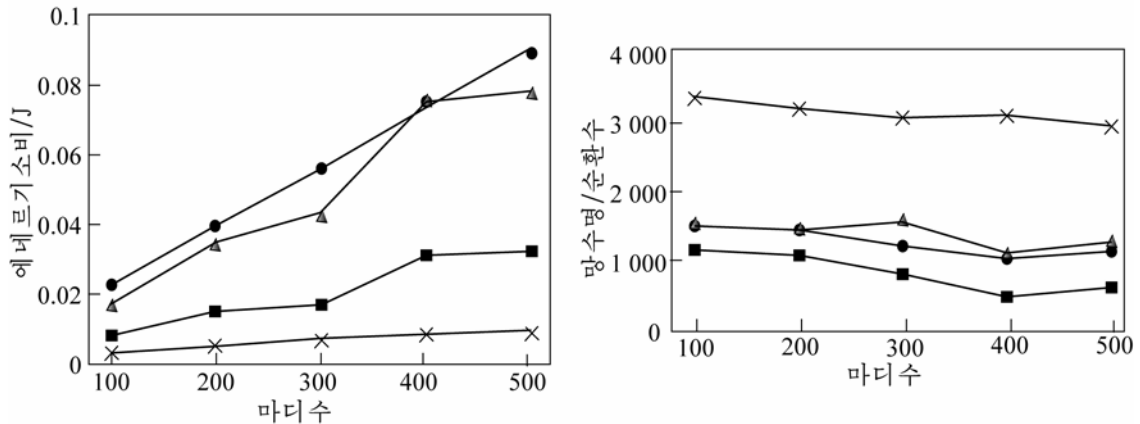


그림 4. 각이한 초기에너지를 가지는 경우 WSN의 성능
 곡선의 의미는 그림 3에서와 같음

맺는 말

모의결과는 다중경로 경로화규약이 마디들에서의 에너지소비의 균형을 보장하고 평균적인 에너지소비를 효과적으로 낮춤으로써 망의 수명을 연장시킬수 있다는것을 보여주었다.

참고 문헌

- [1] W. R. Heinzelman et al.; In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 1, 2000.
- [2] S. Lindsey et al.; In Proceedings of IEEE Aerospace Conference, 1125, 2002.
- [3] X. X. Liu; Sensors, 12, 8, 11113, 2012.
- [4] S. Okdem et al.; Sensors, 9, 909, 2009.

주체107(2018)년 11월 5일 원고접수

A Multipath Routing Protocol Based on Clustering and Ant Colony Optimization

Ri Chol Hwa, Nam Chol Man

For monitoring burst events in a kind of the reactive wireless sensor networks(WSNs), a multipath routing protocol(MRP) based on the dynamic clustering and ant colony optimization(ACO) is proposed.

The simulation results show that MRP can prolong the network lifetime, by keeping up the balance of energy consumption among nodes and reducing the average energy consumption effectively.

Key words: WSNs, ACO, MRP