

## 클러스터 기반의 무선 분산 센서 네트워크에서의 터미널 간 신뢰도 평가

\*이 준 혁 · \*\*오 영 환

\*한국정보통신기능대학 정보통신설비과 · \*\*광운대학교 전자통신공학과

## Computing Reliability Cluster-based in Wireless Distributed Sensor Networks

\*Jun-Hyuk Lee · \*\*Young-hwan Oh

\*Dept. of Information & Communication, Korea Information & Communication Polytechnic College  
\*\*Dept. of Electronics & Communications Engineering, Kwangwoon University

### Abstract

In this paper, We presented the algorithm for estimating a reliability between nodes in wireless distributed sensor networks(DSN). To estimate the reliability between nodes, we first modeled DSN as probability graph. Links of the graph are always reliable and the probability of node failure is independent. After all possible simple path which can be established between two nodes are examined, we perform sharp operation to remove repetition event between two nodes. Using probability for each variable of the minimized Boolean equation, we present the reliability formula.

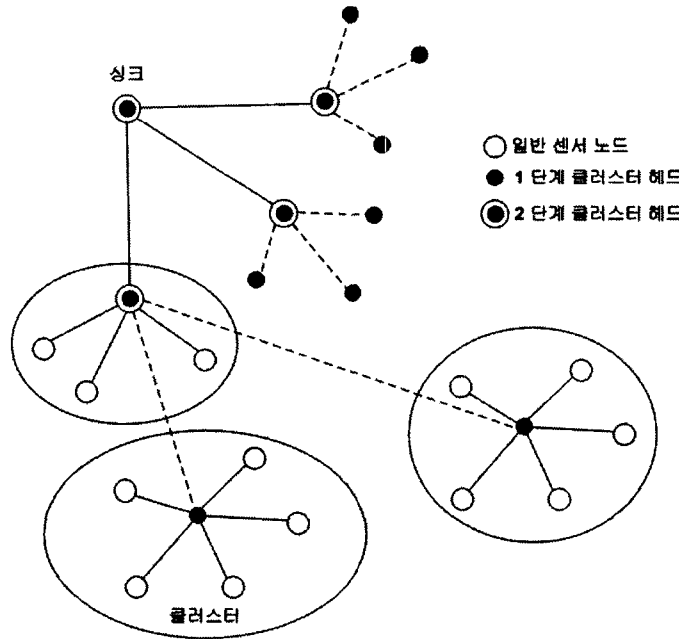
Key words : Reliability, distributed sensor networks, Sharp operation

# 1. 서 론

최근 수년간 가장 많은 기술적 발전을 가져온 새로운 영역이 분산 센서 네트워크(DSN : distributed sensor networks)분야이다. 수많은 지능적인(intelligent) 센서 노드로 구성된 분산 센서 네트워크는 넓은 지역에 분산된 센서로부터 환경상태 등에 대한 정보를 실시간으로 제공한다. 센서는 어떤 특정한 지역을 감시하고, 상태의 변화를 측정한다. 전형적인 분산 센서 네트워크는 군사작전을 포함하여, 지역감시, 환경감시, 원격감지, 재난감시등의 다양한 응용에 활용될 수가 있다.

분산 센서 네트워크의 중요한 특징은 자가 구성적(self-organizing) 능력이다. 센서 노드의 위치는 미리 결정될 필요가 없으므로, 접근이 어려운 영역이나 재난 구조를 위한 응용을 위해 임의로 배치될 수 있고, 센서 고장 또는 센서를 교환할 경우 동적으로 네트워크 구성을 재구성할 수 있다. 다른 독특한 특징은 센서 노드간의 상호협력 작용이다. 무선 센서 네트워크에서 인접한 노드간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위한 데이터 모음(data aggregation)이 필요하다는 특성을 고려할 때, 클러스터 기반(cluster-based)의 네트워크 구조가 많은 장점을 가진다.[1]

[그림 8] 클러스터 기반 무선 센서 네트워크



즉, 로컬 클러스터(local cluster)를 형성함으로써 인접한 지역에서 발생한 사건에 대한 유사한 정보를 클러스터 헤드(cluster head)로 전송하고 클러스터 헤드가 데이터 모음을 수행하여 보다 나은 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 하며, 요청된 질의에 대한 클러스터 헤드에 의한 전달로 비효율적인 질의의 플러딩(flooding)을 막을 수 있다.

클러스터 기반의 분산 센서 네트워크에서는 다음과 같은 가정을 전제로 한다.

첫째, 지속적인 전력이 공급되는 싱크가 모든 센서 노드에 직접 데이터를 전달할 수 있고,

수집 데이터의 저장 및 데이터 가공 등의 에너지 집약적인 기능을 수행한다.

둘째, 센서 필드내의 센서 노드들은 같은 특성을 가지며, 초기에 같은 에너지가 부여된다. 클러스터 기반의 분산 센서 네트워크는 클러스터라는 작은 영역들로 센서 네트워크가 분할되고, 각 클러스터에는 클러스터 헤더가 존재하여 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하고 이를 모아서 싱크로 전달하거나, 상위 계층 클러스터 헤드로 전달하는 역할을 한다.[2]

분산 센서 네트워크에서 센서들은 데이터(data)를 무선 링크를 경유하여 교환한다. 설치된 지능적인 센서는 데이터 처리 요소뿐만 아니라, 송/수신기를 이용하여 주변지역에 대한 센싱(sensing)기능이 필수적이다. 현재 기술의 발달로 신호처리가 가능한 저 전력 센서 노드의 제조, 무선 통신, 전원, 동기화(synchronization)등 가격대비 성능이 좋아지고 있다.[3] [4] 각각의 센서는 특정 영역범위(range) 안에서 이웃한 센서와 통신을 할 수 있다. 센서의 제한된 전력 문제로 많은 양의 데이터가 먼 거리를 걸쳐 전송되는 것을 피하기 위해 다중홉(multi hop) 동작이 요구된다.

센서 노드의 전력소비를 줄이기 위하여 위해서 비경쟁 프로토콜(contention-free)이 제안되었다.[5] DSN의 응용환경이 험한 자연 지형이기 때문에 센서들은 다른 여러 가지 원인으로 인하여 고장이 발생할 수 있다. 예를 들어, 구성품의 마모, 전원고장, 소프트웨어 장애등의 기기고장과 전파방해 등으로 인한 성능 고장을 들 수 있다.

신뢰성 있는 센서네트워크는 목적 감시대상 클러스터 영역 센서의 정확한 데이터 공급에 달려있다. 그러므로 몇 개의 노드 고장으로 인하여 수신지(data sinks, command nodes, end user)로의 데이터 제공을 위한 연결이 끊어져서는 안 되며, 결함 있는 센서를 제외하고 정상적으로 동작하는 센서의 연결을 통하여 수신지와 통신을 할 수 있어야 한다. 이로 인하여 많은 수의 홉(hop)으로, 정보 전송의 지연이 발생할 수 있다. 원하는 목적지까지의 동작하는 경로가 길어지더라도 메시지의 도착을 보증하기 위한 장애허용(fault-tolerant)과 같은 많은 라우팅 기법이 제안되었다.[6] [7] [8] [9]

본 논문에서는 DSN의 신뢰도를 평가하기 위한 알고리즘을 제안 하였다. 우선, DSN의 토폴로지를 정의하고 임의 고장 나기 쉬운 DSN을 표현하기 위해 확률적 그래프 모델을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DSN의 그래프 모델과 가정에 대해서, 3장에서는 DSN의 단 점간 신뢰도 계정에 관한 알고리즘을 제안 하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 바탕으로 신뢰도 계정 예를 보였다. 5장에서는 결론을 내렸다.

## 2. DSN의 그래프 모델

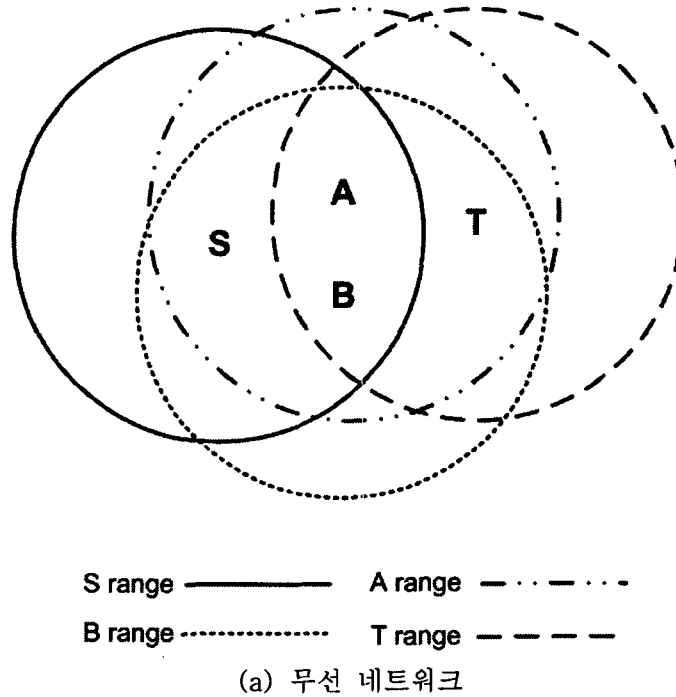
무선 센서 네트워크는 센서 노드들이 배치된 센서 필드(sensor field)와 센서 필드와 외부 망을 연결하는 싱크(sink)로 구성된다. 즉, 사용자나 응용은 싱크를 통하여 센서 필드에 질의를 전달하거나 센서 필드에서 수집된 데이터를 전달 받을 수 있다.

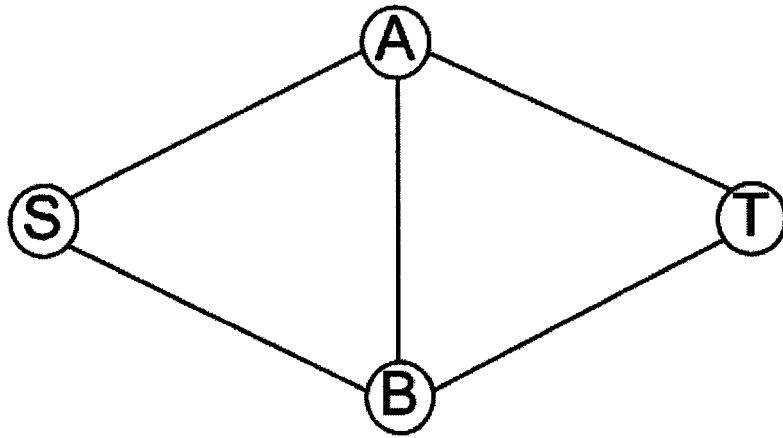
클러스터 기반의 무선 센서 네트워크는 여러 개의 센서 노드로 구성된 클러스터를 기반으로 하고 있다. 센서들은 작업영역에서 하나의 클러스터에 속하여 신뢰할 수 있는 데이터를 제공

한다. 또한 센서의 고장으로 인하여 네트워크의 고장을 초래해서는 안 된다. 각각의 클러스터는 클러스터 헤드(cluster head)를 가지고 있으며, 클러스터 헤드는 싱크와 센서간의 패킷을 라우팅 한다. 클러스터 헤드의 고장으로 클러스터가 네트워크에 연결되지 않을 수 있으므로, 후보 클러스터 헤더를 지정해 두어야 한다. 그림 1(a)은 무선 센서 네트워크의 한 예를 나타낸 것이며, Circle은 각 클러스터의 송신/수신 영역(range)을 나타낸 것이다.

무선 센서 네트워크는 그림 2(b)와 같이 비 방향성 확률적 그래프  $G=(V,E)$ 로 표현한다. 여기서 그래프의 접합점(node)은  $V$ 로 표시하고, 각각의 Site간에 통신이 이루어진다면 지로는 접합 점간에 존재하고, 그렇지 않으면 존재하지 않는다. 통신에 관계된 모든 접합점  $v \in V$ 이며, 정상적으로 동작할 확률을  $p_v$  (고장 날 확률을  $q_v = 1 - p_v$ )이라고 한다. 링크는 완전히 신뢰할 수 있다고 본다. 즉, 데이터 전송을 위한 주변매체는 완전하다고 본 것이다.

[그림 9] 무선 네트워크와 그래프 모델

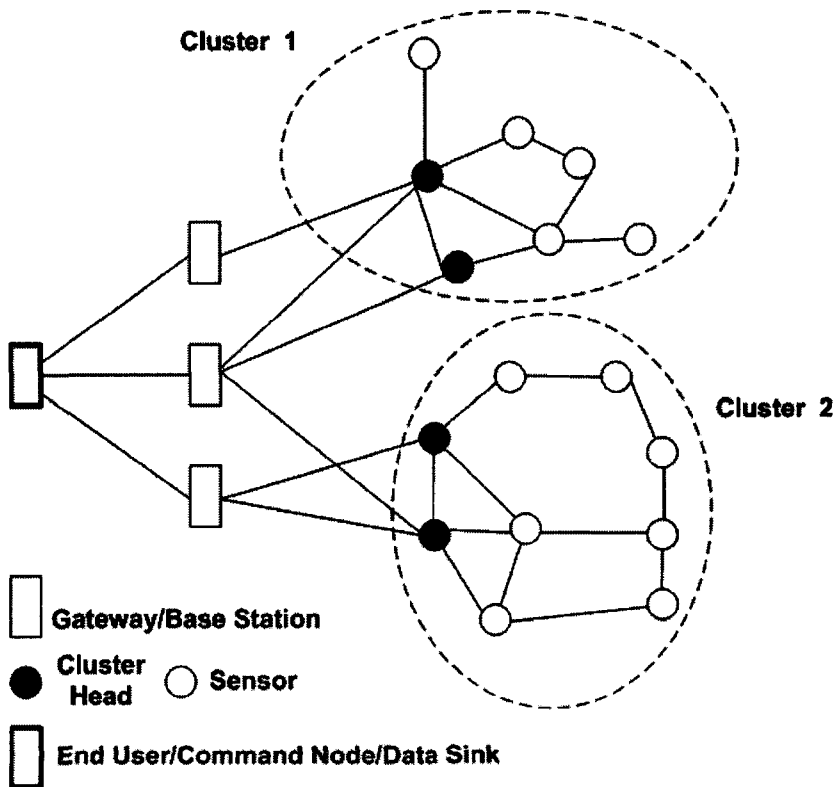




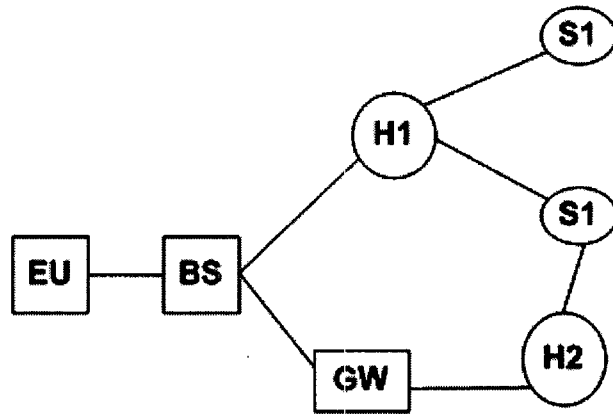
(b) 그래프 모델

협력의 분산 센서네트워크에서 신뢰성 있는 환경의 감시는 클러스터내 센서들의 협력적인 동작에 좌우된다. 그러므로 전통적인 종단간의 신뢰도 정의를 여기에 적용할 수 가 없다.

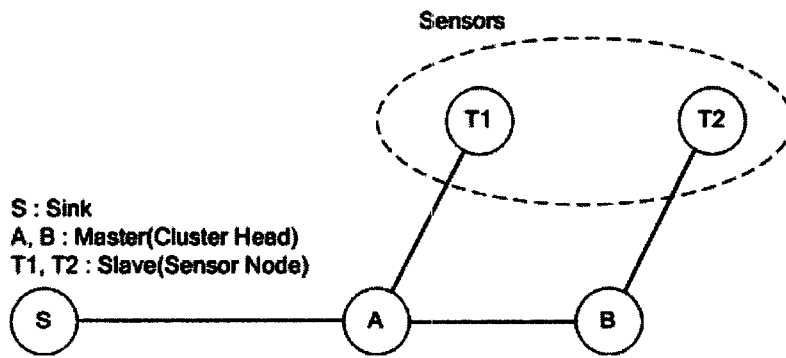
최근에 event-to-sink 와 sink-to-sensors 신뢰도에 대한 연구가 활발히 제안 되고 있다. [10] [11]



(a) DSN



(b) 그래프 모델(I)



(c) 그래프 모델(II)

(그림 3) DSN과 그래프 모델

### 3. DSN의 두 접합점간 신뢰도 계정에 관한 알고리즘

2장에서 서술한 확률적 그래프 모델을 바탕으로 두 접합 점간 신뢰도 계정에 관한 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

[단계 1] 주어진 무선 센서 네트워크를 확률적 그래프로 표현한다.

[단계 2] 특정한 두 접합 점간의 모든 단순경로를 구한다. 여기서, 단순경로라 함은 접합 점과 지로로 구성되는 그래프에 있어서 폐로를 형성함이 없이 두 접합점 사이에 이루어지는 경로를 의미한다.

[단계 3] 단순경로를 변수가 적은 항부터 순서대로 나열하여 논리식 형태로 표현한다.

[단계 4] 각 항간에 순차적으로 반복하여 샤프산법(Sharp operation)을 적용한다.[12]

이때 각 항간에 동일변수가 상보(Complement)가 될 때 까지 샤프연산을 시행한다.

[단계 5] 샤프연산에 의해서 구해진 최소화 된 논리식에 각 변수에 대한 확률 값을 취하여 두 집합 점간 신뢰도 계정식을 구한다.

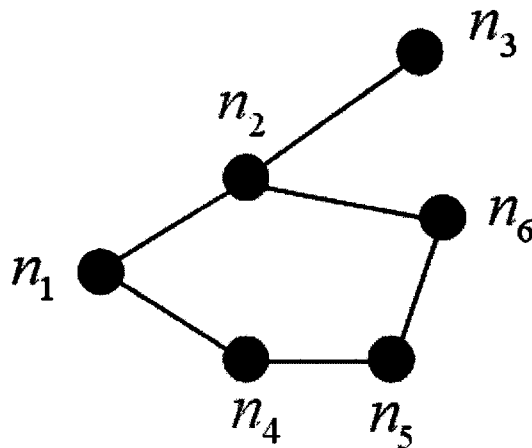
### 4. DSN의 신뢰도 계정 계산 예

4.1 DSN의 신뢰도 계정에 대해서 그림 3(b)을 이용한다. 알고리즘 순서에 따라

[단계 1] DSN 즉, 그림 3(b)에 대한 확률적 그래프는 그림 4로 표현된다.

여기서, 소스 집합 점은  $n_1$ , 싱크 집합 점은  $n_3, n_6$ 로 본다.

노드의 확률 값을  $p_{n_1} = 1, p_{n_2} = p_{n_4} = p_{n_5} = 0.6, p_{n_3} = p_{n_6} = 0.5$ 이라고 하면



(그림 4) DSN의 확률적 그래프(I)

[단계 2] 집합점  $n_1$ 과  $n_3, n_6$  사이의 모든 단순경로를 구하면 다음과 같은 집합 점의 직렬연결의 집합을 얻는다.

$$\{n_1n_2n_3, n_1n_2n_6, n_1n_4n_5n_6\}$$

여기서, 단순경로를 집합면만으로 표현한 것은 지로는 완전히 신뢰할 수 있다고 가정하였기 때문이다.

[단계 3] 논리식 형태로 표현하면 다음과 같다

$$F = n_1 n_2 n_3 + n_1 n_2 n_6 + n_1 n_4 n_5 n_6$$

[단계 4] 각 항간에 순차적으로 반복하여 샤프 산법을 적용하면

$$F = n_1 n_2 n_3 + n_1 n_2 n'_3 n_6 + n_1 n_2 n'_3 n_4 n_5 n_6 + n_1 n'_2 n'_3 n_4 n_5 n_6$$

[단계 5]  $P_{s,t} = P[F]$

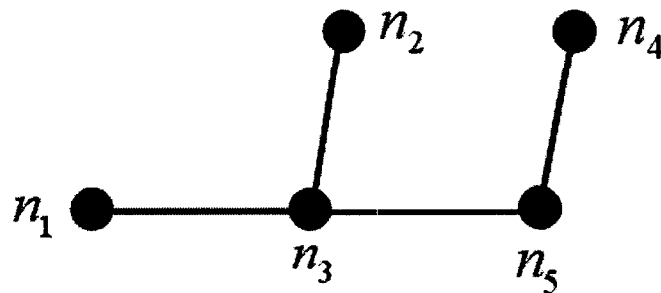
$$\begin{aligned} &= p_{n_1} p_{n_2} p_{n_3} + p_{n_1} p_{n_2} q_{n_3} p_{n_6} + p_{n_1} q_{n_2} p_{n_3} p_{n_4} p_{n_5} p_{n_6} + p_{n_1} q_{n_2} q_{n_3} p_{n_4} p_{n_5} p_{n_6} \\ &= 1 \cdot (0.6) \cdot (0.5) + 1 \cdot (0.6) \cdot (1-0.5) \cdot (0.5) + \\ &\quad 1 \cdot (1-0.6) \cdot (0.5) \cdot (0.6) \cdot (0.6) \cdot (0.5) + \\ &\quad 1 \cdot (1-0.6) \cdot (1-0.5) \cdot (0.6) \cdot (0.6) \cdot (0.5) + \\ &= 0.3 + 0.15 + 0.036 + 0.036 \\ &= 0.522 \end{aligned}$$

4.2 DSN의 신뢰도 계정에 대해서 그림 3(c)을 이용한다. 알고리즘 순서에 따라

[단계 1] DSN 즉, 그림 3(c)에 대한 확률적 그래프는 그림 5로 표현된다.

여기서, 소스 집합 점은  $n_1$ , 싱크 집합 점은  $n_2, n_4$ 로 본다.

노드의 확률 값을  $p_{n_1} = 1, p_{n_3} = p_{n_5} = 0.9, p_{n_2} = p_{n_4} = 0.5$ 이라고 하면



(그림 5) DSN의 확률적 그래프(II)

[단계 2] 집합점  $n_1$  과  $n_2, n_4$  사이의 모든 단순경로를 구하면 다음과 같은 집합 점의 직렬연결의 집합을 얻는다.

$$\{n_1 n_2 n_3, n_1 n_3 n_5 n_4\}$$

여기서, 단순경로를 집합면만으로 표현한 것은 지로는 완전히 신뢰할 수 있다고 가정하였기 때문이다.



[단계 3] 논리식 형태로 표현하면 다음과 같다

$$F = n_1 n_2 n_3 + n_1 n_3 n_5 n_4$$

[단계 4] 각 항간에 순차적으로 반복하여 샤프 산법을 적용하면

$$F = n_1 n_2 n_3 + n_1 n'_2 n_3 n_4 n_5$$

[단계 5]  $P_{s,t} = P[F]$

$$\begin{aligned} &= p_{n_1} p_{n_2} p_{n_3} + p_{n_1} q_{n_2} p_{n_3} p_{n_4} p_{n_5} \\ &= 1 \cdot (0.5) \cdot (0.9) + 1 \cdot (1-0.5) \cdot (0.9) \cdot (0.5) \cdot (0.9) \\ &= 0.45 + 0.2025 \\ &= 0.6525 \end{aligned}$$

## 5. 결론 및 향후과제

DSN은 센서 노드들이 배치된 센서 필드(sensor field)와 센서 필드와 외부 망을 연결하는 싱크(sink)로 구성된다. 즉, 사용자나 응용은 싱크를 통하여 센서 필드에 질의를 전달하거나 센서 필드에서 수집된 데이터를 전달 받을 수 있다.

클러스터 기반의 DSN은 그림 2와 같이 수많은 센서 노드로 구성된 클러스터를 기반으로 하고 있다. 센서들은 작업영역에서 하나의 클러스터에 속하여 신뢰할 수 있는 데이터를 제공한다. 또한 센서의 고장으로 인하여 네트워크의 고장을 초래해서는 안 된다. 각각의 클러스터는 클러스터 헤드(cluster head)를 가지고 있으며, 클러스터 헤드는 싱크와 센서간의 패킷을 라우팅 한다. 클러스터 헤드의 고장으로 클러스터가 네트워크에 연결되지 않을 수 있으므로, 부호 클러스터 헤드를 지정해 두어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 무선 통신망의 특정한 접합 점간의 신뢰도를 계정하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 먼저 무선 센서 네트워크를 이에 상등하는 비 방향성 확률적 그래프로 모형화 한 다음, 두개의 특정한 접합 점간의 단순경로를 접합 점의 직렬연결 형태로 구하였다. 여기서 단순경로를 접합 점만으로 표현한 것은 링크는 완전히 신뢰할 수 있다고 가정하였기 때문이다. 다음, 단순경로간의 중복된 사상을 제거하기 위해서 샤프연산을 적용 시킨 후, 신뢰도를 계정하였다.

본 연구에서는 확률적 그래프의 링크는 완전하다고 가정하였다. 그러나 현실적으로는 그렇지 않다. 예를 들면 상등하는 클러스터간의 거리, 무선 매체의 저속, 제한된 전원공급 등이다. 앞으로 더 연구해야 할 과제로는 확률적 그래프의 링크가 완전하지 않을 경우, 두 접합 점간 신뢰도 계정에 관한 연구가 필요하다고 본다.

향후에는 본 연구에서 고려한 네트워크의 링크고장 뿐만 아니라, 노드의 고장도 고려하여 네트워크의 성능을 평가하는 연구가 이루어져야 할 것이다. 그리고 무선 센서 네트워크를 위해 제안된 다른 라우팅 기법이 적용된 네트워크에 대한 성능평가도 진행 되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 이준혁, 오영환, “클러스터링 라우팅 프로토콜을 기반으로 한 센서 네트워크에서의 Throughput 과 Availability 평가”, 한국통신학회 추계종합 학술 발표회 논문 초록집 2005년 11월, Vol. 32, pp250
- [2] 배정숙, 김성희, “무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜”, ITFIND 주간기술동향, 2004년 4월 7일
- [3] J. Agre and L. Clare, “An integrated architecture for cooperative sensing networks,” *IEEE Comput.*, vol. 5, pp. 106~108, 2000.
- [4] J. M. Rabaey, M. J. Ammer, J. L. da Silva, and D. P. Roundy, “PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking,” *IEEE Comput.*, vol. 7, pp. 42~48, 2000.
- [5] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey,” *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393~422, 2002.
- [6] S. De, C. Qiao, and H. Wu, “Meshed multipath routing with selective forwarding: an efficient strategy in wireless sensor networks,” *Computer Networks*, vol. 43, pp. 481~497, 2003.
- [7] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin, “Highly resilient, energy efficient multipath routing in wireless sensor networks,” *Mobile Computing and Communication Review (MC2R)*, vol. 1, no. 2, 2002.
- [8] P. Krishna, N. Vaidya, M. Chatterjee, and D. Pradhan, “A cluster-based approach for routing in dynamic networks,” *ACMSIGCOMM Computer Communications Review*, pp. 372~378, 1997.
- [9] C. Schurgers and M. B. Srivastava, “Energy efficient routing in wireless sensor networks,” in *Military Communications Conference, MILCOM 2001 Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, vol. 1, pp. 357~361.
- [10] Y. Sankarasubramaniam, O. B. Akan, and I. F. Akyildiz, “ESRT: event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks,” in *Proc. MobiHoc' 03*, Jun. 1-3, 2003, pp. 177 - 188.
- [11] S. Park and R. Sivakumar, “Sink-to-sensors reliability in sensor networks,” in *MobiHoc' 03*, Jun. 1-3, 2003.
- [12] D·C Rine, *Computer Science and Multiple-Valued Logic Theory and Application*, Elsevier Science, New York, 1984