

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.4.115>

IIBC 2017-4-14

Fuzzy를 적용한 LEACH Protocol 기반 무선 센서 네트워크 프로토콜

Wireless Sensor Network Protocol based on LEACH Protocol using Fuzzy

이종용*

Jong-Yong Lee*

요약 무선 센서 네트워크는 현실로부터 데이터 수집이 가능한 센서가 장착된 노드들이 무선으로 구성된 네트워크이다. 센서 노드들이 무선으로 구성되었기 때문에 배터리와 같은 제한된 전원을 가지게 된다. 센서 노드의 배터리가 모두 소모되어 버리면 해당 노드는 더 이상 사용할 수 없게 되며, 일정 이상의 노드가 죽으면 네트워크는 제 역할을 못하게 된다. 에너지 효율을 높이기 위한 무선 센서 네트워크 프로토콜은 여러 가지가 있으며, 그 중 LEACH Protocol이 대표적이다. LEACH Protocol은 클러스터 기반 프로토콜로 센서 공간을 클러스터로 나누어 노드 간 송수신을 한다. 그렇기 때문에 클러스터가 어떻게 구성되었느냐에 따라 에너지의 소모양이 줄어들기도 늘어나기도 한다. 클러스터 선정하는 방법을 Fuzzy를 이용하여 개선한 세 종류 프로토콜과 기존 LEACH Protocol의 네트워크 수명을 비교해보고자 한다.

Abstract A wireless sensor network is a network in which nodes equipped with sensors capable of collecting data from the real world are configured wirelessly. Because the sensor nodes are configured wirelessly, they have limited power such as batteries. If the battery of the sensor node is exhausted, the node is no longer usable. If more than a certain number of nodes die, the network will not function. There are many wireless sensor network protocols to improve energy efficiency, among which LEACH Protocol is a typical example. The LEACH protocol is a cluster-based protocol that divides sensor space into clusters and transmits and receives data between nodes. Therefore, depending on how the cluster is structured, the shape of the energy cow may decrease or increase. We compare the network lifetimes of the existing LEACH protocols and the three types of protocols that have been improved using fuzzy methods for cluster selection.

Key Words : Wireless, Sensor, Network, Protocol, Fuzzy, LEACH

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 데이터를 수집할 수 있는 센서 노드들이 무선으로 구성된 네트워크를 말한다.

센서 노드들은 일반 가정이나 자연 환경, 도로 등에 설치되어 환경의 변화를 측정 혹은 관찰할 수 있다. 또한

센서 노드들이 무선으로 구성되었기 때문에 사람이 실제로 갈 수 없는 곳에도 설치가 가능하다. 이러한 네트워크는 일상생활의 여러 분야에서 활용되고 있고 우리의 삶을 더욱 편리하게 해준다.

무선 센서 네트워크는 이러한 장점들도 있지만 단점도 존재한다. 무선 센서 네트워크는 유선 네트워크와는

*정회원, 광운대학교 인제니움학부대학
접수일자: 2017년 6월 26일, 수정완료: 2017년 7월 26일
게재확정일자: 2017년 8월 11일

Received: 26 June, 2017 / Revised: 26 July, 2017 /

Accepted: 11 August, 2017

*Corresponding Author: jyonglee@kw.ac.kr

Ingenium college of liberal arts, Kwangwoon University, Korea

달리 센서 노드마다 배터리와 같은 제한된 전원이 장착되어 동작한다. 배터리가 모두 소모되면 해당 센서 노드는 더 이상 제 역할을 하지 못하게 된다. 그렇기에 네트워크가 오랫동안 유지되려면 소비되는 에너지를 최적화하여 에너지 소모를 최소화해야 한다.

네트워크의 에너지 효율을 높이기 위한 무선 센서 네트워크 프로토콜이 다수 존재하며 [1][2][3] 그 중 대표적인 프로토콜이 LEACH Protocol [4]이다. LEACH Protocol은 클러스터 기반 프로토콜로 클러스터 헤드 선출 확률식을 이용하여 클러스터 헤드를 주기적으로 순환시켜 선정하는 프로토콜이다. 다만 LEACH Protocol은 노드의 잔여 에너지나 노드 간의 거리 등을 고려하지 않아 비효율적이게 클러스터가 구성되는 경우가 있다. 이를 개선하기 위해 Fuzzy Logic을 적용한 프로토콜이 제안되었고, 그 중 Gupta's Fuzzy Logic [5], CHEF [6], LEACH-FL [7]을 기존 LEACH Protocol과 비교해보고자 한다.

II. 본 문

1. LEACH Protocol

LEACH Protocol은 클러스터 기반 라우팅 프로토콜이다. 센서 공간을 클러스터로 나누고, 클러스터마다 클러스터 헤드를 담당하는 노드가 하나씩 있다. LEACH Protocol은 클러스터 헤드 선출이 이루어지는 설정 단계와 실질적으로 전송이 이루어지는 정상 상태 단계가 있다. 클러스터 헤드는 클러스터 내 멤버 노드의 데이터를 모아 전송하기 때문에 에너지 소모가 많다. 에너지 소모를 균일하게 분산시키는 것을 목적으로 LEACH Protocol은 주기마다 클러스터가 바뀌게 된다. 설정 단계에서는 아래 식과 같은 확률 공식을 이용하여 클러스터 헤드를 선정한다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

위 식 (1)에서 r 은 현재 라운드를 나타낸다. 집합 G 는 이전 라운드까지 클러스터 헤드에 선정되지 않은 노드들의 집합이다. 만약 집합 G 가 비어 더 이상 클러스터 헤드가 될 수 있는 노드가 없을 경우, 에너지가 남아 있는 노드들 모두 클러스터 헤드가 될 수 있도록 집합 G 에 넣는

다. 각각의 라운드가 시작되면 각각의 노드들이 독립적으로 자신이 집합 G 에 속하는지 확인 후 집합 G 에 속할 경우 0과 1 사이의 임의의 수를 이용하여 임계치와 비교한다. 만약 임의의 수가 임계치 $T(n)$ 보다 작다면 노드는 현재 라운드에서 클러스터 헤드가 된다. 클러스터 헤드가 모두 선정되고 나면 클러스터 내 멤버 노드들은 데이터를 클러스터 헤드로 전송한다. 클러스터 헤드는 수신 받은 데이터들은 모두 모아 자신의 데이터와 함께 지국으로 전송한다. LEACH Protocol의 순서도는 아래 그림과 같다.

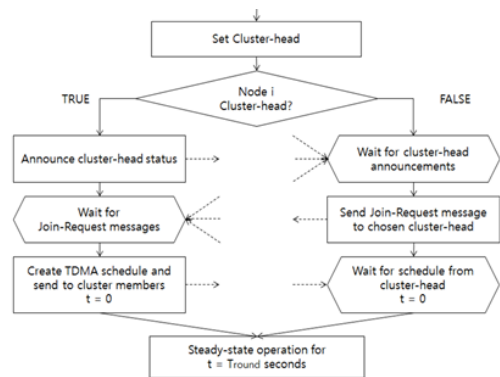


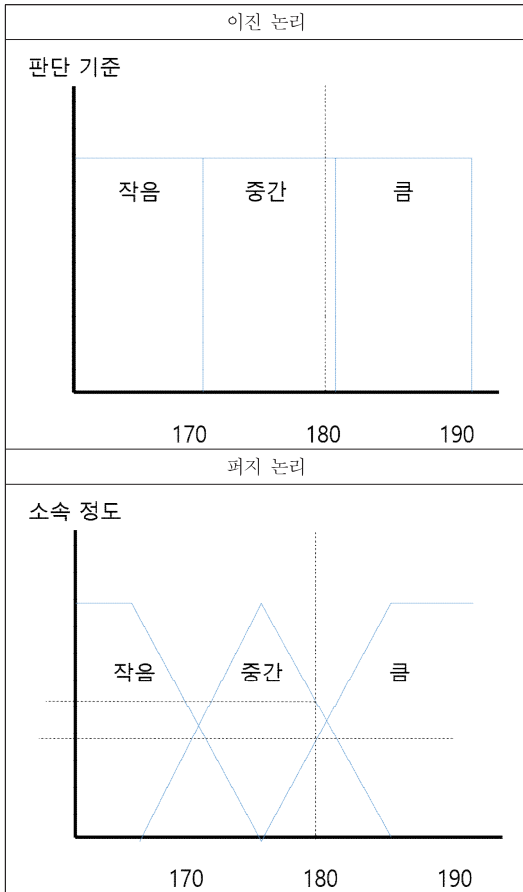
그림 1. LEACH Protocol의 순서도
Fig. 1. Flowchart of LEACH Protocol

2. Fuzzy Logic

Fuzzy Logic은 자연 언어 등에서 발생할 수 있는 소속이 불분명한 원소나 모호한 상태 등을 이진 논리가 아닌 다치성으로 표현하는 논리 개념이다. 퍼지 논리는 기본적으로 1965년 Lotfi Asker Zadeh가 제안한 퍼지 집합의 개념을 기초로 하여 만들어진 것으로, 비교 대상이 집합 A 에 속하는 것을 참 거짓의 이진 논리가 아닌, Membership Function을 이용해 하나의 양으로 표현한다. 이진 논리와 퍼지 논리를 이용하여 사람의 키에 대한 집합을 나타내면 표 1과 같다.

신장 179.9cm인 사람을 이진 논리로 판단할 경우, 비교 대상이 180cm 미만이기 때문에 ‘큼’ 집합에 속하지 못하고 ‘보통’ 집합에 속하게 된다. 하지만 퍼지 논리로 판단할 경우, 179.9cm인 사람은 ‘보통’ 집합과 ‘큼’의 집합에 일정 부분 속하게 됨으로써 “중간 내지는 크다 혹은 조금 크다”는 것을 수학적 함수로 표현할 수 있게 된다.

표 1. 이진 논리와 퍼지 논리로 나타낸 키의 범위
 Table 1. Range of height in binary logic and fuzzy logic



3. Gupta's Fuzzy Logic

저자 Gupta의 경우 LEACH Protocol의 클러스터 헤드 선정 임계식을 Fuzzy 연산을 통해 개선하고자 했다. 임계식 대신 노드의 잔여 에너지와 노드의 밀도, 노드의 중심도를 고려하여 Fuzzy 연산을 통해 클러스터 헤드를 선출하였다. Fuzzy 연산은 일반적으로 많이 사용되는 Mamdani 추론법을 사용하였고, 다음과 같은 과정을 거친다.

1. 입력 변수 퍼지화: 노드의 잔여 에너지, 노드의 밀도, 노드의 중심도를 입력 받아 각 입력이 적절한 퍼지 집합에 속하는 정도를 결정하여 소속 함수로 변환
2. 퍼지 규칙 평가: 퍼지 규칙에 퍼지화된 입력 변수를 대입하여 결과 추론

3. 규칙 출력 병용합: 추론된 결과들을 통합하여 출력
4. 역퍼지화: 출력된 퍼지값을 보통의 수치로 변환시키는 과정

역퍼지화 시 무게중심법을 이용하여 계산한다. 식은 다음 식 2와 같다.

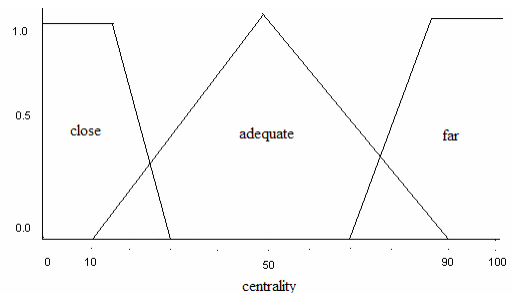
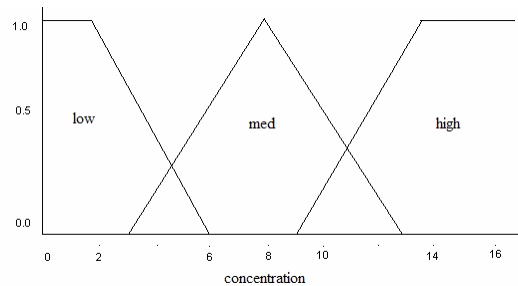
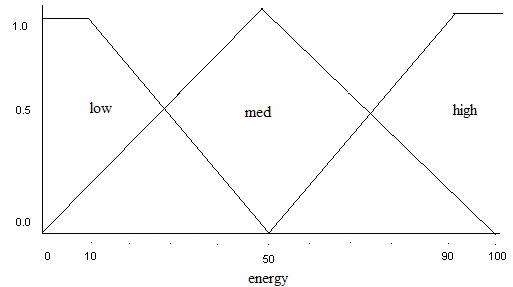
$$COG = \frac{\sum \mu_A(x) * x}{\sum \mu_A(x)} \quad (2)$$

Gupta의 Fuzzy Logic에서는 아래 표 2와 같은 입력 변수 및 그림 2와 같은 퍼지 집합을 가진다.

여기서 노드 밀도는 해당 노드 기준으로 상하좌우 10M씩, 20M x 20M 범위 내 노드 밀도를 말한다.

표 2. 입력 변수: Gupta's Fuzzy Logic
 Table 2. Input Variable: Gupta's Fuzzy Logic

입력	소속		
노드 잔여 에너지	낮음	중간	높음
노드 밀도	낮음	중간	높음
노드 중심도	가까움	적절함	멀리 있음



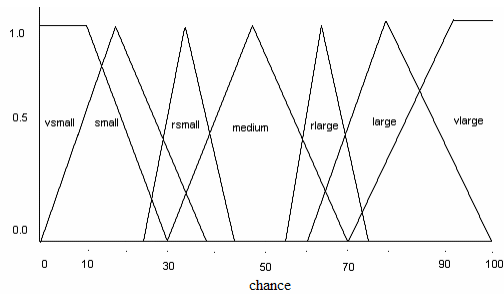


그림 2. 퍼지 입력 변수에 따른 퍼지 집합: Gupta's Fuzzy Logic

Fig. 2. Fuzzy set of input variable: Gupta's Fuzzy Logic

Gupta's Fuzzy Logic에서는 매 라운드 마다 모든 노드의 찬스 값이 연산된다.

찬스 값 연산이 완료되었으면, 찬스 값이 높은 순서대로 클러스터 헤드로 선정된다.

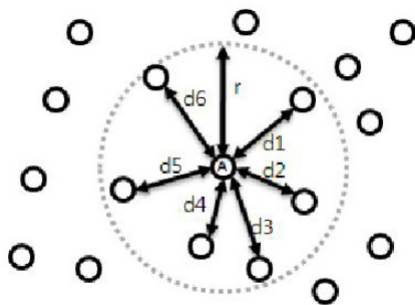
4. CHEF

CHEF의 Fuzzy Logic에서는 아래 표 3과 같은 입력 변수와 그림 3과 같은 퍼지 집합을 가진다.

표 3. 입력 변수: CHEF

Table 3. Input variable: CHEF

입력	소속		
	낮음	중간	높음
노드 잔여 에너지			
노드 중심도	가까움	적절함	멀리있음



$$\text{노드 중심도} = d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6$$

그림 3. 노드 A의 거리 r이내의 노드 중심도

Fig. 3. Distances between the node A and other nodes within r

그리고 표 6과 같은 퍼지 규칙을 가지고 있다.

여기서 노드 중심도란 그림 4와 같이 해당 노드의 일정 범위 r 내에 위치한 노드와의 거리 합을 말한다.

일정 범위 r은 다음 식 3과 같다.

$$r = \sqrt{\frac{M}{\pi n P}} \quad (3)$$

위 식에서 M은 센서 공간의 크기, P는 클러스터 헤드 선정 확률, n은 총 노드 개수를 의미한다.

CHEF의 경우 기존 LEACH Protocol과 동일하게 클러스터 헤드 선정을 한다.

이후, 선정된 클러스터 헤드와 해당 클러스터 내 멤버 노드 간의 찬스 값을 비교하여, 높은 값을 가진 노드로 클러스터 헤드를 교체한다.

5. LEACH-FL

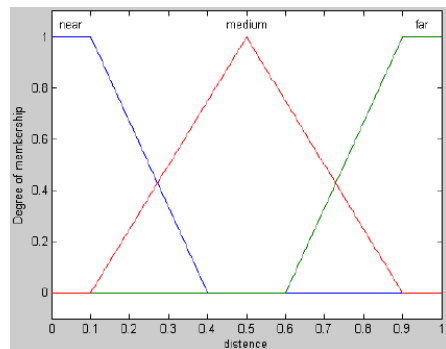
LEACH-FL의 Fuzzy Logic에서는 아래 표 4와 같은 입력 변수 및 그림 4와 같은 퍼지 집합을 가진다. 아래 퍼지 집합과 아래 식을 이용하여 퍼지 확률값을 구한다.

확률 = (노드 잔여 에너지) * 2 + (노드 밀도) + (2 - 노드 중심도)

표 4. 입력 변수: LEACH-FL

Table 4. Input variable: LEACH-FL

입력	소속		
	낮음(0)	중간(1)	높음(2)
노드 잔여 에너지			
노드 밀도	희박함(0)	중간(1)	질음(2)
노드 중심도	가까움(0)	적절함(1)	멀리있음(2)



III. 모의 실험

표 5. 실험 매개변수

Table 5. Simulation Parameters

매개 변수	값
센서 공간 (M x M)	100 x 100
노드 개수 (n)	100
초기 에너지 (E_0)	0.5 J
전송 데이터양	1000 bits
전송 에너지(E_{elec})	50 nJ/bit
데이터 결합 에너지(E_{DA})	5 nJ/bit/signal
증폭 에너지(ϵ_{fs})	10 pJ/bit/m ²
증폭 에너지(ϵ_{mp})	0.0013 pJ/bit/m ²

위 실험 조건을 적용하여 LEACH Protocol과 Fuzzy 를 사용한 3가지 프로토콜(Gupta's Fuzzy Logic, CHEF, LEACH-FL)의 네트워크 수명을 비교해 보았다. 기지국의 위치가 센서 공간 바깥에 있을 때와 센서 공간의 중앙에 있을 때 두 가지 조건으로 실험을 진행하였다.

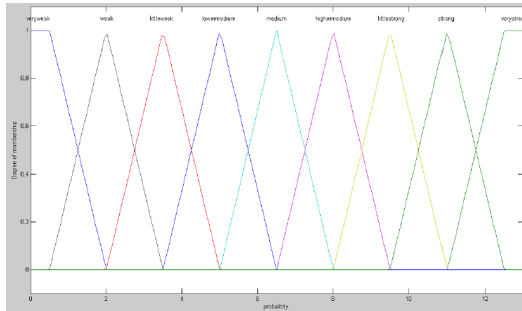
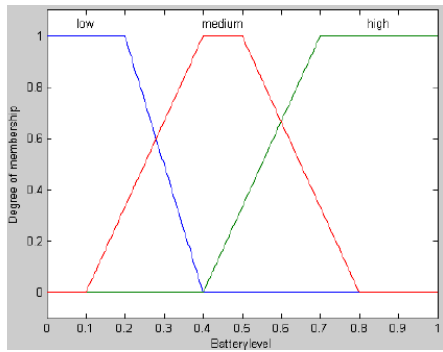
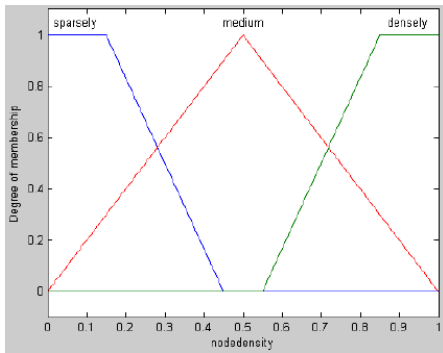
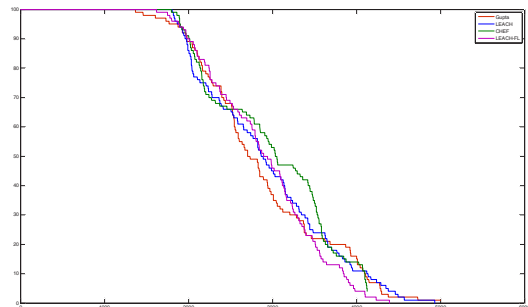


그림 4. 퍼지 입력 변수에 따른 퍼지 집합: CHEF
 Fig. 4. Fuzzy set of input variable: CHEF

LEACH-FL의 경우 LEACH Protocol과 거의 동일하게 동작한다.

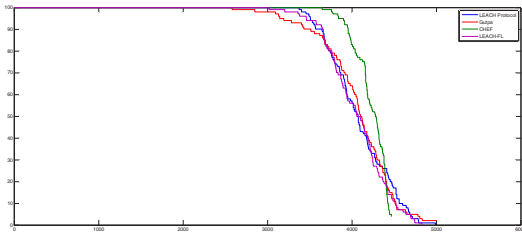
LEACH Protocol에서는 임계식 $T(n)$ 의 값과 각 노드 간의 난수를 비교하여 클러스터 헤드를 선정했지만, LEACH-FL에서는 연산된 퍼지 확률값과 $T(n)$ 의 값을 비교하여 클러스터 헤드를 선정한다.



	LEACH Protocol	Gupta	CHEF	LEACH-FL
FND	1808	1370	1797	1620
80% Alive	2042	2168	2136	2245 [9.9%▲]
50% Alive	2866	2705	3037 [6%▲]	2895

그림 5. 기지국의 위치가 50 x 150일 때 네트워크 수명

Fig. 5. Network lifetime when the location of the base station is 50 x 150



	LEACH Protocol	Gupta	CHEF	LEACH-FL
FND	3375	2581	3648 [8%▲]	3021
80% Alive	3744	3754	4038 [7.9%▲]	3764
50% Alive	4074	4102	4280 [5.1%▲]	4057

그림 6. 기지국의 위치가 50 x 50일 때 네트워크 수명
Fig. 6. Network lifetime when the location of the base station is 50 x 50

기지국이 센서 공간의 중앙에 위치할 경우 CHEF가 가장 좋은 효율을 보여주었다.

각 프로토콜 별 1~2라운드, FND가 발생했을 때 센서 공간 상황은 다음 그림 7~9과 같다.

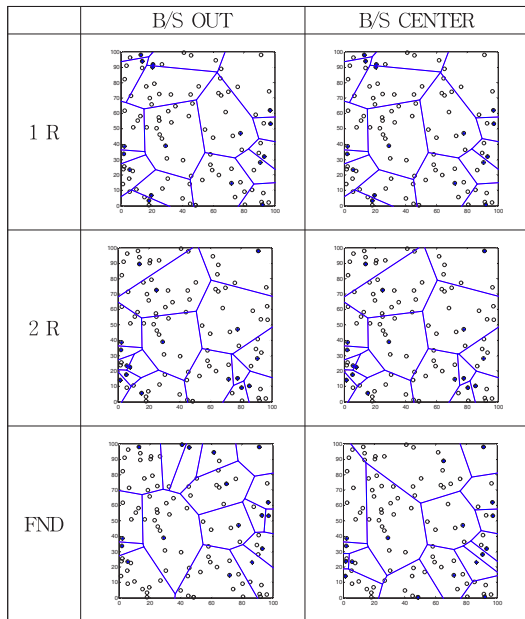


그림 7. 라운드 별 노드 배치 및 클러스터 구성도: Gupta's Fuzzy Logic
Fig. 7. Node placement and cluster configuration by round: Gupta's Fuzzy Logic

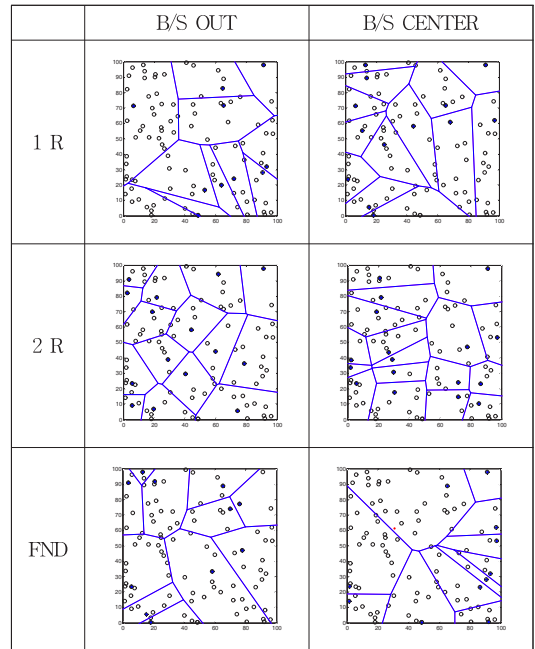


그림 8. 라운드 별 노드 배치 및 클러스터 구성도: CHEF
Fig. 8. Node placement and cluster configuration by round: CHEF

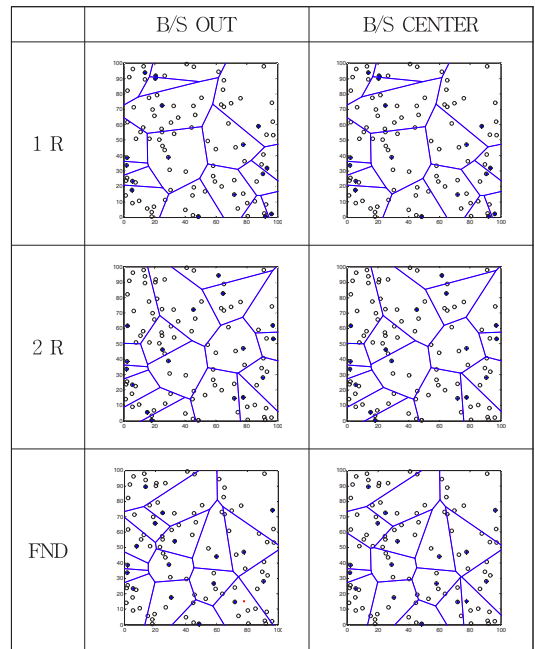


그림 9. 라운드 별 노드 배치 및 클러스터 구성도: LEACH-FL
Fig. 9. Node placement and cluster configuration by round: LEACH-FL

V. 결론

위 실험 결과를 보면, Fuzzy를 사용한 세가지 프로토콜 중 CHEF가 좋은 네트워크 수명을 보여주었다.

CHEF의 경우 LEACH Protocol의 임계식을 함께 사용하여 기지국의 위치에 따라 클러스터가 바뀌는 모습도 보여주었다.

다른 두 프로토콜은 기지국의 위치와 상관없이 항상 같은 클러스터 결과를 보여주었다. 덕분에 Gupta's Fuzzy Logic과 LEACH-FL의 경우 기지국의 위치가 외부에 있을 때에는 비효율적일 수 있다.

References

- [1] J.Y. Lee and K.D. Jung and B.Shrestha and J.S. Lee "Energy Efficiency Improvement of the of a Cluster Head Selection for Wireless Sensor Networks", International Journal of Smart Home, Vol.8, No.3 (2014), pp.9-18, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2014.8.3.02>
- [2] J.Y. Lee, "Energy Improvement of WSN Using The Stochastic Cluster Head Selection", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 15, No. 1(2015), pp.125-129.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.1.125>
- [3] Y.I. Song, K.D. Jung, S.R. Lee, and J.Y. Lee, "A Study of Cluster Head Election of TEEN applying the Fuzzy Inference System", International Journal of Advanced Smart Convergence, Vol.5, No.1(2016), pp. 66-72.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IJASC.2016.5.1.66>
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.

DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>

- [5] I. Gupta, D. Riordan, and S. Sampalli, "Cluster-head Election using Fuzzy Logic for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'05), 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CNSR.2005.27>
- [6] J.M. Kim, S.H. Park, Y.J. Han, and T.M. Chung, "CHEF: Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic in Wireless Sensor Networks", In Advanced communication technology, 2008. (ICACT 2008). 10th international conference on IEEE, Vol. 1, pp. 654-659.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACT.2008.4493846>
- [7] G. Ran, H. Zhang, and S. Gong, "Improving on LEACH Protocol of Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic", Journal of Information & Computational Science, Vol. 7, No. 3 (2010), pp. 767-775.

저자 소개

이 중 용(정회원)



- 1983년 2월: 한양대학교 원자력공학과 (공학사)
- 1988년 2월: 광운대학교 전자공학과(공학석사)
- 1993년 2월: 광운대학교 전자공학과(공학박사)
- 2005년 3월~현재: 광운대학교 교수

<관심분야> 자동제어, 센서네트워크, 영상인식

※ 이 논문은 2016년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.