

무선 센서 액터 네트워크에서 액터의 연결성과 커버리지를 향상시키기 위한 클러스터 구성

김 영 균*, 전 창 호**

Clustering for Improved Actor Connectivity and Coverage in Wireless Sensor and Actor Networks

Young-Kyun Kim*, Chang-Ho Jeon**

요 약

본 논문은 싱크 기반 무선 센서 액터 네트워크에서 액터의 연결성과 커버리지를 향상시키기 위하여 홉 거리를 기반으로 클러스터를 구성하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 싱크로부터 일정한 홉 간격으로 CH(Cluster Head)를 선출함으로써 목표영역에 고르게 분포된 센서 클러스터를 생성한다. CH 선출은 CH 위치에 배치되는 액터들과 싱크의 연결성을 보장하기 위해서 싱크로부터 순차적으로 진행된다. 또한 액터의 커버리지를 향상시키기 위해서 센서 밀도가 높은 영역부터 우선적으로 이루어진다. 제안한 알고리즘을 통하여 일정한 분포로 클러스터를 구성하여 중첩을 최소화함으로써 목표영역에서 생성되는 클러스터 수와 CH 위치에 배치되는 액터 수를 감축한다. 시뮬레이션을 수행하여 제안한 알고리즘이 싱크에 연결이 보장된 액터 네트워크를 형성함을 검증하였다. 그리고 기존의 IDSC 알고리즘에 비해 액터 커버리지를 향상시킴으로써 배치되는 액터 수를 9~20% 감축함을 확인하였다.

▶ Keywords : 무선 센서 액터 네트워크, 클러스터, 연결성, 커버리지

Abstract

This paper proposes an algorithm that forms the clusters on the basis of hop distance in order to improve the actor coverage and connectivity in the sink-based wireless sensor and actor networks. The proposed algorithm forms the clusters that are distributed evenly in the target area by electing the CHs(Cluster Heads) at regular hop intervals from a sink. The CHs are elected

•제1저자 : 김영균 •교신저자 : 전창호

•투고일 : 2014. 6. 18. 심사일 : 2014. 7. 21. 게재확정일 : 2014. 8. 8.

* 안산대학교 인터넷정보과 (Dept. of Internet Information, Ansan University)

** 한양대학교 ERICA 캠퍼스 컴퓨터공학과 (Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University ERICA Campus)

sequentially from the sink in order to ensure the connectivity between the sink and the actors that are located on the CHs. Additionally, the electing are achieved from the area of the higher rate of the sensors density in order to improve the actor coverage. The number of clusters that are created in the target area and the number of the actors that are placed on the positions of the CHs are reduced by forming the clusters with regular distribution and minimizing the overlap of them through the proposed algorithm. Simulations are performed to verify that the proposed algorithm constructs the actor network that is connected to the sink. Moreover, we shows that the proposed algorithm improves the actor coverage and, therefore, reduces the amount of the actors that will be deployed in the region by 9~20% compared to the IDSC algorithm.

▶ Keywords : wireless sensor and actor network, cluster, connectivity, coverage

I. 서 론

무선 센서 액터 네트워크(WSAN: Wireless Sensor and Actor Networks)는 센서와 액터가 무선으로 연결되어 있으며, 대량으로 분산 배치된 센서가 주변 환경을 감지하여 데이터를 전송하면 액터는 수신한 정보를 판단하여 상황에 따른 적절한 기능을 수행한다[1]. WSAN은 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)의 기능을 보완하며 자율적으로 주변 환경과 상호작용하는 다양한 응용에 적용 가능하기 때문에 최근에 많은 관심을 받고 있다. 예를 들어, 산림 감시 응용에서 센서가 화재를 감지하여 액터인 살수장치(water sprinkler) 로봇에게 정보를 전송하면, 액터는 중앙 제어 시스템인 싱크(sink)에게 정보를 전송하거나 액터들끼리 정보를 서로 공유하면서 적절한 위치로 이동하여 화재를 진압한다. 이와 같이 WSAN은 환경감시, 재난감시, 수색 및 구조, 주택 및 빌딩 관리, 농작물 관리 등 매우 다양한 분야에 응용 가능하다[1,2].

WSAN은 구조에 따라 싱크기반 WSAN(sink based WSAN), 센서-액터 WSAN, 액터-액터 WSAN 등으로 구분할 수 있다[2]. 싱크기반 WSAN은 센서, 액터 및 싱크 등으로 구성되며, 센서가 감지한 정보를 싱크에게 전송하면 싱크는 수신한 정보를 판단하여 액터에게 명령을 전달한다. 센서-액터 WSAN에서는 센서와 액터가 직접 연결되어 센서로부터 정보를 수신한 액터가 자율적으로 정보를 판단하고 역할을 수행한다. 액터-액터 WSAN에서는 액터들이 네트워크를 형성

하고 서로 협력하여 기능을 수행한다.

WSAN에서 커버리지(coverage)와 연결성(connectivity)은 응용 서비스의 성능을 보장하기 위한 매우 중요한 요소이다[3]. WSAN 응용에서 액터가 센서에 의해 감지된 정보에 대해 적절하게 대응하기 위해서는 목표영역(target area)을 최대한로 커버(cover)하여야 한다. 또한 액터들의 상호 협력이 필요한 응용에서는 액터들이 정보를 교류하면서 동기화하도록 서로 연결을 유지하여야 한다. 이와 같이 액터의 수행능력은 커버리지와 연결성에 의해 영향을 받으므로 이를 고려하여 액터를 배치하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 싱크기반 WSAN에서 액터는 많은 센서들을 커버하면서 싱크와 연결을 유지하도록 배치되어야 한다[4].

WSAN 응용을 넓은 영역에서 효율적으로 구현하기 위해서 네트워크를 주로 클러스터 형태로 구성한다[5,6]. 대부분의 클러스터 구성에서는 액터가 CH(Cluster Head) 또는 싱크로서 동작하며, 센서들로부터 정보를 수신하여 역할을 수행한다. 클러스터 형태로 구성된 WSAN에서 액터의 커버리지와 연결성을 향상하기 위해서는 액터 배치가 매우 중요하다. 커버리지가 향상되도록 액터를 배치하기 위해서는 액션범위(action range) 중첩을 최소화하면서 많은 센서를 수용하도록 센서들의 분포를 고려하여야 한다. 또한 연결성이 향상되도록 액터를 배치하기 위해서는 서로 일정한 거리를 유지하도록 액터의 신호 전송거리(transmission range)를 고려하여야 한다. 하지만 대부분의 WSAN 응용에서는 액터를 무작위로 배치하기 때문에 액터의 분포가 균일하지 않으며 커버리지 영역이 중첩되거나 연결이 단절된다. 따라서 액터의 커버리지와 연결성 향상을 위해 액터를 적절하게 분산 배치하는

방안이 필요하다.

본 논문에서는 액터의 커버리지와 연결성이 향상되도록 액터를 최적으로 분산 배치하기 위해 홉(hop) 기반으로 센서 클러스터를 구성하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 싱크 기반 WSN 환경에서 싱크로부터 일정한 홉 간격으로 CH를 선출함으로써 영역에 고르게 분포된 센서 클러스터를 생성한다. CH 선출은 CH 위치에 배치되는 액터들과 싱크의 연결성을 보장하기 위해서 싱크로부터 순차적으로 진행된다. 그리고 액터의 커버리지를 향상시키기 위해서 CH의 간격을 액터의 신호 전송거리와 동일한 크기인 홉 거리로 유지하면서 센서 분포 밀도가 높은 영역에서 우선적으로 CH를 선출한다. 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘이 싱크와 액터들의 연결성을 보장함을 검증하고, 제안하는 알고리즘의 커버리지 성능이 기존의 액터 배치 알고리즘에 비해 우수함을 확인한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 논문과 관련된 연구들을 살펴보고, 3장에서는 제안하는 클러스터 구성 알고리즘을 분석한다. 4장에서는 시뮬레이션 구현 환경 및 결과를 설명하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

WSN에서 커버리지와 연결성에 관한 연구는 최근에 새로운 연구 분야로 많은 주목을 받고 있다. [3]에서는 WSN 응용에서 커버리지 종류를 액터의 커버 대상에 따라 특정 영역(area)을 커버하는 영역 커버리지(area coverage)와 특정 목표물(object) 또는 지점(point)을 커버하는 목표 커버리지(target coverage) 등으로 구분하였다. [7]에서는 WSN에서 커버리지 향상을 위해 액터를 목표영역에 균일하게 배치하였다. 센서가 근접한 액터를 중심으로 클러스터를 형성하면, 액터는 클러스터 내에서 센서의 전송지연(delay)을 최소화하는 위치로 이동한다. [8,9]에서는 액터가 무작위로 배치되면, 상호간 척력(repelling force)이 작용하여 서로를 밀어내면서 확산한다. 액터의 척력은 신호세기 및 거리에 따라 비례하므로 일정한 거리까지 서로 밀어내면서 커버리지가 향상된다. 이들 연구에서는 커버리지를 향상시키기 위해 액터를 지리적으로 고르게 분산 배치한다. 하지만 액터를 배치할 때, 센서의 분포를 고려하지 않는다. 일반적으로 액터는 센싱 기능이 없으며 센서나 싱크로부터 정보를 수신하여 역할을 수행하기 때문에, 센서가 없는 영역으로 액터를 배치하는 것은 비효율적이다.

WSN에서 커버리지에 관한 연구는 대부분 영역 커버리지

를 다루고 있다. [10]에서는 커버리지 향상을 위해서 센서에 이동기능을 추가하였다. 목표영역에 센서들을 무작위로 배치하면 인접한 센서들과 연결을 유지하는 범위 내에서 서로를 밀어내며 최대로 확산함으로써 센서 커버리지가 향상된다. [11]에서는 센서들을 배치한 영역에서 커버리지 공백(hole)을 찾아 센서를 재배치하는 기법을 제안하였다. 이들 연구에서는 이동 가능한 센서를 사용하여 센서의 커버리지를 향상시켰다. 하지만 본 논문에서는 이들 연구와는 달리 액터에 의해 영향을 받는 센서 개수에 관심을 갖는 목표 커버리지를 다룬다.

WSN에서 액터의 연결성에 관해서는 최근에 연구가 많이 진행되고 있다. [12,13]에서는 액터 네트워크의 절단 정점(cut-vertex)에서 장애(fail)가 발생하여 네트워크 분할이 발생했을 때, 액터의 연결성을 확보하기 위해 네트워크 분할을 복구하는 알고리즘을 제안하였다. 네트워크가 분할되면 절단 정점으로부터 가장 근접한 위치에 있는 비 임계(non-critical) 액터가 장애를 일으킨 액터 위치로 이동하여 연결을 복구한다. [14]는 액터 네트워크에서 복수개의 액터에 장애가 발생하여 네트워크가 분할되었을 때, 이를 복구하는 기법을 제안하였다. 분할된 각 네트워크(세그먼트)에서 전체 네트워크 영역의 중심으로 액터(릴레이)를 점진적으로 이동하면서 분할된 다른 네트워크들과 연결을 형성한다. 하지만 이들 연구는 액터들의 연결이 이미 설정된 상태를 전제로 하고 있다. 또한 분할된 네트워크를 복구하기 위해 액터를 배치할 때 커버리지는 고려하지 않는다.

WSN에서 센서의 연결성을 유지하기 위해 클러스터를 구성하는 몇몇 연구가 진행되었다. [15]에서는 CH들의 연결성을 유지하기 위하여 CH 수명을 예상하여 클러스터를 구성하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 CH의 초기 에너지와 잔존 에너지의 비율을 기반으로 CH의 수명을 계산한다. 그리고 키(key) 센서들과 다중 연결을 설정함으로써 연결성을 유지한다. [16]에서는 연결된 k-DS(k-hop dominating set)를 기반으로 클러스터를 구성하였다. CH(dominator)는 연결자(connector)를 찾아 $(2k+1)$ 홉 거리에 있는 다른 CH(dominator)를 선출함으로써 CH 상호간의 연결성을 유지한다. 이와 같은 알고리즘들은 CH 상호간의 연결을 유지하도록 클러스터를 구성한다. 하지만 센서의 분포를 고려하지 않으며, 따라서 커버리지를 향상시키기 위한 CH 선출 방법으로는 적합하지 않다.

WSN에서 클러스터 구성은 주로 액터를 중심으로 이루어졌다. [5]에서는 센서의 잔존 에너지 량과 액터로부터의 거리에 근거하여 클러스터를 구성하는 알고리즘을 제안하였다.

이 알고리즘은 노드를 멤버, CH, 액터 등 3가지로 구분하고, 액터에 연결을 형성하면서 에너지 보유량이 큰 센서를 CH로 선출한다. 멤버가 감지한 데이터를 CH에게 전송하면, CH는 이 데이터를 액터에게 전송한다. [6]에서는 WSA에서 액터로부터의 거리에 근거하여 지리적으로 크기가 동일한 클러스터를 생성한다. 하지만, 이들 알고리즘들은 액터를 CH로 적용하지 않으며, 또한 액터의 커버리지와 상호연결성을 향상시키는 방안을 고려하지 않았다. 이에 반하여, [17]에서는 액터의 커버리지와 연결성을 고려하여 클러스터를 구성하는 IDSC(Independent Dominant Set based Clustering) 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 k-IDS (k-hop Independent Dominant Set) 기반으로 클러스터를 구성하고 액터를 CH 위치에 배치함으로써 액터의 연결을 유지하면서 커버리지를 향상시킨다. 하지만 CH들의 거리를 최대 간격으로 유지하지 않기 때문에 클러스터 커버리지가 중첩될 수 있다. 그리하여 생성되는 클러스터 수와 CH에 배치되는 액터들이 많아진다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 IDSC 알고리즘을 개선하여 CH들의 거리를 최대 간격으로 유지하면서 싱크로부터 순차적으로 선출한다. 그리하여 싱크 기반 WSA에서 싱크와 액터들의 연결성과 최대 커버리지를 보장하도록 액터를 배치하기 위한 클러스터를 구성한다.

III. 제안 알고리즘

1. 시스템 모델 및 가정

본 논문에서는 싱크기반 WSA에서 싱크와 액터들의 연결성과 최대 커버리지를 보장하도록 액터를 배치하기 위하여 클러스터를 구성하는 알고리즘을 제안한다. 싱크기반 WSA는 센서, 싱크, 액터 등으로 구성되며, 센서가 주변 환경을 감지하여 데이터를 싱크에게 전송하면, 싱크는 수신한 정보를 판단하여 액터에게 명령함으로써 액터가 상황에 따른 적절한 기능을 수행한다[4]. 이때, 센서의 에너지 사용과 전송 지연 등을 최소화하기 위해 센서 클러스터를 형성하고 액터를 CH에 배치하여 CH 역할을 수행하도록 한다.

CH들의 홉 거리 k 는 액터의 신호 전송거리와 센서의 신호 전송거리의 비율로 정한다. 예를 들어, 액터의 신호 전송거리와 센서의 신호 전송거리를 각각 R_a , R_s 라 할 때, $R_a = 4R_s$ 이면 k 는 4이다. 따라서 k 홉 단위로 CH를 선출하고, 선출된 CH 위치에 액터를 배치하면 액터들의 상호연결성이 유지된다.

액터 커버리지는 목표영역에 배치된 모든 센서 수에 대하여 액터의 액션범위에 포함되는 센서 수의 비율로 정의한다. 즉, 목표영역에 배치된 액터의 전체집합과 센서의 전체집합을 각각 A , S 라 하고 액터 i 의 액션범위에 포함되는 센서 개수를 $S(A_i)$ 라 하면, 액터 i 의 커버리지(C_i)와 전체 액터의 커버리지(C_{total})는 각각 다음과 같다.

$$C_i = S(A_i) / S \quad (1)$$

$$C_{total} = \sum_{i \in A} C_i \quad (2)$$

본 논문에서는 시스템 구성을 다음과 같이 가정한다. 센서는 이동 기능이 없으나 액터는 이동 가능하다. 센서가 목표영역에 무작위로 배치되면, 인접한 센서들과 링크를 형성하면서 하나의 센서 네트워크를 형성한다. 배치되는 모든 센서의 신호 전송거리는 동일하다. 클러스터가 형성되면, 액터는 선출된 CH 위치에 배치되어 CH 역할을 수행한다. CH 위치로 액터를 배치하는 방법은 기존의 알고리즘을 적용하며[18], 본 논문에서는 다루지 않는다. 이때, 배치되는 액터 수는 클러스터 수와 동일하다. 또한 액터의 신호 전송거리는 액션범위의 두 배이다. 따라서 액터들의 간격이 신호 전송거리와 같으면, 액터들은 서로 연결을 유지하되 액션범위를 중첩하지 않는다.

2. 센서 상태 변화

센서는 그림 1과 같이 Undecided, Occupied, Bounded 등 3가지 상태로 전이된다. 모든 센서의 초기의 상태는 Undecided이다. 센서의 상태는 싱크 또는 CH로부터 수신한 Occupying 메시지에 의해서 결정된다. 이 메시지는 싱크(CH)로부터 k 홉까지 전달된다. 센서는 싱크(CH)로부터 수신한 메시지에 의하여 싱크(CH)로부터 홉 거리가 k 보다 작으면 Occupied 상태로 전이되고, CH의 클러스터 멤버가 된다. 만약 센서와 CH의 홉 거리가 k 이면, 센서는 Bounded 상태로 전이되고, CH 전이함수의 결과에 따라 확률적으로 CH가 된다.

제안하는 CH 전이함수(F)는 특정 센서가 CH로 전이되는 임계값을 산출하는 함수이다. 특정 센서 i 를 S_i 라 하고 S_i 의 인접한 센서 수와 전이 상수를 각각 m_i , B 라 할 때, F 는 다음과 같이 정의한다.

$$F = B \times m_i \quad (3)$$

즉, S_i 가 CH로 되는 확률은 인접한 센서 수에 비례한다.

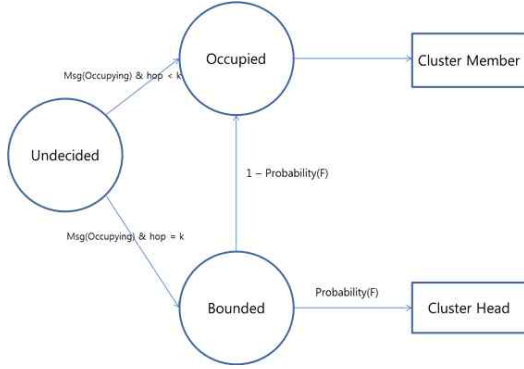


그림 1. 센서의 상태 전이
Fig. 1. Sensor State Transition

3. 클러스터 구성 알고리즘

제안하는 알고리즘은 센서 네트워크에서 싱크로부터 k 홉 간격으로 CH를 선출함으로써 홉 거리를 기반으로 클러스터를 구성한다. 만일, $R_a \geq k \cdot R_s$ 이면 액터들의 연결이 보장되므로 CH로 이동한 액터들은 연결된 액터-액터 및 액터-싱크 네트워크를 형성한다. 홉 거리를 기반으로 클러스터를 구성하는 알고리즘은 그림 2와 같다.

싱크 S_b 는 센서 네트워크에서 $Msg(Occupying)$ 의 TTL(Time To Live)을 k 로 설정하여 브로드캐스트 한다. 센서 S_i 는 Line 1 ~ Line 2에서 초기값을 설정하고, 루프를 수행하면서 메시지를 수신하면 이 메시지를 이웃 센서에게 재전송하는 과정을 반복한다. Line 4 ~ Line 12에서 S_i 는 수신한 $Msg(Occupying)$ 에 의해 Occupied 또는 Bounded 상태로 전이된다. S_i 가 CH들로부터 $Msg(Occupying)$ 를 수신하면 홉 거리를 비교하여 근접한 CH의 클러스터 멤버가 된다. 그리고 $Msg(Occupying)$ 의 TTL이 0보다 크면, Occupied 상태로 되고 hop을 1 감소시켜 브로드캐스트 한다. 하지만 TTL이 0이면, CH로부터 k 홉 거리에 위치하므로 Bounded 상태로 된다. Line 13 ~ Line 19에서 Bounded 상태로 전이된 센서는 함수 F 의 값에 따라 확률적으로 CH로 되고 $Msg(Occupying)$ 를 브로드캐스트 한다.

```

Sb : Sink
1 broadcast Msg(s, "occupying", k-1)

Si : Sensor i
1 Dist(i, CH) <- k
2 status <- "Undecided"
3 while true
4   if ((receive Msg(j, "occupying", hop))
      & ((k-hop) < Dist(i, CH))
5     CH <- j
6     if (hop>0)
7       status <- "Occupied"
8       broadcast Msg(j, "occupying", hop-1)
9     else if ((hop==0) & (status != "Occupied"))
10      status <- "Bounded"
11    endif
12  endif
13  scope <- F
14  generate random value R
15  if ((R < scope) & (status == "Bounded"))
16    CH <- i
17    broadcast Msg(i, "occupying", k-1)
18    status <- "Occupied"
19  endif
20 endwhile
    
```

그림 2. 홉 거리 기반 클러스터 구성 알고리즘
Fig. 2. Hop Distance-based Clustering Algorithm

VI. 시뮬레이션

1. 구현 환경

시뮬레이션을 수행하여 제안한 알고리즘의 클러스터 분포 및 커버리지 성능을 다양한 조건에서 분석하였다. 본 장에서는 제안한 알고리즘을 HDC(Hop Distance-based Clustering)이라 한다. 시뮬레이션은 Windows 7 환경에서 Visual C++으로 구현하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위하여 <표 1>과 같이 환경을 설정하였다.

표 1. 시뮬레이션 매개변수
Table 1. Simulation Parameters

매개변수	값
네트워크 크기	300 x 300 (m ²)
센서배치	random deployment
센서개수	500~1,000개
Hop 거리(TTL)	2~5
센서 신호 전송거리	25m

시뮬레이션에서 센서를 배치하기 위한 네트워크 크기를 300x300(m²)으로 설정하고, 센서를 500개부터 1000개까

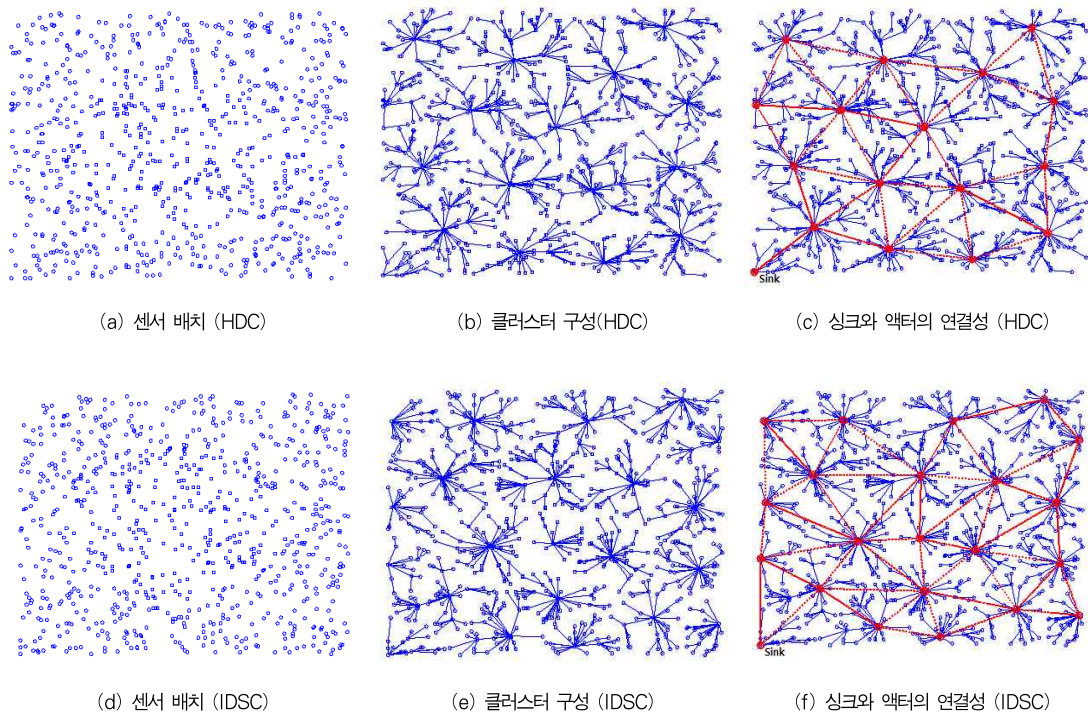


그림 3. HDC와 IDSC의 클러스터 구성 (S=800, k=4)
 Fig. 3. Clustering of HDC and IDSC (S=800, k=4)

지 100개씩 증가시키면서 무작위로 배치하였다. 또한 CH 간격을 조절하기 위하여 k의 값을 2에서 5까지 1씩 증가하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션을 통하여 HDC 알고리즘의 우수성을 검증하기 위하여 IDSC 알고리즘과 성능을 비교하였다. 알고리즘의 성능은 생성된 클러스터 개수와 각 클러스터에서의 액터 커버리지 등으로 평가한다.

- 클러스터 개수 : 센서 네트워크의 전체 영역에서 생성되는 클러스터의 개수.
- 액터 커버리지 : 각 클러스터에서 액터의 액션 범위에 포함되는 센서의 평균 개수.

시뮬레이션 결과는 각 알고리즘을 20회 반복 수행하여 평균값으로 정하였다.

목표영역에 센서를 배치하면, 근접한 센서들이 서로를 인식하고 센서 네트워크를 형성한다. 그리고 싱크로부터 클러스터 생성 메시지가 생성되어 순차적으로 CH가 선출된다.

그림 3에서는 목표영역에 센서를 무작위로 배치하고 HDC

알고리즘과 IDSC 알고리즘을 각각 적용하였을 때 생성되는 클러스터의 분포를 비교하였다. 그림 3의 (a)와 같이 센서가 목표영역에 배치되면, HDC 알고리즘은 (b)와 같은 센서 클러스터를 형성한다. 그림에서는 k가 4일 때, 싱크로부터 4 홉 간격으로 CH를 선출하여 클러스터들을 구성한 결과이다. 클러스터가 형성되면, 액터들은 각 CH에 배치되어 (c)와 같이 싱크와 연결성이 유지하는 액터 네트워크를 형성한다. IDSC 알고리즘은 그림 3의 (d)와 같이 목표영역에 배치된 센서들을 기반으로 (e)와 같은 클러스터를 형성한다. 그리고 선출된 CH들의 위치에 배치된 액터들은 (f)와 같은 액터 네트워크를 형성한다.

2. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 수행하여 IDSC 알고리즘과 HDC 알고리즘에 의해 생성된 클러스터 분포는 다음과 같다. 그림 4는 k가 3일 때, 목표영역에 배치되는 센서 수를 달리하여 생성된 클러스터 수를 비교한 결과이다. HDC 알고리즘이 IDSC 알고리즘에 비해 클러스터 생성 수를 전체 센서 수에 따라 18~20% 감축하였음을 볼 수 있다.

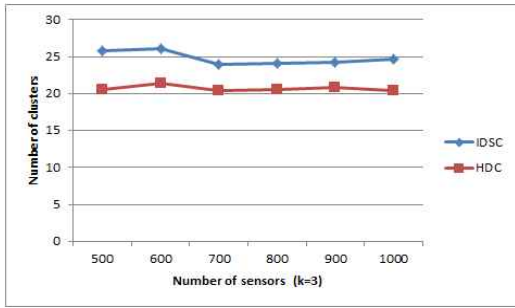


그림 4. 센서 수 변화에 따른 생성된 클러스터 수
Fig. 4. Number of Clusters with varying of Sensors

그림 5는 배치된 센서 수가 500일 때, k의 변화에 따라 생성되는 클러스터 수를 나타낸 결과이다. HDC 알고리즘이 IDSC 알고리즘에 비해 k 값의 변화에 따라 9~20% 적게 클러스터를 생성하였음을 알 수 있다.

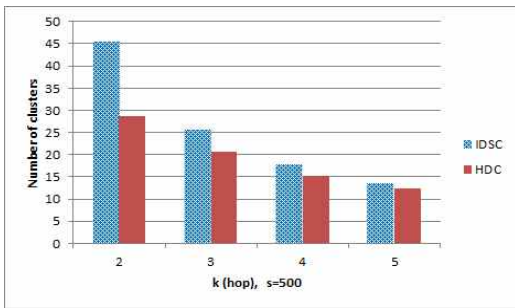


그림 5. k 변화에 따른 생성된 클러스터 수
Fig. 5. Number of Clusters with varying of k

그림 6은 센서 수가 500일 때, k의 변화에 대한 각 액터의 커버리지를 나타낸 결과이다. HDC 알고리즘에 의해 생성된 클러스터가 IDSC 알고리즘에 의해 생성된 클러스터보다 8~58% 더 많은 센서를 포함하는 것을 알 수 있다.

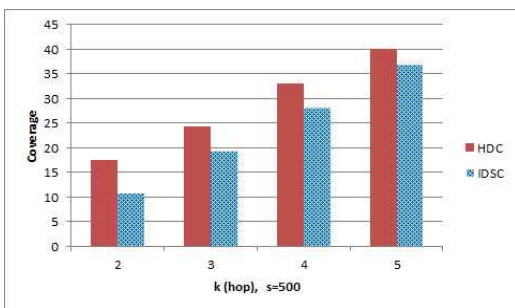


그림 6. k 변화에 따른 액터의 커버리지
Fig. 6. Actor Coverage with varying of k

이와 같이 HDC 알고리즘이 IDSC 알고리즘에 비해 생성되는 클러스터 개수를 더 감축하는 것을 알 수 있다. 또한 CH에 배치되는 액터의 커버리지 성능이 더 우수함을 알 수 있다. 이러한 결과들은 HDC 알고리즘에 의해 생성되는 클러스터가 k 홉 거리 단위로 분산되어 있어, CH를 더 고르게 분산 배치하고 클러스터의 커버리지 중첩을 최소화하기 때문이다.

V. 결론

WSAN에서 서비스의 성능을 보장하기 위해서 액터는 커버리지를 최대로 확보하고 상호간의 연결성을 유지하는 것이 바람직하다. 특히 싱크기반 WSAN에서 액터는 센서로부터 정보를 수집하고 싱크로부터 명령을 수신하기 위해서 커버리지를 극대화하면서 싱크와의 연결성을 유지하여야 한다. 이를 위해서는 연결성과 커버리지를 고려하여 액터를 적절하게 분산 배치할 필요가 있다.

본 논문은 싱크 기반 무선 센서 액터 네트워크에서 액터의 연결성과 커버리지를 향상시키기 위하여 홉 거리를 기반으로 클러스터를 구성하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 싱크로부터 일정한 홉 간격으로 CH를 선출함으로써 영역에 고르게 분포된 센서 클러스터를 생성하고 액터를 CH 위치에 배치한다. CH 선출은 CH 위치에 배치된 액터들과 싱크의 연결성을 보장하기 위해서 싱크로부터 순차적으로 진행된다. 또한 액터의 커버리지를 향상시키기 위해서 CH의 간격을 액터의 신호 전송거리와 크기가 동일한 k 홉으로 유지하면서 센서 밀도가 높은 영역에서 우선적으로 CH를 선출한다. 제안한 알고리즘은 일정한 분포로 클러스터를 구성하여 중첩을 최소화함으로써 목표영역에서 생성되는 클러스터 수 및 CH 위치에 배치되는 액터 수를 감축하였다. 시뮬레이션을 수행하여 제안한 알고리즘이 싱크에 연결이 보장된 액터 네트워크를 형성함을 검증하였다. 그리고 액터 커버리지를 향상시킴으로써 기존의 IDSC 알고리즘에 비해 배치되는 액터 수를 9~20% 감축함을 확인하였다.

향후에는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 다중 싱크 환경에 적용하여 커버리지 및 연결성을 향상하는 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

[1] Akyildiz, Ian F., and Ismail H. Kasimoglu,

- "Wireless sensor and actor networks: research challenges," *Ad hoc networks*, vol. 2, No. 4, pp. 351-367, 2004.
- [2] Sabri, Naseer, et al. "Towards smart wireless sensor actor networks: Design factors and applications," *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA)*, pp. 704-708, 2011.
- [3] Imran, Muhammad, Noman Haider, and Mohammed Alnuem, "Efficient movement control actor relocation for honing connected coverage in wireless sensor and actor networks," *IEEE 37th Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2012.
- [4] Gungor, Vehbi C., et al. "Resource-aware and link quality based routing metric for wireless sensor and actor networks," *IEEE International Conference on Communications (ICC'07)*, 2007.
- [5] Khan, Muazzam Ali, et al. "An efficient and reliable clustering algorithm for wireless sensor actor networks (wsans)," *53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, pp. 332-338, 2010.
- [6] Trivedi, Neeta, et al. "A message-efficient, distributed clustering algorithm for wireless sensor and actor networks," *IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 53-58, 2006.
- [7] Akkaya, Kemal, and Mohamed Younis, "Coverage and latency aware actor placement mechanisms in WSAWs," *International Journal of Sensor Networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 152-164, 2008.
- [8] Akkaya, Kemal, and S. Janapala, "Maximizing connected coverage via controlled actor relocation in wireless sensor and actor networks," *Computer Networks* Vol. 52, No. 14, pp. 2779-2796, 2008.
- [9] Ren, Xiaoping, and Zixing Cai, "A distributed actor deployment algorithm for maximum connected coverage in WSAW," *IEEE Fifth International Conference on Natural Computation, ICNC'09*, Vol. 6, pp. 283-287, 2009.
- [10] Li, Jun, et al. "An extended virtual force-based approach to distributed self-deployment in mobile sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012.
- [11] Senouci, M., Mellouk Abdelhamid, Khalid Assnoute, "Localized movement-assisted sensor deployment algorithm for hole detection and healing," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 25, Issue 5, 2013.
- [12] Imran, Muhammad, et al. "Localized motion-based connectivity restoration algorithms for wireless sensor and actor networks," *Journal of Network and Computer Applications* Vol. 35, No.2, pp. 844-856, 2012.
- [13] Alfadhly, Abdullah, Uthman Baroudi, and Mohamed Younis, "Least distance movement recovery approach for large scale wireless sensor and actor networks," *IEEE 7th International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing(IWCMC)*, 2011.
- [14] Senel, Fatih, Mohamed Younis, and Kemal Akkaya, "Bio-inspired relay node placement heuristics for repairing damaged wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 60, No. 4, pp. 1835-1848, 2011.
- [15] Xiao-Bo, Tan, Zhang Wen-bo, Li Dong, "Clustering Algorithm Based on Fault Tolerance for Wireless Sensor Networks," *Information Technology Journal*, Vol. 12, No. 19, pp. 5291-5294, 2013.
- [16] Wang, Jiahong, et al. "A Distributed Approach to Constructing k-Hop Connected Dominating Set in Ad Hoc Networks," *International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, pp. 357-364, 2013.
- [17] Kemal Akkaya, Fatih Senel, Brian McLaughlan, "Clustering of wireless sensor and actor networks based on sensor distribution and

- connectivity," J. Parallel Distrib. Comput. Vol. 69, pp. 573-587, 2009.
- [18] Akkaya, Kemal, Ismail Guneydas, Ali Bicak, "Autonomous actor positioning in wireless sensor and actor networks using stable-matching," International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, Vol. 25, No. 6, pp. 439-464, 2010.
- [19] KR. Chong, "Analysis of the Connectivity of Monitoring Nodes and the Coverage of Normal Nodes for Behavior-based Attack Detection in Wireless Sensor Networks," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 18, No. 12, pp. 27-34, 2013.
- [20] SW. Na, SK. Choi, TW. Lee, YH. Cho, "Clustering Algorithm for Efficient Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 6, pp. 49-59, 2014.

저 자 소 개



김 영 군
 1991: 한양대학교
 전자계산학과 공학사.
 1993: 한양대학교
 전자계산학과 공학석사.
 2008: 한양대학교
 컴퓨터공학과 박사 수료.
 현 재: 안산대학교
 인터넷정보과 부교수.
 관심분야: 무선 센서 네트워크.
 Email : ykkim@ansan.ac.kr



전 창 호
 1977: 한양대학교
 전자공학과 공학사.
 1982: Cornell University
 컴퓨터공학과 공학석사.
 1986: Cornell University
 컴퓨터공학과 공학박사.
 현 재: 한양대학교 ERICA 캠퍼스
 컴퓨터공학과 교수.
 관심분야: Grid/클라우드 컴퓨팅.
 Email : chj5193@hanyang.ac.kr