

Chapter
01

무인기 기반 IoT 네트워크를 위한 클러스터 헤드 선출 프레임워크 동향

왕기철_한국전자통신연구원 책임연구원
이수전_한국전자통신연구원 책임연구원
김성창_한국전자통신연구원 책임연구원

무인기의 활용 분야와 비행시간이 크게 늘어남에 따라, 무인기 기반의 IoT 네트워크로부터의 데이터 수집 및 분배 기술이 크게 주목 받고 있다. 특히, 무인기와 IoT 네트워크 간의 통신 효율성을 위해서는 클러스터 구조의 채용이 필요하며, 클러스터 구조 하에서 핵심적인 역할을 수행하는 클러스터 헤드들을 선출하는데 있어서 무인기를 이용하는 프레임워크들이 소개되고 있다. 본 고에서는 이러한 무인기 기반 클러스터 헤드 선출 프레임워크들을 위한 기반 기술들을 소개하고, 기존에 소개된 프레임워크들에 대해 살펴본다. 또한, 무인기 기반 클러스터 헤드 선출 프레임워크들의 장단점을 비교하고, 이들의 활용 방안을 제시한다.

I. 서론

드론으로 불리는 무인기는 군사정찰, 수색, 관심영역 촬영 및 정밀 타격과 같은 군사용으로 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 무인 배달, 3차원 지도 생성, 과학 조사, 정밀 농업 및 임업, 정밀 수산업, 재난 예측 및 대응과 같은 민간 영역에서의 활용이 크게 늘어나고 있다. 한편, 무선 통신 기술, 임베디드시스템, 그리고 엣지 컴퓨팅 기술의 발전은 무인기가 지원하는 통신 영역 확장, 무인기가 지원하는 통신 중계, 그리고 무인기가 지원하는 데이터 수집 및 분배와 같은 무인기 지원 무선 통신 서비스 제공을 가능하게 하고 있다[1]. 특히, 무인기가 지원하는 데이터 수집 및 분배는 무인기 기반의 IoT 네트워크의 형태로 구현되고 있다[2].

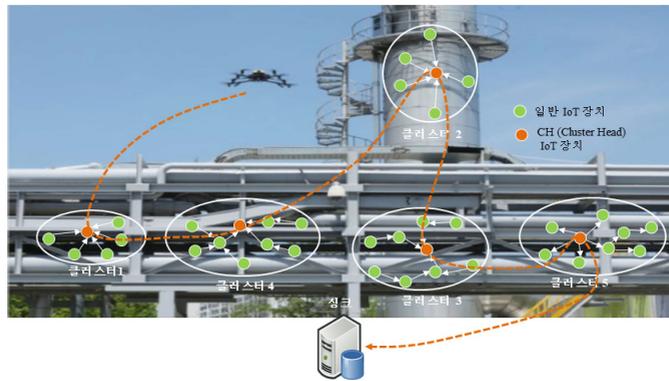
* 본 내용은 왕기철 책임연구원(☎ 062-970-6531, gcwang@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

***본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업의 일환으로 수행되었음[21ZS1200, 인간 중심의 자율지능시스템 원천기술 연구].



(a) 일반적인 IoT 네트워크에서의 데이터 수집



(b) 무인기 기반 IoT 네트워크에서의 데이터 수집

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 1] 일반적인 IoT 네트워크와 무인기 기반 IoT 네트워크에서의 데이터 수집

무인기 기반의 IoT 네트워크에서 무인기들은 공중 정지 비행을 하면서 임무 영역에 배치되어 있는 IoT 장치들과 접촉하고, 그들로부터 데이터를 수집하거나 그들에게 필요한 정보를 분배하게 된다. 이러한 형태의 네트워크 통신에서, IoT 장치들의 수는 무인기들에 비해 훨씬 많으며, 무인기들은 공중에서 비행을 하면서 여러 대의 IoT 장치들과 동시에 통신할 수 있는 특징을 가진다. 따라서, 임의의 무인기와 IoT 장치들은 멀티캐스트 혹은 브로드캐스트의 형태로 통신하는 것이 효율적이다. 만일, IoT 장치들을 클러스터라는 논리적 그룹으로 묶은 후에 무인기가 그룹 리더들과만 통신한다면 해당 IoT 네트워크의 수명 연장과 통신 효율성 측면에서 아주 유리하다. [그림 1]은 일반적인 IoT 네트워크에서의 데이터 수집 방법 (a)과 무인기를 이용한 IoT 네트워크에서의 데이터 수집 방법(b)을 보여 준다.

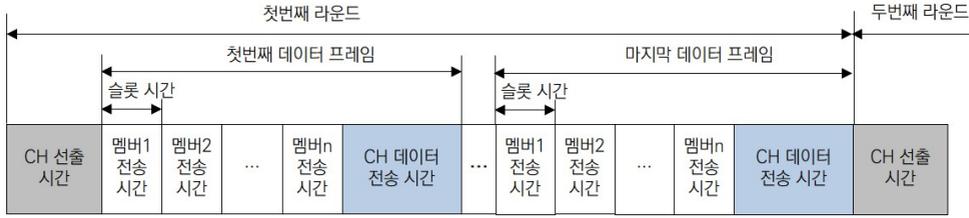
IoT 장치들의 네트워크를 클러스터들의 모음으로 변환하는 것을 클러스터링이라 칭한다. 클러스터링은 클러스터 생성과 클러스터 헤드 선출로 나뉘며, 클러스터 생성은 인접한 노드들을 클러스터라 불리는 논리적 그룹으로 묶는 것을 의미하며, 클러스터 헤드(Cluster Head: CH) 선출은 그 클러스터의 리더를 선출하는 것을 의미한다. 클러스터 생성과 CH 선출은 서로에 앞서 선행할 수 있으며, 이때 앞선 쪽은 클러스터링에 대한 준비를, 뒤선 쪽은 클러스터링에 대한 마무리를 한다. CH들이 먼저 선언을 하고나서 멤버십을 구성하는 방법을 CH 우선 방법이라고 하며, 클러스터를 먼저 생성하고 각 클러스터를 위한 리더를 나중에 선출하는 방법을 클러스터 우선 방법이라고 한다. 만일, 임의의 오염노드가 CH가 되면, 정상적인 멤버들로부터 데이터를 불법적으로 수집할 수 있고 싱크로 전달되는 데이터를 위조할 수 있다. 그래서 모든 CH들이 오염된 노드들로 채워진다면, 전체 네트워크가 오염노드들을 조종하는 공격자의 손에 놓이게 된다[3]. 따라서, 임의의 클러스터링된 IoT 네트워크에서 안전한 CH 선출은 필수적이다.

지금까지 일반적인 IoT 및 센서 네트워크에서 CH 선출 보안과 관련된 연구들이 진행되어 왔으나, 그 연구들은 무인기를 데이터의 수집자 혹은 분배자로 이용하지 않았다. 따라서 임의의 IoT 네트워크에서 무인기를 이용한다면, 그 무인기는 CH들로부터 중요한 데이터를 수집하여 싱크에 전달할 수 있다. 이후에 싱크는 수집된 데이터를 이용해서 적합한 CH 후보들 혹은 부적합한 CH 후보들의 리스트를 생성할 수 있다. 다음으로, 적합한 CH 후보들 혹은 부적합 CH 후보들이 무인기에 의해 노드들에게 전달되면 IoT 혹은 센서노드들의 에너지 소모를 더욱 더 줄일 수 있다. 이러한 이점들로 인해서, 일부 무인기 기반의 CH 선출 프레임워크들이 IoT 네트워크의 데이터 수집 및 분배 효율성을 위해 제안되어 왔다.

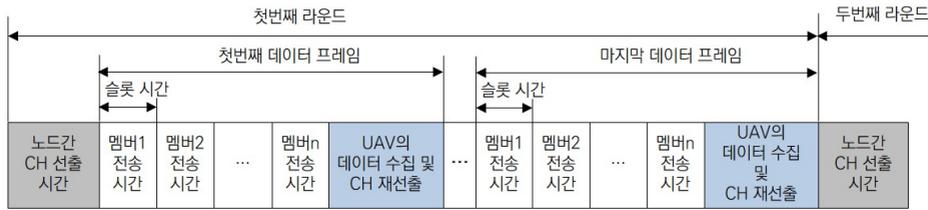
본 고에서는 먼저 II장에서 일반적인 CH 선출 프레임워크와 무인기 기반 CH 선출 프레임워크의 차이점을 살펴보고, 무인기 기반의 CH 선출 프레임워크를 위한 기반 기술에 대해 살펴본다. III장에서는 기 개발된 무인기 기반 CH 선출 프레임워크 기술들을 설명한다. 마지막으로 IV장에서는 본 고의 결론을 제시한다.

II. 무인기 기반 CH 선출 프레임워크를 위한 기반 기술

무선 IoT 네트워크에서 무인기 기반 CH 선출 프레임워크가 일반적인 CH 선출 프레임워



(a) 일반적인 CH 선출 프레임워크



(b) 무인기 기반 CH 선출 프레임워크

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[그림 2] 일반적인 CH 선출 프레임워크와 무인기 기반 CH 선출 프레임워크

크와 다른 점은 [그림 2]처럼 일반적인 노드 간 CH 선출 시간들 사이에 무인기에 의한 CH 재선출이 삽입된다는 것이다. 이로 인해, 설령 노드 간 CH 선출에서 임의의 오염된 노드가 CH로 선출되더라도, 무인기에 의한 CH 재선출시 새로운 노드로 CH가 변경되도록 해서 보안성을 높인다. 또한, 일반적인 CH 선출 프레임워크에서는 멤버노드들로부터 수집된 데이터를 CH가 직접 싱크에 전송하는 반면에, 무인기 기반 CH 선출 프레임워크에서는 CH가 멤버들로부터 수집된 데이터를 무인기에게만 전송함으로써 장거리 전송에 따른 에너지 소모를 줄인다. 이후에 무인기가 데이터 수집을 마치고 출발 위치로 복귀하면, 수집된 모든 데이터를 싱크에 전달함으로써 임무를 종료하게 된다.

프레임워크가 안전하게 동작하기 위해서는 세 가지 기반 기술의 뒷받침이 있어야 한다. 첫 번째, IoT 노드들은 임무 현장에 배치된 후에 신원이 인증된 인접한 이웃노드들을 논리적인 그룹으로 묶는 클러스터들이 생성되어야 하는데, 이 과정을 안전한 클러스터 멤버십 생성이라 부른다. 이렇게 생성된 클러스터 멤버십은 CH와 멤버들 간의 키 설정, 클러스터 내에서 새로운 CH 선출, 무인기의 새로운 CH 선출에 사용된다. 두 번째, 전달된 클러스터 멤버십을 이용해서 멤버들의 ID를 알게 되면 그들이 보유한 키들의 ID가 노출된다. 즉, 임의의 클러스터 내에서 두 멤버 사이에 공유된 키가 있으면 공유된 키들을 이용하여 두 멤버 간 통신을

위한 키를 생성한다. 만일, 공유된 키가 없으면 두 멤버와 공유된 키를 가진 대리인 노드를 찾아서 간접적으로 키를 공유한다. 이러한 클러스터 내의 멤버 노드들 간의 키 설정에는 다양한 방법이 존재하며 안전하게 이를 수행하기 위한 기술이 필요하다. 또한, 싱크는 전달된 멤버십에 기반하여 각각의 클러스터와 안전하게 통신할 그룹키를 생성한다. 세 번째, 무인기 기반의 CH 선출 프레임워크에서 CH 선출은 노드들 간의 CH 선출과 무인기에 의한 CH 선출로 나뉘는데, 무인기에 의한 선출은 노드들 간의 선출을 무인기에서 행하는 것이므로 전자를 설명한다. 클러스터 멤버십이 한번 생성된 후에, 멤버 노드들은 주기적으로 다른 멤버 노드들과 임의의 특성 비교를 통해서 우수한 특성을 가진 노드를 CH로 선출한다. 이때, 임의의 악의적인 노드가 자신의 특성값을 왜곡하여 스스로 CH가 되는 것을 막기 위한 기술이 노드 간 CH 선출 보안 기술이다. 이때 새로 선출된 CH들이 프레임워크로 전달되면, 무인기는 새로 선출된 CH들을 경유하는 비행경로를 생성하고 이에 따른 순회시간을 알려 CH들이 무인기의 방문시간에 무인기와 통신할 수 있게 한다.

III. 무인기 기반 CH 선출 프레임워크 기술 동향

무인기 기반 CH 선출 프레임워크 기술들은 CH 선출의 역할을 누가 담당하는지와 해당 프레임워크의 설계 목표에 따라서 구분된다. 이때 설계 목표의 예는 오염노드의 퇴출, 네트워크 수명 연장, 무인기 에너지 절약, 데이터 전송시간 감소 등이다. [표 1]은 CH 선택 주체와 설계 목표에 따른 무인기 기반 CH 선출 프레임워크들을 분류한 것이다. 이 장에서는

[표 1] 무인기 기반 CH 선출 프레임워크 분류

CH 선택 주체 \ 설계 목표	오염노드 퇴출	네트워크 수명 연장	무인기 에너지 절약	데이터 전송시간 절약
싱크	Shen의 방법[7]	Ebrahimi의 방법[5]	Ebrahimi의 방법[5], Wu의 방법[4], Rahmati의 방법[6]	Wu의 방법[4], Nguyen의 방법[8]
무인기	-	Uddin의 방법[9], Jiang의 방법[10]	Jiang의 방법[10]	
노드들	-	Dong의 방법[11]	Jose의 방법[12]	Dong의 방법[11]
무인기와 노드들	Wang의 방법1[13], Wang의 방법2[3]	Wang의 방법1[13], Wang의 방법2[3]		

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

[표 1]에 제시된 방법들에 대해 자세히 살펴본다.

1. 싱크 주도의 CH 선출 프레임워크

Wu의 방법[4]은 단일 무인기를 이용하는 방법과 다중 무인기를 이용하는 방법으로 나뉘며, 단일 무인기를 이용하는 방법은 노드들의 에너지 소모 및 수집 데이터의 전달 지연을 감소시킨다. 다중 무인기를 이용하는 방법은 네트워크를 분할하여 독립적으로 데이터를 수집하는 방법과 다중 무인기가 수집한 데이터를 서로 교환하는 협력형 데이터 수집으로 구분된다. 전자의 방법은 노드들의 에너지 소모와 데이터 전달 지연 감소에 강점이 있는 반면에 후자의 방법은 노드들과 무인기의 에너지 소모 감소에 강점이 있다. 하지만, 이 방법은 싱크에 의해 한번 선정된 CH들을 변경하지 않기 때문에, 선정된 CH들이 공격자의 집중 공격 대상이 된다. 즉, 임의의 CH가 오염되면 공격자는 그 오염된 CH를 통해서 그 CH가 소멸될 때까지 네트워크에 공격을 가할 수 있게 된다. 또한, 임의의 CH가 에너지를 모두 소진하게 되면 해당 클러스터의 데이터 수집이 불가해진다.

Ebrahimi 등은 싱크가 동일한 크기의 클러스터들을 생성하고 무인기의 비행경로를 최적화하는 방법으로 CH들을 선택하는 프레임워크를 개발하였다[5]. 이 프레임워크에서 싱크는 또한 각 클러스터 내에서 CH와 일반 노드들 간에 통신을 최적화하기 위한 최소 신장 트리를 생성한다. 이 프레임워크에서는 클러스터의 크기가 거의 동일하기 때문에 노드들 사이의 에너지 소모 분포가 균등하고, 무인기는 비행경로의 최적화로 인해 에너지 소모를 줄일 수 있다. 그러나 이 프레임워크에서 한번 선정된 CH들은 소멸될 때까지 CH 역할을 수행하기 때문에 집중 공격의 대상이 된다. 또한, Wu의 방법처럼 임의의 CH가 소멸되면, 그 클러스터 내에 생존 노드가 있더라도 CH의 소멸로 인해 데이터 수집이 불가해진다.

Rahmati 등은 지상에 고정된 CH들을 가지고 이들로부터 수집된 데이터를 획득하기 위한 데이터 수집 무인기들과 그 데이터를 싱크까지 전달하는 데이터 중계 무인기들을 최적의 위치에 배치하는 방법을 제안하였다[6]. 이 방법에서 무인기들의 위치 최적화는 데이터 수집 및 중계 무인기들의 수명을 연장시켜 지상 노드들의 데이터 수집 시간을 연장시킨다. 이 방법은 지상에서 데이터 수집을 방해하는 방해전파 전송 장치들이 존재하는 환경에서 데이터 전달이 가능하다는 장점이 있으나, 지상의 고정된 CH들이 소멸된 경우에 대한 대비가 여전히 없다는 문제점이 있다.

Shen 등은 싱크가 같은 크기의 클러스터들을 생성하고 각 클러스터의 CH를 정한 후에, 무인기가 CH는 물론 멤버들을 차례로 방문하여 CH로부터 수집한 데이터와의 차이점을 비교하는 프레임워크를 제안하였다[7]. 이러한 개별 방문에 따라 무인기는 각 노드에 대한 신뢰값을 매기고 낮은 평점을 가진 노드로부터의 데이터는 폐기하게 된다. 이 방법의 특징은 무인기를 이용하여 각 노드에 대한 신뢰값을 생성하고 누적하여 그 노드가 생성하는 데이터의 신뢰도로 삼는다는 것이다. 반면에, 무인기는 신뢰값을 생성하고 누적하기 위해 CH는 물론 모든 멤버들을 방문해야 하기 때문에, 무인기의 에너지 소모는 크게 증가한다. 따라서, 주어진 시간 내에 같은 양의 데이터를 수집하기 위해서는 더 많은 수의 무인기를 투입해야 하고, 그렇지 않다면 재충전 후에 다시 임무를 수행해야 하기 때문에 데이터 수집 지연시간이 증가하게 된다.

Nguyen 등은 싱크가 거의 동일한 크기의 클러스터들을 생성하고 각 클러스터의 중앙노드를 CH로 선정한 후에, 무인기는 모든 CH들을 방문하며 데이터를 수집하는 프레임워크를 제안하였다[8]. 무인기의 비행경로가 생성되면 싱크는 이를 모든 CH에게 방송하고, 각 CH는 무인기의 방문시간에 따라 자신의 멤버십을 재조정한다. 만일 무인기의 방문시간이 임박한 경우에는 멤버들의 수를 줄이고, 방문시간까지 여유가 많이 있는 경우에는 멤버들의 수를 증가시켜서 가능한 많은 양의 데이터를 수집할 수 있도록 한다. 이 방법의 장점은 다른 방법들에 비해서 가능한 많은 양의 데이터를 수집할 수 있다는 점이다. 반면에, 이 방법에서 비행 경로 상에서 뒤쪽의 CH들은 앞쪽의 CH들보다 많은 양의 데이터를 수집해야 하기 때문에 에너지 소진 속도가 훨씬 빠르다. 더구나 이 방법은 소멸되는 CH들을 생존한 노드들로 대체하는 기법을 가지지 않는다.

2. 무인기 주도의 CH 선출 프레임워크

Uddin 등은 무인기가 비행 도중에 적합한 CH들을 선정하고 선정된 CH들을 방송하는 CH 선출 프레임워크를 제안하였다[9]. 이 방법에서 무인기는 비행 도중에 주기적으로 비콘 메시지를 방송하고, 노드들은 자신의 에너지 잔량에 기반하여 CH 선출 확률을 계산하고 이를 무인기에게 회신한다. 무인기는 CH 선출 확률을 전송한 노드들 중에서 CH들을 선정하고 이들을 통해 데이터를 수집한다. 이 방법의 장점은 에너지 잔량이 많은 노드들이 CH로 선정되기 때문에 노드들의 에너지 소모를 균등하게 만들 수 있다는 것이다. 반면에, 오염된

노드들은 CH가 되기 위해서 자신들의 에너지 잔량을 속일 수 있으며, 무인기는 그러한 악의적인 행위에 대처할 수 없다. 만일 모든 CH 역할이 오염된 노드들로 선출되는 경우에는 네트워크 자체가 공격자의 손에 놓이게 된다.

Jiang 등은 무인기가 다음 데이터 수집 비행에서 방문할 CH를 선정하는데 있어서 CH 선출 빈도수, 무인기와 거리, 그리고 페로몬 추적 값을 고려하는 CH 선출 프레임워크를 제안하였다[10]. 즉, 이 방법에서는 CH 선출 빈도가 낮고 무인기와 가까운 노드가 다음 비행의 방문 CH로 선출되기 쉽다. 또한, 싱크에 가깝고 페로몬 추적 값이 큰 노드가 다음 비행의 방문 CH로 선출되기 쉽다. 이 방법의 장점은 에너지 소모가 많은 CH 역할을 노드들 사이에서 공평하게 분배함으로써 노드들의 에너지 소모를 균등하게 만드는 것이다. 또한, 이 방법은 노드들의 전송 데이터의 정확성에 기반하여 노드들의 신뢰값을 계산하고 이를 다음 비행의 방문 CH 선출에 반영한다. 반면에, 이 방법에서는 무인기가 다른 방법들에 비해 많은 수의 CH들을 선출하고 방문하게 되기 때문에, 무인기의 에너지 소모가 크게 증가한다. 따라서, 이 방법이 넓은 임무 영역에서 적용되는 경우에 여러 무인기가 투입되어야 하고, 그렇지 못한 경우에는 데이터 수집 시간이 지연된다.

3. 노드들 주도의 CH 선출 프레임워크

Dong 등은 노드들이 주기적으로 이웃 노드들 중에서 에너지 잔량이 가장 많이 남은 노드를 CH로 선정하는 프레임워크를 제안하였다[11]. 그 CH 선출 과정에서 비 CH 노드들은 자신의 이웃들 중에서 가장 에너지 잔량이 많은 노드를 자신의 부모 노드로 선정한다. 이 결과로 임의의 클러스터에는 CH를 루트로 하는 하나의 포레스트(forest)가 형성된다. 또한, 클러스터 내에서 CH 역할을 노드들 사이에 균등하게 분배하기 위해서 CH 선출을 주기적으로 수행한다. 이 방법의 장점은 노드들의 생존 여부를 반영하여 주기적으로 클러스터 구조를 변경하고 무인기의 비행경로를 최적화할 수 있다는 것이다. 그러나 만일 오염된 노드들이 CH가 되기 위해서 자신의 에너지 잔량을 속인다면, 이 방법의 CH 선출은 왜곡된 결과를 유발한다. 더구나 이 방법 또한 모든 CH 역할이 오염된 노드들로 선출된다면, 공격자는 네트워크를 자신의 수중에 놓을 수 있다.

Jose 등은 노드들이 주변의 노드들과 협력하여 CH들을 선출하고 다수의 무인기들이 선출된 CH들을 통해 데이터를 수집하는 프레임워크를 제안하였다[12]. 이 프레임워크는 CH

선출 자체보다도 다수의 무인기들에 대한 최적의 비행경로를 통해 CH들로부터 싱크까지 짧은 시간 내에 데이터를 전달하는 것에 초점을 맞추었다. 이 방법은 다수 무인기들의 비행 경로를 최적화하기 때문에, 수집된 데이터의 양의 증가, 무인기들의 에너지 소모 감소, 데이터의 전송 지연 감소 측면에서 유리하다. 그러나, 이 방법은 한번 선출된 CH들을 결코 변경하지 않기 때문에, CH들의 에너지 소모는 시간이 갈수록 증가하고 결국에는 소멸되게 된다. 이 경우에 소멸된 CH들로 인해 해당 클러스터들의 데이터 수집이 불가하고, 무인기 또한 소멸된 CH들을 방문하고 나서야 그 CH들의 소멸사실을 알게 되기 때문에, 비효율적인 비행을 하게 된다.

4. 무인기와 노드들 기반의 CH 선출 프레임워크

무인기가 노드들의 에너지 잔량을 기준으로 CH 선출을 하되, 노드들 간의 협력적 CH 선출 시에 클러스터 구조 전체를 변경하는 프레임워크가 [13]에서 제안되었다. 노드 간 협력적 CH 선출 과정에서, CH 선출 확률이 특정 임계치 이상인 노드들은 자신을 CH로 선언하고, 다른 노드들은 자신과 가장 근접한 CH 선언 노드의 멤버가 된다. 모든 CH들이 싱크에 자신을 등록하고 나면, 무인기의 비행시간을 다시 계산하고 이를 네트워크에 방송한다. 무인기는 임의의 클러스터를 방문할 때 CH로부터 수집된 데이터와 멤버들의 에너지 잔량을 획득하고, 에너지 잔량이 최대인 노드를 CH로 선정하여 방송한다. 이러한 무인기의 수집-선출-방송 절차는 모든 클러스터를 방문할 때까지 반복된다. 무인기가 다음 협력적 CH 선출이 시작되기 전에 마지막으로 방문했을 때는 에너지 잔량이 평균보다 아래인 노드들을 방송하여 다음의 노드 간 협력적 CH 선출에서 그들이 CH 후보가 되지 않도록 한다. 이 방법은 노드 간 협력적 CH 선출과정에서 클러스터 구조를 전면적으로 수정하게 되어 무인기의 비행경로 또한 최적으로 수정된다.

또한, 공중 데이터 수집, 공중 CH 선출, 그리고 공중 데이터 분배와 같은 무인기의 활용을 최대화한다. 그러나 이 방법은 클러스터 멤버십이 자발적인 CH 선언과 이에 따른 클러스터 가입에 의해 좌우되므로, 오염된 노드들이 스스로 CH 선언하는 것을 막을 수 없다. 따라서, 오염된 노드들의 수가 증가하면 CH 선출의 보안성이 크게 훼손된다.

멤버십이 고정된 클러스터에서 주기적으로 노드들 간의 협력을 통해 새로운 CH들이 선출되고, 노드들 간의 협력에 의한 CH 선출 주기 사이에 무인기가 멤버들의 에너지 잔량을

평가하여 CH를 변경하는 CH 선출 방법이 [3]에서 제안되었다. 노드 간 협력 기반의 CH 선출기간에 CH 선출 확률이 임계치보다 높은 노드들은 자신을 CH로 선언하고, 같은 클러스터의 나머지 노드들은 그 CH의 멤버가 된다. 무인기가 방문하는 기간에, 무인기는 CH로부터 수집된 데이터와 멤버들의 에너지 잔량을 획득하게 된다. 이후에 무인기는 멤버들 중에서 가장 에너지 잔량이 높은 노드를 CH로 선정하고 그 결과를 멤버들에게 방송한다. 이러한 무인기의 수집-선출-방송 절차는 모든 클러스터를 방문할 때까지 반복된다. 무인기가 다음의 협력적 CH 선출이 시작되기 전에 마지막으로 방문했을 때는 CH 선출 대신에 CH 부적격 노드들을 선정하는데, 이때 에너지 잔량이 다른 멤버들의 평균 에너지 잔량보다 작은 노드들이 포함된다. 무인기는 선정된 부적격 노드들을 방송하고, 멤버들은 다음의 협력적 CH 선출에서 선정된 부적격 노드들을 아예 CH 후보에서 제외한다. 이 방법의 장점은 공중 데이터 수집, 공중 CH 선출, 그리고 공중 데이터 분배와 같은 무인기의 능력을 최대한 활용한다는

[표 2] 무인기 기반 CH 선출 프레임워크의 장·단점 비교

프레임워크 분류	세부 방법	장점	단점
싱크 주도의 CH 선출	Wu의 방법[4]	노드와 무인기 에너지 소모 감소, 데이터 전달 지연 감소	CH들이 공격 표적, CH 소멸 시 데이터 수집 불가
	Ebrahimi의 방법[5]	노드들의 에너지 소모 분포 균등, 무인기의 비행경로 최적화	CH들이 공격 표적, CH 소멸 시 데이터 수집 불가
	Rahmati의 방법[6]	지상 노드들의 데이터 수집 시간 증가, 방해 전파 환경에서 수집 가능	지상의 CH 소멸 시 데이터 수집 불가
	Shen의 방법[7]	노드들의 데이터 신뢰도 파악 가능	무인기의 에너지 소모 증가, 데이터 수집 지연시간 증가
	Nguyen의 방법[8]	많은 양의 데이터 수집 가능	CH 소멸 시 데이터 수집 불가
무인기 주도의 CH 선출	Uddin의 방법[9]	노드들의 에너지 소모 균등화	오염된 노드의 불법적 CH 선언
	Jiang의 방법[10]	노드들의 에너지 소모 균등화, 노드들의 신뢰도를 CH 선출에 반영	무인기의 에너지 소모 증가, 데이터 수집 지연시간 증가
노드들 주도의 CH 선출	Dong의 방법[11]	무인기의 비행경로 최적화	오염된 노드의 불법적 CH 선언
	Jose의 방법[12]	수집된 데이터 양의 증가, 무인기 에너지 소모 감소, 데이터 전송 지연 감소	CH들이 공격 표적, CH 소멸 시 데이터 수집 불가
무인기와 노드들 주도의 CH 선출	Wang의 방법1[13]	무인기에 의한 공중 CH 선출	오염된 노드의 불법적 CH 선언
	Wang의 방법2[3]	무인기에 의한 공중 CH 선출	클러스터 구조 개조 및 키 재설정 불가

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

것이다. 반면에, 이 방법은 클러스터 내에 소멸된 노드들의 수가 증가하여 데이터 수집의 효율성이 떨어져도 이를 수정할 기법이 없다. 즉, 이러한 경우에는 전체 클러스터 구조를 전면적으로 개조해야 하지만, 이 방법은 클러스터 구조 재편이나 이에 따른 키 재설정을 다루지 않는다. [표 2]는 본 장에서 기술한 무인기 기반 CH 선출 프레임워크들의 장·단점을 비교한 것이다.

IV. 결론

최근 수소연료전지 기술이 무인기의 동력원으로 이용됨에 따라서 무인기의 비행시간이 크게 증가하고 있으며, 이에 따라 무인기를 이용한 IoT 네트워크에서의 데이터 수집 및 정보 분배 기술 또한 크게 관심을 끌고 있다. 무인기 기반의 IoT 네트워크에서 데이터 수집 및 분배의 효율성을 위해서는 멀티캐스팅을 가능하게 하는 클러스터 구조의 채용이 필수적이며, 클러스터 구조의 유지를 위해서는 CH의 선출을 안전하고 신뢰성 있게 처리하는 프레임워크들이 요구된다. 그러나 기존에 소개된 프레임워크들은 각각의 장·단점을 가지고 있어서, IoT 네트워크가 적용될 응용 환경에 따라 적절한 방법을 선택하거나 혼합하여 사용할 필요가 있다.

● 참고문헌

- [1] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless Communication with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges," IEEE Communications Magazine, 54(5), 2016, pp.36-42.
- [2] O. M. Bushnaq, A. Chaaban, and T. Y. Al-Naffouri, "The Role of UAV-IoT Networks in Future Wildfire Detection," IEEE Internet of Things, DOI:10.1109/JIoT.2021.3077593, 2021.
- [3] G. Wang, B. Lee, J. Ahn, and G. Cho, "A UAV-assisted CH election framework for secure data collection in wireless sensor networks," Future Generation Computer Systems, Vol.102, 2020, pp.152-162.
- [4] Q. Wu, P. Sun, and A. Boukerche, "Unmanned Aerial Vehicle-assisted Energy-efficient Data Collection Scheme for Sustainable Wireless Sensor Networks," Computer Networks, Vol.165, 2019, pp.1-11.
- [5] D. Ebrahimi, S. Sharafeddine, P. Ho, and C. Assi, "UAV-Aided Projection-Based Compressive Data Gathering in Wireless Sensor Networks," IEEE Internet of Things Journal, 6(2), 2019,

- pp.1893-1905.
- [6] A. Rahmati, S. Hosseinalipour, Guvenc. H. Dai, and A. Bhuyan, "Lifetime Maximization for UAV-assisted Data Gathering Networks in the Presence of Jamming," Proc. of the 21st Int'l Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications(SPAWC), Atlanta, GA, USA, May 2020.
 - [7] M. Shen, A. Liu, G. Huang, N. N. Xiong, and H. Liu, "ATTDC: An Adaptive and Traceable Trust Data Collection Scheme for Industrial Security in Smart Cities," IEEE Internet of Things, 8(8), 2021, pp.6437-6453.
 - [8] T. Nguyen D. Le, P. Nguyen, H. Choo, and T. P. Van, "UAV-aided Sensory Data Aggregation: Incremental Clustering and Scheduling Approach," Proc. of 15th Int'l Conf. on Ubiquitous Information Management and Communication(IMCOM), Seoul, Korea, Jan. 2021, pp.1-5.
 - [9] M. A. Uddin, A. Mansour, D. L. Jeune, M. Ayaz, and E. M. Aggoune, "UAV-Assisted Dynamic Clustering of Wireless Sensor Networks for Crop Health Monitoring," Sensors, Vol.2018, 2018, pp.1-24.
 - [10] B. Jiang, G. Huang, T. Wang, J. Gui, and X. Zhu, "Trust based energy efficient data collection with unmanned aerial vehicle in edge network," Trans. on Emerging Telecommunications Technologies, DOI:10.1002/ett/3942, 2020, pp.1-32.
 - [11] M. Dong, K. Ota, M. Lin, Z. Tang, S. Du, and H. Zhu, "UAV-assisted data gathering in wireless sensor networks," The Journal of Supercomputing, 70(3), 2014, pp.1142-1155.
 - [12] B. Jose, O. Souza, M. Endler, "Evaluating flight coordination approaches of UAV squads for WSN data collection enhancing the internet range on WSN data collection," Journal of Internet Service and Applications, vol.11, 2020, pp.1-44.
 - [13] G. Wang, S. Lee, B. Lee, and J. Y. Ahn, "Secure and Efficient Cluster Head Election in a UAV-aided Wireless Sensor Network," Proc. of IEEE 7th Int'l Conf. on Future Internet of Things and Cloud(FiCloud), Istanbul, Turkey, 2019, pp.42-49.