

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.1.153>

JIIBC 2017-1-20

공사현장에서 효율적인 드론 기반 데이터 수집을 위한 랑데부 포인트 교체 기법

A Rendezvous Point Replacement Scheme for Efficient Drone-based Data Collection in Construction Sites

김태식*, 정진만**, 민홍***

Taesik Kim*, Jinman Jung**, Hong Min***

요약 광범위한 공사현장에서 드론 운용 시 효율적인 데이터의 수집을 위해 대표적인 노드를 선정하여 방문하는 랑데부 포인트를 사용한다. 랑데부 포인트는 선정된 노드와 그 주변의 노드들에 데이터 전송이 증가하여 에너지 소모가 집중될 수 있으며 이는 네트워크 수명의 단축을 유발할 수 있다. 따라서 장시간의 공사기간을 고려할 때 랑데부 포인트를 효과적으로 교체하여 네트워크 수명을 장시간 유지하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 센서의 에너지 잔량에 따라 랑데부 포인트를 교체해가며 드론을 통해 효율적으로 데이터를 수집하는 방법을 제안한다. 또한 제안 기법은 드론과의 상대거리도 반영하여 지리적으로 가까운 랑데부 포인트를 선정함으로써 드론의 이동 거리를 줄일 수 있다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안 기법이 기존의 기법들에 비해 네트워크의 수명을 늘리고 드론의 비행 거리를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

Abstract Rendezvous point is used to gather the data from sensor nodes and send to sink node efficiently in selected area. It incurs a unbalanced energy consumption nearby the rendezvous point which can shorten the network life time shortly. Thus, it is very important to select the rendezvous point effectively among all sensors in order to not drain the battery of a sensor node in construction sites. In this paper, we propose a rendezvous point replacement mechanism which considers remaining energy of nodes to prolong the network lifetime. Also, for shortening the distance of drone at the same time, it increases the probability of the near-by drone node becoming rendezvous point. The simulation results show that the proposed scheme can significantly improve the network lifetime and the flight distance compared with the existing LEACH, L-LEACH algorithm.

Key Words : Rendezvous point, Sensor Networks, Drone, Network life time

1. 서 론

토목공학의 한 분야인 지반 공학은 터널, 교량 기초,

사면과 같이 지반을 원위치(in situ)에서 다루는 학문이다. 대부분의 토목공학은 지반공학과 관련한 공종을 포함하고 있으며, 현장에서 채취한 시료를 실내에서 시험

*정회원, 홍익대학교 토목공학과

**정회원, 한남대학교 정보통신공학과

***정회원, 호서대학교 컴퓨터정보공학과

접수일자 2017년 1월 16일, 수정완료 2017년 2월 3일

게재확정일자 2017년 2월 3일

Received: 16 January, 2017 / Revised: 3 February, 2017 /

Accepted: 3 February, 2017

***Corresponding Author: hmin@hoseo.edu

School of Computer Information Engineering, Hoseo University,
Korea

을 하거나 현장에서 직접 시험하여 지반 구성물질의 공학적인 특성을 파악한다. 이 특성을 바탕으로 토목구조물을 설계하고 시공한다. 그러나 불균질하고 이방적인 지반 구성물질, 즉 흙과 암반의 특성을 완벽하게 파악하여 설계하는 것은 현실적으로 불가능하여 시공 중 혹은 공용 중에 구조물의 상태나 퍼포먼스를 다양한 센서로 모니터링하여 구조물의 안전성을 확보하게 된다. 모니터링 데이터의 수집은 인력으로 실시하는 경우가 일반적이며, 통신망을 통해 데이터를 수집하기도 한다.

최근 들어 드론(Drone)을 활용하여 데이터를 수집하는 연구가 진행되었다. Kim et al.^[1]이 언급한 바와 같이 공사현장의 경우 반드시 실시간으로 계속 데이터를 수집할 필요 없이 수 시간 주기로 수집을 해도 충분히 현장 상태에 대한 평가가 가능한 공종이 있다. 즉, 배터리로 구동되는 계측 센서에 저장모듈을 설치하여 데이터를 저장하고, 데이터 수집장치(Data collecting device)인 드론이 계측 센서에 주기적으로 접근하여 근거리통신을 통해 계측 데이터를 다운로드 받는다면 지반공학 현장에 알맞은 적정 기술이 될 수 있다.

일반적으로 수년간 진행되는 토목공사기간을 고려해볼 때, 배터리로 구동되는 센서를 사용하는 경우 에너지 절약(Energy saving)이 이슈가 된다. 드론이 모든 센서에 일일이 접근하여 근거리 통신을 통해 센서로부터 데이터를 다운로드받는 방식은 드론이나 센서 모두 에너지 절약 측면에서 바람직하지 않을 수 있다. 또한 언제나 가변적이고 거친 공사현장의 상황을 고려해볼 때 드론이 활발하게 공사현장을 비행하는 것은 안전하지 않다. 따라서 공사 현장에 설치된 여러 센서들 중 하나를 드론과의 랑데부 포인트로 지정하고, 지정된 센서로 다른 센서들이 데이터를 전송하게끔 설정한다면, 드론은 랑데부 포인트로 설정된 센서로만 접근하여 데이터를 다운받으면 된다. 이런 방식이 안전하며, 센서와 드론의 에너지 절약 측면에서 효율적일 수 있다. 그러나 랑데부 포인트를 하나의 센서로만 고정하면, 해당 센서의 배터리만 지속적으로 소모하게 되어 그 기능을 일찍 상실할 수 있으므로, 랑데부 포인트를 효과적으로 교체해 줄 필요가 있다.

본 논문에서는 랑데부 포인트 교체 기법에 대해서 설명하였다. 1장 서론에 이어 2장에서는 관련 연구에 대해서 소개하고, 3장에서는 랑데부 포인트 교체 기법에 대해서 구체적으로 설명하였으며, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 랑데부 포인트 교체 기법의 적용성을 검증하였다.

마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

본 장에서는 드론을 활용하여 효율적으로 데이터를 수집하는 다양한 방법을 소개한다. 공사현장에 배포된 센서 노드들은 배터리 교체가 어렵기 때문에 한정된 에너지로 동작하기 위해서는 효율적인 데이터 전송 방법이 중요하다. 또한 데이터 수집 시 드론의 경로를 결정하는 것은 전체 네트워크 수명과 데이터 병합 비용에 매우 중요한 영향을 미친다. 효율적인 데이터 수집을 위해 적합한 경로를 정하기 위한 많은 연구가 제안되었다.

모바일 싱크의 최적의 데이터 수집을 위해 알려진 TSP(Traveling Salesman Problem), Minimum Spanning Tree와 같은 최적 경로 탐색 알고리즘^[2]이 소개되었다. Konstantopoulos^[3]은 네트워크 토폴로지 내에 트리를 구성하여 각각의 트리에 이동 에이전트를 할당하여 데이터를 수집하는 방법을 제안하였다. 제안된 트리 기반 데이터 수집 방법은 루트 노드에 가까운 노드일수록 에너지 소모가 심하며 이는 불균등한 에너지 소모로 이어질 수 있다.

무선 센서 네트워크에서 데이터 수집 과정의 균등한 에너지 소모를 위해 계층적으로 클러스터링을 하는 라우팅 기법이 많이 연구되었다. LEACH^[4]는 대표적인 클러스터 기반의 계층적 라우팅 기법 프로토콜이다. LEACH에서는 일정 기간마다 센서 노드들을 클러스터로 그룹화하고 클러스터마다 헤드 노드를 선정한다. 주변의 노드들이 감지한 데이터를 헤드(head) 노드에 전송하고 최종적으로 싱크(sink) 노드로 전송한다. 클러스터 헤드는 일반노드에 비해 에너지 부담이 많기 때문에 일반노드들이 일정 기간동안 번갈아 가면서 에너지 소모를 균등하게 분포하도록 유지하는 것이 중요하다. 각 라운드는 셋업 단계와 안정 상태 단계로 이루어진다.

셋업 단계에는 헤드 노드를 선출하고 헤드 노드를 중심으로 클러스터링이 이루어진다. 안정 상태 단계에는 센서 노드들이 수집한 데이터를 헤드 노드로 전송하고, 헤드 노드는 병합과 같은 효율적인 방식으로 싱크 노드로 전송하는 과정이다. L-LEACH^[5] 알고리즘은 센서 노드의 에너지 소모량을 고려하여 LEACH 알고리즘을 개선시켰다. 헤드 노드 선정 과정에서 에너지 잔량이 낮은

노드들의 선정 임계값을 낮춰 배터리가 작은 노드들의 선정 확률을 낮췄다. 초기에너지 대비 에너지 잔량 비에 비례하는 단순한 적용 방식은 에너지가 작을 때 클러스터 선정된 헤드 노드의 수를 감소시킬 수 있다.

이는 에너지 소모의 불균형을 유발되고 네트워크 수명이 단축될 수 있다. Liao et al.^[6] 은 헤드 노드 선출 과정에서 L-LEACH의 에너지 잔량 적용 방식을 개선하여 네트워크의 수명이 단축되는 문제를 해결하였다. 또한 BS와의 거리를 적용하여 Base Station(BS)와의 거리가 가까울수록 선정 확률을 높였다.

본 논문에서는 센서의 에너지 잔량과 드론과 센서 노드의 거리에 따라 랑데부 포인트를 교체해가며 드론을 통해 효율적으로 데이터를 수집하는 방법을 제안한다. 랑데부 포인트 교체 기법에서 에너지 잔량을 고려하여 센서들의 배터리 소모를 균등하게 하는 것이 중요한 목표이다. 또한 제안 기법은 드론과의 상대거리를 반영하여 지리적으로 가까운 랑데부 포인트를 선정함으로써 드론의 이동 거리를 줄일 수 있는 점이 기존 연구와 다르다.

III. 랑데부 포인트 교체 기법

본 장에서는 가정된 시스템 개요와 랑데부 포인트의 개념을 설명하고 제안된 랑데부 포인트 기법과 드론을 활용한 데이터 수집 과정을 살펴본다.

1. 시스템 개요 및 랑데부 포인트

드론이 임의의 경로를 통해 공사 현장을 방문하면서 데이터를 수집할 때 공사장 곳곳과 장비에 부착되어 흩어져 있는 센서들과 직접 통신하여 데이터를 수집하는 것은 불가능하다. 그림 1에서와 같이 공사현장 전체 데이터를 수집하는 하나의 랑데부 포인트를 선정한다. 랑데부 포인트는 공사 현장 내의 여러 센서들로부터 데이터를 수집하여 병합하고 드론이 자신의 통신 반경 내에 들어오면 병합된 데이터를 드론에게 전송한다.

드론을 활용한 데이터 수집에서 LEACH와 같이 확률에 따라 임의로 랑데부 포인트를 선정하거나^[7] L-LEACH와 같이 사전 정의 가능한 변수를 반영하여 고정된 비행경로 상에서 랑데부 포인트를 선정하는 방법이 사용된다^[8]. 그러나 기존의 드론을 활용한 데이터 수집에서 랑데부 포인트 선정 방법들은 배터리 기반으로 동작하는 센서 노드들의 에너지 잔량을 고려하지 않기 때문에 랑데부

포인트의 과도한 에너지 소모를 유발하여 무선 센서 네트워크 전체의 수명을 단축시키는 문제를 유발한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 제안 기법은 에너지 잔량이 많고 드론과의 거리가 짧은 노드를 랑데부 포인트로 선정함으로써 무선 센서 네트워크의 수명과 드론의 비행 가능 거리를 증가시키고 배치된 센서 노드들의 추가적인 배터리 교체 없이 효율적으로 공사현장의 데이터를 수집할 수 있도록 해준다.

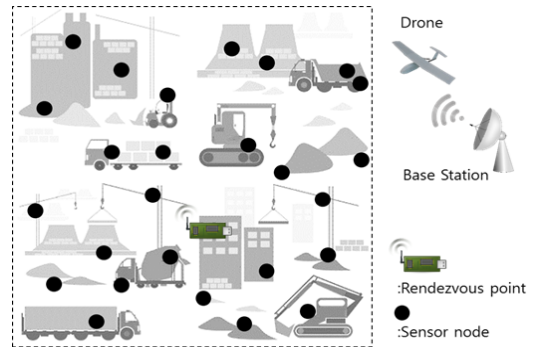


그림 1. 드론을 통한 공사현장 데이터 수집 개요
 Fig. 1. Drone based construction site data collection overview

2. 랑데부 포인트 교체 알고리즘

앞서 언급했듯이 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 각 센서 노드들의 에너지 소모를 균등하게 유지하는 것이 중요하다. 랑데부 포인트는 일반 센서 노드들에 비해 에너지 소모가 크기 때문에 드론의 데이터 수집 주기마다 교체하는 것이 필요하다. 제안 기법에서는 랑데부 포인트 선정을 위해서 각 센서 노드가 수식 (1)과 같은 역치 값(Threshold value)과 0에서 1사이의 난수 값을 생성하고, 난수 값이 역치 값($T(n)$) 보다 작을 때만 새로운 랑데부 포인트로 선정 된다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{E_n^{cur}}{E_n^{avg}} \times \left[\frac{(1-\alpha)\rho}{1-\rho \times (r \bmod \frac{1}{\rho})} + \alpha\rho \times f(RSSI_n) \right], & n \in R \\ 0, & n \notin R \end{cases}$$

$$, \text{ where } f(RSSI_n) = \frac{R_{max} - RSSI_n}{R_{max} - R_{min}} \quad (1)$$

역치 값은 크게 센서 노드의 에너지 잔량과 드론과의 거리를 반영하는 부분으로 나눌 수 있다. 에너지 잔량을 반영하는 부분은 전체 노드의 에너지 잔량 평균에 비해 해당 노드의 현재 남아있는 잔량을 비교한다. 해당 노드의 에너지 잔량이 전체 평균보다 높을 때는 랑데부 노드

로 선정될 가능성이 높아지고 반대의 경우에는 선정 가능성이 낮아진다.

센서 노드와 드론 사이의 거리를 반영하는 부분은 Received Signal Strength Indication (RSSI) 측정을 통해 결정된다. 드론 진입 시 각 센서 노드에서 드론의 브로드캐스팅 메시지를 수신했을 때의 RSSI($RSSI_n$)를 측정한다. 이렇게 측정된 RSSI는 드론과의 거리가 가까울 경우에는 최대 RSSI(R_{max})와 가까워져 랑데부 노드로 선정될 가능성이 높아지고 거리가 멀수록 최소 RSSI(R_{min})와 가까워져 랑데부 노드로 선정될 가능성이 낮아진다.

제안된 기법의 경우 랑데부 포인트 선정과정에서 확률에 기반을 두고 있기 때문에 랑데부 포인트가 선정되지 않거나 두 개 이상의 랑데부 포인트가 동시에 선정될 가능성이 있다. 먼저 랑데부 포인트가 선정되지 않았을 때는 랑데부 포인트 교체가 발생하지 않고 기존의 랑데부 포인트가 연이어 데이터 수집과 드론으로의 데이터 전송을 수행한다.

두 개 이상의 랑데부 포인트가 선정됐을 경우에는 수식(2)와 같은 타이브레이킹(tie-breaking) 함수를 활용한다. 랑데부 포인트로 선정된 노드들은 자신의 선정 여부를 알리는 브로드캐스팅 메시지 전송 시 수식(1)의 역치 값 계산에 사용된 자신의 현재 에너지 잔량과 RSSI를 포함하여 전송한다. 각 노드들이 두 개의 랑데부 포인트로부터 메시지를 전송 받으면 $B(i, j)$ 을 계산하고 값이 0.5 이상이면 i 노드를, 0.5 미만이면 j 노드를 랑데부 포인트로 선정한다.

$$B(i, j) = (1 - \alpha) \frac{E_i^{cur}}{E_i^{cur} + E_j^{cur}} \times \alpha \frac{RSSI_i}{RSSI_i + RSSI_j} \quad (2)$$

표 1은 본 논문에서 사용되는 기호를 설명한다.

표 1. 논문에서 사용된 용어

Table 1. The notations used in the paper

Notation	Description
$T(n)$	Threshold value of sensor node n
E_n^{cur}	Current energy level of node n
E_n^{ave}	Average residual energy of all nodes
ρ	Percentage of rendezvous points
α	Weight between residual energy and distance to the drone
r	The number of rounds
R	A set of rendezvous point candidates
$RSSI_n$	RSSI between the drone and node n
R_{max}	Maximum range of RSSI
R_{min}	Minimum range of RSSI

3. 드론을 활용한 데이터 수집 과정

그림 2는 드론을 활용한 공사현장의 데이터 수집 과정을 보여준다. 드론은 데이터 수집을 위해 해당 사이트로 이동하고 자신의 도착 사실을 주변 노드에게 전송하면 센서 노드는 드론과의 거리를 측정하기 위해 통신 모듈의 RSSI 값을 측정한다. 드론이 해당 사이트에서 데이터 수집을 위해 머물기 직전에 랑데부 포인트 교체 작업이 진행된다. 이를 위해 해당 사이트의 각 노드들은 수식(1)에 따라 역치 값을 계산하고 새롭게 선정된 랑데부 포인트는 주변 노드들에게 자신의 주소, 현재 에너지 잔량(E_n^{cur}), 측정된 RSSI($RSSI_n$)를 포함한 메시지를 알리고 주변 노드들로부터 데이터를 수집한다. 만약 드론이 데이터를 수집하기 전까지 새로운 랑데부 포인트가 선정되지 않으면 기존의 랑데부 포인트가 연이어 데이터 수집 작업을 진행하며 두 개 이상의 랑데부 포인트가 선정되면 수식(2)의 타이브레이킹 함수를 반복적으로 수행하며 하나의 랑데부 포인트를 결정한다. 드론은 랑데부 포인트로부터 해당 사이트의 데이터를 전송을 완료한 후에 BS으로 귀환한다.

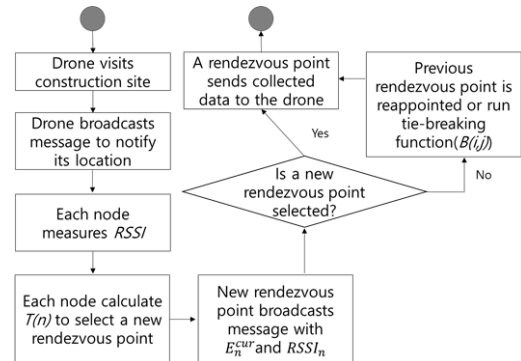


그림 2. 데이터 수집 과정

Fig. 2. Data collection steps

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 시뮬레이션 환경을 설명하고 제안 기법을 LEACH와 L-LEACH와 비교한 결과를 분석한다. 표 2는 시뮬레이션에서 사용한 설정값을 보여주고 있으며 시뮬레이션은 SIDnet-SWANS^[9]에서 진행하였다.

표 2. 설정 파라미터
 Table 2. Configuration parameter

Configuration	Value
Field size	1km X 1km
Number of nodes	100
Communication range	150m
Initial energy	2J
Tx energy	50nJ/bit * d^2
Rx energy	50nJ/bit
ρ	0.01
α	0.1
R_{max}/R_{min}	-40/-100dBm

그림 3은 각 기법별 라운드에 따른 생존 노드의 수를 비교한 결과이다. LEACH의 경우 임의의 위치에 랑데부 포인트가 생성되기 때문에 일부 지역에 랑데부 포인트 선정이 집중되어 에너지 소모가 급증하는 문제가 발생하였다. L-LEACH의 경우에는 필드의 중앙 드론의 데이터 수집 위치로 가정하고 에너지 잔량과 거리를 고려하여 랑데부 포인트를 선정하기 때문에 LEACH와 같은 문제는 줄어들지만 필드의 중앙에 랑데부 포인트가 집중되는 문제를 유발한다. 제안 기법에서는 에너지 잔량뿐만 아니라 동적인 드론의 위치까지 고려하여 랑데부 포인트를 선정하기 때문에 다른 기법들에 랑데부 포인트가 균등하게 분포하게 되고 네트워크 수명이 증가한다.

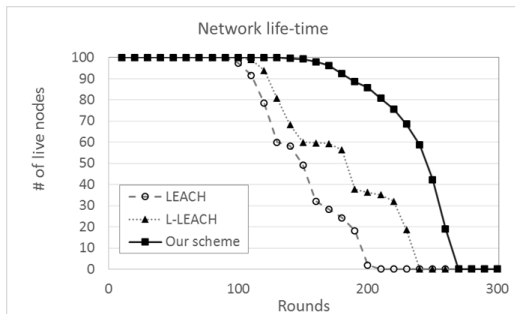


그림 3. 네트워크 수명 비교
 Fig. 3. Network lifetime comparison

그림 4는 무선 센서 네트워크가 유지(노드의 40% 이상이 생존)되는 180라운드 동안 드론의 평균 비행 거리를 비교한 것이다. LEACH의 경우 드론의 위치를 반영하지 않기 때문에 매 라운드마다 드론의 비행 거리의 차이가 심하고 평균 비행 거리도 가장 길었다. L-LEACH의 경우는 드론이 필드의 중앙 부분을 방문하는 횟수가 많기 때문에 라운드별 변화폭은 크지 않다. 제안 기법의 경우

드론의 동적인 진입 위치 변화를 고려하기 때문에 드론과 가장 가까운 센서 노드가 랑데부 포인트로 선정되는 경우가 많아 평균에서도 가장 짧은 비행 거리를 보였다.

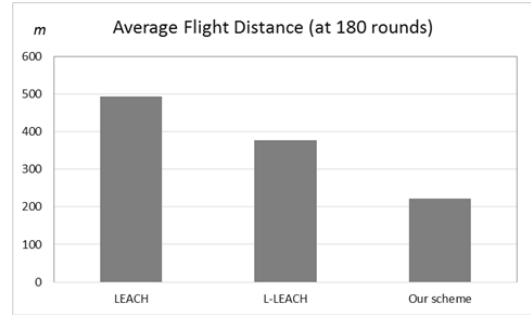


그림 4. 드론의 평균 비행시간 비교
 Fig. 4. Average flight distance comparison

V. 결론

광범위한 토목 공사 현장에서 정확하고 효율적인 데이터 수집을 위해 다양한 센서를 설치하고 원격에서 드론을 사용하여 데이터를 수집하는 연구들이 진행되고 있다. 이렇게 드론이 지상의 무선 센서 네트워크와 협업하여 데이터를 수집할 때에는 드론이 모든 센서 노드들과 직접 통신하는 것은 불가능하기 때문에 센서 노드들의 데이터를 취합하여 이를 한 번에 드론에게 전송하는 랑데부 포인트를 지정하게 된다. 본 논문에서는 이러한 랑데부 포인트가 다른 노드들에 비해서 에너지 소모가 많기 때문에 주기적인 교체 필요성을 확인하고 노드의 에너지 잔량과 드론과의 동적인 거리 변화를 고려한 랑데부 노드 교체 기법을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안 기법이 기존의 기법들에 비해 네트워크의 수명을 늘리고 드론의 비행 거리를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

References

- [1] T. Kim et al., "A System Design and Implementation for Geotechnical Engineering Field Application of Drone," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol.16, No.3, pp.173-178, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.3.173>

[2] H. D. CHINH, "Analysis, Design and Optimization of Energy Efficient Protocols for Wireless Sensor Networks," Thesis Paper of National University of Singapore, pp.34-35, 2013

[3] C. Konstantopoulos et al., "Effective determination of mobile agent itineraries for data aggregation on sensor networks," *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, Vol.22, No. 12, pp.1679-1693, Dec. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.203>

[4] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", in *Proc. of the Hawaii International Conference on System Science*, pp. 3005-3014, Jan. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>

[5] M. J. Handy, M. Hasse, and D. Timmermann, "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection," in *Proc of the 4th IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks*. Stockholm, pp. 368-372, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWCN.2002.1045790>

[6] Q. Liao and H. Zhu. "An energy balanced clustering algorithm based on LEACH protocol", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 341, pp. 1138-1143, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.341-342.1138>

[7] D. Ho et al., "Optimization of Wireless Sensor Network and UAV Data Acquisition," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.78, No.1, pp.159-179, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10846-015-0175-5>

[8] A. Alomari et al., "A Scheme for Using Closest Rendezvous Points and Mobile Elements for Data Gathering in Wireless Sensor Networks," in *Proc. of IFIP Wireless Days*, pp.1-6, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/WD.2014.7020793>

[9] O. C. Ghica et al., "SIDnet-SWANS: a simulator and integrated development platform for sensor networks applications," in *Proc. of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, pp.385-386, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1145/1460412.1460464>

저자 소개

김 태 식(정회원)



- 2000년 : 서울대학교 지구환경시스템 공학부 졸업 (학사).
- 2002년 : 서울대학교 지구환경시스템 공학부 졸업 (석사).
- 2011년 : Northwestern University. 졸업(박사).
- 2013년 ~ 현재 : 홍익대학교 토목공학과 조교수

<주관심분야 : 도심지 굴착, 무선 센서 네트워크, IoT>

정 진 만(정회원)



- 2008년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
- 2014년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(박사)
- 2014년 ~ 현재 : 한남대학교 정보통신공학과 조교수

<주관심분야 : 운영체제, 임베디드 시스템, IoT, 시스템 보안>

민 흥(정회원)



- 2004년 : 한동대학교 전산과학 졸업(학사)
- 2011년 : 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사)
- 2013년 ~ 현재 : 호서대학교 컴퓨터정보공학

<주관심분야 : 운영체제, 무선 센서 네트워크, 스마트폰 센싱, 임베디드 시스템, 결합허용 시스템, IoT>부 조교수

※ 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(16CTAP-C097367-02)에 의해 수행되었음