

# 재난 모니터링을 위한 편대비행 UAV 네트워크에서 동적 트리 형성 프로토콜

## Dynamic Tree Formation Protocol in UAV Formation Flying Network for Disaster Monitoring

박진희\*, 김연주\*\*, 정진욱\*

Jin-Hee Park\*, Yeon-Joo Kim\*\*, and Jin-Wook Chung\*

### 요약

본 논문에서는 재난모니터링, 환경감시 및 재난구호 등의 정보 수집 및 정찰 등의 임무를 수행하는 다수의 UAV들로 구성된 편대비행 네트워크를 위해 동적 트리 형성 프로토콜을 제안하였다. 특히 무선 동적 환경에 적응한 최적의 트리를 구성하기 위한 링크 비용을 구하기 위해 거리에 따른 무선 신호 감쇄현상을 적용하여 Hop-LQI Weight 알고리즘을 고안하였으며 이를 MSP430 K-mote 센서 플랫폼에 TinyOS 코드를 구현하였다. 이를 무선 통신에서 링크 비용 산출 기법인 Minimum LQI 방법과 노드 수에 따른 평균 경로 설정시간을 비교를 통하여 성능을 검증하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a dynamic tree formation protocol for multiple UAV which is gathering data or accomplishing a mission such as disaster monitoring, environment monitoring, and disaster relief. Especially, we designed Hop-LQI Weight algorithm to form optimal tree in wireless dynamic environment applying situation of radio signal attenuation over distance and implemented our algorithm in MSP 430 K-mote sensor platform using TinyOS codes. We verified performance of our algorithm by comparing average link setup time by the number of nodes with minimum LQI, link cost calculation method in wireless communication.

Key words : Unmanned Aerial Vehicle, Tree Topology, Dynamic Link Selection, Link Quality Indicator, Metric

### I. 서론

센서와 무선 통신 모듈을 장착하고 동력을 사용하여 조종사 없이 스스로 자율 비행하는 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 이라 불리고 있는 무인항공기는 고정형 센서 및 감시 장비만으로는 전 영역을

커버할 수 없는 중요시설, 도심지, 재난 및 재해지역, 방사능 유출지역, 화재지역, 군사작전지역등에 감시 및 정찰활동을 통한 재난 정보수집 및 피해자 구호, 산불감시, 환경 모니터링, 농업 관리 자동화, 시설물 관리 등 매우 다양한 응용분야에 활용될 수 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

\* 성균관대학교(Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

\*\* 전자부품연구원(RFID/USN Convergence Research Center, Korea Electronics Technology Institute)

· 제1저자 (First Author) : 박진희

· 투고일자 : 2012년 4월 4일

· 심사(수정)일자 : 2012년 4월 4일 (수정일자 : 2012년 4월 24일)

· 게재일자 : 2012년 4월 30일

UAV들은 특정 공간을 순환 비행 또는 3차원 배열 이동 비행하면서 목적에 따라 데이터를 수집하고, 이 데이터를 원격으로 전송하는 기능을 수행한다. UAV는 무선 통신 모듈을 장착하고 있으므로 일반적인 무선 통신 네트워크의 특성을 가지고 있다. 그러나 고정형 인프라 기반의 네트워크 혹은 일반적인 모바일 애드혹 네트워크와는 다른 특성을 가진다. UAV 응용들은 대개 여러 개의 UAV들로 구성된 편대 형태의 네트워크를 형성하여 임무를 수행하는 구조로 되어 있으므로 동적 모바일 애드혹 네트워크를 형성하고, 자체 동력으로 동작하므로 저전력 통신에 대한 요구사항을 갖는다. UAV 네트워크는 편대를 형성하여 수집한 데이터를 전송하기 위한 목적과 편대관리를 위한 데이터 공유를 위한 목적을 가지고 있다. 일반적인 무선 네트워크 토폴로지는 스타, 트리, 메시 형태가 있으나 본 논문에서는 편대중심의 네트워크 형성을 위해 Tree 형태의 네트워크 프로토콜을 제안한다. UAV들은 편대를 형성하여 군집 비행을 하기 때문에 편대장의 역할을 하는 싱크 노드 혹은 코디네이터를 중심으로 하는 데이터 전송을 위해 계층 구조인 트리형태가 적합하다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 WPAN 표준 기반의 트리 형태의 UAV 네트워크를 제안하며, 동적으로 변할 수 있는 무선 UAV 네트워크에서 트리를 형성하기 위하여 홵과 LQI가 중치기반의 링크 비용을 통한 부모-자식간의 링크 선택을 위한 알고리즘을 도출하고 이에 대한 성능을 검증하였다.

본 논문의 2장에서는 무선 네트워크 프로토콜에서 라우팅 경로를 설정하기 위해 RSSI (Radio Signal Strength Index), LQI (Link Quality Indicator), 홵을 매트릭으로 링크 비용을 도출하는 기존 연구를 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 편대 비행을 하는 UAV 네트워크에서 동적 트리 형성 프로토콜 설명한다. 4장에서는 제안한 프로토콜의 성능 평가를 수행하며 실험 결과를 논의한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

무선 네트워크에서 토폴로지 생성과 라우팅을 위해 링크를 선택하는 매트릭에 관한 연구가 많이 수행되어 왔다. IEEE 802.15.4[1] 또는 센서 네트워크 기반의 많은 연구[4][11][12]에서는 홵, RSSI, LQI, ETX (Expected Transmission Count) 등의 매트릭을 사용하고 있다. 홵과 LQI를 이용하여 링크 비용을 계산하는 방식은 전체 경로의 홵의 수가 작은 링크를 선택하는 간단한 홵수 방식, 일정 Threshold 안에서는 전체 경로가 작은 홵 수를 선택하는 Shortest Path with Link Quality Threshold 방식, PDR (Path Delivery Ratio)으로 링크의 품질을 결정하는 링크 품질 방식, 전체 경로의 링크를 누적하여 이것을 링크 선택 시 사용하는 Multihop LQI 기법, WL (Weak Link)와 HC (Hop Count)을 링크 설정 매트릭으로 사용하여 전체 경로에서 일정 Threshold LQI 이하의 링크를 갖는 경로를 선택하며, 만약 이 값이 같을 경우 홵의 수가 작은 링크를 선택하는 Hop Count While Avoiding Weak Links 기법, 여러 전체 경로에서 최소 LQI 값이 큰 경로를 선택하는 MAX-LQI 기법[5] 및 Minimum LQI[3] 기법, LQI와 PLP (Packet Loss Percentage)을 추가하여 Multihop LQI를 보완한 Hybrid LQI[6]등 다수의 기법들이 연구되고 있으며 아래의 표에 정리되어 있다.

표 1. 라우팅 매트릭 비교

Table 1. Comparison of routing metrics[5].

| Routing metric                            | Hop count | Awareness of link quality | Link quality estimation method |
|---|-----------|---------------------------|--------------------------------|
| Hop count                                 | Yes       | No                        | -                              |
| Shortest path with link quality threshold | Yes       | Yes                       | Packet                         |
| Link quality routing                      | Yes       | Yes                       | Packet                         |
| ETX                                       | Yes       | Yes                       | Packet                         |
| MultiHopLQI                               | Yes       | Yes                       | LQI                            |
| MAX-LQI/RQI                               | No        | Yes                       | LQI                            |
| PATH-DR                                   | Yes       | Yes                       | LQI                            |
| LETX                                      | Yes       | Yes                       | LQI                            |

## III. 동적 UAV 트리 토폴로지 프로토콜

### 3-1 UAV 편대 네트워크 토폴로지 모델링

UAV들은 여러 가지 목적으로 모니터링 및 정찰 등의 임무를 수행하기 위해 편대 비행을 한다. 그림 1과 같이 재난 모니터링의 목적을 갖는 UAV들은 편대장을 중심으로 군집 비행을 하며 재난 정보를 수집하고 이를 전송한다.

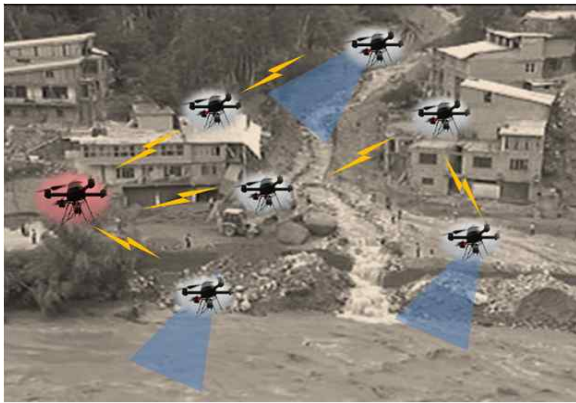


그림 1. UAV를 이용한 재난모니터링 예  
Fig. 1. Example disaster monitoring using UAV.

그림 1과 같이 UAV들은 응용에 따라 다양한 환경의 현장을 비행하기 때문에 기류, 장애물, 전파방해 등으로 UAV 편대 네트워크의 상황이 동적으로 변하게 된다. 이러한 상황에 적응하고 안정적인 편대 네트워크를 유지하기 위한 프로토콜과 트리 형태의 토폴로지를 구성하기 위한 부모-자식 간의 링크 설정을 위한 링크 비용 선택 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 거리에 따라 LQI 값에 이득 혹은 감쇠를 부여하여 새로운 알고리즘을 개발하고자 한다. LQI는 링크 사이의 강도로 RSSI 값에서 나오는 값이므로 RSSI 값 즉, 거리에 따른 무선 RF 파워를 살펴보겠다. 일반적으로 통신에서 사용되는 거리에 따른 무선 RF 신호 세기의 감쇠식은 아래와 같다[7].

$$P(r)[dBm] = P(r_o)[dBm] + 10n \log\left(\frac{r}{r_o}\right) \quad (1)$$

여기서  $P(r)$ 는 센서 노드에서 측정된 신호세기,  $r$  : 싱크 노드와 센서 노드와의 거리,  $r_o$ : 싱크 노드와 기준점과의 거리,  $P(r_o)$ 은 기준점에서 측정된 싱

크 노드의 신호 세기,  $n$ 은 경로 손실 지수이다. (1)의 식으로 거리 변화에 따른 싱크 노드의 신호세기의 값은 다음과 같다.

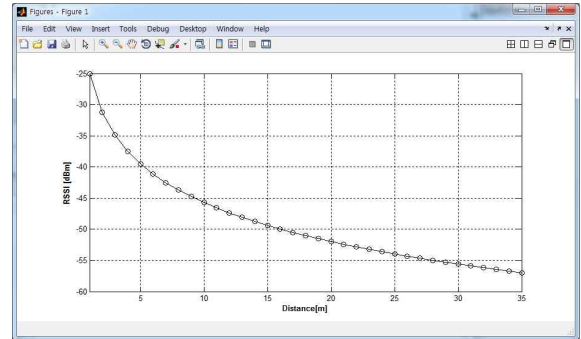


그림 2 거리 변화에 따른 노드의 신호 세기  
Fig. 2. Signal strength of node by distances.

보통 경로손실 지수는 2~4 사이의 값을 사용하지만 만 여기서는 2를 사용하였다[8]. 본 논문의 매트릭 값을 정의하기 위해 거리에 따른 RF 신호 세기의 값을 찾아보았다. 즉, 거리에 변화에 따른 LQI 값은 RSSI의 값을 따르며 RSSI 값은 식(1)을 따른다. 거리에 따른 LQI 값의 변화율 또한 그림 2의 형태로 값이 나와야 한다. 거리에 따른 감소 그래프의 형태는 부드러운 곡선형 감소 그래프로, 곡선형 그래프를 얻기 위해서는 지수함수를 사용해야 한다. 또한 감소 함수를 얻기 위해서는  $0 < x < 1$  사이의 값을  $x$ 로 할 때, 완만한 곡선형 감소 그래프가 나온다. 이에 따라 본 알고리즘에서는 부모-자식간 관계를 설정하기 위한 링크 비용을 0보다 크고 1보다 작은 상수의 거리 차이만큼의 지수 곱을 곱하는 Hop-LQI Weight 알고리즘 (2)을 제안하며, 거리 차는 홉 수의 차로 간주한다. 이 방식은 1홉인 부모-자식 간의 링크 품질과 싱크 노드로부터의 전체 경로의 홉 수 모두를 동시에 고려한 방식이다.

$$\begin{aligned} iCost &= cLQI \\ Cost &= cLQI * \alpha^{diff(cHop, pHop)} \end{aligned} \quad (2)$$

$(\alpha : constant, 0 < \alpha < 1)$

여기에서  $iCost$ 는 초기 링크 비용,  $cLQI$ 는 1 홉 부모와 자신과의 LQI값,  $cHop$ 은 sink로부터 자신과의 누적 홉 수이다.  $iCost$ 는 초기 링크 비용 값으로 UAV

가 처음으로 LINK\_ANN을 받았을 경우의 현재의 LQI값인 cLQI 값을 설정한다. 만약 이미 설정한 링크 비용 값을 가지고 있다면 현재의 LQI 값인 cLQI에  $\alpha$ 의 현재의 링크의 Hop 수인 cHop과 전에 설정된 링크의 Hop수인 pHop의 차이 값의 지수승을 곱하여 산출한 링크 비용과 전의 링크 비용 값을 비교하여 큰 비용 값을 가진 링크를 선택한다. Hop-LQI Weight와 minimum LQI 방식을 비교하기 위하여 그림 3와 같이 그리드를 사용하여 UAV 편대 네트워크 토폴로지를 모델링하였다.

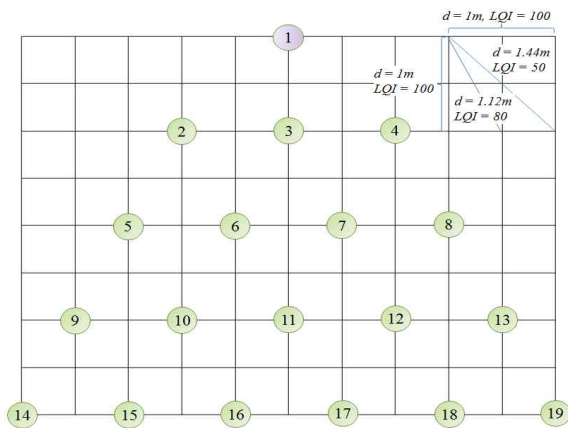


그림 3. UAV 편대 네트워크 토폴로지 모델링  
Fig. 3. Topology model of UAV formation network topology.

그림 2는 각 1m\*1m로 단위 공간의 집합으로 구성된 그리드 기반의 19개의 UAV로 구성된 편대 네트워크 토폴로지 모델을 보여준다. 단위 값은 거리  $d$ 가 1m 일 경우 LQI 값은 100으로 설정하였으며 LQI는 거리의 제곱에 반비례한다는 사실에 기반(2)하여 각 UAV들 사이의 LQI를 설정하였다.

$$LQI_{i,j} \propto \frac{1}{D_{i,j}^2} \quad (3)$$

$D_{i,j}$ 는 UAV $i$ 와 UAV $j$  사이의 거리이며  $LQI_{i,j}$ 는 UAV $i$ 와 UAV $j$  사이의 LQI 값이다. 예를 들어 그림 3에서 UAV1과 UAV3는  $d_{1,3}=1m$ ,  $LQI_{1,3}=100$ , UAV1과 UAV4는  $d_{1,4}=1.44m$ ,  $LQI_{1,4}=50$ , UAV3과 UAV7는  $d_{3,7}=1.12m$ ,  $LQI_{3,7}=80$ 으로 정해진다. 그림 3에서 최적 트리 경로 선택은 Minimum LQI를 사용하였을

경우 1-3-4-8-13-19 (5Hop)을, Hop-LQI Weight 방식을 사용하였을 경우 1-4-8-13-19 (4Hop)의 경로를 설정하며, Hop-LQI Weight 방식이 Minimum LQI 방식보다 적은 홉 수를 가진 경로를 형성하는 것으로 나타난다.

3-2 동적 트리 토폴로지 형성 프로토콜

본 논문에서 제안한 UAV 편대 네트워크에서 동적 트리 토폴로지 형성 프로토콜은 IEEE 802.15.4 기반으로 주기적인 링크 설정을 위한 비콘 메시지 (LINK\_ANN), 링크 설정 요청 메시지 (ASSOC\_REQ), 링크 설정 응답 메시지 (ASSOC\_RSP) 및 링크 설정 확정 메시지 (LINK\_SET)의 4가지 메시지를 정의하여 멀티홉 트리 네트워크 토폴로지를 주기적으로 재형성한다. 이 주기는 비콘 메시지의 주기에 영향을 미치며, 싱크 노드 UAV가 생성한다. 트리 네트워크의 부모-자식 관계를 수립하기 위한 링크 비용은 Hop-LQI Weight(2) 방식으로 산출한다.

싱크 노드 UAV는 주기적으로 LINK\_ANN 메시지를 전송한다. 이 싱크 노드 UAV의 RF 범위 안에 존재하는 UAV들은 이 메시지를 수신한 후 Hop-LQI Weight를 이용하여 링크 비용을 계산하여 최적의 링크를 설정하며, 만약 이미 설정하였다면, 수신한 LINK\_ANN의 홉 카운트를 1만큼 증가시키고 자신의 주소를 추가하여 자신의 이웃 UAV들에게 릴레이한다. 이러한 방식으로 LINK\_ANN이 UAV 편대 네트워크 안의 모든 UAV들에게 전달될 때마다 싱크 노드 UAV로부터 중간의 경유한 UAV들의 주소를 추가하여 트리 경로를 생성하게 된다.

만약 노드들이 부모 후보 노드로부터 LINK\_ANN을 수신할 경우 다음과 같이 산출한 링크 비용을 이용하여 부모-자식 링크 설정을 결정한다.

① 부모-자식 링크가 설정이 안 된 초기 상태일 경우 ; LINK\_ANN을 받은 부모 후보 노드와의 링크 사이의 LQI를 링크 비용으로 설정하고 부모-자식 관계 수립

② 기존 부모-자식 링크가 설정이 되어 있는 경우 ; 부모 노드 UAV 또는 부모 후보 노드 UAV로부터 받은 LINK\_ANN의 싱크 노드 UAV 주소와 기존에 자신이 가지고 있던 싱크 노드 UAV 주소와 비교하

여 같을 경우; 싱크 노드 UAV로부터 자신까지의 홉 수와 부모 후보 노드 UAV와의 링크사이의 LQI를 가지고 링크 비용을 계산하여 기존의 비용과 비교하여 큰 값의 링크 선택, 만약 부모 노드 UAV 또는 부모 후보 노드 UAV로부터 받은 LINK\_ANN의 싱크 노드 UAV 주소와 기존에 자신이 가지고 있던 싱크 노드 UAV 주소와 비교하여 다를 경우; 패킷 삭제 주기적인 비콘 메시지를 이용한 동적 트리 형성 프로토콜의 메시지 시퀀스 차트의 예는 그림 4와 같다.

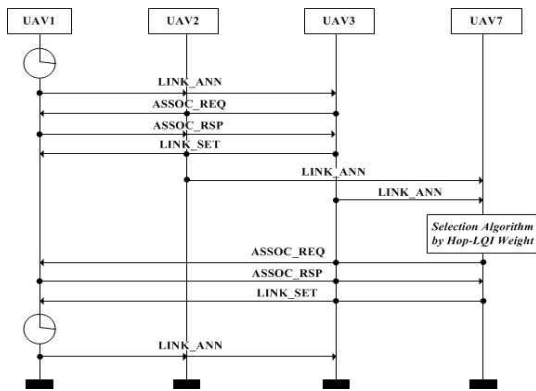


그림 4. 그림 3에서 트리 링크 설정 메시지 시퀀스 차트 예 (UAV1↔2↔3↔7의 경우)  
 Fig. 4. Example of MSC for tree link setup in Fig3 (case of UAV1↔2↔3↔7).

#### IV. 구현 및 실험

본 논문에서 제안한 UAV 네트워크에서 동적 트리 형성 프로토콜을 검증하기 위해 MSP 430 K-mote 센서 노드 플랫폼 상에서 TinyOS-2.x[2][9][10]를 사용하여 구현하였으며, 링크 비용 산출을 위해 Hop-LQI Weight 기법과 Minimum LQI 기법을 구현하여 노드 수에 따른 성능을 실험하였다.

표 2. 프로토콜 구현 환경 및 설정  
 Table 2. Test environment of protocol implementation

| 항목    | 내용      |                      |
|-------|---------|----------------------|
| 구현 환경 | 운영체제    | TinyOS-2.x           |
|       | 노드언어    | nesC                 |
|       | 노드 플랫폼  | K-mote(MSP 430)      |
|       | PHY/MAC | IEEE802.15.4(CC2420) |

|       | 데이터 수집 소프트웨어 | Metlab/GUI                   |
|-------|--------------|------------------------------|
| 시험 설정 | 노드수          | 싱크 노드:1, 센서 노드:10            |
|       | 전송 간격        | 5초                           |
|       | RF 출력        | -7dbm                        |
|       | 평균값 산출       | 실험 당 30개 패킷 전송, 총 2회 실험의 평균값 |

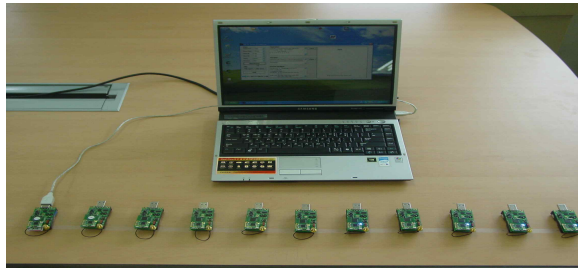
제안한 Hop-LQI Weight 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 표 3과 같이 TinyOS를 사용하여 구현하였다.

표 3. Hop-LQI Weight 알고리즘의 TinyOS 코드  
 Table 3. TinyOS codes for Hop-LQI Weight algorithm

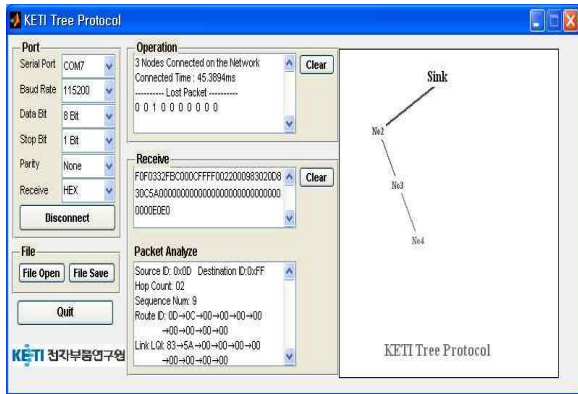
```

Hop-LQI Weight 방식에 의한 링크 비용 계산
(TinyOS 코드)
if(m_currentHopCnt == 0)
    *currentLQI = newPacketLQI;
else if(m_currentHopCnt < newHopCount)
    for(i =0; i<(newHopCount-m_currentHopCnt); i++)
        newPacketLQI *= LQI_CALC_WEIGHT;
else if (m_currentHopCnt > newHopCount)
    for(i=0; i<(m_currentHopCnt-newHopCount); i++)
        newPacketLQI /= LQI_CALC_WEIGHT;
    
```

실험 환경은 그림 5에서 보는 바와 같이 센서 노드의 RF 파워를 -10dbm으로 설정하였으며, 실측해본 결과 약 15cm 이내의 1-hop RF 커버리지를 보였다. 그림 5와 같이 실험 RF 커버리지 수를 넓히기 위해 5cm 간격으로 일렬로 배치하였다.



(a) 실험 환경



(b) 데이터 수집 및 검증 소프트웨어

그림 5. 프로토콜 실험환경

Fig. 5. Experimental environment of protocol test.

방식이 minimum LQI 보다 더 적은 노드를 경유하는 것을 확인하였다.

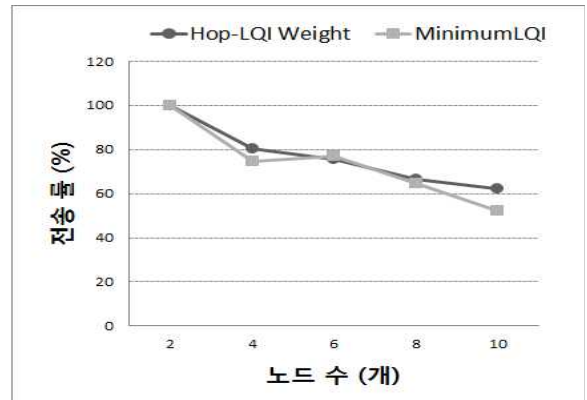


그림 7. 노드 수에 따른 평균 전송률 (α=0.8)

Fig. 7. Average transmission rate by the number of nodes (α=0.8).

Hop-LQI Weight 방식과 Minimum LQI의 전송 성공률은 그림 7과 같이 나타났으며, 상대적으로 Hop-LQI Weight 방식이 MinimumLQI보다 더 좋은 전송 성공률 나타나는 것을 확인하였다.

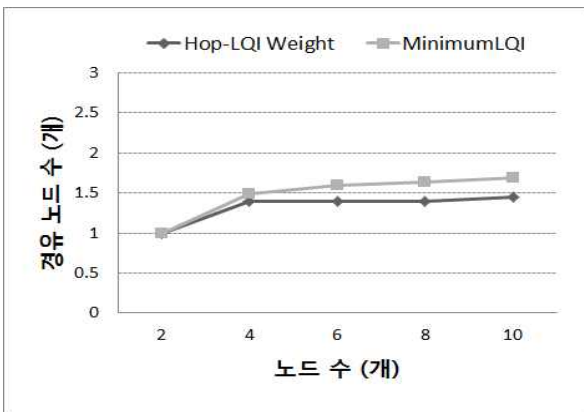


그림 6. 노드 수에 따른 평균 경유 노드 수 (α=0.8)

Fig. 6. Average count of relay nodes by the number of nodes (α=0.8).

성능 비교를 위해 그림 6, 7에서 보는 바와 같이 링크 설정 비콘 주기를 5초로 세팅하고, Hop-LQI Weight는 α값을 0.8로 설정하여 노드 수에 따른 평균 경유 노드와 평균 전송률을 실험하였다. 실험 결과 경유 노드 수는 그림 5의 (a)의 환경에서 최소 1에서 최대 3의 값을 왔으며 그림 6에서 보는 바와 같이 평균 경유 노드 수를 비교해봤을 때, Hop-LQI Weight

## V. 결 론

본 논문은 재난모니터링, 환경감시 및 재난구호 등의 정보 수집 및 정찰 등의 임무를 수행하는 다수의 UAV들로 구성된 편대비행 네트워크를 위해 동적 트리 형성 프로토콜을 제안하고, 무선 동적 환경에 적용한 최적의 트리를 구성하기 위한 링크 비용을 구하기 위해 거리에 따른 무선 신호 감쇄현상을 적용하여 Hop-LQI Weight 알고리즘을 고안하였다. 이를 MSP430 K-mote 센서 플랫폼에 TinyOS 코드를 구현하여, 이를 무선 통신에서 링크 비용 산출 기법인 Minimum LQI 방법과 노드 수에 따른 평균 경로 설정 시간을 비교를 통하여 경로 설정에서의 홉 카운트와 링크 설정 시간 측면에서 나온 성능을 볼 수 있었다. 이 결과를 통해 편대비행을 하는 UAV 네트워크에서 동적 트리 형성을 위해 본 논문에서 제안한 프로토콜 적용이 유용할 것으로 생각되며, 향후 연구로 제안한 프로토콜에 네트워크 상황에 맞춰 비콘 주기를 동적으로 설정하는 방법을 적용하여 전체 네트워크 성능

을 향상시키는 방안과 싱크 노드 UAV가 분리되었을 경우 트리 토폴로지를 재형성하는 방안을 추가적으로 보완할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [10039988].

참 고 문 헌

[1] IEEE std. 802.15.4 - 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS).

[2] Cnawali O, Fonseca R, Jamieson K, Levis P, CTP: Robust and Efficient Collection through Control and Data Plane Integration. *Stanford Univ. Technical Report SING-08-02*.

[3] F. Cuomo, S. Della Luna, U. Monaco and T. Melodia, "Routing in Zigbee: benefits from exploiting the IEEE 802.15.4 association tree", *IEEE International Conference on Communications*, pp.3271-3276, June 2007.

[4] C. Gomez, A. Boix and J. Paradells, "Impact of LQI-Based Routing Metrics on the Performance of a One-to-One Routing Protocol for IEEE 802.15.4 Multihop Networks", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, pp.1-20, 2010.

[5] Carles Gomez, Antoni Boix, and Josep Paradells, "Impact of LQI-Based Routing Metrics on the Performance of a One-to-One Routing Protocol for IEEE 802.15.4 Multihop Networks", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2010.

[6] 이완직, 이원열, 허석렬, "Minimum LQI 기반의 On-demand 센서 네트워크 라우팅 프로토콜", *한국산학기술학회논문지* 제10권 제11호 pp. 3218-3226, 2009.

[7] A. Gupta, M. Sharma, M. marot and M. Becker, "HybridLQI: Hybrid MultihopLQI for Improving Asymmetric Links in Wireless Sensor Networks" *2010 Sixth Advanced International Conference on Telecommunications*, pp.298-305, May 2010.

[8] J.B. Anderson, "Propagation Measurements and Models for wireless Communications Channels", *IEEE Communication Magazine*, November 1994.

[9] David M. Polzar, "Microwave and RF Wireless System", *John Wiley & Sons*, p163, 2002.

[10] TinyOS. MultiHopLQI. <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/tos/lib/MultiHopLQI>, 2004.

[11] Philip Levis, "TinyOS Programming", <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/pdf/tinyos-programming.pdf>, October 2006.

[12] CC2420 Radio, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>, Mar 2007.

박진희 (朴眞姬)



1999년 2월 : 동국대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
 2001년 2월 : KAIST ICC 정보공학과 (공학석사)  
 2008년 2월 : 성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학과(공학박사수료)  
 2001년 1월~현재 : 전자부품연구원

선임연구원

관심분야 : 재난통신, 무선네트워크 프로토콜

김연주 (金娟珠)



2006년 2월 : 국민대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2009년 2월 : 국민대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2011년 10월~현재 : 전자부품연구원 연구원

관심분야 : RFID, 무선통신

정진욱 (鄭鎭旭)



1974년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 (공학사)  
 1979년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 계산학전공(이학박사)  
 1973년 9월 - 1985년 2월 : 한국과학

기술연구소(KIST) 데이터통신실장

1985년 3월 - 2011년 8월 : 성균관대학교 교수 컴퓨터공학과

2011년 9월 - 현재 : 성균관대학교

2010년 1월 - 현재 : 인터넷윤리실천협의회 회장

관심분야 : 네트워크관리 정보보안 인터넷윤리