

효율적인 원거리 데이터 전송을 위한 Zigbee 노드들의 그룹화 알고리즘

Grouping Algorithms of Zigbee Nodes for Efficient Data Transmission to Long Range

우 성 제[†] · 신 복 덕^{*}
(Sung-Je Woo · Bok-Deok Shin)

Abstract - ZigBee network, based on PHY, MAC layer provides a specification for a suite of high level communication protocols using small, low-power digital radio based on an IEEE 802.15.4 standard. Meshing is a type of daisy chaining from one device to another. This technique allows the short range of an individual node to be expanded and multiplied, covering a much larger area. Each wireless technology that makes it to market serves a special purpose or function. Zigbee provides short-range connectivity in what is called a personal-area network (PAN). Within ZigBee PAN coordinator as manages an entire ZigBee network, the short range of frequency band was only selected because the technology allows typically less than 100 kbp or ZigBee troubles in retransmission processing and delaying data transmission works to create unproductive condition of work. This research was proposed the method, based on short range frequency of zigBee nodes enable to long range of remote data transmission with specific algorithm tools.

Key Words : Zigbee, Wireless network, Grouping

1. 서 론

스마트 그리드에서 HAN(Home Area Network)을 구성하는 중요 기술로 평가 받고 있는 Zigbee는 근거리 통신을 지원하는 IEEE 802.15.4 표준 가운데 하나이다. Zigbee 네트워크의 통신모드는 주-종 방식을 기본으로 하는 구성형태로 네트워크 안에서 하나의 기기를 코디네이터로 지정하고 코디네이터를 중심으로 나머지 노드들과 연계하여 PAN을 구성한다(그림 1). 또한 이웃하는 PAN(Personal Network Network)의 코디네이터들 끼리도 통신할 수 있어 네트워크의 확장을 통해 대규모 네트워크의 구성도 가능하다. 낮은 전송속도를 보완하기 위해 실시간 데이터 전송이 필요한 경우를 지원하기 위해 선택적 GTS(Guaranteed Time Slots)할당 작동이 가능하며, 통신에 필요한 대부분의 부하를 코디네이터에 집중시키고 상대적으로 종단기기의 기능을 줄이므로 구현에 필요한 자원과 비용을 줄였다. Zigbee네트워크의 구성은 역할이 다른 디바이스를 이용하여 star, tree 또는 cluster tree 토폴로지를 형성하는데 네트워크 노드들이 최초로 토폴로지를 구성한 이후 임의의 노드에서 발생한 네트워크상의 문제가 발생하여 데이터 전송이 불가능할 경우 전체 네트워크 성능을 저하시키는 단점을 가지고 있다. 또한 실시간 데이터 전송이 필요한 경우라면 이를 만족시키지 못하고 전체 네트워크 성능이 저하되는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 노드에서 전송되는 데이터는 버퍼에 저장되어

있다가 QoS(Quality of Service) 특성을 만족시키는 시간 내에 단말에게 전송되어야 한다. 하지만 무선 채널 상태가 가변적이고 노드의 이동 및 가변적인 환경변수 등으로 수신상태가 크게 달라질 수 있다. 이에 따라 지연시간이 증가하게 되면 데이터가 버퍼에 저장되어 있는 시간이 증가하게 되고 해당 데이터 flow가 요구하는 지연시간을 만족시키지 못하거나 버퍼 용량초과로 데이터 손실이 발생하게 된다. 이러한 데이터 재전송 및 손실이 네트워크 성능을 저하시키는 원인이 된다.

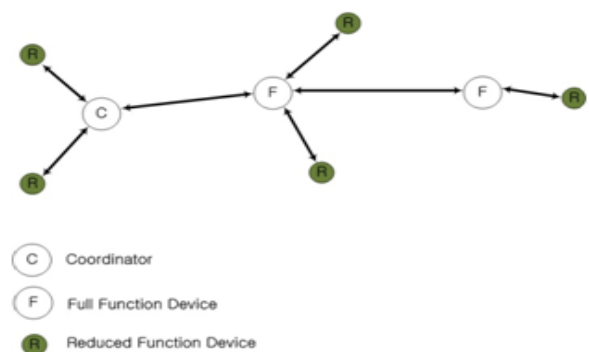


그림 1 Zigbee network 구성도
Fig. 1 Zigbee network topology

Zigbee 코디네이터에서 보낸 신호는 일반적으로 거리가 멀어질수록 신호의 세기가 약해지므로 목적 노드와의 통신이 어렵게 되고 재전송 등의 문제로 인한 무선자원의 낭비가 일어날 수 있다. 따라서 원거리 노드에게 안정적으로 신뢰할 수 있는 무선데이터 통신이 어렵게 된다. 또한 일반적

[†] 교신저자, 정회원 : 한국전기연구원

E-mail : cliot@naver.com

^{*} 비회원 : (주)우암코퍼레이션 이사

접수일자 : 2012년 2월 9일

최종완료 : 2012년 3월 26일

으로 코디네이터가 노드의 위치를 탐색할 수 없으므로[4], [5], [8], [9] 위치 정보를 이용해서 효율적으로 무선자원을 활용하는 것이 용이하지 않다. 무선 링크의 특성상 거리에 따르는 신호감쇄가 불가피하며[5], [6], [7](그림 2, 그림 3) 전송매질에 의한 무선 신호의 페이딩(fading) 현상도 발생한다.

최근 전력기술과 IT의 융합으로 고품질의 전력서비스를 가능하게 하는 기술인 스마트 그리드에서 맥내 또는 빌딩의 양방향 전력자동화 전력서비스의 통신 프로토콜 기준으로 제시되고 있는 zigbee의 경우에도 다중경로간섭(Multipath fading)과 신호감쇄 등으로 인한 multi-hop환경에서의 원활한 서비스가 쉽지 않다. 이러한 이유로 맥내 또는 빌딩의 경우 각 집 또는 각 층마다 코디네이터를 두어 네트워크를 구성하게 되어 자원의 효율적인 사용이 어렵게 되고 비용적으로 많은 비용이 소모되는 단점을 가지고 있다.

Zigbee는 좁은 통신영역과 적은 전력소모를 기반으로 하는 무선 통신의 특성을 가지고 있기 때문에 통신거리 및 구조물의 배치에 따른 통신 성공률의 변동성이 높은 특징을 가진다. 이를 해결하기 위해서는 통신효율이 떨어지는 곳에 중계노드 등의 장치를 배치할 필요가 있다. 이때 다수의 코디네이터가 존재할 경우 데이터 전송의 동기화 같은 문제로 인하여 CSMA/CA 기반의 MAC 통신에서 무선 유휴상태(idle)를 위한 기다림으로 delay등의 성능저하가 발생할 수 있다.

실제 산업에서 구현하고 있는 zigbee 장치들을 사용한 네트워크 구성은 이론적인 네트워크 구성 및 통신효율과 실제 장치에서 발생하는 통신장치의 장애가 예측범위를 벗어나 성능이 현저히 떨어지는 현상이 발생한다. 무선신호의 감쇄 현상도 이론에 의한 결과와 실제 장치사이의 예측범위를 벗어나는 결과[5], [6], [7]를 보여주고 있다. 이러한 문제점은 실제 zigbee 표준에서 정의하고 있는 통신규격 및 네트워크 구조가 앞서 언급한 현실적인 문제를 적극적으로 해결하고 있지 않기 때문[1]으로 판단된다. 현재 활발히 연구 및 실증이 진행되고 있는 스마트 그리드 서비스에 있어 zigbee를 사용한 맥내 서비스 단위인 HAN에서도 네트워크 구성형태의 문제 및 무선 신호감쇄 등으로 인하여 각 집마다 코디네이터를 두어 서비스를 하는 형태로 진행되고 있다. 이는 효율적인 네트워크를 구성하지 못하여 코디네이터의 위치 및 신호기반 서비스에 대한 신뢰를 가지지 못하고 코디네이터와 종단기기(end-device)간의 1:1통신만을 지원하게 하여 결과적으로 비용적인 측면에서 과도한 설치비용을 지불하게 하는 결과를 가져오고 코디네이터의 개수가 늘어남에 따라 맥내 검침서비스를 담당하고 있는 DCU(Data Concentration Unit)에 대한 부하를 늘리는 결과를 초래하여 결국 많은 비용과 데이터 서비스 지연이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 데이터 지연을 줄이고 전송효율을 높이기 위해 노드의 연결상태(Link Status)에 따른 중계노드의 선정 알고리즘을 제안하고 제안하는 알고리즘의 성능분석을 통하여 zigbee 노드의 신호세기에 따른 확장영역의 동적인 네트워크 구성범위와 포함되는 노드개수들의 연계성을 수학적으로 분석하고 그 결과의 효율성을 제시한다. 제안하는 방법에서는 네트워크의 구성시 발생하는 오버헤드(overhead)를 줄이기 위하여 기존의 연결상태(Link Status)패킷을 사용하여 중계노드의 선정 및 각 그룹에 포함되는 노드들의 정보를 상

위중계노드 또는 코디네이터에 알리는 방법을 사용하여 네트워크 구성에 소모되는 자원을 줄였다.

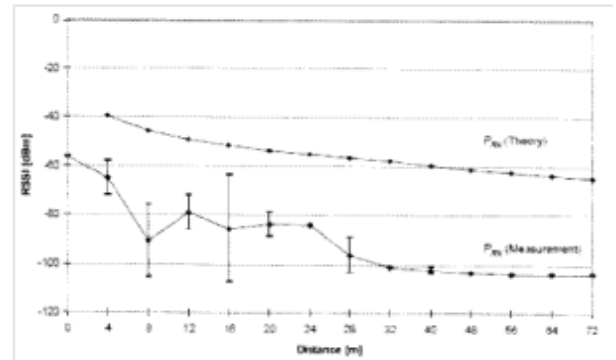


그림 2 거리(Distance)에 따른 RSSI값
Fig. 2 RSSI value use patterns

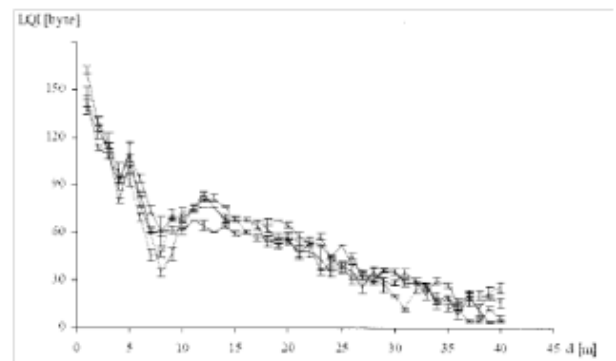


그림 3 Zigbee 노드 사이에서의 거리와 LQI의 상관관계
Fig. 3 Correlation of distance and LQI in zigbee nodes

2. 본 론

2.1 기존 Zigbee 네트워크 구성에 관련된 문제점

Zigbee는 역할이 다른 노드를 이용하여 star, tree 또는 혼재된 cluster tree의 네트워크 구성 형태를 가진다. Tree 또는 cluster tree네트워크 구성형태에서 라우터노드를 통한 multi-hop 데이터의 전달은 AODV라우팅 알고리즘을 사용하여 데이터 전달을 한다. 그러나 zigbee 네트워크 구성알고리즘에서 효율적인 토폴로지 구성을 위한 어떠한 기준이나 그에 상응하는 효율적인 구성을 제시하지는 못하고 있다. Zigbee표준에서 조차도 신호세기 또는 신호의 품질에 따른 네트워크 구성형태는 언급되지 않고 있다. Zigbee 네트워크의 구성 목적이 이동이 적은 센서 네트워크 형태의 노드들이 단순한 데이터 또는 명령(Command)을 전달하고 수행하는 것을 감안하더라도 이러한 종래 표준의 토폴로지 구성방법은 임의의 노드에서 발생한 문제점으로 인한 네트워크 토폴로지가 깨질 수 있고 데이터 전달 시 문제가 발생한 노드로 인해 정확하게 전달될 수 없는 문제들을 가지고 있다. 맥내의 HAN영역 또는 구조가 복잡한 빌딩의 경우 무선의 신호세기가 장애물에 의해 감쇄되는 현상과 Wifi, Bluetooth

등과의 무선채널간의 간섭 및 페이딩 현상으로 인하여 데이터 전송에 있어 목적노드까지의 전송이 불가능하게 되는 경우가 발생할 수 있다. 또한 이러한 현상을 방지하기 위하여 코디네이터와 중계노드의 구성으로 네트워크를 구성하게 되면 코디네이터의 비용적인 측면과 코디네이터와 연결되는 infra-structure의 연결에도 비용을 소비하게 되는 결과를 가져온다. 즉 비용을 감소하면서 종래의 표준에 부합하는 네트워크 구성을 이루기 위해서는 네트워크 구성시 신뢰성을 가질 수 있는 네트워크 구성방법이 필요하다.

2.2 제안하는 방법의 네트워크 노드들의 역할

Zigbee 네트워크에서 PAN을 구성하는 요소는 코디네이터와 중계노드(repeater) 및 RFD(Reduced Function Device) 역할의 end-device로 구성된다. 코디네이터는 PAN을 최초로 구성하며 외부통신망과의 게이트웨이 역할을 담당하고 PAN의 영역에 속한 멤버노드들에 대한 이웃 테이블(neighbor table)을 작성하고 관리한다. 이웃 테이블은 자신(코디네이터, 중계노드 및 개별노드)과 통신가능한 범위내에 있는 무선 노드들의 집합 테이블이다. 코디네이터는 PAN을 최초로 구성하고 이웃테이블을 작성한다. 또한 중계노드를 선정하고 이를 이웃테이블에 저장하고 연결상태정보 패킷에 담아 전달(Broadcasting)한다.

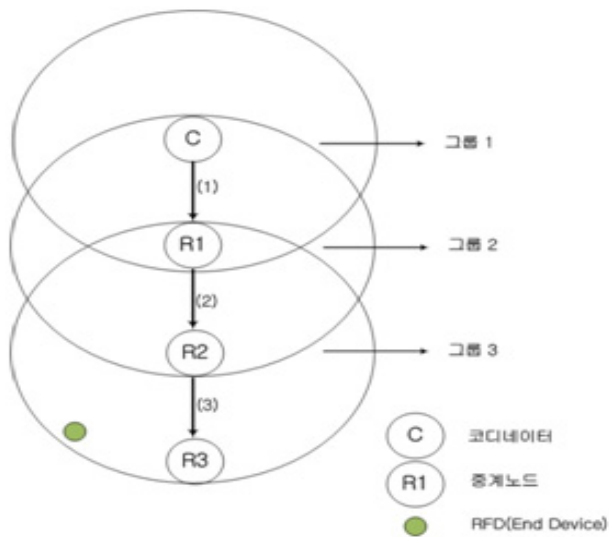


그림 4 네트워크 구성에서 노드의 역할 및 과정
Fig. 4 Grouping process and role of nodes in network topology

중계노드는 코디네이터로부터 멤버노드에 대한 정보를 전달받고 코디네이터에 대한 정보를 이웃노드에 기록한다. 또한 중계노드는 자신의 새로운 멤버노드를 대상으로 그룹을 형성하며 멤버노드를 대상으로 새로운 이웃 테이블을 작성하고 관리한다. 이 때 중계노드는 코디네이터가 생성한 그룹의 멤버노드와 자신의 멤버노드를 구분하여 관리하며 하위 그룹의 중계노드를 선정하고 이를 코디네이터에게 알리는 역할을 한다. 중계노드는 코디네이터 및 상위 그룹의 중계노드로부터 전달받은 멤버노드 정보를 기록하여 자신의

그룹에서 중계노드 선정 시 코디네이터 또는 상위 그룹의 멤버노드는 중계노드 선정과정에서 배제하여 그룹멤버의 중복성과 영역확장성에 있어서의 중복영역 가능성을 최대한 배제하였다.

패킷 중계 역할에 있어서 코디네이터는 새로운 명령(command) 또는 데이터의 최초의 송신자를 담당하는 동시에 최종 수신자 역할을 하게 된다. 중계노드는 코디네이터로부터 다른 노드로의 데이터 전달 또는 명령전달이 있을 경우 패킷의 헤더를 검사하고 패킷을 중계하는 tunneling 역할도 수행한다. 패킷중계방식은 2.5절에서 설명하기로 한다. 그림 4에서 네트워크 구성에서 코디네이터 및 중계노드의 포지션 및 그룹생성 과정이 도식화 되어 있다.

2.3 제안하는 방법의 네트워크 형성 및 연동과정

2.3.1 코디네이터의 네트워크 그룹형성

본 논문에서 제안하는 네트워크 구성의 첫 단계로 코디네이터는 active scan을 전송하고 이를 수신한 노드들의 비콘 프레임을 감지하여 인증 및 연결과정 이후 이들 노드들에 대한 정보를 이웃 테이블에 기록한다. 코디네이터는 자신과 통신가능한 범위내에 있는 노드들을 대상으로 첫 번째 그룹을 형성한다(그림 4에서 그룹1(G1)). 코디네이터는 비콘 프레임을 바탕으로 각 노드들과의 무선링크 품질을 측정할 수 있으며 측정된 RSSI값 및 LQI값을 이웃 테이블에 기록한다. 코디네이터는 자신의 그룹에서 통신 가능한 범위내에 있는 n개의 노드들로부터 정보를 획득하여 기록한다.

G1의 형성이 완료된 이후 코디네이터는 주기적으로 생성하여 브로드캐스트 하는 연결상태 패킷의 entry 필드에 G1 멤버노드의 정보 및 중계노드의 정보를 포함하여 브로드캐스트 하게 된다. 연결상태 패킷에는 중계노드에 대한 정보가 포함되는데 코디네이터는 자신과 통신가능한 범위내에 있는 노드들 중에 무선링크 품질이 우수한 노드를 대상으로 중계노드(R1)를 선정하고 연결상태 패킷을 사용하여 이 결과를 멤버노드에게 알린다. 링크상태 패킷은 주기적으로 주변노드의 정보를 브로드캐스트 하는 패킷으로 중계노드로 선정된 노드의 정보를 entry 필드의 reserved 영역을 'REPEATER' 영역으로 사용함으로써 중계노드로 선정된 노드를 알릴 수 있다. 'REPEATER' 필드는 그룹 ID와 중계노드의 네트워크주소(network address, short-address)정보를 담고 있으며 중계노드로 선정된 노드는 코디네이터의 연결상태 패킷을 수신하여 중계단말 선정여부를 판별할 수 있으며 코디네이터의 연결상태 패킷의 Entry를 기록함으로써 G1의 멤버들을 등록한다. 연결상태 패킷은 코디네이터 뿐만 아니라 노드간의 인증 및 연결과정이 완료된 코디네이터 및 모든 노드들로부터 브로드캐스트 되는 정보로 모든 노드들은 통신가능한 범위내에 있는 모든 노드들로부터 연결상태 패킷 정보를 수신할 수 있다.

2.3.2 중계노드의 네트워크 그룹형성

2.3.1의 과정으로부터 G1의 중계노드로 선정된 R1은 R1의 중계그룹을 생성하기 위하여 R1과 통신 가능한 범위내에 있는 노드들과의 active scan 이후 비콘 프레임을 수신하

여 두 번째 그룹(G2)을 형성한다. 그룹형성 후 R1은 G2의 멤버노드들에 대한 정보를 R1의 이웃 테이블에 기록한다. R1은 G2의 멤버노드들을 대상으로 연결상태 품질을 기본으로 G1의 멤버와 겹치지 않는 노드들 중에 일정신호세기기준 이상의 노드를 대상으로 두 번째 중계노드(R2)를 선정하게 된다. R2의 정보 또한 노드에서 주기적으로 생성되는 연결상태 패킷의 'REPEATER' 필드를 사용하여 그룹ID 및 하위 그룹의 중계노드의 네트워크 주소를 브로드캐스트 하게 된다. R1은 G2 및 R2의 정보를 링크상태 패킷을 통하여 브로드캐스트 함으로써 코디네이터에서는 G2의 네트워크 구성정보를 별도의 오버헤드 없이 알 수 있다.

G1과 G2의 형성과정이 이후 이러한 그룹생성 과정은 그룹의 중계노드로 선정된 단말이 더 이상 중계할 노드가 없을 경우까지 계속된다. G2 이상의 그룹형성 과정 중 발생하는 그룹 정보는 링크상태 패킷으로 이웃하는 상위 중계노드로 전달되며 최종적으로 코디네이터에서 모든 그룹의 정보를 감지할 수 있게 된다. 그림 5에 과정에 대한 예시를 표현하였다.

무선매체의 특성상 무선노드는 통신가능한 범위내에 있는 노드들의 연결상태 패킷을 감지할 수 있는데 특정 노드의 연결상태 패킷을 감지하면 RSSI 측정값 및 LQI값을 단말 주소와 함께 이웃 테이블에 기록한다. 이 과정은 이후에 무선노드가 중계노드가 될 경우 중계노드 주위의 다른 노드들을 그룹화 할 때 필요한 정보를 미리 획득하기 위함이다. 또한 중계노드로 선정된 노드의 돌발현상으로 인하여 통신상태에 문제가 생기거나 링크가 깨졌을 경우(link loss)를 대비하여 중계노드의 예비후보에 대한 정보를 얻기 위함이다.

연결상태 패킷의 경우 두 노드간의 연결이 되고 난 후 발생하는 패킷이므로 그룹 형성시 링크상태 패킷을 이용하여 중계노드를 선정하는 방법은 새로운 방법 또는 패킷에 대한 오버헤드 없이 네트워크를 효율적으로 구성할 수 있는 방법이다.

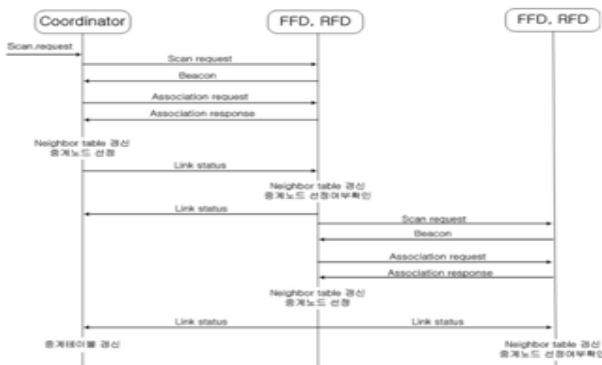


그림 5 중계노드의 선정 및 과정
Fig. 5 Selection of relay node and its process

2.4 중계노드의 선정기준

무선 패킷의 경우 전파지연(propagation delay), 페이딩 또는 이동과 같은 현상으로 인한 신호감쇄 현상이 발생한다. 무선신호에서 수신한 신호의 세기를 나타내는 RSSI의 경우 아래와 같이 수신된 power(P_{ref})와 수신노드에서 측

정한 신호세기의 비율로 표현된다. 일반적으로 reference power(P_{ref})의 값은 $P_{ref} = 1mW$ 이다.

$$RSSI = 10 \cdot \log \frac{P_{RX}}{P_{Ref}} \tag{1}$$

RSSI의 표현은 식(1)과 같이 노드의 전송 파워와 수신 파워로 구성된다. Friis's free space transmission equation[3], [6]에 따르면 수신되는 신호세기는 거리에 반비례하여 감소한다. 그러므로 P_{RX} 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \tag{2}$$

- P_{TX} : Transmission power of sender
- P_{RX} : Receiving power of wave at receiver
- G_{TX} : Gain of transmitter
- G_{RX} : Gain of receiver
- δ : Wave length
- r : Distance between sender and receiver

무선 패킷의 전파는 전파되는 거리에 따른 급격한 RSSI의 감소를 일으킨다. 이러한 현상은 전송노드의 위치에 대한 정확성을 모호하게 하며 이러한 이유로 다른 방법으로 무선패킷에 대한 quality를 측정할 수 있는데 이를 LQI라 한다. LQI값은 수신된 패킷의 세기와 품질이며 RSSI와의 결합으로 측정된다. LQI는 0x00에서 0xff의 정수(integer)값의 범위로 측정된다. 최소의 LQI값과 최대의 LQI 값은 수신기에 의해 발견할 수 있는 IEEE 802.15.4신호의 가장 낮고 가장 높은 품질을 나타낸다. 그림 2는 거리에 따른 LQI값을 나타내고 있으며 그림 3은 LQI와 연계되는 거리에 따른 RSSI값을 나타내고 있다. 식(3)에서 LQI에 관한 식을 표현하고 있다.

$$LQI = (RSSI \text{ register value} + 38) \cdot 4 \tag{3}$$

코디네이터 및 각 노드들은 RSSI 및 LQI 값을 무선 패킷을 수신함으로써 계산할 수 있다. 중계노드의 이동 또는 철거로 인한 무선링크의 품질저하 현상이 발생할 경우 코디네이터 및 상위 중계노드는 이 값을 기반으로 하여 더 이상 통신이 되지 않는 노드를 대상으로 하여 중계노드를 새로이 설정할 수 있으며 이러한 방식은 가변적이고 이동이 많은 무선노드의 특성에 잘 부합하는 방법이라 할 수 있다.

2.5 패킷 중계방식

제안하는 알고리즘을 사용한 패킷 전송은 중계단말을 통한 원거리 데이터 전송을 목적으로 하는 멀티 홉(multi-hop)으로 전송된다. 중계단말은 데이터 전송노드가 자신의 그룹멤버가 아닐 경우 중계를 위한 터널링(turnnuling)기능을 수행한다. 중계 패킷의 경우 패킷 헤더의 패킷타입에 'relay frame'을 명기함으로써 중계프레임을 알리며 SA(Source Address)와 DA(Destination Address)를 표

시하여 패킷의 전송지와 목적지를 명기한다. 이를 수신한 중계노드는 이웃 테이블을 검색하여 패킷을 전송해야하는 상위 중계노드 또는 코디네이터의 경로를 탐색하고 중계한다. 코디네이터와 노드들은 서로의 정보를 링크상태 패킷을 이용한 이웃 테이블을 통해서 이미 알고 있는 상태이다. 제안한 방법을 적용한 동작 순서는 다음과 같다.

전송대상이 되는 노드(DA)로의 데이터 전송이 필요하면 코디네이터는 이웃 테이블에서 목적지로 향하는 과정에서의 중계단말의 정보를 찾아본 후 첫 번째 중계단말로 프레임을 전송한다. 첫 번째 중계노드는 전송받은 패킷의 헤더를 검사하고 이웃 테이블에서 DA 또는 하위 중계노드를 찾아내고 패킷을 전달한다. 중계방식은 그림 6과 같이 터널링 방식을 사용한다. 중계 프레임은 헤더 내부에 중계프레임을 알리는 필드를 가지고 있으며 중계프레임의 payload 데이터는 대상 노드로 가는 데이터를 위한 헤더와 데이터를 포함하고 있다. 중계프레임을 수신한 최종 목적지의 중계노드는 중계프레임 헤더를 제거하고 난 후 프레임을 자신이 속한 그룹의 목적노드(DA)로 전송한다. 데이터를 수신한 대상 단말은 수신이 올바르게 된 경우 코디네이터를 향해 ACK프레임을 전송함으로써 전송이 종료된다.

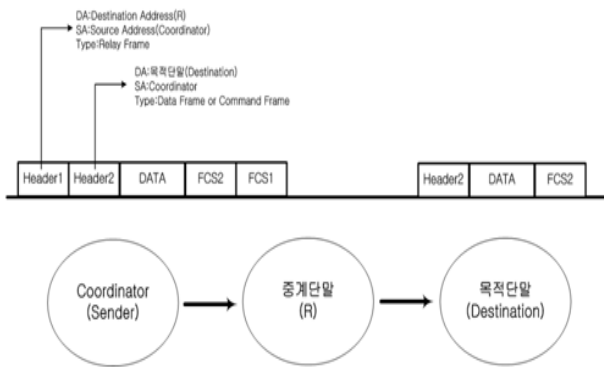


그림 6 Tunneling
Fig. 6 Packet tunneling

2.6 성능분석

그룹화 과정에서 선정되는 중계 노드는 코디네이터 또는 상위 그룹의 중계노드와 통신 가능한 범위에 위치하고 그 위치는 코디네이터 또는 중계노드가 생성하는 그룹의 반경 (r)과 동일한 위치에 선정된다고 가정한다. 그룹 형성과정에서 반지름을 r로 가지고 새롭게 생성되는 그룹의 면적(σ)은 아래와 같이 식(4)로 정의된다.

$$\sigma = -3\pi r^2 + 14r^2 \tag{4}$$

(4)에서 σ는 코디네이터의 첫 번째 그룹생성 이후에 생성되는 면적으로 이전 그룹과의 중복되는 부분을 제외한 새롭게 형성되는 그룹의 면적을 나타낸다. (4)를 이용하여 그룹화 과정에서 누적되는 그룹의 면적을 산출할 수 있으며 n 번째 그룹형성과정에서 형성된 누적영역(S_n)의 식은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$S_n = 4\pi r^2 - 3n\pi r^2 + 14nr^2 - 14r^2 \tag{5}$$

(5)의 식으로 누적되는 그룹의 영역은 표 1과 같다. 과정 중 첫 번째 과정의 경우(n=1)는 코디네이터가 생성하는 그룹이며 n ≥ 2의 경우는 중계노드의 그룹생성 영역이다.

제안된 그룹화 과정 알고리즘의 영역확장 성능 및 효율성을 분석하기 위해 제안한 방법에 대한 numerical result를 분석하였다. 네트워크 환경은 200m x 200m의 정사각형 영역이며 코디네이터는 중앙에 위치하고 있다. 코디네이터는 네트워크에서 최초로 그룹을 형성하며 무선 노드들의 포지션은 균일한 랜덤 분포를 가지고 네트워크 환경 내에 위치한다. 다양한 환경에 대한 결과를 얻기 위하여 무선 노드의 수는 10~200개로 변경설정 하여 분포하게 하였다. 거리에 대한 신호감쇄 영향이 통신의 품질 및 그에 따라 그룹의 생성에 영향을 미치므로 시뮬레이션에 필요한 LQI값을 3가지로 구분하여 LQI측정값 레벨에 따른 그룹화의 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 LQI값은 구간대 편차가 큰 값 또는 설정값 이후 값의 변화가 적은 값으로 대표값을 설정하였다. 표 2에는 시뮬레이션에 사용된 LQI 파라미터값을 나타내었다.

표 1 그룹형성 과정에 따른 누적면적.

Table 1 Coverage areas by n

과정 (n)	S _n
1	πr ²
2	- 2πr ² + 14r ²
3	- 5πr ² + 28r ²
4	- 8πr ² + 42r ²

표 2 성능평가에 사용된 LQI Level.

Table 2 LQI level in performance analysis

Parameter	LQI value(byte)	Distance(m)
LQI 1	90	20
LQI 2	60	40
LQI 3	30	70

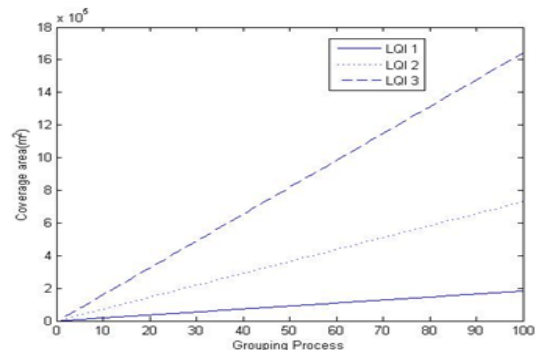


그림 7 네트워크 내의 그룹화 과정에 따른 누적면적의 변화 (LQI1, LQI2, LQI3)

Fig. 7 Changed coverage areas by grouping process in network

그림 7에서는 표 2의 설정값에 따라 그룹생성 영역의 누적값을 나타낸다. LQI 1, 2, 3모두 그룹생성과정의 변화에 따라 누적면적도 변화를 보이지만 LQI 3레벨의 누적면적영역이 상대적으로 LQI 1, LQI 2에 비해 넓은 영역을 확장하는 것을 알 수 있다. LQI 1레벨의 값은 2, 3레벨에 비해 그룹화 과정의 진행에 대해 크게 영향을 크게 받지 않으며 상대적으로 적은 영역 확장성을 보인다. 네트워크의 구성 형태나 환경에 따라 다르겠지만 원하는 수준의 coverage 영역 확장을 위해서는 일정 수준이상 크기의 LQI 값을 기준으로 해야하는 것을 그림 7을 통해서 알 수 있다.

그림 7의 결과를 통하여 각 LQI level에 따라서 그룹화의 확장 영역이 다르다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 그룹형성과정에서 하나의 그룹에 포함되는 노드의 개수에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 노드사이의 통신 가능한 범위에 대한 반경을 r 로 두었을 때 그룹에 포함되는 노드의 수(N_r)는 r 에 대한 함수로 식(6)으로 표현된다.

$$N_r = 0.5 + \sum_{k=1}^{r-1} (k + 0.5) \tag{6}$$

N_r 은 네트워크 환경에서 전체 노드의 개수에 따라 변할 수 있으며 이는 전체영역에 대한 노드의 개수의 비율(ω)로 네트워크 환경의 전체 노드의 개수와 그룹에 포함되는 노드의 개수는 일정한 상관관계를 가지는 것으로 표현되어 진다. ω 는 네트워크에서 노드의 개수가 200개 일 때 1이다. 노드 개수에 대한 비율을 적용한 (6)은 다음과 같이 (7)로 표현된다.

$$N_{r\omega} = 0.5\omega + \sum_{k=1}^{r-1} (k + 0.5)\omega \tag{7}$$

식(7)을 이용하여 전체 네트워크 영역에서 분포하는 총 노드 개수에 대한 그룹별 포함되는 평균 노드의 개수를 알 수 있으며 식(5)를 통하여 그룹반경 r 에 따르는 생성되는 그룹의 개수를 산출할 수 있다. ω 에 대한 식은 영역과 노드 개수의 비율이므로 아래와 같이 표현된다.

$$\omega = \frac{N}{C} \cdot \rho \tag{8}$$

N : Number of nodes in network topology
 C : Coverage Area(m^2)
 ρ : Constant integer value, 200

(7)을 통하여 네트워크내에 존재하는 총 노드개수는 그룹의 평균노드의 개수에 대해 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 그림 8에서 제시하고 있는 네트워크 내에서의 노드개수 변화에 따른 그룹당 평균노드의 개수를 살펴보면 그룹의 반경이 크고 토폴로지 내에서 노드의 개수가 많을수록 그룹에 포함되는 노드의 수가 증가함을 알 수 있으며 LQI 1에서는 결과 수치가 크게 변함이 없으며 LQI 3에서는 노드의 개수와 그룹에 포함되는 평균 노드의 개수가 서로 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 8과 식(7)로 미루어 보아 그룹의 반경과 네트워크 토폴로지의 총 노드의 개수에 따

른 그룹당 평균노드의 개수에 대한 변화가 큰 것을 알 수 있다. 그룹반경이 그룹에 포함되는 노드의 개수에 영향을 미치므로 그림 9와 같이 그룹의 반경에 따른 생성되는 그룹의 개수를 산출하였다. 네트워크내 총 노드의 개수에 따라 다르지만 결과적으로 그룹반경이 증가할수록 생성되는 그룹의 개수는 그림 8과 대조적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 8과 그림 9의 결과로 볼 때 그룹의 반경이 커지고 네트워크내의 총 노드수가 많을수록 생성되는 그룹의 개수가 적어지고 그룹당 포함되는 노드의 개수가 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 10을 통하여 네트워크내의 총 노드수에 대한

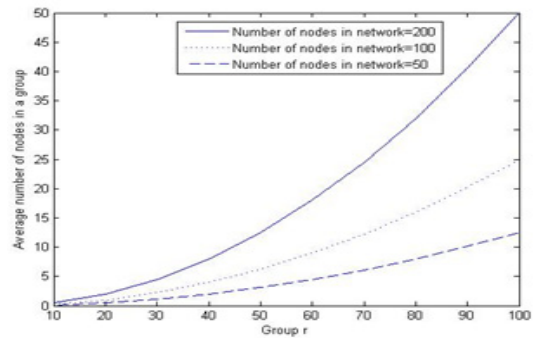


그림 8 그룹의 반경(r)에 따른 그룹당 평균 노드의 개수
 Fig. 8 Average number of nodes in a group by r

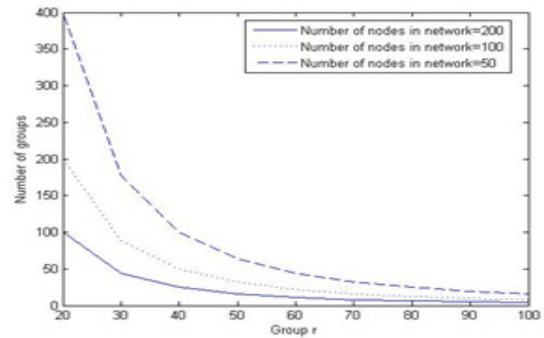


그림 9 그룹의 반경(r)에 따른 생성 그룹의 개수
 Fig. 9 Number of groups by r

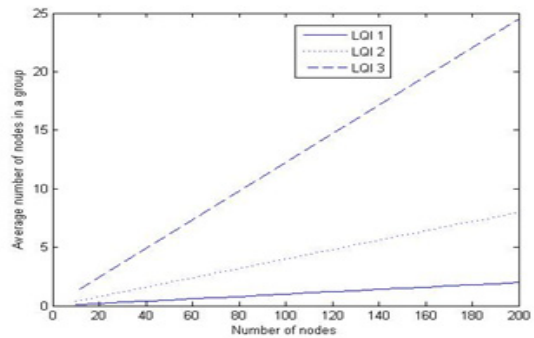


그림 10 네트워크 토폴로지에서 노드개수의 변화에 따른 그룹당 평균 노드수
 Fig. 10 Average number of nodes in a group by changed nodes number

그룹당 평균 노드의 개수를 알 수 있다. 반경에 따른 값을 보이는 그림 8과는 다르게 선형적인 비율로 결과가 증가하는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 zigbee 네트워크 환경에서 코디네이터와 중계단말 및 무선노드의 그룹화를 통하여 코디네이터에서 목적노드까지의 데이터 전송 시 중계노드를 이용하여 목적노드까지 데이터를 신뢰적으로 전송할 수 있는 그룹화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 신호세기에 의하여 중계노드의 선택이 가능하고 데이터 전송시 기존의 네트워크 구성방법보다 신뢰적으로 멀티-홉 데이터를 전송할 수 있는 네트워크를 구성할 수 있는 방법이다.

또한 새로운 방법의 오버헤드를 방지하기 위하여 기존의 연결상태 패킷을 이용하여 중계노드의 선택을 전달하므로 새로운 오버헤드를 얹으며 표준을 수정하는 번거로움이나 새로운 오버헤드로 인한 성능저하의 문제가 발생하지 않는다. 제안하는 알고리즘에서 PAN을 구성하고 확장하는 중요한 요소로 네트워크내의 총 노드수와 신호 세기를 수학적으로 검증하고 그 검증에 대한 결과를 나타내었다. 그 결과 신호의 세기와 네트워크 내에 위치하고 있는 노드의 개수에 따라 그 결과가 다르게 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 가변적인 무선 네트워크의 환경에서 네트워크 구성 시 신호세기에 의한 신뢰적인 네트워크 구성으로 원거리 데이터 전송의 효율성과 네트워크 구성 비용을 절감할 수 있는 방안이며 이를 실험결과로서 제시하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 무선노드의 위치나 좌표를 알 수 없는 상태에서 그룹화 개념을 도입하여 코디네이터에서 멀리 떨어진 무선 단말에게 데이터 전송 실패로 인한 전송률 저하를 발생시키지 않는 목적으로 사용할 수 있으므로 전송할 데이터의 시간 점유율이 줄어들고 전체 시스템의 throughput이 향상될 수 있다. 또한 버퍼에 저장되어 있는 데이터에 대해서는 저장 시간이 줄어들기 때문에 요구되는 QoS를 만족시키기 쉬워진다.

제안하는 방법은 스마트 그리드의 HAN영역에서 네트워크 구성 시 신호감쇄로 인한 효과적인 경로설정을 하지 못하여 코디네이터를 호수마다 설치하여 비용이 크게 증가되는 것을 방지할 수 있으며 빌딩 등에서의 데이터 전송에 있어 층간 데이터 전송 등에 중계노드를 사용하여 비용을 절감할 수 있으므로 기존의 방법보다 저비용으로 네트워크를 구성할 수 있는 방법이다. 또한 기존의 방법에서 사용되는 패킷과 스케줄링 방법을 따름으로써 네트워크 시스템에서 오버헤드를 발생시키지 않고 그룹을 형성하고 관리할 수 있는 방법이다. 따라서 다양한 무선 환경에서 효과적 자원분배와 비용절감을 위해 사용이 가능한 방법이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 글로벌전문기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Zigbee specification, <http://www.zigbee.org>.
- [2] Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networ(WPANs). IEEE Std 802.15.4, 2006.
- [3] T.S. Rappaport, "Wireless Communications:Principles and Praticce", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1996.
- [4] Ralf Grossmann, Jan Bluemental, Frank Golatowski, Dirk Timmermann, "Localization in Zigbee-based Sensor Network", 12thSymposiumMartimeElektrotechnik, Elektronikund Informationstechnik, Rostock, Germany, Oct., 2007.
- [5] Kannan Srinivasan, Philip Levis, "RSSI is under appreciated", Third workshop on Embedded Networked Sensors, Harvard Univ., May 2006.
- [6] Donh-Hui Yu, "Analysis of signal characteristic of Zigbee for ubiquitous service", International Journal of KIMICS, Vol. 7, No.2, June 2009.
- [7] Brian Kim, "Experimental Study on Performance Evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC Protocol", 한국해양정보통신학회논문지, vol. 11, No. 1, pp. 28-33, 2006.
- [8] C. Savarese, M. Rabaey and J. Beutel, "Location in Distributed Ad-Hoc Wireless Sensor Networks, "Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal, vol. 4, pp. 2037-2040, May 2001.
- [9] Y. Cheng, Y. Lee and S. Sheu, "Multi-Rate Transmissions in Infrastructure Wireless LAN Based on IEEE 802.11b Protocol," Proc. of IEEE VTC, vol. 4, pp. 2609-2612, Oct. 2001.
- [10] S.Yang, Y. Lee and R. Y. Yen, "A Wireless LAN Measurement Method Based on RSSI and FER," Proc. of APCC/OEDCC, vol. 1, pp. 821-824, Oct.1999.
- [11] Atheros communication, <http://www.atheros.com>.

저 자 소 개



우 성 제 (禹成濟)

2001.2 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 학사졸업, 2004.2 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사졸업, 현재 한국전기연구원 재직 중



신 복 덕 (申福德)

2000~2002 STX 포스텍 R&D 팀장, 2005 - 경남대학교 컴퓨터공학 박사, 2009 ~ 현재 (주)우암코퍼레이션 이사