

무선 센서 네트워크에서의 NAC 적용

이경규[○] 이용우

서울 시립대학교

goossong@nate.com, ywlee@uos.ac.kr

The NAC Application for Wireless Sensor Networks

KyoungGyu Lee[○] Youngwoo Lee

The University of Seoul

요 약

무선 센서 네트워크에서는 대부분 배터리로 동작하는 센서 노드들로 구성이 되어 있다. 따라서 최근의 학회나 기업의 연구들에서 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이기 위한 MAC과 라우팅 프로토콜들에 많은 노력을 하고 있다. 그러나 각 노드에서의 에너지 소모에 대한 효율성 문제를 다루면서 MAC 레벨의 통신 성격에 따른 파라미터에 대한 보다 최적화된 모델링은 제시가 되고 있지 않다. 본 논문에서는 센서 노드에 현재 미군에서 사용하고 있는 MIL-STD-188-220 통신 규격의 NAC(Network Access Control) 프로토콜을 적용하는 방안을 제시한다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 유통물류, 도로교통, 산업건설, 농축산, 정보가전, 환경보전, 의료보건, 등 많은 곳에서 응용 서비스를 하고 있다.[1] MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems), 나노 기술 등과 같은 초소형 마이크로 센서의 발달로 무선 센서 네트워크는 응용 서비스의 종류에 따라서 많은 센서 모듈과 네트워크 모듈을 탑재하는 센서 노드들로 이루어지며, 응용 서비스에 따라 적당한 수의 센서 노드들이 목표하는 곳에 배치되어 유기적으로 동작하는 하나의 네트워크를 형성한다. 각 센서 노드들은 센서들로부터 수집된 정보를 처리하고 그 결과를 싱크들에게 전송을 수행하며, 센서 노드들간에 중계를 통해서 싱크까지 메시지의 전달 기능도 수행한다.

보통의 경우 목표하는 서비스를 위해 오랜 기간 동안 대기할 수도 있고 센서 노드들에 접근이 어려울 경우 대부분 배터리와 같은 한정된 에너지 자원을 가지게 된다. 따라서, 한정된 에너지로 얼마나 오랫동안 네트워크를 유지하는가가 센서 네트워크의 주된 관심사이다. 현재까지 에너지를 고려하는 많은 MAC 프로토콜과 라우팅 프로토콜이 제안되어 왔다. [2][3][4][5]

또한, 응용 서비스 중에는 소방관이 불을 진화 하는 과정에서 필요한 경우나, 군에서 경찰임무를 위해서 센서 네트워크의 서비스를 사용할 경우에는 한정된 시간내에서 단시간내에만 사용하기 위한 서비스도 있다.[6]

따라서, 이런 응용 서비스에서는 센서 노드의 에너지 효율 보다는 통신 성능에 중점을 두어서 최적화된 MAC 레벨에서의 통신 파라미터와 운용에 대한 모델링이 제시되어야 할것이다. 이에 본 논문에서는 일반 센서 네트워크의 표준 MAC 프로토콜과 미군이 Half-duplex 방식의 Radio나 위성 등에서 사용하고 있는 MIL-STD-188-220 프로토콜의 NAC 프로토콜을 제시

하여 최적화 측면에서 MAC레벨의 통신 파라미터와 운용을 센서 네트워크에 적용하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존의 일반 MAC 프로토콜에 대해 언급하고, 3장에서는 NAC 프로토콜을 소개하고, 4장에서는 일반 센서 네트워크의 Zigbee MAC 프로토콜에 NAC를 적용 방안을 제시하고, 5장에서 본 논문의 결과를 맺는다.

2. IEEE 802.15.4 MAC [7][8][9]

2.1. Superframe 구조

IEEE 802.15.4에서는 CSMA와 TDMA의 두가지 특성을 모두 가진 Superframe을 이용한다. 하나의 Superframe은 BO(Beacon Order)값과 SO(Superframe Order)값에 의해 각각 SD(Superframe Duration) 구간과 BI(Beacon Interval) 구간으로 나뉘어진다.

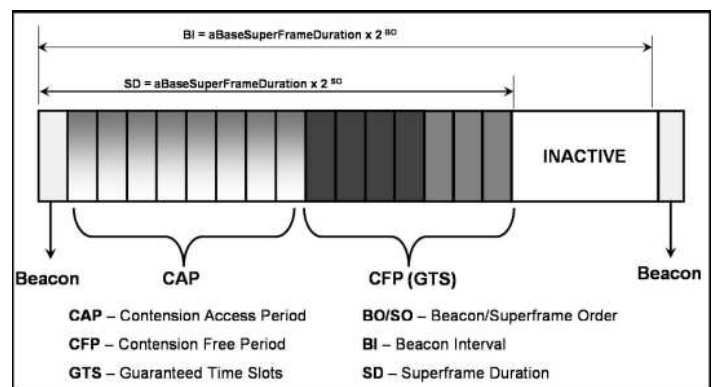


그림 1 Superframe Structure[9]

- SD(Superframe Duration)

BI의 크기와 상관없이 항상 16개의 Slot으로 나뉘어지며, 이 구간은 다시 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)구간으로 나뉘어진다.

- CAP(Contention Access Period)

Slotted CSMA/CA 방식을 사용하는 디바이스와 경쟁하여 통신을 해야 한다.

• CFP(Contention Free Period)

CFP는 GTS(Guaranteed Time Slot)를 포함해야 하고, GTS 할당을 필요한 만큼 디바이스가 Coordinator에게 요청하거나 Coordinator가 디바이스에게 Beacon을 통해서 알리게 된다. CAP과 CFP의 경계와 CFP에서의 GTS 할당 정보는 각 Beacon마다 Update 되어서 브로드캐스트(Broadcast)되며 CFP구간은 최대 7개 Slot까지 허용된다.

CFP구간과 Inactive 구간은 Option이다. 각 디바이스들은 매 Beacon 시간마다 전송할 데이터의 유무와 상관없이 항상 Active상태로 유지하여서 동기를 맞춰야 하며, 다른 구간에서는 Option이다.

슈퍼프레임에서는 PAN 코디네이터로 불리는 지정된 네트워크 코디네이터가 사전에 예정된 간격으로 슈퍼프레임 비컨을 송신한다. 이 간격은 최소 15ms에서 최대 245 Sec가 될 수 있다. 두 개의 비컨 간의 시간은 슈퍼프레임의 주기와 무관하게 16개의 동일한 타임 슬롯으로 나뉘어진다. 디바이스는 타임슬롯동안 언제라도 데이터를 보낼 수 있으나 다음 슈퍼프레임 비컨 전에 해당 데이터 송수신을 완료하여야 한다. 타임 슬롯의 채널 액세스는 상호 경쟁하게 되며 PAN 코디네이터는 지정된 대역폭이나 작은 처리 지연이 요구되는 단일 디바이스에 할당할 수 있다. 이와 같은 목적으로 할당된 타임 슬롯을 GTS(Guaranteed Time Slots)라 하며 <그림1>과 같이 다음 비컨 바로 앞에 위치하여 경쟁없이 할당된다. GTS는 실시간 응용이나 특정한 대역폭을 요구하는 응용 서비스를 위해서 코디네이터가 제공할 수 있는데 이것들은 CFP에 올 수 있다.

2.2. 일반 사항

IEEE 802.15.4 MAC은 연관(Association) 및 탈퇴(Disassociation)을 지원하고 Ack 프레임을 사용하며 프레임 유효성 검사 및 GTS 사용을 지원하며 비컨 관리 등의 특징을 가지며 16비트 Short Address와 64비트 Extended Address를 사용한다. 채널 접속 메카니즘으로 Superframe 단위로 시간을 분할하여 사용하는데 한 개의 Superframe은 Active한 구간과 Inactive한 구간으로 나뉘게 되며, 각 구간의 길이는 Beacon에 들어 있는 SO(Superframe Order)와 BO(Beacon Order)값을 이용해서 조정할 수 있다. Active한 구간은 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)로 나뉘게 되며, CFP는 또 여러개의 GTS(Guaranteed Time Slot)로 나뉘어, QoS(Quality of Service)가 보장되어야 하는 Data 전송을 위해서 사용된다. Active한 영역과 Inactive한 영역을 Network 내의 Node들의 전력 소모 최소화를 위한 중요한 요소가 된다.

CAP 동안의 data 송수신은 CSMA/CA Mechanism을 통해서 이루어진다. 전송을 하고자 하는 Node는 Random Delay를 거친 후, CCA(Clear Channel Assessment)를 수행하여 현재 Channel이 사용 가능함을 확인한 뒤, 사용 가능하면 전송을 하는 방식으로 이루어진다. IEEE 802.15.4는 IEEE 802.11의 CSMA/CA와 달리, 각 Node들이 전송하고자 하는 Data Packet이

크지 않기 때문에 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send)와 같은 Mechanism이 존재하지 않는다. CFP 동안의 Data 송수신은 각 Node들이 CAP을 이용해서 PAN Coordinator에게 예약을 하는 방식으로 이루어진다.

각 Node들이 GTS Allocation Request Frame을 PAN Coordinator에게 전송하면, 차후에 전송되는 Beacon을 받아 봄으로써, 자신들에게 GTS가 할당되었는지를 알 수 있다.

3. NAC(Network Access Control) 프로토콜

MIL-STD-188-220에서는 Half-duplex 방식의 Radio를 사용하는 환경을 고려하여, 다중 가입자 접근 통신 네트워크 상에서 송신을 할 수 있는 기회를 탐지하기 위해 네트워크 접근 제어 프로토콜과 네트워크 상에서 데이터 송신들의 충돌을 사전에 배제시킬 수단을 제공한다.

MIL-STD-188-220에서는 네트워크상의 모든 기지국들이 동일한 네트워크 접근 제어 프로토콜과 타이밍 파라미터 값을 사용하여 망을 유지하게 한다. 이때 필요한 네트워크 모델(Network Model)과 네트워크 접근 제어(Network Access Control)의 기능을 다음에 기술한다.

3.1. Network Model

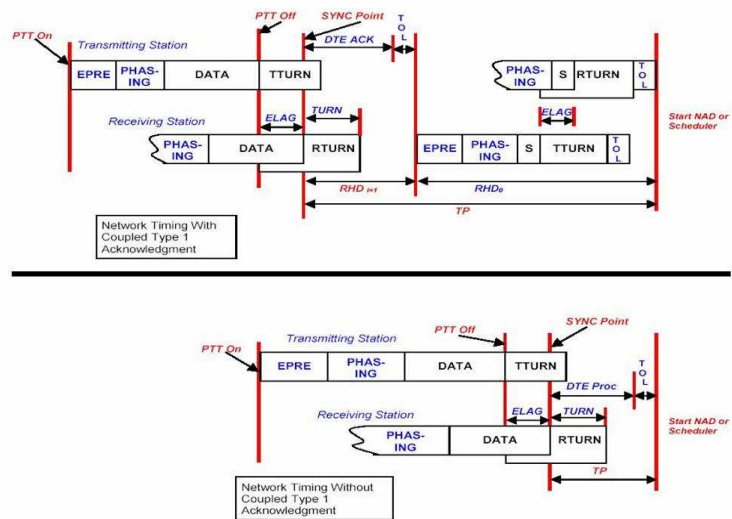


그림 2 네트워크 모델 파라미터[10]

그림 2의 위 부분은 Type1에 응답이 있을 때의 Network Timing이며, 아래 부분은 응답이 없을 때의 Network Timing이다.

그림 3은 송수신 지국에서의 시스템 구성도 이다. 이때 DTE는 MIL-STD-188-220 프로토콜을 수행하는 데이터 장치이다. DCE는 DTE에 통신 채널을 제공하기 위해 사용되는 모든 DTE 외장 장치(예, 외부 COMSEC (Communications Security)을 장착, 또는 미장착한 Radio)들을 포함한다.

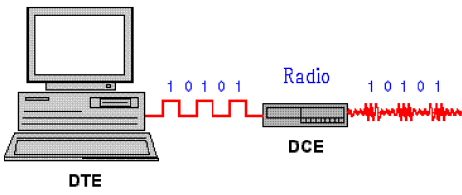


그림 3 시스템 구성도

MIL-STD-188-220 프로토콜에서는 DTE와 DCE를 사용하여 통신 중에 그림 2과 같은 Network Model을 정의하고 있으며, 각 Parameter의 정의는 다음과 같다.

- EPRE(장비 프리앰블 시간)
PTT를 잡고 최초의 데이터가 DTE에서 DCE로 나오는데 필요한 클럭을 제공하는데 걸리는 시간이다.
- PHASING(페이징)
EPRE 직후에 바로 시작되며, 1과0의 sequence.
- DATA(데이터 전송 시간)
전송하려는 DTE에서 DCE로 데이터를 보내는데 걸리는 시간이다.
- S (Coupled acknowledgment transmission time)
F 비트가 '1'이면서 정보 필드를 가지고 있지 않는 URR/URNR Response 프레임을 전송하는 동안의 시간이다.
- ELAG(장비 지연 시간)
데이터의 마지막 비트가 송신 DTE를 떠난 순간부터 수신DTE로 모두 전송되는데 까지 걸리는 시간, 이것은 DCE와 Propagation delay의 특성이다.
- TURN(Turnaround time)
TTURN - 송신 DTE가 DATA의 마지막 전송을 감지한 후 송신 DCE가 새로운 송신 또는 수신을 할 수 있는 순간 까지의 시간이다.
RTURN - 송신 DTE가 DATA의 마지막 전송을 감지한 후 수신 DCE가 새로운 송신 또는 수신을 할 수 있는 순간 까지의 시간이다.
- DTEACK (DTE ACK preparation time)
Coupled Type1 Acknowledgment Frame의 경우로 ELAG가 끝난 후부터 수신 DTE가 응답을 송신하려고 하는데 까지 걸리는 시간이다.
특별히 알려진 값이 없으면, TURN값을 사용한다.
- DTEPROC (DTE processing time)
Not Coupled, Type 1 acknowledgment 의 경우로 ELAG가 끝난 후부터 수신 DTE가 다음 전송을 DCE 로 할 수 있기 까지의 시간이다.
특별히 알려진 값이 없으면, TURN값을 사용한다.
- DTETURN (DTE turnaround time)
DTE가 데이터 수신또는 수신대기중에 수신을 멈추고 송

신을 시작하기 까지의 시간이다.

- TOL (Tolerance Time)

송신 DTE에서 수신 DTE로 데이터 전송 시 실제로 나타난 시간변수들을 보충하는 값으로 특별히 알려진 값이 없으면, 0을 사용한다.

3.2. NAC(Network access control)의 기능

기지국들은 다음의 4가지 기능을 구현하여야 한다.

- Network busy sensing

망통신감지 기능은 망에서의 활동으로 인하여 수신 기지국에서 데이터 또는 음성 신호의 존재를 확고히 하기위해 사용된다.

Radio를 사용하여 통신할 때 데이터 송신 하려 할때는 데이터 또는 음성통신에 대하여 특정시간 내에 통화중 인지를 감지해야되며 B parameter라 한다.

모든 지국들은 Network busy detect time을 다음 식과 같이 구하여, 같은 값을 가지고 있어야 한다.

$$Net_Busy_Detect_Time = EPRE+ELAG+B+TOL$$

- Response hold delay(RHD)

주소화된 수신 지국이 Type1 명령 PDU를 수신했을 때, 각 수신 지국이 응답 PDU를 보내서 송신지국이 응답을 수신하는데 걸리는 시간이다.

- Timeout period(TP)

모든 수신 지국이 데이터를 수신하고서 응답을 보내는데 걸리는 총 시간이다.

- Network access delay(NAD)

전송할 메시지를 가진 지국이 TP timer 종료 후 프레임 을 전송하기 위해 기다려야 할 시간으로 종류는 R-NAD(Random network access delay), P-NAD(Prioritized network access delay), H-NAD(Hybrid network access delay), DAP-NAD(Deterministic adaptable priority-network access delay), RE-NAD(Radio embedded network access delay)가 있다.

본 논문에서는 R-NAD와 P-NAD만을 선택하도록 한다.

$$NAD = F*Net_Busy_Detect_Time+MAX(0,F-1)*DTE TURN$$

(여기서 F값은 지국이 메시지를 전송하기 전에 기다려야 할 NAD slot의 수이다.)

4. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에 NAC의 적용 방안

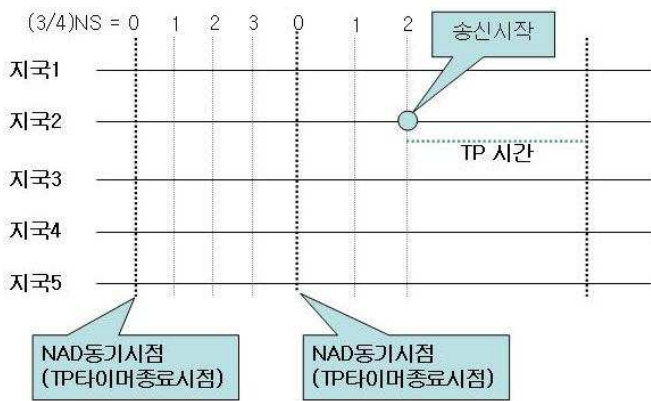


그림 4 R-NAD 구현

그림 4는 R-NAD를 구현 할 때의 각 지국에서 스케줄링 되는 시점을 보여준다. 먼저 TP 타이머가 종료되어 망 동기 시점이 되면 모든 지국이 R-NAD(F값)를 계산하여 각 자신의 Slot을 할당 받게 되고 모든 지국이 일회의 기회를 갖는 동안에 송신이 이루어지지 않았으면, 모든 지국은 다시 R-NAD(F값)를 계산하여 다시 Slot을 할당 받는다. 어느 시점에서 송신이 이루어지면 Ack가 있는 경우 또는 Ack가 없는 경우의 TP 종료 시점 까지 대기 모드에 있다가 NAD 동기 시점에서 모든 지국이 다시 R-NAD(F값)를 계산하게 된다. R-NAD는 모든 기지국들이 네트워크 접근에 대한 동일한 기회를 가질 것을 보장하는 것으로, NAD를 구할 때 F는 0과 (3/4)NS 사이에 있는 정수값 (truncated)을 임의로 생성 한다. 때문에 각 지국간의 같은 F값을 생성하게 될 때는 충돌할 경우가 생길 확률도 배제할수 없다.

P-NAD는 가입자들에게 지정한 네트워크 접근 우선 순위가 보존되는 것을 보장한다. F값은 세가지의 우선순위로써 계산되며 다음과 같은 식을 사용한다.

$$F = SP + MP + IS$$

SP = 기지국 우선 순위:

$$\text{초기 송신시 } SP = (\text{가입자 순위} - 1)$$

$$\text{이후 송신시 } SP = 0$$

MP = 메시지 우선 순위:

$$\text{모든 urgent 메시지에 대해 } MP = 0$$

$$\text{모든 priority 메시지에 대해 } MP = (NS + 1)$$

$$\text{모든 routine 메시지에 대해 } MP = 2 * (NS + 1)$$

IS = 초기/이후 요소

$$\text{초기 송신시 } IS = 0$$

$$\text{이후 송신시 } IS = NS$$

IEEE 802.15.4에 NAC를 적용하기위해 선행 조건 두가지가 있다. 첫 번째는 수신지국에서는 수신이 끝났음을 인지하는 기능이 있어야 한다. 이는 모든 수신 지국들이 수신이 끝남과 동시에 같은 Network Parameter를 가지고 NAD의 동기시점을 판단하기 때문이다. 두 번째는 NAC의 Network Model에 사용되는 Parameter를 모두 도출해야 한다. 이때 같은 통신 프로토콜을 수행하는

같은 장비들에서 측정된 Parameter는 최대값을 사용하도록 해야 하는데 그 이유는 최대값을 파라미터에 반영함으로써 망의 충돌이 발생할 가능성을 배제하기 위함이다.

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4의 MAC 계층과 NAC에서 사용하고 있는 MAC 프로토콜의 파라미터 모델을 소개하였다. 또한, IEEE 802.15.4에 NAC의 MAC 계층을 적용하는 방법을 제시하였다.

IEEE 802.15.4에서는 IEEE 802.11의 CSMA/CA와 달리, 각 Node들이 전송하고자 하는 Data Packet이 크지 않기 때문에 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send)와 같은 Mechanism을 제거함으로 무선 센서 네트워크의 통신 성능 향상에 기여를 하였다. 그러나 망에 조금 더 효율적으로 접근 제어하기 위해서는 MAC 레벨에서의 파라미터에 대한 모델링을 해야 하는데 본 논문의 4장에서와 같이 제시한 NAC 프로토콜을 적용한다면 무선 센서 네트워크의 통신 성능 향상에 기여할 것으로 판단된다. 한편, 일반적으로 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들은 RF모듈을 내장하고 있게 되는데, 그런 경우에 NAC 프로토콜에서의 DTE와 DCE가 분리되어 있는 시스템과는 달리 각각의 파라미터들을 측정하기 위해 어려운점이 있을 것이며 이러한 연구는 더욱 발전 되어야겠다.

6. 참고 문헌

- [1] http://www.itsoc.or.kr/business/file/2006_07_02.pdf
- [2] W.Ye, J.Heidemann, and D.Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proc.IEEE INFOCOM 2002, Vol.3, Jun. 2002, pp. 1567-1576
- [3] T.van Dam And K.Langendoen, "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proc. ACM Sensys 2003, pp.171-180
- [4] W.R Heinzelman, J.Kulik and H.Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in Proc. ACM/IEEE MobiCom 1999, Aug. 1999,pp.174-185
- [5] W.R.Heinzelman, A.Chandrakasan and H.Balakrishnan, "Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in Proc. IEEE Hawaii International Conference on System Sciences 2000, Jan.2000.
- [6] <http://www.wired.com/wired/archive/14.09/nextsecurity.html>
- [7] 전호인 "IEEE 802.15.4 WPAN기술" 전자공학회지 제32권 제4호 April. 2005.
- [8] Sinem Coleri Ergen "Zigbee/IEEE 802.15.4 Summary" September, 2004.
- [9] <http://www.ifn.et.tu-dresden.de/~marandin/ZigBee/ZigBeeTutorial.html>
- [10] MIL-STD-188-220D "Digital Message Transfer Device Subsystems" DoD, September, 2005