사물인터넷 망에서 단일 프레임을 이용한 그랜드마스터 선정 및 동기 방법

강성환*, 서민석*, 김종선*, 엄준영*
*(주)아이렉스넷
{shkang, msseo, jskim, jyeom}@irexnet.co.kr

The Clock Grandmaster Decision Method in Internet of Things (IoT) Network

Sunghwan Kang*, Minseok Seo*, Jongsun Kim*, Junyoung Eom*
*irexnet, Inc.

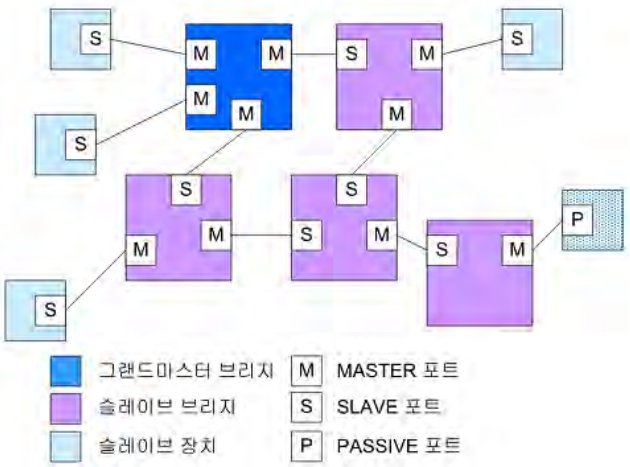
요 약

최근 사물인터넷(IoT, Internet of Things)관련 기술의 발전 및 서비스 산업의 급속한 발전으로 센서 장치에 대한 수요가 증가하고 있다. 센서 장치는 사물인터넷 플랫폼과의 연동을 위한 통신 인터페이스를 필수로 지원하여야 하며, 그 외에 다양한 센서들의 연동 인터페이스와 소비 전력을 모두 고려하여 하드웨어 및 소프트웨어의 설계가 이루어져야 한다. 이와 같이 센서 장치는 베터리 소비를 최적화하여 모든 기능이 구현되어야 하므로 기능상의 제약이 많이 따른다. 시간 동기화를 위해 사물인터넷 플랫폼에서 송신하는 동기 메시지를 수신하기 위해 슬립모드를 지원하는 경우 센서 장치가 항상 깨어 있어야하므로 저전력으로 동작 할 수 없는 어려움이 따른다. 따라서 사물인터넷망에서 시간동기화를 위한 마스터 클럭을 선정 방법을 제안하고 이를 위한 단일 프레임 방식을 제안한다. 향후 시간 동기화 프로토콜의 호환을 위해 CoAP 규격과 연동 될 수 있는 연구가 필요하다.

1. 서론

최근 사물인터넷관련 기술의 급격한 발전과 동시에 센서 장치의 저전력 동작에 대한 이슈 사항도 크게 증가하고 있다. 그와 함께 센서 장치의 저전력 기반 MCU(Micro Control Unit)에서의 고려사항, 통신 모듈의 저전력 운용 방안 및 소량의 데이터를 전달하기 위한 방안 등이 지속적으로 논의되고 있다[1]. 저전력의 요구사항이 센서 장치에서 중요한 기능 요구사항으로 여겨지면서, 센서 네트워크 전체에서 시간을 동기화 하는 방안은 IEEE802.1AVB, IEEE1588PTP등의 방안으로 적용할 경우 많은 전력 소비로 인해 센서 장치를 운영하기에는 한계가 따른다[2]. ITU-T의 Y.2060의 사물인터넷 레퍼런스 모델은 장치 및 사물인터넷 플랫폼과의 연계를 위한 기본 기능등을 정의하고 있으나, 여기에 시간동기와 같은 실시간성을 다뤄야 하는 데이터들을 위한 절차는 완성되어 있지 않으며 지속적으로 논의 중이다[3]. 시간 동기화를 위하여 사물인터넷 플랫폼, 게이트웨이 및 디바이스간의 동작을 정의하기 위해서는 마스터-슬레이브 구조의 동기 방법과 절차가 수립되어야 한다. 그림 1은 이들 객체들간의 관계를 위한 계층적 구조를 나타내고 있다.

본 논문의 구성으로 제2장에서는 LWPAN(Low Power Personal Area Network)에서 시간 동기를 위한 여러 방법들에 대해 다루고, 제3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 그랜드마스터 및 슬레이브 결정 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법의 검증을 제4장에서 실험결과로 보이고 마지막장에서는 결론을 맺고 향후 연구에 대해 간략하게 소개한다.

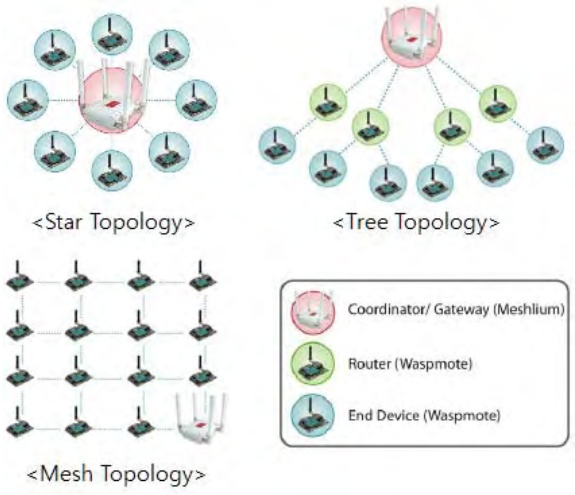


(그림 1) 시간동기를 위한 GM 및 SLAVE 선정

2. LWPAN 프로토콜 및 네트워크 시간 동기

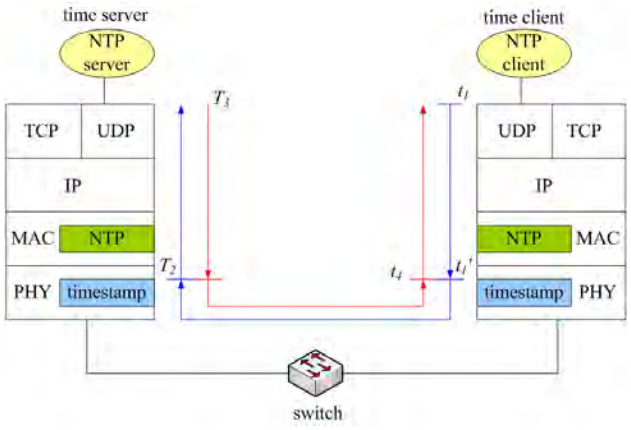
사물인터넷에서 LWPAN을 구성하는 대표적인 통신 방식은 IEEE802.15x이다. 이중 최근 저전력 기반의 IEEE802.15.4를 이용한 상위 프로토콜들이 각광을 받고

있다[4]. 이 프로토콜을 그림2와 같은 네트워크 토폴로지를 이용하여 저전력 기반의 네트워크를 구성하고 있다. 본 논문에서는 특정 토폴로지에 한정되지 않는 시간동기화 방안을 제안한다. 특히 매시 토폴로지(mesh topology)의 경우 동기시간을 제공해야 하는 프로토콜을 각 센서 장치들 사이에서 공유해야 하므로 intermediate device의 역할을 각 end device스스로 수행해야 하므로 처리 모듈에서 이웃 장치들의 상관관계를 스스로 정의해야 한다.



(그림 2) LWPAN을 이루는 토폴로지

전통적으로 네트워크의 시간을 동기화하기 위한 NTP는 전세계 표준시를 제공하는 타임 서버를 두고, 각 타임 서버에 계층적으로 통신하는 중간 타임 서버를 통해 최종 단말 장치 까지 동기 시간을 제공한다[4]. 그림 3은 NTP에서 타임서버와 타임클라이언트 사이의 시간 동기 시에 고려될 수 있는 문제점을 도시한다. 타임 클라이언트가 시간 동기를 위해 타임 서버로 요청한 시간이 $t_1(t_1')$, 타임 서버가 이를 인지하고 시간 동기를 제공하는 시점이 $T_2(T_3)$이다. 여기서 계산에 사용되는 시간은 t_1과 T_2가 된다. NTP로 시간을 동기화 할 시 문제점은 수식 (1)과 같이 정의될 수 있다.



(그림 3) NTP의 시간 동기 절차

$$T_2 - t_1 = at_1 + B + \rho(t_1) \qquad (1)$$

각 장치마다 내부적인 시간 변동은 a, 타임 서버와 타임 클라이언트 사이의 시간 차이는 B, 전달지연시간의 변화는 함수는 $\rho(t1)$ 나타낼 수 있다. 이때 NTP는 $\rho(t1)$에 대한 보상 방법이 없어 정확한 시간을 보장하지 못한다.

3. 심플 패킷을 이용한 시간 동기 방법

IEEE 1588과 IEEE 802.1 AVB에서는 그랜드마스터를 선정하고 시간을 동기화하기 위해 다수의 메시지를 이용한다. 이 경우 많은 컨트롤 패킷의 사용으로 인해 네트워크의 부하가 증가하는 문제가 발생한다. 또한 실시간 애플리케이션 장치와 중간 브리지에서 다수의 메시지를 처리하기 위한 계산의 복잡도가 증가하는 문제점이 있다. BMC 알고리즘은 데이터셋을 비교하고 장치의 각 포트의 상태 결정을 통해 그랜드마스터를 선정하고 변경하는 두 단계를 따로 두었다. IEEE 802.1 AVB 역시 이를 간략화한 방법을 이용하지만 IEEE 1588의 개본 개념에서 벗어나지 못한다. 또한 시간 동기 방법에 있어서 기존의 방법들은 시간 차이와 전송 지연을 구하기 위해 다수의 메시지를 이용하였다.

본 논문에서는 그랜드마스터 선정과 시간을 동기화하기 위해 단일 프레임을 이용한 방법을 제안한다. 단일 프레임을 이용할 경우 그랜드마스터 선정과 변경을 동시에 수행할 수 있다. 또한 시간 동기를 위해 다수의 메시지를 사용하는 형태가 아닌 단일 프레임을 이용하여 시간차이와 전송지연을 모두 고려한 시간 동기를 이룰 수 있다. 그림 4는 그랜드마스터 선정 및 변경과 시간 동기를 위해 이용되는 단일 프레임의 필드를 보여준다.

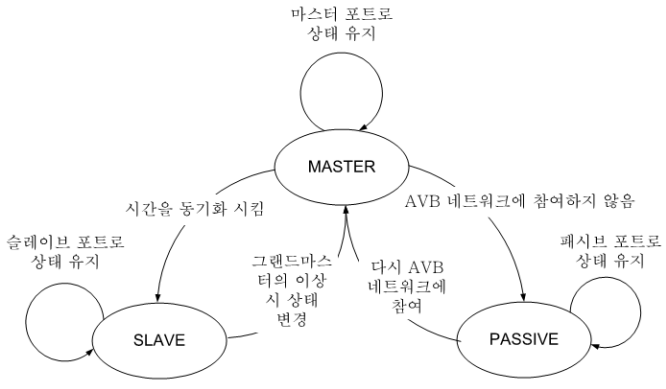
(그림 4) 단일 프레임의 필드 구조

3.1. 그랜드마스터 선정 알고리즘

단일 프레임을 이용한 알고리즘은 BMC 알고리즘의 데이터셋을 비교하는 단계와 상태를 결정하는 단계를 하나의 처리로 만족 시킬 수 있다. 상태는 802.1 AVB에서와 같이 MASTER, SLAVE, PASSIVE의 세 가지로 정의한다. 각 장치들 및 중간 브리지들은 그랜드마스터를 선정하기 위해 단일 프레임을 최초 한번 멀티캐스트한다. 가정 내의 모든 장치들은 전송되어진 프레임에서 hop_count, precedence, unique_id 필드를 비교하여 그랜드마스터를 선정한다.

- hop_count : 시간 동기 프레임을 멀티캐스트하고 브리지를 통해 자신에게 되돌아오는 것을 방지하기 위해 이용
- precedence : 네트워크 운영자가 운영상의 편의를 위해 특정 장치에 우선순위를 임의로 줄 때 이용
- unique_id : 각 장치를 유일하게 구분할 수 있는 번호(MAC 주소)

각 장치의 포트가 다른 장치로부터 그랜드마스터 선정 알고리즘에 의해 다른 상태로 전이가 일어날 경우 그림 7과 같은 동작을 수행한다. 단말 장치의 경우 MASTER와 PASSIVE 상태 사이에서 전이가 일어나고, 브리지의 경우 MASTER와 SLAVE 상태 사이에서 전이가 일어난다. 제안한 그랜드마스터 알고리즘은 그림 7의 상태 전이 다이어그램에 의해 동작된다. 그림 9는 그랜드마스터 선정과 시간 동기 알고리즘을 같이 표현하고 있다. 그랜드 마스터 선정을 위해 전송측 우선순위(Xpre), 수신측 우선순위(Rpre)를 먼저 비교한다. 그리고 전송측 고유번호(Xuid)와 수신측 고유번호(Ruid)를 비교한 후 수신측 고유번호가 더 작다면 이는 최종적으로 그랜드마스터로 선정이 된다. 그 후 10ms 단위로 모든 장치에 시간 동기 프레임을 이용하여 시간 정보를 제공한다[6]. 만약 그랜드마스터로 동작하는 장치에서 이상이 발생되면, 30ms 이후에 모든 장치들은 다시 그랜드마스터 선정 알고리즘을 수행한다.

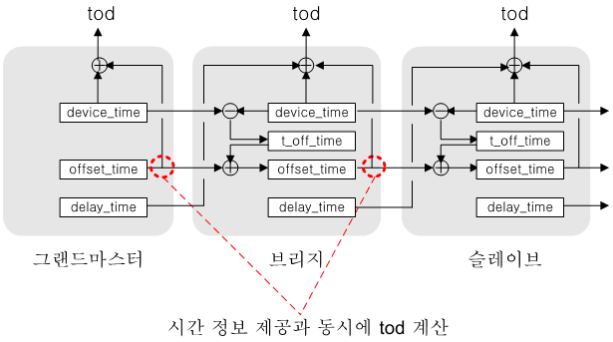


(그림 5) 각 장치의 상태 전이 다이어그램

3.2 시간 동기 방법

단일 프레임을 이용한 알고리즘은 IEEE 1588과 IEEE 802.1 AVB에서 이용되는 여러 메시지 형태의 단점인 컨트롤 메시지의 과다한 증가에 대한 해결책으로 볼 수 있다. 여러 메시지 형태를 사용하는 방법들은 전송 지연을 구하기 위해 불필요한 단계를 거치며, 계산의 복잡도 또한 높이 나타난다. 이는 대규모의 네트워크 구성 형태나 단말 장치들 사이에 거리가 먼 형태에서 시간 동기에 대한 정확성을 어느 정도 보장해 줄 수 있지만, 가정 내 또는 사무실내 장치들 사이에는 이보다 더 간단하면서 정확성을 보장해 주는 방법이 필요하다.

그랜드마스터가 선정이 되고 나면, 모든 장치는 그랜드마스터로부터 시간을 동기화해야 한다. 그랜드마스터는 자신의 기준 시간(Xdt)과 시간 차이 값(Xot)을 이웃 장치들에게 제공한다. 기존의 IEEE 802.1 AVB와 같이 peer-to-peer 형태로 동기 시간을 제공한다. 하지만 IEEE 802.1 AVB에서와 같이 Sync 메시지를 잡아두지(holding) 않고 그림 6에서와 같이 각 장치의 시간을 동기화 하면서 이웃 장치에 동기 정보를 전달한다. 따라서 장치 내의 처리 시간에 영향을 받지 않으므로 좀 더 빠른 시간 동기(tod: time-of-day)를 제공한다.



(그림 6) 프레임을 Holding없이 시간 동기 제공

그림 7에서 시간 동기 알고리즘은 그랜드마스터일 경우 자신의 기준시간(Rdt)과 시간 차이 값(Rot)을 이용하여 자신의 시간을 동기 시킨다. 슬레이브 일 경우 interrupt_remote(stop_message)를 호출하여 더 이상 시간 정보를 제공하는 프레임을 생성하지 않고, 그랜드마스터로부터 전달받은 프레임에 자신의 device_time, offset_time, delay_time을 실어 전달한다. 슬레이브는 프레임 전달과 동시에 자신의 시간을 전달 받은 프레임의 전송 지연을 반영하여 시간을 동기화 시킨다.

- device_time : 각 장치별로 동작하는 기준 시간
- offset_time : peer-to-peer 전달시 그랜드마스터와 각 장치의 시간 차이
- delay_time : 이전 장치와 현재 장치 사이의 전달 지연 시간

```
grandmaster_decision and clock_synchronization
(Xpre, Rpre, Xuid, Ruid, Xdt, Rdt, Xot, Rot, Xde) {
  IF Rpre >= Xpre
    IF Ruid > Xuid
      CALL interrupt_remote(stop_message)
      gm_flag = 0
      t_off_time = Xdt - Rdt
      Rot = Xot + t_off_time
      tod = Rdt + Rot - Xde
    ELSE
      gm_flag = 1
      tod = Rdt + Rot
    ENDIF
  ELSE
      gm_flag = 1
      tod = Rdt + Rot
  ENDIF
}
```

그림 7. 단일 프레임을 이용한 그랜드마스터 선정 및 시간 동기 알고리즘

4. 단일 프레임을 이용한 시간 동기 방법과 기존의 시간 동기 방법 간의 비교 실험

단일 프레임을 이용하여 그랜드마스터 선정 알고리즘에 대하여 실험을 수행하였다. 그리고 IEEE 1588과 IEEE 802.1 AVB의 그랜드마스터 선정 알고리즘과의 성능 비교를 수행하였다. 그림 8은 120초 시뮬레이션 동안 각 방법들의 그랜드마스터를 선정하기까지의 평균 단대단 지연을 나타낸 결과이다. 홉 수가 증가 할수록 세 방법 모두 평균 단대단 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 세 방법 모두 11홉을 거치는 동안 최대 평균 단대단 지연 시간은 545ns 이하에서 그랜드마스터가 선정되는 것을 볼 수 있다. 이는 세 방법 모두 그랜드마스터를 선정하기 위해 단일 메시지를 사용하기 때문에 비슷한 결과를 도출한다.

그림 7 그랜드마스터 선정 시 평균 단대단 지연의 비교

단일 프레임을 이용한 시간 동기 방법은 기존의 IEEE 1588과 IEEE 802.1 AVB에서 사용하는 여러 메시지 형태의 방법을 사용하지 않으므로 좀 더 빠른 시간 동기를 제공 할 수 있다. 그림 12는 120초 시뮬레이션 동안 각 방법들의 시간을 동기화하기까지의 평균 단대단 지연을 나타낸 결과이다. 홉 수가 증가 할수록 세 방법 모두 평균 단대단 지연 시간이 증가 하는 것을 볼 수 있다. 세 방법 모두 11홉을 거치는 동안 최대 평균 단대단 지연 시간은 545ns 이하에서 모든 장치가 시간이 동기화 되는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

사물인터넷에서 장치들간의 시간 동기는 데이터의 수집된 정확한 시간을 보장하므로 반드시 필요한 과정이다. IEEE 802.1 AS는 이러한 표준화 단체 중에서 각 장치들간의 시간을 동기화 하는 방법에 대해 세부적인 표준화 활동을 진행하고 있다. 본 논문에서는 단일 프레임을 이용하여 그랜드마스터를 선정하고 각 포트별 상태를 정의하는 알고리즘과 시간을 동기화하는 방법을 제안하였다. 실험에서는 IEEE 1588과 IEEE 802.1 AVB와의 비교 실험을 통해 가정 내의 장치들 간에 그랜드마스터를 선정 할 때 좀 더 간단한 방법을 이용하였다. 그리고 시간을 동기화 할 때 좀 더 빠르게 동기화 할 수 있다는 것을 보여주었다. 따라서 저전력기반의 디바이스등에서 사용하기에 적합한 방법이라 할 수 있다. 이러한 실시간 데이터 전송을 위해 시간을 동기화 하는 방법에 대해 다루었지만, 실시간 데이터 전송을 위한 예약방법과 전송 방법에 대해서 더 많은 연구가 이루어져야 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 중소기업청의 중소기업융복합기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2285182, 나노 카본 신소재 뉴메틱 펜더 및 무선 센서 네트워크 기반 관제 솔루션 개발]

참고문헌

[1] J. Polastre "Telos: enabling ultra-low power wireless research" Information Processing in Sensor Networks, 2005.

[2] A. H. Sabry, "Power consumption and size minimization of a wireless sensor node in automation system application" Micro and Nanoelectronics (RSM), 2015

[3] ITU, "Y.2060, Overview of the Internet of tings", Series Y. Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks, Jun, 2012

[4] Wan Du, David Navarro and Fabien Mieyeville, Performance evaluation of IEEE 802.15.4 sensor networks in industrial applications, International Journal of Communication Systems, Vol.28, pp.1657-1674, July, 2015

[5] Svein Johannessen, "Time Synchronization in a Local Area Network," IEEE Control Systems Magazine, Vol. 24, No. 2, pp. 61-69, Apr, 2004.

[6] David V. James, "Residential Ethernet (RE) a working paper Draft 0.143," IEEE AVB TG, 2006