

WOC 기반 CATV 망 활용 BLE 센서 네트워크

장 호 덕*

BLE Sensor Network Using CATV Based on WOC

Ho-deok Jang*

요 약

본 논문에서는 WOC (WiFi over Coax)을 이용한 CATV 망 기반의 BLE (Bluetooth Low Energy) 센서 네트워크 구축 방안을 연구하였다. 무선 신호 방사를 위한 안테나와 누설 동축 케이블은 BLE 센서 네트워크 망을 구성하는 지점에 설치된 혼합분리기 (duplex filter)의 BLE 신호 입출력 포트에 설치되며, BLE 무선통신의 전송거리 제약을 줄일 수 있어서 센서 네트워크 커버리지를 확장할 수 있다.

Key Words : BLE, CATV, Leaky Coaxial Cable, Sensor Network, WOC

ABSTRACT

This paper investigated the implementation method of the BLE (Bluetooth Low Energy) sensor network using CATV network based on WOC (WiFi over Coax). Antenna and leaky coaxial cable for radiating BLE signal is connected to the BLE input/output port of the duplex filter installed in the location constructing BLE sensor network. The coverage of sensor network can be extended by overcoming the short wireless transmission distance of BLE signals.

I. 서 론

센서 네트워크는 일상생활의 정보 수집, 관리 및 제어 위한 홈네트워크와 광의의 물리 공간에서 데이

터를 수집 및 가공하여 활용하는 U-City까지 사용될 수 있다. 구체적인 응용분야에는 물류·유통, 환경 감시, 홈 오토메이션, 군사 분야 등이 있으며, 관련 분야의 시장이 커질 것으로 예상되고 있다. 무선 네트워크 모듈의 경우, Zigbee, UWB (Ultra Wide Band), 블루투스 (Bluetooth), Z-wave 등이 사용되고 있다. 센서는 유한한 에너지를 제공하는 배터리로 동작하기 때문에 저전력 기반으로 동작하는 센서 네트워크용 초소형 운영체제가 사용되며, 현재 많이 알려져 있는 OS는 TinyOS, SOS, MANTIS, Contiki, T-kernel, Nano-Qplus 등이 있다. 대부분의 센서 네트워크는 정보를 센싱하는 센서 노드 (Sensor Node), 센싱한 데이터를 전달하는 라우팅 노드 (Routing Node), 그리고 데이터를 게이트웨이로 전달하는 싱크 노드 (Sink Node)로 구성된다. 센서 네트워크에서 사용하는 무선통신의 경우, 전송거리가 단거리이기 때문에 싱크 노드와 센서 및 라우팅 노드와의 통신 및 망 설계에 제약이 있고 복잡한 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서는 싱크 노드가 연결되는 백본망으로 WOC 기반의 CATV 망을 활용한 센서 네트워크를 제안하고 망 구축 방안을 분석하였다.

II. CATV 망 활용 센서 네트워크

센서 네트워크는 그림 1과 같이 CATV 망을 백본망으로 채택하여 구성할 수 있다. 센서 노드 및 라우팅 노드와 싱크 노드 사이의 통신은 BLE 무선통신 방식을 사용하였다. 싱크 노드를 CATV 망에 연결하기 위해서 WOC 기술을 적용하였다. WOC는 인빌딩 CATV 망의 동축선로로 WiFi 신호를 분배 및 전달하는 비용효율이 높은 DAS (Distributed Antenna System) 구현을 위한 기술이다. 동축선로로 WiFi 신호를 전송하여 25dB 이하의 낮은 전송손실을 제공하며, 벽이나 장애물로 인한 신호강도 감소와 multi-path fading과 같은 무선전송 환경의 장애 요소^[1]를 해결하여 인빌딩 무선 커버리지를 확대할 수 있다.

싱크 노드를 CATV 망에 연결하기 위해서 기존 CATV 망 신호와 싱크 노드의 BLE 신호를 결합/분리하기 위한 혼합분리기가 필요하다. 싱크노드에서 센서 네트워크 구성 지점까지 BLE 신호와 기존 CATV 신호는 동축선로로 전송되며, 센서 네트워크를 구성하는 지점에 혼합분리기를 설치하여 혼합분리기의 BLE 신

* First Author : (OCID:0000-0001-5552-4256)Dongyang Mirae University Department of Information & Communication Engineering, teri20@dongyang.ac.kr, 조교수, 정회원

논문번호 : 202001-012-B-LU, Received January 21, 2020; Revised February 17, 2020; Accepted February 18, 2020

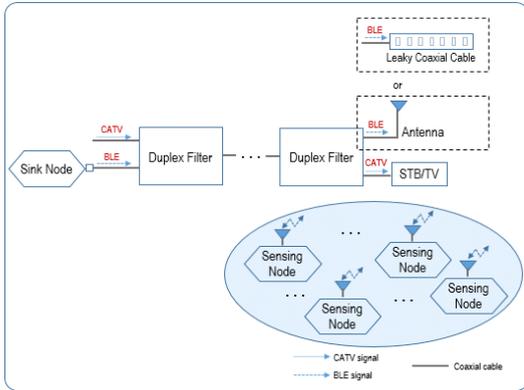


그림 1. CATV 망 활용 센서 네트워크 구성도
Fig. 1. Block diagram of Sensor network using CATV network

호 입출력 포트에 안테나 또는 누설 동축 케이블을 연결하여 센서 네트워크 내 센서 노드 및 라우팅 노드와 통신을 하게 된다. 기존 CATV 서비스는 혼합분리기의 CATV 망 신호 입출력 포트에 STB를 연결하여 제공하게 된다.

그림 1에서와 같이 센서 네트워크 내에서 BLE 신호를 무선으로 전송하기 위해 안테나 또는 누설 동축 케이블을 사용할 수 있다. 누설 동축 케이블은 외부 도체에 직사각형 모양의 구멍인 슬롯(Slot)이 일정한 간격으로 구성되어 케이블 내부 도체에서 슬롯을 통해 신호 일부를 방사하게 된다. 따라서 동축 케이블의 원주방향으로 균일한 전파를 형성하여 무선통신이 이루어지며, 슬롯의 모양과 간격에 의해서 RF 특성이 결정되게 된다²⁾. 누설 동축 케이블은 지상과 차폐되어 전파 도달이 원활하지 않은 건물의 지하, 터널 같은 안테나 방식으로 송수신이 불가능한 곳에서 사각지대를 최소화할 수 있는 전파 환경을 구축할 수 있다.

III. 센서 네트워크 설계 방안

CATV 망의 광케이블 구간과 동축 케이블 구간의 경계에서 신호 변환기 역할을 하는 ONU (Optical Network Unit) 단에서 신호 분배기인 Tapoff까지는 12C, 17C 동축케이블이 사용되고, Tapoff에서 고객 맥내 장치인 STB (Set-Top Box)까지는 5C, 7C 동축 케이블이 사용된다. 인입선 구간에 사용되는 7C 동축 케이블의 경우 2.4GHz 주파수대역에서 0.223dB/m 정도의 낮은 감쇄를 제공하는 제품도 상용화되어 있다³⁾. 따라서 그림 1에서와 같이 WOC 기술을 적용하여 싱크 노드를 인입선 구간에 설치하여 동축선로로

BLE 신호를 전송하면 무선 구간에서 발생하는 BLE 신호 감쇄에 의한 센서 네트워크 설치 및 확장에 대한 제약을 줄일 수 있다. 그림 1의 센서 네트워크 커버리지는 유선 링크 구간에서 발생하는 신호 손실에 의해 BLE 신호가 감쇄되어도 센서 노드 또는 라우팅 노드의 최소 수신 신호 세기를 만족하는 영역이다. BLE 신호 출력은 10mW/MHz로 제한하고 있어서 2MHz 채널 대역폭 기준으로 20mW (13dBm)를 넘지 못한다.

그림 2에서와 같이 센서 네트워크를 구성하는 지점에 안테나를 사용하는 경우, 싱크 노드에서 안테나까지의 유선 링크 총손실 ($L_{t,wire}$)은 식 1에서와 같이 인입선으로 사용되는 동축케이블의 감쇄 (L_{coax}), 신호 분배를 위한 분배기의 손실 ($L_{splitter}$), CATV 신호와 BLE 신호의 결합 및 분리를 위한 혼합분리기의 손실 ($L_{duplexer}$)의 합으로 계산할 수 있다. 싱크 노드의 출력은 유선 링크 총손실이 가장 작은 지점에 설치된 안테나로 방사되는 신호의 출력이 13 dBm 이하를 만족하도록 설정되어야 된다. 그리고 센서 노드 또는 라우팅 노드의 최소 수신 신호 세기를 만족할 수 있는 유선 링크 총손실을 가지는 지점까지 센서 네트워크를 구성할 수 있다. 따라서 안테나를 사용한 경우의 센서 네트워크 커버리지는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{t,wire} = L_{coax} + L_{splitter} + 2L_{duplexer} \quad (1)$$

센서 네트워크를 구성하는 지점에 안테나를 대체하여 누설 동축 케이블을 사용하는 센서 네트워크는 그림 3과 같다. 유선 링크 총손실은 식 2와 같으며, 식

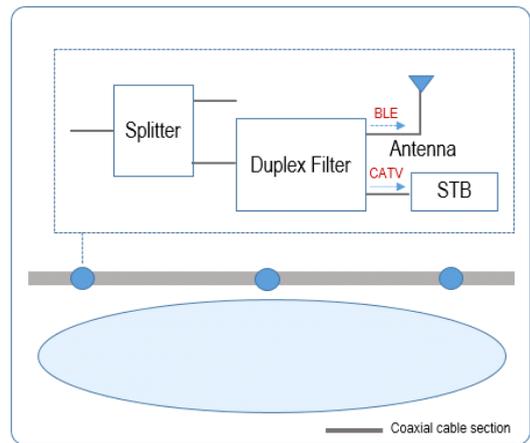


그림 2. 안테나를 이용한 WOC 기반 센서 네트워크
Fig. 2. Sensor network based on WOC using antenna

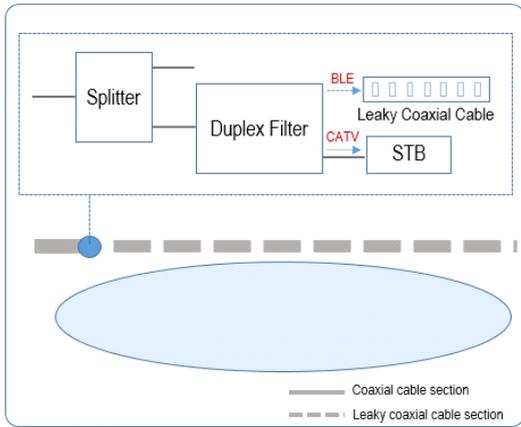


그림 3. 누설 동축 케이블을 이용한 WOC 기반 센서 네트워크
 Fig. 3. Sensor network based on WOC using leaky coaxial cable

1과 비교해서 누설 동축 케이블의 감쇄 ($L_{att,leaky}$)가 추가된다. 누설 동축 케이블에서 발생하는 신호 손실인 $L_{t,leaky}$ 는 식 3에서와 같이 입력단에서 케이블 길이 방향으로 전송되면서 발생하는 감쇄 ($L_{att,leaky}$)와 슬롯을 통해 방사되는 신호의 결합손실 (coupling loss, $L_{coupling,leaky}$)로 구성된다. 결합손실은 누설 동축 케이블에서 2m 떨어진 지점에서 반파장다이폴 안테나로 측정된 신호 손실의 양이다^[4].

$$L_{t,wire} = L_{coax} + L_{splitter} + 2L_{duplexer} + L_{att,leaky} \quad (2)$$

$$L_{t,leaky} = L_{att,leaky}[dB/100m] + L_{coupling,leaky}[dB, 95\%] \quad (3)$$

싱크 노드의 출력은 누설 동축 케이블의 시작점에서 방사되는 BLE 신호의 출력이 13dBm 이하가 되도록 조정해야 한다. 일반적인 센서 노드 또는 라우팅 노드의 최소 수신 신호 세기인 -78dBm을 만족할 수 있는 유선 링크 총손실을 가지는 지점까지 센서 네트워크를 구성할 수 있다. 따라서 식 4에 의해서 2.4GHz 주파수 대역에서 27.93dB/100m의 감쇄와 60dB의 결합손실을 가지는 상용 제품^[5]의 경우, 누설 동축 케이블 길이 (L_{leaky}) 방향으로 111m까지 센서 네트워크의 커버리지를 확장할 수 있다.

$$RSSI = 13dBm - L_{leaky}/100m \times L_{att,leaky} - L_{coupling,leaky} \quad (4)$$

IV. 결 론

기존 CATV 망에 WOC 기술을 적용하면 싱크 노드를 인빌딩에 설치하고 혼합분리기를 이용하여 센서 간의 통신을 위한 BLE 신호를 기존 CATV 신호와 결합 및 분리하게 하여 센서 네트워크를 구축할 수 있다. 센서 노드 또는 라우팅 노드의 최소 수신 신호 세기를 만족하는 지점까지 센서 네트워크를 구성할 수 있으며, 센서 네트워크의 커버리지는 싱크 노드 설치 지점부터 싱크 노드의 무선신호 방사를 위한 안테나 설치 지점까지의 유선 링크 총손실에 의해서 결정된다. 또한 기존 CATV 망의 싱크 노드와 안테나 설치 지점에 혼합분리기를 추가하면 물리적인 센서 네트워크를 용이하게 구성할 수 있다. 뿐만 아니라 안테나를 대체하여 누설 동축 케이블을 사용하면 센서 네트워크의 커버리지를 확장할 수 있다. 감쇄와 결합손실 특성이 우수한 상용 제품을 사용하면 누설 동축 케이블의 길이 방향으로 111m 까지 센서 네트워크를 구축할 수 있다. 따라서 WOC 기반 센서 네트워크는 기존 센서 네트워크와 비교해서 망 설치에 대한 용이성과 확장된 커버리지를 제공한다.

References

- [1] O. S. Shin, "An inter-carrier interference cancellation scheme for OFDM systems in a fast fading channel," *J. KICS*, vol. 42, no. 10, pp. 1963-1966, Oct. 2017.
- [2] Y. I. Hong, H. S. Nam, and J. K. Kim, "A study on the electromagnetic wave properties of leaky coaxial cable using finite difference-time domain algorithm," in *Proc. Symp. KICS*, vol. 18, no. 1, pp. 156-159, Jan. 1995.
- [3] RFS, *LCF14-50JFN product datasheet*(2014), Retrieved Nov. 23, 2017, from <http://www.rfsworld.com>.
- [4] RFS, *RADIAFLEX® the Optimal confined-coverage solution brochure*(2015), Retrieved Nov. 29, 2017, from <http://products.rfsworld.com/brochures,489,1.html>.
- [5] RFS, *RLKU12 product datasheet*(2017), Retrieved Dec. 2, 2017, from <http://www.rfsworld.com>.