

6LoWPAN 기반의 IP-USN 기술 표준화 동향

6LoWPAN Based IP-USN Standardization

정보통신 표준화 기술 특집

김은숙 (E.S. Kim)

차세대인터넷표준연구팀 선임연구원

김용운 (Y.W. Kim)

차세대인터넷표준연구팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 6LoWPAN 개요 및 WG 문서
 - III. 6LoWPAN Rechartering 토의
 - IV. 결론 및 향후 연구 방향

지금까지 센서노드에 TCP/IP를 운용하는 것은 과도한 시스템 자원을 요구하기 때문에 부적절한 선택이라고 생각해 왔다. 그러나, 최소한의 기능만을 가진 TCP/IP를 센서 노드에 적용하여도 센서노드가 동작할 수 있으므로 센서 네트워크에 IP 기술을 접목시키려는 연구가 진행되고 있고, 이에 대한 표준 기술의 필요성이 대두되게 되었다. IETF 6LoWPAN WG는 L2 Layer에 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 센서 네트워크에 IPv6를 지원하기 위한 이슈를 다루는 그룹으로서 저전력, 20~250kbps의 데이터 전송률, 900~2400MHz의 주파수 대역에서 최소형 메모리와 최소형 프로세서만을 장착한 센서 응용을 대상으로 하고 있다. 이 그룹은 국제 표준화 기구 중 대표적으로 IP 기반의 센서 네트워크에 대한 표준 기술을 다루고 있는 그룹으로서, 우리나라에서 6LoWPAN 기술은 USN 기술에 IP를 도입한 IP-USN이라는 개념으로 소개되어 연구 개발되고 있다. 본 고에서는 6LoWPAN WG에서 개발한 표준 기술을 소개하고, 향후 WG의 표준화 방향에 대하여 살펴본다.

I. 서론

지금까지 대부분의 연구개발자들은 센서 네트워킹 프로토콜 용도로 매우 제한적인 시스템 자원을 가진 센서노드에 TCP/IP를 운용하는 것은 과도한 시스템 자원을 요구하기 때문에 부적절한 선택이라고 생각해 왔다.

즉, 센서노드는 범용 목적의 컴퓨팅 시스템이 아니라 몇 가지 센서를 부착하여 환경 정보를 인식하여 전달하는 목적으로서 제한적인 용도로 주로 활용되기 때문에 시스템 자원을 최소화하여 만들 수 있고, 또한 동시에 많은 수의 센서노드를 설치하여야 하므로 경제적 비용 절감이 매우 주요한 목표가 되어 시스템 자원을 최소화하여야 하는 요구사항을 갖기 때문에 TCP/IP와 같이 시스템 자원이 많이 소요되는 통신 프로토콜은 부적절하였다.

이러한 이유로 센서 네트워킹 프로토콜로 non-IP 방식이 선택되었고, ZigBee 프로토콜이 가장 널리 알려진 대표적 네트워킹 프로토콜 방식이다.

그러나, 실제로는 데이터 통신의 성능과 기능을 희생하여 TCP/IP의 모든 기능을 센서노드에 적용하지 않아도 센서노드가 통신하는 데에 지장이 없기 때문에 대표적인 센서노드의 시스템 사양에서 충분히 운용될 수 있는 TCP/IP를 확보할 수 있다. 따라서 TCP/IP를 채택할 필요가 있는 이점들을 밝혀낸다면, TCP/IP는 센서 네트워킹의 유력한 통신 프로토콜로 활용할 수 있을 것이다.

센서 네트워킹 프로토콜로 TCP/IP를 활용하게 되면 다음과 같은 이점이 있을 것으로 분석된다.

- TCP/IP는 미국방성에서 핵전쟁의 상황에서 통신망의 장애가 다른 곳으로 파급되지 않고 제한적인 범위에서 그치도록 하는 설계 목표에서 개발되었던 유래에서 알 수 있듯이 통신망의 장애 현상에 대해 강건함을 특징으로 한다. 대부분의 센서 네트워킹 통신은 무선 기반으로 이루어질 것으로 전망되는 가운데, 무선 센서 네트워킹은 운용 환경에 매우 민감하게 반응하여 사람이나 동물이 지나다니고, 차량이 운행되는 등의 현상

에 의해서도 통신 안정성이 위협을 받아 통신 장애가 빈발할 수 있어 전체 센서 네트워크가 혼란에 빠질 수 있다. 이때, TCP/IP는 통신 장애를 해당 장애 지점에 한정시켜 전체 네트워크가 안정적으로 운용할 수 있게 하는 데에 유용하게 활용될 수 있다.

- ZigBee는 시장을 주도하는 업체들의 모임을 통해 만들어진 것으로서 각 기업체들이 소유한 다수의 IPR에 지배되어 있다고 할 수 있다. 이것은 시장 전체적으로 비용 상승을 유발시켜 상대적으로 비싼 비용을 치르게 할 수 있다. 그러나, TCP/IP는 오랜 세월에 걸쳐 공개되어 있고, 널리 활용되어 왔으며, 재활용할 수 있는 기존 네트워크 소프트웨어가 널리 있으므로 경제적 비용으로 설치 및 운용이 가능하다는 장점을 갖고 있다.
- 단말에 있는 센서노드가 IP 주소를 갖고 있기 때문에 가장 광범위하게 구성되어 있는 IP 통신망에 자연스럽게 통합될 수 있다. 즉, 중간 지점에 게이트웨이와 같은 변환 및 중계 장치가 없어도 통신 개체들 사이에 일대일 직접 통신이 가능한 것이다. 반면에, non-IP 기반의 센서 네트워크는 IP 통신망과 연결될 때 반드시 게이트웨이 장치를 경유하여야 하고, end-to-end 통신이 불가능하게 된다.

이러한 이유로 센서 네트워크에 IP 기술을 접목시키려는 연구가 진행되고, 이에 대한 표준 기술의 필요성이 대두되게 되었다.

이러한 필요성과 함께, IETF의 6LoWPAN WG

● 용 어 해 설 ●

6LoWPAN(IPv6 over Low power WPAN): IEEE 802.15.4를 PHY/MAC으로 하는 저전력 WPAN 상에 IPv6를 탑재하기 위한 기술

WPAN(Wireless Personal Area Network): 무선 근거리 개인 통신망으로 개인용 컴퓨터, 개인 정보 단말기, 무선 프린트, 저장 장치 등 다양한 종류의 전자 장비들과 같은 휴대용 컴퓨팅 장비들을 지원하기 위한 무선을 이용한 개인 영역 통신망

이 2005년 신설되었다. 이 그룹은 국제 표준화 기구 중 대표적으로 IP 기반의 센서 네트워크에 대한 표준 기술을 다루고 있는 그룹이다.

이 그룹은 L2 Layer에 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 센서 네트워크에 IPv6를 지원하기 위한 이슈를 다루는 그룹으로서 저전력, 20~250kbps의 데이터 전송률, 900~2400MHz의 주파수 대역에서 최소형 메모리와 최소형 프로세서만을 장착한 센서 응용을 대상으로 하고 있다.

6LoWPAN WG는 2005년에 신설된 이래 현재까지, 공식적으로 6LoWPAN을 위한 'Problem Statement'[1]와 'Packet Format'[2]에 대한 문서에 대한 작업만 WG 문서로 작업을 진행해 왔으며, 위 두 문서가 완료단계에 이름으로써 WG가 새로이 작업할 작업범위를 조정하는 토의(rechartering)가 2007년도 2번에 걸친 회의의 주요 쟁점이었다.

IETF 6LoWPAN WG는 기존의 WSN에 수 년의 경험을 가지고 Tiny OS를 개발한 학계와 이를 바탕으로 한 칩(chip)과 라우터 생산업체, 산업체 연합체인 ZigBee Alliance[3]에서 일해왔던 멤버, 시스코와 같은 장비업체, 인텔과 같은 칩 생산업체 등 다양한 관점의 학계, 연구계, 산업체에서 관심을 가지고 표준화에 참여하고 있다.

특히, 우리나라에서 6LoWPAN 기술은 USN 기술에 IP를 도입한 IP-USN이라는 개념으로 소개되어 연구 개발되고 있다.

현재 6LoWPAN에서 연구하는 표준 기술이 IP-USN 기술의 근간이 되고 있으므로, 본 문서에서는 6LoWPAN WG에서 현재까지 다루어 온 두 가지 WG 문서를 살펴보고, 2007년 2차례에 걸쳐 논의가 된 향후 IETF 6LoWPAN WG에서 다루고자 하는 작업 범위를 정한 rechartering 결과를 소개하여 국

내 6LoWPAN 기반의 IP-USN 기술의 표준화 방향을 살펴보고자 한다.

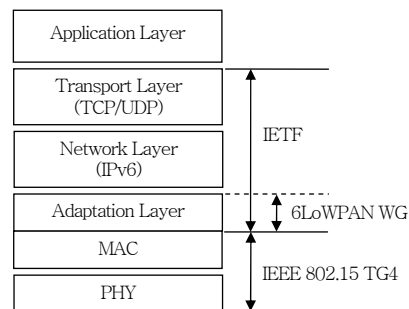
II. 6LoWPAN 개요 및 WG 문서

저전력 무선 네트워크의 핵심 기술로 높은 주목을 받고 있는 ZigBee 기술은 IEEE 802.15.4의 PHY/MAC 기술을 바탕으로 "ZigBee Alliance"에서 추가적인 기능을 부여하여 더욱 향상된 기술을 지원하고 있다. 하지만 ZigBee 기술은 open standard, 즉 누구나 자신의 목적에 맞게 사용할 수 있는 표준 기술이 아니며 "ZigBee Alliance"에 가입한 멤버에 한해서 기술 사용이 가능하다. 이에 저전력 무선 네트워크 기술을 개발하는 기업을 중심으로 이미 익숙하고 널리 활용되어 왔던 IP 프로토콜을 이용하여 IEEE 802.15.4[4] 기반의 ZigBee 대응 기술을 개발하고자 하는 움직임을 보였고, 2005년 3월 62차 IETF 회의에서는 6LoWPAN WG[5]을 창설하였다.

6LoWPAN 워킹그룹은 LoWPAN 상에서 IPv6 패킷 전송 방안을 정의하는 것을 목표로 하고 있다 [6]. 좀 더 구체적으로는, 어떻게 하면 데이터 전송 속도가 느린 IEEE 802.15.4(250kbps/2.4GHz, 40kbps/915MHz, 20kbps/868MHz) 기술을 통해 헤더 사이즈가 큰 IPv6 패킷을 효율적이고 안전하게 전달하고, 또 전달하고자 하는 장치들을 어떻게 검색할 것인지에 대한 내용을 연구하는 것이다. 또한 IEEE 802.15.4 기술이 사용하는 MAC 주소(16비

● 용 어 해 설 ●

USN(Ubiquitous Sensor Networks): 다양한 위치에 설치된 태그 및 센서노드를 통해 사람/사물 및 환경 정보를 인식하고, 인식된 정보를 통합 가공하여 언제, 어디서나, 누구나 자유롭게 이용할 수 있게 하는 정보 서비스 인프라



(그림 1) 6LoWPAN의 범위

트 또는 64비트 확장형 주소)를 이용하여 IPv6 자동 주소설정 기능을 어떻게 수행할 것인가에 대한 내용도 포함된다. (그림 1)은 이러한 6LoWPAN에서 진행되는 표준 기술의 범위를 그림으로 표현한 것이다.

6LoWPAN은 IP를 사용함으로써 기존의 구축된 통신 및 응용서비스 인프라를 그대로 이용할 수 있어서 비용이 절감될 뿐만 아니라 잘 알려지고 검증된 IP 기술들을 사용할 수 있어 신뢰성과 안정성도 도모할 수 있다고 한다. 그리고, LoWPAN에서는 기존 네트워크들에 비해 상당히 많은 수의 노드가 배치되어야 하므로 큰 주소 공간과 자동 주소설정과 같은 기능을 내장하고 있는 IPv6가 적합하다. 따라서 6LoWPAN에서는 IPv4는 고려하지 않는다.

다음 두 문서가 2005년 창설 이래 6LoWPAN WG에서 작업한 문서이다.

1. RFC 4919

“IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks(6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problems Statement, and Goals”[1]라는 제목으로 2005년부터 작업을 시작하여 2007년 8월에 RFC로 승인되었다. 제목에서 보이는 것처럼 표준트랙이 아니고 ‘Informational’ 트랙의 표준 문서이다.

LoWPAN의 특성, IEEE 802.15.4 2003년 버전에 IPv6를 탑재하는 데 고려되는 문제들과 IPv6의 전송을 위한 목표를 기술하고 있다.

먼저 6LoWPAN의 특성은 다음과 같다.

- 작은 패킷 사이즈를 가진다. IEEE 802.15.4 물리계층에서 헤더를 제외하고 최대 127바이트의 데이터 패킷(PSDU)을 가질 수 있으며, 결과적으로 MAC 헤더를 제외하면 MAC 계층에서 102바이트의 데이터 패킷(MSDU)을 가질 수 있다. 링크 계층에서 제공하는 보안(예: AES-CCM-128)을 적용하면 81바이트만 상위 계층(네트워크 계층 이상) 데이터 전송에 사용할 수 있다.

- 16비트 단축형(short)과 IEEE 64비트 확장형 MAC 주소를 지원한다.
- 현재 IEEE 802.15.4 물리계층에서 정의한 주파수 2.4GHz, 915MHz, 868MHz에 대해서 각각 250kbps, 40kbps, 20kbps의 낮은 데이터 전송률을 제공한다.
- 스타(star)와 메시(mesh) 토폴로지를 제공한다.
- 일반적으로 일부 또는 모든 장치들이 배터리를 이용해서 작동하는 저전력 특성을 갖는다.
- 저가형 센서, 스위치 등과 관련이 있다. 과거의 경우를 볼 때 가격은 시간이 지남에 따라 변하기 때문에 ‘저가’에 대한 수치적 정의는 명시적으로 나타낼 수 없지만, 이런 종류의 장치들은 낮은 처리 능력, 작은 메모리 등과 같은 특성을 갖는다.
- 많은 수의 장치들이 기술의 수명 기간 내에 배치될 것으로 예상된다. 이 수량은 예를 들면, PC의 수보다도 많을 것으로 예상된다.
- 일반적으로 장치들의 위치는 미리 정해지지 않고, ad-hoc 형태로 배치될 것이다. 더구나 이 장치들은 때때로 접근이 용이하지 않을 수도 있고, 위치가 이동될 수도 있다.
- LoWPAN에 포함된 장치들은 여러 가지 이유로 인해서 신뢰성이 낮을 가능성이 높다. 이러한 이유로는 불확실한 라디오 연결, 배터리 고갈, 물리적인 조작, 장치 작동 불능 등이 있다.
- LoWPAN에 포함된 장치들은 이들 장치들이 종종 슬립모드(sleep mode) 또는 전력절감을 위한 전력절감모드(power down mode)에 있기 때문에 정상 동작하지 않을 가능성이 높다.

이러한 특성을 바탕으로 6LoWPAN에서는 다음과 같은 기술적 필요성을 제시하고 이를 해결하는 것을 목표로 한다.

- 단편화(fragmentation)와 재조립(reassembly) 계층: 프로토콜 데이터 단위(PDU)는 81바이트 일 정도로 작은 크기이다. 이것은 확실히 IPv6의 최소 패킷 크기인 1280바이트와 큰 차이가 있으며, 단편화와 재조립을 담당할 어댑테이션

(adaptation) 계층이 IP 계층 아래에 반드시 제공되어야 한다.

- 헤더 압축: 최악의 경우 IEEE 802.15.4 프레임 을 통한 IP 패킷 전송 최대 가용 크기는 81바이트이며, IPv6 옵션 헤더를 제외한 IPv6 헤더 40 바이트를 적용하면 UDP나 TCP와 같은 상위 계층 프로토콜에게는 41바이트만 남는다. UDP 의 8바이트 헤더 또는 TCP의 20바이트 헤더를 적용하면 UDP와 TCP를 위한 데이터 전송 공간은 각각 33바이트와 21바이트만 남게 된다. 추가로 단편화와 재조립을 위한 계층에서 사용 될 공간까지 생각한다면 응용 데이터 전송을 위해서 아주 적은 공간만이 남게 된다. 따라서, 이러한 프로토콜 형태로 사용한다면 데이터가 수십 바이트에 불과하더라도 과도한 단편화와 재조립이 일어나게 된다. 이 사실은 헤더 압축 기술의 필요성을 보여 준다.
- 주소 자동 설정: 비상태형(stateless) 자동 주소 생성은 상태형(stateful) 보다 호스트에 대해서 작은 생성 오버헤드를 지니고 있기 때문에 LoWPAN에 보다 적합하다. 비상태형 주소 생성을 위해서 IEEE 802.15.4 장치에 할당된 EUI-64 형식에서 'Interface Identifier'를 생성하는 방법에 대해서 상세한 규격 명세서가 필요하다.
- 메시 라우팅 프로토콜: 멀티 홉 메시 네트워크를 지원하는 라우팅 프로토콜이 필요하다. Ad-hoc 멀티 홉 라우팅에 관해서는 많은 연구가 있으며, 이 프로토콜들은 IP에 기반을 둔 오버헤드가 큰 주소체계를 사용하기 위해 설계되었다. 따라서, IEEE 802.15.4 프레임에 적용하여 라우팅을 하기 위해서는 기존 프로토콜이나 새로운 프로토콜의 설계를 할 때 세심한 주의가 필요하다.
- 네트워크 관리: IPv6 패킷의 전송에 관한 한 가지 중요한 관점은 재사용성에 있다. LoWPAN에 대해서는 네트워크 관리 기능이 매우 중요하다. 네트워크 관리 프로토콜로 SNMPv3를 LoWPAN에 이식할 수 있으나[7], 적절한지 아니

면 적당한 적응 과정이 필요한지 심도 있는 분석이 필요하다. 이러한 수정은 데이터 타입을 제한하거나 BER을 간략하게 함으로써 크기와 복잡도를 줄일 수 있고, 결과적으로 LoWPAN 장치의 제한된 메모리와 전력에 훨씬 더 적합한 형태로 메모리와 처리량을 줄일 수 있다.

- 응용 및 상위 계층 고려사항: 헤더 압축이 보다 일반화되면 응용 프로토콜의 효율성이 전체적인 성능에 훨씬 더 큰 영향을 끼치게 될 것이다. XML에 기반을 둔 SOAP와 같은 무거운 프로토콜은 LoWPAN에 적합하지 않다. 따라서, 좀 더 간소화된 인코딩 기법(어쩌면 프로토콜)이 필요하다. 기존의 프로토콜들을 LoWPAN에 적합하도록 가볍게 재정의하거나 수정하고, 더 나아가서 향후에는 응용 레벨의 상호 운용성(interoperability)을 위한 상세 내용에 대한 정의가 필요하다.
- 보안 고려사항: 서로 다른 계층에 대한 보안 위협에 대해서 명확하게 이해되고 문서화 되어야 한다. 위치와 제한된 디스플레이, 고밀도, ad-hoc 특성의 배치와 같은 경향이 있는 장치들을 안전한 네트워크 안에서 구동하는 방법에 대해서도 고려해야 한다.

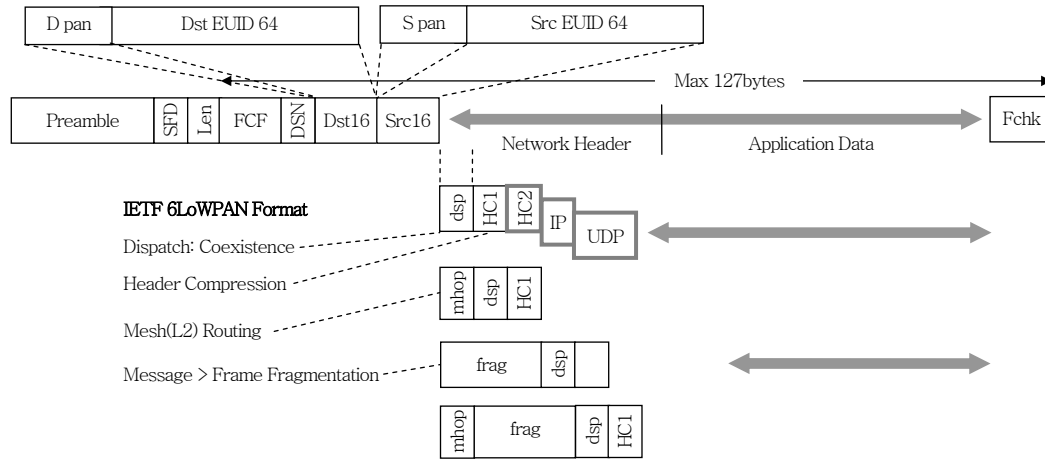
2. RFC 4944

"Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks"[2]라는 제목으로 2007년 9월에 IETF RFC 승인을 받았다.

현재 IETF 6LoWPAN WG의 유일한 표준트랙 기술 문서이다. IEEE 802.15.4[4]를 PHY/MAC으로 채택한 6LoWPAN 기반의 센서 노드들은 IPv6/TCP/UDP를 센서 노드에 탑재하기 위하여 128 byte 프레임에 이들을 실어야 한다.

IPv6의 최소 MTU 요구사항을 만족시키기 위해 어댑테이션 계층에서는 IEEE 802.15.4의 물리계층 PDU를 사용하여 IPv6 데이터그램을 전송하기 위해 패킷 단편화와 재조립 기능을 담당한다.

IEEE 802.15.4 Frame Format



(그림 2) 6LoWPAN 패킷 단축

6LoWPAN 패킷 단축 기법을 그림으로 보면 (그림 2)와 같다.

PHY/MAC이 사용하는 최대 정보를 고려하면, 80byte 안에 IPv6/TCP 또는 IPv6/UDP 헤더 및 센서 응용을 위한 데이터가 표현되어야 한다. 이를 위하여 패킷 단축이 필요하며, 이를 위하여 6LoWPAN에서는 dispatch를 사용하여 6LoWPAN 패킷임을 표현하고, IPv6/TCP/UDP 헤더 단축 방법을 제시하고 있다.

여기서 6LoWPAN의 패킷을 표시하는 dispatch 코드 패턴은 <표 1>과 같다.

IPv6 헤더 필드에 대한 압축은 다음과 같다. “Version” 필드는 모든 패킷이 IPv6이므로 생략 가능하고, IPv6 송수신지 주소는 둘 다 링크 로컬이어

서 IID를 통해 알 수 있고, 하위 64비트 IID 정보는 MAC 계층의 송수신지 주소에서 추정이 가능하므로 역시 생략이 가능하다. 패킷 길이도 IEEE 802.15.4 PPDU 프레임에서 “Frame Length”를 통해서, 또는 만약 단편화 헤더(fragment header)가 있다면 이 속의 “datagram_size” 값을 통해 추정이 가능하다. 트래픽 클래스와 플로 레이블은 ‘0’으로 설정할 경우 생략할 수 있으며, “Next Header”는 TCP와 UDP, ICMP만을 가진다.

IPv6의 헤더 필드 중에서 항상 압축이 되지 않은 상태로 전송되는 유일한 필드는 “Hop Limit”(8비트)이다. 다른 필드들이 압축되지 않은 상태로 전송해야 하는지 여부는 IPv6 패킷 헤더가 위의 공통 헤더 부분과 얼마나 다른가에 달려 있다.

HC1의 비트 5번과 6번은 UDP, TCP 및 ICMP 등에 대한 IPv6 Next Header 필드 영역을 압축할 수 있게 해준다. 즉, 이러한 프로토콜 헤더에 대한 추가적인 압축을 가능하게 해주는 것이다.

Ⅲ. 6LoWPAN Rechartering 토의

IETF 6LoWPAN WG는 WG의 공식문서 2건이 완성되어감에 따라 WG에서 향후 다루고자 하는 작

<표 1> 6LoWPAN Dispatch 코드 패턴

패턴	헤더 타입	설명
00 xxxxxx	NALP	LoWPAN 프레임 아님
01 000001	IPv6	Uncompressed IPv6 주소
01 000010	LoWPAN_HC1	LoWPAN_HC1 compressed IPv6
...	Reserved	현재 미사용
01 010000	LoWPAN_BC0	LoWPAN_BC0 broadcast
...	Reserved	현재 미사용
01 111111	ESC	추가 dispatch 바이트가 따름

업 범위를 결정하는 rechartering 회의를 제 68차 프라하 회의(2007년 3월)와 제 69차 시카고 회의(2007년 7월)에 걸쳐서 진행하였다.

제 68차 회의에서 WG에서 새로이 작업할(re-chartering) 항목에 대한 논의 대상은 다음 다섯 가지 기술이었다.

- Bootstrapping과 ND Optimization
- Stateful Header Compression
- Recommendations for Applications/“Architecture”
- Mesh Routing
- Security

이 중 Stateful Header Compression과 Security 이슈는 상대적으로 다른 세 가지 기술 항목에 비하여 작업 우선순위가 높지 않은 것으로 보아 논의가 이루어지지 않았고, 제 69차 회의에서는 interoperability 문제가 추가되어 논의되었다. 주요 아이터널 관련 문서 및 논의 내용은 다음과 같다.

1. 부트스트래핑 및 ND 최적화

현재 부트스트래핑(bootstrapping)과 ND에 관련되어 6LoWPAN WG에 제출되어 개인문서로 진행되어온 문서는 다음과 같다.

- Neighbor Discovery: S. Chakrabarti(draft-chakrabarti-6lowpan-ipv6-nd-03.txt)
- Commissioning: K. Kim(draft-daniel-6lowpan-commissioning-00.txt)

제 68차 회의에서는 부트스트래핑과 ND가 WG에서 다루어야 할 중요한 아이터널이라는 것에는 대체적인 동의가 이루어졌으나, 부트스트래핑과 ND가 별도의 문서로 작업되어야 한다는 의견과 연관된 이슈가 많아서 동시에 작업해야 한다는 의견으로 나뉘었다.

다른 논의로는 부트스트래핑이 6LoWPAN에서의 mobility 이슈와 관련이 많으므로, 부트스트래핑에서 mobility 이슈를 같이 다루어야 한다는 의견이

제기되었다. 또한, ND에 있어서 secure ND를 고려해야 한다는 의견과 그 부분은 security 고려사항으로 빠져야 하고, 일반적인 ND 작업이 먼저 이루어져야 한다는 반대의견이 있었다.

이에 대하여 전반적인 architecture 문서의 수립 후 그에 맞는 네트워크 상에서의 부트스트래핑과 ND가 설계되어야 한다는 의견이 있었다.

제 69차 회의에서 한국의 아주대 김기형 교수가 커미셔닝(commissioning) 문서를 제출하였으나 문서 자체에 대한 토의보다는 부트스트래핑과 ND 작업 방향에 대한 토의가 주로 이루어졌다.

ND와 관련되어 또 한 가지 제기된 문제는 라우팅과 관련된 문제이다. 메시 라우팅 토의에서 mesh-under(L2 계층) 라우팅과 route-over(L3 계층) 라우팅에 한계를 두지 않아야 한다는 결론이 도출됨에 따라, 현재 진행중인 ND 문서가 mesh-under를 전제로 하는 데 대한 조정이 있어야 한다는 문제가 도출되었다. 그러나 이 문제에 대한 방안에 대한 토의는 다음 회의로 미루어졌다.

결과적으로 이 아이터널에서 결정해야 하는 것의 나열에 그친 토의였으며 어떤 일관된 동의를 이끌어 내지는 못하였으나, 이 아이터널이 rechartering에 포함되어야 한다는 의견은 모아진 상태이다.

2. 6LoWPAN 응용/아키텍처

6LoWPAN의 기술을 개발함에 있어서 그 응용의 특성이 너무나 광범위하여, 이에 대한 명확한 아키텍처 또는 응용 시나리오가 없이는 개발되는 기술마다 저마다의 가정을 세우고 시작한다는 문제점에 따라 6LoWPAN 응용 시나리오와 아키텍처 문서의 필요성이 공감되었다.

제 68차 회의에서는 토의된 많은 내용들이 6LoWPAN에 대한 전반적인 아키텍처가 없음으로 인하여 서로 다른 시각으로 일에 대하여 접근하고 있는 문제점을 제기하였다.

이에 따라, 아키텍처 또는 응용 시나리오로 대표되는 작업이 진행되어야 한다고 제기되었으며, 이에 대하여 많은 참석자가 공감하였고, 현재 부트스트래

핑이나 모빌리티 및 라우팅 이슈는 이러한 6LoWPAN을 위한 큰 그림이 그려져야 그 범위에 맞는 작업이 진행될 것이라는 의견이 많이 대두되었다.

응용 시나리오에 대한 고려에 따라, 각자 6LoWPAN을 바라보는 대상 응용에 따라 네트워크나 프레임워크가 달라질 수 있음에 6LoWPAN의 주요 대상 응용 시나리오를 나열하였다. WG 의장은 워킹 그룹에서 실현 가능한 6LoWPAN 응용들의 목록을 나열하고 이에 대한 작업을 추후 진행할 것을 권장하였다.

이에 따라 제 69차 회의에서 ETRI는 네덜란드 TZO와 공동 작업하여 6LoWPAN WG 응용 시나리오 문서를 제출하였다.

- Application Scenarios: E. Kim 외(draft-ekim-lowpan-scenarios-00.txt)[8]

이 문서는 회의에서 대다수의 지지를 이끌어 내었으며, 향후 이 아이템의 문서 작업을 WG에서 진행하는 데 있어서 중요한 기초 문서가 될 것으로 보인다.

3. 6LoWPAN 메시 라우팅

메시 라우팅 문제는 MANET WG 등의 전문가가 토의에 대거 참여하여 가장 뜨거운 감자로 열띤 토의가 있었던 이슈이다.

제 69차 회의까지 6LoWPAN의 메시 라우팅에 대하여 제출된 문서는 다음과 같다.

- Layer 2("mesh") Routing Requirements: D. Kaspar 외(draft-dokaspar-lowpan-routreq-02.txt)[9]
- DYMO-LoW: Montenegro 외(draft-montenegro-lowpan-dymo-low-routing-03.txt)[6]
- Simple-AODV: K. Kim 외(draft-daniel-lowpan-load-adhoc-routing-03.txt)[10]
- Hierarchy routing: K. Kim 외(draft-daniel-lowpan-hilow-hierarchical-routing-01.txt)[11]

- PacketBB and DYMO applicability: S. Oh, E. Kim 외(draft-oh-lowpan-packetbb-dymo-app-01.txt)[12]

제 68차 회의에서 라우팅 문제를 6LoWPAN에서 다루는 것이 맞지 않다는 의견과 6LoWPAN에 해당하는 관련 이슈를 찾기 위하여 6LoWPAN에 맞는 라우팅 요구사항 등을 먼저 살펴보는 것이 필요하다는 의견 등 활발한 토의를 하였으나 결론을 내지는 못하였다.

제 68차 회의가 종료되고 얼마 후, 센서노드에 적합한 메시 라우팅 표준 기술 개발을 그 목표로 RSN라고 명칭한 메일링리스트가 생성되었다. 이 메일링리스트는 6LoWPAN에 한정하지 않는 다양한 미디어를 장착한 센서에 범용의 라우팅을 제공하기 위하여 L3 라우팅을 채택할 것을 표방하였다.

기존에 6LoWPAN에 제출된 라우팅 문서들이 모두 mesh-under(L2 기반) 라우팅인데 대응하여 RSN이 이를 전면 반대하며 L3 라우팅 개발을 표방함에 따라, 제 69차 회의 이전에 메일링 리스트를 통하여 L2 라우팅과 L3 라우팅 중 어떤 것이 6LoWPAN에 적합한가에 대한 열띤 토의가 있었다.

제 69차 회의에서 RSN이 시스코와 아치락(Arch-Rock)을 등에 업고 목소리를 키워감에 따라 L2 대 L3 라우팅에 대한 토의는 결국, 6LoWPAN에서 라우팅에 대한 요구사항만을 다루며, 기타 어떠한 솔루션이나 패킷 관련된 작업은 RSN과 라우팅 관련 타 WG로 요청하는 것으로 결론이 났다. 이에 따라 ETRI에서 제출한 6LoWPAN 라우팅 요구사항 문서가 다음 회의에 어떤 식으로 발전, 논의될지 주목할 만하다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

IP-USN은 USN에 TCP/IP 기술을 접목하여 센서 노드의 종단간 통신이 가능하게 할 뿐 아니라 기존의 IP 기술을 센서 노드 및 센서 네트워크에서 활용하고자 하는 기술이다.

IETF 6LoWPAN WG은 센서 노드에 IP를 지원하는 기술에 대한 대표적인 표준화 그룹이다. 비교적 신생 그룹으로 한국 참여자들이 활발한 활동을 보이는 그룹 중 하나로서, 향후 IP를 기반으로 하는 센서 네트워크 기술에 활용이 기대된다.

현재, IEEE 802.15.4 기반의 센서 노드에 IP/TCP/UDP 헤더를 패킷 단편화 없이 삽입하는 패킷 단축 기술을 표준으로 발표하였으며, ND, 라우팅, 보안 문제 등 관련 문제에 대한 표준이 진행될 예정이다.

현재까지는 non-IP 기반의 센서 기술이 더 많이 보급되었지만, IPv6를 기반으로 하는 6LoWPAN 기술에 대한 관심이 증가되고 있다. 그러므로, 센서 네트워크나 메시 라우팅 등 관련 연구를 하는 국내 그룹들의 활발한 연구 개발 및 표준화 참여가 필요할 것으로 보인다.

특히 6LoWPAN WG은 다른 그룹에 비하여 상대적으로 많은 한국 기관들이 참여하고 있는 그룹으로서 한국 기관간 조율과 협조를 통하여 국내 기술의 국제화에 시너지 효과를 창출하는 방법으로 접근할 필요가 있다.

약 어 정 리

6LoWPAN	IPv6 over Low power WPAN
BER	Basic Encoding Rule
MANET	Mobile Ad-hoc NETwork
MSDU	MAC Service Data Unit
ND	Neighbor Discovery
PDU	Protocol Data Units
PSDU	PHY Service Data Unit
RSN	Routing for Sensor Networks
USN	Ubiquitous Sensor Network
WG	Working Group
WSN	Wireless Sensor Network

참 고 문 헌

- [1] N. Kushalnagar and G. Montenegro, "6LoWPAN: Overview, Assumptions, Problem Statement and Goals," RFC 4919, IETF, 2007. 8.
- [2] G. Montenegro and N. Kushalnagar, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," RFC 4944, IETF, 2007. 9.
- [3] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [4] IEEE, "802.15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)," *IEEE Computer Society*, 2003. 10.
- [5] IPv6 over Low power WPAN(6LowPAN) Homepage, <http://www.ietf.org>
- [6] K. Kim, G. Montenegro, S. Daniel Park, I. Chakeres, and S. Yoo, "Dynamic MANET On-demand for 6LoWPAN(DYMO-low) Routing," draft-montenegro-6lowpan-dymo-low-routing-00, IETF, 2007. 6.
- [7] D. Harrington, R. Presuhn, and B. Wijnen, "An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol(SNMP) Management Frameworks," STD 62, RFC 3411, 2002. 12.
- [8] E. Kim, N. Chevrollier, and D. Kaspar, "Design and Application Space for 6LoWPAN," draft-ekim-6lowpan-scenarios-00, IETF, 2007. 6.
- [9] D. Kaspar, E. Kim, M.K. Shin, and H. Kim, "Problem Statement, Design Goals and Routing Requirements for 6LoWPAN Mesh Routing," draft-dokaspar-6lowpan-routereq-02, IETF, 2007. 7.
- [10] K. Kim, S. Daniel Park, G. Montenegro, and S. Yoo, "6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing(LOAD)," draft-daniel-6lowpan-load-adhoc-routing-01, IETF, 2007. 6.
- [11] K. Kim, S. Yoo, J. Park, and J. Lee, "Hierarchical Routing over 6LoWPAN(HiLow)," "6LoWPAN," draft-daniel-6lowpan-hilowhierarchical-routing-00, IETF 2007. 6.
- [12] S. Oh and E. Kim et al., "Packet Building Block and DYMO Applicability for 6LoWPAN," draft-oh-6lowpan-packetbb-dymoapp-01, IETF, 2007. 7.