

## 6LoWPAN 단편화 관리 기법 시뮬레이터 개발

서현곤<sup>1\*</sup> · 한재일<sup>1</sup>

### Development of Fragmentation Management Simulator for 6LoWPAN

Hyun-gon Seo · Jae-il Han

#### ABSTRACT

6LoWPAN (IPv6 Low-power Wireless Personal Area Network) is IPv6 packets transmission technology at Sensor network over the IEEE 802.15.4 Standard MAC and Physical layer. Adaptation layer between IP layer and MAC layer performs fragmentation and reassembly of packet for transmit IPv6 packets. RFC4944, IETF 6LoWPAN WG standard document define packet fragmentation and reassembly. In this paper, we propose the 6PASim (6LoWPAN Packet Simulator) to perform IPv6 packet fragmentation and reassembly for performance evaluation. The 6PASim consist of two parts. One is Packet\_Transmit\_module that makes IEEE 802.15.4 frames the IPv6 packet from upper layer, and transmit its. and the another is Packet\_Receive\_module that reassembles transferred frames and completes original IPv6 packets. we can evaluate frame transmit rate and amount of control message through 6PASim. The result of simulation shows the SRM (Selective Retransmission Method) scheme provider better performance than IRM (Immediate Retransmission Method) scheme.

**Key words** : 6LoWPAN, Simulator, IEEE 802.15.4, Sensor network

#### 요약

6LoWPAN은 IEEE 802.15.4 표준의 MAC 및 PHY 계층에서 IPv6 패킷을 전송하는 기술이다. IP 계층과 MAC 계층 사이에 위치한 어댑테이션 계층에서는 IPv6 패킷의 단편화와 재조립을 수행한다. IETF 6LoWPAN WG의 표준트랙 기술문서인 RFC4944에서 패킷의 단편화와 재조립 기술에 대하여 정의하고 있다. 본 논문에서는 IPv6 패킷의 단편화와 재조립 성능을 평가하는 6PASim의 개발을 제안한다. 6PASim은 상위 계층으로부터 전달되는 IP 패킷을 IEEE 802.15.4 프레임에 실어 전송하는 패킷 송신 모듈과 전송된 프레임을 완벽한 IPv6 패킷으로 재조립하는 패킷 수신 모듈로 구성된다. 6PASim을 이용함으로써 송, 수신된 데이터의 양과 제어메시지의 사용량을 평가할 수 있다. 시뮬레이션 결과, SRM 기법이 IRM 기법보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

**주요어** : 6LoWPAN, 시뮬레이터, IEEE 802.15.4, 센서네트워크

## 1. 서론

6LoWPAN은 IETF 인터넷영역의 6LoWPAN WG에서 표준화가 진행되고 있는 기술로써 IEEE 802.15.4 표준의 MAC 및 PHY 계층의 상위 계층에 IP계층을 올려 LoWPAN 상에서 IPv6 패킷을 전송하는 기술이다(N. Kus-

halnagar 등, 2007; 임채성 등, 2006).

지금까지 매우 제한적인 시스템자원을 가지는 센서 노드의 특성상 센서네트워크에서 TCP/IP를 운용하는 것은 과도한 자원의 요구로 인해 부적절하다고 생각되었기 때문에 non-IP 기반의 ZigBee 프로토콜이 널리 사용되게 되었다. 하지만 초창기 ZigBee 기술은 “ZigBee Alliance”에 가입한 멤버에 한하여 사용이 가능했으며 기존 네트워크 인프라와 연동하는데 추가적인 기술 및 비용의 필요성이 요구되었다. 그리하여 저 전력 무선네트워크 기술을 개발하는 기업들을 중심으로 이에 대응하는 기술을 개발하고자 하는 움직임을 보였고, 이에 6LoWPAN WG이 만들

2008년 11월 11일 접수, 2008년 11월 30일 채택

<sup>1)</sup> 한라대학교 정보통신공학부

주저자: 서현곤

교신저자: 서현곤

E-mail; hgseo@halla.ac.kr

어졌다(김은숙 등, 2007; Zigbee Alliance).

6LoWPAN WG에서 작업한 두개의 표준문서 중 하나인 RFC4944(“Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks”)에서는 6LoWPAN이 가지고 있는 기술적 필요성들 중 패킷의 단편화와 재조립, 헤더 압축을 포함한 몇 가지 해결방안에 대하여 표준을 정의하고 있다(G. Montenegro 등, 2007).

본 논문에서는 6LoWPAN에서 단편화와 재조립을 효율적으로 관리하는 단편화 기법들을 시뮬레이션 하기 위해 6PASim(6LoWPAN Packet Simulator)의 개발을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구들을 소개하며 3장에서는 본 논문에서 제안하는 6PASim에 대하여 살펴본다. 그리고 4장에서 6PASim을 이용한 단편화 기법들의 성능을 비교, 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

### 2.1 패킷의 단편화와 재조립

IEEE 802.15.4를 PHY/MAC으로 채택한 6LoWPAN 기반의 센서노드들은 IPv6/TCP/UDP를 센서노드에 탑재하기 위하여 LoWPAN의 최대 패킷크기인 127byte의 프레임에 이들을 실어야 한다(IEEE, 2003).

그림 1에서 127byte의 프레임 중 PHY/MAC에서 사용하는 부분을 제외하면 약 102바이트 정도만이 상위 계층에 의해 사용될 수 있으며 링크 계층의 보안정보가 포함 될 경우 사용가능한 크기는 최하 81바이트까지 줄어들 수 있다. 이러한 이유로 IPv6의 최소 MTU인 1280byte를 만족시키기 위해 IP 계층과 MAC 계층 사이에 위치한 어댑테이션 계층에서는 IEEE 802.15.4의 물리계층 PDU를 사용하여 IPv6 패킷을 전송하기 위한 단편화와 재조립 기능을 담당한다. 그림 2는 프로토콜 스택에서 어댑테이션 계층의 위치를 보여준다.

### 2.2 제안된 단편화 관리 기법

표준문서인 RFC4944에서 정의하고 있는 단편화 관리

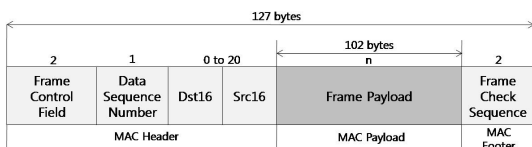


그림 1. IEEE 802.15.4 프레임 형식

기법은 매우 간결하다. 수신 노드의 어댑테이션 계층에서는 송신 노드로부터 전송받은 단편패킷들을 재조립 버퍼에 저장한다. 그리고 재조립 버퍼가 가득 차면 재조립이 완료된 데이터그램을 상위계층에게 전달한다. 만약 네트워크상에서 단편패킷의 손실이 발생할 경우, 수신 노드의 어댑테이션 계층은 재조립 버퍼를 비우고 상위계층에 의해 해당 데이터그램에 대한 모든 단편패킷의 재전송을 수행하게 된다. 이러한 과정은 단 하나의 단편패킷이 손실되어도 전송이 완료된 단편패킷들을 모두 재전송하므로 매우 비효율적이다. 이러한 표준 기법의 오버헤드를 보완하기위해 IRM(Immediate Retransmission Method)과 SRM>Selective Retransmission Method)이 제안되었다(서현곤 등, 2008a).

### 2.2.1 IRM(Immediate Retransmission Method)

IRM은 표준 단편화 관리 기법에서 모든 단편패킷을 재전송할 때 발생하는 오버헤드를 줄이는데 중점을 두고 있는 기법이다(서현곤 등, 2008a). IRM은 수신 노드가 송신 노드로부터 한 개의 단편패킷을 수신할 때 마다 해당 단편 패킷에 대한 응답 메시지를 전송한다. 만약 단편패킷 또는 응답메시지의 손실이 발생할 경우, 해당 단편패킷에 대한 재전송만을 수행하므로 표준 기법에 비해 재전송에서 발생하는 오버헤드가 매우 적다. 하지만 IRM은 하나의 단편패킷에 대하여 최소 하나의 제어메시지를 사용하기 때문에 단편패킷의 수에 비례하여 제어메시지의 수가 증가한다. 센서네트워크에서 제어메시지의 수는 네트워크 트래픽에 큰 영향을 주기 때문에 제어메시지의 증가로 인한 오버헤드는 IRM의 단점이라고 할 수 있다.

그림 3은 IRM에서 조건에 따른 어댑테이션 계층의 상태 천이를 보여준다. 송신 노드의 어댑테이션 계층은 기

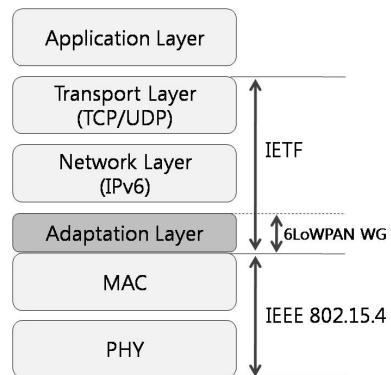


그림 2. 어댑테이션 계층

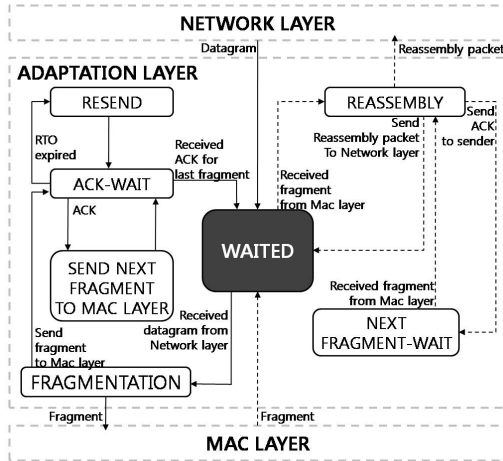


그림 3. IRM의 상태 천이 다이어그램

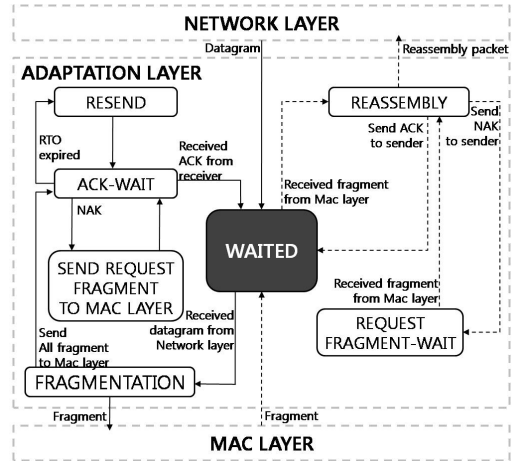


그림 4. SRM의 상태 천이 다이어그램

본적으로 WAITED 상태이며 상위 계층으로부터 데이터그램을 전달받으면 FRAGMENTATION 상태로 천이한다. 단편화가 완료되면 한 개의 단편패킷을 하위 계층으로 전달하고 IRM의 처리 절차에 따라 ACK-WAIT 상태로 천이한다. ACK-WAIT 상태에서 ACK 메시지를 수신하면 다음 단편패킷을 송신하고 제어메시지를 수신하지 못할 경우 어택테이션 계층의 RTO가 발생하므로 이전 패킷의 재전송을 수행한다. 수신 노드의 어택테이션 계층 역시 기본적으로 WAITED 상태이며 하위 계층으로부터 단편패킷을 전달 받으면 REASSEMBLY 상태로 천이한다. REASSEMBLY 상태에서는 전달받은 단편패킷의 단편헤더를 참조하여 재조립 버퍼를 생성하고 재조립 타이머를 설정한다. 또한 버퍼의 해당 위치에 단편패킷의 페이로드를 저장하고 송신 노드에게 ACK 메시지를 송신한 후 NEXT FRAGMENT-WAIT 상태로 천이하여 다음 단편패킷을 수신할 때 까지 대기한다. 이러한 과정을 통하여 모든 단편패킷의 송, 수신이 완료되면 송, 수신 노드의 연결이 종료된다.

### 2.2.2 SRM(Selective Retransmission Method)

SRM은 하나의 상위계층 데이터그램으로부터 생성되는 모든 단편패킷들에 대하여 하나의 제어메시지를 사용한다(서현근 등, 2008a). 해당 데이터그램으로부터 생성된 모든 단편패킷을 한번에 전송하는 것은 표준 기법과 동일하지만 재조립 타이머가 만료되면 수신하지 못한 단편패킷에 대한 요청메시지를 송신 노드에게 전송한다. 이는 표준 기법에서 모든 단편패킷의 재전송에 의한 오버헤드와 IRM에서 과도한 제어메시지의 사용으로 인한 오버

헤드를 줄여준다. 그림 4에서 SRM의 상태 천이는 천이 조건에서 차이가 날 뿐 IRM과 상당히 유사하다. 그 이유는 두 기법 모두 단편패킷을 관리하기 위한 제어메시지를 사용하고 제어메시지에 따라 절차가 진행되는 것은 동일하지만 전송해야 하는 단편패킷의 수와 제어메시지의 종류에서 차이를 보이기 때문이다.

송신 노드의 어택테이션 계층이 FRAGMENTATION 상태로 천이하기까지의 과정은 IRM과 동일하다. 단편화가 완료되면 SRM의 어택테이션 계층은 한 번의 전송시간에 모든 단편패킷들을 하위계층으로 전달하고 ACK-WAIT 상태로 천이한다. ACK-WAIT 상태에서 NAK 메시지를 수신하면 NAK 메시지에 포함되어있는 단편패킷들의 정보를 참조하여 해당 단편패킷들에 대한 재전송을 수행한다. 만약 제어메시지를 받지 못할 경우 어택테이션 계층의 RTO가 발생하고 RTO가 발생하기 직전에 송신했던 단편패킷들을 재전송한다. 수신 노드의 어택테이션 계층은 하위계층으로부터 단편패킷을 전달받으면 WAITED 상태에서 REASSEMBLY 상태로 천이한다. IRM과 동일한 절차로 재조립 버퍼를 생성하고 하위계층으로부터 연속적으로 전달되는 단편패킷들의 페이로드를 버퍼의 해당 위치에 저장한다. 이때 재조립 타이머가 만료되면 재조립버퍼를 확인하여 수신하지 못한 단편패킷의 정보를 NAK 메시지에 실어 송신 노드에게 전송하고 REQUEST FRAGMENT-WAIT 상태로 천이하여 요청한 단편패킷을 수신할 때 까지 대기한다. 동일한 과정을 반복하여 모든 단편패킷을 송, 수신하게 되면 송, 수신 노드의 연결이 종료된다. 그림 5는 SRM에서 단편패킷의 관리 절차를 보여준다.

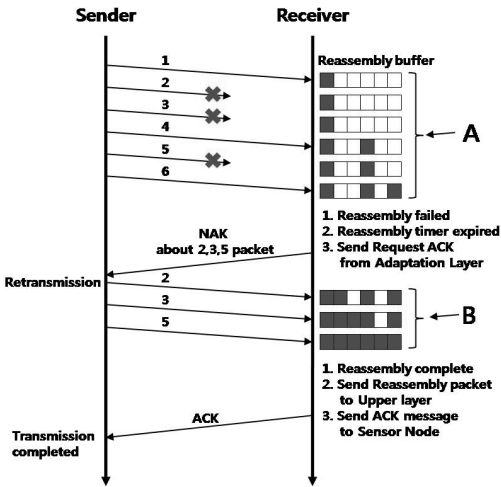


그림 5. SRM에서 단편패킷 관리 절차

그림 5에서 송신 노드가 1~6번 단편패킷을 한 번의 전송시간에 모두 송신하면 1,4,6번 단편패킷은 전송이 완료되어 수신 노드의 재조립 버퍼에 저장 된다. 하지만 2,3,5번 단편패킷은 네트워크상에서 손실이 발생하여 수신 노드가 수신할 수 없으며 그로인해 어댑테이션 계층에서는 재조립을 완료할 수 없다. 이때 재조립 타이머가 만료되면 수신노드의 어댑테이션 계층은 NAK메시지에 수신하지 못한 2,3,5번 단편패킷의 정보를 실어 송신 노드에게 전송한다. NAK메시지를 수신한 송신 노드는 2,3,5번 단편패킷을 재전송하고 수신 노드는 재전송된 2,3,5번 단편패킷을 수신하여 재조립을 완료하게 된다.

### 2.3 네트워크 시뮬레이터

현재 가장 많이 사용되는 네트워크 시뮬레이션 툴로는 NS2(Network Simulator version 2)와 OPNET 등이 있다(The Network Simulator - NS2; OPNET Technologies). NS2는 유닉스 및 리눅스 환경에서 최적으로 구동되는 범용 네트워크 시뮬레이션 툴이며 OPNET은 근본을 통신망에 두고 있는 시뮬레이션 툴로써 미국, 유럽 및 전 세계의 수많은 유, 무선 통신관련 실무 프로젝트에서 사용되고 있다. NS2 또는 OPNET으로 시뮬레이션 환경을 구축하기 위해서는 시뮬레이션 해야 하는 네트워크 환경에 대한 소스코드를 직접 제작해야한다. 시뮬레이션 툴에서 기본적으로 많은 모듈들을 제공하지만 본 논문에서 다루고 있는 6LoWPAN과 관련된 모듈은 제공하고 있지 않다. 모듈을 직접 제작하기 위해서는 많은 시간과 비용이 필요하며 OPNET 솔루션의 경우 매우 고가이므로 추가 비용

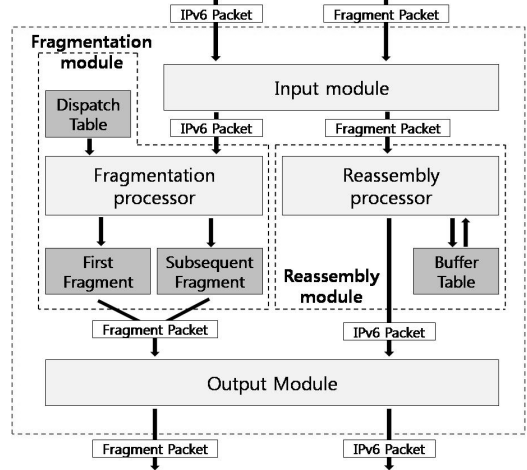


그림 6. 6PASim 모듈 구성도

이 들게 된다. 이러한 이유로 본 논문에서는 범용 시뮬레이터가 아닌 6LoWPAN에서의 단편화 관리기법을 시뮬레이션 할 수 있는 6PASim을 제안한다.(서현곤 등, 2008b, 2008c)

## 3. 6PASim(6LoWPAN Packet Simulator)

6PASim은 C++ 언어로 제작된 시뮬레이션 툴이며, 단편화 관리기법인 IRM과 SRM을 시뮬레이션 할 수 있다. IRM과 SRM에 대해 정의된 Node 클래스로부터 Sender 객체와 Receiver 객체를 생성하여 각 객체로부터 송신 량, 수신 량, ACK의 수, NAK의 수, NAK 전송량, 타이머 만료 횟수를 계산하였다. 네트워크의 상태는 입력되는 전송률에 의존 하며 데이터의 전송 여부는 랜덤수와 입력된 전송률과의 비교를 통해 판단하였다. 또한 제어메시지 전송이 실패했을 경우 타이머가 만료되었다고 가정하고 그 횟수를 계산 하였다. 그림 6은 6PASim에서 모듈의 구성과 연결을 보여준다.

### 3.1 IRM의 주요 메소드

그림 7은 IRM에서 송신 노드의 주요 메소드인 send() 함수이다. send() 함수는 단편패킷의 전송이 시작됨과 동시에 호출 된다. 하나의 단편패킷이 send() 함수로 전달되면 가장 먼저 rand() 함수를 호출하여 발생하는 난수로 단편패킷 전송의 성공과 실패를 결정한다. 단편패킷의 전송이 성공하면 수신 노드의 receive() 함수에 단편패킷을 전달하고 receive() 함수의 리턴 값으로 다음패킷에 대한 처리 및 이전 단편패킷의 재전송을 결정한다. 만약 단편패

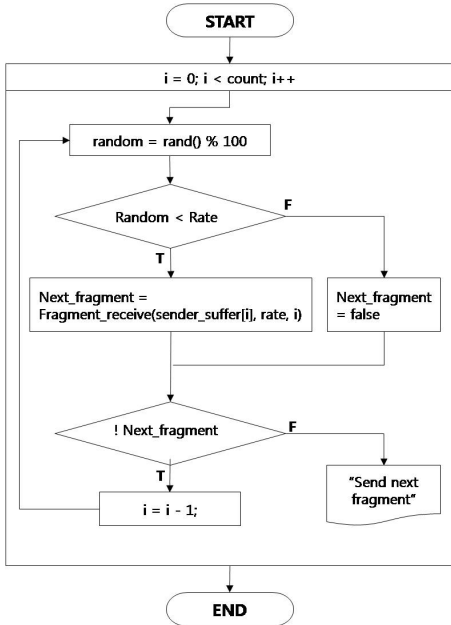


그림 7. IRM에서 송신 노드 send() 함수

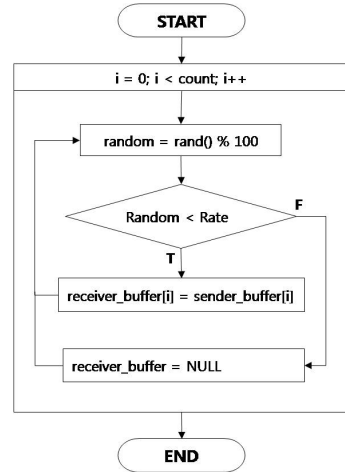


그림 9. SRM에서 송신 노드 send() 함수

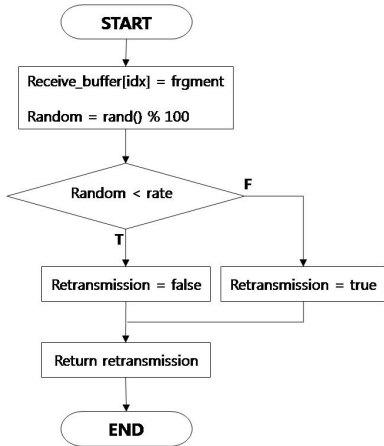


그림 8. IRM에서 수신 노드 receive() 함수

킷의 전송을 실패하면 수신 노드의 receive() 함수를 호출하지 않으므로 이전 단편패킷에 대한 재전송을 수행하게 된다. 모든 단편패킷에 대하여 동일한 루틴을 수행하며 모든 단편패킷의 전송이 완료되면 함수가 종료된다.

그림 8에서 receive() 함수는 송신 노드의 send() 함수가 하나의 단편패킷에 대한 전송을 성공하면 호출된다. receive() 함수가 호출되면 인수로 전달받은 단편패킷을 수신 노드의 재조립 버퍼에 저장하고 rand() 함수를 호출하여 제어메시지의 전송 여부를 판단하는 난수를 발생

다. 만약 제어메시지가 전송되면 수신 노드의 send() 함수는 다음 단편패킷에 대한 송신을 수행하며 제어메시지가 전송되지 않을 경우 send()함수는 이전 단편패킷에 대한 재전송을 수행한다.

### 3.2 SRM의 주요 메소드

그림 9는 SRM에서 송신 노드의 주요 메소드인 send() 함수이다. SRM의 send() 함수도 IRM의 send() 함수와 동일한 시점에 호출되지만 한 번의 전송시간에 모든 단편패킷을 전송해야 하므로 send() 함수에서 수신 노드의 receive() 함수를 호출하지는 않는다. 송신 노드의 send() 함수가 호출되면 가장 먼저 rand() 함수로부터 난수를 생성하여 해당 단편패킷에 대한 전송 여부를 결정한다. 전송을 성공하면 수신 노드의 재조립 버퍼에 해당 단편패킷이 저장되며 실패할 경우 NULL 값이 저장 된다. 동일한 과정을 반복하여 모든 단편패킷에 대한 전송이 완료되면 send() 함수가 종료 된다.

그림 10에서 수신 노드의 receive() 함수는 송신 노드의 send() 함수가 종료되면 호출된다. 이때 receive() 함수의 핵심 기능은 수신한 모든 단편패킷에 대하여 제어메시지의 종류(Error\_state)를 결정하는 것이다. 수신 노드의 receive() 함수는 자신의 재조립 버퍼를 확인하여 Error\_state의 값을 정하고 반환 한다. Error\_state가 “0”인 경우 모든 패킷에 대한 수신이 손실 없이 완료되었음을 의미하며 “1”인 경우 제어메시지의 전송이 실패했음을 의미한다. 또한 “2”일 경우는 네트워크상에서 손실된 단편패킷에 대한 재전송 요청 제어메시지를 송신하였음을 의미한다. 송신 노드의 send() 함수는 반환된 Error\_state의 값이

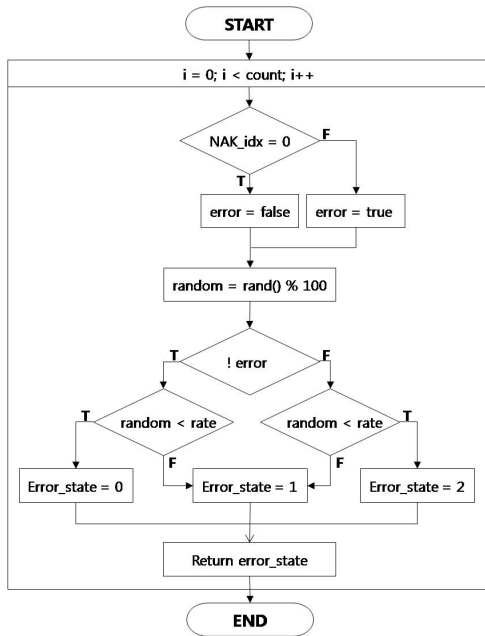


그림 10. SRM에서 수신 노드 receive() 함수

“0”일 경우 다음 데이터그램에 대한 단편패킷의 전송을 수행하며 “1”일 경우 수신 노드로부터의 제어메시지가 손실 되었으므로 이전에 전송했던 단편패킷들에 대하여 재 전송을 수행한다. 마지막으로 “2”일 경우는 요청받은 단편패킷에 대한 재전송을 수행한다.

#### 4. 성능 분석 및 실험

그림 11은 6PASim의 메인 화면이다. 우측 상단의 Packet Size는 어택테이션 계층이 상위계층으로부터 전달받는 데이터그램의 크기(byte)를 나타내며 에러율은 네트워크의 전송률(%)을 나타낸다. TCP와 UDP는 상위 계층에서 헤더의 크기를 결정하며 테스트 횟수의 입력으로 동일한 조건에서 반복적인 시뮬레이션을 통한 평균값을 결과로 산출한다.

6PASim의 메인 화면을 기능에 따라 세 영역으로 나누면 그림 12와 같다.

그림 12(a)에서 우측부분의 데이터 입력 영역에 시뮬레이션 하려는 환경의 데이터를 입력하고 Transmission 버튼을 클릭하면 시뮬레이션을 수행한다. 6PASim은 입력받은 상위계층의 데이터그램을 보여주고 해당 데이터그램을 MTU 단위로 분할한 IP 패킷을 보여준다. 그림 12(b)는 6PASim의 단편화 영역으로써, 그림 12(a)의 데

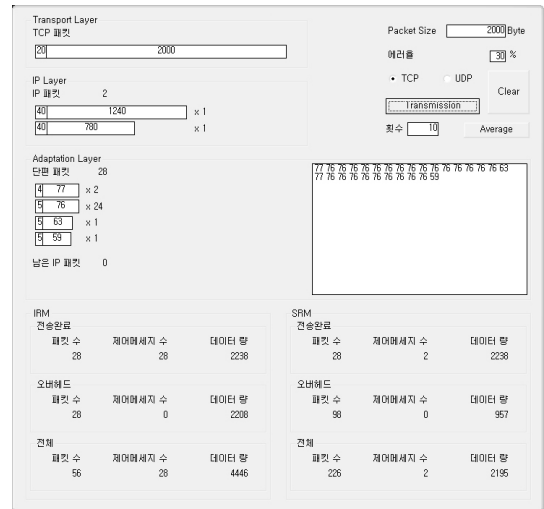


그림 11. 6PASim 메인화면



(a) 데이터 입력 영역



(b) 단편화 영역



(c) 시뮬레이션 결과 영역

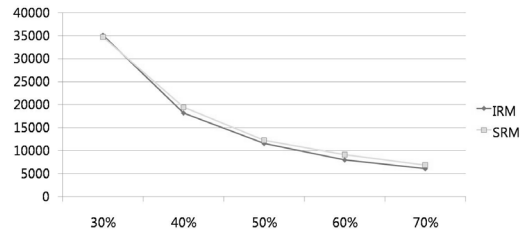
그림 12. 6PASim의 기능영역 구분

이터 입력 영역에서 상위 계층 데이터그램을 분할하여 만들어진 IP 패킷을 단편화한다. 또한 단편화로 생성된 단편패킷의 크기와 개수를 확인할 수 있다. 그리고 그림 12(c)는 시뮬레이션 결과 영역으로, IRM과 SRM의 단편화 관리 절차가 모두 종료되면 시뮬레이션을 수행하여 산출된 데이터를 확인할 수 있다.

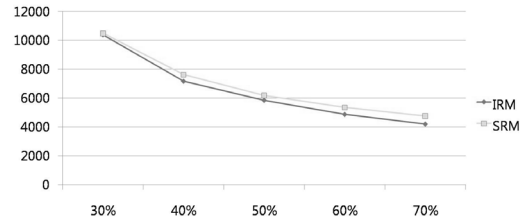
표 1. IRM과 SRM의 시뮬레이션 결과

구분	size	2000byte				
	전송률	30%	40%	50%	60%	70%
IRM	송신	25188	11394	8566	5751	4288
	수신	7131	4646	4321	3410	2818
	ACK	95	63	58	46	38
SRM	송신	26633	13872	8319	5974	3990
	수신	7925	5164	4312	3399	2698
	ACK	4	4	3	3	2
	NAK	55	30	15	11	6
	NAK 량	18707	8708	4006	2575	1291
구분	size	3000byte				
	전송률	30%	40%	50%	60%	70%
IRM	송신	32040	18748	11453	7751	5971
	수신	9722	7222	5811	4858	4200
	ACK	129	96	77	64	56
SRM	송신	35298	17131	12797	8832	7106
	수신	10587	6746	6564	5255	4909
	ACK	9	7	4	4	4
	NAK	82	40	22	15	9
	NAK 량	24711	10385	6233	3577	2196
구분	size	4000byte				
	전송률	30%	40%	50%	60%	70%
IRM	송신	48066	24443	14678	10512	8083
	수신	14324	9659	7443	6370	5609
	ACK	193	129	101	86	75
SRM	송신	42175	27272	15595	12663	9455
	수신	12967	10983	7692	7421	6686
	ACK	10	11	6	8	5
	NAK	91	57	29	21	12
	NAK 량	29208	16289	7902	5242	2768
구분	size	평균				
	전송률	30%	40%	50%	60%	70%
IRM	송신	35098	18195	11565	8004	6114
	수신	10392	7175	5858	4879	4209
	ACK	139	96	78	65	56
SRM	송신	34702	19425	12237	9156	6850
	수신	10493	7631	6189	5358	4764
	ACK	7	7	4	5	3
	NAK	76	42	22	15	9
	NAK 량	24208	11794	6047	3798	2085

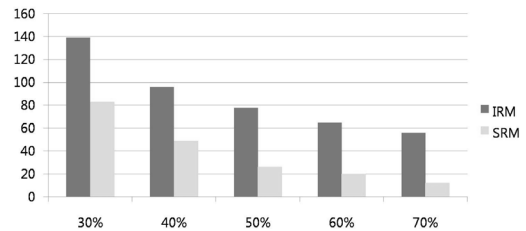
표 1은 6PASim으로 시뮬레이션 한 IRM과 SRM의 결과이다. 2000byte, 3000byte, 4000byte의 데이터그램 크기를 입력하여 테스트를 수행 하였으며 각 데이터그램의 크기에 대하여 30~70%의 네트워크 전송률을 적용하였다. 또한 모든 수치는 10회의 테스트를 수행한 평균값을 사용하였다.



(a) 데이터 송신 량



(b) 데이터 수신 량



(c) 제어메시지 전송 횟수

그림 13. 평균 그래프

그림 13은 표 1의 시뮬레이션 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 13(a)와 그림 13(b)에서 IRM과 SRM의 총 송신 데이터 량 및 총 수신 데이터 량은 매우 미약한 차이를 보인다. 이정도로 미약한 차이라도 전송되는 데이터의 량이 많아지게 되면 그 차이는 누적되므로 송, 수신 데이터 량만으로 판단할 경우 IRM이 SRM에 비해 조금 나은 성능을 보인다. 하지만 그림 13(c)에서 두 기법이 사용하는 제어메시지의 수는 매우 큰 차이를 보인다. 또한 네트워크 전송률 대비 제어메시지의 감소율은 SRM이 IRM에 비하여 월등히 높은 것을 알 수 있다. 자원의 제약이 큰 센서네트워크에서 제어메시지의 사용은 네트워크 트래픽에 큰 영향을 미치기 때문에 제어메시지의 수는 기법의 성능평가에서 큰 비중을 차지한다. 그림 13에서 송, 수신 데이터 량과 제어메시지의 사용에서 발생하는 오버헤드를 고려하면 IRM에 비하여 SRM이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 6LoWPAN에서 단편화 관리 기법인 IRM과 SRM을 시뮬레이트 할 수 있는 6PASim의 개발을 제안하였다. 이를 위하여 6LoWPAN의 단편화와 재조립 기술에 대하여 살펴보고 표준 단편화 관리기법을 보완하는 IRM과 SRM 기법에 대하여 소개하였다. 6PASim은 6LoWPAN에서 단편화를 관리하기 위해 송, 수신되는 패킷과 제어메시지의 흐름을 보여주고 그에 대한 통계를 보여줌으로써 각 기법들에 대한 이해를 돕는다. 또한 기존 네트워크 시뮬레이터에 적용하기 어려운 6LoWPAN을 시뮬레이트 함으로써 6LoWPAN의 학습 및 연구를 위한 훌륭한 테스트베드를 제공한다. 하지만 6PASim은 IRM과 SRM을 위한 특수 목적성으로 인해 시뮬레이트 환경에 대한 가정과 제약이 있으므로 실제 네트워크 환경과 차이가 있을 수 있다. 6PASim의 완벽한 동작을 위해서는 이러한 제약들을 풀어내야 한다.

향후 연구과제는 6PASim의 시뮬레이트 영역 확장과 NS2를 이용한 시뮬레이트 환경 구축이다. 6PASim의 시뮬레이트 영역을 어댑테이션 계층에서 상위계층 및 하위 계층으로 확장함으로써 현재 6PASim의 가정과 제약을 풀 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. N. Kushalnagar and G. Montenegro (2007), "6LoWPAN: Overview, Assumptions, Problem Statement and Goals," *RFC4919*, IETF.
2. 임채성, Waleed Mansoor, 김기형, 유승화, 박수홍, 이재호 (2006), "IPv6기반 센서 네트워크(6LoWPAN)을 위한 라우팅 프로토콜 기술", *전자공학지*, 제33권, 제8호, pp. 854-863.
3. 김은숙, 김용운 (2007), "6LoWPAN 기반의 IP-USN 기술 표준화 동향", *전자통신동향분석*, 제22권, 제6호, pp. 24-32.
4. ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
5. G. Montenegro and N. Kushalnagar (2007), "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks," *RFC4944*, IETF.
6. IEEE (2003), "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.
7. 서현곤, 한재일 (2008a), "6LoWPAN에서 단편화 관리 기법", 2008년도 *한국통신학회 하계종합학술 발표회 논문 초록집*, Vol. 37, pp. 264.
8. 서현곤, 한재일 (2008b), "6LoWPAN 패킷 분석을 위한 시뮬레이터 개발", *한국시뮬레이션학회 2008 춘계학술대회 논문집*, 포항공과대학교, pp. 203-207.
9. 서현곤, 한재일 (2008c), "6LoWPAN 단편화 관리 기법 시뮬레이터 개발", *한국시뮬레이션학회 2008 추계학술대회 논문집*, 한국산업대학교, pp. 41-45.
10. The Network Simulator - NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
11. OPNET Technologies, <http://www.opnet.com>



서 현 곤 (hgseo@halla.ac.kr)

1994 경성대학교 이학사  
 1996 경성대학교 이학석사  
 2004 영남대학교 공학박사  
 1994~1997 티센크루프동양엘리베이터(주) 기술연구소 주임연구원  
 2001~2003 대구대학교 정보통신공학부 BK21교수  
 2004~2005 영남대학교 컴퓨터공학과 강의전담교수  
 2005~현재 한라대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 에드 혹 네트워크, RFID/USN, Embedded System



한 재 일 (kaeill@hanmail.net)

2007 한라대학교 공학사  
 2007~현재 한라대학교 정보산업대학원 공학석사 재학 중

관심분야 : RFID/USN, 시스템 프로그램 개발, 웹 프로그램