

# SDR을 포함하는 다중 네트워크의 전달성능 분석을 위한 DEVS 모델링 및 시뮬레이션 연구

송상복<sup>1</sup> · 이규호<sup>1†</sup> · 장원익<sup>2</sup>

## Transport Performance Analysis of the SDR-based Interworking Networks Using DEVS Methodology

Sang-Bok Song · Kyou-Ho Lee · Won-Ick Jang

### ABSTRACT

The technology of Software Defined Radio (SDR) is a possible solution to interwork flexibly between various wireless transport protocols. Ubiquitous network, like u-health service network, includes sensor devices or nodes which do not facilitate all the same transport protocols to access network. As such this may be in such unreachable situations as poverty of all required AP (Access Point)'s, faults or contention in a path of particular protocol communication, etc. This paper presents research results of modeling and simulation to analyze transport performance of multi-protocol ubiquitous network which includes SDR-based interwork nodes and congestion-controlled AP's. Focusing mainly on dynamics of overall transport performance rather than protocol execution procedures, this paper employs the Zeigler's DEVS (Discrete Event Systems Specification) methodology and DEVSim++simulation environment to experiment.

**Key words** : DEVS (Discrete Event Systems Specification), Performance, Modeling and simulation, Transport protocol, Multi-protocol ubiquitous network

### 요 약

SDR(Software Defined Radio)은 서로 다른 무선 전달 프로토콜간의 유동적 연동을 제공할 수 있는 솔루션이다. u-health 서비스 네트워크와 같은 여러가지 전달 프로토콜을 지원하는 센서노드들로 구성될 수 있는 다중 유비쿼터스 네트워크 환경에서, 특정 노드의 전달 프로토콜을 지원하는 AP(Access Point)로의 트래픽 집중이나, 특정 노드의 전달 프로토콜을 지원하는 AP에서의 장애 발생 또는 미설치로 인한 전달불능 등이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 SDR 기능을 가진 노드와 혼잡 제어 기능을 가진 AP를 포함하는 다중 유비쿼터스 네트워크에서의 전달성능을 분석하기 위한 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구결과를 제시한다. 본 연구에서는 전달 프로토콜들의 구체적인 동작과정보다는 다중 전달 프로토콜로 구성된 네트워크에서의 유동적 연동성의 제공에 따른 전체 네트워크의 전달성능의 변화특성(dynamics)을 분석하기 위하여 DEVS(Discrete Event Systems Specification)방법론을 활용하였으며, DEVS형식론에 근거한 모델링과 DEVSim++시뮬레이션환경을 통한 분석결과를 제시하였다.

**주요어** : 전달성능, 모델링 및 시뮬레이션, 다중 프로토콜 네트워크, DEVS, 연동성

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 정보통신 산업 진흥사업의 일환으로 수행하였음.(B1100 -0801-0019, 차세대 IT기반기술 사업화기반 조성)

2008년 11월 10일 접수, 2008년 11월 30일 채택

<sup>1)</sup> 인제대학교 정보통신공학과

<sup>2)</sup> 한국전자통신연구원 융합기술기반연구팀

주 저 자 : 송상복

교신저자 : 이규호

E-mail: ssbok0413@naver.com

## 1. 서 론

u-health 서비스 네트워크와 같은 여러 가지 전달 프로토콜을 지원하는 센서노드들로 구성되는 유비쿼터스 네트워크 환경에서는 특정 노드의 전달 프로토콜을 지원하는 AP로의 트래픽집중(Congestion)이나, 장애 발생 또는 AP미설치로 인한 전달 불능 등의 문제가 발생할 수 있다.

SDR(Software Defined Radio)은 서로 다른 무선 전

달 프로토콜간의 유동적 연동을 제공할 수 있는 솔루션이다<sup>1-2)</sup>. 기존의 네트워크에 비하여 SDR 기능을 가진 노드(SDR node)가 포함된 네트워크는 다중 네트워크 전달 프로토콜을 가진 노드들 간에 SDR 노드를 중계 노드로 활용하여 혼잡제어(Congestion Control), 다른 전달 프로토콜을 지원하는 AP 사용 등의 여러 성능 개선을 기대할 수 있다.

이러한 네트워크 환경에서는 하나의 노드로부터 AP를 통한 액세스망까지의 전달성능이 주된 이슈가 되며, 특히 다중 전달 프로토콜로 구성된 네트워크에서의 유동적 연동성의 제공에 따른 전체 네트워크의 전달성능의 변화특성(dynamics)은 네트워크의 실제 설계와 구현에 있어서 유용한 근거가 된다.

이에 본 논문에서는 SDR 기능을 가진 노드와 혼잡제어 기능을 가진 AP를 포함하는 다중 유비쿼터스 네트워크에서의 전달 성능을 분석하기 위한 모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구결과를 제시한다.

네트워크 전달성능의 변화특성은 전달 프로토콜들의 구체적인 동작과정보다는 사건(event)에 따른 시스템 상태변화, 즉 이산 사건 시스템의 특성을 갖는다. 본 연구에서는 이러한 분석을 위하여, Zeigler의 DEVS (Discrete Event Systems Specification)형식론에 기반한 DEVS방법론을 활용하였다<sup>3-4)</sup>.

본 논문에서는 이러한 DEVS 방법론에 의거 기존의 다중 전달 프로토콜 네트워크와 SDR 노드를 포함한 다중 전달 프로토콜 네트워크를 모델링하고, DEVSIM++ 시뮬레이션 환경을 통해 비교 및 분석한 결과를 제시한다.

## 2. SDR에 기반한 연동 다중 네트워크

### 2.1 SDR

SDR은 다양한 무선통신 환경에 유연하게 대처하기 위해 하나의 공통 하드웨어에 사용자가 소프트웨어만을 교체하거나 고속의 처리 소자위에 구현된 소프트웨어 모듈에 의해 동작 되어 하드웨어 교체 없이 두 개 이상의 다중 무선 접속 규격을 지원할 수 있도록 개발된 솔루션이다<sup>1-2)</sup>.

### 2.2 SDR 노드를 통한 네트워크 연동

유비쿼터스 네트워크를 구성하기 위한 각 노드는 여러 가지 종류의 전달 프로토콜을 가질 수 있기 때문에 다양한 AP가 제공되지 않은 서비스 구간에 포함될 수 있다. 이러한 AP의 불가용성은 해당 프로토콜을 위한 AP가 부재나 고장발생의 경우도 있을 수 있지만, 특정 전달프로

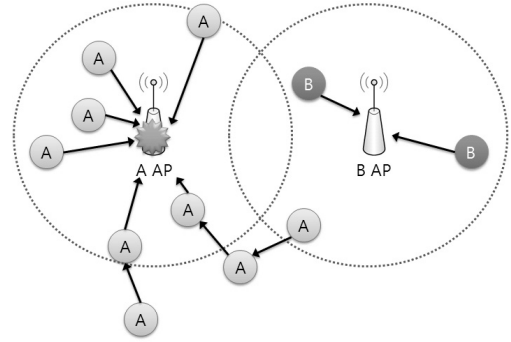


그림 1. 특정 AP 전송 집중 문제

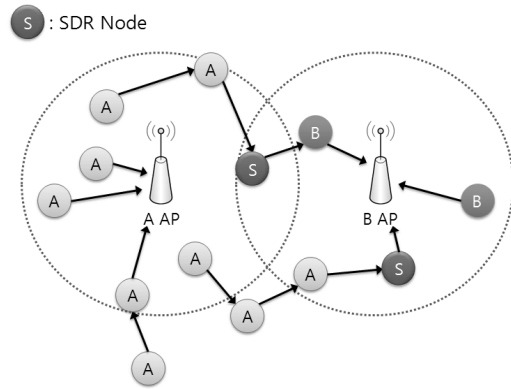


그림 2. SDR 노드가 포함된 네트워크

토콜에 의한 일시적 트래픽 혼잡 등 다른 원인에 의해서도 야기될 수 있다.

그림 1은 다중 전달 프로토콜 네트워크에서 일어날 수 있는 여러 가지 문제 중 하나인 특정 전달 프로토콜 노드의 숫자가 많거나 트래픽의 양이 많아 다른 전달 프로토콜 AP에 비해 특정 전달 프로토콜 AP에 트래픽이 집중되는 상황을 그림으로 나타낸 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 SDR 기능을 포함하고 있는 노드를 일부 포함시켜 다중 네트워크 간의 연동이 발생 될 수 있도록 하고 각 AP 및 SDR 노드에 혼잡제어 기능을 추가하는 방법을 사용했다.

그림 2는 그림 1의 네트워크에 SDR 노드 포함시킨 네트워크이다.

그림 2와 같이 SDR 노드를 네트워크에 추가함으로써 프로토콜 A에 몰리던 전송이 B로 일정부분 분산되어 프로토콜 A를 지원하는 AP의 혼잡이 완화되며 한쪽의 AP가 고장 등의 이유로 사라지더라도 계속해서 전송을 유지할 수 있는 등의 여러 이득이 예상된다.

### 3. 모델링 및 시뮬레이션

DEVS 형식론을 활용하여 기존의 다중 전달 프로토콜 네트워크와 SDR 노드를 포함한 다중 전달 네트워크에 대한 원자 모델과 결합 모델을 모델링하고 DEVSim++ 3.0 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3은 DEVS를 사용하여 네트워크 및 센서 노드를 모델링한 기존 연구의 Atomic Model 모델링을 나타낸다<sup>5)</sup>.

그림 3을 보면 노드를 Coupled Model로 구성하고 노드의 여러 기능 블록을 Atomic Model 혹은 Coupled Model로 구성하여 노드의 동작을 세밀하게 모델링한 것을 볼 수 있다. 하지만 본 논문에서는 노드의 구체적인 동작 보다는 SDR 노드를 통한 네트워크의 전달성능 향상에

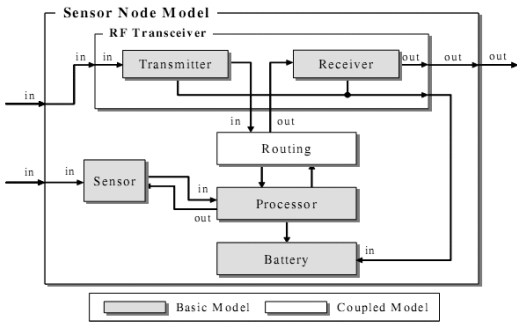


그림 3. DEVS Sensor Node Modeling

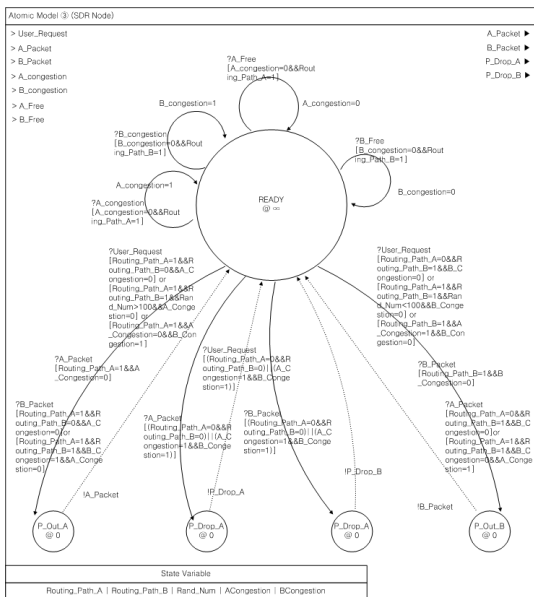


그림 4. SDR 노드의 원자 모델 모델링

그 중점을 두고 있기 때문에 노드 및 SDR 노드, AP 등을 Atomic Model로 모델링하고, 네트워크를 Coupled Model로 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다.

### 3.1 Atomic Model

원자 모델은 총 7가지로 정의했으며 크기는 노드(A, B), SDR 노드, AP(A, B), 사용자, 카운터 5개로 분류할 수 있다.

#### 3.1.1 Atomic Model, SDR Node

그림 4는 SDR 노드의 모델링이다. SDR 노드는 일반 노드가 가진 기능과 함께 2가지 종류의 패킷(A,B)을 모두 입/출력 할 수 있고 혼잡 신호와 혼잡 해제 신호를 통해 AP의 혼잡 또는 미설치 상황 등을 미리 고려하여 프로토콜 A와 B의 경로중 하나를 선택하여 패킷을 전송할 수 있도록 모델링 되었다.

아래는 그림 4의 모델을 DEVSim++를 이용하여 구현한 소스 코드 중 일부로서<sup>6-7)</sup>, SDR 노드 원자모델의 핵심부인 외부상태천이함수(δext)이다. 외부상태천이함수는 SDR 노드의 7개 입력(X)에 대한 SDR 원자모델의 상태를 천이시킨다.

```
bool CSDRNode::ExtTransF(const CMessage &message)
{ // [Atomic Model: SDR Node]'s External State Transition Function
  srand((unsigned)time(NULL)); // 랜덤 시드값을 변화시켜 랜덤수 생성
  Rand_Num=rand()%200+1; // 랜덤한 처리를 위한 랜덤 변수
  if(message.GetPort() == "User_Request"){ // X(User_Rquest)
    if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==0&&BCongestion==0){
      if(Rand_Num>100){m_Status=P_Out_A;}else{
        m_Status=P_Out_B;}
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==0&&ACongestion==0){
      m_Status=P_Out_A;
    }
    else if(Routing_Path_A==0&&Routing_Path_B==1&&BCongestion==0){
      m_Status=P_Out_B;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==0&&BCongestion==1){
      m_Status=P_Out_A;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==1&&BCongestion==0){
      m_Status=P_Out_B;
    }
  }
  else if(Rand_Num>100){
    m_Status=P_Drop_A;
    }else{m_Status=P_Drop_B;}
  }
  else if(message.GetPort() == "A_Packet"){ // X(A_Packet)
    if(Routing_Path_A==1&&ACongestion==0){
      m_Status=P_Out_A;
    }
    else if(Routing_Path_A==0&&Routing_Path_B==1&&BCongestion==0){
      m_Status=P_Out_B;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==0&&BCongestion==1){
      m_Status=P_Out_A;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==1&&BCongestion==0){
      m_Status=P_Out_B;
    }
  }
  else if(message.GetPort() == "B_Packet"){ // X(B_Packet)
    if(Routing_Path_B==1&&BCongestion==0){
      m_Status=P_Out_B;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==0&&ACongestion==0){
      m_Status=P_Out_A;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==0&&BCongestion==1){
      m_Status=P_Out_A;
    }
    else if(Routing_Path_A==1&&Routing_Path_B==1&&ACongestion==1&&BCongestion==0){
      m_Status=P_Out_B;
    }
  }
  else if(message.GetPort() == "A_Congestion"){ // X(A_Congestion)
    ACongestion=1;
  }
  else if(message.GetPort() == "B_Congestion"){ // X(B_Congestion)
    BCongestion=1;
  }
  else if(message.GetPort() == "A_Free"){ // X(A_Free)
    if(ACongestion==1&&Routing_Path_A==1){
      ACongestion=0;
    }
  }
  else if(message.GetPort() == "B_Free"){ // X(B_Free)
    if(BCongestion==1&&Routing_Path_B==1){
      BCongestion=0;
    }
  }
  return true;
}
```

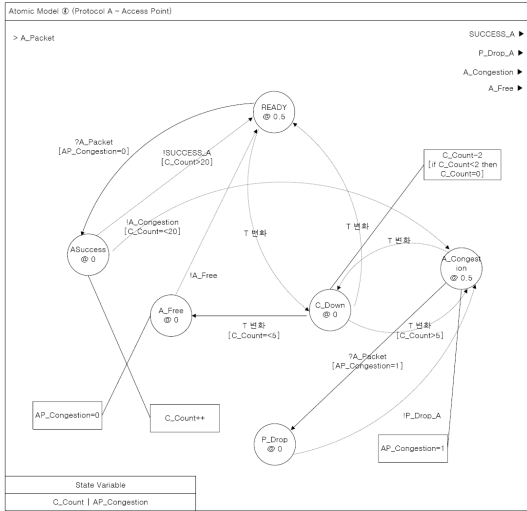


그림 5. AP의 원자 모델 모델링(A AP)

### 3.1.2 Atomic Model, Access Point

그림 5는 AP의 원자 모델 모델링이다. AP는 실험자가 정해진 시간 마다 한 번 씩 자원을 얻으며(S(C\_Down)), 패킷이 들어왔을 때 혼잡 상태가 아니라면 S(x\_Success) 상태로 천이하여 Counter로 X(x\_Success)를 내 보낸다. 실험자가 정한 수치만큼의 혼잡 지수가 쌓이게 되면 AP는 S(x\_Congestion)로 천이하여 X(x\_Congestion)를 SDR 노드로 보낸다. 이때부터 입력되는 패킷은 모두 드롭 된다. 혼잡 상태에서의 AP는 역시 실험자가 정해진 시간마다 한 번 씩 자원을 얻으며, 일정 이상으로 혼잡지수가 떨어지게 되면 S(x\_Free)로 천이하여 SDR노드로 X(x\_Free) 신호를 내 보내고 다시 정상동작 상태로 천이한다. 아래는 AP의 핵심인 내부 상태 천이 함수( $\delta_{int}$ )의 소스이다.

```

bool CAAP::IntTransFn()
{
    if(m_Status == ASuccess)
    {
        if(C_Count < CCMAX){
            m_Status = READY;
            APAS="READY";
        }else{
            AP_Congestion=1;
            C_Count++;
            APAS="Con_Out";
        }
    }
    else if(m_Status==A_Congestion){
        APAS="C_Down";
        m_Status=C_Down;
    }
    else if(m_Status==C_Down){
        C_Count=C_Count-2;
        AR=C_Count;
        if(AP_Congestion==0){
    
```

```

        m_Status=READY;
        APAS="READY";
    }else if(AP_Congestion==1&&C_Count>5){
        m_Status=A_Congestion;
        APAS="A_Congestion";
    }

    }else if(AP_Congestion==1&&C_Count<5){
        AP_Congestion=0;
        m_Status=A_Free;
        APAS="A_Free";
    }
    }

}
else if(m_Status==P_Drop){
    m_Status=A_Congestion;
    APAS="A_Congestion";
}
else if(m_Status==Con_Out){
    m_Status=A_Congestion;
    APAS="A_Congestion";
}
else if(m_Status==A_Free){
    m_Status=READY;
    APAS="READY";
}
}
return true
}
}
    
```

### 3.2 Coupled Model

SDR노드를 포함하는 전체 네트워크를 결합모델로 고려하였으며, 10~11개의 원자 모델을 서로 연결하여 비교하고자 하는 대상에 맞춰 2개의 결합 모델을 구성하였다. 기존의 다중 전달 프로토콜 네트워크는 2개의 AP와 각각 3개씩 총 6개의 노드를 가지며, SDR을 포함하는 다중 전달 프로토콜 네트워크는 첫 번째 결합 모델에 SDR 노드 1개가 추가된 형태로 모델링 하였다. 그림 6은 그중 SDR을 포함하는 다중 전달 프로토콜 네트워크에 대한 토폴로지와 결합모델이다.

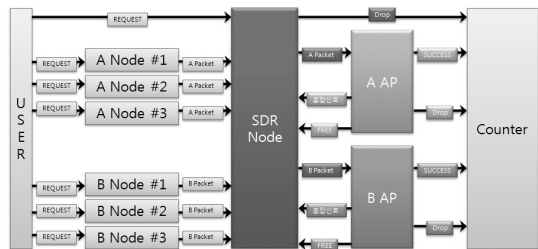
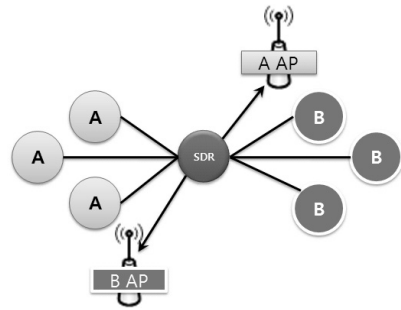


그림 6. SDR 네트워크 TP&결합모델

표 1. 시뮬레이션 환경

CPU	Intel Q6600(Quad Core)
RAM	4G byte
OS	Windows XP
Simulator	DEVSIM++ 3.0

표 2. 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션 시간	10
시간 전진단위	0.001
트래픽(패킷생성간격)	0.1~0.003
AP의 최대 처리량(혼잡지수)	20~100
동작중 AP 리젠 간격	0.5~0.1
혼잡중 AP 리젠 간격	10.2~0.01

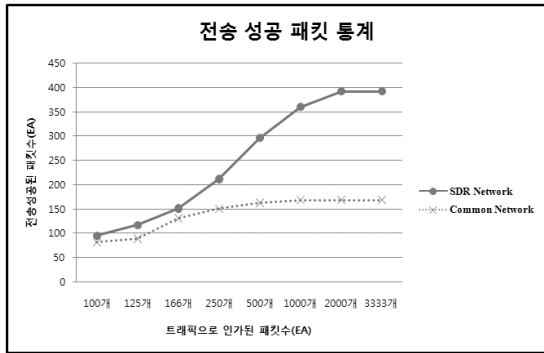


그림 7. 전송 성공 패킷 통계 그래프

### 3.3 시뮬레이션 환경

표 1은 시뮬레이션이 실행된 환경을 나타내며 표 2는 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타낸다.

### 3.4 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 7 그래프는 시뮬레이션 결과 전송에 성공된 패킷의 통계를 나타낸 그래프이다. 그림 8 그래프는 AP가 같은 동작 시간, 같은 트래픽 하에서 얼마나 많은 작업을 처리했느냐를 나타낸 그래프로서 높을수록 AP 자원의 활용도가 높다고 볼 수 있다.

시뮬레이션 결과 SDR을 포함하는 다중 전달 프로토콜 네트워크는 기존 네트워크에 비해 패킷 1000 구간에서 대략 9:21 비율로 증가하는 등, 트래픽의 총량이 늘어날수록 AP의 자원활용도가 크게 높아졌다(그림 8). 그에 따라 SDR을 포함하는 다중 전달 프로토콜 네트워크는 기존 네트워크 보다 더 많은 양의 트래픽을 성공적으로 처리하는 결과를 보여주었다(그림 7). 그림 7과 8의 그래프 기울기가 거의

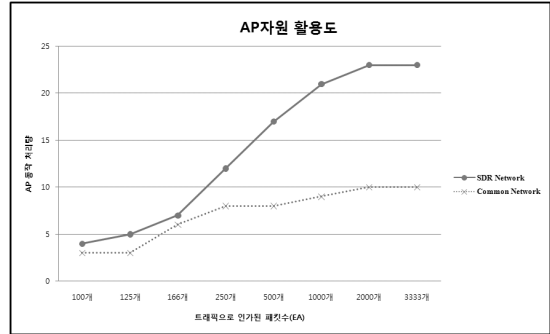


그림 8. AP 자원 활용도 그래프

같으므로 올바른 결과가 도출된 것을 확인할 수 있다.

또한 SDR을 포함하는 다중 전달 프로토콜 네트워크는 기존의 다중 전달 프로토콜 네트워크에 비해 네트워크의 최대 트래픽 처리량이 2배 이상 향상되는 것으로 나타났다(그림 7, 패킷 2000~3333개 구간 참조).

## 4. 결론

다종의 전달 프로토콜로 구성된 유비쿼터스 네트워크에서는 노드에서 AP를 통한 액세스망까지의 전달성능이 주된 이슈이며, 다중 네트워크 프로토콜간의 유동적 연동성 보장에 따른 변화특성은 네트워크 설계에 유용한 자료가 될 수 있다.

네트워크 전달성능의 변화특성은 전달 프로토콜들의 구체적인 동작과정보다는 사건(event)에 따른 시스템 상태변화, 즉 이산 사건 시스템의 특성을 갖는다.

이에 본 논문에서는 이산 사건 시스템에 기반한 DEVS 형식론을 통한 모델링과 DEVSIM++를 통한 시뮬레이션을 통해 전달성능을 분석하였으며, 그 결과 SDR 노드를 통한 유동적 연동성이 제공된 네트워크는 트래픽 발생량에 따라 10~110%의 전달성능 향상을 보였다.

덧붙여 본 논문에서 고려하지 못한 여러 경로를 가진 노드의 라우팅, 다수의 SDR이 네트워크에 존재하는 상황, SDR 기능을 제공하는 AP 등을 고려한 전달성능 추가 분석과 함께 노드의 이동성 모델링에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

1. 김준식 외 4, “SCA 기반 다중모드 SDR 단말기 구조”, 전 자통신동향분석, 제23권 제3호, 2008.

2. 김상덕 외 2, “다중모드 SDR 단말구현을 위한 광대역 RF 및 고속 고해상도 ADC 기술”, 전자공학회지, 제33권 제2호, 2006.
3. Zeigler, N.P. 외2, “Theory of Modeling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems”, Academic, 2000.
4. 김탁곤 외 1, “DEVS를 이용한 워 게임 시뮬레이터 자동 합성 방법론”, 시뮬레이션학회 '06 춘계학술대회, 2006.
5. 지상훈 외 2, “무선 센서 네트워크에서 메시지 라우팅을 위한 퍼지기반 전달 영역 제한 기법의 모델링 및 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol. 15, No. 4, pp. 29-39, 2006.
6. 김탁곤, “DEVSsim++ v3.0 Developer's Manual”, KAIST, 2006.
7. JERRY 외 2, “DISCRETE EVENT SYSTEM SIMULATION 2nd”, Prentice Hall.
8. 손주항 외 5, “DEVS 모델링을 적용한 인터넷 위상 생성기”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제13권 제3호, 2004.
9. 박상희 외 3, “DEVS 시뮬레이션을 이용한 패킷망의 모델링 및 성능분석”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제3권 제1호, 1994.



**송 상 복** (ssbok0413@naver.com)

2008 인제대학교 정보통신공학과 공학사  
2008~현재 인제대학교 대학원 전자정보통신공학과 석사과정

관심분야 : DEVS, 모델링&시뮬레이션, Ubiquitous Network, MANET



**이 규 호** (kyou@inje.ac.kr)

1980 경북대학교 전자공학과 공학사  
1982 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
1998 The University of Gent, Belgium, 정보/컴퓨터공학 공학박사(Ph.D)  
1986~1988 미국 AIT Inc, 연구원  
1983~2004 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원/팀장  
2005~현재 인제대학교 정보통신공학과 부교수

관심분야 : Variable Structure & Discrete Event System, Embedded System, Ubiquitous Network, 고속 패킷처리기술, 네트워크시스템 기술



**장 원 익** (wijang@etri.re.kr)

1982 경북대학교 기계공학과 공학사  
1984 경북대학교 대학원 기계공학과 공학석사  
2005 Tohoku University, Japan, 공학박사(Ph.D)  
1985~현재 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원/팀장

관심분야 : u-Health Devices 및 서비스, IT 기반 융합기술, MEMS 응용