

블루투스 기반 개인영역망을 위한 시뮬레이터 설계 및 구현

정경인⁰, 정영삼, 이혁준, 정광수*
광운대학교 컴퓨터 공학과, 전자공학부*

kijeong@explore.gwu.ac.kr, jung03@ce.gwu.ac.kr, {hlee, kchung}@daisy.gwu.ac.kr

Design and Implementation of a Simulator for Wireless Personal Area Network over Bluetooth

Kyeongin Jeong⁰, Youngsam Jeong, Hyukjoon Lee, Kwangsue Chung*
Dept. of Computer Engineering, School of Electronics Engineering*, Kwangwoon University

요 약

최근들어 블루투스 기술은 정보 기기간의 케이블 통신을 대체하는 저가격의 무선 통신 기술로서 많은 관심을 끌고 있으며 블루투스 칩, 프로토콜 스택 및 응용 제품 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 블루투스는 1개의 마스터와 최대 7개의 슬레이브로 구성되는 피코넷과 다수의 피코넷으로 구성되는 스캐터넷의 형성이 가능하여 이를 이용한 ad hoc PAN 네트워킹에 대한 연구가 시작되고 있다. 블루투스 ad hoc PAN 연구를 위해서는 시뮬레이터의 이용이 필수적이다. 본 논문은 블루투스 피코넷에서의 ad hoc 네트워킹을 위한 Glomosim 기반 시뮬레이터의 설계 및 구현에 관한 내용이다. 이 시뮬레이터는 Glomosim 시뮬레이터의 MAC 계층 모듈에 블루투스 baseband 및 LM 레이어를 추가하여 ad hoc IP 라우팅이 가능하도록 설계되어 있다.

1. 서 론

블루투스는 근거리상의 컴퓨터, 이동전화, 헤드셋, 프린터, PDA, 노트북, 가전기기 등과 같은 디바이스들을 상호 무선 네트워크로 연결하여 복잡한 전선 없이도 양방향 통신을 가능하게 하는 기술이다[1]. 블루투스는 저가에 구현이 가능하며 범용성이 높다는 장점으로 인하여 이동 통신의 중요한 구성 요소로 부상하고 있으며 수년 내에 무선 시리얼 케이블로서의 단순한 역할을 넘어서 개인영역망(Personal Area Network)의 구현을 위한 주요 기술로 응용범위가 확대될 것으로 예상된다 [2][3]. 블루투스 기반의 개인영역망은 ad hoc 네트워크 형태를 가지게 되지만 기존의 ad hoc 네트워크 시뮬레이터는 아직 블루투스 표준에 맞는 베이스밴드와 MAC 프로토콜을 탑재하고 있지 못하다. 이에따라, 블루투스 기반의 개인영역망의 라우팅 알고리즘 개발[4] 및 성능평가를 위한 ad hoc 네트워크 시뮬레이터의 필요성이 증대되고 있다.

본 논문에서는 블루투스 기반의 개인영역망에서의 네트워크 성능평가를 위한 시뮬레이터 설계 및 구현에 그 목적을 둔다. ad hoc 라우팅 프로토콜의 시뮬레이션이 가능한 공개 시뮬레이터 Glomosim[5]에 블루투스의 기능을 확장하여 구현한다. 블루투스 표준을 따르는 블루투스 베이스밴드 계층과 MAC 계층을 추가하며, 피코넷에서의 TDD 방식은 라운드 로빈 방식에 의해 POLL 패킷을 슬레이브들에게 전송하는 방식을 적용한다. Glomosim의 전체적인 구조는 각 계층에서 발생한 사건들을 메시지 큐에 저장하고 미리 설정된 타이머에 의해 메시지 큐에서 나오는 메시지들을 각 해당 계층에서 처리한다. 블루투스 시뮬레이터는 메시지 큐에서 나오는 블루투스 MAC 계층의 메시지를 받아 해당 함수에서 처리한다. 시뮬레이터는 블루투스 MAC 계층을 위한 패러미터들을 초기화하는 함수, 블루투스 MAC 계층의 기능을 수행하는 블루투스 계층함수, 시뮬레이션의 끝에 호출되는 함수로 구성된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 블루투스 기술을 살펴보고, 3절과 4절에서는 구현된 블루투스 시뮬레이터의 구조와 구현을 설명한다. 5절에서는 구현된 시뮬레이터의 검증과 실험 결과를 보여주고 마지막으로 6절에서는 결론 및 향후 연구계획에 대하여 논한다.

2. 블루투스

블루투스는 2.4GHz ISM (Industrial Scientific Medical) 대역의 주파수를 사용하며 간섭현상을 방지하기 위하여 FHSS (Frequency Hop Spread Spectrum) 방식을 사용한다. 디바이스간의 양방향 통신을 위하여 슬롯화된 TDD (Time Division Duplex) 방식을 사용하며 각각의 슬롯은 0.625ms의 시간을 가진다. 물리적인 전송 범위는 -30dbm에서 20dbm의 전송 전력의 범위에 의해 10m에서 100m까지 확장될 수 있다.

블루투스 디바이스간의 통신은 마스터-슬레이브의 연결을 가진다. 주파수 도약 순서를 설정함으로써 연결을 요청하는 블루투스 디바이스를 마스터라 하며, 마스터의 연결 요청을 듣고 마스터의 주파수 도약 순서에 동조시킴으로써 연결을 수락하는 블루투스 디바이스를 슬레이브라 한다. 대기 상태에 있는 블루투스 디바이스들은 inquiry, inquiry scan 과정을 통해 다른 디바이스들의 주소와 대략적인 클럭 오프셋 값을 알아낸다. 그러면 page, page scan 과정을 통해 노드간의 연결을 구성할 수 있다. 한 마스터는 7개의 활동중인 슬레이브를 가질 수 있다. 한 마스터와 한 개 이상의 슬레이브간의 연결을 피코넷이라 하며 두 개 이상의 피코넷간의 연결을 스캐터넷이라 한다.

블루투스 표준은 현재 1.1이 나와 있으며 최근에는 스캐터넷을 이용한 블루투스 기반의 개인영역망에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 구현하는 블루투스 시뮬레이터는 블루투스 표준 1.1을 따른다.

3. 시뮬레이터 구조

블루투스 시뮬레이터는 Glomosim에 블루투스의 기능을 확장하여 구현한다. Glomosim은 무선 네트워크 시스템을 위한 공개 시뮬레이터로서 병렬 이산 사건 시뮬레이션 능력을 제공하는 C 언어 기반의 병렬처리 언어인 Parsec으로 디자인 되어 있다. OSI 7 계층의 네트워크 구조와 같은 계층 접근 방법을 이용하여 구성되어 있으며 다른 시뮬레이션 계층간의 통신을 위하여 표준 API들을 이용한다.

그림 1은 Glomosim의 구조 중 블루투스 기반 개인영역망에서의 네트워크 성능평가를 위해 블루투스 MAC 계층이 탑재되

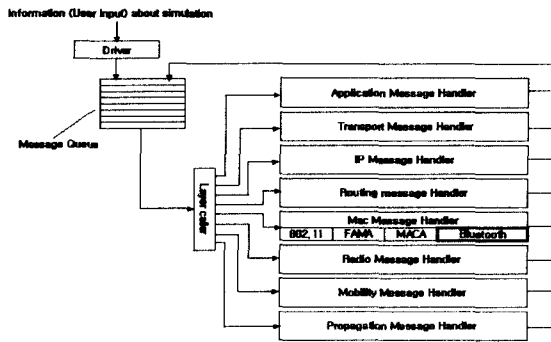


그림 1. Glomosim에서의 블루투스 MAC 계층

어떤 할 부분을 보여준다. 시뮬레이터의 전체적인 구조는 각 계층들의 입력이나 사용자에게 의한 입력을 드라이버를 통해서 받아들이고, 각 계층에서의 발생한 이벤트들을 메시지 큐에 저장한다. 메시지 큐에 저장된 메시지는 미리 설정된 타이머에 의해 큐에서 나오게 된다. 큐에서 나온 메시지는 계층 호출기에 의해 호출된 각 계층 함수에 의해 처리된다. 각 계층 함수는 독립적으로 이 메시지들을 처리한다. 메시지 처리의 결과는 또 다른 메시지를 발생할 수 있고, 이 메시지들은 다시 메시지 큐에 저장된다.

블루투스 MAC 프로토콜은 마스터에 의한 TDD (Time Division Duplex) 방식을 사용한다. 즉, 블루투스에서는 피코넷을 이루고 있는 마스터에 의해 TDD를 조정하게 되어 슬레이브는 마스터로부터 데이터 패킷이나 컨트롤 패킷을 받아야만 바로 다음 슬롯에서 마스터에게 패킷을 보낼 수 있다. 본 논문에서는 ad hoc 네트워크를 기반으로 하는 데이터 전송만을 가정하기 때문에 마스터가 전송할 데이터가 없을 때에도 슬레이브에서의 패킷 전송을 위하여 POLL 패킷을 보내는 방법을 사용하고 블루투스의 SCO(Synchronous Connection-Oriented) 패킷의 전송은 제외한다.

그림 2는 그림 1의 메시지 큐에서 나온 메시지들 중에서 블루투스 MAC 계층에 해당되는 메시지를 처리하는 시뮬레이터의 내부 구조를 보여준다. 블루투스 계층에 해당하는 메시지는 BLUETOOTH CONNECTION, TRANSMISSION START, PAGE START, PAGE_SCAN START, TIMER EXPIRED, FROM RADIO, FROM NETWORK, TRANSMISSION FINISHED가 있다. 타이머에 의해 각각의 블루투스 메시지가 메시지 큐에서 나오게 되면 메시지의 종류에 따라서 해당하는 함수에서 이를 처리한다.

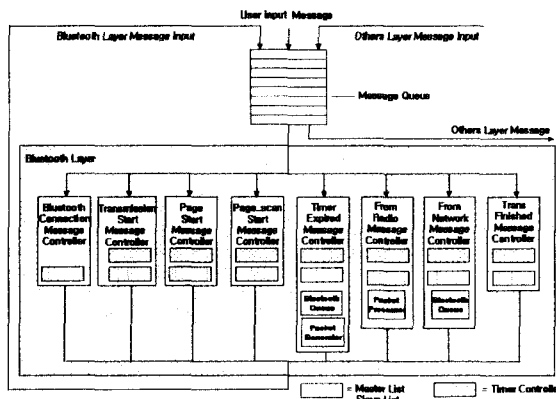


그림 2. 블루투스 시뮬레이터 구조도

BLUETOOTH CONNECTION 메시지는 블루투스 각 노드가 요청과정이나 접근과정을 거쳐 연결상태로 있다고 가정할 때 사용자 입력에 의해 피코넷을 구성하게 한다. PAGE START 메시지와 PAGE_SCAN START 메시지는 블루투스 노드의 마스터와 슬레이브 역할을 결정한다. FROM NETWORK 메시지는 블루투스 노드 내부에서 네트워크 계층으로부터 데이터 전송 요구를 받았을 때 수행되는 반면 FROM RADIO 메시지는 물리 계층으로부터 데이터 수신 요구를 받았을 때 수행된다. TRANSMISSION START 메시지와 TRANSMISSION FINISHED 메시지는 구성된 피코넷에서 마스터의 전송 시작과 끝을 알려주는 메시지이다. TIMER EXPIRED 메시지는 마스터 노드가 전송하게 될 데이터의 종류와 전송받는 노드에 대한 결정을 하기 위해 사용된다.

4. 시뮬레이터 구현

블루투스 시뮬레이터는 세 개의 함수 호출로써 구현이 된다. 각 노드의 블루투스 MAC 레이어를 위해 호출되는 초기와 함수, 블루투스 노드의 블루투스 MAC 계층으로 들어온 패킷과 사건을 수신할 때 자동적으로 호출되는 블루투스 계층함수. 그리고 시뮬레이션의 끝에 호출되는 함수이다. 초기와 함수에서는 큐 리스트, 블루투스 클럭 타입, 출력 매개 변수 등의 블루투스 MAC 계층을 위한 값들을 초기화한다. 블루투스 계층함수에서는 블루투스 계층에서의 모든 기능을 수행한다. 2장에서 살펴보았던 블루투스 메시지들에 따라 각각의 해당 절차들이 처리한다. 시뮬레이션의 끝에 호출되는 함수에서는 출력 매개 변수들을 출력한다.

각 블루투스 노드는 마스터 리스트와 슬레이브 리스트를 유지한다. 마스터 리스트와 슬레이브 리스트는 각 노드와 이웃한 노드들의 상태를 나타낸다. 피코넷에서의 경우를 보면 마스터가 되는 슬레이브 리스트가 비어 있지 않고 마스터 리스트는 비어 있다. 슬레이브가 되는 노드는 이와 반대이다. 블루투스 큐는 네트워크 계층에서 전달받은 데이터를 다른 노드로 전달하기 위하여 데이터를 저장한다. 블루투스 노드는 어떠한 것이라도 마스터와 슬레이브가 될 수 있다. 그러므로 블루투스 노드는 슬레이브들에 대응하는 하나씩의 큐와 그리고 마스터에 대응하는 하나씩의 큐, 노드가 마스터가 되었을 때 브로드캐스트 패킷을 저장하기 위한 브로드캐스트 큐를 가지게 된다.

블루투스 노드의 데이터 전송은 네트워크 계층으로부터 전달 받은 데이터를 다른 노드로 전달하기 위하여 메시지 큐로부터 FROM NETWORK 메시지를 수신함으로써 시작한다. 브로드캐스트 큐에 데이터가 들어있으면 이를 우선적으로 전송하게 된다. 만약 브로드캐스트 큐가 비어있다면 데이터 패킷이나 컨트롤 패킷을 라운드 로빈 방법에 의해 선택된 노드에게 전송한다. 슬레이브 리스트를 유지함으로써 마스터는 이 슬레이브 리스트에 저장되어 있는 순서대로 패킷을 전송한다. 마스터 노드가 전송할 데이터 패킷을 가지고 있지 않다면 POLL 패킷을 슬레이브에게 전송한다. 패킷 생성기는 라디오 계층으로 전달할 패킷을 처리하는 부분으로 네트워크 계층에서 전달받은 데이터 부분을 페이로드로 하고 블루투스 베이스 밴드에 해당하는 헤더와 접근코드를 추가한다. 생성된 블루투스 패킷은 TRANSMISSION START 메시지를 통해 전송된다. 반면 블루투스 노드의 데이터 수신은 물리 계층으로부터 데이터를 전달받기 위해 FROM RADIO 메시지를 수신함으로써 시작한다. 물리 계층으로부터 받은 데이터는 패킷 처리기를 통해 네트워크 계층으로 전달된다. 패킷 처리기는 라디오 계층에서 전달받은 패킷들을 전송한 노드의 패킷 생성기에서 추가되었던 부분인 헤더와 접근코드를 제거하여 payload에 해당하는 부분을 네트워크 계층으로 전달한다.

5. 시뮬레이터의 검증 및 실험

5.1 실험환경

시뮬레이션은 2-8개의 노드로 구성된 피코넷을 이용한다. 실험환경은 사방 20m인 정사각형의 지역에서 마스터 노드로부터 다른 노드들이 블루투스 전송 범위 10m안에 들어갈 수 있도록 임의로 배치한다. 각 노드들은 10m의 라디오 전파영역을 가지며 최대 1Mbit/sec의 채널을 사용하는 것으로 설정한다.

MAC 계층은 구현한 블루투스 MAC 계층을 사용하고 라우팅 알고리즘은 AODV[6]와 DSR[7]을 사용한다. AODV와 DSR 라우팅 알고리즘을 위한 입력 파라미터들의 값은 기존의 Glomosim에서 사용하던 값을 그대로 사용하였다. 응용계층에서는 150bit의 데이터 패킷을 1초에 2번씩 보내는 CBR (Constant Bit Rate)을 가지며 피코넷의 구성이 된 후 동작하도록 설정한다. 시뮬레이션은 50초동안 지속된다. 본 실험에서는 노드들의 이동성을 지원하지 않으며 전송 에러 확률을 0으로 가정하고 피코넷을 구성하는 노드의 개수에 따른 네트워크 성능 분석을 한다.

구현된 블루투스 시뮬레이터는 블루투스 네트워크의 성능 평가를 위한 출력개변수로 네트워크 계층으로부터 받은 패킷 개수, 버퍼 오버플로우에 의한 손실 패킷 개수, 전송 유니캐스트 패킷 개수, 전송 브로드캐스트 패킷 개수, 수신 유니캐스트 패킷 개수, 수신 브로드캐스트 패킷 개수, 수신 컨트롤 패킷 개수, 재전송 타임아웃에 의한 드롭된 패킷 개수 등을 가진다.

5.2 시뮬레이터 검증

구현된 블루투스 시뮬레이터의 검증은 시뮬레이션에 의한 측정치와 블루투스 표준에 근거한 기대치간의 비교를 통해 MAC 계층에서 검증하였다. 시뮬레이션 측정치는 1초당 마스터 노드가 전송한 800개의 데이터 패킷이나 POLL 패킷, 각각의 슬레이브 노드가 전송한 (800/슬레이브의 개수)개의 데이터 패킷이나 POLL 패킷을 보여주었다. 이는 각 슬롯이 0.625ms 구간으로 나뉘어지고 각 슬롯에 대해 서로 다른 홉 주파수가 사용되며 홉 비율이 1600hops/sec인 것을 검증해준다. 또한, 마스터와 각각의 슬레이브가 패킷을 전송하는 슬롯 시간을 측정치로 확인하여 TDD 방식의 데이터 전송 방식과 라운드 로빈 MAC 스케줄링 방법을 검증하였다. 전송 지연 시간은 데이터 전송을 위해 슬롯을 할당받기까지의 대기시간, 물리적인 전송 지연 시간과 각 계층에서의 처리시간의 합으로 결정되고 이를 측정치와 기대치의 비교를 통해 검증하였다.

다른 계층과의 연동에 대한 동작 검증은 기존에 검증되었던 IEEE 802.11을 이용하였다. 블루투스 MAC 계층을 사용한 결과와 블루투스 피코넷의 형태와 같이 네트워크를 구성하여 IEEE 802.11을 사용한 결과를 비교한다. 네트워크의 형태가 같기 때문에 전송지연을 제외한 각각의 노드에서 전송한 패킷의 종류와 패킷의 수가 일치함을 확인할 수 있었다. 전송지연은 블루투스 MAC 프로토콜이 TDD 방식과 폴링 방식을 따르므로 IEEE 802.11보다 길다.

5.3 시뮬레이터 실험결과

구현된 시뮬레이터를 이용하여 기존의 ad hoc 네트워크 라우팅 알고리즘인 AODV와 DSR의 성능실험을 하였다. 실험은 피코넷을 이루는 슬레이브의 개수를 1개에서 7개까지 변화시키면서 슬레이브-슬레이브간의 10개 패킷의 데이터 전송에 대한 성능을 평가하였다. 슬레이브-슬레이브 통신에서는 마스터 노드를 통하여 패킷을 전달하여야 하기 때문에 전송노드에서 목적노드까지 2홉의 거리를 가지게 된다. 그림 3은 피코넷을 구성하는 노드의 수가 변함에 따라 사용된 컨트롤 메시지의 개수가 증가함을 보여준다. 그림 4와 그림 5는 피코넷에서 노드의 수에 따른 데이터 패킷의 전송비율과 전송지연을 보여준다.

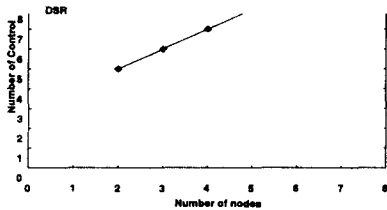


그림 3. 노드의 수에 따른 컨트롤 패킷의 수

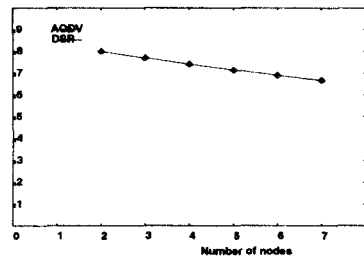


그림 4. 노드의 수에 따른 데이터 패킷의 전송비율

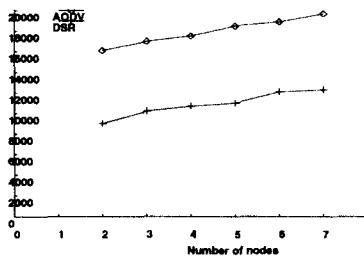


그림 5. 노드의 수에 따른 전송지연시간

피코넷에서 노드의 수가 증가하면 그림 3과 같이 컨트롤 패킷이 증가하기 때문에 데이터 패킷의 전송비율이 감소하고 반면 전송지연시간이 증가함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 블루투스 기반 개인영역망에서의 라우팅 알고리즘 개발을 위한 ad hoc 네트워크 성능분석이 가능한 시뮬레이터의 설계와 구현에 대해 기술하였다. 본 연구에서는 단순한 라운드-로빈 TDD 방법을 사용한 블루투스 피코넷으로 그 범위가 한정되어 구현하였다. 향후 블루투스 MAC 계층의 성능 향상을 위한 피코넷에서의 연구과제는 효율적인 TDD 방법, 블루투스의 완전한 네트워크를 위한 스캐터넷의 구성 방법과 피코넷간의 효율적인 스케줄링 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한, 블루투스 기반의 개인영역망에서의 효율적인 라우팅 알고리즘의 개발에 대한 연구가 진행되어질 것이다.

7. 참고 문헌

- [1] Homepage of the Bluetooth SIG, Bluetooth Specification 1.0B, <http://www.bluetooth.com>
- [2] Homepage of the Internet Engineering Task Force, MANET WG Charter, <http://www.ieft.org/html.charters/manet-charter.html>
- [3] Homepage of the IEEE 802.15 WG, Working group for Wireless Personal Area Networks, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>
- [4] Pravin Bhagwat, and Adrian Segall, "A Routing Vector Method (RVM) for Routing in Bluetooth Scatternet", IEEE MoMuc, 1999
- [5] Homepage of the Glomosim, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosisim>
- [6] C. Perkins, and E. Royer, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IEEE WMCSA'99, Feb. 1999.
- [7] J. Broch, D. Johanson, and D. A. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Networks", ACM Mobile Networks and Applications Journal, 1996