2001 년 한국정보처리학회 추계 학술발표논문집 제 8 권 제 2 호

블루투스 피코넷에서의 Ad Hoc 라우팅 시뮬레이션

정경인*, 정영삼*, 이혁준*, 정광수**
*광운대학교 컴퓨터공학과
**광운대학교 전자공학부
e-mail : fuzzo@ce.kwangwoon.ac.kr

Simulation Study on Ad Hoc Routing in Bluetooth Piconets

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

요 약

블루투스는 1 개의 마스터와 최대 7 개의 슬레이브로 구성되는 피코넷과 다수의 피코넷으로 구성되는 스캐터넷의 형성이 가능하여 이를 이용한 ad hoc PAN 네트워킹에 대한 연구가 시작되고 있다. 본 논문은 블루투스 피코넷에서의 ad hoc 네트워킹을 위한 GloMoSim 기반 시뮬레이터를 이용하여 ad hoc 라우팅 알고리즘을 피코넷에 적용한 시뮬레이션 결과에 관한 것이다. ad hoc 라우팅 알고리즘으로는 AODV 와 DSR 을 사용하였으며, 피코넷을 이루는 슬레이브의 개수를 1 개에서 7 개까지 변화시면서 마스터-슬레이브와 슬레이브-슬레이브 간의 데이터 전송에 대한 성능을 평가 하였다.

1. 서론

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 수 년 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 구현과 ad hoc 라우팅 프로토콜의 성능 분석에 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. 구현한 블루투스 시뮬레이터를 이용하여 ad hoc 라우팅 프로토콜의 성능을 평가한다. 실험은 피코넷을 이루는 슬레이브의 개수를 변화시키면서 AODV[6], DSR[7] ad hoc 라우팅 프로토콜을 적용했을 때 마스터-슬레이브, 슬레이브-슬레이브간의 데이터 전송에 대한 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서 블루투스 기술과 3 절에서 ad hoc 네트워크의 라우팅 알고리즘을 살펴본다. 4 절에서는 구현한 블루투스 시뮬레이터의 구조를 설명하고 5 절에서는 구현한 시뮬레이터를 이용한 실험결과를 보여준다. 마지막으로 6 절에서는 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 0.625ms 의 시간을 가진다. 물리적인 전송 범위는 -30dbm 에서 20dbm 의 전송 전력의 범위에 의해

10m 에서 100m 까지 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. 대기상태에 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 7 개의 활동중인 슬레이브를 가질 수 있다. 하나의 마스터와 하나 이상의 슬레이브간의 연결을 피코넷이라 하며 둘 이상의 피코넷간의 연결을 스캐터넷이라 한다.

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

3. ad hoc 네트워크 라우팅 알고리즘

ad hoc 네트워크는 유선 기반 요소들 없이 독자적으로 통신망의 구성을 가능하게 하는 네트워킹 기술이다. ad hoc 네트워크는 유선 기반 네트워크가 구축되어 있지 않은 상황에서 쉽게 네트워크를 구성할 수 있고 동적으로 재구성이 가능한 장점을 가진다. 그러므로 교실 내에서의 통신이나 긴급 구조 상황, 전쟁 상황 등에서 이용될 수 있다. ad hoc 네트워크는 노드들의 이동성과 이동 노드들의 제한된 계산 능력 등으로 인해 기존의 유선 라우팅 알고리즘을 그대로 사용할 수 없다. 이에 ad hoc 네트워크를 위한 여러가지 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 라우팅 프로토콜에 관한 연구로는 AODV, DSR 등이 있다.

AODV 는 경로를 필요로 할 때만 경로를 설정하는 테이블 기반의 방식을 이용한다. 경로 설립 과정은 RREQ (Route Request) 메시지를 목적지 노드에 도달할 때까지 또는 목적지 노드로 가는 경로를 알고 있는 중간 노드에 도달할 때까지 플러딩한다. 이 과정에서 RREQ 를 수신하는 모든 노드들은 RREQ 를 전송한 노드로 향하는 역경로를 일시적인 경로 설정 테이블로 구성한다. 목적 노드나 목적 노드까지의 경로를 알고 있는 노드는 역경로를 따라서 RREP (Route Reply) 메시지를 근원 노드로 전송을 하게 된다. 이때 역경로를 구성하고 있는 모든 노드들은 RREP 를 전송한 노드로 향하는 순경로에 대한 일시적인 경로 설정 테이블을 구성한다. 이때 순경로 엔트리는 근원 노드에서 목적 노드로의 데이터 전송로가 된다.

DSR 은 각 홉에서 경로를 설정하는 것이 아니고 목적지에서 전송할 데이터의 경로를 설정한다. 그러므로 각각의 패킷은 목적 노드까지의 완전한 경로를 패킷 헤더에 가지게 된다. DSR 은 경로발견과 경로유지의 두가지로 구성되어 있다. 경로 발견은 근원 노드가 경로 요구 패킷을 브로드케스트하고, 목적 노드이거나 목적 노드까지의 경로를 알고 있는 노드들은 경로 응답 패킷을 근원 노드로 보내게 된다. 경로 유지는 네트워크의 구성이 변하여 근원 노드가 더 이상 목적 노드로 패킷을 보낼 수 없을 때 수행하게 된다. 근원 노드는 경로 발견을 이용하여 목적 노드까지의 새로운 경로를 찾게 된다.

4. 블루투스 시뮬레이터 구조

블루투스 시뮬레이터는 GloMoSim 에 블루투스 기능을 확장하여 구현한다. GloMoSim 은 무선 네트워크 시스템을 위한 공개 시뮬레이터로서 병렬 이산 사건 시뮬레이션 능력을 제공하는 C 언어 기반의 병렬 처리 언어인 PARSEC 으로 디자인 되어있다. OSI 7 계층의 네트워크 구조와 같은 계층 접근 방법을 이용하여 구성되어 있으며 다른 시뮬레이션 계층간의 통신을 위하여 표준 API 들을 이용한다. 그림 1 은 GloMoSim 의 구조 중 블루투스 기반 개인영역망에서의 네트워크 성능 평가를 위해 블루투스 MAC 계층이 탑재되어야 할 부분을 보여준다. 시뮬레이터의 전체적인 구조는 각 계층들의 입력이나 사용자에 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 방식을 사용한다. 즉, 블루투스에서는 피코넷을 이루고 있는 마스터에 의해 TDD 를 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 슬레이브로부터 패킷 전송 받기 위하여 POLL 패킷을 보내는 방법을 사용하고 블루투스의 SCO (Synchronous Connection-Oriented) 패킷의 전송은 제외한다.

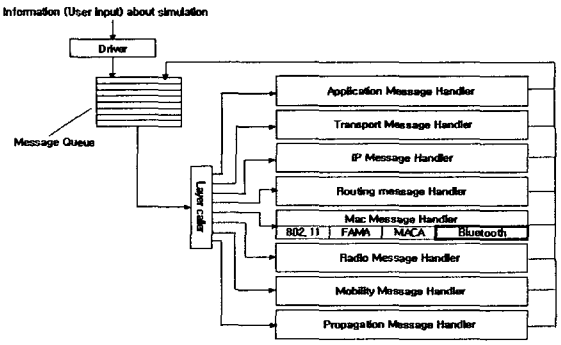

그림 1. GloMoSim 에서의 블루투스 MAC 계층

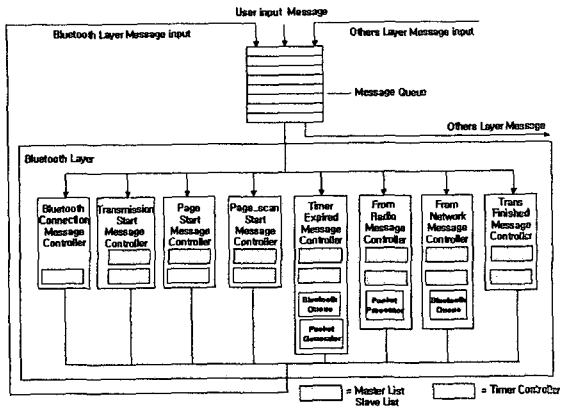

그림 2. 블루투스 시뮬레이터 구조도

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

BLUETOOTH CONNECTION 메시지는 블루투스 각 노드가 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 알려준다. TIMER EXPIRED 메시지는 마스터 노드가 전송하게 될 데이터의 종류와 전송받는 노드에 대한 결정을 하기 위해 사용된다.

5. 시뮬레이터의 실험

5.1 실험환경

시뮬레이션은 2 개에서 8 개의 노드로 구성된 피코넷을 이용한다. 실험환경은 사방 20m 인 정사각형의 지역에서 마스터 노드로부터 다른 노드들이 블루투스 전송 범위 10m 안에 들어갈 수 있도록 임의로 배치하였다. 각 노드들은 10m 의 라디오 전파영역을 가지며 최대 1Mbit/sec 의 채널을 사용하는 것으로 설정한다. MAC 계층은 구현한 블루투스 MAC 계층을 사용하고 라우팅 알고리즘은 AODV 와 DSR 을 사용한다. AODV 와 DSR 라우팅 알고리즘을 위한 입력 매개변수들의 값은 기존의 GloMoSim 에서 사용하던 값을 그대로 사용하였다. 응용계층에서는 150bit 의 데이터 패킷을 1 초에 2 번씩 보내는 CBR (Constant Bit Rate)을 가지며 피코넷의 구성이 된 후 동작하도록 설정하였다. 시뮬레이션은 50 초 동안 지속된다. 본 실험에서는 노드들의 이동성을 지원하지 않으며 전송 에러 확률을 0 으로 가정하고 피코넷을 구성하는 노드의 개수에 따른 네트워크 성능 분석을 하였다.

구현된 블루투스 시뮬레이터는 블루투스 네트워크의 성능평가를 위한 출력매개변수로 네트워크 계층으로부터 받은 패킷 개수, 버퍼 오버플로우에 의한 손실 패킷 개수, 전송 유니케스트 패킷 개수, 전송 브로드케스트 패킷 개수, 수신 유니케스트 패킷 개수, 수신 브로드케스트 패킷 개수, 수신 컨트롤 패킷 개수, 재전송 타임아웃에 의한 드롭된 패킷 개수 들을 가진다.

5.2 실험 결과

구현한 시뮬레이터를 이용하여 기존의 ad hoc 네트워크 라우팅 알고리즘인 AODV 와 DSR 의 성능실험을 하였다. 실험은 피코넷을 이루는 슬레이브의 개수를 1 개에서 7 개까지 변화시키면서 마스터-슬레이브간과 슬레이브-슬레이브간의 10 개 패킷의 데이터 전송에 대한 성능을 평가하였다. 마스터-슬레이브간의 통신에서는 1 홉의 거리를 가지게 되고, 슬레이브-슬레이브 통신에서는 마스터 노드를 통하여 패킷을 전달하여야 하기 때문에 전송노드에서 목적노드까지 2 홉의 거리를 가지게 된다.

피코넷에서 마스터와 하나의 슬레이브 간의 통신에서는 컨트롤 패킷의 수는 AODV 와 DSR 이 모두 한 번의 컨트롤 패킷을 전송하며 데이터 패킷 전송 비율도 같게 나타났다. 그림 3 은 마스터와 하나의 슬레이브 간에서의 통신에서 전송 지연 시간을 보여 준다. 전송 지연 시간은 노드의 수에 비례하여 증가하는데, 이는 노드의 수가 늘어남에 따라 각 슬레이브들이 마스터로부터 해당 시간 슬롯을 더 늦게 할당받기 때문이다. 전송 지연 시간은 라우팅 알고리즘의 차이에 의하여 AODV 가 DSR 보다 낮게 나온다.

피코넷에서 하나의 슬레이브와 다른 하나의 슬레이브 간의 통신에서는 마스터 노드를 통하여 패킷을 전달하며, 피코넷을 구성하는 슬레이브의 수가 증가함에 따라 전송되는 패킷 중에서 라우팅 컨트롤 패킷의 수는 증가 하게 된다. 그러므로 그림 4 와 같이 전송된 모든 패킷에 대한 데이터 패킷의 비율은 슬레이브의 수가 증가함에 따라 감소하게 된다. 그림 5 는 피코넷에서 노드의 수가 증가함에 따라 전송 지연 시간이 커짐을 보여준다. 이는 피코넷에서 마스터에 의한 라운드-로빈 방식의 스케쥴링 기법을 이용하여 시간 슬롯을 각 슬레이브에게 할당하기 때문이다. 마스터는 모든 슬레이브 노드들에게 마스터가 각 슬레이브에게 보낼 데이터 패킷의 전송량이나 슬레이브가 마스터에게 보낼 데이터 패킷의 전송량에 관계없이 순서적으로 시간 슬롯을 분배하기 때문에 노드의 수가 증가될수록 전송 지연 시간이 커진다. 그리고, AODV 와 DSR 의 전송 지연이 차이가 나는 것은 두 네트워크

계층

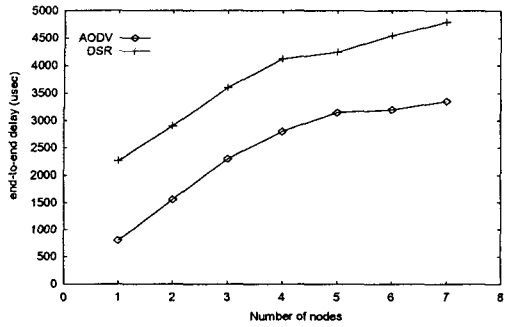

그림 3. 마스터-슬레이브 전송 지연 시간

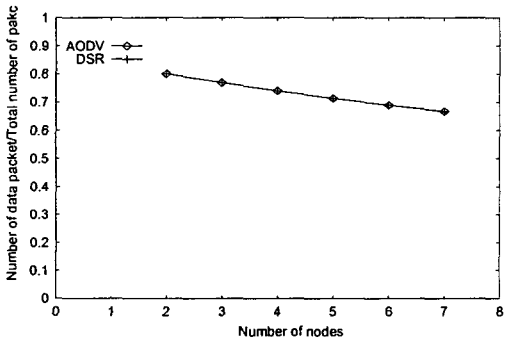

그림 4. 슬레이브-슬레이브 데이터 전송 비율

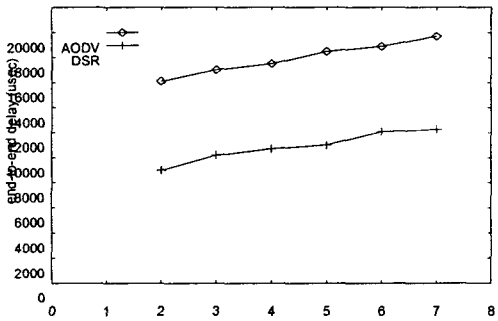

그림 5. 슬레이브-슬레이브 전송 지연 시간

에서의 라우팅 알고리즘의 차이가 더 크다.

이번 실험에서 MAC 계층에서의 데이터 패킷의 전송 비율과 POLL 패킷의 전송 비율을 보면, POLL 패킷의 비율이 90%이상을 차지하고 있다. POLL 패킷의 개수가 많은 것은 마스터에서 슬레이브로 보낼 데이터가 없을 때에는 POLL 패킷을 전송하여 슬레이브에게 시간 슬롯을 할당하기 때문이다. 전송되는 POLL 패킷의 개수를 줄이면 블루투스 노드의 전력 소모와 데이터 전송률을 높일 수 있다. POLL 패킷의 개수를 줄이기 위해서는 마스터에서의 효율적인 TDD 방법의 연구가 요구되어 진다.

6. 결론

본 논문에서는 블루투스 기반 개인영역망에서의 라우팅 알고리즘 개발을 위한 ad hoc 네트워크 성능 분석이 가능한 시뮬레이터의 설계와 실험에 대해 기술하였다. 본 연구에서는 단순한 라운드-로빈 TDD 방법을 사용한 블루투스 피코넷으로 그 범위가 한정되어 구현하였다. 향후 블루투스 MAC 계층의 성능 향상을 위한 효율적인 TDD 방법, 블루투스의 완전한 네트워킹을 위한 스캐터넷의 구성방법, 피코넷 간의 효율적인 스케줄링 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한, 블루투스 기반의 개인영역망에서의 효율적인 라우팅 알고리즘의 개발에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Homepage of the Bluetooth SIG, Bluetooth Specification 1.1, http://www.bluetooth.com

[2] Homepage of the IETF, MANET WG Charter, http://www.ieft.org/htm.charters/manet-charter.html

[3] Homepage of the IEEE 802.15 WG, 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/glomosim

[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