

블루투스 개인 영역망을 위한 피코넷 간의 스케줄링

이우신⁰, 이혁준
광운대학교 컴퓨터 공학과
asla@hanmail.net, hlce@daisy.gwu.ac.kr

An Inter-piconet Scheduling for Bluetooth Personal Area Network

WooShin Lee⁰, Hyukjoon Lee
Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon University

요 약

본 논문에서는 효율적인 인터 피코넷 스케줄링 방식과 현재까지 연구된 인트라 피코넷 스케줄링을 인터 피코넷 스케줄링으로 적용할 때의 성능을 분석한다. 스캐터넷에서 피코넷 간의 통신이 가능한 블루투스 시뮬레이터를 구현하여 실험하며, 이때 평균 패킷의 전송 지연 시간을 측정하여 각 인터 피코넷 스케줄링의 성능을 분석한다. 비교 분석을 위해 PRR, ERR, LWRR 스케줄링 방법을 블루투스 시뮬레이터에 구현한다. 인트라 피코넷 스케줄링을 PRR, ERR, LWRR 방식으로 동작시킬 때 각각 인터 피코넷 스케줄링으로 PRR, ERR, LWRR을 적용한다. 실험결과는 스니프 모드 사용방식의 PRR을 인터 피코넷 스케줄링으로 적용할 때 인트라 피코넷 스케줄링에 독립적으로 제일 낮은 평균 패킷 전송지연 시간을 가짐을 보인다.

1. 서 론

블루투스는 근거리에서 놓여 있는 컴퓨터와 주변기기, 이동단말기와 컴퓨터, 가전제품 등을 상호 무선네트워크로 연결하여, 복잡한 전선 없이도 양방향 통신을 가능하게 하는 기술이다. 블루투스는 범용성이 높으면서 저 가격에 구현 가능하기 때문에 컴퓨터나 가전 제품뿐만 아니라 IMT-2000으로 대표되는 3세대 디지털 이동 통신의 중요한 구성 요소로 부상하고 있다. 또한, 블루투스 기술은 무선 시리얼 케이블로서의 단순한 역할을 넘어서 개인영역망(Personal Area Network)의 구현을 위한 주요 기술로 연구되고 있다[2][3][12].

블루투스를 이용한 개인영역망은 피코넷 간의 연결인 스캐터넷에 기초를 둔다. 스캐터넷은 피코넷과 피코넷을 연결해주는 브리지 노드에 의해 형성된다. 이러한 브리지 노드는 어떤 한 순간에는 오직 하나의 피코넷 통신에만 참여할 수 있다. 그러므로, 브리지 노드를 통해 피코넷 간의 효율적인 통신이 이루어지기 위해서는 브리지 노드를 위한 인터 피코넷 스케줄링이 필요하다. 인터 피코넷 스케줄링은 브리지 노드가 일정한 시간만큼 각각의 피코넷 간의 통신에 참여하거나 각각의 피코넷 간에 일정한 패킷만큼 통신하거나, 또는 스니프(sniff) 모드를 사용하는 방법이 있다[1][5][12].

본 논문에서는 인트라 피코넷 스케줄링에 독립적인 인터 피코넷 스케줄링 연구를 위하여 여러 인터 피코넷 스케줄링 방식과 각각의 인트라 피코넷 스케줄링에 대하여 인터 피코넷 스케줄링의 성능을 분석한다. 사용되는 인터 피코넷 스케줄링으로는 현재 인트라 피코넷 스케줄링으로 연구되어온 PRR, ERR, LWRR[9][10][11] 방법을 적용한다.

실험은 스캐터넷에서의 통신이 가능한 블루투스 시뮬레이터를 이용한다. 블루투스 시뮬레이터는 GloMoSim(Global Mobile Information System Simulator)[4][6]의 MAC 계층에 블루투스 계층을 구현하여 제작한다. 구현된 블루투스 시뮬레이터를 통하여 인트라 피코넷 스케줄링에 대한 인터 피코넷

스케줄링의 적용을 실험하여 성능을 분석한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 블루투스의 배경에 대해 살펴보고 3장에서는 기존의 인트라 피코넷 스케줄링에 대해, 4장에서는 인터 피코넷 스케줄링에 대해 기술한다. 5장에서는 실험 및 결과에 대해 기술하고 6장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 살펴본다.

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 마스터에 의해 조정되는 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.

3. 인트라 피코넷 스케줄링

블루투스의 통신 방식은 마스터에 의해 제어되는 TDD 기반의 방식으로, 슬레이브의 패킷 전송은 마스터의 패킷 전송 여부에 따라 종속적으로 이루어진다. 그러므로, 기존의 스케줄링 방식을 블루투스에 그대로 적용할 수 없으며 이러한 특성을 감안한 블루투스 MAC 계층에서의 효율적인 스케줄링 기법이 최근에 연구되어 지고 있다.

3.1 PRR(Pure Round Robin)

PRR 방식은 마스터가 슬레이브에게 하나의 패킷을 전송하고, 마스터로부터 패킷을 전송 받은 슬레이브는 마스터로 하나의 패킷을 전송한다. 이러한 방식으로 반복해서 모든 슬레이브들과

차례대로 통신을 한다. 이 기법은 시스템 로드가 작을 경우 NULL 패킷의 전송이 증가하여 실제 데이터 패킷의 지연 시간은 증가한다.

3.2 ERR(Exhaustive Round Robin)

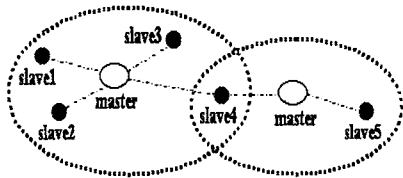
ERR[7][11]방식은 폴링을 기반으로 한다. 폴링은 서버가 클라이언트들을 방문하기 위한 순서를 정하기 위하여 클라이언트의 큐에 대한 상태를 알아 오기 위한 것이다[7][8]. 슬레이브 큐의 길이를 마스터에게 전달하지 않으면서 블루투스 통신에 적용할 수 있는 방법 중 기존의 ERR 방식과 근사한 방법은 고정된 방문 순서를 따르면서 마스터와 슬레이브의 큐가 모두 소진된 후에만 다른 마스터-슬레이브 쌍에 대한 전송을 하는 방법이다.

3.3 LWRR(Limited Weighted Round Robin)

LWRR은 LRR[11]방식을 기반으로 한 개선된 방식이다. LWRR은 큐의 상태를 이용하여 가중치가 동적으로 바뀌는 가중 라운드-로빈 방식으로서 이전에 방문한 큐에 전송할 데이터가 없었으면, 다음에 그 큐를 방문했을 때 데이터가 입력될 확률이 낮을 것이라는 가정을 기반으로 한다. LWRR은 통신의 시작 시점에 각 슬레이브의 가중치를 최고값으로 설정한 후 데이터 전송이 없는 슬레이브의 가중치를 1씩 감소시킨다. 슬레이브의 최소 가중치는 1이고, 이 경우 슬레이브는 최대 가중치에서 1을 뺀 값에 해당하는 주기 동안 데이터를 전송하지 못하며 데이터의 전송이 이루어지면, 슬레이브의 가중치는 최고 가중치값으로 복귀한다. 그러나 이는 현재의 슬레이브 큐의 상태가 아닌 과거의 슬레이브의 활성도에 의존하므로 성능향상이 제한적일 수밖에 없다.

4. 인터 피코넷 스케줄링

블루투스를 이용한 개인영역망은 피코넷 간의 연결인 스캐터넷에 기초를 둔다. 스캐터넷은 피코넷과 피코넷을 연결해주는 브리지 노드에 의해 형성된다. 브리지 노드는 한 시점에 하나의 피코넷 통신에만 참여할 수 있으며 이러한 브리지 노드를 통한 효율적인 통신을 위해 인터 피코넷 스케줄링이 필요하다. 현재 인터 피코넷 스케줄링을 어떠한 방법으로 수행할 것인가에 대해 여러 연구팀의 연구가 시작되고 있다. [그림 1]은 두개의 피코넷으로 구성된 스캐터넷을 나타낸다.

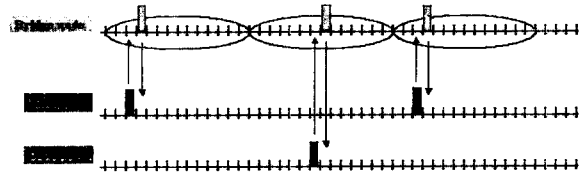


[그림 1] 두개의 피코넷으로 구성된 스캐터넷

피코넷간의 스케줄링에서 가장 중요시 되어야 할 점은 브리지 노드가 각각의 피코넷의 통신에 참여하고 있을 때 그 피코넷의 마스터로부터 데이터 전송을 받을 수 있어야 한다는 점이다. 브리지 노드가 피코넷에 참여하고 있을 때 데이터 수신과 전송을 할 수 없고 서비스 순서를 받지 못한다면 전송 패킷의 평균 지연 시간이 증가되어 블루투스 시스템 전체의 성능 저하를 가져온다. 그러므로, 브리지 노드와 해당 피코넷과의 시간적 동기를 맞추는 것이 필요하다. 예를들면, 브리지 노드가 자신의 피

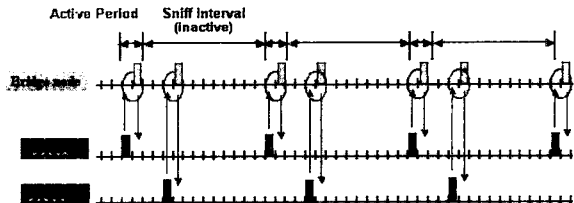
코넷에 참여하고 있지 않을 때는 피코넷 내의 스케줄링은 이 노드를 서비스 리스트에서 삭제하여 서비스를 하지 않고 그 대신에 피코넷의 다른 슬레이브들에게 서비스 해주어 브리지 노드에 대한 재전송을 없앤다. 또한 브리지 노드가 자신의 피코넷에 참여하는 시간을 약속하여 그 시간에 마스터가 브리지 노드에게 서비스 해준다. 이를 위한 방식은 시간 할당 방식, 패킷 할당 방식 그리고 스니프 모드를 사용하는 방식이 있다.

시간 할당 방식은 브리지 노드가 일정한 시간만큼 자신이 구성원으로 속해 있는 피코넷의 통신에 참여하는 방법이다. 예를 들어, 피코넷 A와 피코넷 B를 연결하는 브리지 노드가 있고 각각의 피코넷 내의 스케줄링으로 PRR 방식을 적용한다면 브리지 노드는 피코넷 A에서 일정시간동안 통신에 참여하고 그 시간이 끝나면 피코넷 B로 옮겨서 다시 일정시간동안 통신에 참여하는 방식이다. [그림 2]은 일정 시간만큼 한 피코넷과 통신하는 시간 할당 방식을 나타낸다. 이 방식의 경우 정해진 시간동안 패킷 전달이 없어도 계속 그 피코넷과의 통신에 참여해야 함으로 지연 시간이 발생하게 된다.



[그림 2] 시간 할당 방법의 피코넷 간의 스케줄링

패킷 할당 방식은 브리지 노드가 일정한 패킷량을 통신할 때까지 속해 있는 피코넷과의 연결을 유지하는 방식이며 스니프 모드 사용 방식은 브리지 노드와 각 해당 피코넷 마스터 간에 미리 연계를 서로 통신을 할 것인가를 약속하는 방식이다. 스니프 모드는 원래 블루투스의 저전력 모드를 위한 것이기 때문에 서로 통신하기로 약속한 시간을 제외한 나머지 시간은 그 해당 피코넷과의 통신에 참여하지 않는다. [그림 3]은 스니프 모드를 이용한 피코넷 간의 스케줄링 방식의 예를 나타낸다. 브리지 노드가 피코넷 1과의 통신을 위해 매 14슬롯마다 2슬롯을 할당하기로 약속한다면 나머지 12슬롯 동안은 피코넷 2와 통신할 수 있다. 이는 피코넷 1의 인트라 피코넷 스케줄링을 PRR로 가정한 경우이다. 스니프 모드에 사용되는 여러 파라미터들의 값은 변경될 수 있으며 이때에는 LMP 레벨에서 다시 재협상하는 과정을 거쳐야 한다. 이 방식의 경우 약속된 시간에 피코넷 1과 통신하고 나머지 시간에 피코넷 2와의 통신에 참여하므로 불필요한 지연 시간이 발생하지 않게 된다.



[그림 3] 스니프 모드를 이용한 피코넷 간의 스케줄링

5. 실험 및 결과

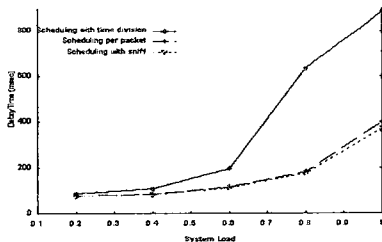
5.1 실험 환경

블루투스 표준에 따라 블루투스 노드들의 라디오 전파 영역은 10m, 대역폭은 1MHz, 슬롯의 길이는 625μsec로 설정하였다.

시뮬레이션 시간은 10초 동안 지속했다. 본 실험에서는 블루투스 디바이스들의 이동성을 지원하지 않으며 에리확률을 0으로 가정한다. 마스터 노드는 각 슬레이브에 대응하는 7개의 큐를 가지고 있고, 각 슬레이브는 마스터에 대응하는 1개의 큐를 가지고 있다. 모든 큐는 서로 독립적이다. 인터 피코넷 스케줄링 실험은 스캐터넷을 기초로 하기 때문에 인터 피코넷 스케줄링의 시뮬레이션의 모델은 두 개의 피코넷으로 구성된 스캐터넷이다. 두 개의 피코넷은 하나의 브리지 노드를 통하여 연결된다. 브리지 노드는 두 개의 피코넷에서 슬레이브 역할을 하며 각각의 피코넷은 7개의 슬레이브로 구성된다. 입력 파일의 크기는 평균 8패킷이며 입력 트래픽은 평균 0.2에서 1.0까지의 시스템 부하를 갖게 하는 포아송 분포를 따른다. LWRR 방식의 비교 실험에서의 전송횟수 제한 값은 5로 설정을 하였다. 각 패킷마다의 전송지연 시간(슬롯수)의 합을 전송된 패킷의 수로 나누어 평균 패킷 전송지연 값을 계산하였다.

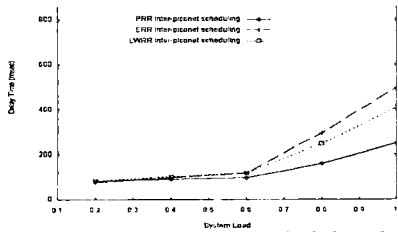
5.2 실험 결과

[그림 4]는 인터 피코넷 스케줄링을 PRR방식을 사용했을 때, 시간 할당 방식과 패킷 할당 방식 그리고 스니프 모드 사용 방식을 각각 적용한 결과이다. [그림 4]는 시간 할당 방식이 시스템 로드가 0.6인 시점부터 지연 시간이 매우 커짐을 나타낸다. 이는 시스템 로드가 증가할수록 각 마스터에서 브리지 노드로 전송하는 패킷의 재전송이 증가하기 때문이다.



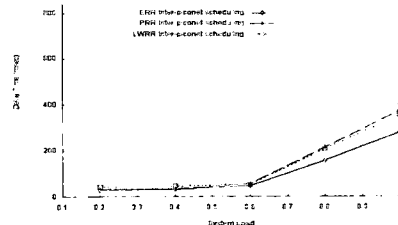
[그림 4] 각 스케줄링 방식의 평균 패킷 지연 시간

[그림 5]는 인트라 피코넷 스케줄링을 PRR 방법을 적용하고 인터 피코넷 스케줄링 방법으로 PRR, ERR, LWRR 방법을 적용했을 때의 실험 결과이다. PRR 인터 피코넷 스케줄링은 Sniff 모드를 이용한다. [그림 5]는 PRR이 더 적은 지연 시간을 가짐을 보인다. 이는 스니프 모드를 사용하지 않는 LWRR과 ERR의 경우 브릿지 노드가 한쪽 피코넷과 통신을 할 때 다른쪽 피코넷의 경우 마스터와의 재전송이 일어나기 때문이다.

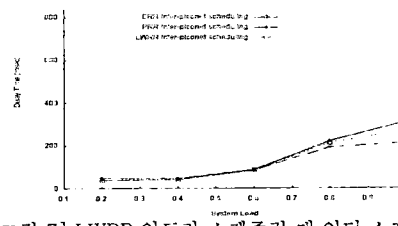


[그림 5] PRR 인트라 스케줄링 대 인터 스케줄링

[그림 6]와 [그림 7]은 각각 인트라 스케줄링으로 ERR과 LWRR을 적용한 경우이다. [그림 5]와 마찬가지로 시스템 로드가 0.6이상 이 되면 PRR이 가장 좋게 나오는 것을 볼 수 있으며 그 이유는 스니프 모드를 이용함으로써 마스터로부터의 재전송이 없기 때문이다.



[그림 6] ERR 인트라 스케줄링 대 인터 스케줄링



[그림 7] LWRR 인트라 스케줄링 대 인터 스케줄링

6. 결론

본 논문에서는 기존의 연구된 인트라 피코넷 스케줄링을 인터 피코넷 스케줄링에 적용하여, 각각의 성능 분석을 하였다. PRR, ERR, LWRR 인트라 피코넷 스케줄링에 대해 PRR, ERR, LWRR을 인터 피코넷 스케줄링으로 적용하여 실험하였다. 실험 결과에 의해 인트라 피코넷 스케줄링에 독립적으로 스니프 모드를 사용하는 PRR 인터 피코넷 스케줄링 방법이 평균 패킷 전송 지연 시간을 작게 가짐을 보였다. 실험을 통한 성능 비교를 기반으로 하여 앞으로 스니프 모드를 이용한 더 효율적인 인터 피코넷 스케줄링 방법이 연구되어져야 할 것이다.

7. 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.ietf.org/htm/charters/manet-charter.html>
- [3] Homepage of the IEEE 802.15 WG, IEEE 802.15, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>
- [4] Home page of the GloMoSim, GloMoSim, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim>
- [5] J. Bray, C. Sturman, "Bluetooth Connect without Cables", Prentice Hall PTR, 2001.
- [6] X. Zeng, R. Bagrodia, M. Gerla, "GloMoSim: A Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks", PADS98, 1998.
- [7] Z. Liu, P. Nain, D. Towsley, "On Optimal Polling Policies", Queueing Systems, Vol. 11, 1992.
- [8] O. Fabian, H. Levy, "Polling System Optimization through Dynamic Routing Policies", IEEE INFOCOM 93, Vol. 1, 1993.
- [9] M. Kalia, D. Bansal, R. Shorey, "Data Scheduling and SAR for Bluetooth MAC", IEEE VTC 2000, 2000.
- [10] M. Kalia, D. Bansal, R. Shorey, "MAC Scheduling and SAR Policies for Bluetooth: A Master Driven TDD Pico-cellular Wireless System", MoMuc 99, 1999.
- [11] A. Capone, M. Gerla, R. Kapoor, "Efficient Polling Schemes for Bluetooth Picocells", ICC 2001, 2001.
- [12] P. Johansson, M. Kazantzidis, R. Kapoor, M. Gerla, "Bluetooth: An Enabler for Personal Area Networks", IEEE Network, Vol. 15, 2001.