

# 스니프 모드 기반의 효율적인 블루투스 스캐터넷 스케줄링 기법

이 우 신<sup>†</sup> · 이 혁 준<sup>\*\*</sup>

## 요 약

블루투스 통신은 한 개의 마스터와 최대 7개의 슬레이브로 구성된 피코넷을 기본 단위로 이루어지며, 다수의 피코넷은 브리지 노드라 불리는 공유 노드를 통해 상호 연결되어 스캐터넷을 형성한다. 브릿지 노드는 스위칭을 통해 피코넷간 통신을 수행하며, 이때 스위칭은 슬롯의 낭비, 즉 패킷 지연 시간을 최소화 할 수 있도록 주의 깊게 스케줄링 되어야 한다. 본 논문에서는 스니프 모드에 기반 한 효율적인 인터 피코넷 스케줄링 기법을 제안한다. 스케줄링 기법은 브릿지 노드가 슬레이브로 동작하는 각 피코넷에 대해 스니프 모드를 통해 할당된 통신 시간 중 낭비되는 슬롯을 자신이 마스터로 동작하는 피코넷 통신에 할당함으로써 슬롯의 낭비를 줄인다. 각 피코넷에 할당되는 통신 시간은 트래픽의 양에 따라 적응적으로 결정된다. 실험 결과에 의하면 통신 시간을 균등하게 할당하는 라운드-로빈 기법에 비해 좋은 결과를 보인다.

## An Efficient Scheduling Scheme for Bluetooth Scatternets Based on the Sniff Mode

WooSin Lee<sup>†</sup> · Hyukjoon Lee<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

Bluetooth communication is based on piconet, which is composed by one master and maximum seven slaves. Several piconets can be interconnected via an inter-piconet Bluetooth unit called a bridge unit to form a Bluetooth scatternet. This bridge node can make its presence in each piconet by switching. This switching must be carefully scheduled so that slot wastage and, hence, packet delays are minimized. In this paper, we introduce an efficient inter-piconet scheduling scheme based on sniff mode. This scheme tries to minimize the wastage of slots by having the bridge unit sniff with its peering masters with time limits and communicate with its slaves in remaining slots. The sniff time limits are determined adaptively based on the amount of traffic in each piconet. Simulation results show this scheme outperforms round-robin scheme based on sniff intervals of equal lengths.

**키워드 :** 블루투스(Bluetooth), 블루투스 스캐터넷(Bluetooth Scatternet), 인터 피코넷 스케줄링(Inter-piconet Scheduling), 스니프 모드(Sniff Mode)

### 1. 서 론

디지털 형식의 개인 이동 기기들의 사용이 급증함에 따라, 이러한 기기들 사이에 데이터 교환의 필요성이 커지고 있다. 블루투스[1]는 PADS, Mobile headset, MP3 Players, DVD player, 노트북 같은 작은 휴대용 기기들 사이에 적은 전력으로 고속의 데이터 통신을 제공해 주는 단거리 무선 기술이다. 블루투스 기술로 점대점 통신에서의 케이블 대체 수단으로 개발되었지만, Personal Area Network(PAN) 이라는 새로운 네트워킹 패러다임을 가능케 할 기술로서도 새롭게 관심을 끌고 있다.

블루투스 피코넷은 시간 분할 멀티플렉싱 방식에 의해

같은 주파수 호핑 채널을 공유하는 두 개 이상의 블루투스 기기로 이루어지며 최대 일곱 개의 슬레이브들과 이들을 제어하는 하나의 마스터로 구성된다. 다수의 피코넷들은 브릿지 노드라 일컬어지는 인터 피코넷 블루투스 기기를 통해 상호 연결되어 블루투스 스캐터넷을 형성한다. 이러한 블루투스 PAN의 ad-hoc적 특성은 많은 응용이 가능하다. 예를 들어, 회의실에서 회의 참석자들이 자신의 노트북이나 PDA를 상호 연결하여 다양한 개인 정보들을 상호 공유하거나 교환할 수 있다.

현재 블루투스 명세서에는 스캐터넷 형성 및 통신방법에 대해 정의하고 있지 않으며 이에 대한 연구가 최근에 시작되어 소수의 결과가 발표되었다[2-6]. 본 논문에서는 스캐터넷 통신을 위한 브릿지 노드에서의 효율적인 인터 피코넷 스케줄링 기법에 관해 다룬다. 스캐터넷 데이터 패킷이 하나의 피코넷에서 다른 피코넷으로 전송되기 위해서는 브릿지 노드가 패킷 포워딩(forwarding)을 수행해야 한다. 브

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00349-0) 지원으로 수행되었음.

† 준 회 원 : 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과

\*\* 정 회 원 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 : 2003년 1월 20일, 심사완료 : 2003년 3월 4일

릿지 노드는 특정 시점에 하나의 피코넷과만 통신이 가능하기 때문에 여러 피코넷과의 통신을 위해서는 피코넷간의 스위칭이 이루어져야 한다. 특히, 피코넷간의 스위칭은 슬롯 낭비를 최소화하여 단위 시간당 전송량을 최대화 할 수 있도록 적절하게 고안된 스케줄링 기법을 필요로 한다.

현재, 인터 피코넷 스케줄링에 관한 연구로는 소수의 논문이 발표되어 있다. [5]에서 S. Baatz는 스캐터넷을 위한 적응적(adaptive) 기법을 제안하고 분석하였다. 이 기법은 각 링크에 대해 공평하게 서비스하기 위해 leaky bucket traffic sharing과 deficit round robin fair scheduling 기반의 credit 기법을 사용하여 한 링크에서 다른 링크로 스위칭 할 시점을 결정한다. [6]에서 P. Johansson은 MDRP(the Maximum Distance Rendezvous Point) 인터 피코넷 스케줄링 기법을 제안하였다. MDRP 알고리즘의 기본 아이디어는 각 마스터 노드와 브릿지 노드 통신 시점인 랑데부 포인트(Rendezvous Point)간의 간격을 최대한 길게 잡자는 것이다. 그러나 MDRP는 브릿지 노드가 슬레이브로 동작하는 경우만을 가정한다. 이러한 연구들은 사용 가능한 대역폭의 사용에 있어 그다지 효율적이지 못하다.

본 논문에서는 각 링크의 트래픽의 양에 따라 적응적으로 통신시간을 할당함으로써 낭비되는 슬롯의 양을 최소화하는 효율적인 블루투스 스캐터넷 스케줄링 기법을 제안한다. 실험은 스캐터넷에서의 통신이 가능한 블루투스 시뮬레이터를 이용한다. 블루투스 시뮬레이터는 GloMoSim(Global Mobile Information System Simulator)[7]의 MAC 계층에 블루투스 계층을 삽입하여 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 블루투스 기술에 대해 살펴보고 3장에서는 스니프 모드에 기초한 블루투스 스캐터넷 통신에 대해 살펴봄 4장에서는 스니프 모드에 기초한 효율적인 인터 피코넷 스케줄링 기법을 제안한다. 5장에서는 제안한 기법의 성능을 실험을 통해 측정하며 6장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 살펴본다.

## 2. 블루투스 기술

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 제어되는 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.

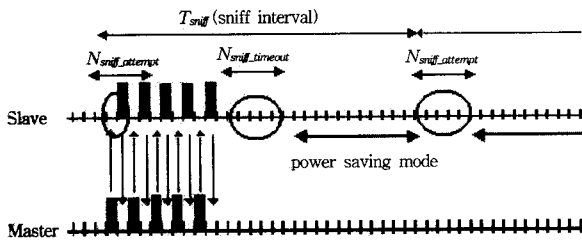
블루투스 통신은 마스터-슬레이브 방식을 기반으로 한다. 즉, 모든 블루투스 디바이스들은 마스터 또는 슬레이브 중 하나로 동작하며, 이들 디바이스들간의 통신은 마스터를 통해서 이루어진다. 이러한 마스터-슬레이브 쌍의 형성은 대기(standby) 상태에 있는 블루투스 디바이스들이 인쿼리

(Inquiry), 인쿼리 스캔(Inquiry Scan), 페이지(Page) 그리고 페이지 스캔(Page Scan) 과정을 통해 노드간의 연결을 설정함으로써 이루어진다. 마스터는 7개의 활성 슬레이브(active slave)를 가질 수 있으며, 하나의 마스터와 하나 이상의 슬레이브가 연결되어 피코넷을 형성한다. 또한, 두 개 이상의 피코넷이 브릿지노드라 불리우는 공유 노드를 통해 상호 연결되는 망을 스캐터넷이라 한다. 피코넷의 주파수 호핑 열(frequency hopping sequence)은 마스터 노드의 클럭과 블루투스 주소에 의해 결정된다. 블루투스 기기는 자신의 주파수 호핑 열을 바꿈으로써 피코넷간 스위칭을 할 수 있다. 브릿지 노드는 각 피코넷에서 마스터 혹은 슬레이브로서 동작하며 두 개 이상의 피코넷에서 마스터로서 동작할 수 없다.

블루투스 표준은 음성 신호를 전송하기 위한 SCO(Synchronous Connection-Oriented) 링크와 데이터를 전송하기 위한 ACL(Asynchronous Connectionless) 링크의 2가지 형태의 링크를 정의한다. SCO 링크에서는 일정한 간격을 두고 떨어진 두 개의 인접한 슬롯이 마스터와 슬레이브에게 할당되며, ACL 링크에서는 피코넷의 마스터와 모든 슬레이브 간에 비동기 또는 일정 주기 형태로 패킷 전송이 가능하다. 마스터는 ACL 링크를 제어하기 위해 여러 슬레이브 중에서 하나를 선택하는 폴링(polling) 기법을 사용하며, 따라서 효율적인 폴링을 위하여 스케줄링 기법이 필요하다. ACL 링크에서 패킷의 전송은 마스터에 의해 짝수 슬롯에서 시작된다. 마스터로부터 패킷을 받은 슬레이브는 다음 홀수 슬롯에 마스터에게 패킷을 보냄으로써 응답한다. 만일 보낼 데이터가 없을 경우 마스터는 POLL 패킷을 전송하며 슬레이브는 NULL 패킷을 전송한다(POLL-NULL sequence).

블루투스는 각 기기의 전력 소모를 최소화하기 위해 3개의 절전 모드, 즉, SNIFF, HOLD, PARK모드를 지원한다. 스니프 모드에선 두 기기들이 미리 정해진 주기에 따라 특정 슬롯에서 통신을 시작한다. 스니프 모드에서 슬레이브는  $T_{sniff}$  슬롯크기의 마스터가 스케줄링의 주체가 되는 인트라 피코넷 스케줄링과는 달리, 인터 피코넷 스케줄링의 경우 두개 이상의 피코넷에 속한 브릿지 노드가 스케줄링의 중심이 된다. 브릿지 노드는 하나의 피코넷에서만 마스터로 동작하며 따라서 다른 피코넷에서는 슬레이브로서 통신에 참여하게 된다. 브릿지 노드가 하나의 피코넷에서 마스터로 동작할 경우 인트라 피코넷 스케줄링과 인터 스케줄링을 동시에 수행해야 한다. 이 경우 브릿지 노드가 마스터로 동작하는 피코넷의 인트라 피코넷 스케줄링은 인터 피코넷 스케줄링과 유기적으로 연동되어야 한다. 브릿지 노드가 슬레이브로 동작하는 피코넷의 경우 브릿지 노드가 그 피코넷의 마스터와 인터 피코넷 스케줄링에 따라 통신을 하고자 하여도 마스터는 인트라 피코넷 스케줄링에 따라 동작하므로 통신을 할 수 있다는 보장이 없다. 이것은 마스터로부터 전송을 받아야만 슬레이브가 전송을 할 수 있는 블루

투스의 특성에 기인한다. 또한 각 피코넷의 마스터 노드가 브릿지 노드에게 인트라 피코넷 스케줄링에 따라 데이터를 전송하여도 브릿지 노드가 다른 피코넷과 통신중이라면 패킷의 유실이 발생한다. 이 유실을 막기 위해 마스터 노드는 재전송을 하게 되며 이는 다른 트래픽에게 지연 시간으로 작용하게 된다. 매 스니프 주기마다 최소한  $N_{sniff\_attempt}$  슬롯 동안 마스터로부터의 전송을 기다린다. 마스터로부터 패킷의 전송이 없는 경우 슬레이브는 저전력 모드로 들어가 다음 스니프 슬롯이 발생할 때까지 대기하게 되며 마스터 노드와 통신 중  $N_{sniff\_timeout}$  슬롯동안 패킷을 전송 받지 못하면 다시 저전력 모드로 돌아가게 된다. (그림 1)은 스니프 모드를 이용한 통신을 나타낸다. 스니프 모드는 브릿지 노드에서 피코넷 간에 스위칭을 수행할 시점을 선택하는데 사용할 수 있으며, 다음 장에서 이에 관해 자세히 기술한다.

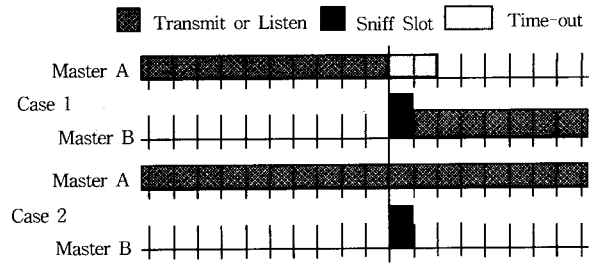


(그림 1) 스니프 모드를 이용한 통신

### 3. 스니프 모드에 기초한 블루투스 스캐터넷 통신

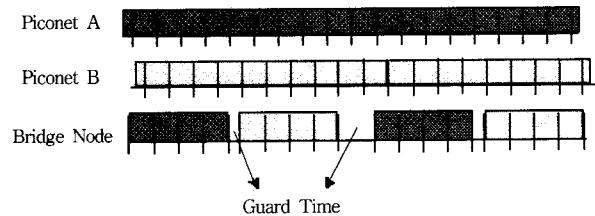
스니프 모드가 피코넷간 스위칭을 수행하는데 사용될 경우, 스니프 슬롯은 브릿지 노드와 상대 노드가 통신을 시작하는 시점으로 이용된다. 브릿지 노드는 다음 스니프 슬롯이 발생할 때까지 계속해서 현재 피코넷에서 통신을 수행한다. 스니프 슬롯에서 마스터 노드는 브릿지 노드와 통신을 시도해야 하므로 마스터 노드의 인트라 피코넷 스케줄링은 스니프 이벤트가 종료할 때까지 중단되어야 한다.

스니프 모드가 인터 피코넷 통신에 사용될 경우에 어느 정도의 슬롯의 낭비는 불가피하다. (그림 2)는 그 두 가지 예를 나타낸다. 첫 번째 경우(case1)는 브릿지 노드가 마스터 노드 A와 통신을 중단하고 마스터 노드 B와 통신하기 위해 스위칭 한 경우이다. 이 때 마스터 노드 A는 브릿지 노드의 스위칭 여부를 알 수 없기 때문에 일정 시간동안 계속해서 브릿지 노드에게 패킷을 전송하게 되고, 따라서 마스터 노드 A의 피코넷에서 슬롯이 낭비되는 결과를 초래한다. 두 번째 경우(case2)는 브릿지 노드가 스니프 슬롯의 발생을 무시하고 계속해서 마스터 노드 A와 통신을 수행하는 경우이다. 이 때 마스터 노드 B는 브릿지 노드로부터 응답이 없으므로 통신 시도를 중단하지만 두 슬롯이 낭비하게 된다. 서로 전송할 데이터가 없을 경우 다음 스니프 슬롯이 발생할 때까지 스니프 이벤트는 중단되며, 이 때 슬롯의 낭비가 발생할 수 있다.



(그림 2) 스니프 모드를 이용한 피코넷간 스위칭시 낭비되는 슬롯

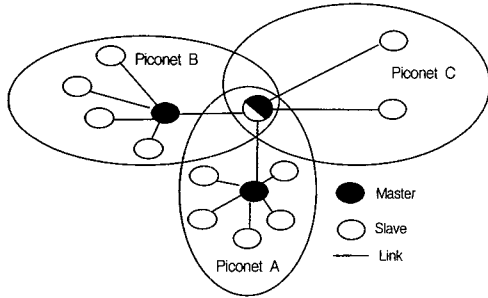
피코넷간 스위칭에 의해 낭비되는 슬롯도 있다. 각 피코넷 전송 슬롯의 시작 시간은 각 마스터의 클럭에 의해 결정되며 이 클럭은 스캐터넷을 구성하는 각 피코넷의 마스터마다 차이가 있다. 따라서 브릿지 노드가 다른 피코넷으로 스위칭을 하여 통신을 시작하기 위해선 각 피코넷의 마스터와 클럭을 동기화 하여야 하며 따라서 약간의 지연 시간이 발생하게 된다. 이를 가드 시간(guard time)이라 한다. 가드 시간은 브릿지 노드가 다른 피코넷으로 스위칭 하여 그 피코넷의 홀수 슬롯이 시작될 때까지 기다리는 시간을 말한다. (그림 3)은 브릿지 노드가 피코넷 A와 피코넷 B에서 스위칭 하는 것을 나타낸다. 그림에서처럼 피코넷 A의 마스터 클럭이 피코넷 B보다 빠르다고 할 때, 브릿지 노드는 슬롯의 시작 시간을 맞추기 위해 두 슬롯의 시간을 낭비하게 된다.



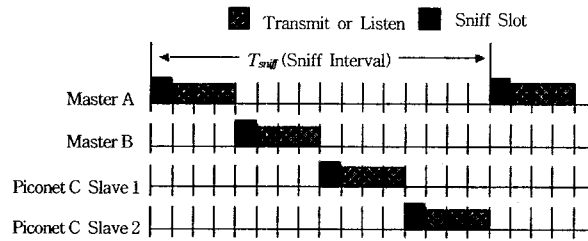
(그림 3) 가드 시간의 발생

위에서 언급한 슬롯의 낭비는 스캐터넷 전체 성능을 저하시키므로 인터 피코넷 스케줄링 기법을 설계함에 있어 빈번한 스위칭이 발생하지 않도록 주의 깊게 고려되어야 한다. 스니프 모드를 사용하는 인터 피코넷 스케줄링 기법의 가장 간단한 방식은 브릿지 노드가 자신과 연결된 모든 링크들에게 동일한 크기의 서비스 시간을 할당하는 방식이다. 각 링크와의 스니프 주기를  $T_{sniff}$ 라 하고 브릿지 노드와 연결된 전체 링크의 수를  $N_{link}$ 라 할 때, 각 링크에 할당되는 서비스 시간  $T_{switch}$ 의 크기는  $T_{sniff}/N_{link}$ 로 설정한다. 이 때 동일한 크기의 통신 기회를 주기 위해 브릿지 노드는 초기 스니프 모드 설정시 각 링크의 스니프 주기의 크기를 동일하게 설정한다. 모든 링크는 라운드 로빈 방식으로 통신 기회를 갖게 되며  $T_{switch}$ 의 값은 전체 링크의 수가 변하지 않는 한 고정된 값으로 유지한다. 본 논문에서는 이러한 방식을 SRR(Sniff Round Robin) 기법이라고 명명한다. (그림 4)는 세 개의 피코넷으로 구성된 스캐터넷의 예를 나타

내며 (그림 5)는 (그림 4)의 스캐터넷에  $T_{sniff} = 16$ 슬롯으로 하여 SRR 기법을 적용했을 경우 각 링크에서 스니프 슬롯의 발생과 브릿지 노드의 스위칭 동작을 나타낸다.



(그림 4) 세 개의 피코넷으로 구성된 스캐터넷



(그림 5) SRR의 동작 방식

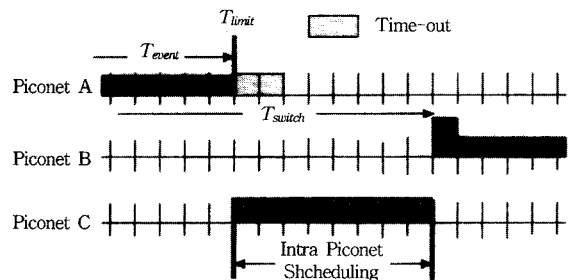
SRR 기법에 의하면 시스템 부하가 낮을 경우, 실제 데이터 통신 시간이 할당된  $T_{switch}$ 보다 작을 수 있다. 이 경우, 불필요한 슬롯의 낭비가 발생하게 되며 이러한 슬롯의 낭비는 다른 링크에 존재하는 트래픽의 지연 시간으로 작용하게 된다. 이러한 문제점은 각 링크에 트래픽의 양에 상관없이 동일한 고정 통신 시간을 할당함에 따라 발생하는 문제이다. 스니프 주기의 크기를 작게 설정함으로써 이러한 낭비를 줄일 수 있으나, 이 경우에는 빈번한 스위칭에 의해 위에서 언급한 슬롯의 낭비가 늘어나게 된다. 또한 브릿지 노드가 각 링크의  $T_{switch}$ 의 크기를 적절하게 설정하여 브릿지 노드가 상대 노드와의 스니프 이벤트가 종료되면 바로 다른 노드로 스위칭 하여 통신하도록 함으로써 슬롯의 낭비를 없앨 수 있으나, 각 링크상의 트래픽 양을 사전에 예측할 수 없기 때문에 이 방법은 현실적으로 불가능하다. 4장에서는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 기법에 대해 논의한다.

#### 4. Limited Sniff Round Robin(LSRR)

브릿지 노드는 하나의 피코넷에서만 마스터로 동작할 수 있으며 다수의 피코넷에서 슬레이브로 동작할 수 있다[1]. 본 논문에서 제안하는 인터 피코넷 스케줄링 기법은 위에서 언급한 슬롯의 낭비를 줄이기 위해서 브릿지 노드는 각 피코넷의 마스터와만 스니프 모드를 이용해서 통신을 하며, 이 때 낭비되는 슬롯을 이용해 슬레이브들과 통신을 하도

록 한다. 브릿지 노드는 현재 진행중인 스니프 이벤트에서 POLL-NULL 패킷이 발생하면 자신이 마스터로 동작하는 피코넷으로 스위칭 하여 다른 링크의 스니프 슬롯이 발생할 때까지 인터 피코넷 스케줄링 기법에 따라 슬레이브들과 통신을 수행한다. 브릿지 노드가 모든 피코넷에서 슬레이브로 동작할 경우에는 다음 스니프 슬롯이 발생할 때까지 저전력 모드로 대기한다.

LSRR은 브릿지 노드가 다른 피코넷의 마스터와의 인터 피코넷 통신에 대해 자신이 마스터로 동작하는 피코넷의 인터 피코넷 통신보다 우선적으로 서비스 시간을 할당하게 된다. 따라서, 만일 브릿지 노드가 마스터와의 통신에 할당된  $T_{switch}$ 의 시간을 모두 소비하는 경우 브릿지 노드와 연결된 슬레이브들은 통신 기회를 갖지 못하게 되어 통신 시간의 결여가 발생한다. 따라서 이런 통신 시간의 결여 문제를 해결하기 위해 브릿지 노드의 인터 피코넷 통신에 최소한의 통신 시간을 보장해 줄 필요가 있다. 이를 위해 브릿지 노드는 각 피코넷의 마스터와 최대  $T_{limit}$  ( $T_{limit} < T_{switch}$ ) 크기의 시간동안만 통신을 수행한다.  $T_{limit}$ 값은 이전 스니프 이벤트에서 슬롯의 사용량을 기준으로 하여 적응적으로 설정되며, 각 링크별로 독립적으로 관리된다. 트래픽 부하는 평균적으로 보면 전체 링크에 골고루 분산되어 있다는 가정하에,  $T_{limit}$ 의 초기 값은  $T_{limit} = T_{sniff}/N_{link}$ 로 결정되며 이 값은  $T_{limit}$ 값의 최소 값이 된다. 스니프 이벤트가 POLL-NULL 패킷의 발생에 의해 종료된다면,  $T_{limit}$ 값은  $a$  슬롯( $a > 0$ ) 만큼 감소되며, 스니프 이벤트가  $T_{limit}$ 의 크기 만큼 지속되었다면  $a$  슬롯만큼 증가한다. 이때  $T_{limit}$ 의 크기가 계속 증가하여  $T_{switch}$ 의 크기와 같아진다면, 브릿지 노드의 인터 피코넷 통신에 통신 시간이 할당되지 않을 수 있다. 따라서,  $T_{limit}$ 의 최대 값을  $T_{limit\_max} = T_{switch} - 2$ 로 제한한다. 본 논문에서는 이러한 인터 피코넷 스케줄링 기법을 LSRR(Limited Sniff Round Robin) 기법이라고 명명한다. (그림 6)은 (그림 4)의 스캐터넷에 LSRR 기법을 적용했을 경우  $T_{limit}$ 값에 의한 스위칭의 예를 나타낸다. (그림 7)은 LSRR 기법의 알고리즘을 요약한 것이다.



(그림 6) LSRR의 동작 방식

LSRR 기법은 각 기기의 자원 요구량이 다를 경우 요구량이 적은 순서대로 자원을 할당하고 남은 자원을 요구량이 큰 기기에게 할당함으로써 공정성과 효율성을 보장하고

자 하는 max-min fair share[8]의 개념을 따르며, 브릿지 노드와 마스터간의 통신에서 낭비되는 슬롯을 브릿지 노드의 인트라 피코넷 통신에 할당함으로써 효율성을 높인다. 이때 특정 시점에 각 큐에 도착하는 트래픽의 양은 네트워크의 상태와 현재까지 전송된 트래픽의 양에 독립적이며, 또한 각 큐의 크기는 무한하다고[9] 가정한다.

### 5. 실험

본 논문에서 제안한 인터 피코넷 스케줄링 기법의 성능을 분석하기 위해 본 논문에서는 GloMoSim의 MAC 계층에 블루투스 계층을 구현하여 삼입한 블루투스 시뮬레이터를 응용하여 실험을 하였다. 세 개의 피코넷이 하나의 브릿지 노드를 통해 연결되어 스캐터넷을 형성하며 브릿지 노드는 피코넷 A, B에서는 슬레이브로 동작하고 피코넷 C에서는 마스터로서 동작한다. 피코넷 A와 B는 각각 네 개의 슬레이브 노드를 가지고 있다. 이들 네 개의 슬레이브 노드들 중에서 하나는 브릿지 노드로 동작하며, 두 개는 각 피코넷의 마스터 노드와 인트라 피코넷 통신을 하며 나머지 하나는 피코넷 C의 슬레이브 노드와 3홉의 인터 피코넷 통신을 수행한다. 각 피코넷의 인트라 피코넷 스케줄링 기법으로는 LWRR (Limited and Weighted Round Robin)[9] 방식을 사용하였으며 이때 최대 가중치 값과 전송 제한 값은 각각 4로 설정하였다. 각 기기의 입력 트래픽은 평균 8패킷의 파일 크기를 가지며 입력 레이트는 포아송 분포를 따르는 평균 125Kbps의 크기를 가지도록 하여 시스템 부하를 0.1에서 0.9까지 변화시키며 실험을 하였다. 스니프 주기  $T_{sniff}$ 의 값은 144 슬롯으로 설정하였다.  $T_{limit}$  값의 변동폭인 상수  $\alpha$ 의 값은 4로 설정하였으며 실험은 20초 동안 지속하였다.

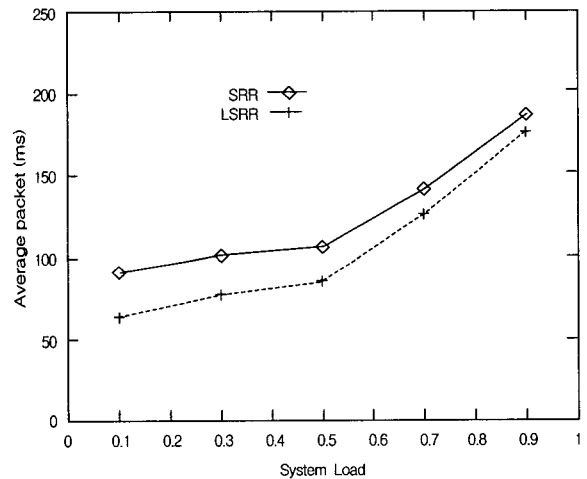
```

T_event : number of communication slots
T_limit_min : minimum value of T_limit (T_sniff/N_link)
T_limit_max : maximum value of T_limit (T_switch - 2)

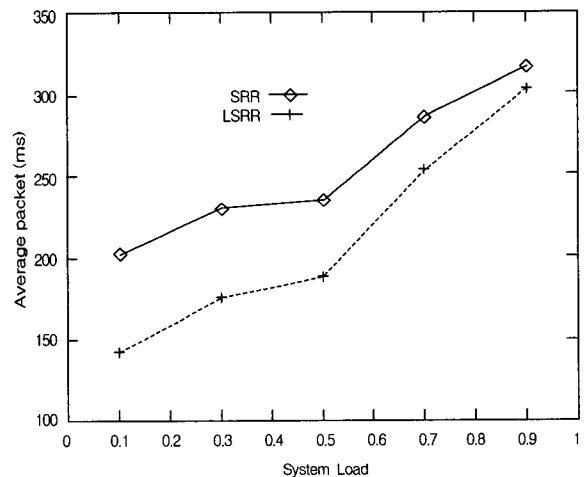
Limited_sniff_round_robin() {
    // identify the packet
    if (POLL-NULL packet occur) {
        // null-poll packet processing
        if (T_limit more than T_limit_min)
            decrease T_limit ;
        // switching the intra-piconet communication
        switching();
    }
    else{
        // data packet processing
        if (T_event reach T_limit){
            if (T_limit less than T_limit_max)
                increase T_limit ;
            // switching the intra-piconet communication
            switching();
        }
        else
            increase T_event ;
    }
}
    
```

(그림 7) LSRR의 알고리즘

(그림 8)은 SRR과 LSRR 기법의 각 시스템 부하에 따른 평균 패킷 지연 시간을 나타낸다. 시스템 부하가 낮을 경우에는 SRR 기법에 비해 LSRR 기법이 훨씬 더 낮은 평균 패킷 지연 시간을 보임을 알 수 있다. 시스템 부하가 0.1일 때, LSRR 기법의 평균 패킷 지연 시간의 크기는 약 63.3ms이며 이에 반해 SRR 기법의 평균 패킷 지연 시간의 크기는 약 90.4ms이다. 이 결과는 시스템 부하가 작을 경우에는 브릿지 노드의 능동적인 스위칭에 의해 LSRR 기법이 SRR 기법에 비해 슬롯의 낭비가 더 적다는 것을 나타낸다. 시스템 부하가 증가함에 따라, 브릿지 노드와 각 피코넷의 마스터와의 트래픽의 양이 증가하게 되고 따라서 브릿지 노드의 인트라 피코넷 통신에 할당되는 시간이 줄어들게 된다. 이는 피코넷 C의 인트라 피코넷 통신에서 패킷의 지연 시간이 빠르게 증가함을 의미한다. 그러나, 제한 값에 의해 피코넷 C의 인트라 피코넷 통신에 통신 시간을 보장해 줌으로써 시스템 부하가 0.9일때에도 LSRR(175.3ms) 기법이 SRR(185.9ms) 기법에 비해 더 좋은 성능을 보인다.



(그림 8) 모든 트래픽에 대한 패킷 평균 지연 시간



(그림 9) 3홉 인터 트래픽에 대한 패킷 평균 지연 시간

(그림 9)는 3홉의 인터 피코넷 트래픽에 대한 평균 패킷 지연 시간을 나타내는 것으로써 (그림 6)과 유사한 형태를 보인다. 시스템 부하가 낮을 경우에는 LSRR 기법의 패킷 평균 지연 시간은 142.4ms가 나오나 SRR 기법은 200.4 ms 가 나오므로써 차이가 큰 것을 알 수 있다. 시스템 부하가 0.9일 때에도 LSRR(304.1ms) 기법이 SRR 기법에 비해 더 좋은 성능을 보인다.

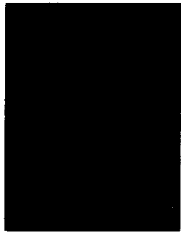
### 6. 결 론

본 논문에서는 스니프 모드를 이용하여 인터 피코넷 통신을 수행할 경우 발생하는 슬롯 낭비의 문제점을 논의하였으며 이를 해결하기 위한 효율적인 스니프 모드 기반의 인터 피코넷 스케줄링 기법(LSRR)을 제안하였다. LSRR은 브릿지 노드가 각 피코넷의 마스터와의 통신 중에 낭비되는 슬롯을 이용하여 슬레이브와 통신을 하도록 하였으며, 제한값을 이용하여 각 피코넷의 마스터와의 통신에 트래픽의 양에 따라 적응적으로 서비스 시간을 할당하도록 하였다. 실험 결과는 LSRR 방식이 고정된 통신 시간을 할당하는 방식에 비해 좋은 성능을 보임을 나타낸다. 향후 연구로는 TCP 트래픽이 사용될 경우, LSRR에 의한 과밀제어 및 전송율(throughput)에 미치는 영향 등에 대하여 추가적인 실험을 수행할 계획이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Specification of the Bluetooth System Core, Vol.1, No.1.1, www.bluetooth.com.
- [2] T. Salonidis, P. Bhagwat, L. Tassioulas, R. LaMaire, Distributed Topology Construction of Bluetooth Personal Area Networks, In the proceedings of IEEE INFOCOM 2001, Anchorage, Alaska, USA, pp.22-26, April, 2001.
- [3] S. Basagni, I. Chlamtac, G. V. Záruba, Bluetrees Scatternet Formation and Routing in Bluetooth-Based Ad Hoc Networks, In the proceedings of IEEE INFOCOM 2001, Anchorage, Alaska, USA, pp.22-26, April, 2001.
- [4] G. Miklós, A. Rác, Z. Turányi, A. Valkó, P. Johansson, Performance Aspects of Bluetooth Scatternet Formation, Mobihoc 2000, Boston, MA, Aug., 2000.

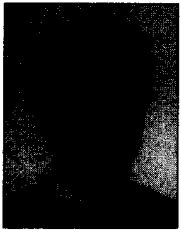
- [5] Per G Johansson, Rohit Kapoor, Manthos Ioannis Kazantzidis and Mario Gerla, Rendezvous Scheduling in Bluetooth Scatternets, In the proceeding of ICC 2002, New York, USA, April/May, 2002.
- [6] Simon Baatz, Matthias Frank, Carmen Kühn, Peter Martini, Christoph Scholz, Adaptive Scatternet Support for Bluetooth using Sniff Mode, In the proceedings of the 26th Annual Conference on Local Computer Networks, LCN 2001, Tampa, Florida, pp.15-16 November, 2001.
- [7] X. Zeng, R. Bagrodia, M. Gerla, GloMoSim : A Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks, PADS, 1988.
- [8] J. Jaffe, Bottleneck Flow Control, IEEE Transactions on Communications, Vol.29(7), July, 1981.
- [9] A. Capone, R. Kapoor, M. Gerla, Efficient Polling Schemes for Bluetooth Picocells, ICC 2001.



### 이 우 신

e-mail : anihlist@kw.ac.kr  
 2001년 광운대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2003년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과  
 (공학석사)  
 2003년~현재 광운대학교 대학원 컴퓨터  
 공학과 박사과정

관심분야 : 무선 네트워킹, WPAN



### 이 혁 준

e-mail : hlee@daisy.kwangwoon.ac.kr  
 1987년 University of Michigan, Computer Science(학사)  
 1989년 Syracuse University, Computer Science(석사)  
 1993년 Syracuse University, Computer Science(박사)

1994년~1996년 삼성전자(주)멀티미디어 연구소 선임연구원  
 1996년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심분야 : 무선네트워킹, 인터넷 분산컴퓨팅, 이동컴퓨팅