

이학석사 학위논문

Bluetooth 상에서 SAR와 MAC 스케줄링을 위한 성능 향상

지도교수 윤 성 대

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함



부경대학교 대학원

전자계산학과

김 금 호

김금호의 이학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 26일

주 심 공학박사 박 지 환



위 원 공학박사 김 영 봉



위 원 이학박사 윤 성 대



<차 례>

그림 차례	ii
표 차례	iii
Abstract	iv
1. 서론	1
2. 관련 연구	3
2.1 Bluetooth 기술	3
2.2 관련 연구	7
2.2.1 Segmentation and Reassembly schemes	7
2.2.2 Bluetooth상에서 스케줄링 알고리즘	10
3. 제안된 SAR과 스케줄링 알고리즘	15
3.1 SAR-MSU(SAR-Most Slot Utilization)	15
3.2 WRR(Weight Round-Robin) 스케줄링	18
4. 시뮬레이션 환경 및 결과	20
4.1 시뮬레이션 환경	20
4.2 시뮬레이션 결과	23
4.2.1 Segmentation and Reassmbly(SAR)	23
4.2.2 스케줄링	27
4.2.3 제안한 SAR와 WRR를 혼합	29
5. 결론 및 향후과제	31
참고문헌	32

<그림 차례>

(그림 1) Bluetooth 프로토콜 스택	4
(그림 2) Bluetooth에서 MAC 스케줄링	11
(그림 3) DRR 스케줄링의 한 예	13
(그림 4) 시뮬레이션 모델	21
(그림 5) SAR의 세가지 정책에 대한 낭비된 slots 수 비교	24
(그림 6) SAR의 세가지 정책에 따른 처리율 비교	25
(그림 7) SAR의 정책에 따른 end-to-end delay 비교	26
(그림 8) DRR와 WRR의 처리율 비교	27
(그림 9) DRR와 WRR의 end-to-end delay 비교	28
(그림 10) SAR의 세 가지 정책과 스케줄링을 포함한 처리율 비교	29
(그림 11) 혼합한 SAR정책과 스케줄링에 관한 end-to-end delay 비교	30

<표 차례>

<표 1> DM과 DH 패킷	5
<표 2> 패킷 크기에 따른 SAR 정책의 slots 사용 수	16

Enhancing Performance for the SAR and MAC Scheduling over Bluetooth

Gum-Ho Kim

*Dept. of Computer Science Graduate School of
Pukyong National University*

Abstract

Emerging technologies such as Bluetooth are expected to become a solution for providing short range, low power, low cost, pico-cellular wireless connectivity. Bluetooth is a Master driven Time Division Duplex(TDD) system that supports an asynchronous channel for data traffic as well as synchronous channels for voice traffic. Data applications running over Bluetooth such as http, ftp and read audio will need transport layer protocols such as TCP and UDP to send packets over the wireless links. We propose and compare a number of SAR policies and scheduling algorithms with a with toward enhancing the performance of transport layer sessions. In simulation, an index of performance called throughput and end-to-end delay are introduced to compare different kinds of SAR policies and scheduling algorithms. As a result, the proposed policies have better than related works

1. 서론

최근 무선 통신 기술은 사회적인 요구와 관련 기술 및 테크놀로지의 발달에 힘입어 전화 서비스, 의료 기기, 가전 제품 뿐만 아니라 많은 분야에 적용되고 있다[1]. 기존에 유선으로 그 기능을 충분히 하던 분야들도 새로운 기능을 추가하고 사용자에게 더 많은 편의를 제공하기 위하여 무선 기술을 도입하고 있다. 특히 ISM(Industrial Scientific Medicine) 대역폭을 사용하는 무선 대역 확산 통신은 주파수 대역을 무료로 사용할 수 있기 때문에, 이 대역폭을 사용하는 무선 통신 방식을 채용하고 있는 응용 분야는 폭발적으로 늘어날 것이다[1]. 이처럼 무선 통신 기술이 여러 분야에 적용되는 상황에서 차세대 무선 통신의 핵심이 될 Bluetooth는 기저대역 모듈의 과제라 할 수 있다[2].

Bluetooth는 현재 세계적으로 하드웨어와 소프트웨어의 초기 단계 개발이 이루어지고 있는 ISM 대역을 이용한 단거리 무선 통신 기술 규격으로써 mobile과 portable 장치를 위한 저 가격 무선 통신 네트워크 구축을 목적으로 개발되었다. 현재 유/무선 전화기, 모뎀, 헤드셋, PDAs, 컴퓨터, 프린터, 프로젝터 등과의 연결과 새로운 다른 장치들과 응용 제품들간의 연결을 가능하게 하고 있다. Specification에 정의된 특징은 기기간의 거리가 10m 정도라면 다소 장애물이 있거나 기기의 방향이 틀려도 상관없이 데이터를 전송할 수 있는 뛰어난 기술이고, 고정된 구조

에서 벗어나 접속된 기기의 작은 ad-hoc 네트워크의 형태를 가지고 있다고 말하고 있다[3].

현재 Bluetooth의 가장 큰 관심은 데이터 전송에 따른 성능 향상이다 [4]. 규모가 큰 패킷은 SAR(Segmentation and Reassembly)를 통해 작은 baseband 패킷으로 분할하여 전송하고, Master는 처리율과 큐잉 지연에 영향을 주는 MAC 레벨에서 스케줄링을 통해 Slave에게 패킷을 전달한다. 이 두 가지 요소뿐만 아니라 데이터 전송의 성공 비율은 링크 레벨에서 FEC(Forward Error Correction)와 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 메카니즘의 존재 유무에 영향을 받는다[5]. 이러한 관점에서 영향은 Bluetooth상에서 비동기 데이터 트래픽의 성능을 향상시키기 위해 좀 더 많은 연구를 필요로 하고 있다[6].

본 논문에서는 관련 논문 SAR-BF의 처리율이 낮은 단점과 SAR-OSU의 낭비되는 slots 많다는 단점을 보완한 처리율의 증가와 end-to-end delay의 감소를 목적 또 낭비되는 slots 없는 SAR-MSU을 정책을 제안한다. 그리고 MAC 스케줄링 알고리즘인 DRR(Deficit Round-Robin)을 확장한 WRR(Weight Round-Robin)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Bluetooth의 전반적인 기술 즉 프로토콜 스택에 대하여 설명하고, 3장에서는 기존의 SAR 정책과 스케줄링 메카니즘에 대한 구성 및 동작에 대해 설명하고, 4장에서는 제안한 SAR 정책과 스케줄링 메카니즘에 대해 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션 환경과 결과를 보여주고, 마지막 6장에서 결론을 내리고, 향후 과제를 제시한다.

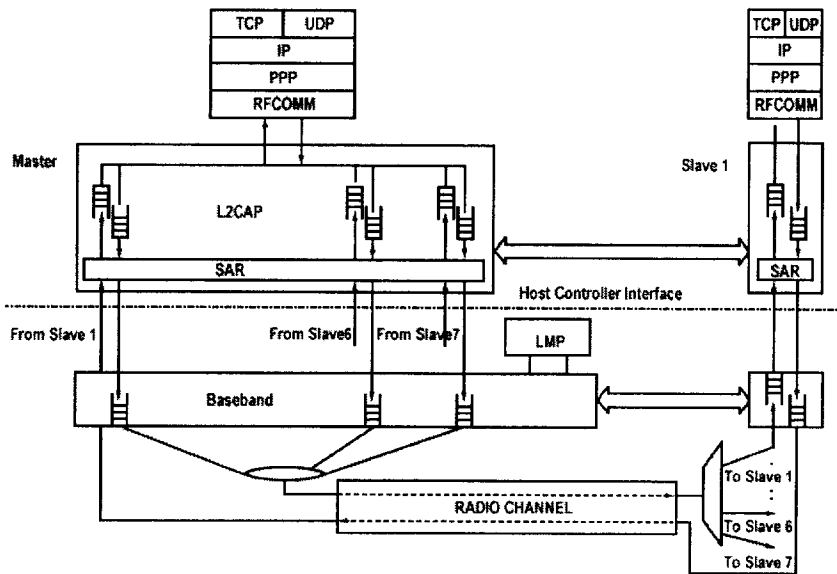
2. 관련 연구

2.1 Bluetooth 기술

Bluetooth는 짧은 범위의 무선을 사용하여 음성과 데이터의 무선 통신을 위한 ad-hoc 네트워크의 한 부분이다[3]. 그림 1과 같이 Bluetooth 프로토콜 스택은 OSI(Open Systems Interconnection) 모델에서 Physical layer와 Data link layer에서 동작되는 프로토콜의 수에 의해 정의된다. Bluetooth는 ad-hoc 네트워크를 사용하며 하나의 Master와 최대 7개의 Slave를 가진 피코넷 구조를 가진다[1][2][14].

2.1.1 Bluetooth Baseband

Baseband는 하드웨어 부분으로써 디지털 신호 처리의 동작을 하는 부분이다. baseband와 link controller는 물리적으로 RF(물리층)와 Bluetooth 탑재기기를 접속할 때 사용된다. Bluetooth는 패킷 상태의 데이터가 분할된 주파수 대역을 전송하는 주파수 호핑 스택트럼 확산 시스템을 이용하기 때문에 이런 프로토콜 스택들은 Inquire(조회)와 Paging(호출)의 방법을 이용하여 Bluetooth 기기의 호핑 주파수와 클럭의 동기를 맞추는 역할을 한다.



(그림 1) Bluetooth 프로토콜 스택
(fig. 1) The Bluetooth Protocol Stack

Baseband는 두 가지 물리적인 접속 타입을 지원하는데 하나가 SCO(Synchronous Connection Oriented)로서 보통 음성 데이터를 말하고, 다른 하나는 ACL(Asynchronous Connection-less)로서 일반적으로 패킷 데이터를 말한다. SCO 타입은 Master와 하나의 Slave 사이의 point-to-point 링크이고, ACL 타입은 Master와 피코넷에 있는 모든 Slave간의 point-to-multipoint 링크이다. baseband 패킷은 1, 3, 5 slots를 사용한다. baseband 패킷 길이는 데이터의 양 또는 음성 트래픽의 존재안에서 이용할 수 있는 이웃한 slots의 수와 같은 기반으로 결정된다. <표1>은 현재 사용되고 있는 baseband 패킷의 종류에 따른 길

이를 나타내고 있다.

<표1> DM과 DH 패킷

<Table 1> DM and DH packet

Packet type	Max Payload(bytes)	FEC
DM1	17	2/3
DH1	27	None
DM3	121	2/3
DH3	183	None
DM5	224	2/3
DH5	339	None

ARQ(Automatic ReQuest for repetition)는 payload의 전송 실패 또는 성공을 송신측에게 알리기 위해 사용된다. base band 패킷은 timeout의 지났을 경우나 ACK(Acknowledge) 신호가 올 때까지는 재 전송되어야 한다. FEC(Forward Error Correction)는 재전송 수를 줄이기 위해 데이터 payload에 부분적으로 사용되는 방식이다. 패킷 헤더는 링크의 정보와 이상의 에러들을 지속할 수 있는 1/3 rate FEC를 보호해야 한다.

2.1.2 Link Manager Protocol(LMP)와 Logical Link Control and Adaption Protocol(L2CAP)

LMP와 L2CAP는 baseband protocol 상위에 있는 layer로서 data

link layer에 포함된다. LMP는 접속 상태, Slave간의 공정성, 전력 관리 등을 관리하는 책임을 가지고 있다. 또한 보안의 역할을 담당하며, 암호 키 생성, 교환, 체크와 baseband의 패킷 크기를 제어한다.

L2CAP는 HCI(Host Controller Interface) layer 바로 위에 위치하며 상위 프로토콜이나 Application에게 데이터 패킷을 송·수신하는 역할을 한다. L2CAP는 ACL 데이터 패킷을 통해 교환되며 SCO 데이터 패킷을 지원하지 않는다. L2CAP는 HCI를 통해 어떤 프로토콜의 데이터 인지를 구별하여 분배해 주는 프로토콜 멀티플렉싱, 상위에서 받은 패킷을 baseband 패킷으로 나누고 조립하는 역할을 하는 SAR, 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 QoS(Quality of Service), 그룹의 주소를 효율적으로 관리할 수 있는 기능 등을 제공하고 있다.

2.1.3 SDP(Service Discovery Protocol)

SDP는 Bluetooth의 이용 용도를 미리 결정하는 서비스를 제공한다. SDP를 이용함으로써 각각의 기기가 가진 정보, 드라이버, 서비스의 내용을 파악하여 기기 간의 접속을 가능하게 하고, 이를 사용할 수 있게 한다.

2.1.4 응용 프로토콜

PPP는 IETE(Internet Engineering Task forceE)의 point-to-point 프로토콜로서 Bluetooth에서 1 대 1 접속을 확립하기 위하여 RFCOMM의 상위에 정의되어 있다. PPP의 네트워크가 확립된다고 하는 것은 PPP 사이에서 IP 팔레트가 이용된다는 것을 의미한다. IETE에서 정의된 TCP/UDP/IP는 인터넷으로 접속할 때 이용되고 있는 프로토콜로써 Bluetooth 기기가 인터넷에 액세스가 가능하게 되는 것을 의미하고 있다. RFCOMM은 케이블 대체 프로토콜이라는 것에서도 알 수 있듯이 모뎀을 연결하는 RS-232C 등의 직렬 송신을 대체하는 프로토콜이며, 직렬 송신기능을 필요로 하는 상위 프로토콜에 대해 RS-232C의 제어나 baseband상의 데이터 신호를 지원하는 역할을 한다. WAP(Wireless Application Protocol)은 WAP Forum에 의해 사양이 진행되고 있는 것으로 광범위한 무선 네트워크에서 이용되어 휴대전화나 그 외의 무선 단말기에 인터넷 콘텐츠나 전화의 부가서비스를 제공하는 목적으로 사용되고 있다.

2.2 관련 연구

이 절에서는 이전의 두 가지 SAR 정책과 Master의 큐 스케줄링 정책인 DRR(Deficit Round-Robin)의 알고리즘에 대해 언급하고 있다.

2.2.1 Segmentation and Reassembly schemes

SAR(Segmentation and Reassembly) 메카니즘은 가장 큰 baseband 패킷 보다 더 큰 MTU(maximum transmission unit)를 지원하므로 효율이 향상된다. 높은 layer에 있는 패킷을 여러 가지(1, 3, 5 slots) baseband 패킷을 통해 전송을 할 경우 큐잉에 대한 오버헤드는 감소된다. 앞 절의 <표1> 에서 본 것과 같이 FEC가 없는 경우는 DH 패킷으로서 payload의 크기는 각각 5 slots 패킷의 경우 339byte이고 3 slots 패킷의 경우 183byte이다. 마지막으로 1 slots 패킷은 27 bytes임을 알 수 있다[12][13]. 여기서 baseband 패킷을 보낸 최대 slots의 수를 slot_limit라 정의하고, slot_limit는 SCO 접속의 존재 또는 무선 환경에서 높은 BER(Bit Error Rate) 때문에 5 slots 이하로 한다. 이 파라미터는 신호 패킷을 통해 L2CAP에게 LMP에 의해 운반될 수 있다. 이제 기존의 두 가지 SAR 정책에 대해 알아보자.

2.2.1.1 SAR-BF(SAR-Best-Fit)

이 알고리즘은 baseband 패킷에서 낭비되는 대역폭을 감소하기 위한 목적으로 상위 레이어 패킷을 분리하는 최적의 방법이다. [알고리즘 1]은 SAR - BF를 나타내고 있다.

[알고리즘 1] SAR-BF의 알고리즘

1. 만약 slot_limit = 5이면 L2CAP 패킷을 5 slots의 baseband 패킷으로 나눈다.

2. 만약 $\text{slot_limit} \geq 3$ 이면 나머지 bytes를 3 slots의 baseband 패킷으로 나눈다.
3. 나머지 bytes를 1 slot의 baseband 패킷으로 나눈다.

예를 들어 L2CAP 패킷 크기가 556bytes이고 $\text{slot_limit} = 5$ 인 경우 위 알고리즘의 첫 번째 단계에 의해 5 slots의 baseband 패킷으로 나눈다. 다음 두 번째 단계를 통해 나머지 217bytes를 3 slots baseband 패킷으로 나눈다. 마지막으로 세 번째 단계에서 남은 34bytes를 1 slot baseband 패킷으로 나눈다. 그 결과 한 개의 5 slots, 한 개의 3 slots, 두 개의 1 slot baseband 패킷으로 분할된다.

2.2.1.2 SAR-OSU(SAR-Optimum Slot Utilization)

이 알고리즘은 baseband 패킷의 큐잉 지연을 줄이고자 하는 L2CAP baseband 패킷의 전송 지연 감소를 목적으로 하는 정책이다. L2CAP의 경우 multi-slots으로 패킷을 전송 가능하게 하므로 세부적으로 나누는 SAR-BF 보다는 큰 slots으로 보내는 SAR-OSU가 적은 end-to-end delay를 가진다. 이 알고리즘의 단계는 [알고리즘 2]에 잘 나타내고 있다.

[알고리즘 2] SAR-OSU 알고리즘

1. 만약 $\text{slot_limit} = 5$ 이면 L2CAP 패킷을 5 slots의 baseband 패킷으로

나눈다.

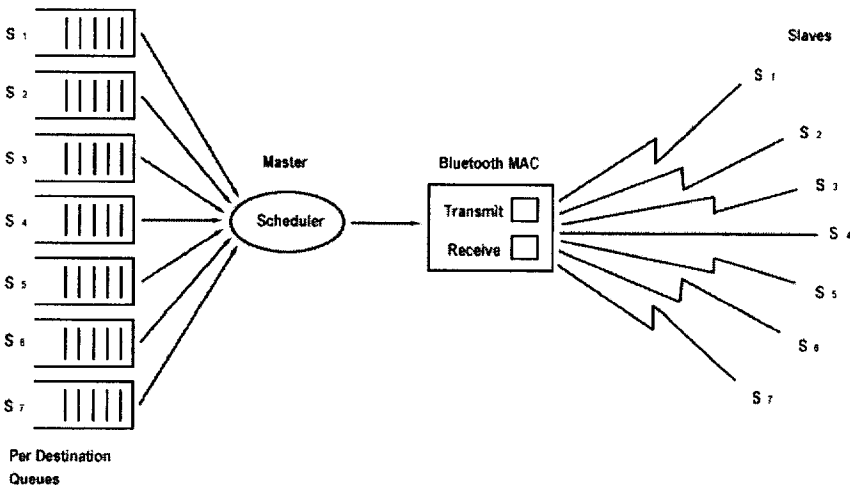
2. 만약 분할된 나머지 크기가 3 slot baseband 패킷보다 더 크면 5 slots baseband 패킷으로 보낸다.
3. 만약 $\text{slot_limit} \geq 3$ 이면 나머지 bytes를 3 slots의 baseband 패킷으로 나눈다.
4. 만약 분할된 나머지 크기가 1 slot baseband 패킷보다 더 크면 3 slots baseband 패킷으로 보낸다.
5. 나머지 bytes를 1 slot의 baseband 패킷으로 보낸다.

앞서 언급한 예에 대해 [알고리즘 2]를 적용하면 다음과 같다. 먼저, 556bytes의 L2CAP baseband 패킷을 5 slots baseband 패킷으로 나누면 217bytes의 나머지가 생긴다. 217bytes는 3 slots baseband 패킷보다 크므로 그냥 5 slot baseband 패킷으로 보낸다. 즉 2개의 5 slots baseband 패킷으로 전송됨을 알 수 있다.

2.2.2 Bluetooth상에서 스케줄링 알고리즘

다중 Slave들이 동작중이거나, 하나의 Slave가 다중 데이터 접속을 할 때 Multiple transport layer 부분은 피코넷의 무선 링크를 공유한다 [8]. Master는 각각의 Slave와 접속을 할 때 높은 링크 이용률과 정당한 대역폭 공유를 이루기 위해 스케줄링을 운영해 왔다[7]. 이러한 상황에서 피코넷에 있는 각각의 Slave는 패킷 입력 비율이 서로 다르기 때

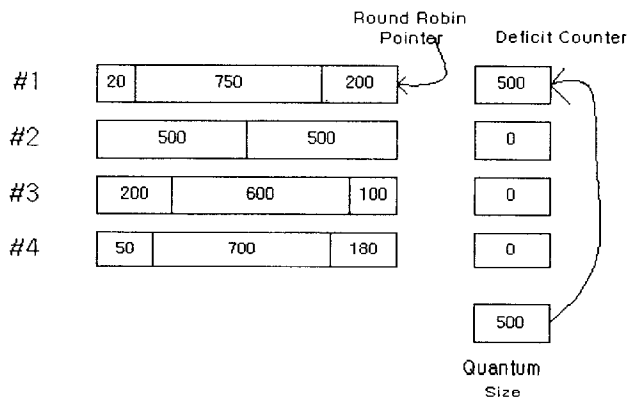
문에 결과적으로 낮은 입력 비율을 가진 소스들에 의해 높은 입력 비율을 가진 소스들의 링크 이용률, delay의 증가, 대역폭의 정당한 공유, 처리율 등의 성능이 감소되어 왔다. 예를 들어 하나의 패킷은 각각의 baseband 큐로부터 Slave들에게 서비스되어지는데 높은 입력 비율을 가진 Slave는 낮은 입력 비율을 가진 Slave 때문에 자신의 큐에 패킷이 가득 차 있을 것이다. 이런 현상을 방지하기 위해 스케줄링 알고리즘이 필요하다. 그림 2는 Bluetooth에서 MAC 스케줄링을 나타내고 있다.



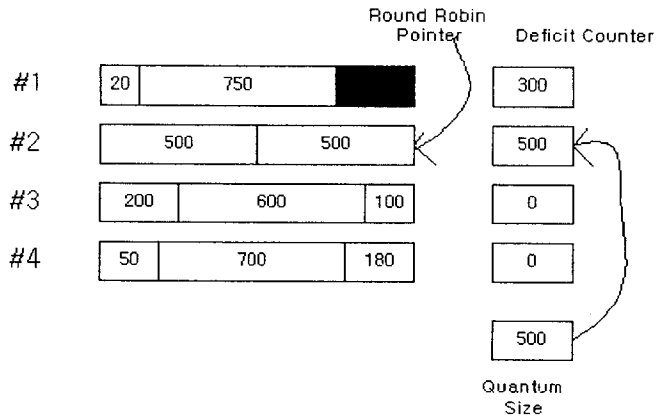
(그림 2) Bluetooth에서 MAC 스케줄링
(fig. 2) MAC Scheduling in Bluetooth

2.2.2.1 Deficit Round-Robin(DRR)

일반적인 RR(Round-Robin) 방식은 일정한 상수 시간에 큐에 대한 서비스를 하지만, 다양한 패킷 크기 때문에 공정성이 없어진다. DRR은 각각의 큐에 큐의 서비스인 quantum양을 할당하여 이를 사용하는 방식이다[12]. 먼저 초기 quantum양을 처음 큐에 할당하고 quantum양만큼 서비스를 하고 만약 quantum양만큼 처리를 한 후 남은 quantum양이 서비스 할 양보다 적으면 다음 번 차례가 올 때 원래 초기의 남은 quantum양과 새로 할당받은 quantum양을 더한 양이 다음 차례의 quantum양이 되는 형식이다.



(a)



(b)

(그림 3) DRR 스케줄링의 한 예
(fig. 3) Example of DRR Scheduling

그림 3은 DRR 스케줄링의 한 가지 예를 보여주고 있다. 4개의 queues가 있고 #번호는 queue의 번호를 의미하고 각각의 queue에는 다양한 크기의 패킷이 있다.

(a) 그림에서 포인터가 처음 #1를 가리키고 있기 때문에 첫 번째 queue에 대한 서비스가 실행되어진다. 처음 보내야 할 패킷의 크기는 200이므로 이를 처리하고 남은 quantum 양은 300이다. 하지만 다음 패킷의 크기가 750이므로 전송을 하지 못한다. 그리고 그 포인터는 (b)그림처럼 다음 queue인 #2로 전이되는 경우를 나타내고 있다. 이런 방법으로 계속 진행하여 #1에 포인터가 가리키게 되면 이전의 남아있는 300과 새로 할당받은 500을 합한 800 quantum의 양을 할당받아 750을 처리할 수 있다.

이러한 과정은 다음의 [알고리즘 3]으로 나타낼 수 있다.

[알고리즘 3] DRR의 Dequeueing 스케줄링 알고리즘

While(TRUE) do

IF *ActiveList* is not empty **then**

 Remove head of *ActiveList*, say flow *i*

$DC_i = Q_i + DC_i$;

 While (($DC_i > 0$) and (*Queue_i* not empty)) do

$Packetsize = Size(Head(Queue_i))$;

IF($PacketSize \leq DC_i$) **then**

$Send(Dequeue(Queue_i))$;

$DC_i = DC_i - PacketSize$;

ELSE break; //skip while loop

IF(*Empty(Queue_i)*) **then**

$DC_i = 0$;

ELSE $InsertActiveList(i)$;

3. 제안된 SAR과 스케줄링 알고리즘

본 장에서는 L2CAP에서 동작되는 SAR의 새로운 모델과 Bluetooth 상에서 스케줄링하는 DRR의 확장된 WRR에 대해 설명한다.

3.1 SAR-MSU(SAR-Most Slot Utilization)

앞장에서 언급한 바와 같이 SAR-BF 정책은 end-to-end delay와 처리율이 낮은 단점이 있으나 slots의 낭비가 적다는 장점을 가지고 있다. 반면 SAR-OSU 정책은 slots의 낭비가 많은 단점을 가지지만 end-to-end delay가 적어 처리율이 높다는 장점을 가진다. SAR-BF는 응용 패킷의 크기를 baseband 패킷으로 slots의 낭비 없이 보내기 때문에 delay가 커지므로 처리율이 떨어지고, SAR-OSU는 응용 패킷을 최대한 큰 baseband 패킷으로 나누어 보내므로 패킷의 수에 비례한 delay가 적어 처리율이 높다.

본 논문에서는 SAR-BF와 SAR-OSU 각각의 단점을 보완한 SAR-MSU를 제안하고자 한다.

SAR-OSU은 3 slots 패킷 크기 보다 크면 5 slots 패킷으로 전송하므로 많은 slots를 낭비하게된다. 따라서 SAR-MSU는 5 slots를 보내어 많은 slots 낭비를 하는 경우에 3 slot와 1 slot으로 보낼 수 있는 패킷의 크기이면 3 slots와 1 slot으로 보내는 SAR-OSU의 확장된 형태이다. SAR-MSU의 장점은 패킷 크기에 따른 slots 사용이 SAR-BF나

SAR-OSU의 사용한 slots 수 중 최소의 slots 수와 동일하다는 것이다.
 <표2>는 패킷의 크기에 따른 slots 사용 수를 보여주고 있다.

<표 2> 패킷 크기에 따른 SAR 정책의 slots 사용 수
 <Table 2> the used slots of SAR policies vs Packet size

패킷 크기	SAR-BF	SAR-OSU	SAR-MSU
367	7	8	7
475	11	8	8
550	10	10	10
862	14	15	14
915	15	15	15
996	18	15	15

[알고리즘 4]는 SAR-MSU의 알고리즘을 나타낸다.

[알고리즘 4] SAR-MSU 알고리즘

1. 만약 $\text{slot_limit} = 5$ 이면 L2CAP 패킷을 5 slots의 baseband 패킷으로 나눈다.
2. 만약 분할된 나머지 크기가 (3 slot baseband 패킷 + 1 slot baseband 패킷)보다 더 크면 5 slots baseband 패킷으로 보낸다.
3. 만약 $\text{slot_limit} \geq 3$ 이면 나머지 bytes를 3 slots의 baseband 패킷으로 나눈다.

4. 만약 분할된 나머지 크기가 (1 slot baseband 패킷 + 1 slot baseband 패킷)보다 더 크면 3 slots baseband 패킷으로 보낸다.
5. 나머지 bytes를 1 slot의 baseband 패킷으로 보낸다.

3.2 WRR(Weight Round-Robin) 스케줄링

현재 사용되고 있는 DRR 스케줄링 역시 어느 정도의 공정성과 링크 사용률은 보장되지만, 모든 큐에 일정한 할당량을 주어 큐의 형평성이 어긋나는 문제가 있다. 본 논문에서 제안한 WRR는 DRR의 확장형태로서 큐에 많은 데이터가 존재하고, 입력 데이터도 있을 경우에 적절한 가중치 (w) 값을 주어 quantum의 양을 조절하게 하는 스케줄링 방법이다. 즉, 큐의 입력 데이터가 있고 출력 데이터가 있을 경우 quantum의 양에 가중치 (w)를 곱해 quantum양을 증가시켜 해당 큐에 데이터를 많이 보내게 하여 일의 공정성을 기하고, 링크 사용률을 높게 한다. 알고리즘에는 backlog에 있는 backlog_fwd(출력 데이터가 있는 경우)와 back_rev(입력 데이터가 있는 경우)의 두 개의 파라미터를 두어 그 값이 둘 다 1이면 어떤 적절한 가중치 (w)의 값을 주어 quantum 양을 조절한다.

$$DC_i = DC_i + (Q_i \times w)$$

(Q : Quantum, DC : Deficit, i : each queue number)

(w : weight where $1.1 \leq w \leq 2.0$)

여기서 DC 는 Deficit의 약자로써 큐가 처리해야 할 quantum의 양을 나타내고, i 는 각각의 큐 번호를 의미한다.

WRR의 알고리즘은 아래 [알고리즘 5]와 같다.

[알고리즘 5] WRR(Weight Round-Robin) 알고리즘

While(TRUE) do

IF *ActiveList* is not empty **then**

Remove head of *ActiveList*, say flow *i*

IF ((backlog_fwd == 1) and (backlog_rev == 1))

then

$DC_i = Q_i + (DC_i \times w);$ // w 는 weight의 value

ELSE

$DC_i = Q_i + DC_i;$

While (($DC_i > 0$) and (*Queue_i* not empty)) do

$PacketSize = \text{Size}(\text{Head}(\text{Queue}_i));$

IF($PacketSize \leq DC_i$) **then**

$\text{Send}(\text{Dequeue}(\text{Queue}_i));$

$DC_i = DC_i - PacketSize;$

ELSE break; //skip while loop

IF($\text{Empty}(\text{Queue}_i)$) **then**

$DC_i = 0;$

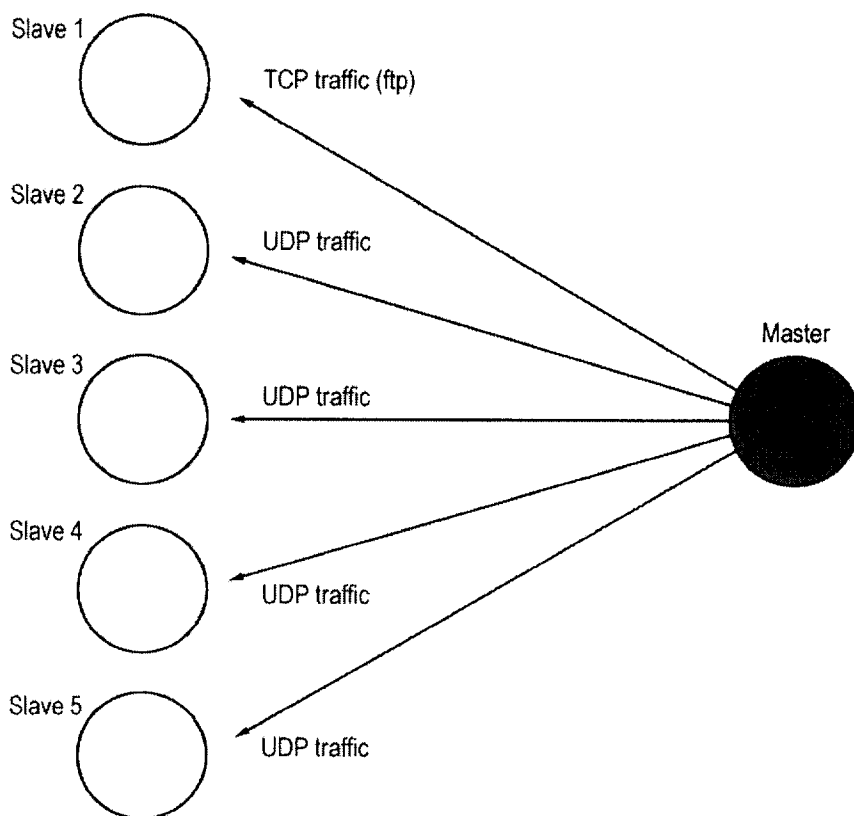
ELSE $\text{InsertActiveList}(i);$

4. 시뮬레이션 환경 및 결과

4.1 시뮬레이션 환경

Bluetooth의 시뮬레이션을 위해 NS(Network Simulator)와 실험 결과를 저장하기 위한 Axum을 사용하였다. 시뮬레이션을 위한 네트워크 모델은 그림 4와 같이 하나의 Master와 5개의 Slave를 가진 피코넷 모델을 사용하였다. 시뮬레이션의 소스 파일은 IBM사의 Bluehoc v2.0을 사용하였다.

그림 4에서 트래픽 소스는 transport layer에게 전송하는 TCP/UDP 트래픽이 동작되고 있음을 보여주고 있다. Slave 1은 TCP에서의 Reno 방식을 사용하고 나머지 Slave는 CBR(Constant Bit Rate)인 UDP 방식을 사용하고 있다. 동작과정은 아래와 같다.



(그림 4) 시뮬레이션 모델

(fig. 4) Simulation Model

[단계 1] TCP/UDP 헤더를 첨가한 후 패킷들은 network layer로 전송

[단계 2] L2CAP layer는 상위 layer로부터 받은 데이터를 분할하고
L2CAP 헤더를 첨가하고 L2CAP 버퍼로 전송

[단계 3] 규모가 큰 L2CAP 패킷은 L2CAP에서 SAR 정책에 따라 다중
작은 baseband 패킷을 분할하고 baseband 버퍼로 전송

[단계 4] MAC 스케줄링 알고리즘을 사용하여 패킷들은 물리적 RF 링크를 통해 Slave에게 전송

[단계 5] Slave의 baseband layer가 패킷을 받을 때 baseband 버퍼로 들어옴

[단계 6] L2CAP layer에서 SAR를 통해 다시 재조립

[단계 7] 재조립된 패킷은 transport layer에게 프로토콜 스택을 통하여 상위 layer로 전송

[단계 8] TCP이면 바로 데이터를 받은 표시로 ACK 신호(UDP 경우는 ACK 신호를 보내지 않음) Master에게 전송

이 시뮬레이션에서 TCP/UDP 패킷의 크기는 555bytes이고 TCP ACK 크기는 40 bytes이다. 시뮬레이션 결과는 그림 4 구조에서 Slave 1의 TCP/Reno 결과를 추출하여 사용하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

앞 절의 모델을 가지고 SAR 정책에 대한 수행 결과, 스케줄링의 결과, SAR와 스케줄링을 접목시킨 결과에 대해 알아보았다.

4.2.1 Segmentation and Reassembly(SAR)

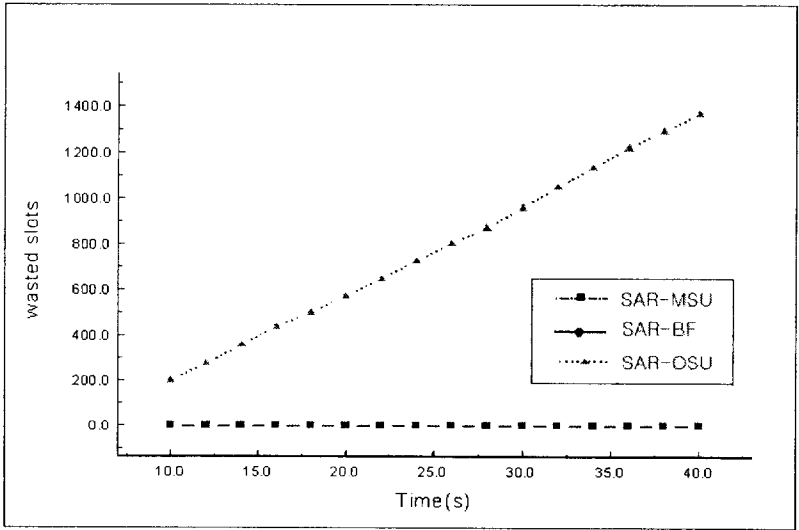
기존의 SAR-BF와 SAR-OSU 그리고 제안된 SAR-MSU의 처리율과 end-to-end delay의 결과를 비교하였다. L2CAP의 버퍼 크기는 무한대로 사용한다. 무한 버퍼의 의미는 패킷의 폐기는 거의 무시하고 SAR의 정책과 처리율 지연에 초점을 두고 있다. 그리고 하나의 Master와 Slave 1 간의 데이터 전송을 가지고 아래와 같은 결과를 산출했다.

그림 5는 SAR-BF, OSU, MSU의 시뮬레이션 시간에 따른 낭비되는 slots을 나타내고 있는데, SAR-BF와 SAR-MSU는 낭비되는 slots이 없음을 알 수 있다.

그림 6은 SAR-BF, OSU, MSU의 처리율을 나타낸 것이다. 그림 7은 SAR-BF, OSU, MSU는 end-to-end delay 결과를 나타낸다. 세 가지 그림을 보면 SAR-BF의 경우 slots의 낭비는 거의 없지만 delay와 처리율이 SAR-OSU나 SAR-MSU에 비해 떨어지는 것을 알 수 있다. SAR-OSU의 경우 slots의 낭비는 많지만 delay와 처리율이 높다는 것을 알 수 있다.

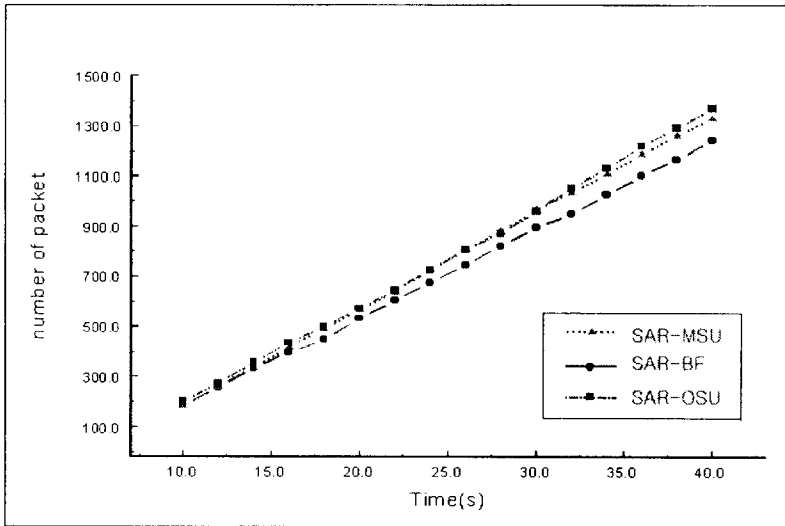
SAR-MSU는 이 두 가지 정책의 중간적인 입장으로서 slots 낭비는

SAR-BF보다 많지만 delay, 처리율면에서는 우수하고 SAR-OSU보다는 처리율과 delay 면에서는 낮지만 slots 낭비는 SAR-OSU보다 좋을 수 있다.



(그림 5) SAR의 세가지 정책에 대한 낭비된 slots 수 비교
 (fig. 5) Comparson of wasted slots for three type SAR Policies

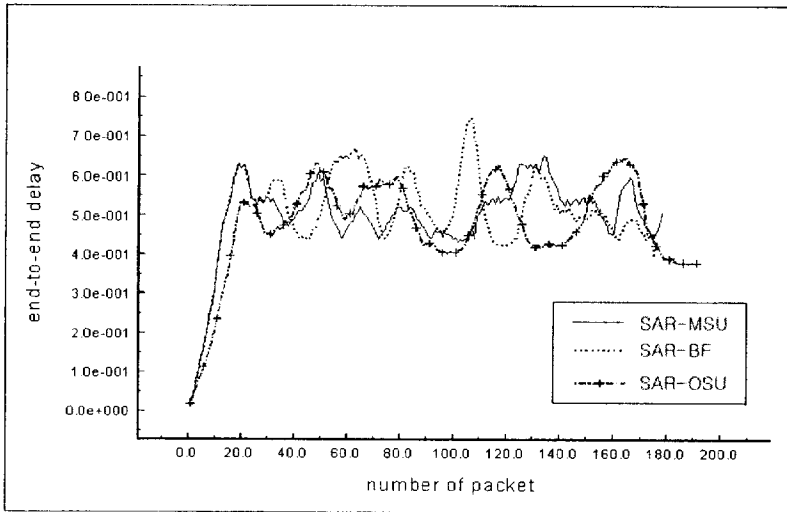
그림 5에서 패킷 크기가 555bytes 일 경우 SAR-BF와 SAR-MSU는 낭비되는 slots이 없지만, SAR-OSU는 낭비되는 slots이 많음을 알 수 있다.



(그림 6) SAR의 세가지 정책에 따른 처리율 비교

(fig. 6) Comparison of three type policies's throughput

그림 6은 3가지 정책에 따른 처리율을 보여주는데 SAR-OSU와 SAR-MSU SAR-BF보다는 많은 패킷의 수를 처리함으로써 처리율이 높음을 알 수 있다.



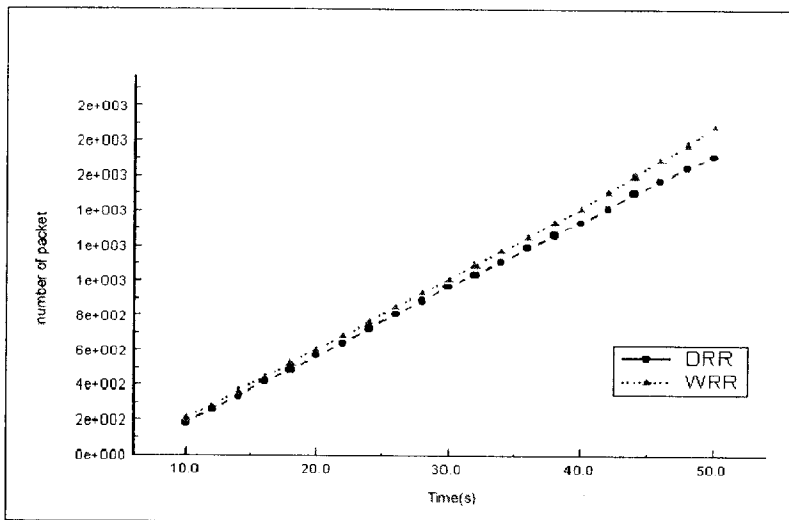
(그림 7) SAR의 정책에 따른 end-to-end delay 비교
 (fig. 7) Comparison of three type policies's end-to-end delay

그림 7에서 SAR-BF는 가장 높은 delay를 가지고 있고 SAR-OSU는 대체적으로 delay가 낮고 SAR-MSU는 처음에는 delay가 높지만 나중에는 SAR-OSU 수준까지 낮아짐을 알 수 있다.

4.2.2 스케줄링

이 절에서는 DRR과 WRR의 스케줄링 결과를 보여준다.

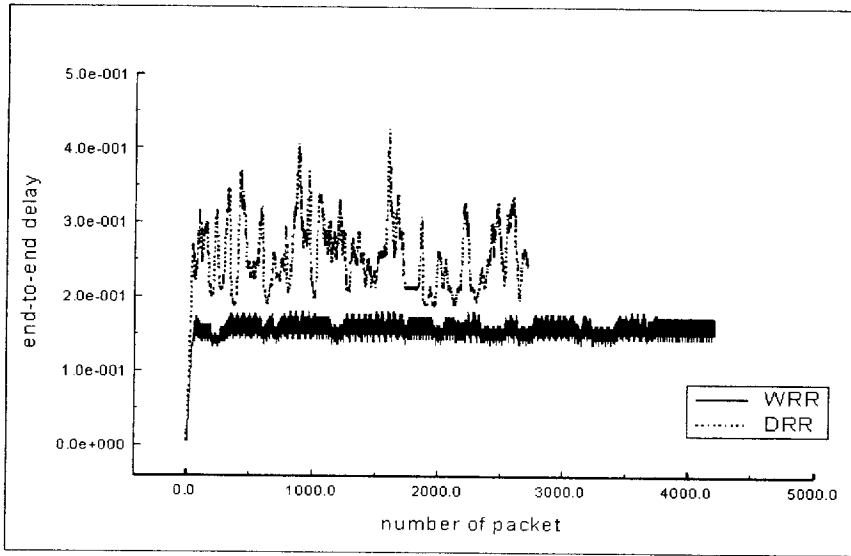
SAR-MSU 정책을 사용하여 DRR과 WRR에 대한 처리율과 end-to-end delay를 나타내고 있다. 현재 시뮬레이션의 가중치 (w) 값은 1.5로 하고 시뮬레이션을 하였다. 그림 8은 DRR과 WRR의 처리율을, 그림 9는 DRR과 WRR의 end-to-end delay를 나타내고 있다.



(그림 8) DRR과 WRR의 처리율 비교

(fig. 8) Comparision of throughput of DRR and WRR

그림 8에서 DRR보다는 WRR의 처리율 높음을 알 수 있다.



(그림9) DRR와 WRR의 end-to-end delay 비교

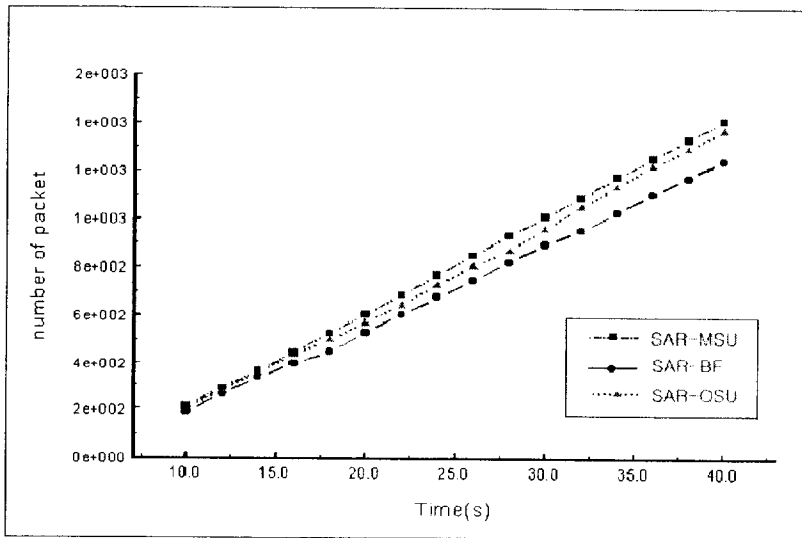
(fig. 9) Comparison of end-to-end of DRR and WRR

그림 9에서 WRR 경우는 DRR의 경우보다 일정한 delay를 가지는 것을 알 수 있다.

4.2.3 제안한 SAR와 WRR를 혼합

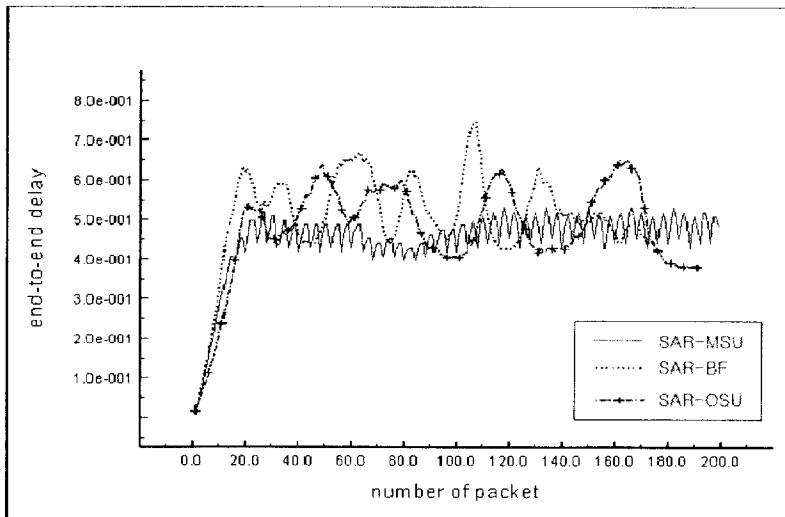
SAR-MSU와 WRR를 혼합한 경우와 기존의 SAR-BF와 SAR-OSU에 DRR 혼합하는 경우를 비교하였다. 여기서 버퍼의 크기는 제한이 없고, 폐기되는 패킷 또한 없으며, 패킷의 크기는 555 bytes로 설정하였다.

그림 10은 SAR-BF와 SAR-OSU, SAR-MSU의 처리율을, 그림 11은 SAR-BF와 SAR-OSU, SAR-MSU의 end-to-end delay를 나타내고 있다.



(그림 10) SAR의 세 가지 정책과 스케줄링을 포함한 처리율 비교
(fig. 10) Comparison of throughput three SAR policies with scheduling

그림 10은 스케줄링을 포함한 SAR의 기존의 두 가지 정책보다 SAR-MSU의 처리율이 우수하다는 것을 보여주고 있다.



(그림 11) 혼합한 SAR정책과 스케줄링에 관한 end-to-end delay 비교
(fig. 11) Comparison of end-to-end delay SAR policies with scheduling

그림 11은 스케줄링을 포함한 두 가지 기존 SAR 정책들보다 SAR-MSU의 end-to-end delay가 낮고 일정한 delay를 가짐을 보여준다.

두 가지 제안을 혼합한 결과 기존의 SAR-BF와 SAR-OSU보다는 SAR-MSU의 TCP 성능이 좋음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 기존의 SAR 정책(SAR-BF, SAR-OSU)의 장점과 단점, 즉 SAR-BF의 장점은 slots의 낭비가 없다는 것과 처리율면과 end-to-end delay 면에서 성능이 떨어지는 단점, 그리고 SAR-OSU의 단점인 slots의 낭비가 심하고 대신에 처리율이나 end-to-end delay가 좋다는 장점, 이 두 가지 장단점을 보완하는 SAR-MSU를 제안하였고 quantum의 양을 가변적으로 조절하기 위한 backlog에 저장되어있는 두 개의 파라미터를 이용하여 두 파라미터 값이 1인 경우 가중치 (w) 값을 두는 MAC 스케줄링 알고리즘 WRR를 제안하였다.

본 논문에서 시뮬레이션 결과로 두 가지 제안된 모델이 기존의 모델보다 처리율과 end-to-end delay 면에서 우수함을 보였다. 처리율은 MSU는 BF에 비해 13% 정도의 향상을 가져왔고 OSU보다는 4% 정도의 향상을 가져옴을 알 수 있다. delay면에서는 OSU와 BF는 거의 곡선으로 움푹임이 많음을 알 수 있지만 MSU 같은 경우는 delay도 낮고 거의 일정한 delay를 가짐을 결과로 알 수 있다.

향후과제로는 error 모델을 중점으로 하는 유한 상태 Markov chain을 가지고 전송채널을 모델링하는 것으로 링크 상태 모니터를 두어 링크의 에러 상태를 체크하여 좋을 경우는 FEC를 첨가하지 않은 패킷으로 데이터를 전송하고 안 좋을 경우는 FEC를 첨가하여 데이터를 전송하는 확률적인 모델을 현 모델에 적용하는 것이다.

참고문헌

- [1] Bluetooth Special Interest Group, "Specification of the Bluetooth System 1.0b, Volume 1 : Core," [http://www .bluetooth.com](http://www.bluetooth.com), Dec. 1999.
- [2] J. Haartsen, "The Bluetooth Radio System," IEEE Personal Communication, Vol. 7, No. 1, pp. 28-36, Feb. 2000.
- [3] N. Johansson, M. Kihl and U. Korner, "TCP/IP over the Bluetooth wireless ad-hoc network," Networking 2000, Paris, France, May. 2000.
- [4] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan and R. H. Katz, " A comparsion of mechanisms for improving TCP performance over wireless links," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 5, No. 6, pp. 756-769, Dec. 1997
- [5] H. Chaskar and U. Madhow, "TCP over wireless with link level error control : Analysis and design methodology," proc. MILCOM, 1996
- [6] P. Bhagwat, P. Bhattacharya, A. Krishna and K. Tripathi, "Using channel state dependent packet scheduling to improve TCP throughput over wireless LANs," Wireless Networks, pp. 91-102, 1997
- [7] N. Johansson, U. Korner and P. Johansson, "Performance

- evaluation of scheduling algorithms for Bluetooth", In Broadband Communication : Convergence of Network Technologies, Edited by Danny H. K. Tsang and Paul J. Kuhn, Kluwer Academic Publishers, pp. 139-150, 2000
- [8] M. Kalia, D. Bansal and R. Shorey, "MAC scheduling and SAR policies for Bluetooth : A master driven TDD pico-cellular wireless system," IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuc'99), San Diego, CA, USA, pp. 384-388, Nov. 1999
- [9] S. McCanne and S. Floyd, "NS-Network Simulator," 1995, <http://www.nrg.ee.lbl.gov/ns>.
- [10] D. Abhishek, G. Abhishek, R. Ashu, S. Huzur and S. Rajeev, "Enhancing Performance of Asynchronous Data Traffic over the Bluetooth Wireless Ad-hoc Network," INFOCOM 2001. Proceedings. IEEE , Volume: 1 , 2001 pp. 591 -600
- [11] M. Shreedhar and V. George, "Efficient Fair Queueing Using Deficit Round-Robin," IEEE/ACM Trans on Networking, Vol. 4, No. 3, June. 1996
- [12] Nathan J. Muller, Bluetooth Demystified, McGraw-hill, 2001
- [13] Jennifer Bray and Charles F Sturman, Bluetooth : Connect without Cables, PTR Hall, 2001
- [14] 모바일 컴퓨팅추진 컨소시움, 해설 Bluetooth, 신구문화사, 2001

감사의 글

감사의 글을 적으려니 너무도 감사할 분들이 많이 어떻게 시작해야 할 망설여집니다. 부족한 제가 2년이란 대학원 생활을 통해 학업과 성숙한 사람으로 바로 서기 위해 도움을 주신 분들에게 진심으로 감사 드립니다.

먼저 학부과정 때부터 지금까지 학문적인 면보다는 오히려 인간의 자세를 더욱 중요히 가르쳐 주신 지도교수님 윤성대 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 바쁘신 와중에도 논문의 심사를 위해 세심한 관심을 보여주신 박지환 교수님, 김영봉 교수님, 대학원 과정에서 저에게 많은 가르침을 주신 박민곤 교수님, 여정모 교수님, 정순호 교수님, 박승섭 교수님, 김창수 교수님, 이경현 교수님, 박홍복 교수님께도 감사드립니다. 그리고 행정적으로 많은 도움을 준 김미은 조교님께도 감사의 마음 전합니다.

힘들고 지칠 때마다 따뜻한 격려의 말씀 아끼지 않으신 김용덕 교수님, 어려움에 봉착했을 때마다 많은 대화로써 문제를 해결해 준 석범씨, 힘 든 생활 속에도 언제나 변치 않은 모습으로 연구실을 이끌어 가는 순환형, 언제나 순수함을 가지고 있는 월선 누나, 블랙리스트 0순위인 상일씨, 입학동기 형욱이, 든든한 후견인이 되어준 현호 형님, 영만 형님, 은호 형님, 넉넉한 미소를 가진 순현이, 이번 학기에 나의 기사가 되어준 은미, 항상 밝게 사는 미란씨, 착한 도위씨, 그리고 서루비 선생님, 송동영 선생님, 동우, 윤주, 김양택 선생님, 전홍태 선배님, 졸업한 승두형, 건호 엄마인 은주씨, 연구실의 막내인 성우, 지영, 신애..... 모

든 연구실 식구들에게 감사 드립니다.

힘든 대학원 생활 같이한 동기들(대업, 영웅, 동수, 성한, 해란, 태호, 현호, 영호, 민아선배), 언제나 함께 했던 대학원 선배인 동철형, 좋은 술 벗이 되어준 동렬이, 좋은 말벗이 되어 삶에 활력을 불어 넣어준 친구 같은 후배 재영, 항상 나의 든든한 힘이 되어준 승규, 준택, 재훈이, 대호, 친동생처럼 아껴줬던 학부 선배들 모두에게 감사의 마음을 전합니다.

오늘날의 내가 있기까지 언제나 묵묵히 지켜보시며, 영원한 나의 편이 되어 주신 아버지, 애정 어린 관심과 사랑으로 감싸주신 어머니, 저에게 힘이 되어준 삼촌과 숙모, 나의 건강을 위해 항상 맛있는 음식을 해주신 미라 아버님, 어머님, 저에게 모든 면에서 도움을 준 형님과 형수님, 누나들에게도 진정 머리 숙여 감사 드립니다.

끝으로 지금의 내가 있기까지 힘들 땐 위로해 주며, 자만에 빠질 때 충고를 아끼지 않았던 영원한 나의 미래에게도 감사드립니다.

이 지면을 통해 언급되지 않은 분들을 포함한 저에게 고마움을 주신 모든 분들께 다시 한번 감사하다는 말씀 전하며 이 글을 바칩니다.

2002. 1. 2

대학원 생활을 되돌아보며.....