

# 블루투스 시스템에서 QoS 지원을 위한 새로운 KFP MAC 스케줄링 기법

정희원 오 종 수\*, 주 양 익\*\*, 권 오 석\*\*, 김 용 석\*\*, 이 태 진\*\*\*, 차 균 현\*\*

## A New KFP MAC Scheduling Policy to Support QoS in Bluetooth Systems

Jong Soo Oh\*, Yang-Ick Joo\*\*, Oh-Seok Kwon\*\*, Yong-Suk Kim\*\*, Tae-Jin Lee\*\*\*

and Kyun Hyon Tchah\* Regular members

### 요 약

본 논문에서는 피코넷(piconet)을 구성하고 있는 블루투스(Bluetooth) 시스템에서 각 마스터(master)-슬레이브(slave) 쌍(pair)에 대해 효율적이고 차등화된 대역폭을 할당함을 통하여 전체적인 성능을 개선함과 동시에 각 기기(device) 혹은 애플리케이션(application)이 요구하는 QoS (Quality of Service)를 지원할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 기존에 제안된 블루투스 시스템을 위한 스케줄링 알고리즘은 각 쌍마다의 서비스 기회에 대한 우선순위를 고려하고, 각 쌍마다의 트래픽 특성을 반영한 비교적 효율적인 알고리즘이지만, 데이터 트래픽(traffic)이 정적(static)인지 동적(dynamic)인지에 따라 성능이 일정하지 않으며, 시그널링(signaling)에 대한 오버헤드(overhead)가 큰 한계를 가지고 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 수율(throughput)과 지연(delay)측면에서 위의 방법보다 향상된 성능을 보이며, 또한 각 쌍별로 차등화된 서비스가 가능하기 때문에 각 기기가 요구하는 QoS를 지원할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 여러 가지 상황에 대한 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법과 그 성능을 비교하였다. 시뮬레이션의 결과, 제안한 알고리즘이 기존 제시된 방법보다 더욱 향상된 성능을 보이며, 또한 각 마스터-슬레이브 쌍마다 요구되는 QoS에 따른 차등화된 서비스가 가능함을 알 수 있다.

### ABSTRACT

This paper proposes an efficient and differentiated MAC scheduling algorithm for Bluetooth systems. The proposed algorithm guarantees QoS (Quality of Service) requirement of each master-slave pair or application. Conventional MAC scheduling algorithms for Bluetooth take priority of each pair into consideration and demonstrate relatively reasonable performance. However, their performances may depend on traffic characteristic, or they are limited by overheads for signaling. In this paper, we propose a new MAC scheduling algorithm superior to the conventional algorithms from the viewpoints of throughput, delay, and supporting QoS. Our proposed algorithm is evaluated via computer simulations under various environments and compared with the conventional scheduling algorithms. Simulation results indicate that the proposed algorithm shows better performance than the existing algorithms, and can support the QoS demand of each pair.

\*LG전자 GSM 단말 연구소 (jsoh@korea.ac.kr) \*\*고려대학교 전자공학과 \*\*\*성균관대학교 정보통신공학부  
논문번호: 020320-0724, 접수일자: 2002년 7월 24일

## I. 서론

휴대폰, PDA, 노트북 등의 휴대가 가능하며 이동성이 지원되는 기기의 증가와, 프린터, 헤드셋 등 기존의 유선으로 연결되었던 기기들 간의 유선의 제약을 극복하기 위한 데이터 교환에 대한 요구의 증가로 인해 최근 들어 근거리 무선 통신 시스템이 주목을 받고 있다. 이러한 무선으로 기기들간 유기적인 연결을 위한 방법 중, 블루투스를 이용한 무선 PAN (Personal Area Network)의 구성은 다양한 분야에서 응용될 수 있기에 큰 관심을 얻고 있다.

블루투스는 작은 크기, 저렴한 가격, 적은 전력소모를 특징으로 하는 근거리 무선 통신을 위해 제안된 기술로써 전송 주파수 대역은 2.4GHz ISM 대역(band)을 사용하고 양방향 전송을 위해 시간분할 방식(TDD: Time Division Duplex)을 사용한다. 블루투스 시스템에서 각 기기는 마스터 또는 슬레이브로써 작동하게 되는데, 마스터는 하나 이상의 슬레이브에 연결을 초기화하는 블루투스 기기이고, 슬레이브는 마스터의 연결요구를 받아들인 블루투스 기기이다. 하나의 마스터와 최대 7개의 슬레이브가 블루투스 시스템이 가지는 가장 간단한 네트워크 형태를 갖는데, 이를 피코넷(piconet)이라고 한다. 마스터는 항상 짝수번째 슬롯(slot)에서 전송이 가능하며, 슬레이브는 짝수번째 슬롯에서 마스터의 폴링을 받은 경우에만 홀수번째 슬롯에서 전송이 가능하다. 그러므로 블루투스 기기간의 데이터의 전송은 언제나 마스터-슬레이브 쌍을 단위로 이루어지게 되며, 블루투스의 기기간 데이터 흐름을 제어하기 위한 스케줄링은 언제나 마스터 중심으로 이루어져야 한다.

블루투스 시스템에서의 스케줄링 방법중 가장 간단한 방법으로는 라운드 로빈(Round Robin) 방법이 있다. 라운드 로빈 방법은 피코넷에 참여하고 있는 여러 개의 마스터-슬레이브 쌍에 대해 균일하게 데이터를 전송할 수 있는 기회를 부과하는 방법이다. 그러나 전송할 데이터가 존재하지 않는 경우도 자신에게 할당된 슬롯에서 데이터를 포함하지 않는 POLL-NULL 시퀀스(sequence)를 교환함에 따라 전체 시스템의 효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서 블루투스 시스템에서의 부족한 무선 자원에 대한 효율적인 활용을 위해 MAC 스케줄링에 대한 연구가 필요하게 되었고, 최근 여러 가지 MAC 스케줄링 방법이 제안되고 있다 [2]-[6].

큐 상태기반 스케줄링 알고리즘 [2],[3]에서는 큐 상태 정보를 이용하여 각 쌍의 클래스(class)를 나누고 적절한 우선순위를 주어 전송 순서를 결정하여 효율을 높이는 방식이다. 그러나 제안한 방식 중 P P 방식 [2],[3]은 형평성을 고려하지 않았고, KFP [2],[3]의 경우는 데이터 트래픽의 특성에 따라 성능이 좌우되며 각 기기별 요구하는 QoS는 수용하지 못하는 단점이 있다. [4],[5]에서는 블루투스의 저전력 모드를 이용한 스케줄링 방식이 제안되었으며, 전송한 데이터 양에 따라 적절한 저전력 모드로의 변환을 이용하는 방식으로 전력 및 무선자원의 효율적 활용이라는 장점이 있지만 모드 변환 시 야기되는 오버헤드가 문제가 된다.

따라서 본 논문에서는 기존에 제안된 방법을 개선할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 마스터-슬레이브 각 쌍의 큐 상태 정보를 이용하여 각 쌍에 대한 효율적인 스케줄링을 통해 수율 측면에서의 향상을 가져올 수 있고, 또한 각 쌍이 요구하는 QoS에 따라 양보할 수 있는 한계값을 차별화하여 형평성 측면 및 각 쌍의 QoS를 반영할 수 있게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 블루투스 시스템의 MAC 스케줄링 방식을 검토해 보고, 3장에서는 기존 방법에서의 문제점을 해결하기 위해 제안한 알고리즘에 대해 설명하였다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안된 방법과 기존의 방법에 대한 성능분석을 수행하였고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

## II. 블루투스 MAC 스케줄링

마스터가 전송을 해야만 슬레이브는 전송할 수 있는 기회를 얻기 때문에 블루투스 시스템에서 스케줄링 방식은 마스터 중심으로, 마스터-슬레이브 쌍을 기본 단위로 이루어 지게 된다 (그림 1 참조).

기본적인 스케줄링 기법으로는 라운드 로빈 방식을 적용할 수 있다. 피코넷을 이루고 있는 마스터와 슬레이브들의 쌍에 대해 균일하게 한번씩 폴링(polling)의 기회를 부과하는 방법이다. 그러나 각 쌍은 전송할 데이터의 양이 다른 쌍들보다 많을 수도 있고, 적을 수도 있다는 것을 고려하지 않았기 때문에 전송할 데이터가 없는 쌍도 데이터 전송에 사용되는 슬롯을 균일하게 할당을 받기 때문에 할당 받은 슬롯을 데이터가 없는 POLL-NULL 패킷을 전송하는데 사용하게 된다. 비록 형평성 측면에서는 최적

의 성능을 보이지만 슬롯에 대한 낭비를 초래하며, 이는 전체 시스템에 대해 성능을 저하시키므로 라운드 로빈 방식은 다양한 전송률을 요구하는 블루투스 시스템에서는 적합하지 않은 방법이다.

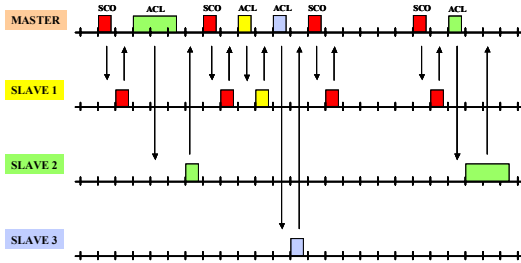


그림 1. 블루투스에서의 데이터 전송

따라서 각 쌍마다의 요구되는 전송률을 반영한 효율적인 새로운 스케줄링 방식이 요구되며, 저가, 저전력이라는 블루투스의 장점을 유지하기 위해서는 그 구조가 간단해야 할 것이다. 부족한 무선 자원에 대한 효율적인 활용을 위해 블루투스를 위한 다양하고 효율적인 MAC 스케줄링 방식이 제안되었다 [2]-[6]. 큐 상태 정보를 이용한 큐 상태 기반 스케줄링 알고리즘 [2],[3]에서는 전송되는 패킷의 여유 비트를 이용하여 큐 상태 정보를 교환하게 하고 이를 바탕으로 전송할 데이터가 있는 쌍을 우선적으로 폴링하는 방식이다. 우선 각 마스터-슬레이브 쌍의 링크사용정도에 따라 클래스를 나누고 이에 대해 적절한 우선순위를 주어 전송을 하며, 서비스 기회의 형평성을 보장하기 위해  $K$ 라는 서비스 기회 차이의 한계값을 설정하였다. [4],[5]에서는 전송할 데이터의 양에 따라 적절한 저전력 모드로의 변환을 통해 슬롯을 효율적으로 배분하는 방법을 제안하였다. 하지만 이 경우는 트래픽 특성이 시간에 따라 동적으로 변한다면 적절한 저전력 모드로의 전환에 있어 잦은 시그널링이 필요하게 되어 오버헤드를 야기하며, 트래픽 특성을 무시한 채 특정모드로 임의로 변환시켜 모드를 유지한다면 슬롯 손실이 발생하게 된다. 그리고 큐 상태기반 알고리즘 [2],[3]에서 PP는 수율 측면만 고려하고 형평성에 대해서는 고려하지 않았으며 수율과 형평성을 동시에 보장하기 위한 방법인 KFP의 경우 트래픽이 동적으로 변화하는 경우 수율 및 형평성이 보장되지만, 데이터 트래픽의 특성이 시간에 따라 변하지 않고 일정하다면 형평성을 보장하기 위해 양보를 제한한 한계값  $K$  이후에는 시스템이 라운드 로빈 방

식으로 동작하게 되어 서비스 시간이 길어질수록 성능이 저하되는 현상이 나타나게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 제안된 Classified KFP [6]의 경우도 양보를 제한한 한계값  $K$  이후 카운터 값을 1씩 올려주어 시스템이 라운드 로빈 방식으로 동작하는 것을 억제하려 했으나, 한계값 이후에는 양보와 자신의 서비스를 교대로 시행하게 되어 서비스된 슬롯이 증가함에 따라 성능이 떨어지게 된다. 또한 양보할 수 없을 경우 1씩 카운터 값을 임의로 올려주기 때문에 서비스 시간이 길어짐에 따라 전체 카운터 값의 합은 계속 증가하게 되는 문제점도 가지게 된다.

그러므로 블루투스 시스템의 시간슬롯을 효율적으로 이용하기 위한 간단하고 효과적인 MAC 스케줄링이 필요하게 되었고, 이 논문에서는 기존에 제안된 블루투스 MAC 스케줄링 알고리즘의 문제점을 해결하면서 각 쌍에 대해 차별화된 서비스를 제공할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 각 쌍에 대해 차별화된 서비스가 가능하기 때문에 각 쌍이 요구하는 QoS도 만족시킬 수 있는 방법이다.

### III. M-KFP (Modified KFP)

이 장에서는 피코넷에서의 효과적인 데이터 트래픽의 흐름을 위한 스케줄링 방법을 제안한다. 이 방식은 큐 상태를 기반으로 한 알고리즘으로 마스터는 자신의 큐 상태는 알고 있지만 슬레이브의 큐 상태는 알 수 없다. 그러므로 슬레이브는 자신에게 전송할 순서가 되었을 때 전송하는 데이터 패킷 안에 있는 여유비트를 이용하여 현재 큐 상태정보를 마스터에게 알리게 된다. 마스터는 이 정보를 이용하여 마스터-슬레이브 각 쌍에 대한 큐 정보를 모두 알게 되고 이를 이용하여 각 큐의 사용률을 계산하여 각 쌍을 클래스로 나누게 된다. 예를 들어, 하나의 SCO 링크(link)가 존재한다고 가정하자. 만약 마스터 큐의 HOL (Head Of Line)에 3 슬롯 크기의 패킷이 있고 슬레이브 큐의 HOL에 1 슬롯 크기의 패킷이 존재한다면 이 마스터-슬레이브 쌍은 할당된 링크를 100% 사용하게 된다. 이렇게 할당된 링크를 100% 다 사용하는 경우에 가장 높은 클래스를 부여한다. 만약 마스터 큐의 HOL에 3 슬롯 크기의 패킷이 있지만 슬레이브는 전송할 데이터가 없다면 이는 할당된 링크에 대해 75%만 사용하게 되는 것

이다. 이런 경우에는 두 번째 클래스를 부여한다. 마찬가지로 마스터, 슬레이브 중 한쪽에만 1 슬롯 크기의 패킷이 존재하고 다른쪽은 전송할 데이터가 없다면 이는 50%의 링크 사용률을 보이므로 세 번째 클래스를 부여하게 된다.

제안한 방식에서는 기존의 큐 상태 기반 알고리즘과 마찬가지로 각 큐의 상태에 따라 클래스를 다르게 부여하여 높은 클래스를 가진 쌍이 우선적으로 전송을 할 수 있도록 하였다. 낮은 클래스를 가진 쌍은 높은 클래스를 가진 쌍에게 자신이 전송할 수 있는 기회를 양보하게 된다. 각 쌍은 카운터를 가지고 있어 자신의 순서에 다른 쌍에게 서비스 기회를 양보하게 되면 카운터를 1씩 감소시키고, 서비스 기회를 양보받은 쌍은 카운터를 1씩 증가시킨다. 따라서 전송할 데이터가 많은 쌍은 다른 쌍으로부터 양보를 자주 받게 되므로 카운터 값이 증가하게 되고, 전송할 데이터가 적은 쌍은 시간이 지남에 따라 카운터 값이 감소하게 된다. [2],[3]에서는 최대 카운터를 가진 쌍과 최소 카운터를 가진 쌍의 카운터 값의 차를 이용하여 그 차가 일정한 한계값을 초과하면 더 이상 양보하지 않는다. 이와 같은 방법에서는 특정 쌍에 의해 전체 시스템의 양보 가능 여부가 결정되어 최대, 최소 카운터를 가진 것이 아닌 다른 쌍들도 이 결과에 따라야 하므로 효율적인 스케줄링을 할 수 없다. 그러므로 제안한 방법에서는 각 쌍별로 양보에 대한 한계값을 주어 가장 큰 카운터값과 각 쌍의 카운터 값과의 차와 한계값을 비교함으로써 특정 쌍에 의해 전체 시스템의 성능이 좌우되지 않고 양보여부를 결정할 수 있도록 하였다. 게다가 각 쌍별 한계값을 다르게 줌으로써 각 쌍마다 양보할 수 있는 횟수에 차별을 둘 수 있다. 다시 말하면, 데이터 전송량이 적고, 데이터에 대해 지연이 발생해도 큰 상관없는 쌍에 대해서는 큰 한계값을 주어 많은 양보를 할 수 있도록 하였고, 데이터 지연에 민감한 쌍에 대해서는 한계값을 작게 주어 양보를 많이 할 수 없도록 하였다. 만약 거의 실시간으로 데이터가 전송되기를 요구하는 쌍에 대해서는 한계값을 0으로 준다면 자신의 서비스 순서에 다른 쌍이 아무리 높은 클래스를 가지고 있다고 하더라도 양보를 하지 않고 자신이 서비스를 하게 된다. 따라서 각 쌍마다 다른 한계값을 주는 방법으로 각 쌍별 QoS를 지원할 수 있다.

블루투스 시스템의 LMP (Link Manager Protocol)에서는 각 기기의 QoS에 대한 요구를 수용하기 위해 LMP\_quality\_of\_service 메시지를 이용하여

최대 폴링 간격(Tpoll)과 재 전송 횟수(NBC)를 정하게 된다. 최대 폴링 간격은 마스터가 피코넷안에 있는 슬레이브에게 최소한 한번은 폴링을 해줘야 하는 시간으로 각 기기에서 사용하는 애플리케이션(application)에 따라 최대 폴링 간격은 다르게 된다. 각 쌍에게 할당되는 한계값은 최대 폴링 간격에는 비례하고, 피코넷을 구성하고 있는 슬레이브 수에는 반비례해야 하므로, 본 논문에서 제안한 알고리즘에서 각 쌍에 할당되는 한계값은 각 쌍의 최대 폴링 간격을 피코넷을 구성하고 있는 슬레이브의 수로 나눈 값을 넘지 않는 최대 정수 값으로 정한다.

$$K_i = \left\lceil \frac{T_{poll,i}}{n} \right\rceil \quad (1)$$

(n: 피코넷을 구성하고 있는 슬레이브 수)

또 연결된 상태에서도 자신이 요구하는 QoS의 변화를 전송되는 패킷을 이용하여 마스터에게 알리면 한계값을 조정할 수 있다.

제안된 방법에서는 각 쌍의 양보에 대한 한계값을 기존 방법보다 작게 부여하였다. 기존방법에서는 처음 시작 시점에서 전송할 데이터가 없어서 낮은 클래스를 가진 경우, 슬레이브에 새로 전송할 데이터가 발생하여도 이를 알려줄 방법이 없으므로 자신의 서비스 기회를 높은 클래스를 가지고 있는 다른 쌍에게 양보를 계속하게 된다. 그러므로 새로 발생한 데이터를 전송하기 위해서는 기존 방법에서 효율을 높이기 위해 크게 잡았던 한계값 K 만큼의 양보가 이루어진 후이나 전송이 이루어진다. 이는 초기에 낮은 클래스를 가지고 있는 쌍에 대해 큰 패킷 지연을 유발하게 되므로 각 쌍에게 작은 한계값  $K_i$  (i 번째 쌍에게 부여되는 한계값)를 부여 한다면 자신의 큐 상태를 알릴 수 있는 기회가 자주 발생하기 때문에 지연측면의 성능이 향상된다.

또 기존 방법에서는 가장 큰 카운터 값을 가진 쌍과 가장 작은 카운터 값을 가진 쌍과의 카운터의 차가 한계값에 도달한 이후에는 시스템이 더 이상의 양보 없이 라운드 로빈과 같이 각 쌍의 데이터를 전송하게 된다. 이는 서비스 시간이 길어짐에 따라 시스템의 수율(throughput)은 떨어지게 된다. 이러한 시스템 수율의 감소를 방지하기 위해, 클래스가 낮거나 혹은 전송할 데이터가 없는 경우에도 한계값에 도달하여서 서비스를 하는 경우, 서비스하는 쌍의 카운터값(counter)을 자신이 가지고 있는  $K_i$

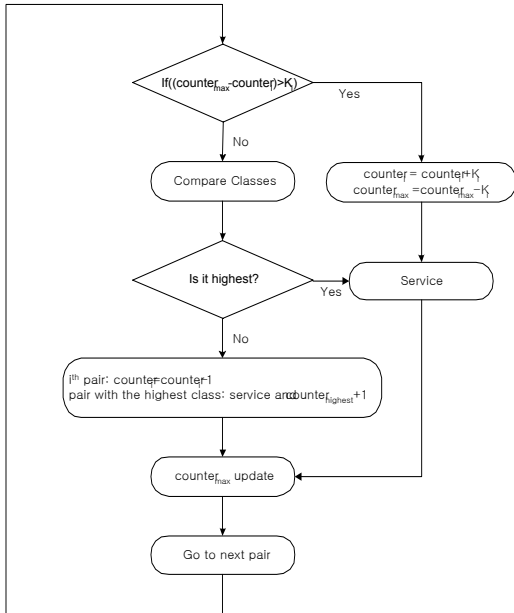


그림 2. 제안한 M-KFP

만큼 올려준다. 또 전체 쌍의 카운터 값의 합을 0으로 유지하기 위해 가장 높은 카운터를 가지고 있는 쌍의 카운터 값(counter\_max)을 양보의 한계값에 도달한 쌍의  $K_i$  만큼 내려줌으로써 한계값에 도달한 이후 계속적으로 라운드 로빈 형태의 서비스를 하는 것을 막을 수 있다. 이 방법으로 기존방식의 서비스된 슬롯수가 증가함에 따라 나타나는 성능의 저하를 막을 수 있다. 그러나 제안한 방식은 현재 블루투스 spec.에 언급되어있는 라운드 로빈 방식에 비해 복잡한 알고리즘이며, 기존의 큐 상태기반 알고리즘에 비해서도 약간의 복잡성이 추가된다. 그러나 블루투스의 차기 표준안에서 중요하게 거론되는 QoS를 보장하기 위해서는 반드시 필요한 부분으로 생각된다. 위에서 설명한 방식의 MAC 스케줄링 기법을 M-KFP (Modified KFP)라고 명명하였고, 그림 2에서 그 과정을 도시하였다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 설정한 피코넷은 1개의 마스터와 5개의 슬레이브로 구성하였고 각 기기의 데이터 발생은 MP (Markov Process)와 이진 상태의 MMPP (two-state Markov Modulated Poisson Process)과정을 통해 생성하였다. 본 논문에서의 시뮬레이션 환

경은 특정한 기기의 트래픽 특성을 고려하지 않고, 일반적으로 각 기기가 전송할 데이터량이 다르다고 가정하여 각 링크별로 전송할 데이터량이 다른 경우를 고려하였다. MP는 지속적으로 같은 전송할 데이터량을 생성하는 기기를 나타내고, MMPP는 전송할 데이터량이 순간순간 달라지는 기기를 나타낸다. 데이터는 1, 3, 5 슬롯 크기의 패킷이 생성되도록 하였고, 표 1은 각 쌍의 큐에 데이터가 생성되는 분포를 나타내고 표 2는 각 쌍별 한계값을 나타낸다.

KFP의 경우 형평성을 지원하기 위한 K값을 500으로 설정하였고, M-KFP의 경우 데이터 발생이 가장 적은 3번째 쌍은 다른 쌍에 비해 큰 최대 폴링 간격을 가지고 있는 경우로 가정하여 한계값 K3을 30으로 하였고, 나머지 쌍의 한계값은 20으로 하였다.

그림 3는 전송된 슬롯의 증가에 따른 수율의 변화를 나타내고 있다. KFP의 경우 큰 K값을 주었지만 양보의 횟수가 한계값인 K를 넘은 경우, 라운드 로빈과 같은 형태로 서비스가 이루어지기 때문에 성능이 지속적으로 하락하게 된다. 반면 M-KFP의 경우는 양보의 횟수가 한계값 K를 넘은 경우도 카운트의 변화를 통해 라운드 로빈과 같은 형태로 서비스가 진행되는 것을 막아주기 때문에 서비스된 시간이 길어져도 성능의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그림 4의 경우는 패킷이 생성된 시점에서 전송되는 시간까지의 지연에 대해 나타내었다. KFP의 경우 서비스된 시간이 길어질수록 수율이 하락하기 때문에 서비스된 슬롯이 증가함에 따라 지연도 증가하게 된다. 따라서 M-KFP는 기존의 방식에 비해 수율과 지연측면에서 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

표 1. 데이터 트래픽 발생 특성

	M1	S1	M2	S2	M3	S3
process	MP	MP	MP	MP	MP	MP
arrival rate	0.2	0.2	0.1	0.01	0.01	0.01
	M4	S4	M5	S5		
process	MMPP	MMPP	MMPP	MMPP		
arrival rate (transition rate)	0.2/0.01 (0.01)	0.2/0.01 (0.01)	0.2/0.01 (0.01)	0.2/0.01 (0.01)		



표 2. 각 쌍별 한계값

pair <sub>i</sub>	1	2	3	4	5
K <sub>i</sub>	20	20	30	20	20

그림 5, 6은 1개의 SCO 링크가 있는 경우의 성능에 대해 나타내었다. 그림 3, 4의 경우와 마찬가지로 기존의 KFP방식은 서비스가 진행되는 시간이 늘어남에 따라 성능이 급격히 떨어짐을 확인할 수 있다. 반면 제안된 방식인 M-KFP는 서비스된 시간과는 무관하게 지속적인 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 그림 4와 6을 비교해 볼 때, SCO 링크가 존재하지 않는 경우보다 1개의 SCO 링크가 존재할 때 전체 시스템이 가지는 지연성분이 많이 증가함을 알 수 있다. 이는 SCO 링크가 지속적으로 전체 링크의 1/3만큼의 용량을 사용하기 때문이다. 그러므로 블루투스 시스템에서 SCO 링크의 유무는 수율이나 지연에 큰 영향을 미치게 된다.

위의 시뮬레이션 결과에서 확인한 것과 같이 KFP의 경우 기본적인 형태인 라운드 로빈 방법보다 성능을 개선한 방법이지만 서비스된 시간이 길어짐에 따라 문제점을 갖게 된다. 반면 제안한 스케줄링을 이용하면 서비스된 시간에 무관하게 계속 우수한 성능을 유지함을 알 수 있다.

그림 7, 8는 각 쌍의 QoS의 요구조건에 따라 성능의 변화를 관찰하기 위해, 다른 쌍의 한계값은 20으로 고정한 채, 두 번째 쌍의 한계값 K2만을 변화시키면서 성능의 변화를 살펴 보았다. 그림 7은 한계값의 변화에 따른 전체 폴링(polling) 횟수에 대한 각 쌍의 폴링 비율의 변화를 나타내었는데, 모든 쌍의 한계값이 20인 경우를 기준으로 한 후, 두 번째 쌍의 한계값 K2를 5씩 줄여가며 나머지 쌍들과의 한계값의 차이에 따른 폴링 비율의 변화를 나타내었다. 두 번째 쌍의 한계값이 작아질수록 두 번째 쌍이 가지는 폴링 기회는 증가함을 확인할 수 있고, 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 두 번째 쌍에 대한 한계값이 작아질수록 두 번째 쌍에서 생성된 패킷에 대한 전송까지의 지연은 작아짐을 알 수 있다. 그러므로 전송을 할 때 지연에 민감한 기기의 경우 작은 한계값을 할당하게 되면 폴링 간격(interval)을 줄이게 되고, 패킷 지연 시간이 줄어들게 된다. 따라서 각 기기가 요구하는 최대 폴링 간격에 비례하여 한계값을 부여하게 되면 각 기기들의 QoS요구에도 만족할 수 있는 시스템을 만들 수 있을 것이

다.

## V. 결론

이 논문에서는 블루투스 시스템에서의 효율적인 MAC 스케줄링을 위한 방법인 M-KFP 방법에 대해 제안하였다. 정량적 분석을 위한 수학적 모델이 복잡하여 우선 제안한 방식과 기존 방식의 성능을 비교해보기 위한 시뮬레이션을 수행하였고, 제안한 알고리즘에 대한 수학적 분석이 필요하다고 사료되어 수식 분석에 관심을 가지고 연구를 계속 진행하고 있다. 시뮬레이션을 통해 기존의 방법과 성능 비교를 한 결과에서 확인할 수 있는 바와 같이 제안한 M-KFP가 기존 스케줄링 방법보다 수율과 지연면에서 우수함을 알 수 있다. 또한 각 쌍에 대해 양보할 수 있는 한계값을 다르게 부여함을 통해 각 기기가 요구하는 QoS를 고려할 수 있는데, 한계값의 차이는 각 쌍이 가지는 데이터 전송기회를 다르게 하여, 전송할 데이터의 지연을 조절할 수 있다. 그러므로 여러 서로 다른 기기들이 블루투스를 이용한 네트워크에서 다양한 응용에 사용될 때, 제안한 알고리즘은 각 기기가 요구하는 서로 다른 QoS를 만족시킬 수 있는 적합한 MAC 스케줄링 방식이 될 수 있다.

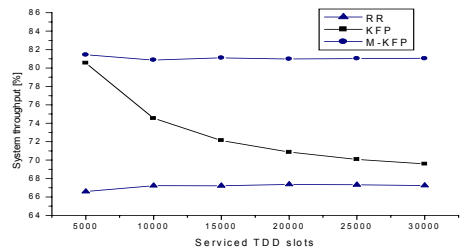


그림 3. 서비스된 슬롯에 대한 수율 (SCO 링크가 없는 경우).

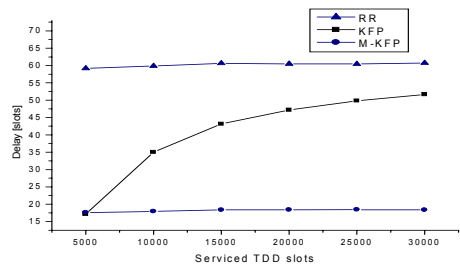


그림 4. 서비스된 슬롯에 대한 지연 (SCO 링크가 없는 경우).

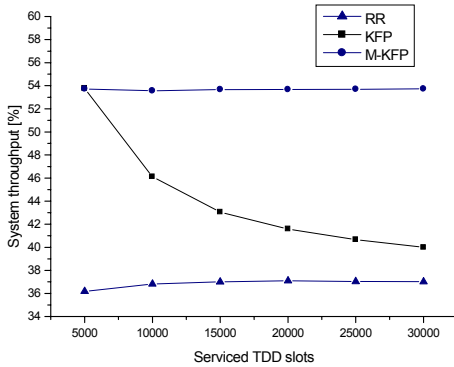


그림 5. 서비스된 슬롯에 대한 수용 (SCO 1개 있는 경우).

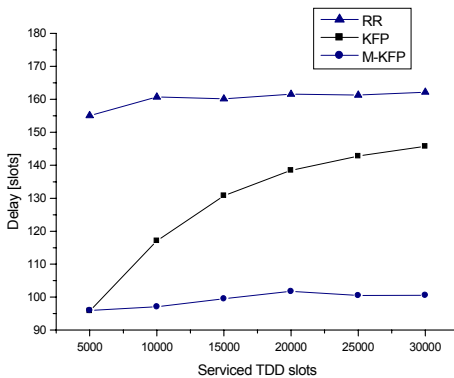


그림 6. 서비스된 슬롯에 대한 지연 (SCO 1개 있는 경우).

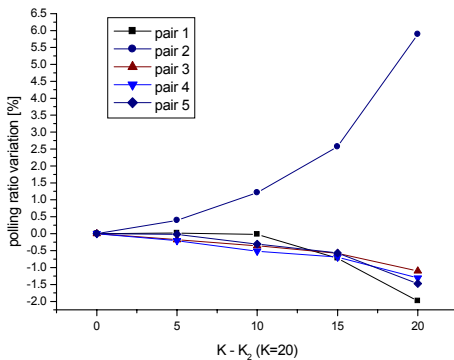


그림 7. 한계값(K<sub>2</sub>)의 변화에 따른 폴링 횟수의 변화.

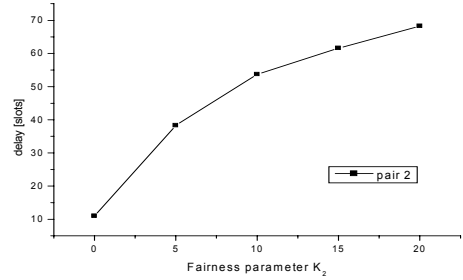


그림 8. 한계값(K<sub>2</sub>)의 변화에 따른 지연의 변화.

### 참고문헌

- [1] Bluetooth Special Interest Group, Specification of the Bluetooth System V version 1.1B, Specification Vol. 1&2, Feb. 2001.
- [2] M. Kalia, D. Bansal and R. Shorey, "MAC Scheduling and SAR Policies for Bluetooth: A Master Driven TDD Pico-Cellular Wireless System," in Proc. of MoMuC, pp.384-388, 1999.
- [3] M. Kalia, D. Bansal and R. Shorey, "Data Scheduling and SAR for Bluetooth MAC," in Proc. of IEEE VTC, pp.716-720, 2000.
- [4] M. Kalia, S. Garg and R. Shorey, "Efficient Policies for Increasing Capacity in Bluetooth: An Indoor Pico-Cellular Wireless System," in Proc. of IEEE VTC, pp.907-911, 2000.
- [5] S. Garg, M. Kalia and R. Shorey, "MAC Scheduling Policies for Power Optimization in Bluetooth: A Master Driven TDD Wireless System," in Proc. of IEEE VTC, pp.196-200, 2000.
- [6] 권오석, 주양익, 오종수, 김용석, 이태진, 차균현, "블루투스 시스템을 위한 링크별 QoS 지원 MAC 스케줄링 기법," 한국통신학회 하계종합학술발표회논문집, 2002.
- [7] A. Capone, M. Gerla and R. Kapoor,

"Efficient Polling Schemes for Bluetooth Picocells," in Proc. of IEEE ICC, pp.1990-1994, 2001.

- [8] S. Chawla, H. Saran and M. Singh, "QoS Based Scheduling for Incorporating Variable Rate Coded Voice in Bluetooth," in Proc. of IEEE ICC, p.p.1232-1237, 2001.

오 종 수(Jong-Soo Oh)

준회원



2001년 2월 고려대학교 전자공학과 학사  
 2003년 2월 고려대학교 전자공학과 석사  
 2003년 2월~현재 LG전자

<관심분야> 블루투스, 무선 PAN

주 양 익(Yang-Ick Joo)

준회원



1998년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사  
 2000년 8월: 고려대학교 전자공학과 석사  
 2000년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> OFDM, 블루투스, ad hoc 네트워크, 무선 PAN

권 오 석(Oh-Seok Kwon)

준회원



2001년 8월: 고려대학교 전기전자전파공학부 학사  
 2001년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 블루투스, 무선 PAN

김 용 석(Yong-Suk Kim)

준회원



1989년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사  
 1995년 2월: 경기대학교 멀티미디어 통신공학 석사  
 1998년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 박사과정  
 1989년 3월~현재: 삼성전자

<관심분야> 블루투스, 무선 PAN/LAN, ad hoc 네트워크

이 태 진(Tae-Jin Lee)

정회원



1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 학사  
 1991년 2월: 연세대학교 전자공학과 석사  
 1995년 12월: University of Michigan, Ann Arbor(M.S.E.)  
 1999년 5월: University of Texas, Austin(Ph.D.).

1999년 8월~2001년 2월: 삼성전자 책임연구원  
 2001년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 블루투스, WPAN/WLAN, 광네트워크

차 균 현(Kyun-Hyon Tchah)

종신회원



1965년 2월: 서울대학교 전기공학과 학사  
 1967년 6월: 미국 일리노이 공과대학 석사  
 1976년 6월: 서울대학교 전자공학과 박사  
 1977년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 교수

1998년 1월~1998년 12월: 한국통신학회 회장  
 2000년 5월~현재: IEE Fellow

<관심분야> 블루투스, WPAN/WLAN, 차세대 이동통신 시스템