DBpia

블루투스 시스템에서의 효율적 무선자원관리를 위한 MAC 스케쥴링 기법

정회원 주양익*, 권오석**, 오종수***, 김용석****, 이태진*****, 엄두섭*, 차균현*

MAC Scheduling Algorithm for Efficient Management o Wireless Resources in Bluetooth Systems

Yang-Ick Joo*, Oh-Seok Kwon, Jong Soo Oh***, Yongsuk Kim****, Tae-Jin Lee*****, Doo Seop Eom* and Kyun Hyon Tchah*** *Regular members*

요 약

본 논문에서는 블루투스(Bluetooth) 시스템에서의 각 마스터-슬레이브 쌍(Master-Slave pair)에 대한 수율(throughput)과 지연(delay), 즉 형평성(fairness) 측면 모두를 고려한 효율적인 QoS (Quality of Service) 기반 MAC (Medium Access Control) 스케쥴링(scheduling) 알고리즘을 제안한다. 특히 기존에 제안한 T-D PP (Throughput-Delay Priority Policy) 방식[6]의 단점을 보완하여 이에 대한 성능 개선이 이루어진 수정된 T-D PP 방식, 즉 MTDPP (Modified T-D PP) 알고리즘을 제안한다. 블루투스가 마스터 중심의 TDD (Time Division Duplex) 방식으로 동작하며 기본적으로 라운드로빈(Round Robin) 방식의 스케쥴링을 수행하므로 전송할 큐(queue)에 데이터가 없는 경우에도 POLL 및 NULL 패킷(packet)으로 인한 슬롯(slot) 낭비가 발생한다. 이러한 링크 낭비 문제를 해결하기 위해 많은 알고리즘들이 제안되어 왔고, 그 중 큐 상태 기반 우선순위(priority) 방식과 저전력 모드(low power mode) 기반의 알고리즘이 비교적 좋은 성능을 보인다. 하지만 이들은 트래픽(traffic) 특성에 따라 일정하지 않은 성능을 나타내며, 추가적인 계산과정과 시그널링(signaling) 오버헤드(overhead)가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 높은 수율과 낮은 지연을 보장하는 새로운 알고리즘을 제안하며, 시뮬레이션 결과를 통해 적절한 파라미터(parameter)의 선택이 기존의 방식에 비해 전반적인 성능의 향상을 가져옴을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient and QoS-aware MAC scheduling algorithm for Bluetooth, which considers both throughput and delay performance of each Master-Slave pair in scheduling decisions, and thus, attempts to maximize overall performance. The proposed algorithm, MTDPP (Modified Throughput-Delay Priority Policy), makes up for the drawbacks of T-D PP (Throughput-Delay Priority Policy) proposed in [6] and improves the performance. Since Bluetooth employs a master-driven TDD based scheduling algorithm, which is basically operated with the Round Robin policy, many slots may be wasted by POLL or NULL packets when there is no data waiting for transmission in queues. To overcome this link wastage problem, several algorithms have been proposed. Among them, queue state-based priority policy and low power mode-based algorithm can perform with high throughput and reasonable fairness. However, their performances may depend on traffic characteristics, i.e., static or dynamic, and they require additional computational and signaling overheads. In order to tackle such problems, we propose a new scheduling algorithm. Performance of our proposed algorithm is evaluated with respect to throughput and delay. Simulation results show that overall performances can be improved by selecting suitable parameters of our algorithm.

*고려대학교 전자공학과 (yiju@korea.ac.kr), **펜택&큐리텔 중앙연구소, ***LG전자 GSM단말연구소
****삼성종합기술원 i-Networking Lab., *****성균관대학교 정보통신공학부
논문번호: 020419-1004, 접수일자: 2002년 10월 4일

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.

1. 서 론

블루투스는 2.4 GHz 대의 비허가 ISM 대역(unlicensed Industrial Scientific Medical band)을 이용하여 저전력, 저가의 특성을 갖는 좁은 영역에서의 무선 통신 기술로서, 각 전자 기기들 간의 연결 케이블(cable)을 대체하기 위한 방안으로 제안된 기술이다. 이와 같은 무선 개인 통신망 기술(WPAN: Wireless Personal Network)은 동종 및 이종 기기들간의 무선 채널을 통한 효율적 연결을 제공함으로써 다양한 분야에서 큰 관심을 모으고 있으며, 특히 노트북, PDA, 이동전화, 헤드셋(headset) 등 다양한 기기들간의 유기적인 연결을 제공할 것으로 기대되고 있다.

블루투스는 TDD 방식을 기반으로 하며 마스터-슬레이브 구조를 갖는다. 슬레이브는 반드시 마스터가 전송한 직후의 슬롯에서만 전송이 가능하며, 마스터는 짝수번째 슬롯, 슬레이브는 홀수번째 슬롯을 사용하도록 할당되므로 블루투스 시스템의 MAC 스케쥴링은 항상 마스터-슬레이브 쌍을 단위로 이루어진다. 마스터의 폴링(polling)을 통해서 슬레이브에 대한 스케쥴링이 이루어지므로 블루투스 시스템의 MAC 스케쥴링 방식의 성능을 향상시키기 위해서는 마스터가 슬레이브의 상태를 적절히 고려하여 스케쥴링하여야 할 것이다. 기본적인 라운드로빈 스케쥴링 방식에서는 전송할 데이터가 없는 경우에 있어서도 각 슬레이브가 한번씩 동일하게 전송 기회를 갖게 되므로 많은 슬롯의 낭비가 예상되고 따라서 이는 적절한 스케쥴링 방안이라 하기 어렵다.

최근 들어 블루투스를 위한 다양한 효율적인 스케쥴링 방안이 연구되고 있다. [2], [3]에서는 마스터와 슬레이브의 큐 상태를 기반으로 한 KFP (K-Fairness Policy) 스케쥴링 알고리즘이 제안되었는데, 각 마스터-슬레이브 쌍의 링크 사용정도에 따라 클래스를 나누고 이에 대해 적절한 우선순위를 주어 스케쥴링하며 서비스가 특정 마스터-슬레이브 쌍에 치우치지 않도록 형평성을 유지하기위해 서비스를 제공받는 기회의 차이를 일정한 값, K로 제한하는 방식이다. 한편 [4], [5]에서는 블루투스의 저전력 모드를 이용하여 슬롯을 효율적으로 배분해주는 방식이 제안되었다. 하지만 일정 시간동안 특정 모드로 전환해서 그 모드를 유지하게 되므로, 데이터 트래픽 발생이 동적으로 변화하는 경우 지속적으로 좋은 성능을 보이기 어렵고, 모드 변환에 있어서의 시그널링의 오버헤드가 매우 큰 단점이 있다. [2], [3]에 있어서도 우선순위의 결정이 링크 사용정도에 따라 즉 수율 측면에서의 우선순위만이 고려되었고, 형평성을 보장하기 위한 다른 방안이 추가되어야 하며, 형평성을 보장하기 위한 한계값에 도달한 이후의 성능이 데이터 트래픽의 발생 빈도에 따라 일정하지 않은 성능을 보이므로 비효율적인 측면이 있다. 따라서 [6]에서 우선순위에 의한 스케쥴링을 제공함에 있어서 우선순위를 결정할 때 간단한 수식을 통해 수율 측면 뿐 아니라 각 마스터-슬레이브 쌍의 지연 측면까지 고려하여 스케쥴링의 효율성과 형평성을 동시에 보장하는 방안을 제안한 바 있다. 하지만 [6]에서는 제안한 방식에서의QoS 지원을 위한 세부적인 방안이 제시되지 못하였고, 또한 그 성능을 구체적으로 평가하지 못하였으므로 본 논문에서는 [6]에서 제안한 T-D PP 방식을 보다 구체화하며 보다 나은 성능을 제공하기 위해 수정된 T-D PP (Modified T-D PP: MTDPP) 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 블루투스 시스템의 MAC 스케쥴링 방식을 검토해 보고, 3장에서는 이에 대한 문제점을 극복하기 위한 기존에 제안한 T-D PP 방식과 그에 대한 문제점들에 대해 기술될 것이며, 4장에서 T-D PP 방식의 문제점들을 극복하기 위해 제안한 알고리즘이 설명될 것이다. 5장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 제안한 알고리즘에 대한 성능분석과 기존의 알고리즘과의 성능 비교가 수행되고, 끝으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 블루투스 MAC 스케쥴링 방식

블루투스에서의 MAC 스케쥴링 방식을 그림 1에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 블루투스에서의 스케쥴링의 주체, 즉 스케쥴러(scheduler)는 마스터가 되며, 마스터는 슬레이브로의 데이터 전송을 짝수번째 슬롯에서 할 수 있고, 이 슬롯 직후 슬레이브의 데이터 전송을 유도할 수 있다. 따라서 기존의 라운드로빈 방식을 스케쥴링 방식으로 채택하게 될 경우, 전송할 데이터가 없는 경우에도 블루투스의 스케

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.

폴링은 마스터-슬레이브 쌍을 단위로 이루어지게 되므로 불필요한 슬롯 할당으로 인한 무선자원의 낭비가 발생하게 되어 바람직하지 못한 방식이라 할 수 있다. 즉 마스터의 전송에 의해 슬레이브의 전송이 유도되는 블루투스의 특성은 서로 전송할 데이터가 없는 상황에서도 규칙적인 폴링과 응답을 위해 POLL-NULL 패킷이 교환되어야 하므로 슬롯의 낭비를 초래하게 되고 결과적으로 시스템 성능을 떨어뜨리게 된다. 그러므로 블루투스 시스템에서 라운드로빈 방식은 적합한 MAC 스케쥴링 방식이라 할 수 없다.

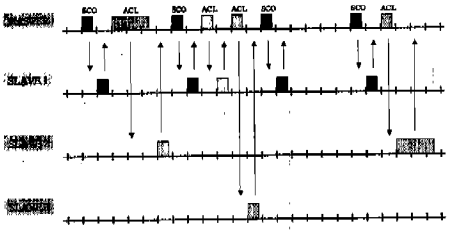

그림 1. 블루투스 시스템의 MAC 스케쥴링 방식.

따라서 블루투스와 같은 마스터 중심의 TDD 시스템에 대한 새로운 스케쥴링 방식이 요구되며, 이 방식은 블루투스의 저가, 저전력이라는 특성을 유지할 수 있도록 간단해야 할 것이며, 할당된 슬롯이 최대한 효율적으로 사용될 수 있도록 스케쥴러가 각 쌍의 큐 상태를 고려하여 서비스 기회를 할당할 수 있어야 할 것이다.

3. T-D PP 방식 [6]

T-D PP (Throughput-Delay Priority Policy) 방식 [6]은 우선순위를 결정하는 방식에 있어 식(1)과 같은 수식을 기반으로 하여 수율 측면에서의 효과적인 스케쥴링과 함께 보다 간단히 서비스의 형평성을 고려하여 지연 측면에서의 성능을 향상시킬 수 있다.

$$P=\alpha T+(1-\alpha)D \qquad (1)$$

여기서 T는 수율을 향상시키기 위해 마스터-슬레이브 쌍의 큐 상태를 기반으로 결정된 우선순위 값으로 [2], [3]에서와 마찬가지로 각 마스터-슬레이브 쌍의 큐 상태를 관찰하여 현재 할당된 슬롯에 대한 사용할 슬롯의 활용정도를 기준으로 결정된 클래스를 통하여 할당된다. 예를 들어 1, 3, 5 슬롯 크기의 패킷 전송을 가정한다면, SCO (Synchronous Connection Oriented) 링크가 없는 경우, 마스터와 슬레이브 모두 데이터가 있는 경우에는 슬롯 활용도가 100%로 가장 높은 클래스가 할당될 것이고, 마스터에는 전송할 데이터가 없고, 슬레이브만이 5 슬롯 크기의 전송할 패킷을 갖는다면, 하나의 POLL 패킷과 5 슬롯 크기의 패킷이 전송되므로 5/6, 즉 약 83.3%의 슬롯 활용도를 가지므로 두번째로 높은 클래스가 될 것이다. 이와 같은 방식을 통해 각 클래스별로 우선순위가 결정된다.

D는 지연 측면을 고려하기 위해 반영된 파라미터(parameter)로, 각 마스터-슬레이브 쌍마다 카운터(counter)를 두어 서비스를 다른 마스터-슬레이브 쌍에 양보하거나 양보받은 경우 그 횟수를 계산한 값이며, 양보한 경우에는 그 값이 증가되며 양보를 받은 경우 그 값을 감소시킨다. α는 수율과 지연에 대한 시스템 성능에 대한 가중치를 나타내는 파라미터로 이 값이 크면 수율 측면의 성능을 보다 고려하여 우선순위를 할당하게 되고, 이 값이 작으면 지연 및 형평성 측면의 성능을 보다 고려하여 우선순위를 할당하게 된다. 따라서 P는 각 어플리케이션마다의 특성에 적합한 α를 적용하여 전체적인 성능의 향상을 도모할 수 있다. 예를 들어, 폴링 주기(polling interval)가 긴 경우 α를 상대적으로 작은 값으로 설정하고, 짧은 경우에 상대적으로 큰 값으로 설정하여 폴링 주기에 대한 요구사항을 충족시킬 수 있다. 다시 말해서 폴링 주기 등과 같은 QoS 파라미터들을 제안된 알고리즘의 파라미터에 대응시킴으로써 시스템 전반의 성능을 제어하는 것이 가능하다.

하지만 T-D PP 방식의 경우 서비스 시간이 길어짐에 따라 서비스 기회를 많이 양보한 쌍의 카운터(D)의 값이 증가하게 되고, 이로 인해 전송할 데이터 양에 의해 결정된 클래스를 반영하는 T값이 전체 P값에 제대로 영향을 미치지 못하게 되어 적절치 못한 스케쥴링이 이루어지게 된다. 따라서 일정 시점 이후로는 클래스에 의한 T의 영향보다 D의 영향이 상대적으로 크게 증가하여 스케쥴링의 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 또한 카운터 값이 서비스 기간 중에 계속

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.

해서 증가하게 되므로, 그 한계값에 대한 설정 및 리셋(reset)되는 경우의 문제점을 극복해야 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 T-D PP 방식의 몇 가지 단점을 극복한 MTDPP (Modified Throughput-Delay Priority Policy) 방식을 제안하고자 하며, 다음 장에서 그 알고리즘이 설명될 것이다.

4. MTDPP 방식

MTDPP 방식은 기본적인 동작은 T-D PP 방식과 동일하다. 하지만, T-D PP 방식에서의 서비스 시간이 길어질수록 발생하는 카운터 값, D에 대한 문제점을 해결하기 위하여 각 마스터-슬레이브 쌍의 트래픽 발생 특성에 따라 카운터 변화량의 적절한 단계값을 $step_i$라는 값으로 각 쌍마다 서로 다르게 할당하여, D의 지속적인 증가로 인한 잘못된 폴링으로 인한 서비스 기회의 낭비를 방지하며, 뿐만 아니라 카운터의 증가와 감소의 크기를 동일하게 설정하여 서비스 시간이 길어지더라도 카운터 값이 무한정 증가하지 않고 일정 수준을 유지할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 이 단계값, $step_i$ 역시 각 쌍마다의 트래픽 특성에 따라 다르게 줄 수 있으므로 α와 더불어 QoS 특성을 스케줄링에 반영할 수 있다.

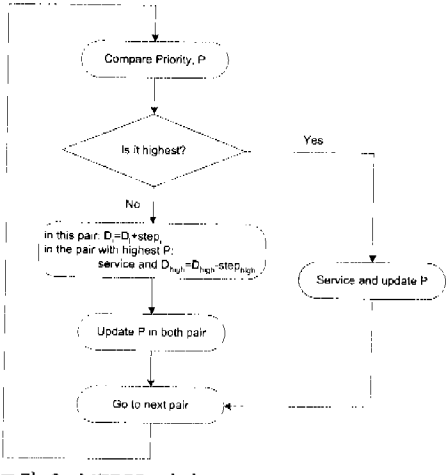

그림 2. MTDPP 방식(Modified Throughput-Delay Priority Policy).

MTDPP 알고리즘을 그림 2에 나타내었으며, 이를 정리하면 다음과 같다. 각 마스터-슬레이브 쌍은 매 슬롯마다 한 쌍씩 라운드로빈 방식으로 관찰되며, 우선순위 P가 높은 마스터-슬레이브 쌍이 우선적으로 서비스된다. 만일 i번째 마스터-슬레이브 쌍의 우선순위가 상대적으로 낮으면 높은 우선순위를 갖는 마스터-슬레이브 쌍에게 서비스 기회를 양보하며 자신의 카운터 값을 자신의 카운터 변화량, $step_i$만큼 증가시키고, 서비스 기회를 양보받은 마스터-슬레이브 쌍의 카운터는 자신의 step만큼 감소된다. 카운터 변화량, $step_i$의 결정은 상대적으로 트래픽 발생량이 많은 마스터-슬레이브 쌍에게는 큰 값을, 상대적으로 트래픽 발생량이 적은 쌍에게는 작은 값을 할당한다. 즉, 짧은 폴링 주기를 갖는 쌍은 자주 폴링되어서 가능한 많은 서비스 기회를 가져야 하므로 카운터 변화량을 크게 하여 서비스 기회를 양보한 경우 D값이 상대적으로 크게 증가하므로 우선순위 P가 증가하게 되어서 서비스 기회를 많이 할당받을 수 있고, 서비스 기회를 양보받은 경우에도 카운터 값의 감소량을 크게 하여 서비스 시간이 길어지더라도 지속적으로 카운터 값이 증가하지 않도록 한다. 카운터 감소량을 작게 설정할 경우 보다 많은 양보를 받을 수 있으므로 효율적이라 할 수 있겠지만, 상대적으로 다른 쌍의 카운터 증가량이 그다지 크지 않으므로 카운터 감소량을 크게 설정하는 것이 오히려 무선자원의 독점을 방지할 수 있는 장점이 된다. 반대로 폴링 주기가 긴 경우에는 카운터 변화량을 작게 하여 불필요하게 자신에게 할당되는 슬롯을 다른 마스터-슬레이브 쌍에게 양보할 수 있도록 하여 시스템의 효율을 향상시킨다. 이러한 단계값의 결정 과정을 표현하기 위해 식 (2)에서 mir (minimum integer ratio) 함수를 정의한다.

$$mir(x_1, x_2, \cdots, x_n) = \frac{L}{x_1} : \frac{L}{x_2} : \cdots : \frac{L}{x_n} \qquad (2)$$

여기서 L은 인수 $x_1 \sim x_n$의 최소공배수를 나타내며, 이 mir 함수는 인수의 역수의 정수비를 나타낸다. 따라서 각 마스터-슬레이브 쌍의 단계값 $step_i$는 폴링 주기, T_{poll}과 식(3)의 과정을 이용하여 결정되며 각 마스터-슬레이브 쌍에 할

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.

당된다.

$$trit(T_{poll,1}, T_{poll,2}, \cdots, T_{poll,n}) = \frac{L}{T_{poll,1}} : \frac{L}{T_{poll,2}} : \cdots : \frac{L}{T_{poll,n}} = step_1 : step_2 : \cdots : step_n \quad (3)$$

그러므로 각 마스터-슬레이브 쌍마다의 적절한 카운터 단계값의 설정과 3장에서 설명된 α를 통해서 서비스 기회에 대한 우선순위의 조절이 가능하므로 각 쌍마다의 QoS 요구사항을 충족시킬 수 있을 것이고, 다음 장에서 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 증명하고자 한다.

5. 시뮬레이션 결과

제안한 알고리즘에 있어서 다양한 환경에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 패킷 크기는 1, 3, 5 슬롯 크기의 패킷을 사용하였고, SCO 링크가 없는 환경에서 성능을 평가하였다. 5개의 마스터-슬레이브 쌍을 가정하였고, 마스터에는 각 슬레이브에 전송할 데이터에 대한 큐가 존재하며[2], [3], 각 마스터-슬레이브 쌍의 데이터 트래픽 발생 특성은 표 1과 같다. [2], [3]에서와 같이 마스터-슬레이브 쌍 1, 2, 3은 정적(static)인 트래픽을 발생시키기 위해 포아송 과정(Poisson process, MP)을 통해 트래픽이 생성되며, 마스터-슬레이브 쌍 4, 5는 동적(dynamic)인 트래픽을 발생시키기 위해 이진상태 MMPP (two-state Markov Modulated Poisson Process)에 의해 트래픽이 발생된다. 마스터-슬레이브 쌍의 큐 상태에 따라서 링크 사용 빈도에 대한 클래스를 구분하였고 이를 통해 적절한 T를 할당하였다. 예를 들어, 마스터-슬레이브 쌍의 큐에 모두 전송할 데이터가 있는 경우 100%의 링크 사용을 나타내므로 가장 높은 클래스를 할당하고, 마스터와 슬레이브 중 한쪽 큐에 5 슬롯 크기의 전송할 패킷이 있고, 나머지 한쪽 큐에는 보낼 데이터가 없는 경우 83.3%의 링크 사용을 나타내므로 두번째로 큰 클래스를 할당하며, 마스터와 슬레이브 모두 전송할 데이터가 없는 경우 가장 낮은 클래스를 할당한다. 1, 3, 5 슬롯 크기의 패킷을 가정한 경우 이러한 방식으로 링크 사용 빈도에 따라 서로 다른 클래스를 각 마스터-슬레이브 쌍마다 할당하여 높은 클래스에 상대적으로 큰 T값을 대응시켰다.

그림 3에서는 α의 수율에 대한 영향을 살펴보기 위해 다양한 α에 대한 각 마스터-슬레이브 쌍의 수율 변화를 도시하였다. 따라서 나머지 쌍들의 α_i값들은 0.5로 고정시킨 채 첫번째 쌍의 α_1만을 변화시켰다. 각 클래스마다 대응되는 T는 각 클래스 별로 높은 클래스부터 차례로 5t, 4t, 3t, 2t, 1 (t=10)로 대응시켰으며, $T_{poll,i}$를 각각 60, 100, 300, 150, 150 슬롯으로 가정하여 $step_i$는 식(3)에 따라 각각 5, 3, 1, 2, 2로 결정하여 20000 슬롯동안 그 성능을 관찰하였다. 첫번째 쌍의 α값만을 변화시키며 수율 변화를 관찰한 결과, α_1이 증가함에 따라 첫번째 쌍의 수율이 증가하였으며 두번째로 트래픽 발생율이 큰 두번째 쌍의 수율 감소가 가장 두드러진다. 나머지 세 쌍의 수율 변화는 이들 세 쌍의 트래픽 발생빈도가 상대적으로 낮으므로 큰 변화를 보이지 않고 일정한 수율을 유지함을 관찰할 수 있다. 따라서 적절한 α의 매핑을 통해 최적의 수율을 얻을 수 있을 것이며, 이는 각 쌍마다의 폴링 주기를 통해 적절히 대응될 수 있을 것이다.

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	0.2	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)

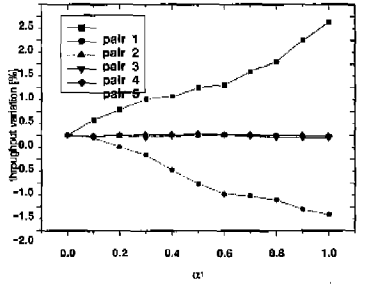

그림 3. 다양한 α_1에 대한 각 쌍의 수율 변화. (α_i = 0.5, i = 2, 3, 4, 5)

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

다음으로 $step_i$의 영향을 살펴보기 위해 그림 4에서는 고정된 α_i들에 대해 $step_i$의 값을 변화시키며 그 성능 변화를 관찰하였다. 그림 3과 동일한 환경에서 α_i를 각 쌍마다 0.6, 0.4, 0.1, 0.3, 0.3으로 고정하고, 첫번째 쌍을 제외한 나머지 단계값 $step_i$를 모두 1로 고정하였다. 첫번째 쌍의 단계값 $step_i$이 증가함에 따라 첫번째 쌍의 성능 향상과 함께 두번째 쌍의 성능 저하가 가장 두드러진다. 그 이유는 가장 트래픽 발생량이 많은 첫번째 쌍에게 상대적으로 많은 슬롯을 할당하게 됨에 따라 두번째로 데이터 발생량이 많은 두번째 쌍에게 할당될 슬롯이 첫번째 쌍에게로 할당되기 때문이며, 나머지 세 쌍의 성능은 비교적 데이터 트래픽 양이 적기 때문에 큰 변화가 없음을 관찰할 수 있다. 따라서 전반적인 성능 향상을 위해서는 두번째 쌍에게도 적절한 단계값이 할당되어야 할 것이다.

그림 3과 4를 통해 MTDPP 알고리즘의 두 가지 주요 파라미터인 α_i와 $step_i$의 조정을 통해 시스템 성능을 조절할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 제안한 알고리즘을 통해서 각 마스터-슬레이브 쌍의 QoS를 보장할 수 있음을 나타낸다.

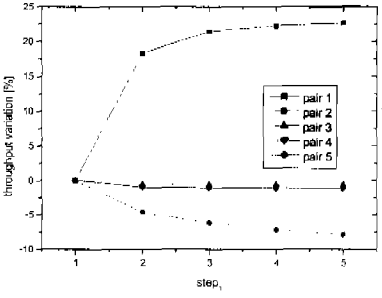

그림 4. 다양한 $step_i$에 대한 각 쌍의 수율 변화. ($step_i$ = 1, i = 2, 3, 4, 5)

그림 5와 6에서는 앞서 관찰한 α_i와 $step_i$의 영향을 토대로 각 마스터-슬레이브 쌍마다 적절한 α_i와 $step_i$값을 할당하여 기존의 알고리즘인 라운드로빈 방식과 KFP 방식과의 성능 비교를 수행하였다. 서비스 시간에 따른 성능의 변화를 관찰하였으며 그림 3에서의 경우와 마찬가지로 각 클래스마다 대응되는 T는 각 클래스 별로 높은 클래스부터 차례로 5t, 4t, 3t, 2t, 1 (t=10)로 대응시켰으며, $step_i$는 그림 3, 4에서와 같은 방법으로 식 (3)에 따라 각각 5, 3, 1, 2, 2로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였고, 제안한 MTDPP 알고리즘에 대한 α_i의 영향을 관찰하기 위해 Case 1과 Case 2는 α_i의 선택을 각각 Case 1은 0.6, 0.4, 0.1, 0.3, 0.3인 경우, Case 2는 모두 0.5인 경우를 가정하였다. Case 1에서의 α_i의 선택은 휴리스틱(heuristic)한 방식을 통해 비교적 우수한 성능을 보이는 경우를 추출해 낸 것이다. 본 논문에서는 데이터 발생 빈도에 따라 적절한 α_i의 값을 대응시켰으며, 실제 애플리케이션과 대응될 경우 각 애플리케이션마다의 특성을 폴링 주기 T_{poll}을 통해 반영하여 다양한 매핑이 가능할 것이다.

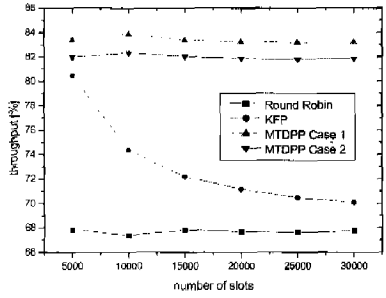

그림 5. MTDPP 방식의 수율 성능.

그림 5에서의 수율 성능을 살펴보면, 라운드로빈 방식은 앞서 설명한 바와 같이 데이터 트래픽 발생 특성을 고려치 않은 스케줄링으로 인해 많은 슬롯의 낭비가 발생하므로 최저의 성능을 나타내었고, KFP 방식은 형평성을 보장하기 위한 K값 이후의 스케줄러의 동작이 라운드로빈 방식으로 이루어짐으로 인해 서비스 시간이 길어질수록 라운드로빈의 성능에 근접함을 알 수 있다. 제안한 MTDPP 알고리즘의 경우 α_i에 무관하게 다른 방식에 비해 우수한 성능을 보였지만, 각 마스터-슬레이브 쌍의 데이터 트래픽 발생 특성을 고려한 Case 1의 경우가 Case 2의 경우보다 우수한 성능을 나타내었다. 하지만 그 차이가 1~2% 내외로 그다지 크지 않음은 그림

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

3, 4에서도 나타난 바와 같이 $step_i$의 수율에 대한 영향이 α_i보다 크기 때문이라 할 수 있다. 그림 6에서의 지연 성능 역시 수율 성능과 마찬가지로 MTDPP 방식의 Case 1의 경우에 가장 우수한 성능을 보였다. 따라서 MTDPP 방식에서는 각 마스터-슬레이브 쌍의 폴링 주기, T_{poll}과 같은 QoS 파라미터를 적절한 α_i와 $step_i$에 매핑하여 각 쌍, 즉 각 애플리케이션마다의 QoS 요구사항을 충족시킬 수 있을 것이다.

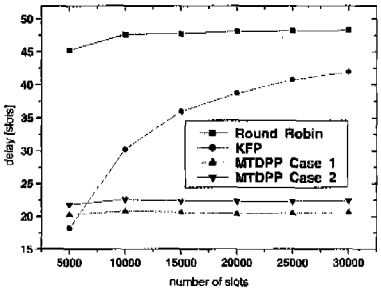

그림 6. MTDPP 방식의 지연 성능.

6. 결 론

본 논문에서는 블루투스 시스템을 위한 효율적인 스케줄링 방안으로 수정된 T-D PP방식, 즉 MTDPP 알고리즘이 제안되었고, 수율 및 지연 측면에서 그 성능이 평가되었다. 제안된 알고리즘에서의 두 가지 주된 파라미터, α_i와 $step_i$의 조정을 통해 서비스별로 다양한 요구사항의 충족이 가능하며, 이를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 결론적으로 블루투스 LMP 계층에서의 대표적 QoS 파라미터인 T_{poll}과 같은 파라미터를 제안된 알고리즘의 적절한 α_i 및 $step_i$로 대응시킴으로써 시스템의 전반적인 성능을 향상시킬 수 있으며, 본 논문의 결과는 QoS 특성을 지원할 수 있는 블루투스 MAC 스케줄링 방안의 설계에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Bluetooth Special Interest Group, Specification of the Bluetooth System 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] 주양익, 오종수, 권오석, 김용석, 이태진, 엄두섭, 차균현, "블루투스 시스템을 위한 효율적인 QoS 기반 MAC 스케줄링 기법," 한국통신학회 논문지, Vol. 27, No. 10, 2002.

주 양 익(Yang-Ick Joo) 준회원

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

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

권 오 석(Oh-Seok Kwon) 준회원

2001년 8월: 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
2003년 8월: 고려대학교 전자공학과 석사
2003년 9월~현재: 팬택&큐리텔 중앙연구소

<주관심분야> 블루투스, 무선 PAN, GSM 시스템

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.

오 종 수(Jong-Soo Oh) 준회원

2001년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사
2003년 2월: 고려대학교 전자공학과 석사
2003년 3월: LG전자 GSM단말연구소

<주관심분야> GSM 시스템, 블루투스, 무선 PAN

김 용 석(Yong-Suk Kim) 준회원

1989년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사
1995년 2월: 경기대학교 멀티미디어 통신공학 석사
2003년 2월~현재: 고려대학교 전자공학과 박사
1989년 3월~현재: 삼성전자

<주관심분야> 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

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

엄 두 섭(Doo-Seop Eom) 정회원

1987년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사
1989년 2월: 고려대학교 전자공학과 석사
1999년 3월: 일본 오사카대학 정보통신공학과 박사
1989년 2월~1999년 8월: 한국전자통신연구소 연구원
1999년 9월~2000년 8월: 원광대학교 교수
2000년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 교수

<주관심분야> 블루투스, 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, IP 네트워크

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
2001년 1월~현재: IEEE Seoul Section Chair

<주관심분야> 블루투스, WPAN/WLAN, 차세대 이동통신 시스템

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.