

논문 2014-51-12-11

# WBAN 환경에서 QoS 향상을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘

( Packet Scheduling Algorithm for QoS Enhancement in WBAN )

김 지 원\*, 김 진 혁\*, 최 상 방\*\*

( JiWon Kim, Jinhyuk Kim, and SangBang Choi<sup>©</sup> )

## 요 약

WBAN(Wireless Body Area Network)은 의료 및 비의료 서비스를 지원하는 네트워크로, 데이터의 지연과 손실에 민감한 특성이 있다. 다양한 서비스를 제공하기 위해 다양한 전송률, 데이터의 우선순위 등의 요구사항들을 만족해야 한다. 본 논문에서는 WBAN의 서비스 품질을 향상시키기 위하여 데이터의 우선순위와 전송 지연 시간을 고려한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 데이터의 지연 시간이 긴 플로우에 채널을 우선적으로 할당하여 동작하다가, 패킷이 큐에 일정시간이상 머물면 데이터의 우선순위에 따라 채널을 할당하여 서비스한다. 기존의 알고리즘과의 비교를 통해 제안한 알고리즘의 의료 데이터의 수신률이 높아지고 전체 서비스의 품질이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

## Abstract

WBAN(Wireless Body Area Network) is network to support medical and non-medical services. It is susceptible to loss and delay of data. WBAN is required to satisfy many kinds of demands such as a variety of data rate and a data priority for providing various service. In this paper scheduling algorithm, considering a data priority and transmission delay time, is proposed to improve service quality of WBAN. The proposed algorithm operates by allocating a channel to a flow with longer transmission delay. When a packet, in a queue of herb, is left within a certain period, the packet is assigned a channel and transmitted according to a data priority. Through the comparison with other existing scheduling algorithms, it is confirmed that QoS is improved due to higher arrival probability of medical data and less delay time in the proposed algorithm.

**Keywords :** WBAN, QoS, packet scheduling algorithm, priority, delay time

## I. 서 론

최근 복지 및 건강에 대한 관심이 증대하고, 고령화 사회로의 진입이 가속화되는 사회적 현상에 따라 헬스

케어(healthcare) 기술에 대한 연구가 활발해지면서 WBAN(Wireless Body Area Network)이 크게 주목받고 있다<sup>[1]</sup>. WBAN은 인체 내부 혹은 외부에서 인체로부터 반경 3미터 이내의 무선 통신 기술로, 이에 대한 중요성이 대두되면서 IEEE 802.15.6 Working group은 IG(Interest Group), SG(Study Group)을 거쳐 2007년 11월부터 WBAN의 PHY(physical)와 MAC(Medium Access Control) 계층의 표준화를 위하여 IEEE 802.15.6 TG(Task Group)6을 구성하였으며, 다양한 제안들을 수렴하는 기간을 거쳐 2012년 3월 IEEE 802.15.6 표준을 제정하였다<sup>[2]</sup>. IEEE 802.15.6 표준은 의

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 인하대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Engineering Inha University)

© Corresponding Author(E-mail: sangbang@inha.ac.kr)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임  
(2010-0020163)

접수일자: 2014년08월18일, 수정일자: 2014년10월15일  
게재확정: 2014년11월11일

료용 서비스와 비의료용 서비스를 동시에 지원하며, 사용자 우선순위에 따라 8단계로 정의한다. 의료용 서비스는 헬스케어 분야에서 활용되어 주로 생체 데이터의 수집을 위한 것이고, 비의료용 서비스의 경우 인체를 중심으로 하는 다양한 멀티미디어 장치들의 무선 연결에 이용되어 생체 데이터 수집용이나 웨어러블(wareable) 컴퓨터용으로 사용된다<sup>[2~3]</sup>. 의료용 응용서비스의 데이터는 주기적이고 비대칭적인 특성을 가지며, 환자의 응급 상태나 급박한 상태 변화에 대해 예러없이 실시간 응답을 필요로 한다. 한편, 비의료용 응용서비스의 경우 event-driven 방식으로 데이터가 발생하며, 의료용 응용 서비스와 상이한 특성을 가진다. 따라서, 전송 지연과 손실에 민감한 특성을 가지고 있어 네트워크의 혼잡 상황으로 인한 데이터의 손실은 사용자에게 QoS(Quality of Service)를 보장하지 못하게 된다. QoS의 궁극적인 목적은 전달하고자 하는 데이터의 특성에 맞는 서비스를 제공하면서 최단 시간에 많은 양의 데이터를 손실 없이 전달하는 것이다. 하지만 QoS를 만족시키지 못한다면 사용자에게 정상적인 서비스를 제공할 수 없다. 한편, 비의료용 응용서비스의 경우 고속의 event-driven 방식으로 데이터가 발생하며, 의료용 응용 서비스와 상이한 특성을 가진다. 따라서 이러한 데이터의 특성을 고려하여 데이터의 손실을 최소화하고 수신율을 높임으로써 네트워크상에서 효율적으로 QoS를 보장할 수 있는 기법이 필요하다.

네트워크 상에서 다양한 종류의 통신 응용프로그램을 지원하기 위해서는 다양한 패킷 플로우(packet flow)에 적합한 QoS를 제공할 수 있어야 한다. 유선 네트워크에서 공유 링크 상의 패킷 플로우들에게 공평한 서비스 품질을 제공하는 방법으로는 FFQ(Fluid Fair Queueing)<sup>[4]</sup> 모델이 가장 일반적이며 이를 기반으로 한 WFQ(Weight Fair Queueing)<sup>[4]</sup>, WF2Q(Worst-case Fair Weighted Fair Queueing)<sup>[5]</sup>, WF2Q+(Worst-case Fair Weighted Fair Queueing plus)<sup>[6]</sup> 알고리즘들이 제안되었다. 반면 무선 네트워크에서는 채널의 비트 에러가 빈번하게 발생하고 시간과 지역에 따라 채널의 상태가 변할 수 있는 특성이 있기 때문에 유선 채널을 기반으로 한 알고리즘들을 사용할 수 없다. 이러한 무선 네트워크 환경에서 적합한 서비스 품질을 제공하기 위해 제안된 알고리즘으로는 IWFQ(Idealized Wireless Fair Queueing)<sup>[7]</sup>, CIF-Q(Channel-condition Independent

Fair Queueing)<sup>[8]</sup>, W2F2Q<sup>[9]</sup>, SBFA<sup>[10]</sup>, CS-WFQ<sup>[11]</sup>, WF2Q-M<sup>[12]</sup> 알고리즘들이 있다.

본 논문에서는 WBAN의 의료용 응용 서비스와 비의료용 응용서비스의 특성을 고려하여 데이터의 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 인체 신호를 전송하는 네트워크는 데이터의 지연과 QoS에 민감하므로 이것을 보완하기 위한 기술이 요구된다. 따라서 제안하는 알고리즘은 네트워크의 혼잡으로 데이터의 지연이 발생한 경우 지연시간이 긴 패킷을 가진 플로우가 채널의 우선권을 갖도록 동작하다가, 큐에 패킷이 일정 시간이상 머물면, 지체된 것으로 보고 데이터의 우선순위가 높은 데이터를 갖는 플로우에 채널의 우선권을 부여하여 먼저 스케줄링 되도록 하는 것이다. 이 알고리즘은 WBAN의 다양한 데이터 특성을 고려하여 중요도가 높은 데이터를 우선적으로 처리함으로써 중요한 데이터의 처리율을 높이고 지연된 데이터를 먼저 전송하게 하여 전송 지연시간을 감소시키고 통신 서비스의 품질을 향상시켰다.

제안한 패킷 스케줄링 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 NS-2(Network Simulator-2)를 이용하였으며, FCFS와 IWFQ, 그리고 제안한 패킷 알고리즘을 적용하여 패킷 수신률과 데이터의 전송 지연 시간을 비교하였다. 비교결과 제안한 알고리즘이 데이터의 지연 시간이 짧고 중요도가 높은 패킷을 많이 수신하여, 기존 알고리즘보다 전체 QoS가 향상된 것을 확인할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 IEEE 802.15.6 표준의 특징과 무선 스케줄링 알고리즘에 대해 소개하고, III장에서는 본 논문에서 제안한 스케줄링 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 분석 및 평가하고, V장의 결론으로 본 논문을 마무리한다.

## II. 관련 연구

이 장에서는 IEEE 802.15.6 표준의 응용서비스의 특성과 제안한 알고리즘과의 성능평가를 위해 사용한 패킷 스케줄링 알고리즘에 대해 설명한다.

### 2.1. IEEE 802.15.6 표준 응용서비스의 특징

IEEE 802.15.6 표준은 응용서비스의 종류에 따라 의료용과 비의료용으로 나뉘고, 의료용 데이터의 전송을

주목적으로 하며 비의료 데이터까지 동시에 지원하고자 한다. 의료용 응용서비스는 sleep과 active를 반복하는 주기성을 가지고 저속의 데이터를 전송하며, 응급 의료 데이터의 경우 QoS를 보장해야 하므로 낮은 전송 지연이 요구된다. 비의료용 응용서비스는 데이터 전송이 event-driven에 의해 대량의 데이터가 버스트(burst)하게 발생하는 특성이 있고, QoS 보장을 요구하거나 실시간 서비스를 제공해야 하는 경우 낮은 전송 지연을 요구한다. 여기서 버스트 데이터는 데이터율이 아주 짧은 시간동안 급변하게 되는 것을 말한다. 이에 대한 예로는 비디오 스트리밍(video streaming), 음성, 소셜 네트워크(social networking)등을 예로 들 수 있다<sup>[1]</sup>.

IEEE 802.15.6 표준에서는 이러한 데이터를 표 1과 같이 사용자 우선순위에 따라 8개의 데이터 타입으로 나누어 정의한다<sup>[2]</sup>. 우선순위 7~5는 의료 데이터, 우선순위 4~0은 비의료 데이터로 분류하며, 숫자가 클수록 우선순위가 높고 전송지연에 민감한 데이터이다. 우선순위 7의 데이터는 가장 높은 우선순위를 가지며, 응급 데이터나 의료 삽입형 센서의 이벤트 보고 데이터를 정의하며 응급한 상황에 발생하는 데이터이므로 버스트하게 트래픽이 발생하게 된다. 노드 고장이나 생명과 관련된 응급한 데이터이기 때문에 가장 높은 우선순위를 가지며 데이터의 전송 보장이 중요하다. 우선순위 6과 5의 데이터는 의료데이터를 정의하고 있으며, 그 중 우선순위 6의 데이터는 우선순위가 높은 의료 데이터이며, 우선순위 5의 데이터는 일반 의료용 데이터를 정의한다. 또한 우선순위 6과 5의 데이터는 주로 생체신호를 감지하기 위한 데이터이기 때문에 대부분 주기적인 특성을 갖는다. 우선순위 4이하의 데이터들은 비의료용

표 1. 사용자 우선순위

Table 1. User priority.

User Priority	Traffic designation
0	Background (BK)
1	Best effort (BE)
2	Excellent effort (EE)
3	Video (VD)
4	Voice (VO)
5	Medical data or network control
6	High-priority medical data or network control
7	Emergency or medical implant event report

표 2. WBAN 응용서비스별 요구사항

Table 2. Requirement of WBAN each application service.

응용서비스	전송률	지연시간
심전도(ECG)서비스	< 192Kbps	<250ms
뇌파도(EEG)서비스	< 86.4Kbps	<250ms
근전도(EMG)서비스	< 1.536Mbps	<250ms
혈당치 측정 서비스	< 1Kbps	<250ms
비디오/의료 영상	< 10Mbps	<100ms

데이터들로서 일반 사용자 디바이스에서 사용하는 영상, 음성 등의 데이터들을 정의한다. 이러한 일반데이터는 주기적인 데이터와 간헐적인 데이터들이 모두 존재하는 특성이 있다.

표 2는 IEEE 802.15.6 표준에서 응용서비스별 요구사항을 보여준다<sup>[3]</sup>. 의료용 응용서비스 중 연속적인 데이터 전송을 하는 심전도(ECG)나 뇌파도(EEG) 서비스는 낮은 데이터 전송률을 요구하고, 근전도(EMG) 서비스는 높은 데이터 전송률을 요구한다. 혈당치 측정 서비스는 단순한 수치 데이터만을 전송하므로 1Kbps 정도의 데이터 전송률을 요구한다. 의료용 응용서비스는 최대 250ms까지 지연 시간을 요구한다. 반면, 비디오/의료 영상의 경우 의학적인 제어나 다른 전송에 비해 높은 전송률과 낮은 지연시간을 요구한다. 따라서 의료 서비스와 비의료 서비스가 요구하는 전송률과 지연시간, 데이터의 우선순위가 상이하므로 이를 만족시키기 위한 알고리즘이 필요하다.

## 2.2 패킷 스케줄링 알고리즘

### 2.2.1. FCFS (First-Come First-Served)

FCFS 알고리즘은 패킷의 클래스나 우선순위에 상관없이 패킷을 입력된 순서대로 서비스하는 것으로, 구현이 간단하여 동작이 예측 가능하며 모든 패킷들이 공평하게 처리된다는 장점이 있다. 즉, 패킷의 순서가 유지되며 패킷의 최대 지연은 큐의 크기에 의해 결정된다. 하지만 클래스 구분이 없기 때문에 차등화 된 서비스를 제공하지 못하며 혼잡이 발생하는 경우 TCP보다 UDP 트래픽이 유리하다는 단점이 있다. 또한 갑자기 크기가 큰 데이터 패킷이 전송되며 모든 대역폭을 점유하여 시간에 민감하거나 중요한 트래픽을 지연시킬 수 있고 중요도가 낮은 트래픽이 큐를 채워 중요한 데이터가 제거

되는 상황이 발생할 수 있다. 이 스케줄링 알고리즘은 지연시간과 데이터의 양이 적은 네트워크 환경에서 보다 효과적이다.

### 2.2.2 IWFQ (Idealized Wireless Fair Queueing)

IWFQ 알고리즘은 대표적인 무선 스케줄링 알고리즘으로, 가장 길게 지연된 플로우의 작은 서비스 태그를 갖게 되어 채널 접근 시 가장 높은 우선순위를 갖게 된다. 무선 환경에서는 전송할 패킷이 전송되었다고 채널 에러로 인해 서비스를 받지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 채널 에러로 인해 전송하지 못한 패킷은 채널 상태가 좋아지면 다른 플로우와의 형평성을 맞추기 위해 전송하지 못한 패킷을 보낼 수 있도록 해주어야 한다. 하지만 IWFQ 알고리즘은 각 플로우가 채널의 상태를 완벽하게 알고 있기 때문에 채널 에러로 인해 패킷을 잃어버리는 상황은 발생하지 않는 것을 가정한다.

큐에 들어오는 각 패킷은 시작태그와 종료태그를 계산한다. 즉, 플로우  $i$ 의  $n$ 번째 패킷이  $A(t_{i,n})$ 시간에 큐에 도착하면 시작태그  $s_{i,n}$ 과 종료태그  $f_{i,n}$ 는 각각 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$s_{i,n} = \max\{v(A(t_{i,n})), f_{i,n-1}\} \quad (1)$$

$$f_{i,n} = s_{i,n} + \frac{L_{i,n}}{r_i} \quad (2)$$

식 (1)에서 첨자  $i$ 는 플로우  $i$ 를 나타내며, 첨자  $n$ 은  $n$ 번째 패킷을 의미한다.  $v(A(t_{i,n}))$ 는  $i$  플로우의  $n$ 번째 패킷이 시스템으로 들어올 때 패킷의 서비스 순서를 결정하기 위해 사용되는 가상시간을 의미하고,  $f_{i,n-1}$ 는  $i$  플로우의 이전 패킷( $n-1$ )이 전송 완료된 시간이다. 시작태그는  $v(A(t_{i,n}))$ 과  $f_{i,n-1}$  시간 중에서 큰 값을 선택하게 된다. 식 (2)에서  $L_{i,n}$ 은 플로우  $i$ 의  $n$ 번째 패킷의 길이이며,  $r_i$ 는  $i$  플로우에 할당된 가중치에 해당되는 대역을 의미한다. 따라서  $L_{i,n}/r_i$ 는  $n$ 번째 데이터를 전송할 때 걸리는 시간이라 할 수 있다. 시작태그에 이 시간을 더하여 종료태그를 계산한다. 각 플로우에 대한 시작태그와 종료태그를 계산한 후, 각 플로우의 태그를 재조정하여 서비스태그를 해당 플로우의 종료태그로 정한다. 서비스 태그가 결정되면 전송할 플로우 중에서 서비스 태그가 가장 작은 플로우의 패킷을 선택

한다.

$$b_i = B \times \frac{r_i}{\sum_{j \in F} r_j} \quad (3)$$

지체 플로우  $i$ 는 가상시간보다 작은 종료태그를 갖는 패킷 길이의 총 합이 해당 플로우에 할당된 최대 보상 전송용량( $b_i$ )을 초과한 부분은 제거한다. 여기서  $F$ 는 플로우들의 집합을 의미한다. 앞섬 플로우는 시작태그( $s_{i,hol}$ )를 식 (4)과 같이 가상시간보다  $L_i/r_i$ 만큼 크도록 재조정한다. 여기서 hol은 head of the line으로,  $s_{i,hol}$ 은 플로우  $i$ 의 첫 번째 패킷의 시작태그를 의미한다. 종료태그( $f_{i,hol}$ )는 시작태그에 플로우  $i$ 의 첫 번째 패킷의 크기를 플로우  $i$ 의 가중치로 나눈 것을 더한 것이다.

$$s_{i,hol} = v(t) + \frac{L_i}{r_i} \quad (4)$$

$$f_{i,hol} = s_{i,hol} + \frac{L_{i,hol}}{r_i} \quad (5)$$

서비스를 받지 못한 플로우는 해당 패킷에 대한 서비스 태그가 바뀌지 않기 때문에 채널 상태가 좋아지면 스케줄러에 의해 채널을 다른 플로우보다 먼저 할당받는다. 하지만 채널의 상태가 좋아지지 않을 경우 채널을 할당받지 못한 플로우는 서비스 되지 못한다. 그리고 플로우  $i$ 의 지체된 패킷의 합이 해당 플로우에 할당된 최대 보상 전송용량보다 클 경우에 패킷을 제거한다.

### III. 제안한 패킷 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 WBAN의 데이터 특성과 시스템의 상태를 고려하여 QoS를 향상시키기 위한 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 데이터의 지연이 발생하지 않은 경우, 데이터의 전송 지연시간이 긴 플로우의 데이터에 채널의 우선권을 주어 IWFQ 알고리즘과 동일하게 동작하고, 패킷이 큐에 일정 시간이상 머물면 지연된 것으로 간주하여 우선순위가 높은 패킷을 먼저 서비스함으로써 QoS를 보장하는 것이다. WBAN에서 전송 지연과 데이터의 손실은 QoS에 직접적인 영향을 주는 요소이므로, 전달하고자 하는 데이터의 특성에 맞는 서비스

를 제공하면서 데이터의 손실을 최소화하는 것이 중요하다. 따라서 데이터의 특성을 고려하여 중요도가 높은 데이터의 손실을 최소화하여 수신율을 높임으로써 네트워크상에서 효율적으로 QoS를 보장할 수 있는 기법을 연구한다.

제안한 알고리즘에서는 데이터의 스케줄링 순서를 결정하기 위해 가상 서비스 시간을 사용하며, 이 시간은 전송할 플로우를 선택하기 위한 기준이 된다. 이 알고리즘은 데이터의 QoS를 보장하기 위해 시간 개념의 지연 시간과 데이터 전송이 보장되는 전송 최대 시간을 사용한다. 우선 패킷이 전송하는 시점을 나타내는 시작 태그  $s_i^k(t)$ 에 대한 정보를 식 (1)을 사용하여 계산하고,  $v(A_i^k(t))$ 와  $f_i^{k-1}(t)$ 중에서 큰 값을 선택한다. 여기서,  $v(A_i^k(t))$ 는  $i$  플로우의  $k$ 번째 패킷이 큐에 도달하는 시간을 의미하고,  $f_i^{k-1}(t)$ 는  $i$  플로우의 이전 패킷 ( $k-1$ )의 종료태그를 나타낸다. 데이터의 종료태그  $f_i^k(t)$ 는 식 (2)와 같이 시작태그  $s_i^k(t)$ 에  $L_i^k/C_i$ 를 추가하여 얻는다. 여기서  $L_i^k$ 는 패킷의 길이를 의미하고,  $C_i$ 는 채널의 용량을 나타낸다. 따라서  $L_i^k/C_i$ 은  $i$  플로우에 할당된 가중치에 해당하는 대역으로  $k$ 번째 패킷을 포함하는 프레임을 전송했을 때 걸리는 시간이다.

데이터의 스케줄링 순서는 데이터의 지연시간과 데이터의 종류에 의해 결정된다. 식 (6)은 데이터의 지연 시간에 따라 스케줄링을 처리하는 기준이 된다.  $B_i^k$ 은  $i$  플로우의  $k$ 번째 데이터에 전송이 보장되는 최대 시간으로 해당 버퍼에 최대로 머무를 수 있는 시간을 의미하고,  $d_i^k$ 는  $i$  플로우의  $k$ 번째 데이터가 지연된 시간으로 데이터가 큐에 머무른 시간을 의미한다. 그리고  $f_i^k(t)$ 은  $i$  플로우의  $k$ 번째 데이터의 종료태그를 나타낸다. 따라서  $B_i^k - d_i^k$ 는  $i$  플로우의  $k$ 번째 패킷에 남아 있는 지연 허용 시간을 의미한다.  $B_i^k - d_i^k$ 가  $i$  플로우의 종료태그보다 작으면 데이터의 지연이 발생한 것이고,  $i$  플로우의 종료 태그보다 크면 데이터의 지연이 발생하지 않은 것이다.

$$B_i^k - d_i^k < f_i^k(t) \quad (6)$$

$$(B_i^k - d_i^k) < s_i^k(t) + L_i^k/C_i \text{ AND } (PT_i == NMD) \quad (7)$$

$$T_s = f_i^k(t) + B_i^k - d_i^k + P(D_i^k) \quad (8)$$

식 (7)은 현재 채널상태를 고려하여 전송가능 여부를 판단하게 된다.  $PT_i$ 는  $i$  플로우의 데이터 유형을 의미하고,  $NMD$ 는 비의료 데이터를 나타낸다. 그리고  $s_i^k(t) + L_i^k/C_i$ 는 플로우  $i$ 의  $k$ 번째 패킷이 사용할 수 있는 채널 용량을 의미한다. 따라서, 채널의 용량을 모두 사용해도 전송이 불가능한 비의료 데이터는 의료 데이터의 전송 지연을 최소화하기 위해 큐에서 제거하는 것이다. 반면, 데이터가 지연된 의료 데이터는 데이터의 우선순위를 고려한 식 (8)의 서비스 태그값에 의해 서비스된다.  $P(D_i^k)$ 는 IEEE 802.15.6 표준에서 사용하는 데이터의 우선순위를 반영하기 위한 상수값으로, 의료용 응용서비스가 비의료용 응용서비스보다 작은 값을 갖는다. 따라서, 의료용 응용서비스의 서비스 태그가 비의료용 데이터보다 항상 작은 값을 갖게 되어 먼저 서비스된다. 반면, 데이터의 지연이 발생하지 않은 경우, 데이터의 우선순위를 고려하지 않고 데이터의 지연 시

#### Proposed scheduling algorithm

```
//start tag calculation
s_i^k(t) = max {v(A_i^k(t)), f_i^{k-1}(t)}
//finish tag calculation
f_i^k(t) = s_i^k(t) + L_i^k/C_i
//transmission delay
if(B_i^k - d_i^k < f_i^k(t)) then
    if((B_i^k - d_i^k < s_i^k(t) + L_i^k/C_i) AND (PT_i == NMD))
        Remove a data packet from a queue
    else
        //service tag calculation
        T_s = f_i^k(t) + B_i^k - d_i^k + P(D_i^k)
    endif
else
    if a buffer is overflow then
        Remove a data packet from a queue
    else
        T_s = f_i^k(t) - d_i^k
    endif
endif
return T_s
```

그림 1. 제안한 스케줄링 알고리즘의 의사코드  
Fig. 1. Pseudo code for proposed scheduling algorithm.

간만을 고려하여 서비스한다. 이 때 서비스 태그는 식 (9)를 사용하고, 데이터가 지연된 시간이 클수록 작은 서비스 태그를 갖게 되어 서비스가 먼저 이루어진다. 그리고 버퍼의 오버플로우가 발생하면 패킷은 큐에서 제거된다. 그림 1은 제안한 스케줄링 알고리즘의 의사 코드이다.

$$T_s = f_i^k(t) - d_i^k \tag{9}$$

그림 2는 패킷이 플로우로 들어온다고 가정했을 때, 제안하는 알고리즘의 패킷 스케줄링 방법을 설명하기 위한 것이다. Session S1에서 S4까지 각 세션에 들어오는 패킷의 크기가 모두 같고 세션마다 하나의 큐를 갖는다고 가정한다. 그리고 세션의 우선순위는  $S1 > S2 > S3 > S4$ 의 순서를 갖는다. 각 세션은 각각 다음의 특성을 갖는 데이터가 입력된다고 가정한다. S1은 버스트 한 특성을 갖는 응급 의료 데이터가 입력되고, S2는 주기적인 특성을 갖는 의료용 데이터가 입력된다. 그리고 S3과 S4는 비의료용 데이터가 비주기적으로 입력된다.  $P_i^k$ 는  $i$  Session의  $k$ 번째 패킷을 의미하고, Deadline은 데이터를 지연으로 판단하는 시간으로 Deadline전에 도착한 패킷은 지연시간이 긴 순서대로 서비스한다. Deadline과 Bound time 사이의 시간은 Margin time으로 나타내며, 이 시간 동안은 패킷의 우선순위가 높은 순서대로 서비스한다. 그리고 Bound time은 패킷의 제거를 판단하는 기준으로써, 이 시간 이후에 입력된 일반 데이터는 다른 패킷의 전송을 위해서 큐에서 제거된다. Margin time에서는 지연시간에 상관없이 패킷의 우선순위만을 고려하여 서비스되므로 우선순위가 가장 높은 S1의  $P_1^1, P_1^2, P_1^3$ , 그리고  $P_1^4$ 가 차례로 전송된 후, S2의  $P_2^1$ 과  $P_2^2$ 가 서비스된다. 그리고 S3의  $P_3^3$ , S4의  $P_4^3$ 을 차례로 전송한다. 지연된 패

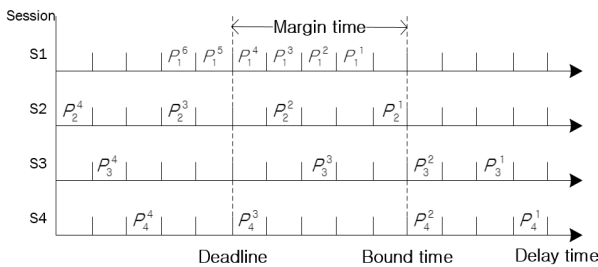


그림 2. 각 세션별 패킷과 지연 시간  
Fig. 2. Packet and delay time per each session.

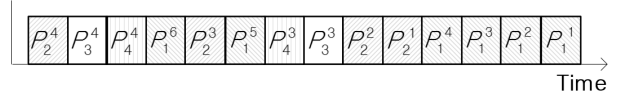


그림 3. 제안한 알고리즘의 패킷 스케줄링 순서  
Fig. 3. Packet scheduling order of proposed algorithm.

킷이 모두 전송된 후 Deadline 이전에 도착한 패킷은 우선순위를 고려하지 않고 패킷의 지연시간이 긴 순서대로 전송되고, 이 순서는 패킷의 서비스 태그값으로 결정된다. 따라서 지연시간이 가장 긴  $P_1^5$ 를 서비스하고,  $P_1^6$ 과  $P_2^3$ 은 지연시간이 동일하지만 S1이 이전에  $P_1^5$  전송을 위해 채널을 사용했으므로  $P_2^3$ 을 서비스한 후,  $P_1^6$ 을 전송한다. 그 다음으로는 지연시간이 긴 순서대로  $P_4^4, P_3^4$ , 그리고  $P_2^4$ 을 차례로 전송한다. 그리고 Bound time 이후에 도착한 S3의  $P_3^3$ 과  $P_3^2$ , S4의  $P_4^4$ 과  $P_4^3$ 은 큐에서 제거된다. 따라서 이 알고리즘은 패킷의 지연 시간과 중요도를 고려하여 채널의 우선권을 부여하여 서비스하므로, 의료데이터의 수신률을 높여주는 것을 알 수 있다.

그림 3은 제안한 알고리즘의 스케줄링 순서를 보여준다. 전송 지연이 길어진 패킷은 우선순위가 높은 순서로 전송하므로 S1의 패킷이 가장 먼저 서비스된 후, S2, S3, 그리고 S4의 패킷이 차례로 전송된다. 우선순위에 따라 패킷이 전송된 후, 플로우의 패킷은 지연시간이 긴 순서대로 우선순위와 상관없이 스케줄링되는 것을 알 수 있다.

#### IV. 성능 분석 및 평가

이 장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 실험 환경을 정의하고, 제안한 알고리즘과 기존의 스케줄링 알고리즘의 수신률 및 데이터의 평균 지연 시간을 비교, 분석하여 기술한다.

##### 4.1 실험환경

제안한 패킷 스케줄링 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션 환경을 NS-2(Network Simulator-2)를 이용하여 구성하였다. 3개의 노드에서 발생한 데이터가 허브로 전달되는 상황을 가정하였다. 여기서 허브는 노드를 관리하는 코디네이터 역할을 한다. 노드는

표 3. 시뮬레이션 환경

Table 3. Simulation environment.

Simulation Parameter	Value
Delay deadline	150 ms
Bandwidth	3 Mbps
Maximum data packet size	1024 bytes
Simulation time	50 seconds

응급 의료 데이터 노드, 일반 의료 데이터 노드, 일반 사용자 데이터 노드를 이용하고, sending rate의 비율은 데이터의 우선순위를 고려하여 응급 의료 데이터 노드, 일반 의료 데이터 노드, 일반 사용자 데이터를 각각 1.0: 0.5: 0.2로 구성하였다. 응급 의료데이터의 경우 버스트 트래픽을 사용하고, 의료데이터의 경우 주기적인 특성이 있으므로 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 사용한다. 그리고 비주기적인 특성이 있는 일반 데이터는 버스트 트래픽을 사용하였다. CBR 트래픽이란 데이터율이 변하지 않고 고정된 것으로 평균 데이터율이 최대 데이터율과 동일하게 나타나는 것을 말한다. 노드에서 전송되는 데이터는 FCFS, IWFQ, 그리고 Proposed 알고리즘에 적용되며, 큐 크기가 25와 50일 때의 패킷 수신률을 측정하였다. Delay deadline은 150ms, Bandwidth는 3Mbps, 최대 데이터 크기는 1024bytes로 설정하였으며, 50초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 표 3은 시뮬레이션에서 사용한 파라미터의 정보를 보여준다.

#### 4.2 성능 평가

그림 4는 큐 크기가 50일 때, 데이터의 송수신량으로 알고리즘의 패킷 수신률을 비교한 것이다. 데이터의 수신 확률은 수신량을 송신량으로 나눈 값으로, 1에 가까울수록 패킷 수신률이 높은 것이다. 수신률의 분포가 고를수록 플로우간의 공평성이 향상되었다고 할 수 있다. 여기서 NMD는 비의료 데이터, MD는 의료 데이터, UMD는 응급 의료 데이터를 의미한다. FCFS 알고리즘은 패킷의 지연 시간과 우선순위를 고려하지 않고 큐에 들어오는 순서대로 서비스하므로 다른 알고리즘보다 플로우의 패킷이 고르게 수신되어 플로우간의 링크를 공평하게 사용한다. 하지만 데이터의 중요도가 가장 높은 응급 의료 데이터의 수신률이 다른 알고리즘보다 낮고, 비의료 데이터의 수신률은 높기 때문에 중요한 데이터의 처리율이 낮아 WBAN의 QoS를 보장할 수 없다.

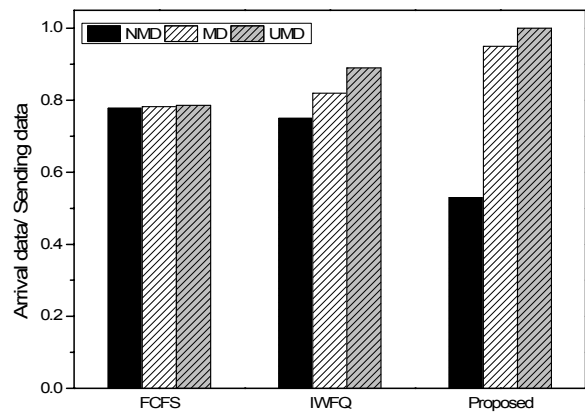


그림 4. 각 알고리즘의 패킷 수신률 (큐 크기: 50)  
Fig. 4. Packet arrival probability of each algorithm. (Q size: 50)

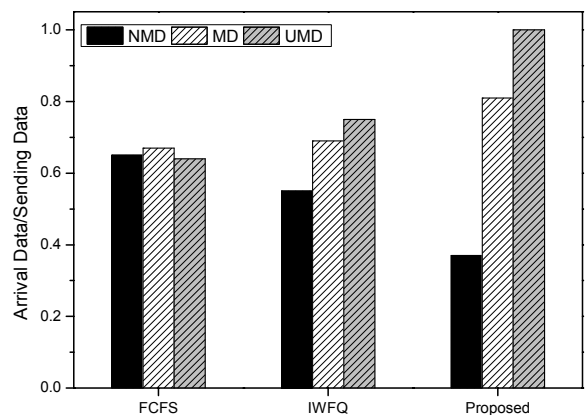


그림 5. 각 알고리즘의 패킷 수신률 (큐 크기: 25)  
Fig. 5. Packet arrival probability of each algorithm. (Q size: 25)

IWFQ 알고리즘은 데이터의 지연시간과 대역폭을 고려하여 데이터를 처리하므로 FCFS 알고리즘보다 의료데이터의 수신률이 높다. 그 중에서도 응급 의료 데이터의 수신률이 다른 데이터보다 높아 FCFS 알고리즘보다 개선된 QoS를 제공할 수 있지만, 데이터 수신에 대한 공평성은 떨어진다. Proposed 알고리즘은 데이터의 중요도와 데이터의 지연시간을 고려하여 서비스하므로, 우선순위가 높고 전송 지연에 민감한 응급 의료 데이터의 수신률이 가장 높은 것을 알 수 있다. 또한, 패킷이 손실 없이 모두 전송되어 WBAN에서 QoS에 직접적인 영향을 주는 데이터 손실을 최소화하여 사용자에게 높은 QoS를 제공하였다. 반면 우선순위가 낮고 전송 지연에 덜 민감한 비의료 데이터의 수신률은 다른 알고리

즘들과 비교하여 가장 낮지만, 이 데이터의 수신률 감소로 중요도가 높은 의료 데이터가 높은 처리율로 서비스됨으로써 WBAN의 QoS가 향상된 것을 알 수 있다.

그림 5는 큐 크기가 25일 때, 데이터의 수신 확률을 비교한 것이다. 큐의 크기가 반으로 줄었기 때문에 제거되는 패킷의 수가 증가하여 패킷 수신률이 전체적으로 감소한 것을 알 수 있다. 플로우에 입력되는 순서대로 데이터를 스케줄링하는 FCFS 알고리즘은 각 플로우의 데이터 수신에 고른 분포를 보이지만 수신률은 전체적으로 감소하였다. 또한 WBAN에서 중요도가 높은 응급 의료 데이터의 수신률이 낮아 사용자에게 개선된 QoS를 제공할 수 없다. IWFQ 알고리즘 역시 큐 크기의 감소로 전체 수신률이 낮아졌지만, 비의료 데이터보다 응급 의료 데이터의 수신률이 높아 FCFS 알고리즘보다 향상된 QoS를 제공한다. Proposed 알고리즘은 데이터의 중요도와 지연 시간을 고려하여 스케줄링하므로, WBAN에서 우선순위가 가장 높은 응급 의료 데이터는 모두 전송되지만, 의료 데이터와 일반 데이터의 수신률은 큐 크기가 50일 때보다 감소하였다. 이것은 우선순위가 가장 높은 응급 의료 데이터가 모두 전송되면서 다른 데이터가 큐 크기의 제한으로 큐에서 제거되었기 때문이다. 이 알고리즘은 전송 지연과 손실에 민감한 의료 데이터의 수신률을 높여 데이터의 손실을 최소화함으로써, 사용자에게 향상된 QoS를 제공한다. 또한, 각 알고리즘의 패킷 큐 크기에 따른 패킷 수신률 비교를 통해 큐 크기가 네트워크 전체 수신률에 영향을 주고, 큐의 크기가 클수록 네트워크의 전체 패킷 수신률이 높아진 것을 알 수 있다.

표 4는 각 알고리즘의 평균 데이터 전송 지연 시간을 나타낸다. 여기서, NMD는 비의료 데이터, MD는 의료 데이터, 그리고 UMD는 응급 의료 데이터를 의미한다. 단위는 ms이고, 숫자가 클수록 데이터의 전송이 지체된 것이다. FCFS 알고리즘은 데이터가 입력되는 순서대로 전송하는 알고리즘으로, 데이터의 지연 시간과 우선순

표 4. 각 알고리즘의 평균 데이터 전송 지연 시간  
Table 4. Average data transmission delay time of each algorithm.

	FCFS	IWFQ	Proposed
NMD	193.47ms	21.331ms	11.632ms
MD	192.37ms	13.737ms	8.406ms
UMD	189.75ms	10.931ms	1.475ms

위를 고려하지 않고 처리되어 다른 알고리즘보다 평균 데이터 전송 지연 시간이 가장 긴 것을 알 수 있다. 전송 지연에 민감한 의료 데이터의 경우 신속한 처리가 이루어지지 못하여 사용자에게 만족스런 서비스를 제공할 수 없다. IWFQ 알고리즘은 지연 시간이 긴 플로우의 데이터를 우선적으로 처리하므로 FCFS 알고리즘보다 평균 데이터 전송 지연 시간이 전체적으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한, sending rate의 비율을 고려하여 데이터를 처리하므로 비율이 가장 높은 응급 의료 데이터가 가장 먼저 서비스되어 가장 낮은 지연 시간을 가진다. 의료 데이터의 경우 낮은 지연 시간을 요구하므로 FCFS 알고리즘보다 사용자에게 신속한 서비스를 제공할 수 있다. Proposed 알고리즘은 데이터의 전송 지연 시간과 패킷의 우선순위를 고려하여 데이터를 서비스하므로, 우선순위가 가장 높은 응급 의료 데이터가 다른 데이터보다 먼저 서비스되어 지연 시간이 가장 짧은 것을 확인할 수 있다. 응급 의료 데이터의 경우 다른 데이터보다 QoS 보장을 위해 낮은 전송 지연이 요구된다. 제안한 알고리즘은 응급 의료 데이터의 지연 시간을 최소화함으로써 사용자에게 QoS를 제공한다. 비록 비의료 데이터가 응급 의료 데이터보다 전송 지연 시간이 길지만, 다른 알고리즘보다 평균 지연 시간의 감소로 데이터 서비스가 신속하게 이루어지는 것을 알 수 있다. 그러므로 제안한 알고리즘이 중요도가 높은 데이터의 지연을 감소시킴으로써, WBAN의 QoS를 향상시킨 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 WBAN의 의료용 응용 서비스와 비의료용 응용서비스의 특성과 데이터의 지연 시간을 고려하여 서비스의 품질을 향상시킬 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 데이터의 지연 시간이 큰 패킷의 플로우에게 채널의 우선권을 부여하여 지체된 데이터를 먼저 서비스함으로써 데이터의 전송 지연 시간을 감소시킨다. 그리고 큐에 패킷이 일정시간 이상으로 머물면 지체된 것으로 간주하고 우선순위가 높은 데이터를 먼저 서비스함으로써, 중요한 패킷을 보호하여 QoS를 향상시키는 것이다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 NS-2를 이용하였으며, 각 노드에서 전송한 데이터는 FCFS, IWFQ, 그리고 Proposed 알



고리즘을 적용하여 스케줄링하고, 큐 크기에 따른 패킷 수신률과 각 데이터의 전송 지연 시간을 측정하였다. 패킷의 전송 지연 시간과 우선순위를 고려하지 않는 FCFS 알고리즘은 플로우간의 패킷을 공평하게 수신하지만 제안한 알고리즘보다 QoS가 낮고, IWFQ 알고리즘은 제안한 알고리즘보다 의료 데이터의 수신률이 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 Proposed 알고리즘이 중요한 데이터의 수신율이 높아 QoS가 향상된 것을 알 수 있다. 그리고 큐의 크기가 클수록 패킷의 수신률이 높아지며, QoS가 개선되었다. 또한 데이터의 평균 전송 지연 시간이 다른 알고리즘보다 전반적으로 감소하였고, 그중에서도 응급 의료 데이터가 가장 빠르게 서비스 되었다.

본 논문에서 제안한 패킷 스케줄링 알고리즘은 WBAN의 데이터 특성과 지연 시간을 고려하여 데이터의 지연을 줄이고 우선순위가 높은 데이터를 먼저 서비스함으로써 QoS를 보장하는 것을 알 수 있다.

## REFERENCES

- [1] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard," *International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL)*, pp. 1-6, November 2010.
- [2] 802.15.6-2012, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks," February 2012.
- [3] F. Martelli, C. Buratti and R. Verdone, "On the performance of an IEEE 802.15.6 Wireless Body Area Network," *Wireless Conference - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, pp. 1-6, April 2011.
- [4] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queueing algorithm," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 19, issue 4, pp. 1-12, September 1989.
- [5] J. C. R. Bennett and H. Zhang, "WF2Q: Worst-case fair weighted fair queueing," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 120-128, April 1996.
- [6] J. C. R. Bennett, H. Zhang, "WF2Q+: Worst-case fair weighted fair queueing," In *Proceedings of IEEE INFOCOM'96*, pp. 120-128, San Francisco, CA, March 1996.
- [7] S. Lu, V. Bharghavan, and R. Srinikant, "Fair Scheduling in wireless Packet Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 7, issue 4, pp. 473-489, August 1999.
- [8] T. S. Ng, I. Stoica and H. Zhang, "Packet Fair Queuing Algorithms for Wireless Networks with Location-dependent errors," *IEEE INFOCOM'98*, March 1998.
- [9] Y. Yi, Y. Seok, T. Kwon, Y. Choi, and J. Park, "W2F2Q: packet fair queueing in wireless packet networks," in *Proceedings of the 3rd ACM international workshop on Wireless mobile multimedia*, pp. 2 - 10, 2000.
- [10] P. Ramanathan and P. Agrawal, "Adapting packet fair queueing algorithms to wireless networks." In *Proceeding MobiCom '98 Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 1 - 9, 1998.
- [11] P. Lin, B. Bensaou, Q. L. Ding, and K. C. Chua, "A wireless fair scheduling algorithm for error-prone wireless channels." In *Proceedings of ACM WoWMOM 2000*, pp. 276-281, October 2000.
- [12] J. F. Lee, M. C. Chen, Y. Sun, "WF2Q-M: Worst-case fair weighted fair queueing with maximum rate control," *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking* vol. 51 issue 6, April 2007.
- [13] BAN application matrix, IEEE 802.15-07-0735-00-0ban.

저 자 소 개



김 지 원(학생회원)  
 2007년 건양대학교 전자정보  
 공학과 학사 졸업.  
 2009년 인하대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2010년~현재 인하대학교  
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 센서 네트워크, 멀티미디어 통신,  
 무선 통신, 컴퓨터 네트워크>



김 진 혁(학생회원)  
 2009년 인하대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2011년 인하대학교 전자공학과  
 석사 졸업  
 2011년~현재 인하대학교  
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선 통신, 컴퓨  
 터 네트워크, 병렬 및 분산 컴퓨팅>



최 상 방(평생회원)  
 1981년 한양대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1981년~1986년 LG 정보통신(주).  
 1988년 University of washinton  
 석사 졸업.  
 1990년 University of washinton  
 박사 졸업.

1991년~현재 인하대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무  
 선 통신, 병렬 및 분산 처리 시스템>