

논문 2015-52-5-11

# WBAN 환경에서 성능향상을 위한 버퍼 관리 알고리즘

## ( Buffer Management Algorithm for Performance Improvement in WBAN )

김 지원\*, 김 강 희\*, 이 창 호\*, 최 상 방\*\*

( JiWon Kim, Kanghee Kim, ChangHo Lee, and SangBang Choi<sup>©</sup> )

### 요 약

Wireless Body Area Network(WBAN)은 인체를 중심으로 다양한 의료 센서나 기기들을 연결하는 네트워크 표준으로써, 데이터의 전송률, 우선순위, 지연 시간등의 요구사항을 만족해야 한다. 본 논문에서는 네트워크의 상황에 따라 WBAN 데이터의 우선순위와 전송 지연 시간을 고려하여 WBAN 서비스의 성능을 향상할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 허브의 버퍼가 이전보다 혼잡해지면 데이터의 우선순위에 따라 데이터 제거 확률을 적용하여 데이터를 처리하고, 버퍼가 이전보다 원활해지면 데이터의 지연 시간을 고려하여 서비스한다. 기존 알고리즘과의 비교를 통해 제안한 알고리즘이 의료 데이터의 손실률을 낮추고 데이터의 지연 시간을 줄여 WBAN 서비스의 품질이 향상된 것을 확인할 수 있었다

### Abstract

Wireless Body Area Network(WBAN) is a network standard around a human body which connects various medical sensor and devices It has to satisfy various demands such as data transmission rate, priority, and delay time. In this paper, considering a data priority and transmission delay time, is proposed to improve efficiency of WBAN service depending on congestion status of network. The proposed algorithm operates with adapted data removal probability according to data priority when the hub buffer is congested than before. And in the case of lower congestion within the hub buffer data is served considering data delay time. Through the comparison with other existing scheduling algorithms, it is confirmed that quality of WBAN service is improved due to lower data loss rate of medical data and less delay time in the proposed algorithm.

**Keywords :** WBAN, IEEE 802.15.6, buffer management, sensor network

## I. 서 론

최근 건강에 대한 관심이 증대와 노령화 인구의 증가

추세로 인하여 양질의 의료 서비스 제공이 보다 중요시 되면서 u-Healthcare 서비스를 지원하기 위한 Wireless Body Area Network(WBAN) 기술이 활발하게 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. WBAN은 인체를 중심으로 3m 범위 안에 존재하는 인체 외부에 위치한 장치들간의 무선 통신 기술을 말한다. 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)6

\* 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)

Received ; February 16, 2015 Revised ; March 31, 2015

Accepted ; April 21, 2015

을 구성하였으며, 2012년 3월 IEEE 802.15.6 표준을 제정하였다<sup>[2]</sup>. IEEE 802.15.6 표준에서는 용도에 따라 의료용 서비스와 비의료용 서비스로 정의하며, 두 서비스를 동시에 제공할 수 있어야 한다<sup>[3~4]</sup>. 의료용 서비스는 다양한 의료용 센서를 이용하여 신체 내외에서 통신이 가능한 서비스를 의미한다<sup>[5]</sup>. 의료용 서비스의 데이터는 저속의 주기적인 데이터가 발생하는 특징이 있으며, 환자의 응급 상태나 급박한 상태 변화에 대해 예러 없이 실시간 응답을 필요로 한다. 비의료용 서비스는 인체를 중심으로 다양한 멀티미디어 장치들의 무선 연결에 이용되어 생체 데이터 수집용이나 웨어러블(wearable) 컴퓨터용으로 사용된다. 데이터 전송은 event-driven 방식으로 대량의 데이터가 간헐적으로 발생하는 특징이 있다. 이러한 다양한 특징의 서비스를 갖는 WBAN 대부분의 트래픽은 데이터가 집중되는 허브로 전달되므로 네트워크의 혼잡 발생 가능성이 높다. 또한, 네트워크 혼잡으로 인하여 데이터 손실이 발생한 경우, 사용자에게 만족스런 서비스를 보장해주지 못하게 된다. 따라서 WBAN 데이터의 신뢰성 및 성능을 향상시키기 위한 연구가 필요하다.

이러한 상황을 제어하기 위하여 허브의 입장에서 서비스의 특성을 고려한 다양한 버퍼 관리 알고리즘들이 연구되어 왔다. 가장 기본적인 데이터 제어를 위한 버퍼 관리 방법은 Drop tail 방식으로, 구현이 간단하지만 네트워크의 혼잡을 가중시키고 서비스 지연을 유발한다. 또한 모든 플로우의 데이터가 제거되기 때문에 혼잡을 일으키지 않은 플로우는 다른 플로우에 의해 데이터를 손실하여 불공평하게 처리되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 AQM(Active Queue Management)이 발달되었고, 버퍼 관리를 대표하는 RED(Random Early Detection)<sup>[6]</sup> 알고리즘이 제안되었다. 이 알고리즘은 버퍼에 들어오는 데이터를 버퍼의 혼잡 정도에 따라 확률적으로 제거하는 것으로, 버퍼의 혼잡상황 발생 시 정해진 확률에 의해 버퍼에서 데이터를 제거한다. 따라서 네트워크의 혼잡과 버퍼 지연을 완화하고, Drop tail 방식보다는 좋은 성능을 갖는다. 하지만 고정된 파라미터 사용으로 네트워크 상황에 적절하게 대응하지 못하며, 데이터를 무작위로 제거하기 때문에 전체 네트워크 성능이 저하되는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 RED 알고리즘을 변형 또는 보완한 알고리즘인 WRED(Weighted RED)<sup>[7]</sup>, ARED

(Adapted RED)<sup>[8]</sup>, ARIO(Adaptive RED with In and Out)<sup>[9]</sup>, BLUE<sup>[10]</sup>, CHOKe<sup>[11]</sup>, Raddady et al.'s RED<sup>[12]</sup>, ERED(Effective RED)<sup>[13]</sup> 그리고 [14] 등이 제안되었다.

본 논문에서는 WBAN 응용 서비스가 지연 시간과 데이터 손실에 민감하고 다양한 데이터를 갖는 특성을 고려하여 제한된 버퍼를 효율적으로 사용함으로써 네트워크의 성능을 향상시키는 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 버퍼가 비혼잡 상황이면 입력되는 데이터를 모두 저장하고, 버퍼가 혼잡상황인 경우 혼잡정도를 파악하여 데이터를 처리한다. 버퍼의 상태가 이전보다 원활해지면 데이터의 지연 시간과 허용 지연 시간을 비교하여 데이터를 처리하고, 버퍼의 상태가 이전보다 혼잡해지면 데이터의 우선순위에 따라 데이터 제거 확률을 다르게 적용하여 처리한다. 이것은 제한된 큐를 효율적으로 사용하여 중요한 데이터를 보호함으로써 WBAN 서비스의 품질을 향상시키기 위한 것이다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 NS-2(Network Simulator-2)를 이용하였으며, 허브에 ARED, WRED, 그리고 제안한 알고리즘을 적용하여 데이터 손실률과 데이터의 평균 전송 지연 시간을 비교하였다. 비교결과 본 논문에서 제안한 알고리즘이 다른 알고리즘보다 데이터의 전송 지연 시간을 줄이고, 중요한 데이터의 손실률을 낮추어 성능이 향상된 것을 알 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 IEEE 802.15.6 표준 응용 서비스의 특징과 기존에 제안된 버퍼 관리 알고리즘을 소개하고 III장에서는 본 논문에서 제안한 버퍼 관리 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 분석 및 평가하고, V장의 결론으로 본 논문을 마무리한다.

## II. 관련 연구

이 장에서는 IEEE 802.15.6 표준 응용 서비스의 특성과 제안한 알고리즘과의 성능평가를 위해 사용한 ARED, WRED 알고리즘에 대해 설명한다.

### 2.1. IEEE 802.15.6 표준 응용 서비스의 특징

IEEE 802.15.6 표준은 응용 서비스의 종류에 따라 의료용과 비의료용으로 나뉘며, 의료용 응용 서비스의 전송을 주목적으로 하고 비의료 응용 서비스까지 동시에 지원할 수 있어야 한다. 의료용 응용 서비스는 주기성

표 1. IEEE 802.15.6 표준 응용 서비스의 우선순위  
Table 1. Priority of IEEE 802.15.6 standard application service.

| Priority | WBAN services                          |
|----------|--|
| 0        | Non-medical services                   |
| 1        | Mixed medical and non-medical services |
| 2        | General health services                |
| 3        | Highest priority medical services      |

을 가지고 저속의 데이터를 발생하며, wakeup과 sleep을 반복하여 에너지 효율성을 높인다. 그중에서도 실시간 서비스를 제공하거나 서비스의 품질을 보장해야 하는 응급 의료 데이터의 경우 짧은 전송 지연이 요구된다. 반면, 동영상, 음성<sup>[1]</sup>과 같은 비의료용 응용 서비스는 고속의 event-driven 방식으로 버스트(burst) 데이터가 발생하는 특성이 있으며, QoS 보장을 요구하거나 실시간 서비스를 제공해야 하는 서비스의 경우 짧은 전송 지연이 요구된다. 여기서 버스트 데이터는 데이터율이 아주 짧은 시간동안 급변하는 데이터를 말한다.

표 1은 IEEE 802.15.6 표준 응용 서비스의 우선순위를 나타낸 것이다. 응용 서비스의 특징을 고려하여 non-medical services, mixed medical and non-medical services, general health services, highest priority medical services로 나누어 정의한 것으로, 값이 클수록 서비스의 우선순위가 높다. 이것은 WBAN 서비스의 광범위한 응용 범위를 보여주며, 높은 우선순위를 갖는 서비스가 먼저 처리될 수 있게 한다.

표 2는 IEEE 802.15.6 데이터 종류에 따른 우선순위

표 2. IEEE 802.15.6 표준 데이터 종류에 따른 우선순위  
Table 2. Priority according to IEEE 802.15.6 standard data type.

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

를 나타낸 것으로, IEEE 802.15.6 표준 응용 서비스를 8개의 데이터 종류로 나누고 우선순위를 정의하였다<sup>[2]</sup>. 우선순위 7~5는 의료 데이터, 우선순위 4~0은 비의료 데이터로 분류하며, 숫자가 클수록 우선순위가 높고 전송 지연에 민감한 데이터이다. 우선순위 7 데이터는 가장 높은 우선순위를 가지며, 응급 의료 데이터나 체내에 이식되어 동작하는 디바이스에서 발생하는 데이터를 정의한다. 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 4 이하의 데이터들은 비의료용으로써 일반 사용자 디바이스에서 사용하는 영상, 음성 등의 데이터들을 정의한다. 이러한 일반데이터는 주기적인 데이터와 간헐적인 데이터들이 모두 존재하는 특성이 있다.

표 3은 WBAN 응용 서비스별 요구사항을 나타낸다. 의료용 서비스에서 연속적인 데이터를 실시간으로 전송해야 하는 심전도(ECG)와 뇌파도(EEG)서비스는 낮은 데이터 전송률을 요구하고, 근전도(EMG)서비스는 가장 높은 데이터 전송률을 요구한다. 가장 낮은 데이터 전송률을 요구하는 혈당치 측정의 경우 단순한 수치 데이터만을 전송하기 때문에 1Kbps이하의 짧은 전송률을 요구한다. 또한 의료용 서비스는 서비스의 품질을 보장하기 위하여 최대 250ms의 지연 시간을 만족해야 한다. 반면, 비디오/의료 영상은 의료용 서비스에 비해 높은 데이터 전송률과 낮은 지연 시간을 요구하며, 음성 서

표 3. WBAN 응용 서비스별 요구사항  
Table 3. Requirement of WBAN each application service.

| 응용 서비스      | 목표 전송률      | 지연 시간  |
|-------------|-------------|--------|
| 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 |
| 음성 서비스      | 50~100Kbps  | <10ms  |

비스는 데이터 전송률과 지연 시간이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 이처럼 WBAN의 응용 서비스에서 발생하는 다양한 데이터의 특징을 고려하여 성능을 향상시키는 연구가 필요하다.

## 2.2. ARED 알고리즘

ARED 알고리즘은 버퍼내의 평균 버퍼 크기를 일정하게 유지하기 위해 허브의 트래픽 부하에 따라 데이터 제거 확률을 능동적으로 변화시키는 것이다. 이 알고리즘은 평균 버퍼 크기와 버퍼에서 데이터가 제거되는 확률을 예측하여 평균 버퍼 크기를 안정화하고 네트워크의 상황에 맞게 데이터 제거 확률을 변화시킨다. 이 알고리즘은 여러 트래픽 상황에 맞게 데이터 제거 확률을 변화시켜 평균 버퍼 크기를 안정화하는 것으로, 일정한 버퍼 크기의 목표값에 평균 버퍼 크기를 유지시켜 전체 성능을 향상시킨다. 또한, 순간적으로 발생하는 혼잡 상황에 유연하게 대처할 수 있다. 하지만, 혼잡이 지속되면 실시간 트래픽에 대한 적응성이 떨어져 성능이 저하된다.

## 2.3. WRED 알고리즘

WRED 알고리즘은 데이터의 우선순위에 따라 데이터의 제거 확률을 다르게 적용하여 처리하는 것이다. 버퍼가 혼잡상황일 경우 데이터는 우선순위에 따라 적용된 제거 확률에 의해 버퍼에서 제거된다. 이때, 우선순위가 낮은 데이터는 최소 임계값  $th_{min}$  과 최대 임계값  $th_{max}$  를 작은 값이 되도록 하여 데이터 제거 확률을 높이고, 우선순위가 높은 데이터는 큰  $th_{min}$  과  $th_{max}$  를 갖도록 하여 데이터 제거 확률을 낮추는 것이다. 따라서, 네트워크의 혼잡 상황을 원활하게 하고 우선순위가 높은 데이터를 보호하여 전체 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 데이터의 우선순위는 데이터 제거에만 영향을 주고, 스케줄링에는 영향을 미치지 않기 때문에 높은 우선순위의 데이터가 낮은 우선순위의 데이터보다 늦게 처리되어 성능저하가 발생하는 단점이 있다.

## III. 제안한 버퍼 관리 알고리즘

본 논문에서는 다양한 종류의 데이터를 갖는 WBAN의 특성과 버퍼의 혼잡정도를 고려하여 시스템의 성능

을 향상시키기 위한 버퍼 관리 알고리즘을 제안한다. WBAN 데이터는 지연 시간에 민감하고 서비스의 종류에 따라 데이터의 우선순위가 다른 특성을 가지므로 이것을 효율적으로 관리해야 사용자에게 고품질의 서비스를 제공할 수 있다. 따라서, 이러한 특성과 네트워크의 혼잡 상황을 고려하여 데이터의 제거 확률을 다르게 적용함으로써 네트워크의 성능과 서비스의 품질을 개선한 알고리즘을 제안한다.

제안한 알고리즘은 허브의 버퍼에 데이터가 도착할 때마다 평균 버퍼 크기  $Q_{avg}$  를 계산하고, 미리 정해진  $th_{min}$  (최소 임계값) 및  $th_{max}$  (최대 임계값)와 비교한다. 만약,  $Q_{avg}$  이  $th_{min}$  보다 작다면 비혼잡 상황으로 저장 공간이 충분하다고 판단하여 입력되는 모든 데이터를 저장한다. 하지만  $Q_{avg}$  값이 두 임계값 사이에 해당되면 혼잡 상황으로 판단하고  $Q_{avg}$  의 변화량을 고려하여 버퍼 안의 데이터를 제거한다.  $Q_{avg}$  는 현재 버퍼의 평균 크기, 식 (1)의 EWMA(Exponential Weighted Moving Average)을 이용하며, 데이터가 도착할 때마다 계산한 값을 네트워크 혼잡 제어에 적용한다. 여기서,  $W_q$  는 현재의 버퍼 크기가  $Q_{avg}$  에 미치는 영향을 결정하는 가중치이고,  $Q_{size}$  는 현재 버퍼의 크기를 나타낸다.  $Q_{avg}$  의 변화량은  $Q_{var}$  로 나타내고, 식 (2)를 이용하여 계산한다.  $Q_{avg\_pre}$  는 이전의 평균 버퍼 크기를 의미한다.  $Q_{avg}$  의 변화량  $Q_{var}$  이 음의 값이거나 0이면, 현재 네트워크의 혼잡 상태가 이전보다 개선되었다고 판단하고, WBAN의 데이터 중 수신 받은 데이터의 지연 시간이 허용 가능한 지연 시간보다 큰 데이터를 버퍼에서 제거한다. 허용 가능한 지연 시간은 표 3의 WBAN 응용 서비스별 요구사항을 기반으로 설정한다. 반면,  $Q_{var}$  이 양의 값인 경우 허브의 버퍼가 이전보다 혼잡해진 것이므로 WBAN 데이터의 종류를 고려하여 데이터를 제거한다. 데이터의 중요도가 높을수록 제거확률을 낮게 설정하여, 우선순위가 높은 데이터를 보호하는 것이다. 또한, 데이터 제거는 먼저 들어온 데이터를 먼저 처리하기 위하여 버퍼의 뒤쪽부터 제거한다.

$$Q_{avg} = (1 - W_q)Q_{avg} + W_q \times Q_{size} \quad (1)$$

$$Q_{var} = Q_{avg} - Q_{avg\_pre} \quad (2)$$



식 (3)은 데이터의 제거 확률을 계산하는 방법으로,  $P_b$ 는  $th_{min}$ 에서  $th_{max}$ 까지 선형적으로 증가하고,  $P_{max}$ 는 확률  $P_b$ 의 최대값을 정하기 위한 임의의 상수이다. 그리고  $th_{min}$ 과  $th_{max}$ 은 각각 버퍼의 최소 임계값, 최대 임계값이다. 식 (4)는 실제로 이용되는 데이터 제거 확률로, 확률  $P_b$ 에  $count$ 를 고려하여 계산한 최종 데이터 제거 확률이다.  $count$ 는 버퍼에 데이터가 들어올 때마다 증가하고, 데이터가 제거되면 초기화된다.  $count$ 값이 크면 확률값이 커지고, 허브 버퍼에 혼잡상황이 발생한 경우  $Q_{avg}$ 에 따라 확률  $P_a$ 를 적용하여 데이터를 제거한다.

$$P_b = P_{max} \frac{(Q_{avg} - th_{min})}{(th_{max} - th_{min})} \quad (3)$$

$$P_a = \frac{P_b}{1 - count \times P_b} \quad (4)$$

식 (5)는 WBAN의 서비스 유형에 따라 적용한  $th_{max}$ 으로써, 식 (3)에 적용하여 사용한다. 이 식은  $th_{min}$ 과  $D_{prio}$ 를 이용하여  $th_{max}$ 를 설정한 것으로, 우선순위가 높을수록 작은 값으로 설정하여 데이터 제거 확률을 낮추는 것이다. 여기서,  $D_{prio}$ 는 WBAN의 데이터 종류에 따라 우선순위를 반영하기 위한 상수 값으로, 표 1의 WBAN 응용 서비스의 우선순위를 참고하여 비의료 데이터, 의료 데이터, 응급 의료 데이터로 분류하여 설정한다. 응급 의료 데이터가 우선순위가 가장 높기 때문에  $D_{prio}$ 값이 가장 작고, 우선순위가 가장 낮은 비의료 데이터의  $D_{prio}$ 값이 가장 크다. 따라서, 응급 의료 데이터가 가장 작은  $th_{max}$ 를 갖게 되어 가장 낮은 데이터 제거 확률이 적용되고, 비의료 데이터는 가장 큰  $th_{max}$ 가 적용되어 가장 높은 데이터 제거 확률을 갖는다.

$$th_{max} = th_{min} \times D_{prio} \quad (5)$$

그림 1은 제안한 알고리즘의 의사코드이다. 버퍼의  $Q_{avg}$ 값과  $count$ 값은 각각 0과 -1로 초기화한다. 데이터가 버퍼에 도착하면  $Q_{avg}$ 를 계산하고 최소 임계값  $th_{min}$ 과 최대 임계값  $th_{max}$ 를 비교한다. 만약,  $Q_{avg}$ 가  $th_{min}$ 보다 작거나 같다면 버퍼에 저장 공간이 충분한 것이므로 수신한 데이터를 버퍼에 저장한다. 그리고

```

//Qavg : Average buffer size
//Qavg_pre : Previous average buffer size
//Qvar : Variation of average buffer size
//thmin : Minimum threshold
//thmax : Maximum threshold
//dik : delayed time of the kth data in flow i
//Dprio : Priority of the data
1  Qavg ← 0, count ← -1
2  For each data arrival
3      Calculate average queue size Qavg
4      Qavg = (1 - Wq)Qavg + Wq × Qsize
5      if(Qavg ≤ thmin)
6          Save data in the queue
7          Maintain a count value
8      else if (thmin < Qavg < thmax)
9          Qvar = Qavg - Qavg_pre
10         if (Qvar ≤ 0)
11             if(dik > deadline)
12                 Remove data except for urgent medical data
13             else
14                 Save packet in the queue
15             endif
16         else
17             Increment the count
18             thmax = thmin × Dprio
19             Calculate probability Pb :
20             Remove data by probability of Pa
21             count ← 0
22         endif
23     else
24         Remove data except for urgent medical data
25     endif

```

그림 1. 제안한 알고리즘의 의사코드

Fig. 1. Pseudo code for proposed algorithm.

$count$ 값은 버퍼가 혼잡한 상황에서 사용되는 파라미터이므로 이전에 설정한 값으로 유지한다. 반면,  $Q_{avg}$ 가  $th_{min}$ 과  $th_{max}$ 사이의 값이면 버퍼가 혼잡한 상황이므로,  $Q_{avg}$ 의 변화량에 따라 데이터 제거 확률을 다르게 적용하여 데이터를 버퍼에서 제거한다.  $Q_{avg}$ 의 변화량인  $Q_{var}$ 이 음의 값이거나 0이면, 데이터의 지연 시간

$d_i^k$ 와 deadline을 비교하여 데이터를 처리한다. 여기서 deadline은 데이터의 허용 가능한 지연시간을 의미한다.  $d_i^k$ 가 deadline보다 작으면 데이터를 버퍼에 저장하고, deadline보다 크면 응급 의료 데이터를 제외한 데이터를 버퍼에서 제거한다. 이것은 우선순위가 가장 높은 응급 의료 데이터를 보장하고, 허용 가능한 시간이 지난 데이터 대신 다른 데이터를 위한 큐 공간을 확보하여 성능을 향상시키기 위한 것이다. 반면,  $Q_{var}$ 이 양의 값인 경우, 처리해야 할 트래픽이 많아져 버퍼가 이전보다 혼잡해진 것이므로 데이터의 우선순위에 따라 데이터 제거 확률을 적용하여 처리한다. 데이터가 버퍼에 들어올 때마다 count 값을 증가시키고, 우선순위가 높은 데이터는 작은  $th_{max}$  값을 갖게 하여, 낮은 데이터 제거 확률이 적용되도록 한다. 데이터의 종류마다 계산된  $th_{max}$ 는 식 (3)의  $P_b$ 에 적용되고, 이  $P_b$ 는 식 (4)에 적용되어 최종 데이터 제거 확률인  $P_a$ 를 계산한다. 데이터가  $P_a$ 에 의해 버퍼에서 제거되면, count 값을 0으로 초기화한다. 그리고  $Q_{avg}$ 가  $th_{max}$ 보다 크거나 같은 경우,  $Q_{avg}$ 가  $th_{max}$ 보다 작아질 때까지 버퍼에 도착하는 데이터 중 응급 의료 데이터를 제외한 모든 데이터를 제거한다. 이것은 버퍼의 혼잡을 완화하고, 성능을 향상시키기 위한 것이다.

그림 2는 제안한 알고리즘의 동작과정을 보여준다. 그림에서  $Q_{avg}$ 가  $th_{min}$ 보다 작은 경우, 버퍼에 수신된 데이터를 모두 저장한다.  $Q_{avg}$ 가  $th_{min}$ 와  $th_{max}$  사이에 해당되는 경우,  $Q_{var}$ 를 확인하여 데이터를 처리한다.  $Q_{var}$ 이 음의 값이거나 0이면 네트워크의 상태가 이전보다 안정화된 것이므로, 데이터의 지연 시간과 deadline을 비교하여 데이터를 제거한다. 이것은 WBAN 서비스의 데이터가 지연 시간에 민감한 특성을 고려한 것으로 사용자에게 만족스런 서비스를 제공하기 위한 것이다. 이 경우, 데이터의 지연 시간이 deadline보다 작으면 버퍼에 저장하고, 그렇지 않으면 응급 의료 데이터를 제외한 데이터를 버퍼에서 제거한다. 반면,  $Q_{var}$ 이 양의 값이면 네트워크가 이전보다 혼잡한 상황이므로 데이터의 우선순위에 따라 데이터를 버퍼에서 제거하여 QoS를 보장한다. 여기서 UMD(Urgent Medical Data)는 응급 의료 데이터, MD(Medical Data)는 의료 데이터, NMD(Non-Medical Data)는 비의료 데이터를 의미하며, 데이터의 제거 확률은  $UMD < MD < NMD$ 의 관계를

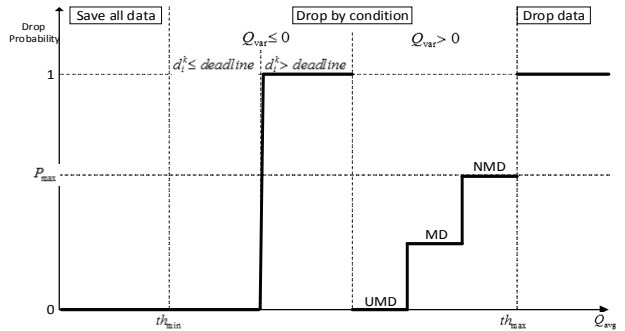


그림 2. 제안한 알고리즘의 동작과정  
Fig. 2. Operation process for proposed algorithm.

맞는다. 따라서, 네트워크가 이전보다 혼잡해진 경우, 응급 의료 데이터 UMD는 제거되지 않고, 비의료 데이터 NMD가 가장 높은 확률로 버퍼에서 제거된다.  $Q_{avg}$ 가  $th_{max}$ 보다 큰 경우,  $Q_{avg}$ 가  $th_{max}$ 보다 작아질 때까지 버퍼에 도착하는 데이터를 제거한다.

#### IV. 성능 분석 및 평가

이 장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 실험 환경을 정의하고, 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 데이터 손실률 및 평균 전송 지연 시간을 비교 및 분석하여 기술한다.

##### 4.1 실험환경

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 NS-2(Network Simulator-2)를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 허브로 3개의 노드에서 발생한 데이터가 전달되는 상황을 가정하였으며, 허브는 노드를 관리하는 코디네이터 역할을 한다. 그리고 3개의 노드는 각각 응급 의료 데이터, 일반 의료 데이터, 비의료 데이터를 전송한다. 데이터의 전송은 WBAN 데이터의 우선순위를 고려하여 응급 의료 데이터, 일반 의료 데이터, 그리고 비의료 데이터를 각각 1.0: 0.6: 0.2의 비율로 구성하였다. 네트워크가 혼잡한 상황에서 응급한 데이터의 효율적인 처리를 보여주기 위하여 높은 우선순위의 데이터 비율을 높게 구성하였다. 응급 의료 데이터는 event-driven 방식으로 발생하고 비주기적인 특성을 가지며, 환자의 응급한 상황이나 급박한 상태 변화 시 발생하므로 이러한 특성을 반영하기 위해 버스트 트래픽을 사용하였다. 이 데이터는 체내에 이식되어 동작

표 4. 시뮬레이션 파라미터  
Table 4. Simulation parameters.

| Parameters | Value |
|------------|-------|
| Queue size | 50    |
| $th_{min}$ | 20    |
| $th_{max}$ | 80    |
| $P_{max}$  | 0.02  |
| $W_q$      | 0.002 |

하는 디바이스에서 발생하거나, 노드의 고장이나 생명과 관련된 응급한 상황에서 나타난다. 일반 의료 데이터는 주로 생체 신호를 감지하므로 주기적인 특성이 있다. 따라서 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 사용하였다. 그리고 영상, 음성 등과 같은 비의료 데이터는 비주기적인 특성이 있으므로 버스트 트래픽을 사용하였다. 여기서, 버스트 트래픽은 데이터율이 아주 짧은 시간동안 급변하는 것이고, CBR 트래픽은 데이터율이 변하지 않는 것을 의미한다. 성능평가를 위해 ARED 알고리즘과 WRED 알고리즘, 그리고 제안한 알고리즘의 데이터 손실률과 평균 전송 지연 시간을 비교 및 분석하였다. ARED 알고리즘은 네트워크의 혼잡이 지속될 경우 높은 우선순위의 데이터가 손실되어 성능이 저하되고, WRED 알고리즘은 데이터의 우선순위를 고려하여 데이터를 제거하지만 높은 우선순위의 데이터가 낮은 우선순위의 데이터보다 늦게 처리될 수 있다. 제안한 알고리즘은 이러한 단점들을 보완하였으므로 두 알고리즘을 비교 대상을 선정하였다.

표 4는 시뮬레이션에서 사용한 파라미터 값을 나타낸다. Queue size는 허브에서 최대 수용할 수 있는 버퍼의 크기를 의미하고,  $th_{min}$ 은 제거 확률을 결정하는 버퍼의 최소 임계값을 나타낸다.  $th_{max}$ 는 데이터 제거 확률을 결정하는 버퍼의 최대 임계값이며,  $P_{max}$ 는 데이터 제거를 결정하는 최대 확률값을 나타낸다. 그리고  $W_q$ 는 버퍼의 크기 변화가 얼마나 빨리 평균 버퍼 크기에 반영되는가를 결정하는 파라미터이다.

4.2 성능 평가

그림 3은 각 알고리즘의 데이터 손실률을 비교한 것이다. 데이터 손실률은 수신량을 송신량으로 나눈 값으로, 1에 가까울수록 데이터의 손실률이 적은 것을 나타낸다. 여기서, NMD는 비의료 데이터, MD는 의료 데이터, UMD는 응급 의료 데이터를 의미한다. ARED 알고

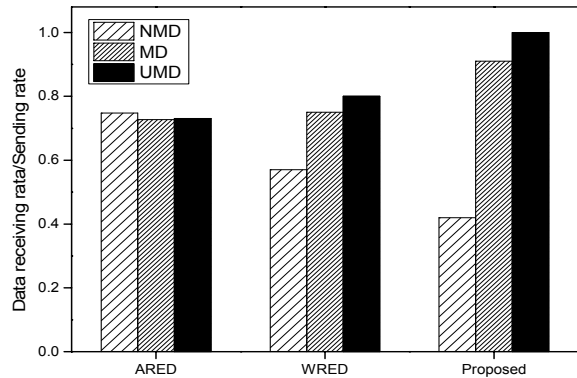


그림 3. 각 알고리즘의 데이터 손실률  
Fig. 3. Data loss rate of each algorithm.

리즘은 버퍼의 혼잡 상황 정도를 고려하여 데이터를 제거하지만, 데이터의 특성을 고려하지 않기 때문에 응급 의료 데이터의 손실률이 다른 알고리즘보다 큰 것을 알 수 있다. 따라서 WBAN의 사용자에게 만족스런 서비스를 제공할 수 없다. WRED 알고리즘은 데이터의 우선순위에 따라 데이터의 제거 확률을 다르게 적용하여 차별적으로 처리하므로 ARED 알고리즘보다 응급 의료 데이터의 손실률이 적다. 하지만 우선순위가 높은 데이터가 우선순위가 낮은 데이터보다 늦게 처리될 수 있고, 중요한 데이터의 손실이 발생하므로 제안한 알고리즘보다 응급 의료 데이터의 손실률이 큰 것을 알 수 있다. Proposed 알고리즘은 버퍼의 혼잡 상황과 데이터의 우선순위 및 지연 시간을 고려하여 서비스하므로, 우선순위가 높고 전송 지연에 민감한 응급 의료 데이터의 손실률이 가장 적다. 비록 비의료 데이터의 손실률이 다른 알고리즘보다 많지만 WBAN의 성능에 직접적인 영향을 주는 응급 의료 데이터의 손실을 최소화함으로써 WBAN 서비스의 품질을 향상시키는 것을 알 수 있다. 또한 버퍼의 혼잡상황을 고려한 데이터 처리로 더 많은 응급 의료 데이터를 처리하였다.

표 5는 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 데이터가 많이 지연된 것이다. ARED 알고리즘은 데이터의 지연 시간을 고려하지 않고 버퍼의 혼잡 상황만을 고려하여 데이터를 제거하므로 응급 의료 데이터의 평균 전송 지연 시간이 다른 알고리즘보다 긴 것을 알 수 있다. 또한, 버퍼가

표 5. 각 알고리즘의 평균 데이터 전송 지연 시간  
Table 5. Average data transmission delay time of each algorithm.

|     | ARED     | WRED     | Proposed |
|-----|----------|----------|----------|
| NMD | 56.602ms | 51.812ms | 12.724ms |
| MD  | 54.211ms | 44.634ms | 5.62ms   |
| UMD | 57.025ms | 35.321ms | 1.643ms  |

혼잡해지면 실시간으로 처리해야하는 데이터가 제거되거나, 우선순위가 낮은 데이터보다 늦게 서비스되어 긴 지연 시간을 갖는다. 데이터의 지연 시간에 민감한 응급 의료 데이터는 사용자에게 빠른 서비스를 제공해야 한다. 따라서 응급 의료 데이터의 신속한 처리가 중요하다. WRED 알고리즘은 데이터의 우선순위에 따라 데이터 제거 확률을 다르게 적용하여 데이터를 처리하므로 응급 의료 데이터의 지연 시간이 의료 데이터와 비의료 데이터보다 짧은 것을 알 수 있다. 하지만, 네트워크의 혼잡 상황을 고려하지 않으므로 지연 시간에 민감한 응급 의료 데이터가 네트워크의 혼잡으로 지체될 경우 사용자에게 빠른 서비스를 제공할 수 없다. Proposed 알고리즘은 네트워크가 혼잡 상황인 경우 데이터의 지연 시간과 우선순위를 고려하여 데이터를 처리하므로 다른 알고리즘보다 평균 데이터 전송 지연 시간이 전체적으로 낮은 것을 알 수 있다. 특히, 응급 의료 데이터의 우선순위가 다른 데이터보다 높기 때문에 가장 먼저 서비스되어 지연 시간이 가장 짧은 것을 알 수 있다. 그러므로 제안한 알고리즘이 응급 의료 데이터의 지연 시간을 감소시켜 신속하게 처리함으로써 사용자에게 가장 빠른 서비스를 제공하고, WBAN의 성능을 향상시킨 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 네트워크의 혼잡 상황에 따라 WBAN의 데이터 지연 시간과 우선순위를 고려하여 네트워크의 성능을 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 버퍼가 비혼잡 상황이면 데이터를 버퍼에 저장하고, 버퍼의 혼잡 상황이 이전보다 원활해지면 데이터의 지연 시간을 고려하여 데이터를 처리한다. 반면, 버퍼의 상태가 이전보다 혼잡해지면 데이터의 중요도에 따라 데이터 제거 확률을 다르게 적용하여 처리한다. 이 알고리즘은 네트워크의 혼잡 상황과 WBAN 데이터의 특성을 이용하여

데이터를 버퍼에서 제거함으로써, 제한된 버퍼를 효율적으로 사용하고 중요한 데이터를 보호한다. 또한 데이터의 전송 지연 시간을 감소시킴으로써 WBAN의 성능을 향상시킨다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 NS-2를 사용하였으며, 각 노드에서 보낸 데이터는 ARED, WRED, Proposed 알고리즘이 적용된 허브의 버퍼에서 데이터를 처리하고, 각 알고리즘의 데이터 손실률과 데이터의 평균 전송 지연 시간을 비교하였다. ARED 알고리즘은 버퍼의 혼잡 상황을 고려하지만 데이터의 중요도를 고려하지 않기 때문에 Proposed 알고리즘보다 응급 의료 데이터의 제거율이 높아 사용자에게 만족스런 서비스를 보장하지 않는다. 그리고 WRED 알고리즘은 데이터의 중요도만을 고려하여 데이터를 처리하므로 네트워크의 혼잡이 지속될 경우 의료 데이터의 수신율을 낮추어 네트워크의 성능을 보장하지 못한다. 따라서 Proposed 알고리즘이 버퍼의 혼잡 상황과 WBAN 데이터의 특성을 고려하여 응급 의료 데이터의 제거율을 낮추어, 다른 알고리즘보다 의료 데이터의 수신율을 높임으로써 WBAN 서비스의 성능이 향상된 것을 알 수 있다. 또한 데이터의 평균 전송 지연 시간이 다른 알고리즘보다 전반적으로 감소하였고, 특히 응급 의료 데이터가 가장 빠르게 서비스되었다.

## 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] S. Drude, "Requirements and application scenarios for body area networks", in *Proc. Mobile Wireless Commun. Summit*, 16th IST, pp.1-5, July 2007.
- [4] BAN application matrix, IEEE 802.15-07-0735-00-ban.
- [5] SG BAN closing report for San Francisco, IEEE 802.15-07-0806-01-0ban. July 2007.
- [6] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, pp. 397-413,



August 1993.

[7] "Advanced QoS Services for the Intelligent Internet", Cisco white paper, [http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/ioft/ioqo/tech/qos\\_wp.html](http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/ioft/ioqo/tech/qos_wp.html).

[8] S. Floyd and R. Gummadi, and S. Shenker "Adaptive RED: An algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management", *AT&T Center for Internet Research at ICSI*, August 2001.

[9] J. Orozco and D. Ros, "An Adaptive RIO(ARIO) Queue Management Algorithm", in *Proceedings of QoSIS 2003*, LNCS 2811, pp. 11-20, 2003.

[10] W. Feng, D. D. Kandlur, D. Saha and K. G. Shin, "BLUE: A New Class of Active Queue Management Algorithms", *Technical Report, UM CSE\_TR\_387\_99*, University of Michigan, 1999.

[11] A. Tang, J. Wang, and S. Low, "Understanding CHOKe: Throughput and Spatial Characteristics," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 12, no. 4, pp. 694-707, August 2004.

[12] F. A. Raddady and M. Woodward, "A New Adaptive Congestion Control Mechanism for the Internet Based on RED," *21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW '07)*, vol. 2, pp.934-939, May 2007.

[13] B. Abbasov and S. Korukoglu, "Effective RED: An algorithm to improve RED's performance by reducing packet loss rate", *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 32, issue. 3, pp. 703-709, May, 2009.

[14] S. N. S. Hashemi, S. Jamali, and H. Moratez, "A high-Performance Router: using fair-dropping policy," *Computer Communication & Collaboration* vol. 2, Issue 2, 2014.

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 강 희(학생회원)  
 2011년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2013년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2013년~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 센서 네트워크, SoC>



이 창 호(학생회원)  
 2008년 청주대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2010년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2010년~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 병렬 및 분산 처리 시스템, 컴퓨터 구조, Faulttolerant computing>



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, 무선 통신, 병렬 및 분산 처리 시스템>