

슬롯화된 ALOHA 센서 네트워크에서 공정성 향상을 위한 변형된 백오프 알고리즘

이종관*

Modified Back-Off Algorithm to Improve Fairness for Slotted ALOHA Sensor Networks

Jong-Kwan Lee*

*Assistant Professor, Department of Computer Science, Korea Military Academy, Seoul, 01805 Korea

요약

본 논문에서는 슬롯화된 ALOHA 센서 네트워크에서 노드의 전송 공정성을 향상하기 위한 변형된 백오프 알고리즘을 제안한다. 계층화된 네트워크 구조에서 하위 노드들에 의해 전송된 데이터를 종합하여 처리해야 하는 경우 하위 특정 노드의 성능 저하는 전체 시스템의 성능 저하를 야기할 수 있다. 따라서 네트워크에 참여하는 모든 노드에게 공평한 전송 성능을 보장하는 것이 중요하다. 제안하는 기법에서는 현재의 전송 결과 뿐 아니라 과거의 전송 결과를 고려하여 노드의 전송 대기 시간을 선정한다. 또한 연속적으로 전송에 실패한 노드에게는 점차 짧은 대기 시간을 부여하고 연속적으로 전송한 성공한 노드에게는 점차 긴 대기 시간을 부여한다. 이를 통해 전송 공정성을 향상시킨다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법의 성능을 대표적인 백오프 알고리즘인 BEB(binary exponential back-off) 알고리즘과 비교, 분석한다. 실험 결과 제안하는 기법을 적용했을 때 BEB에 비해 전송용량은 다소 저하(최대 5.8%, 최소 2.0%, 평균 3.0%)되지만 공정성은 크게 향상(최대 13.4%, 최소 3.6%, 평균 9.0%)됨을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, I propose an modified back-off algorithm to improve the fairness for slotted ALOHA sensor networks. In hierarchical networks, the performance degradation of a specific node can cause degradation of the overall network performance in case the data transmitted by lower nodes is needed to be synthesized and processed by an upper node. Therefore it is important to ensure the fairness of transmission performance to all nodes. The proposed scheme choose a back-off time of a node considering the previous transmission results as well as the current transmission result. Moreover a node that failed to transmit consecutively is given gradually shorter back-off time but a node that is success to transmit consecutively is given gradually longer back-off time. Through simulations, I compare and analyze the performance of the proposed scheme with the binary exponential back-off algorithm(BEB). The results show that the proposed scheme reduces the throughput slightly compared to BEB but improves the fairness significantly.

키워드: 알로하, 센서 네트워크, 백오프 알고리즘, 공정성, 랜덤 액세스

Keywords: ALOHA, Sensor Networks, Back-off Algorithm, Fairness, Random Access

Received 1 March 2019, Revised 18 March 2019, Accepted 24 March 2019

* Corresponding Author Jong-Kwan Lee(E-mail:jklee64@kma.ac.kr, Tel:+82-2-2197-2855)

Assistant Professor, Department of Computer Science, Korea Military Academy, Seoul, 01805 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.5.581>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

네트워크에 연결되어 운용되고 있는 기존 장치들 뿐 아니라 독립적인 개체로 활용되던 많은 사물들이 네트워크에 연결되는 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 환경의 기저에는 다양한 형태의 센서들이 광범위하게 운용된다. 센서들이 수집한 데이터는 허브센터를 통해 종합되고 유·무선으로 인터넷에 연결된다. 따라서 각각의 센서들은 통신기능을 구비한 초소형, 저용량, 저전력의 특징을 갖는 하나의 무선 통신노드이다[1, 2].

한편, 무선 네트워크 프로토콜 스택에서 MAC(Medium Access Control) 계층은 다수의 노드들이 한정된 무선 자원을 효율적으로 공유할 수 있게 하는 중요한 역할을 수행한다. 무선 네트워크에서 MAC은 크게 경쟁기반 기법과 예약기반 기법으로 구분할 수 있다[3].

경쟁기반 기법에서 무선 자원은 노드들에게 사전에 할당되어 있지 않으며 무선 자원이 필요한 경우 노드는 노드들간의 적절한 협력 또는 비협력적인 절차를 통해 무선자원을 획득하여 사용한다. 경쟁기반 기법이 적용된 네트워크는 많은 수의 노드들을 수용할 수 있지만 노드의 수가 증가할수록 자원할당을 위한 경쟁이 심화되어 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 하지만 경쟁에 참여하는 노드의 수가 적거나 트래픽이 간헐적으로 발생하는 경우에는 우수한 성능을 나타낸다[4]. 반면 예약기반 기법은 노드들에게 무선자원이 사전에 배타적으로 할당되어 네트워크에 가입된 노드들이 안정적으로 무선자원을 사용할 수 있다. 하지만 노드들이 전송할 데이터가 적은 경우에는 할당된 무선자원이 사용되지 못하고 낭비될 수 있다. 또한 무선자원의 양에 따라 한정된 수의 노드들만 수용할 수밖에 없다. 하지만 대량의 트래픽이 주기적으로 발생하거나 안정적인 서비스가 필수적인 경우에는 우수한 성능을 나타낸다[5].

한편 경쟁기반 기법과 예약기반 기법의 장점을 적절히 혼합한 형태의 하이브리드 기법이 있다. 하이브리드 기법은 경쟁 절차를 통해 무선자원을 할당하고 할당된 무선자원은 예약기반 기법처럼 일정기간 동안 독점적인 사용을 보장 받는다. 그리고 전송할 데이터가 없거나 전송 우선순위가 보다 높은 노드가 등장하는 경우 무선자원을 반납한다. 이를 통해 매우 동적인 트래픽 환경에서 경쟁기반 기법처럼 많은 수의 노드를 수용하고 예약기반 기법처럼 할당받은 무선자원을 안정적으로 사용

할 수 있다. 하지만 무선자원 할당, 반납 등의 절차가 매우 복잡하다[6-8].

서비스의 형태, 트래픽 발생 빈도와 유형, 참여하는 노드의 수에 따라 성능의 차이가 크기 때문에 적절한 MAC을 선택하는 것이 중요하다. 그런데 사물인터넷의 기저를 형성하는 센서 노드들은 계산량이 많이 요구되는 복잡한 기법이나 안정적으로 대량의 데이터를 처리하는 예약기반의 기법 보다는 간헐적이면서도 매우 동적인 트래픽을 처리하는데 적합한 경우가 있으며 이때 경쟁기반 기법이 많이 사용된다.

대표적인 경쟁기반 기법인 ALOHA 계열의 기법은 동작절차가 매우 간단하여 사물인터넷의 기반기술인 RFID, WiFi, LTE, Sigfox, LoRA, Weightless 등에 적용되고 있다[4]. 하지만 ALOHA 계열의 기법은 전송 데이터의 충돌을 완화시키는 과정에서 낮은 전송 공평성(fairness)과 낮은 전송 용량(throughput)의 문제점이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 있었으나 주로 전송용량을 극대화하는데 집중되었으며 공평성을 향상시키는 데는 상대적으로 관심이 소홀했다. 그런데 노드간의 전송 불공평성 문제는 전체 시스템 성능에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 분산 배치된 다수의 하위 노드들이 상위 노드에게 데이터를 전달하고 이러한 데이터들이 종합되어 유의미한 정보로 가공되거나 상위 노드로 재전달되기 때문에 전송 불공평성에 의한 특정 하위 노드의 성능 저하는 전체 시스템의 성능 저하를 초래한다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해 공평성을 고려한 기법이 필요하다.

본 논문에서는 슬롯화된 ALOHA 기반의 시스템에서 노드들의 전송 공평성을 향상시키기 위한 충돌 완화 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 노드의 현재 뿐 아니라 과거의 전송 성공 여부를 함께 고려하여 전송 대기시간을 선정한다. 또한 연속해서 전송에 실패한 노드의 전송 대기시간을 점점 줄여서 채널접근 기회를 증가시키고 이를 통해 전송 공평성이 향상된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 ALOHA와 백오프 알고리즘에 대해 살펴보고 3장에서 공평성 문제를 해결하기 위한 새로운 백오프 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통한 제안하는 기법의 성능에 대해 설명하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. ALOHA와 백오프 알고리즘

2.1. ALOHA 프로토콜

ALOHA는 경쟁기반 기법의 MAC 프로토콜 중 가장 기본적인 프로토콜이다. Pure ALOHA에서 단말은 전송할 데이터가 있으면 바로 전송한다. 이때 2개 이상의 단말이 데이터를 시간적으로 중복되게 전송하면 충돌이 발생하고 모든 데이터는 전송에 실패하게 된다. 그리고 일정 시간 이내에 ACK를 수신하지 못할 경우 단말은 대기시간(BT: back-off)을 임의로 선택하고 BT 이후에 데이터를 재전송한다.

한편, S-ALOHA(Slotted ALOHA)는 Pure ALOHA와는 달리 단말들이 모두 동기화되어 있고 시간슬롯의 시작점에서만 데이터를 전송한다. S-ALOHA에서 n 개의 단말들은 시간슬롯을 공유하고 일정한 확률로 데이터를 전송한다. 만약 특정 시간슬롯에서의 데이터 전송이 실패했다면 해당 데이터는 전송버퍼에 저장된 후 BT 이후 다시 전송을 시도하며 이러한 과정은 데이터 전송이 성공될 때까지 반복된다[9, 10].

ALOHA 계열의 프로토콜은 동작 절차가 매우 단순할 뿐 아니라 채널접속을 통제하기 위한 중앙통제소가 필요 없고 무한대의 단말들이 가입될 수 있는 큰 장점이 있다. 이러한 장점으로 ALOHA 계열의 프로토콜은 위성통신망, 이동통신망, LAN(Local Area Network), RFID(radio frequency Identification), 센서망 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 하지만 전송 데이터의 충돌 완화를 위한 과정에서 발생하는 낮은 전송 공평성(fairness)과 낮은 전송 용량(throughput) 등은 ALOHA 계열의 시스템에서 해결해야 할 문제들이다.

2.2. 백오프(back-off) 알고리즘

백오프 알고리즘은 S-ALOHA와 같이 임의접속(random access) 방식으로 채널을 선택하는 환경에서 데이터 전송시 충돌이 발생한 경우 네트워크 혼잡을 회피하기 위해 일정 시간을 대기한 후 데이터를 재전송하는 알고리즘이다. 일반적으로 데이터 충돌이 연속해서 발생하는 횟수에 비례해서 CW(Contention Window)가 증가하며 실제 대기시간은 0에서 CW 사이의 값에서 랜덤하게 선택된다[11]. 대표적인 백오프 알고리즘인 BEB(binary exponential back-off) 알고리즘의 예를 통해 백오프 알고리즘의 일반적인 동작절차를 알아본다.

BEB 알고리즘의 동작절차는 다음과 같다.

- 1) 첫 번째 데이터 충돌이 발생했을 때, CW는 1이다. 이때 시간슬롯의 길이는 해당 프로토콜이 적용되는 응용체제와 주파수 환경에 따라 정해진다. 단말은 대기시간을 0과 1 사이에서 랜덤하게 선택한다. 즉, 단말은 1/2의 확률로 대기시간 없이 데이터를 재전송할 수도 있고, 1/2의 확률로 1개 시간슬롯을 대기할 수도 있다.
- 2) 만약 재전송이 c 번 연속해서 실패하는 경우, CW는 2^{c-1} 으로 증가한다. 따라서 대기시간은 0과 2^{c-1} 시간슬롯 사이에서 랜덤하게 선택된다. 즉, 연속한 재전송 실패 횟수가 증가할수록 평균적으로 대기하는 시간이 증가하게 된다. 한편, 시스템에 따라서 c 의 상한값을 설정할 수도 있다. 즉, 연속한 재전송 실패가 c 번 이상 계속되더라도 최대 대기시간은 2^{c-1} 시간슬롯 이상으로 증가하지 않는다.

백오프 알고리즘은 CSMA/CA(carrier sense multiple access with collision avoidance), CSMA/CD(carrier sense multiple access with collision detection), S-ALOHA 등 경쟁기반 기법으로 채널을 선택하는 많은 시스템에 적용되어 있다. 그리고 연속된 재전송 횟수와 사용자 우선순위를 고려하여 CW를 적절하게 변경하는 다양한 백오프 알고리즘이 계속 연구되고 있다[12-14].

백오프 알고리즘의 기본 목적은 채널에 접근하고자 하는 단말의 수가 집중되어 충돌이 유발되는 경우 충돌을 야기한 단말들의 전송 기회를 넓게 분산시켜 충돌을 줄이고 이를 통해 전송용량을 극대화하는 것이다. 하지만 연속해서 충돌이 발생하는 단말의 경우 채널접근을 위한 대기 시간이 급격히 증가된다. 즉, 채널접근에 성공한 단말에게 더 많은 접근 기회가 주어지고 반대로 채널접근에 실패한 단말에게는 상대적으로 적은 접근 기회가 주어지게 되어 공평성이 훼손될 수밖에 없다. 한편, 센서 네트워크에서는 이벤트가 발생한 직후 이를 센싱한 다수의 센서들에게 균형된 데이터 전송 기회를 보장하는 것이 중요하다. 왜냐하면 센서들로부터 수집된 데이터들의 종합을 통해 유의미한 정보를 구성할 수 있기 때문이다.

III. 제안하는 기법

3.1. 노드의 상태 유형

제안하는 알고리즘에서는 노드의 현재 상태를 과거 전송시도(직전의 전송시도)의 결과와 현재 전송시도의 결과를 기초로 결정된다. $T_i \in \{S, F\}$ 를 i 번째 전송시도의 결과라 하자. 여기서 S와 F는 전송성공과 전송실패를 각각 의미한다. 표 1은 노드의 4가지 상태를 나타낸다. 각 노드는 4가지 상태 중 하나의 상태에 머물게 되며 상태전이도는 그림 1과 같다.

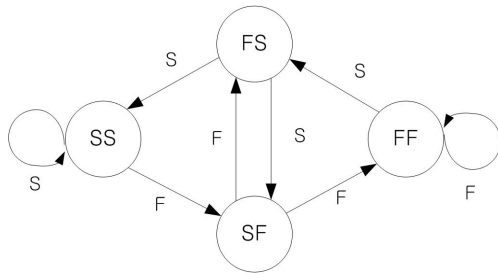


Fig. 1 State Transition Diagram for a node

3.2. BW와 CW의 변경 및 BT의 선택

제안하는 알고리즘에서 각 노드는 BW(Blind Window)와 CW(Contention Window)라는 양의 정수값을 유지한다. 노드가 네트워크에 가입된 직후의 BW와 CW는 각각 BW_0, CW_0 이다. 그리고 노드의 상태 천이에 따라 BW와 CW의 값은 변경되지만 각각 BW_{max}, CW_{max} 이상으로 증가하지는 않는다. 한편, BT는 BW와 CW에 의해 랜덤하게 선택된다. 노드의 상태별 BW, CW, BT의 값은 표 2와 같다. 표 2에서 $\min(a, b)$ 는 정수 a와 b 중 작은 값을 반환하는 함수이며, $\text{rand}(a, b)$ 는 정수 a와 정수 b 사이의 정수값 하나를 랜덤하게 선택하여 반환하는 함수이다. 그리고 α, β 는 각각 BW, CW의 크기를 조정하는 파라미터이다.

Table. 1 States of nodes

State	Description
SS	Initial state or $T_{i-1}=S, T_i=S$
SF	$T_{i-1}=S, T_i=F$
FS	$T_{i-1}=F, T_i=S$
FF	$T_{i-1}=F, T_i=F$

3.2.1. 상태 SS

상태 SS는 직전 시도에서 성공하고 현재 시도에서도 성공한 상태이다. SS 상태가 지속된다면 BW_i 는 α 배씩 계속 증가하지만 CW_i 는 변경되지 않는다. BT_i 는 BW_i 와 CW_i 사이의 값에서 랜덤하게 선택되기 때문에 패킷을 전송하기 위한 대기 시간이 증가할 확률이 점점 높아진다. 즉, 다른 노드에 비해 전송 기회가 점점 적어진다. 다시 말해 해당 노드는 이미 많은 전송 성공을 한 상태이기 때문에 전송 기회를 적게 갖는다는 것은 공평성이 향상된다는 것을 의미한다.

$$BT_i = \begin{cases} \text{rand}(BW_i, CW_i), & \text{if } BW_i < CW_i \\ CW_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

3.2.2. 상태 SF

상태 SF는 직전의 시도에서는 성공했으나 현재 시도에서 실패한 상태이다. 따라서 혼잡제어 차원에서 CW_i 는 CW_{i-1} 를 β 배 만큼 증가시키고 BW_i 는 초기값으로 변경한다. BT_i 는 BW_i 와 CW_i 사이에서 선택된다. 해당 노드는 직전 시도에서 성공하였기 때문에 BW_i 는 이미 초기값보다 큰 상태이다. 따라서 BW_i 를 초기화하지 않는다면 현재 시도에서 실패한 노드가 대기시간이 불필요하게 길어질 확률이 높게 된다.

3.2.3. 상태 FS

상태 FS는 직전 시도에서 실패했으나 현재 시도에서

Table. 2 Values of BW, CW and BT

	BW_i	CW_i	BT_i
SS	$\min(\alpha BW_{i-1}, BW_{max})$	CW_{i-1}	$\text{rand}(BW_i, CW_i)$ or CW_i
SF	BW_0	$\min(\beta CW_{i-1}, CW_{max})$	$\text{rand}(BW_i, CW_i)$
FS	αBW_0	CW_0	$\text{rand}(BW_i, CW_i)$
FF	αBW_0	$\min(\beta CW_{i-1}, CW_{max})$	$\text{rand}(0, CW_i)$ or $\text{rand}(0, CW_i - BW_i)$

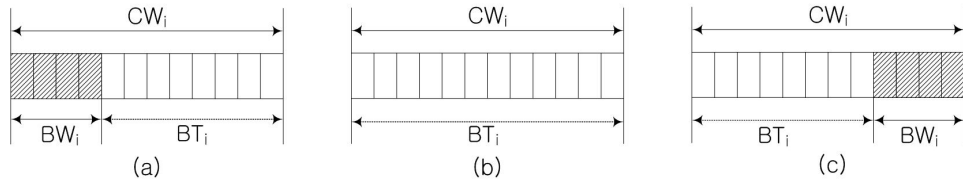


Fig. 2 The relationship among CW_i , BW_i and BT_i in node states. BT_i is selected randomly in BT_i period: (a) State SS, SF, FS (b) State FF in case of $CW_i < CW_{max}$ (c) State FF in case of $CW_i = CW_{max}$

성공한 상태로 BW_i 를 αBW_0 로 설정하고 CW_i 는 초기값으로 설정한다. 그리고 BT_i 는 BW_i 와 CW_i 사이에서 선택된다. 직전 시도에서 실패하였기 때문에 CW_i 가 초기값에서 증가한 상태이다. 따라서 CW_i 를 초기화한다. 그리고 현재 시도에서 성공한 상태이므로 다음 시도에서 너무 짧은 BT_i 가 되는 것을 방지하기 위해 BW_i 를 αBW_0 로 설정한다.

3.2.4. 상태 FF

상태 FF는 직전 시도에서 실패했고 현재 시도에서도 실패한 상태이다. 상태 FF에서의 BT는 식 (2)에 의해서 선택된다.

$$BT_i = \begin{cases} rand(0, CW_i) & , \text{if } CW_i < CW_{max} \\ rand(0, CW_i - BW_i) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

상태 FF가 지속된다면 CW 는 β 배씩 계속 증가하고 결국 CW_{max} 에 이르게 된다. 만약 BT_i 를 다른 상태에서처럼 BW_i 와 CW_i 사이에서 선택하게 된다면 해당 노드가 패킷 전송을 위해 대기하는 시간이 그 만큼 크게 증가할 확률이 높아진다. 즉, 다른 노드에 비해 전송 기회가 적어지게 되는 것이므로 공평성이 악화된다. 제안하는 알고리즘에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 상태 FF일 때 CW_i 가 CW_{max} 보다 작은 경우에는 0과 CW_i 사이에서 BT_i 를 선택하고 CW_i 가 CW_{max} 인 경우에는 0과 $CW_i - BW_i$ 사이에서 BT_i 를 선택한다. CW_i 가 CW_{max} 에 도달한 이후에도 상태 FF가 지속된다면 CW_i 의 값은 CW_{max} 로 유지된다. 반면 BW_i 는 α 배 만큼 계속 증가한다. 따라서 BT_i 가 점점 더 작은 값이 선택될 확률이 높아진다. 즉, 해당 노드에게 전송 기회가 보다 많이 부여되어 공평성이 향상되는 효과를 갖게 된다.

그림 2는 각 상태별로 CW_i , BW_i , BT_i 의 관계를 도식적으로 나타낸다.

IV. 성능 분석

본 절에서는 제안하는 기법을 S-ALOHA 시스템에 적용하여 BEB가 적용된 S-ALOHA 시스템과의 성능을 공평성과 전송용량 측면에서 비교, 분석한다.

4.1. 실험 환경

n 개의 하위 노드가 1개의 상위 노드에게 데이터를 S-ALOHA 방식으로 전송하며 모든 하위 노드들은 실험이 종료될 때까지 각 노드는 전송할 데이터가 항상 존재한다고 가정한다. 그리고 2개 이상의 하위 노드가 같은 슬롯에서 데이터를 전송하는 경우 데이터 충돌이 발생하여 전송한 모든 데이터가 상위 노드로 전달되지 않는다. 이때 캡처 효과(capture effect)는 고려하지 않으며 각 노드는 한 개의 슬롯내에서 전송 성공 또는 실패 여부를 확인할 수 있다.

BEB 기법이 적용된 S-ALOHA 시스템과 제안하는 기법이 적용된 S-ALOHA 시스템 모두 CW 의 초기값과 최대값을 동일하게 설정한다. 표3은 실험에 사용했던 주요 파라미터의 값이다. 특히 α , β 는 다양한 실험을 통해 가장 유의미한 결과를 나타낸 값으로 선정하였다.

Table. 3 Parameter values for simulation

Parameter	Values
Number of slots	100,000
n	5, 10, 15, 20, 25, 30
CW_{min} / CW_{max}	4 / 512
BW_{min} / BW_{max}	1 / 512
α / β	2 / 2

4.2. 성능 지표

제안하는 기법의 공평성을 측정하기 위해 Jain's Fairness Index를 사용하며 다음과 같이 정의한다.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (3)$$

식 (3)에서 x_i 는 실험 시간 동안 i 번째 하위 노드가 데이터 전송에 성공한 횟수를 나타낸다. F 는 $1/n$ (최악의 경우)과 1(최선의 경우) 사이의 값이며, $1/n$ 에 가까울수록 공평성이 낮은 것이고 1에 가까울수록 공평성이 높은 것이다.

실험이 종료된 후 시간슬롯은 데이터 전송에 성공한 슬롯(N_s), 데이터 충돌이 일어난 슬롯(N_f), 데이터 전송 시도가 일어나지 않은 슬롯(N_i) 등으로 구분한다. 한편, 시스템의 전송용량은 식 (4)와 같이 전체 슬롯의 개수(N_{tot})에서 데이터 전송에 성공한 슬롯의 개수($T=N_{succ}/N_{tot}$)로 정의한다.

$$T = \frac{N_s}{N_{tot}} \quad (4)$$

4.3. 실험 결과

n 이 5, 10, 15, 20, 25, 30으로 변경하여 BEB 기법과 제안하는 기법의 공평성, 전송용량을 측정하였다. 이때 α 와 β 는 모두 2로 설정하였다.

4.3.1. 공평성 비교

그림 3에서 보는 바와 같이 n 이 증가할수록 두 기법 모두 공평성이 감소한다. 이는 n 이 증가할수록 시스템에 유통되는 트래픽이 증가하여 이를 적절히 분산시키는 것이 제한되기 때문이다. 하지만 BEB 기법에 비해 제안하는 기법이 모든 경우에서 공평성이 높을 뿐 아니라 n 의 증가에 따른 공평성의 감소율은 상대적으로 작다. 제안하는 기법은 BEB 기법에 비해 공평성을 최소 3.6%에서 최대 13.4%까지 향상시키며 평균적으로는 9.0%를 향상시킨다.

4.3.2. 전송용량 비교

그림 3에서 보는 바와 같이 두 기법 모두 n 이 10이 될 때까지는 전송용량이 소폭 증가하지만 이후 전송용량이 감소한다. 이는 트래픽이 일정 수준 이상으로 증가하게 되면 슬롯 충돌이 증가할 수밖에 없기 때문이다. 그

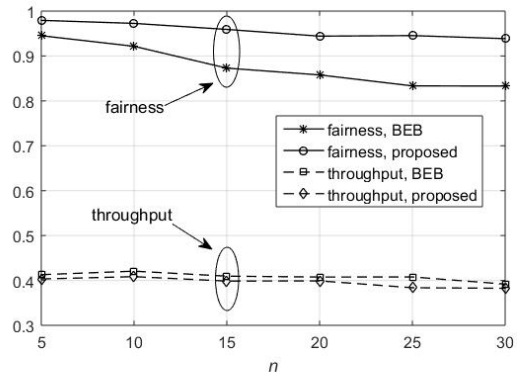


Fig. 3 Performance comparison between the proposed scheme and BEB algorithm: fairness and throughput

리고 제안하는 기법은 BEB에 비해 조금 낮은 전송용량을 나타낸다. 제안하는 기법은 전송 성공이 지속되는 노드에게 인위적으로 대기시간을 많이 부여하기 때문이다. 제안하는 기법은 BEB 기법에 비해 전송용량을 최소 2.0%에서 최대 5.8%까지 저하시키며 평균적으로는 3.0% 저하시킨다. 하지만 제안하는 기법에 의해 향상되는 공평성에 비하면 저하되는 전송용량은 상대적으로 적다고 할 수 있다.

4.3.3. α 와 β 의 영향 분석

α 는 BEB 기법에는 사용되지 않고 제안하는 기법에만 적용되는 파라미터이다. α 의 증가는 연속적으로 전송에 성공하는 노드의 대기시간을 증가시키는 것을 의미한다. 따라서 α 값을 통해 특정 노드에 의해 슬롯사용이 독점되는 정도를 조절할 수 있다. 또한 α 는 특정 노드가 r 번 이상 연속적으로 전송에 실패한 경우 대기시간을 줄여주는 정도를 조정한다. 즉 α 가 클수록 대기시간은 급격히 줄어들고 α 가 작을수록 완만하게 줄어든다. 그리고 r 값은 식 (5)에 의해서 결정되는데 α 는 r 값의 결정에도 관련이 있다. α 가 증가할수록 r 은 작아지고 α 가 감소할수록 r 은 커진다.

$$r = \left\lceil \log_{\alpha} \frac{CW_{\max}}{CW_{\min}} \right\rceil \quad (5)$$

반면 β 는 BEB 기법과 제안하는 기법에 동일하게 적용되는 파라미터이다. β 의 증가는 전송에 실패한 노드

의 대기시간을 증가시키는 것을 의미한다. 따라서 β 값을 통해 트래픽의 분산 정도를 조정할 수 있다. β 가 클수록 대기시간이 급격하게 증가하고 β 가 작을수록 완만하게 증가한다.

V. 결론

본 논문은 S-ALOHA 시스템에서 노드들의 전송 공평성을 향상시키기 위한 변형된 백오프 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 기법은 노드의 현재 전송결과 뿐 아니라 과거의 전송결과를 함께 고려하여 전송 대기시간을 선정한다.

기존 BEB 알고리즘은 연속해서 전송에 실패한 노드의 전송 대기시간이 지수적으로 증가하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 기법은 일정 횟수 이상 연속으로 전송에 실패한 노드의 대기시간은 점차 감소시키고 반대로 연속해서 전송에 성공한 노드의 대기시간은 점차 증대시켜 시스템의 공평성을 향상시킨다. 제안하는 기법을 모의실험을 통해 성능을 확인한 결과 제안하는 기법이 기존 BEB 기법에 비해 전송용량은 다소 감소(최대 5.8%, 최소 2.0%, 평균 3.0%) 시키지만 공평성은 크게 증가(최대 13.4%, 최소 3.6%, 평균 9.0%) 시키는 것을 확인하였다. 따라서 제안하는 기법이 공평성이 중요한 다양한 네트워크에 효과적으로 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the research fund of the Korea Military Academy and by the national research foundation (NRF) grant funded by the Korea government(No. 2019R1G1A1003030).

REFERENCES

- [1] B. Dhanalaxmi, and G. A. Naidu, "A survey on design and analysis of robust IoT architecture," *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, Bangalore, pp. 375-378, 2017.
- [2] A. Ahmad, S. Ahmad, M. H. Rehmani, and N. U. Hassan, "A Survey on Radio Resource Allocation in Cognitive Radio Sensor Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 888-917, Secondquarter 2015.
- [3] R. Jurdak, C. V. Lopes, and P. Baldi, "A survey, classification and comparative analysis of medium access control protocols for ad hoc networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 6, no. 1, pp. 2-16, First Quarter 2004.
- [4] A. Laya, C. Kalalas, F. Vazquez-Gallego, L. Alonso, and J. Alonso-Zarate, "Goodbye, ALOHA!," in *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2029-2044, 2016.
- [5] J. Lee, H. Noh, and J. Lim, "TDMA-Based Cooperative MAC Protocol for Multi-Hop Relaying Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 3, pp. 435-438, Mar. 2014.
- [6] B. Shrestha, K. W. Choi, and E. Hossain, "A Dynamic Time Slot Allocation Scheme for Hybrid CSMA/TDMA MAC Protocol," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 2, no. 5, pp. 535-538, Oct. 2013.
- [7] Wei Liu, and Muqing Wu, "A hybrid tdma protocol for Ad Hoc Networks," *IET International Conference on Communication Technology and Application (ICCTA 2011)*, Beijing, pp. 375-378, 2011.
- [8] B. Shrestha, E. Hossain, and K. W. Choi, "Distributed and Centralized Hybrid CSMA/CA-TDMA Schemes for Single-Hop Wireless Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 4050-4065, Jul. 2014.
- [9] H. Noh, J. Lee, and J. Lim, "ANC-ALOHA: Analog Network Coding ALOHA for Satellite Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 6, pp. 957-960, Jun. 2014.
- [10] Willam Stallng, *Data and Computer Communications*, Prentice Hall, 2004.
- [11] M. M. Rahaman, K. Ashrafuzzaman, M. S. Chowdhury, and M. O. Rahman, "Performance measurement of different backoff algorithms in IEEE 802.15.4," *2016 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET)*, Dhaka, pp. 1-4, 2016.
- [12] Y. Neeraja, and V. Sumalatha, "An advanced wireless medium access backoff algorithm for MANETs," *2015 Science and Information Conference (SAI)*, London, pp. 1033-1036, 2015.
- [13] F. Hong-yu, X. Lei, and L. Xiao-hui, "Logarithmic Backoff Algorithm of MAC Protocol in Ad Hoc Networks," *2010 International Conference on E-Business and E-Government*,

Guangzhou, pp. 1695-1698, 2010.

- [14] C. Shi, X. Dai, Q. Zhou, and J. Nie, "A Novel Fixed Contention Window Backoff Algorithm for IEEE 802.11 WLAN," *2010 International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, Nanjing, pp. 174-177, 2010.



이종관 (Jong-Kwan Lee)

2000년 육군사관학교 전자공학과 학사
2004년 한국과학기술원 전자공학과 석사
2014년 아주대학교 NCW(Network Centric Warfare) 공학 박사
2017년 ~ 현재 육군사관학교 컴퓨터과학과 조교수
※ 관심분야 : 네트워크중심전, 사이버전, 인공지능, 전술통신