

# IoT 네트워크에서 패킷 손실과 에너지 소모를 고려한 브로드캐스트 데이터 전달 방법

전 승 용\*, 안 지 형\*, 이 태 진<sup>o</sup>

## Broadcast Data Delivery in IoT Networks with Packet Loss and Energy Constraint

Seung Yong Jeon\*, Ji Hyoung Ahn\*, Tae-Jin Lee<sup>o</sup>

### 요 약

IoT(Internet of Things)는 무선 네트워크를 기반으로 다수의 사물 및 사람들을 연결시킬 수 있다. IoT 환경에서는 수많은 장비들에 데이터를 전달할 수 있는 신뢰성 있는 브로드캐스트가 중요하다. 주변 환경으로부터의 에너지 하베스팅은 지속 가능한 IoT 네트워크를 구성하기 위한 핵심 기술이다. IoT 네트워크에서 신뢰성 있는 브로드캐스트를 위해서는 패킷 손실 및 에너지 부족 문제를 완화해야 한다. 본 논문에서는 다수의 노드들이 존재하는 환경에서 패킷 손실과 에너지 소모를 고려한 에너지 효율적이고 신뢰성 있는 브로드캐스트 방법을 제시한다. 제안 방법을 통해 데이터 복원 확률을 최대 15% 증가시키고 에너지 소모를 최대 17% 감소시킬 수 있다.

**Key Words** : IoT, Broadcast, Energy Harvesting

### ABSTRACT

Internet of Things (IoT) is based on wireless networks being able to connect things and people on a large scale. In the IoT environment, reliable broadcast plays an important role to distribute data to a large number of devices. Energy harvesting from a surrounding environment is a key technique to achieve a sustainable IoT network. In IoT networks, a problem of transmission errors and energy shortage should be mitigated for reliable broadcast. In this paper, we propose an energy-efficient and reliable broadcast method to consider packet errors and energy consumption in the environment where a large number of nodes are connected. The proposed scheme can improve data restoration probability by up to 15% and reduce energy consumption by up to 17%.

### I. 서 론

IoT(Internet of Things)는 다수의 사물 및 사람들을 인터넷에 연결시킬 수 있는 무선 네트워크를 기반으로 하여 지능화 된 서비스를 제공하기 위한 기반 시

설이며<sup>[1]</sup>, 실내 공기를 실시간으로 모니터링<sup>[2]</sup>하고 콜드 체인을 관리<sup>[3]</sup>하는 등 다양한 분야에 활용될 수 있다. IoT 환경에서는 수많은 장비들에 일괄적으로 펌웨어를 업데이트 하거나 대형마트 혹은 쇼핑몰에서 디지털 광고판에 미디어 데이터를 전송하는 등의 용도로

※ 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2014R1A5A1011478).

※ 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2010-0020210).

◦ First Author : College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, jsy0205@skku.edu, 학생회원

◦ Corresponding Author : College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, tjlee@skku.edu, 종신회원

\* College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, beramode@skku.edu, 학생회원

논문번호 : KICS2015-11-365, Received November 13, 2015; Revised January 29, 2016; Accepted February 1, 2016

사용될 수 있는 브로드캐스트가 중요하다. 에너지 하베스팅은 진동, 빛, 열, 전자기파 등으로부터 전기 에너지를 생성하는 기술로서 주기적인 배터리 교체에 소요되는 비용 및 인력을 절감할 수 있으며, 외부 환경으로부터 변환한 에너지를 이용하여 전력 소비를 줄일 수 있기 때문에 지속 가능한 IoT 네트워크를 위해 필수적이다<sup>4,5)</sup>.

무선 통신에서 신뢰성 있는 전송을 위한 대표적인 2가지 기술로 ARQ(Automatic Repeat reQuest)와 FEC(Forward Error Correction)가 있다. ARQ는 송신자가 수신자의 응답(ACK)을 기반으로 누락된 패킷을 재전송하는 기술이다. 노드의 수가 많을 때, 패킷 재전송을 위해 연결을 유지하는 동안 상당량의 대기 전력 소모가 있을 수 있다. 게다가 ACK 전송은 전력을 소모하기 때문에 에너지의 양이 제한된 환경에서는 에너지 부족이 발생할 수도 있다. FEC는 송신자가 수신자에게 오류 정정 부호가 포함된 데이터 패킷을 전송하는 기술이다. 수신자는 오류 정정 부호를 이용하여 재전송 없이 스스로 오류를 검출하고 정정할 수 있다. 브로드캐스트 네트워크 환경에서 ARQ를 이용하는 것은 기지국에 과도한 부하를 초래할 수 있기 때문에 FEC를 이용하는 것이 더 적합하다<sup>6)</sup>.

이레이저 코드는 일종의 FEC 코드이다. 리드 솔로몬 코드와 토네이도 코드와 같은 전통적 이레이저 코드에서 부호화 된 블록의 크기는 고정된 부호화율(Code rate)에 의해 결정된다<sup>7,8)</sup>. Kuan은 부호화율이 고정된 이레이저 코딩을 활용한 신뢰성 있는 브로드캐스트 방법을 제안하였다<sup>9)</sup>. 부호화율이 일정하게 고정되어 있는 부호화 방법은 정해진 크기의 원본 데이터에 대한 부호화 된 데이터의 크기가 항상 일정하다. 부호화 된 데이터의 크기가 증가하면 원본 데이터 복원 확률이 증가하지만 송수신에 걸리는 시간도 증가하고, 부호화 된 데이터의 크기가 감소하면 송수신 시간이 감소하지만 원본 데이터 복원 확률도 감소한다. 또한, 부호화율이 일정한 부호화 방법은 노드의 패킷 수신에 영향을 미치는 외부 채널 환경에 유연하게 대처하기가 어렵다.

IoT 노드의 주된 에너지 소비원은 기지국으로부터 브로드캐스트 되는 패킷을 수신하는 것이다<sup>10)</sup>. 채널 오류로 인해 수신 패킷 중 일부가 누락되면 노드는 기지국이 송신한 원본 데이터를 복원하지 못하게 되고 패킷 수신에 사용되었던 에너지는 낭비되는 결과를 초래한다. 에너지 하베스팅은 노드가 데이터를 송수신하기 위하여 필요한 에너지를 충전하는데 사용되어 지속성을 높일 수 있지만 충전효과가 강력하지 않다.

따라서 IoT 노드는 하베스팅한 에너지를 가지고 최대한 신뢰성 있고 지속성 있는 통신을 할 수 있어야 한다.

파운틴 코드는 이레이저 코드의 하위 분류로 부호화율에 제한이 없기 때문에 무율(Rateless) 코드라고도 한다. LT(Luby Transform) 코드는 최초의 실용적인 파운틴 코드로, 부호화 시 Degree distribution이라 불리는 확률 밀도 함수를 기반으로 임의로 선택된 데이터 패킷들을 비트 단위 XOR(Exclusive OR) 연산을 통해 부호화한다<sup>11,12)</sup>. 본 논문에서는 각 노드에서의 브로드캐스트 패킷 전송 오류 확률을 고려하여 매프레임마다 원본 데이터의 부호화율을 유동적으로 조정하는 브로드캐스트 방법을 제안한다. 본 논문의 제안 방법은 기지국이 노드의 패킷 수신 오류 확률 정보를 받아 그것을 기반으로 다음 프레임의 부호화율을 조정함으로써 노드의 패킷 수신에 영향을 미치는 외부 채널 환경의 변화에 유연하게 대처할 수 있다. 또한, 다수의 노드가 존재하는 IoT 네트워크 환경에서 패킷 손실률을 고려하기 위한 방법을 제시하였다.

## II. 제안하는 신뢰성 있는 브로드캐스트 방법

### 2.1 이레이저 코딩을 이용한 부호화 및 복호화

제안 방법은 그림 1과 같이 한 기지국의 범위 내에 있는 다수의 노드가 기지국으로부터 주기적으로 브로드캐스트 되는 패킷을 수신하는 네트워크 환경을 가정한다. 제안 방법은 이레이저 코딩 기반의 부호화 및 복호화 방법을 활용한다. 그림 2는 원본 데이터의 크기  $N$ 은 3, 부호화 시 추가되는 데이터의 크기  $K$ 는 2인 이레이저 코딩의 부호화 및 복호화 과정을 보여준다. 이레이저 코딩을 통해  $N$ 개의 패킷으로 분할된 원본 데이터는  $N+K$ 개의 패킷으로 부호화 된다. 이 때, 부호화 된  $N+K$ 개의 패킷을 블록이라고 한다. 부호

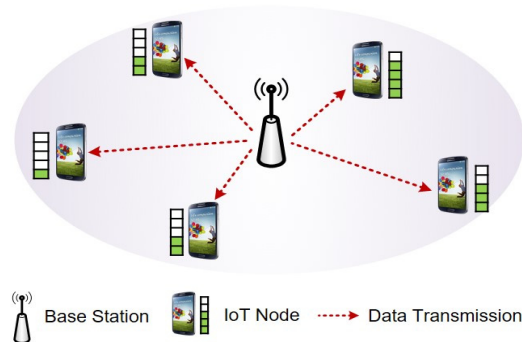


그림 1. 제안 방법의 네트워크 환경  
Fig. 1. The network environment of the proposed method

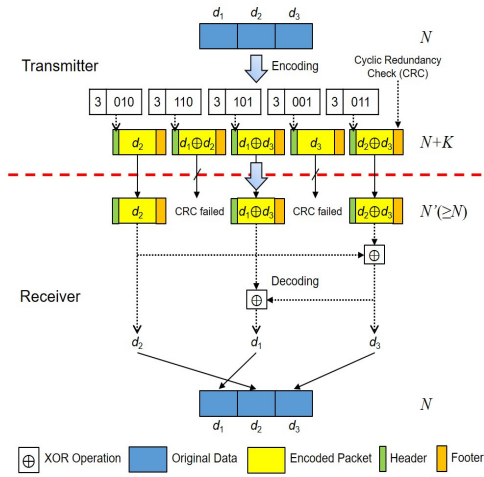


그림 2. 이레이저 코딩의 부호화 및 복호화 과정  
Fig. 2. The encoding and decoding process of the erasure coding

화 과정을 마치면 송신노드는 부호화 된 블록을 수신 노드에게 전송한다. 수신노드는  $N + K$ 개의 패킷 중에서 최소  $N$ 개의 패킷을 성공적으로 수신하면 원본 데이터를 복원할 수 있다. 하지만 수신노드가 성공적으로 수신한 패킷의 수가  $N$ 개보다 작다면 원본 데이터를 복원할 수 없다<sup>9)</sup>.

2.2 프레임 구조

제안 방법에서 하나의 프레임은 그림 3처럼 브로드캐스트 구간과 ACK 구간으로 구성된다. 임의의 노드는 한 프레임 동안 수신로 에너지 하베스팅을 수행한다. 브로드캐스트 구간에서 각 노드는 기지국으로부터 브로드캐스트 되는 패킷을 수신한다. ACK 구간에서 각 노드는 총 패킷 수신 횟수와 수신에 실패한 패킷의 수에 대한 정보를 FSA(Framed Slotted ALOHA) 방법의 경쟁 과정을 거쳐 기지국에 전송한다. 기지국은 ACK 구간에서 성공적으로 수신한 노드의 정보를 기반으로 다음 프레임의 부호화율을 결정하며, ACK 구간에서 노드로부터 성공적으로 수신한 패킷 수신 오류 정보가 없는 경우 이전 프레임의 패킷 수신 오류 정보를 그대로 사용하여 부호화율을 결정한다<sup>13)</sup>.

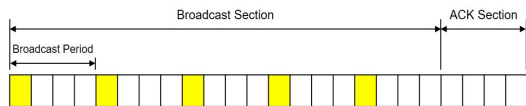


그림 3. 제안 방법의 프레임 구조  
Fig. 3. The frame structure of the proposed method

2.3 잔여 에너지 검토 및 수신 조기 종료

각 노드는 프레임의 시작 시점에서 잔여 에너지량을 검토한다. 노드의 잔여 에너지량이 한 프레임 동안 패킷 수신 및 ACK 전송으로 소비할 수 있는 에너지의 최대값보다 크다면 장비는 블록 수신을 결정하며, 그렇지 않은 경우에는 수신을 포기하고 에너지 하베스팅만 수행한다. 이를 통해 에너지 부족으로 인하여 브로드캐스트 패킷 수신에 도중에 중단되어 원본 데이터 복원이 불가능해지는 문제를 해결할 수 있다. 노드가 브로드캐스트 구간이 끝나기 전에 원본 데이터를 복원시킬 수 있을 만큼의 패킷, 즉,  $N$ 개의 패킷을 수신하였다면 전력소모를 줄이기 위해 이후 브로드캐스트 되는 패킷에 대한 수신을 중단한다. 또한, 노드가 브로드캐스트 구간이 끝나기 전에  $K + 1$ 개의 패킷을 정상적으로 수신하지 못하였다면 노드는 더 이상 원본 데이터를 복원하는 것이 불가능하므로 이후 브로드캐스트 되는 패킷에 대한 수신을 중단한다<sup>9)</sup>.

2.4 ACK 구간 접속 제어

기지국이 수신 노드의 피드백을 받아 다음 프레임의 부호화율을 조정하는 방법은 각 노드의 브로드캐스트 패킷 수신 결과를 기반으로 부호화율을 조정하기 때문에, 부호화율이 고정된 방법보다 데이터 복원 확률이 더 높다는 장점이 있다<sup>13)</sup>. 그러나 노드들이 기지국으로 피드백 정보를 보내는 ACK 구간의 길이는 한정되어 있다. 기지국에 가입된 전체 노드의 수가 ACK 구간에서의 슬롯 수보다 많다면 해당 구간에서 피드백 정보를 전송하는 노드들 간의 충돌이 잦아질 것이다. 기지국과 노드들 간의 정상적인 피드백을 위해서는 노드들 사이의 과도한 경쟁을 제어해야 한다. 기지국 주위에 다수의 노드가 존재할 때, ACK 구간에서 노드의 경쟁을 제어하는 방법은 노드의 경쟁을 제어하지 않는 방법보다 같은 에너지 조건에서 더 높은 처리율을 달성할 수 있다.

제안 방법은 노드의 피드백 정보 전송 시도를 제어하기 위해 0에서 1 사이의 실수인 Control factor  $\beta$ 를 도입한다. 전체 노드 수를  $n$ , ACK 구간에서의 슬롯 수를  $T_A$ 라고 하면 FSA 프로토콜에서 각 슬롯의 성공 확률<sup>14)</sup>을 이용하여 하나의 노드가 ACK 구간을 통해 피드백 정보를 성공적으로 전송할 확률을 구할 수 있다.

$$P_s = n \frac{1}{T_A} \left( 1 - \frac{1}{T_A} \right)^{n-1} \quad (1)$$

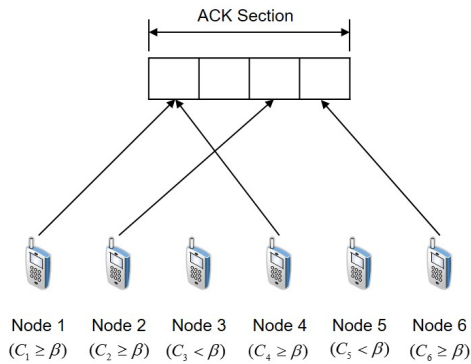


그림 4. 제안 방법의 ACK 구간 동작의 예  
 Fig. 4. The process example on the ACK section of proposed method

$P_S$ 는  $n = T_A$ 일 때, 최대값을 갖기 때문에 ACK 구간 경쟁에 참여하는 노드의 수의 기댓값이  $T_A$ 와 같도록  $\beta$ 값을 설정해야 한다. 노드는 프레임의 시작부에서 0에서 1 사이의 임의의 실수를 생성하며, 이 실수값을  $\beta$ 값과 비교하여 전송 시도 여부를 결정한다. 임의의 노드  $k$ 가 생성하는 실수  $C_k$ 가  $\beta$ 보다 작다면 노드는 경쟁에 참여하지 않고,  $\beta$ 보다 크거나 같다면 경쟁에 참여한다. 그러면 각 노드가 ACK 구간에서 경쟁에 참여할 확률은  $(1-\beta)$ 이므로,  $P_S$ 의 값을 최대로 하는  $\beta$ 의 값은 다음과 같다.

$$\beta = 1 - \frac{T_A}{n}, \quad 0 < \beta < 1 \quad (2)$$

그림 4는  $n=6$ ,  $T_A=4$ 일 때 제안 방법의 ACK 구간 동작 예를 나타낸 것이다. ACK 구간에서 노드 3과 노드 5가 각각 생성한 임의의 실수  $C_3$ ,  $C_5$ 는 Control factor  $\beta$ 보다 작기 때문에 노드 3, 노드 5는 ACK 구간에서 경쟁을 시도하지 않는다.

### 2.5 전체 동작

그림 5는  $N=3$ ,  $K=2$ 일 때, 제안 방법의 동작 예를 나타낸 것이다. 모든 노드는 동등한 채널 환경에 있다고 가정한다. 브로드캐스트 구간에서 각 노드는 기지국에서 브로드캐스트 되는 패킷을 수신한다. 브로드캐스트 구간에서 노드 2와 노드 3은 네 번째 브로드캐스트 패킷 수신에서 본래의 데이터를 복원하는데 필요한 3개의 패킷을 수신하였기 때문에 ACK 구간 전까지 수신을 중단하고 슬립 모드에서 동작한다. 노드 5는 네 번째 브로드캐스트 패킷 수신에서 3개의 패킷을 정상적으로 수신하지 못해 본래의 데이터를 복

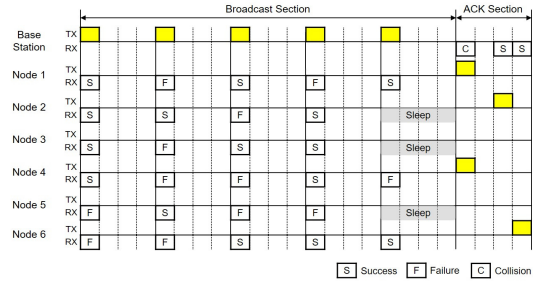


그림 5. 제안 방법의 동작 예  
 Fig. 5. The process example of the proposed method

원하는 것이 불가능하기 때문에 ACK 구간 전까지 수신을 중단하고 슬립 모드에서 동작한다. ACK 구간에서 기지국은 피드백을 수행하기 위해 모든 노드의 패킷 오류 확률 정보를 받을 필요는 없다. 노드의 상황 링크(Uplink) 동작을 단순화하기 위해 각 노드는 패킷 수신 횟수와 수신 실패한 패킷의 수에 대한 정보를 FSA 경쟁 과정을 거쳐 기지국에 전송한다. 노드 3과 노드 5는 경쟁을 시도하지 않기 때문에 경쟁 노드의 수와 ACK 구간에서의 슬롯 수가 같아진다. 슬롯을 단독으로 선택한 노드 2와 노드 6은 ACK 전송에 성공하지만 같은 슬롯을 선택한 노드 1과 노드 4는 ACK 전송에 실패한다.

기지국에서는 노드 2와 노드 6의 패킷 수신 횟수 및 수신에 실패한 패킷의 수 정보를 기반으로 다음 프레임의  $K$  값을 결정한다. ACK 구간의 경쟁에서 성공한 노드의 수를  $n_S$ 개라고 하면  $m$ 번째 프레임에서의 패킷 수신 오류 확률  $\tilde{\mu}_m$ 은  $n_S$ 개의 패킷 수신 오류 확률값 중 가장 높은값으로 결정한다. 기지국은  $\tilde{\mu}_m$ 의 값과 무관하게 매 프레임마다 피드백을 수행한다. ACK 구간에서 노드로부터 패킷 수신 오류 확률 정보를 받지 못한 경우 다음 프레임의 부호화율을 조정할 근거가 없기 때문에 이전 프레임의 패킷 수신 오류 정보를 그대로 사용하여 다음 프레임의 부호화율을 결정한다.  $m$ 번째 프레임에서의 브로드캐스트 횟수는  $N + K_m$  번이며  $K_{m+1}$ 은 다음과 같이 결정된다<sup>[3]</sup>.

$$K_{m+1} = \lceil \alpha K_m + (1-\alpha)N\tilde{\mu}_m \rceil \quad (3)$$

식 (3)에서 가중치  $\alpha$ 를 이용한 이동 평균을 통해서 패킷 오류를 충분히 보상할 수 있을 만큼의 부호화율을 결정할 수 있다. 그림 5에서 노드 2의 경우, (패킷 수신 횟수) = 4, (수신에 실패한 패킷의 수) = 1이므로  $\tilde{\mu}$  값은  $1 \div 4 = 0.25$ 이다. 노드 6의 경우, (패킷 수

신 횟수) = 5, (수신에 실패한 패킷의 수) = 2이므로  $\tilde{\mu}$  값은  $2 \div 5 = 0.4$ 이다. 따라서 다음 프레임의  $K$  값을 결정하기 위한  $\tilde{\mu}$  값은  $\max(0.25, 0.4) = 0.4$ 이며, 현재 프레임의  $K$  값이 2이고  $\alpha = 0.5$ 일 때 다음 프레임의  $K$  값은  $\lceil 0.5 \times 2 + (1 - 0.5) \times 3 \times 0.4 \rceil = 2$ 이다.

### III. 성능 평가

시뮬레이션을 통해 제안 방법과 기존 방법의 성능 평가를 수행하였다. 시뮬레이션에서  $n$ 개의 노드는 기지국으로부터 브로드캐스트 주기  $T$ 마다  $E_R$ 만큼의 에너지를 소비하여 패킷을 수신하며, 이 때  $(1 - \mu)$ 의 확률로 성공적으로 수신한다. 그리고 ACK 구간에서 ACK 정보를 기지국으로 보내기 위해  $E_S$ 만큼의 에너지를 소비한다. 에너지 하베스팅 모델은 스위치 또는 진동에 기반한 모델<sup>[15]</sup>을 사용하였다. 각 노드는 매 슬롯마다  $P_H$ 의 확률로 에너지 하베스팅에 성공하여  $E_H$ 만큼의 에너지를 획득한다.

본 시뮬레이션에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.  $N, K_0, E_R$  값은 Kuan의 시뮬레이션 파라미터<sup>[9]</sup>를 참고하였다. 일반적으로 송신에 소모되는 에너지량과 수신에 소모되는 에너지량은 비슷하기 때문에  $E_S$  값은  $E_R$  값과 같게 설정하였다. 부호화율 계산 과정에서 사용되는 Smoothing factor  $\alpha$  값은 0.5로 설정하였다. Control factor의 크기와 데이터 복원 확률의 관계를 알아보기 위해  $\beta$  값을 다양하게 변화시켰다. 마찬가지로, Control factor를 도입하지 않은 방법과 도입한 방법의 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량을 비교하기 위해  $\mu$  값을 다양하게 변화시켰다. 에너지 하베스팅율이 브로드캐스트율보다 크거나 같다면 노드의 에너지 부족으로 블록을 수신하지 않는 경우가 거의 발생하지 않기 때문에 데이터를 안정적으로 브로드캐스트할 수 있다. 하지만 에너지 하베스팅율이 브로드캐스트율보다 작다면 노드의 에너지 부족으로 블록을 수신하지 않는 경우가 더 자주 발생하기 때문

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
$\alpha$	0.5	$P_H$	0.25
$N$	3, 5	$E_H$	10mJ
$K_0$	2	$\mu$	0.1~0.8
$E_R$	40mJ	$T$	10slots
$E_S$	40mJ	$\beta$	0~1

에 노드의 데이터 수신에 지연이 발생한다. 최적의 에너지 소비를 만족하기 위해서는 에너지 하베스팅율과 브로드캐스트율이 장기적으로 하베스팅된 에너지의 총량과 소비된 에너지의 총량이 같아지도록 설정되어야 한다. 본 시뮬레이션에서는 에너지가 부족한 환경을 가정하기 위해 에너지 하베스팅율이 브로드캐스트율보다 더 작도록 관련 파라미터  $P_H, E_H, T$ 를 설정하였다. 프레임의 시작부에서 잔여 에너지가 충분치 않아 블록을 수신하지 않는 경우는 데이터 복원 실패로 간주한다.

ACK 구간의 크기와 데이터 복원 확률의 관계를 알아보기 위해 노드의 수  $n$ 은 50개, 패킷 오류 확률  $\mu$ 는 0.1로 설정하고 Control factor  $\beta$ 는 적용하지 않은 상태에서 시뮬레이션을 실행하였다. 결과는 그림 6과 같다. ACK 구간의 크기가 증가하면 ACK 구간의 길이가 늘어난 만큼 노드가 에너지 하베스팅을 더 할 수 있고, 피드백 정보 전송에 성공하는 평균 노드 수가 증가하기 때문에 데이터 복원 확률이 증가한다. 원본 데이터의 크기  $N$ 이 5인 경우의 프레임 당 평균 에너지 소비량은 원본 데이터의 크기  $N$ 이 3인 경우의 프레임 당 평균 에너지 소비량보다 크기 때문에 프레임의 시작부에서 잔여 에너지 부족으로 인해 블록을 수신하지 않을 확률이 더 높다. 따라서  $N$ 이 클수록 데이터 복원 확률이 낮게 나타난다. 또한 노드 수 대비 ACK 구간의 크기가 지나치게 작은 경우에는 ACK 구간에서 전송을 시도하는 노드들 사이에 과도한 충돌이 발생함으로 인해 정상적인 피드백이 거의 불가능하며, 기지국에서 패킷 오류 확률을 정확하게 추정하기 어려워지기 때문에 데이터 복원 확률이 낮아진다.

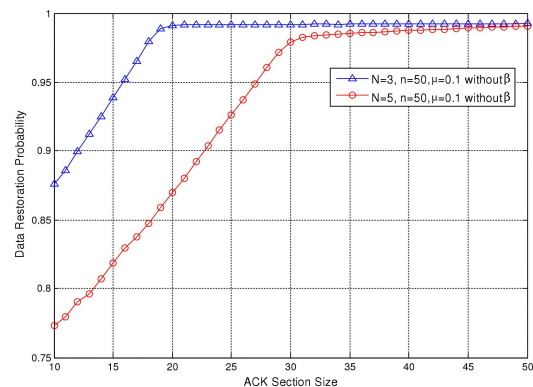


그림 6. ACK 구간의 길이와 데이터 복원 확률의 관계  
Fig. 6. The relationship between ACK section size and data restoration probability

Control factor  $\beta$ 의 크기와 데이터 복원 확률의 관계를 알아보기 위해 노드의 수  $n$ 은 20개, 패킷 오류 확률  $\mu$ 는 0.1로 설정하여 시뮬레이션을 실행하였다. 결과는 그림 7과 같다.  $\beta$  값이 증가하면 ACK 구간에서 경쟁에 참여하는 평균 노드 수가 감소하여 각 노드가 기지국으로 피드백 정보를 성공적으로 전송할 확률이 증가하고 각 노드의 프레임 당 평균 에너지 소비량이 감소하기 때문에 데이터 복원 확률이 증가한다. 하지만  $\beta$  값이 지나치게 증가하면 피드백 정보 전송을 시도하는 노드 수가 피드백이 정상적으로 기능하지 못할 정도로 감소하기 때문에 데이터 복원 확률이 감소한다.  $\beta$  값이 1이면 모든 노드가 피드백 전송을 시도하지 않으며 결과적으로 부호화율이 고정된 브로드캐스트 방법과 같아진다.  $N=3$ 인 경우,  $\beta$  값이 0.6 이하인 구간에서는  $\beta$  값이 증가함에 따라 데이터 복원 확률이 증가하는 것을 볼 수 있다.  $N=5$ 인 경우,  $\beta$  값이 0.8 이상인 구간에서도  $\beta$  값이 증가함에 따라 데이터 복원 확률이 증가하는데, 이는 노드의 프레임 당 평균 에너지 소비량이 감소하는 것으로 인한 이득이 피드백이 정상적으로 동작하지 않는 것으로 인한 손해보다 더 크기 때문인 것으로 분석된다. 해당 시뮬레이션을 통해  $N=3$ 일 때  $\beta=0.6$ ,  $N=5$ 일 때  $\beta=0.95$ 를 사용하는 것이 최적의 데이터 복원 확률을 낼 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 8은 노드의 수  $n$ 이 50개이고 원본 데이터의 크기  $N$ 이 각각 3, 5일 때 Control factor  $\beta$ 를 도입하지 않은 기존 방법과  $\beta$ 를 도입한 제안 방법의 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량을 비교한 그래프이다.  $P_s$ 의 값을 최대를 하기 위해  $\beta$ 의 값은 0.8로 설정하였다. 패킷 오류 확률이 증가할수록 패킷이 더 많이

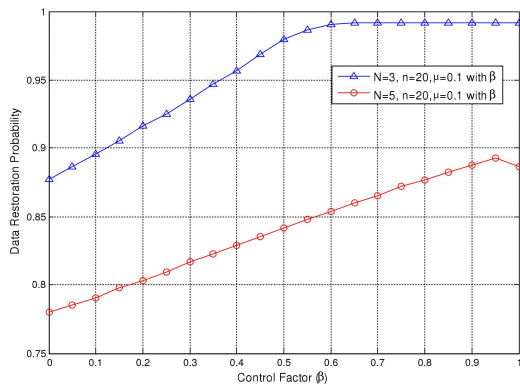


그림 7. Control factor의 크기와 데이터 복원 확률의 관계  
Fig. 7. The relationship between control factor size and data restoration probability

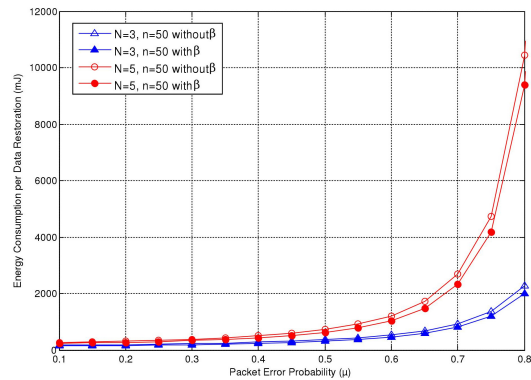


그림 8. 기존 방법과 제안 방법의 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량 비교  
Fig. 8. The comparison of energy consumption per data restoration between previous method and proposed method

생성되지만 데이터 복원에 성공하는 횟수는 감소하기 때문에 기존 방법과 제안 방법 모두 패킷 오류 확률이 증가함에 따라 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량이 증가한다. 또한,  $N$ 의 값에 무관하게 제안 방법의 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량이 기존 방법의 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량보다 더 작다는 것을 알 수 있는데, 그 이유는  $\beta$ 를 도입함으로써 ACK 구간에서 노드들 간의 과도한 경쟁이 완화되어 ACK 구간에서의 피드백이 정상화되기 때문이다. 또한, 일부 노드들만 ACK 구간 경쟁에 참여하기 때문에 각 노드가 경쟁에 소모하는 평균 에너지량을 줄일 수 있고 그만큼 블록 수신 기회가 증가한다는 점도 하나의 원인으로 분석된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기지국에 노드가 대규모로 접속된 IoT 환경에서 ACK 구간의 과도한 경쟁으로 정상적인 피드백이 불가능한 문제를 해결하는 브로드캐스트 방법을 제안하였다. 논문에서 제안한 방법은 Control factor를 도입하여 각 노드의 피드백 정보 전송 시도를 확률적으로 제한함으로써 피드백을 정상화시키고 데이터 복원 확률을 증가시킬 수 있다. 또한, 각 노드의 프레임 당 평균 소모전력을 줄임으로써 에너지가 부족한 환경에서 노드의 지속성을 더욱 높일 수 있다.

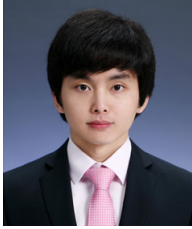
제안 방법의 성능을 증명하기 위해서 시뮬레이션을 통해 ACK 구간의 크기 및 Control factor의 크기에 대한 데이터 복원 확률을 확인하였다. 그 결과 노드 수와 패킷 오류 확률이 고정된 조건에서 ACK 구간의 크기가 클수록 데이터 복원 확률이 높고, 마찬가지로

Control factor의 크기가 클수록 데이터 복원 확률이 높음을 알 수 있었다. 또한, 기존 방법과 제안 방법의 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량을 비교한 결과 제안 방법이 기존 방법에 비해 데이터 복원 1회당 평균 에너지 소모량이 최대 17% 더 낮음을 알 수 있었다.

### References

- [1] Z. Sheng, S. Yang, Y. Yu, A. Vasilakos, J. McCann, and K. K. Leung, "A survey on the IETF protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 91-98, Dec. 2013.
- [2] C.-S. Oh, M.-S. Seo, J.-H. Lee, S.-H. Kim, Y.-D. Kim, and H.-J. Park, "Indoor air quality monitoring systems in the IoT environment," *J. KICS*, vol. 40, no. 5, pp. 886-891, May 2015.
- [3] A. Chandra, J. S. Back, and S. R. Lee, "Internet-of-Things based approach for monitoring pharmaceutical cold chain," *J. KICS*, vol. 39, no. 9, pp. 828-840, Sep. 2014.
- [4] C. C. Kuan and H. Y. Wei, "Design and analysis for reliable broadcast transmission in energy harvesting networks," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1745-1750, Anaheim, USA, Dec. 2012.
- [5] S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: survey and implications," *IEEE Commun. Surveys and Tuts.*, vol. 13, no. 3, pp. 443-461, Jul. 2011.
- [6] H. Weatherspoon and J. Kubiatowicz, "Erasure coding vs. replication: a quantitative comparison," in *Proc. 1st Int. Workshop Peer-to-Peer Syst.*, pp. 328-337, Cambridge, USA, Mar. 2002.
- [7] I. S. Reed and G. Solomon, "Polynomial codes over certain finite fields," *J. Soc. Ind. and Appl. Math.*, vol. 8, no. 2, pp. 300-304, Jun. 1960.
- [8] J. W. Byers, M. Luby, and M. Mitzenmacher, "A digital fountain approach to asynchronous reliable multicast," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 20, no. 8, pp. 1528-1540, Oct. 2002.
- [9] C. C. Kuan, G. Y. Lin, H. Y. Wei, and R. Vannithamby, "Reliable multicast and broadcast mechanisms for energy-harvesting devices," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 4, pp. 1813-1826, May 2014.
- [10] O. Landsiedel, K. Wehrle, and S. Gotz, "Accurate prediction of power consumption in sensor networks," in *Proc. 2nd IEEE Wksp. Embedded Netw. Sensors*, pp. 37-44, Sydney, Australia, May 2005.
- [11] M. Luby, "LT codes," in *Proc. IEEE Annu. Symp. Foundations of Comput. Sci.*, pp. 271-280, Vancouver, Canada, Nov. 2002.
- [12] R. Kumar, A. Paul, U. Ramachandran, and D. Kotz, "On improving wireless broadcast reliability of sensor networks using erasure codes," in *Proc. 2nd Int. Conf. Mob. Ad-hoc and Sensor Netw.*, pp. 155-170, Hong Kong, China, Dec. 2006.
- [13] S. Y. Jeon, J. H. Ahn, and T.-J. Lee, "Reliable broadcast method using rateless erasure coding for wireless energy harvesting networks," in *Proc. KICS Conference 2015*, pp. 109-110, Jeju Island, Korea, Jun. 2015.
- [14] J. Cha and J. Kim, "Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system," in *Proc. 11th Int. Conf. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 2, pp. 63-67, Fukuoka, Japan, Jul. 2005.
- [15] B. Medepally, N. B. Mehta, and C. R. Murthy, "Implications of energy profile and storage on energy harvesting sensor link performance," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6, Honolulu, USA, Dec. 2009.

**전 승 용 (Seung Yong Jeon)**



2013년 2월 : 한양대학교 전자  
통신공학과 졸업 (학사)  
2014년 9월~현재 : 성균관대학  
교 전자전기컴퓨터공학과 석  
사과정  
<관심분야> IoT, M2M, 무선  
네트워크

**이 태 진 (Tae-Jin Lee)**



1989년 2월 : 연세대학교 전자공  
학과 졸업 (학사)  
1991년 2월 : 연세대학교 전자공  
학과 졸업 (석사)  
1995년 12월 : University of  
Michigan, Ann Arbor, EECS  
(M.S.E.)

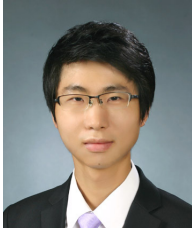
1999년 5월 : University of Texas, Austin, ECE  
(Ph.D.)

1999년 5월~2001년 2월 : 삼성전자 중앙연구소 책임  
연구원

2001년 3월~현재 : 성균관대학교 정보통신대학 전자전  
기공학부 교수

<관심분야> 무선 LAN/PAN/MAN, ad-hoc/센서/RFID  
네트워크, IoT, M2M, 무선 네트워크, 무선 통신 시  
스템

**안 지 형 (Ji Hyoung Ahn)**



2010년 2월 : 성균관대학교 정  
보통신공학부 졸업 (학사)  
2012년 2월 : 성균관대학교 전자  
전기컴퓨터공학과 졸업 (석사)  
2012년 3월~현재 : 성균관대학  
교 전자전기컴퓨터공학과 박  
사과정

<관심분야> ad-hoc 네트워크, IoT, 무선 LAN/PAN