

무선 인체 네트워크에서의 계산 효율과 에너지 효율 향상을 위한 시스템매틱 네트워크 코딩

준회원 김 대 혁*, 종신회원 서 영 주**°

Systematic Network Coding for Computational Efficiency and Energy Efficiency in Wireless Body Area Networks

Daehyeok Kim* Associate Member, Young-Joo Suh**° Lifelong Member

요 약

최근 무선 인체 네트워크 (WBAN)는 유비쿼터스 헬스케어 시스템에의 활용으로 주목 받고 있다. WBAN에서는 인체에 부착되거나 이식되는 센서 노드와 PDA와 같은 휴대용 개인 베이스 스테이션 (BS)의 에너지 제약이 있고, 이 장치들의 제한된 계산 능력과 메모리 때문에 노드들이 수행하는 계산의 복잡도를 최대한 줄여야만 한다. 또한 생체 신호를 다루기 때문에 신뢰성 있는 데이터 전송이 필수적이다. 본 논문에서는 네트워크 코딩 오버헤드를 줄이고 에너지 효율을 높이기 위해 WBAN을 위한 시스템매틱 (systematic) 네트워크 코딩 기법을 제안한다. 제안하는 시스템을 마코프 체인 (Markov chain)을 이용해 모델링 하고 모든 노드가 BS로의 데이터 패킷 전송을 완료하는데 까지 소모되는 에너지를 최소화 하는 것을 최적화 문제로 정의 하였다. 다양한 환경에서 시뮬레이션을 수행 한 결과 기존의 전송 방법과 비교 했을 때 에너지 효율을 얻는 것을 보였다. 또한 기존의 WBAN에서의 네트워크 코딩의 디코딩 과정 보다 계산 복잡도가 낮아 네트워크 코딩으로 인한 계산 오버헤드를 줄였다.

Key Words : 무선 인체 네트워크, 네트워크 코딩, 시분할 다중 접속, 에너지 효율, 계산 복잡도

ABSTRACT

Recently, wireless body area network (WBAN) has received much attention as an application for the ubiquitous healthcare system. In WBAN, each sensor nodes and a personal base station such as PDA have an energy constraint and computation overhead should be minimized due to node's limited computing power and memory constraint. The reliable data transmission also must be guaranteed because it handles vital signals. In this paper, we propose a systematic network coding scheme for WBAN to reduce the network coding overhead as well as total energy consumption for completion the transmission. We model the proposed scheme using Markov chain. To minimize the total energy consumption for completing the data transmission, we made the problem as a minimization problem and find an optimal solution. Our simulation result shows that large amount of energy reduction is achieved by proposed systematic network coding. Also, the proposed scheme reduces the computational overhead of network coding imposed on each node by simplify the decoding process.

* 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 『세계수준의 연구중심대학 육성사업(WCU)』 과 (R31-10100) 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업과 (2011-0026371) 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 (NIPA-2011-C1090-1131-0009) 지원을 받아 수행되었음.

* 포항공과대학교 정보전자융합공학부 (kdh4097@postech.ac.kr)

** 포항공과대학교 컴퓨터공학부 (yjsuh@postech.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-08-365, 접수일자 : 2011년 8월 23일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 16일

I. 서 론

무선 센서 네트워크 (WSN)는 의료와 헬스케어 시스템을 포함한 다양한 분야에서 응용 되고 있다. 무선 인체 네트워크 (WBAN)는 이러한 센서 네트워크 기술 중 인체 내에서 다양한 의료 센서들 사이의 원활한 통신과 효율적인 인체 정보 수집을 위해 제안된 네트워크이다. 의료 분야에서의 WBAN의 도입은 의사와 환자 모두에게 유연성과 편리함이라는 장점을 제공해 준다. 한 가지 WBAN 시스템의 예는 환자의 몸 안쪽에 생체 신호를 센서들이 부착 되어 있고, 이들은 측정된 신호를 스마트폰이나 PDA와 같은 개인 베이스 스테이션 (BS)에 전송 하는 형태이다. BS는 전달 받은 정보를 원격지의 서버나 데이터베이스에 전송하여 병원에서 환자의 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 위와 같은 WBAN에서의 센서 노드와 BS 사이의 통신에 초점을 맞춘다.

실용적인 WBAN을 구축하기 위해서는 해결해야 할 몇 가지 문제점들이 존재한다. 그 중에서 가장 주된 문제는 센서 노드들의 에너지 소비의 제약과 관련 되어 있다. 인체에 부착 되거나 이식 되는 센서들은 그 크기가 작기 때문에 큰 용량의 배터리를 장착하지 못한다. 또한 이식된 센서의 배터리는 교체가 어렵기 때문에 에너지 소비가 더 큰 제약으로 작용한다. 따라서 WBAN에서는 적은 에너지 소비로도 노드간의 신뢰성 있는 통신이 보장 될 수 있도록 해야 한다. 뿐만 아니라 노드의 제한된 계산 능력과 메모리에 의해 복잡한 계산은 센서 노드나 BS에서 수행하기 어렵다.

이러한 한계점을 극복하기 하기 위해 본 논문에서는 WBAN에 시스템틱 (systematic) 네트워크 코딩을 적용하여 에너지 효율적이고 신뢰성 있는 통신 방법을 제안한다. 제안하는 기법은 네트워크 코딩 과정에서 큰 필드 크기를 요구하는 기존의 랜덤 선형 네트워크 코딩(RLNC)기법의 성능은 유지하면서 XOR 을 사용하여 네트워크 코딩의 복잡도를 줄였다. 또한 디코딩 과정의 복잡도를 줄여 네트워크 코딩으로 인해 센서 노드에 부과되는 계산 오버헤드를 줄였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존에 제안 된 WBAN에서의 네트워크 코딩 기법을 소개하고 문제점을 살펴본다. 3장에서는 제안하는 시스템 모델을 소개하고 마코프 체인 (Markov chain)을 이용해 모델링한다. 4 장에서는 제안하는 네트워크 코딩 기법의 성능을 평가한다. 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

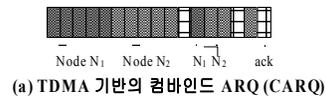
II. 관련 연구

실용적인 WBAN을 구축하기 위해 여러 가지 방법들이 제안 되었다. 그 중 하나는 기존의 WSN에서 사용 되었던 기술 들을 WBAN에 맞게 수정하는 것이다. [1]과 [2]에서는 WBAN과 WSN를 비교하고 최근의 연구 결과와 남아 있는 주제들을 물리계층, 데이터 링크 계층 등의 측면으로 정리 하였다.

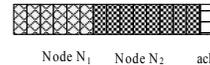
WSN과는 달리 WBAN에서는 제한 된 개수의 노드가 존재하고 모두가 BS와 인접해 있다. IEEE 802.15.4 WBAN 표준에서 제안하는 TDMA 방식의 단일 홉 마스터-슬레이브 구조는 WSN에서 야기 되었던 에너지 낭비 문제를 상당 부분 해결 한다.

최근에는 IEEE 802.15.4 WBAN에 맞춰진 에너지 효율을 위한 MAC 프로토콜들이 제안 되었다. 하지만 표준을 수정해야 하는 이러한 프로토콜들은 추가적인 통신 방법을 필요로 하는 단점이 존재한다.

X. Shi 등의 저자들은 WBAN에 random linear network coding (RLNC)을 적용하여 에너지 효율을 얻을 수 있다는 것을 [3]에서 보였다. [3]의 저자들은 TDMA 방식의 MAC과 스타 토폴로지를 가정한 네트워크에서 네트워크 코딩 방법을 제안 하였다. 그림 1(a)과 (b)는 TDMA 방식의 WBAN에서 컴바인드 ARQ(CARQ)와 [3]에서 제안한 RLNC 기법을 시뮬레이션 하여 각 방법의 패킷 전송 과정을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 환경은 두 개의 노드와 하나의 BS가 존재하고 BS와 노드1, 노드2 사이의 패킷 손실율을 각각 $p_1 = 0.2$ 와 $p_2 = 0.4$ 로 설정 한 환경이다. 그리고 두 노드가 각각 M개의 패킷을 전송하기를 원한다고 가정하였다. 그림 1에서 각 슬롯은 TDMA 방식에서 각 노드가 할당 된 시간에 전송 하는 패킷을 의미 한다. CARQ는 그림 1(a)에서 처럼 각 노드가 항상



(a) TDMA 기반의 컴바인드 ARQ (CARQ)



(b) TDMA와 CARQ 기반의 네트워크 코딩 (CARQ, NC)

- 노드1이 보낸 원본 패킷 ⊠ 노드1이 보낸 코딩된 패킷
- 노드2가 보낸 원본 패킷 ⊠ 노드2가 보낸 코딩된 패킷
- ⊠ BS로 부터의 컴바인드 Ack

그림 1. 센서 노드가 2개이고 보내는 각 노드가 보내는 패킷이 4개인 WBAN의 패킷 전달 예시

원본 패킷을 보내고 BS가 ack을 통해 전송 결과에 대한 피드백을 준다. 반면 RLNC는 각 노드가 자신이 보내야 하는 패킷들을 코딩해서 BS와 노드 사이의 패킷 손실율을 바탕으로 계산된 자유도 (degree of freedom - dof) 만큼 코딩된 패킷을 보낸다. 시뮬레이션 결과로부터 RLNC를 이용하면 두 개 슬롯만큼의 전송 횟수를 줄일 수 있고 그에 따라 전송 완료까지 소모되는 에너지도 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

또한 [3]의 저자들은 네트워크 코딩을 사용하지 않은 통신 방식 중 가장 에너지 효율이 높은 CARQ 기법과 제안한 기법을 비교하여 WBAN에서 네트워크 코딩 기법을 사용하면 센서 노드와 BS 사이의 채널 환경, 센서 노드의 개수 등의 변수에 따라 CARQ에 비해 29%에서 87% 정도의 에너지를 감소할 수 있다는 것을 보였다. 하지만 [3]은 제한 없는 필드 크기를 가정하였고 이와 관련 되어 네트워크 코딩과 관련된 복잡도가 여전히 높은 것이 메모리와 에너지 제약이 있는 WBAN 센서 노드에 큰 오버헤드로 작용한다는 점이 문제점으로 남아 있다.

본 논문에서는 시스템에틱 네트워크 코딩을 WBAN에 적용하여 전체 데이터 전송에 요구되는 에너지가 줄어드는 것을 다양한 변수의 변화를 통해 보인다. 참고 논문 [5]에서는 시분할 반이중(TDD) 시스템에서의 시스템에틱 네트워크 코딩의 적용에 대한 연구를 했는데, 본 연구에서는 이를 확장하여 단일 홉 스타 토폴로지 환경에서의 시스템에틱 네트워크 코딩을 적용한 시스템 모델을 제안한다. 이에 더해, [5]에서 증명한 시스템에틱 네트워크 코딩이 가지는 계산 복잡도 측면에서의 장점을 활용해 각종 제약이 있는 WBAN 노드에 적합한 네트워크 코딩 방법이라는 것을 성능 평가를 통해 보인다.

III. 시스템에틱 네트워크 코딩

3.1 시스템 모델

본 논문에서 우리는 그림 2의 스타 토폴로지 형태의 WBAN 네트워크를 가정한다. 스타 토폴로지에서의 K 개의 센서 노드들은 BS와 직접 통신하여 M 개의 데이터 패킷을 전송한다. 센서 노드들과 BS는 패킷을 보내고 받는 것을 동시에 할 수 없는 반이중 모드로 동작하는 것을 가정한다. 센서 노드는 송수신 중이 아닐 때는 슬립 모드로 동작하고, BS와의 정확한 동기화를 가정한다. BS는 각 라운드의 마지막에 ack 패킷의 전송을 통해 각 노드의 전송의 시작점과 종료시점을 할당 한다. 또한 각 노드 N_k , $1 \leq k \leq K$ 와 BS 사이

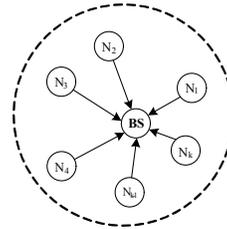


그림 2. WBAN의 스타 토폴로지

의 패킷 손실률 p_k 는 서로에 대해 비의존적이고, M 개의 데이터 패킷을 모두 전송할 동안에는 변하지 않는다고 가정한다.

그림 3은 제안하는 시스템에틱 네트워크 코딩 기법과 본 논문에서 참조하는 기법인 CARQ와 RLNC 기법을 TDMA 기반의 WBAN에 적용했을 때의 패킷 전달 과정을 나타낸 것이다. 그림 3(a)의 CARQ의 경우 각 라운드에서 각 노드는 r_k 개의 패킷을 보내고 BS는 각 라운드의 마지막에 각 노드가 재전송 해야 하는 패킷의 개수를 ack 패킷을 통해 알려 준다. 그림 3(b)의 RLNC 기법에서는 각 라운드에서 각 노드는 C_k 개의 코딩된 패킷을 전송하게 된다. C_k 는 패킷 손실률 p_k 와 원본 패킷의 개수 M 에 의해 결정 된다. BS는 각 노드에서 전송하고자 하는 패킷을 모두 디코딩 할 수 있는 dof 정보를 ack 패킷에 담아 보내고, 다음 라운드에서 각 노드는 해당 dof 수만큼의 코딩된 패킷을 전송하게 된다. 그림 3(c)에 나타나 있는 제안 하는 시스템에틱 네트워크 코딩 기법에서는 첫 번째 라운드에서 각 노드 k 가 $T_k(=M)$ 개의 코딩 되지 않은 원본 패킷을 보내고, 이어서 C_k 개의 코딩된 데이터 패킷을 보내게 된다. C_k 는 앞서 언급한 네트워크 코딩 기법과

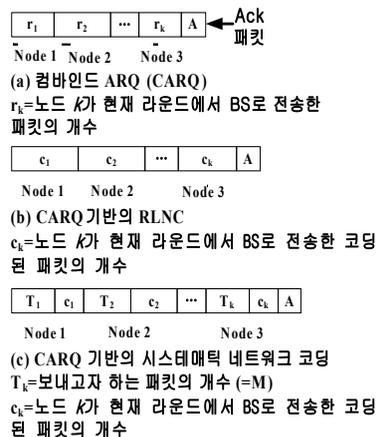


그림 3. TDMA에서 각 통신 기법의 첫 번째 라운드에서의 패킷 전송 과정

비슷하게 p_k 와 M 값에 의해 계산 된다. BS는 ack 패킷을 통해 각 노드의 전송이 완료되기 위한 다음 라운드의 dof 값을 알려 준다. 앞으로 제안하는 기법의 첫 번째 라운드에서 각 노드 k 가 보내는 패킷의 총 개수를 $N_k(=T_k+C_k)$ 로 나타낸다.

센서 노드들은 송수신 모드 또는 슬립 모드로 동작한다. 하나의 데이터 패킷을 처리하는데 소비되는 에너지를 E_p , ack 패킷을 수신하고 처리하는데 소비되는 에너지를 E_a 라고 하자. 특별히, CARQ 기법을 사용했을 때 소비되는 각 에너지를 $E_{p,CARQ}$ 와 $E_{a,CARQ}$, 네트워크 코딩을 적용 했을 때 소비되는 에너지를 $E_{p,NC}$ 와 $E_{a,NC}$ 로 나타낸다. 센서 노드에서 데이터 패킷 처리시에 네트워크 코딩에 따른 에너지 소비를 모델에 반영하기 위해 추가적인 에너지 소비를 나타내는 파라미터 α 를 도입해서 $E_{p,NC}=(1+\alpha) \cdot E_{p,CARQ}$ 인 관계를 만든다. 또한 ack 패킷과 데이터 패킷 처리 시에 소모되는 에너지의 차이를 파라미터 β 를 도입하여 $E_{a,NC}=\beta \cdot E_{p,NC}$ 와 $E_{a,CARQ}=\beta \cdot E_{p,CARQ}$ 인 관계로 나타낸다. 예를 들어, 네트워크가 통신에 사용하는 주파수 대역 폭에 따라 ack 패킷과 데이터 패킷을 처리하는데 드는 에너지의 비율이 달라 질 수 있다.

3.2 마코프 체인과 상태 전이 확률

센서 노드에서 BS로 데이터를 완전히 전송하는데 필요로 하는 에너지의 기대 값을 구하기 위해 마코프 체인을 이용해 제안하는 WBAN 시스템을 모델링 하였다 (그림 4). 여기서 에너지는 모든 K 개의 노드가 M 개의 데이터 패킷을 완전히 전송 하는데 소모 되는 WBAN 전체의 총 에너지를 의미한다. 상태 $I=(i_k, \dots, i_k)$ 는 BS가 각 센서 노드 (N_1, \dots, N_K) 에 요청하는 dof 값을 나타낸다. 여기서 $0 \leq i_k \leq M, 1 \leq k \leq K$ 인 관계가 있다. 제안하는 WBAN에서 모든 통신은 상태 S 에서 시작하는데, 상태 $S=(s, \dots, s)$ 는 시스템 상태로 TDMA에서의 첫 번째 라운드를 나타낸다. 즉, 상태 S 는 그림 3(c)와 같이 각 노드가 M 개의 원본 패킷을 먼저 보내고, 이어서 코딩 된 패킷을 보내는 상태이다. 종료 상태는 $0=(0, \dots, 0)$ 이다. 마코프 체인에는 $(M+1)^K$ 개의 전이 상태와 하나의 재귀 상태(0)이 존재 한다.

본 마코프 체인 모델의 상태 전이 확률은 두 가지 경우로 나누어 계산하는데, 첫 번째는 상태 S 에서 일반 상태로의 전이할 확률이고 두 번째는 한 일반 상태에서 다른 일반 상태로 전이 할 확률이다. 여기서 일반 상태란 모든 상태에서 상태 S 를 제외한 나머지 상태를 의미한다. 먼저 첫 번째 경우인 상태 S 에서 어떤

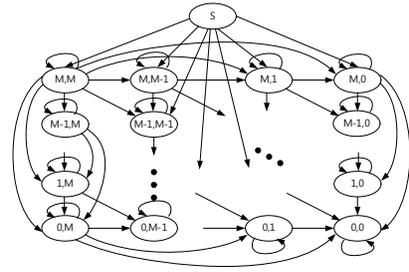


그림 4. 시스템에 네트워크 코딩 기법의 Markov chain 모델($K=2$ 일 때)

일반 상태 $I=(i_k, \dots, i_k)$ 로 전이할 확률을 계산 해 보자.

$$P_{SI} = P_{(s, \dots, s)(i_1, \dots, i_k)} = \prod_{l=1}^K P_{(S, i_l)} \tag{1}$$

가 성립하는데, 여기서 P_{SI} 는 상태 S 에서 I 로의 전이 확률을 나타내고, $P_{(s,i)}=P_{Si}$ 는 어떤 노드가 상태 s 에서 i 로 전이할 확률이다. 상태 s 에서 상태 i 로의 전이 확률 P_{Si} 는

$$P_{Si} = P(M-i|S) = \sum_{j=0}^{M-i} P(M-i|j \text{ uncoded}, S)P(j \text{ uncoded} | S) \tag{2}$$

로 나타내어진다. $P(M-i|S)$ 는 주어진 상태 S 에서 $M-i$ 개의 dof가 정확히 전송될 확률을 의미한다. 어떤 노드 k 의 패킷 손실율을 p_k 라고 한다면,

$$P(j \text{ uncoded} | S) = \binom{M}{j} (1-p_k)^j P_k^{M-j} \tag{3}$$

는 주어진 상태 S 에서 j 개의 원본 패킷이 성공적으로 전송 될 확률을 의미한다. 한편, 어떤 노드 k 에 대해서

$$P(M-i|j \text{ uncoded}, S) = P(M-i-j \text{ coded} | S) = \sum_{l=M-i-j}^{N_k-M} P(M-i-j \text{ coded} | S, l \text{ received})P(l|S) \tag{4}$$

는 상태 S 에서 패킷이 전송 되어 j 개의 원본 데이터 패킷이 성공적으로 전송 된 상태에서 $M-i$ 개의 dof가 성공적으로 전송될 확률을 뜻한다. 이는 $P(M-i-j \text{ coded} | S)$, 즉 주어진 상태 S 에서 $M-i-j$ 개의 코딩 된 패킷이 정확히 전송 될 확률과 같다. 여기서,

$$P[l|S] = \binom{N_k-M}{l} (1-p_e)^l P^{N_s-M-l} \tag{5}$$

는 l 개의 코딩된 패킷이 성공적으로 전송 되었지만, 필드 크기의 영향으로 패킷 간에 선형적으로 의존적일 수도 있는 확률을 지니고 있다. 따라서 $P[M-i-j \text{ coded} | S, l \text{ received}]$ 는 [4]에서 제안된 전이 확률 행렬,

$$P_q = \begin{bmatrix} q^{-M} & 1-q^{-M} & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & q^{-M+1} & 1-q^{-M+1} & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & q^{-1} & 1-q^{-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

을 이용해 p_q^l 을 구하여 시작 상태 S 와 도착 상태 $M-i-j$ 에 해당하는 행과 열을 찾아서 계산 할 수 있다. 여기서 q 는 네트워크 코딩 시 적용 되는 필드 크기를 의미한다.

한편, 일반 상태 I 에서 J 로의 전이 확률은

$$P_{IJ} = P_{(i_1, \dots, i_K)(j_1, \dots, j_K)} = \prod_{l=1}^K i_l j_l \quad (7)$$

로 나타낼 수 있고, 각 노드의 전이 확률 P_{ij} 는 다음과 같이 계산 된다.

$$P_{ij} = \begin{cases} \binom{c_{i,k}}{i-j} (1-p_k)^{i-j} p_k^{c_{i,k}-i+j} & 0 < j \leq i \\ \sum_{l=i}^{c_{i,k}} \binom{c_{i,k}}{l} (1-p_k)^l p_k^{c_{i,k}-l} & j = 0 \end{cases} \quad (8)$$

위의 식에서 $c_{i,k}$ 는 패킷 손실률 p_k 를 가지는 노드 N_k 가 BS로부터 디코딩을 위해 i 의 dof를 요청 받았을 때 다음 라운드에서 보내야 하는 코딩 된 패킷의 개수를 나타낸다. $c_{i,k}$ 의 값은 BS가 계산하여 각 센서 노드에게 ack 패킷을 통해 알려 준다.

3.3 전송 완료를 위한 에너지의 기대값

노드 (N_1, \dots, N_k) 가 (i_1, \dots, i_k) 의 dof를 BS에 업로드 해야 하는 상태 I 에서의 전송 완료까지 소모되는 에너지의 기대값을 E_I 라고 하고 마코프 체인의 전체 상태를 $Q = \{0, \dots, i_1, \dots\} \times \dots \times \{0, \dots, i_k\}$ 라고 하면 다음과 같은 재귀식이 유도 된다.

$$E_I = \frac{1}{1 - \prod_{k=1}^K p_k^{c_{i,k}}} \times \left\{ E_p \sum_{k=1}^K c_{i,k} + E_\alpha K + \sum_{J \in Q \setminus I} P_{IJ} E_J \right\} \quad (9)$$

초기 상태 S 로부터 모든 센서 노드의 패킷을 BS에서 성공적으로 디코딩하기 위해 필요한 에너지, E_S 를 최소화하기 위해 먼저 E_M 을 최소화 한다. $C = \{c_{i,k} | 1 \leq i \leq M, 1 \leq k \leq K\}$ 라고 하면, $E_M^* = \min_C E_M$ 이 된다. 따라서

$$E_M^* = \min_{C_{M,1}, \dots, C_{M,K}} \frac{1}{1 - \prod_{k=1}^K p_k^{c_{i,k}}} \times \left\{ E_p \sum_{k=1}^K c_{M,k} + E_\alpha K + \sum_{J \in Q \setminus M} P_{MJ} E_J^* \right\} \quad (10)$$

이 성립한다. 위의 식을 이용하여 E_S 의 최적값을 구하면

$$E_S^* = \min_{N_S} (E_S + \min_{C_{M,1}, \dots, C_{M,K}} E_M) \quad (11)$$

가 되어 주어진 문제의 답을 찾을 수 있다.

위의 최적화 문제를 풀기 위해서 정수 조건 하에서 집합 C 의 원소들에 대해 완전 탐색을 수행한다. 주어진 $\{p_k | 1 \leq k \leq K\}$, E_p 와 E_α 값에 대해서 재귀적으로 탐색하여 최적 해를 구할 수 있다. 실제 구현에서는 이 계산은 실시간으로 이루어질 필요가 없고, 주어진 채널 환경에 대해서 BS에 의해 계산되기 때문에 WBAN 시스템에 적합한 방법이다.

IV. 성능평가

이 장에서는 [3]에서 제안한 네트워크 코딩 방법, CARQ 기법과 제안하는 시스템택 네트워크 코딩 기법의 성능을 비교 한다. 3장에서 제시한 시스템 모델과 최적화 문제의 여러 파라미터를 바꾸면서 수치적 방법으로 에너지 소모량을 구하였다.

그림 5는 네트워크 코딩 시 적용 되는 필드 사이즈에 따른 성능 비교 결과를 나타낸 것이다. 노드 수는 2개 이고 각 노드는 5개의 패킷을 전송 하는 상황을 가정하였다. $p_2=0.8$ 로 고정하고, p_1 값은 0.01에서 0.8로 변화 시켰다. 그림으로부터 알 수 있듯이 제안하는 시스템택 네트워크 코딩 기법은 필드 사이즈 $q=2$ 임에도 불구하고, $q=2^{20}$ 을 가정한 [3]에서 제안한 RLNC와 에너지 소모량이 거의 동일하게 나오는 것을 볼 수 있다. 반면 $q=2$ 인 RLNC는 같은 필드 크기를 사용하는 시스템택 네트워크 코딩에 비해 상대적으로 많은 양의 에너지를 소비 하는 것을 알 수 있다. 따라서 제안하는 시스템택 네트워크 코딩은 작은 필드 크기로 높은 에너지 효율을 나타낸다. 또한 작은 필드

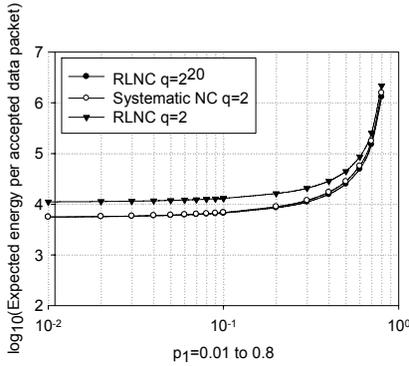


그림 5. 필드 크기에 따른 에너지 소모량 비교

크기를 사용함으로써 인코딩과 디코딩시의 계산 복잡도를 줄일 수 있다.

제안하는 시스템에택 네트워크 코딩 기법은 기존의 네트워크 코딩에 비해 디코딩 복잡도를 줄였다. TDD 시스템에서의 시스템에택 네트워크 코딩을 제안한 [5]에서 소개한 증명에 따르면 TDD 시스템에서 시스템에택 네트워크 코딩을 이용하면 일반적인 RLNC에 비해 디코딩시 계산 복잡도를 평균적으로 패킷 손실율의 제곱근만큼 줄일 수 있다. 따라서 본 논문에서 가정하는 시스템에서는 여러 개의 노드가 존재하기 때문에 더 큰 효율을 얻을 수 있다.

그림 6는 p_2 값의 변화에 따라 CARQ 기법과 성능 비교를 한 것이다. 노드 수는 2개이며 각 노드가 보내는 패킷의 수는 2개이다. p_2 의 값을 0.2, 0.4, 0.6, 0.8로 변화 시켰고 각 경우에 대해 p_1 의 값을 0.01부터 0.8로 변화 시켜 에너지 향상 정도를 구하였다. p_2 의 값이 증가할수록 에너지 효율성이 높아지는 것을 알 수 있는데, 이로부터 채널 상태가 좋지 않은 환경에서 시스템에택 네트워크 코딩을 적용했을 경우 큰 이득을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

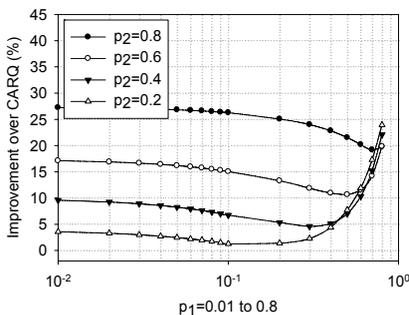


그림 6. p_2 값의 변화에 따른 에너지 효율 비교

그림 7은 노드 수를 2, 3, 4로 변화 시키며 CARQ 기법과 에너지 효율을 비교한 것이다. 그림에서 K 가 증가할수록 에너지 효율의 차이가 커지는 것을 볼 수 있는데 이것을 통해 시스템에택 네트워크 코딩이 노드 수가 증가 하면서 상대적으로 더 많은 에너지를 소비를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 α 값에 변화를 주고 p_1 을 증가시켜 가며 계산 한 결과 이다. 나머지 조건은 $K=2, M=5, \beta=1, p_2=0.8$ 로 설정 했다. α 는 $E_{p,NC}=(1+\alpha) \cdot E_{p,CARQ}$ 의 파라미터로 네트워크 코딩으로 인한 에너지 오버헤드를 나타낸다. 네트워크 코딩 오버헤드가 20% 존재 할 때 도 평균 13%의 에너지 효율을 보인다. 따라서 네트워크 코딩 오버헤드가 존재하더라도 여전히 시스템 전체의 에너지 효율은 CARQ에 비해 높은 것을 알 수 있다.

그림 9는 β 값에 변화를 주고 p_1 을 증가시켜 가며 계산 한 결과 이다. 나머지 조건은 $K=2, M=5, \alpha=0, p_2=0.8$ 로 설정 했다. 3장에서 설명 했듯이 β 는 $E_{a,NC}=\beta \cdot E_{p,NC}$ 와 $E_{a,CARQ}=\beta \cdot E_{p,CARQ}$ 인 관계에 쓰이는 파라미터로 데이터 패킷을 처리 할 때와 ack 패킷을 처리 할 때 소모 되는 에너지의 양의 비율을 나타낸다. 그림을 보면, β 가 커질수록 더 많은 에너지 효율을 얻는다는 것을 알 수 있다. 이것은 CARQ 기법

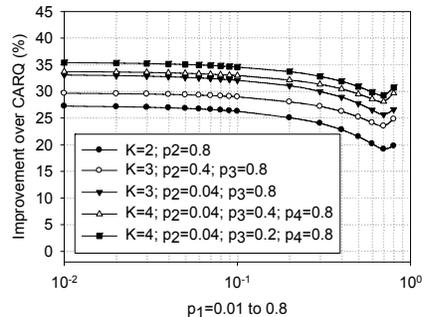


그림 7. 노드 수에 따른 에너지 효율 비교

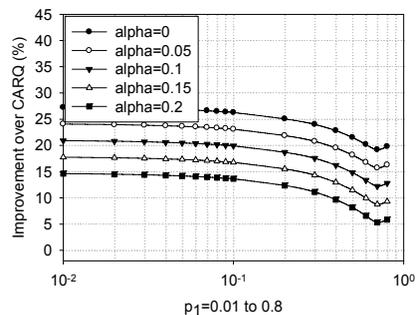


그림 8. α 값의 변화에 따른 에너지 효율 비교

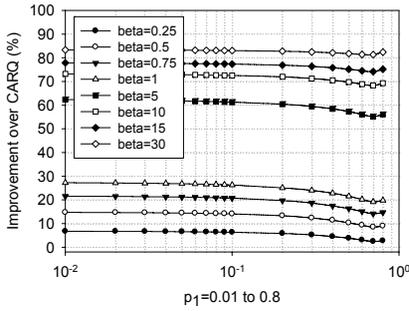


그림 9. β 값의 변화에 따른 에너지 효율 비교

이 네트워크 코딩을 사용한 것에 비해서 ack을 보내는 횟수가 많아 ack 패킷을 처리 하는 에너지가 커질 수록 전체 시스템의 에너지도 증가한다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

실용적인 WBAN을 위해서는 에너지 효율뿐만 아니라 계산 과정의 복잡도를 줄이는 것이 중요하다. 본 논문에서는 WBAN을 위한 시스템에틱 네트워크 코딩 기법을 제안하였다. 마코프 체인을 이용해 제안하는 기법을 모델링하였다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법이 기존의 RLNC와 CARQ 보다 에너지 효율이 높음을 보였다. 또한 제안하는 기법이 RLNC에 비해 디코딩 복잡도가 낮아 WBAN에 적합한 기법임을 보였다.

참 고 문 헌

[1] M. Chen, S. Gonzalez, A. Vasilakos, H. Cao, V. C. M. Leung, "Body area networks: A survey," *Mobile Networks and Applications*, Vol.16, No.2, pp.171-193, Aug. 2010.

[2] M. Patel, J. Wang, "Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies," *IEEE Wireless Communications*, Vol.17, No.1, pp.80-88, Feb. 2010.

[3] X. Shi, M. Médard, D. E. Lucani, "When Both Transmitting and Receiving Energies Matter: An Application of Network Coding in Wireless Body Area Networks," *Network Coding Applications and Protocols Workshop NC-Pro*, May 2011.

[4] D. E. Lucani, M. Médard, M. Stojanovic, "Random Linear Network Coding for Time Division Duplexing: Field Size Considerations," *IEEE GLOBECOM*, Dec. 2009.

[5] D. E. Lucani, M. Médard, M. Stojanovic, "Systematic network coding for time-division duplexing," *International Symposium on Information Theory*, Jun. 2010.

김 대 혁 (Daehyeok Kim)

준회원



2010년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 학사
 2010년 3월~현재 포항공과대학교 정보전자융합공학부 석사 과정
 <관심분야> 무선랜 프로토콜, 네트워크 코딩, 차세대 이동

네트워크, Software defined radio

서 영 주 (Young-Joo Suh)

중신회원



1985년 2월 한양대학교 전자공학과 학과
 1987년 2월 한양대학교 전자공학과 석사
 1996년 미국 조지아 공대 (Georgia Tech) 컴퓨터공학 박사

1988년~1990년 LG전자 연구원
 1990년~1993년 충청대학 교수
 1996년~1997년 미국 Georgia Tech 연구원
 1997년~1998년 미국 University of Michigan 연구원
 1998년~현재 포항공대 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> 무선랜 프로토콜, 이동 IP, 이동 멀티캐스트, ad-hoc/sensor 네트워크, 차세대 이동 네트워크