

## 다중 채널 무선 센서 네트워크에서 전송 거리 기반 채널 할당

박시용 · 조현숙\*

### A Channel Assignment based on Transmission Distance on Wireless Multi-Channel Sensor Networks

Si-yong Park · Hyun-sug Cho\*

College of Liberal Arts, Daejeon University, Daeheon 300-716, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 다중 채널을 지원하는 무선 센서 네트워크에서 에너지 소비를 줄이기 위하여 우선순위를 기반으로 사용가능한 채널의 수를 달리하는 전송 기법을 제안한다. 센서 네트워크에서는 센서 노드들은 데이터 전송시에 가장 많은 에너지를 소비하고 전송거리가 길수록 더 많은 에너지를 소모한다. 그러므로 먼 거리에서 전송된 패킷의 전송 실패로 인한 재전송은 추가적인 많은 에너지 소모를 유발한다. 이에 본 논문에서는 재전송으로 인한 추가적인 에너지 소모를 줄이기 위해서 전송 거리가 먼 센서 노드들에게 높은 우선순위를 배정하여 안정적인 전송 환경을 제공한다. 높은 우선순위의 수신 데이터를 위해서 사용가능한 채널의 수를 보다 많이 할당한다. 실험의 결과 제안 기법은 연결실패확률과 재전송에 따른 에너지 소모량에서 좋은 성능을 보였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose a transmission scheme to reduce energy consumption on wireless multi-channel sensor networks. This proposed scheme differentiates the number of usable channels based on a priority. Sensor nodes consume the most energy to transmit data. Also, as transmission distance is far, they consume the more energy. Therefore retransmission due to transmission failure of sensor nodes that are long transmission distance is required more energy consumption. In this paper, we provide a stable transmission environment by allocating a high priority for data that is sent far away. The received data with a high priority is more allocated the number of usable channels. In the experiment results, the receiving failure probability and the retransmission energy consumption of proposed scheme is superior to ones of comparison scheme.

**키워드** : 다중채널, 우선순위, 재전송, 전송거리, 센서 네트워크

**Key word** : Energy consumption, Multi-Channel, Sensor networks, Transmission Distance, Priority

접수일자 : 2013. 08. 27 심사완료일자 : 2013. 09. 13 게재확정일자 : 2013. 09. 24

\* **Corresponding Author** Hyun-Sug Cho(E-mail:chojo@dju.kr, Tel:+82-42-280-2206)

College of Liberal Arts, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2014.18.1.183>

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. 서론

센서 네트워크에서 데이터를 수집하고 전송하는 센서 노드들은 일반적으로 제한된 에너지를 가지는 소형 장치들이다. 이러한 소형 장치들로 구성된 센서 네트워크에서는 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이는 것이 센서 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 중요한 방법이다. 이에 센서 네트워크에서 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이기 위하여 라우팅 경로 최적화, 중복 데이터 통합 및 압축 등의 연구가 활발히 진행되었다.

센서 네트워크에서 센서 노드들은 데이터를 전송하기 위하여 가장 많은 에너지를 소모한다. 특히 데이터 전송에 있어서 전송 거리는 센서 노드들의 에너지 소모량을 결정하는 가장 중요한 요소이다. [1]에서는 전송에 필요한 증폭에너지의 소모량을 전송 거리에 따라서 다르게 분류하였다. 짧은 거리 전송의 경우에는 거리의 제곱에 비례하지만 먼 거리 전송인 경우에는 전송 거리의 4제곱에 비례한다고 추정하였다.

일반적으로 센서 네트워크는 소수의 싱크노드에게 다수의 센서 노드가 데이터를 전송하는 계층적 트리 구조를 가진다. 그러므로 싱크 노드 주변에서는 데이터의 병목 현상으로 인하여 패킷이 손실될 가능성이 높다. 싱크노드 주변에서는 전송 데이터의 손실로 인한 재전송이 빈번하게 발생하고 센서 노드들은 데이터 전송시에 가장 많은 에너지를 소모하기 때문에 이러한 재전송은 센서 노드들의 많은 에너지를 추가적으로 소모시킨다. 특히 전송 거리가 먼 데이터의 전송 실패에 따른 재전송은 전송 거리가 짧은 데이터의 재전송보다 더 많은 에너지를 소모하기 때문에 센서 네트워크의 빠른 붕괴를 유발할 수 있다. 그러므로 전송거리에 따라서 전송되는 패킷들의 중요도를 차별하여 먼 거리에서 전송되는 데이터들에게 보다 안정적인 전송 환경을 제공할 필요가 있다.

본 논문에서 제안하는 기법에서는 수신되는 데이터들의 RSS(Received Signal Strength)를 측정하여 전송 거리를 추정하고 전송거리에 따라서 우선순위를 할당한 후, 우선순위가 높은 수신 데이터들에게는 사용할 수 있는 채널의 수를 많이 할당하여 전송거리가 먼 데이터들에게 보다 안정적인 전송환경을 제공하여 전송 실패율을 줄인다. 전송거리가 먼 데이터들을 위하여 많은 채널을 할당하여 전송 실패율을 줄이면 전송거리가

짧은 데이터들의 전송 실패율은 증가할 수 있다. 그러나 에너지 소모의 관점에서는 전송거리가 짧은 데이터들의 전송 실패로 인한 재전송에서 소모되는 에너지가 전송거리가 먼 데이터들의 전송실패로 인한 에너지 소모보다 작기 때문에 효율적이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구의 배경이 되는 관련 연구들을 살펴보고 3장에서는 제안 기법에서 전송거리를 기반으로 우선순위를 배정하고 사용 가능한 채널을 차별적으로 할당하는 방법을 설명한다. 4장에서는 제안 기법에 대한 모의실험과 실험 결과에 대하여 언급하고 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구과제를 보인다.

## II. 관련연구

센서 네트워크에서 전송의 신뢰성을 향상시키기 위하여 혼잡 제어에 대한 연구가 많이 진행되었다[2-4]. [2]에서는 센서 노드의 버퍼 점유량 뿐만 아니라 채널의 상태에 따라서 혼잡을 감지하고, 혼잡을 제어하기 위한 CODA(Congestion Detection and Avoidance)가 제안되었다. CODA에서는 혼잡의 상태에 따라서 Open-Loop와 Closed-Loop 방법을 이용하여 혼잡을 제어하였다. [3]에서는 각 노드별로 우선순위를 두고 센서 네트워크에서 혼잡이 발생하면 우선순위에 따라서 패킷을 전송하는 PCCP(Priority-based Congestion Control Protocol)을 제안하였다. PCCP는 싱글 채널 기반의 혼잡제어 기법이다. [4]에서는 데이터의 가치에 따라서 우선순위를 정하고 이중 큐를 이용하여 데이터 전송 경로를 달리하는 기법을 제안하였다.

그러나 이러한 혼잡 제어 기법은 혼잡의 발생을 감지하고 혼잡시에 혼잡을 해소하는데 목적이 있다. 그러나 혼잡을 감지하였을 때는 이미 많은 데이터들이 전송이 실패된 경우가 대부분이다. 본 논문에서는 혼잡제어를 목표로 하는 것이 아니라 센서 네트워크의 에너지 소모를 개선하기 위하여 전송거리가 먼 데이터들에 있어서 전송의 신뢰성을 높이는 것을 목적으로 하기 때문에 혼잡제어 기법과는 많은 차이가 있다.

센서 네트워크에서 전송의 신뢰성과 안정성을 향상시키기 위해서 다중 채널을 사용하기 위한 연구가 최근에 활발하게 진행되고 있다. 특히 센서 네트워크에서

활용할 수 있는 다중 채널 기반의 MAC 프로토콜에 대한 연구가 가장 활발하다[5-6]. [5]에서는 다중 채널을 이용하는데 있어 하나의 채널은 협상을 위한 제어 채널로 사용하고 나머지 채널은 데이터 전송을 위한 채널로 사용하기 위한 구조를 제안하였다. 그리고 이 기법은 센서 네트워크에서 많이 알려진 LEACH를 기반으로 구성하였다. [6]에서는 다중 채널 센서 네트워크에서 트래픽 로드에서 라우팅 경로상에서 채널을 가감하는 기법을 제안하였다.

이동 통신에서는 호의 종류에 따라서 가용 채널의 수를 다르게 예약하는 방법이 제안되었으며, 이동 통신에서는 통신의 연속성이 있는 핸드오프 호가 신규 호보다 더 중요하다고 생각하여 예약 가능한 채널의 수를 더 많이 할당하는 기법이 제안되었다[7].

### III. 전송거리 기반의 차별적 채널 할당

본 논문에서 제안하는 기법은 수신되는 데이터들의 RSS를 측정하여 RSS의 수신 강도에 따라서 수신된 데이터에 우선순위를 할당한다. 그리고 우선순위별로 사용 가능한 채널의 수를 달리한다. 우선순위가 높은 데이터에는 사용 가능한 채널의 수를 더 많이 배정하여 전송의 신뢰성을 높인다.

#### 3.1. 전송거리에 따른 우선순위

센서 네트워크에서는 센서 노드들이 수집한 데이터를 싱크노드에 가까운 주변의 센서 노드를 경유하거나 아니면 직접 싱크노드에 데이터를 전송한다. 이러한 경우에 싱크 노드까지의 거리나 혹은 주변의 센서 노드들 간의 거리가 먼 경우의 데이터 전송은 가까운 거리의 데이터 전송에 비하여 많은 에너지를 소모한다. 특히 혼잡의 발생이나 혹은 기타의 이유로 전송된 데이터가 손실되어 재전송이 발생하는 경우에는 추가적인 에너지 소모가 발생한다. 먼거리 전송의 경우에는 더 많은 추가 에너지 소모가 발생하기 때문에 가까운 거리의 전송에 비하여 보다 안정적인 전송환경을 제공할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 전송 거리에 따른 우선순위를 할당하기 위하여 RSS를 이용한다.

센서 노드들은 데이터를 수신할 때 그 데이터의 RSS를 측정할 수 있다. RSS는 일반적으로 전송거리가 멀수

록 약하게 측정된다. 그래서 본 논문에서는 RSS의 강도에 따라서 전송 거리를 상대적으로 추정하여 우선순위를 할당한다.

그림 1에서는 RSS의 수신 강도에 따른  $k$ 개의 우선순위를 분류한다. 그림 1에서  $RSS_{max}$ 와  $RSS_{min}$  수신된 데이터의 RSS 측정값 중 최대값과 최소값을 의미한다. 그리고  $RSS_R$ 은 우선순위를 분류하기 위한 RSS의 범위를 나타낸다.

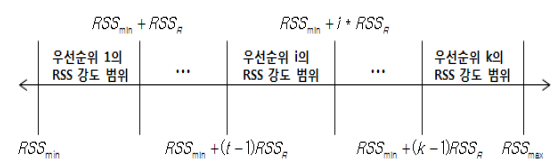


그림 1. RSS를 이용한 우선순위 분류  
Fig. 1 Classification of priority by using RSS

그림 1에서  $RSS_{max}$ 와  $RSS_{min}$ 은 새로 수신된 데이터의 RSS가 측정될 때마다 실시간으로 변할 수 있고  $RSS_R$ 은 (1)에 의해서 구해진다.

$$RSS_R = \frac{RSS_{max} - RSS_{min}}{k} \quad (1)$$

수신된 데이터  $i$ 의 우선순위는 (2)를 이용하여 구한다.

$$P(i) = \begin{cases} 1 & , RSS_i \leq RSS_{min} \\ \left\lfloor \frac{RSS_i - RSS_{min}}{k} \right\rfloor + 1 & , RSS_{min} < RSS_i < RSS_{max} \\ RSS_{max} & , RSS_{max} \leq RSS_i \end{cases} \quad (2)$$

(2)에서  $P(i)$ 는 수신된 데이터  $i$ 의 우선순위이다.

#### 3.2. 우선순위 기반의 차별적 채널 할당

수신된 데이터에 우선순위가 배정된 후 우선순위에 따라서 사용 가능한 채널의 수를 차별한다. 그림 2에서는 본 논문에서 제안하는 총 채널의 수가  $n$ 개이고 우선순위가  $k$ 개인 경우에 있어서 우선순위 기반의 차별적 채널 할당을 보인다. 그림 2에서 1번 채널부터  $i$ 번 채널까지는 모든 우선순위 데이터가 사용할 수 있는 채널

구간이고,  $j$ 번 채널부터  $m$ 번 채널까지는 우선순위  $t$ 부터 우선순위 2까지의 데이터가 사용할 수 있는 채널 구간이며 마지막  $n$ 번 채널은 우선순위 1의 데이터만 사용할 수 있는 채널이다. 그림 2의 채널 구간들은 수신된 데이터의 우선순위 비율에 따라서 달라진다. 즉 낮은 우선순위 데이터가 많이 수신되면 모든 우선순위 데이터가 사용가능한 채널의 수가 증가하고 높은 우선순위 데이터가 많이 수신되면 우선순위가 높은 데이터들만 사용하는 채널의 수가 증가한다.

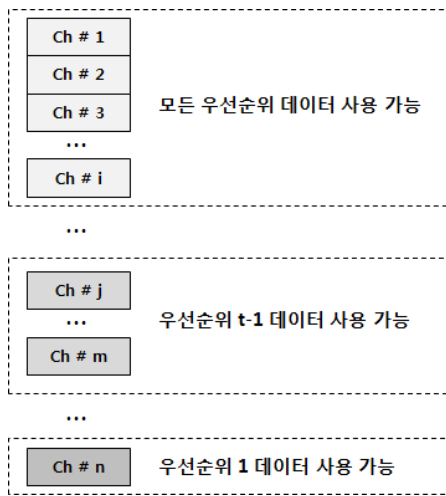


그림 2. 정보통신망 흐름도우선순위에 따른 차별적 채널 할당  
Fig. 2 Differentiated Channel Allocation according to Priorities

우선순위별 데이터의 비율에 따라서 채널의 수를 어떻게 나눌 것인가는 본 논문에서 중요한 문제이다. 그러나 우선순위에 따라서 채널의 수를 나누기 위해서는 우선순위의 수, 데이터들의 입력률, 채널의 수 등 고려해야 할 요소들이 많이 있다. 그래서 본 논문에서는 실험을 통해서 적절한 우선순위에 따른 채널의 수를 평가할 것이다.

### 3.3. 차별적 채널 할당 모델링

먼저 우선순위 데이터들의 도착 비율은 (3)을 만족해야 한다.

$$r_1 + r_2 + \dots + r_t + r_k = 1 \quad (3)$$

각 우선순위의 데이터 도착율은  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_t, \dots, \lambda_k$ 의 비율을 가지는 포아송 분포를 따른다고 가정하고 수식 (4)를 정의한다.

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_t + \dots + \lambda_k \\ \lambda &= r_1\lambda + r_2\lambda + \dots + r_t\lambda + \dots + r_k\lambda \end{aligned} \quad (4)$$

각 우선순위 데이터의 채널 유지 시간은 평균  $1/\mu$ 의 지수분포를 따른다고 가정한다. 그리고  $\rho = \lambda/\mu$ ,  $\rho_2 = (r_2 + \dots + r_k)/\mu$ , ...,  $\rho_k = r_k/\mu$ 로 정의한다.

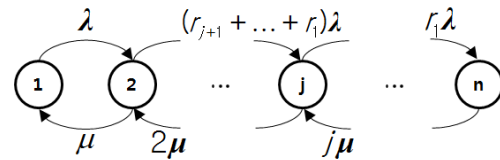


그림 3. 채널 상태 전이도  
Fig. 3 Channel Transition Diagram

그림 3은 우선순위에 따라서 차별적으로 채널을 배정하는 경우의 채널 상태 전이도를 나타낸다. 그림 3에서 해당 채널을 사용할 수 있는 우선순위별 데이터들의 입력률을 초과하면 상태가 전이된다.

그림 3의 상태 전이도를 기반으로 마코프 체인의 생성소멸 과정을 이용하여 각각의 채널이 사용될 확률인 (5)를 구한다.

$$Ph_j = \begin{cases} \frac{\rho^j}{j!} Ph_0 & , j \in P(k) \\ \frac{\rho^{|nr_1|} \rho_2^{j-(1+|nr_1|)}}{j!} Ph_0 & , j \in P(k-1) \\ \dots \\ \frac{\rho^{|nr_1|} \rho_2^{|nr_2|} \dots \rho^{j-(k-1+\sum_{i=1}^{k-1} |nr_i|)}}{j!} Ph_0 & , j \in P(1) \end{cases} \quad (5)$$

(5)에서  $Ph_0$ 는 (6)으로 정의한다.

만약 우선순위 1부터 우선순위  $t$ 까지 사용가능한 채널의 개수가  $m$ 이라면  $m$ 채널까지 사용될 확률은

$\sum_{j=1}^m Ph_j$ 이고 우선순위  $t$ 의 데이터가 채널에서 수신될

확률은  $\sum_{j=m+1}^n Ph_j$  다.

$$Ph_0 = \frac{1}{\sum_{j=1}^{1+|nr_1|} \frac{\rho^j}{j!} + \sum_{j=2+|nr_1|}^{2+\sum_{i=1}^2|nr_i|} \frac{\rho^{1+|nr_1|} \rho_2^{j-(1+|nr_1|)}}{j!} + \dots + \sum_{j=k+\sum_{i=1}^{k-1}|nr_i|}^n \frac{\rho^{1+|nr_1|} \rho_2^{1+\sum_{i=1}^2|nr_i|-|nr_1|} \dots \rho_k^{j-(k-1+\sum_{i=1}^{k-1}|nr_i|)}}{j!}} \quad (6)$$

#### IV. 실험 및 성능평가

본 논문에서 제안한 기법을 평가하기 위하여 모의 실험을 실시하였다. 먼저 3.2장에서 언급하였던 우선순위에 따른 사용가능한 채널수를 적절하게 분배하기 위한 실험을 실시하였다. 그리고 우선순위는 3개로 구분하였

다. 제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 입력률( $\lambda$ )을 조정하여 사용가능한 채널수에 따른 수신 실패 확률을 보인다. 그리고 사용가능한 채널수에 따라서 재전송에 따른 추가적으로 사용되는 에너지 소모량을 살펴보고 본 논문에서 제안한 기법의 성능을 평가한다. 그림 4와 그림 5의 실험결과에서 멀티채널은 본 논문에서 제

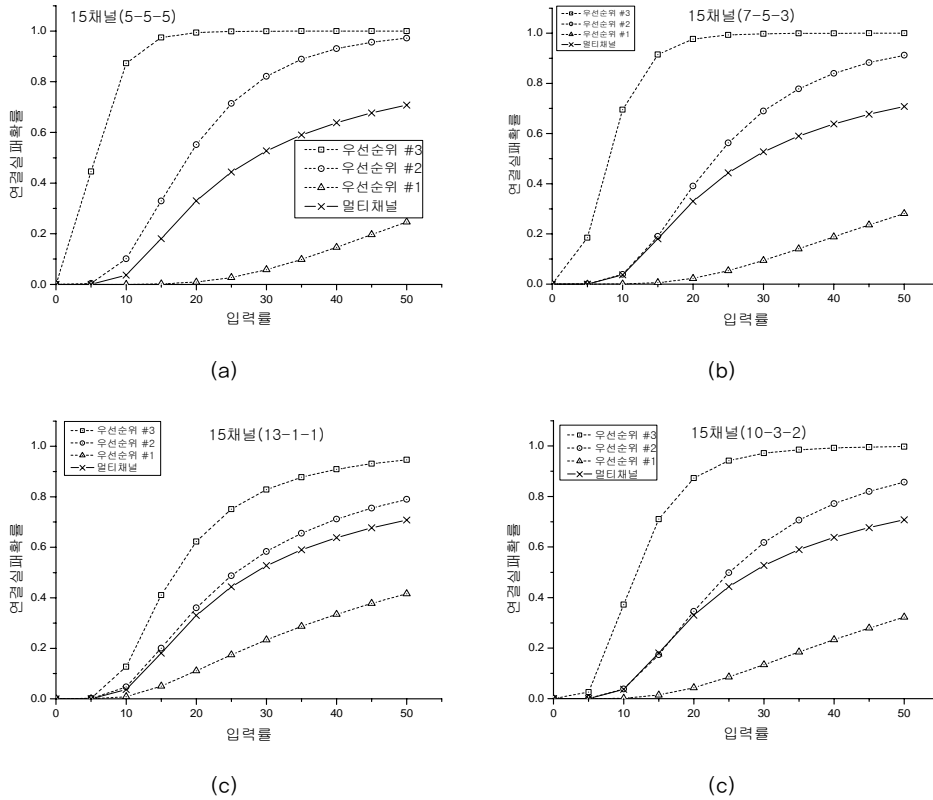
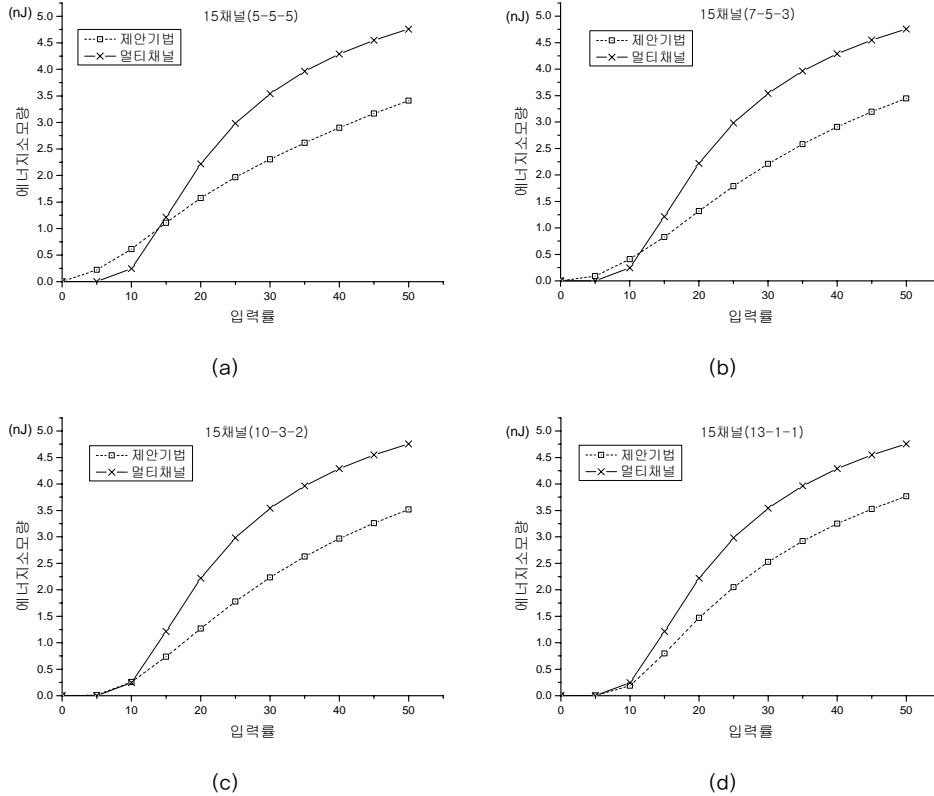


그림 4. 우선순위별 채널 수 분할에 따른 수신실패확률 (a) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(10채널), 우선순위 3(5채널) (b) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(12채널), 우선순위 3(7채널) (c) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(13채널), 우선순위 3(10채널) (d) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(14채널), 우선순위 3(13채널)

Fig. 4 Receiving Failure Probability according to Division of the Number of Channels per Properties (a) Priority 1(15 Channel), Priority 2(10 Channel), Priority 3(5 Channel) (b) Priority 1(15 Channel), Priority 2(12 Channel), Priority 3(7 Channel) (c) Priority 1(15 Channel), Priority 2(13 Channel), Priority 3(10 Channel) (d) Priority 1(15 Channel), Priority 2(14 Channel), Priority 3(13 Channel)



**그림 5.** 우선순위별 채널 수 분할에 따른 재전송 에너지 소모량 (a) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(10채널), 우선순위 3(5채널) (b) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(12채널), 우선순위 3(7채널) (c) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(13채널), 우선순위 3(10채널) (d) 우선순위 1(15채널), 우선순위 2(14채널), 우선순위 3(13채널)

**Fig. 5** Retransmission Energy consumption according to Division of the Number of Channels per Priorities (a) Priority 1(15 Channel), Priority 2(10 Channel), Priority 3(5 Channel) (b) Priority 1(15 Channel), Priority 2(12 Channel), Priority 3(7 Channel) (c) Priority 1(15 Channel), Priority 2(13 Channel), Priority 3(10 Channel) (d) Priority 1(15 Channel), Priority 2(14 Channel), Priority 3(13 Channel)

안한 기법이 적용되지 않은 다중채널만을 적용한 경우이다.

그림 4에서는 우선순위 별로 사용가능한 채널의 수를 다양하게 설정한 후에 입력률을 조절하여 수신실패확률을 측정하였다. 총 채널의 수는 15개이며 15개의 채널을 3개의 우선순위로 나누었다. 그림 4의 (a)는 사용가능한 채널의 수를 균등하게 5개씩 나눈 경우이고, (b), (c), (d)는 모든 우선순위가 사용할 수 있는 채널의 구간을 더 많이 배정하였을 때의 수신실패확률을 보인다. 그림 4의 모든 경우에 있어서 가장 높은 우선순위의 수신실패확률은 우선순위를 미적용한 경우보다 더 좋

은 성능을 보인다. 그리고 모든 우선순위가 사용할 수 있는 채널의 수를 많이 배정할수록 가장 낮은 우선순위의 수신실패확률도 개선되어졌다. 그러나 이 경우에는 가장 높은 우선순위의 수신실패확률은 증가하였다. 그러므로 모든 우선순위 데이터가 사용가능한 채널의 수를 많이 할수록 우선순위 별 수신실패확률의 간격은 줄어들었다는 것을 의미한다.

그림 5에서는 그림 4의 경우에 있어서 재전송으로 발생하는 추가적인 에너지 소모량을 보인다. 그림 5에서는 우선순위를 적용하여 사용가능한 채널의 수를 차별화 한 경우에 재전송으로 인하여 발생하는 추가적인 에

너지 소모량과 우선순위와 채널수를 차별화하지 않은 경우의 에너지 소모량의 차이를 보인다. 본 논문에서 제안한 기법을 적용한 경우에 그림 5의 네가지 경우 모두에 있어서 재전송으로 인한 추가적인 에너지가 작게 소모되었다. 그리고 그림 5에서는 우선순위 별로 채널수를 다르게 분리한 경우의 재전송으로 인한 추가적인 에너지 소모량을 확인할 수 있는데 (a)와 (b), (c)는 거의 비슷한 성능을 보이고 있다. 그러나 입력률이 35이하에서는 (b)와 (c)가 (a)에 비하여 근소하게 좋은 성능을 보이지만 35부터는 (a)가 (b)와 (c)에 비하여 근소하게 좋은 성능을 보이고 있다. 이는 입력률이 높아질수록 채널의 수를 균등하게 하면 더 좋은 성능을 보이는 것이고 또한 입력률이 낮은 경우에 있어서는 채널의 수를 조정하는 것이 성능에 영향을 미친다는 것이 보여주는 것이다.

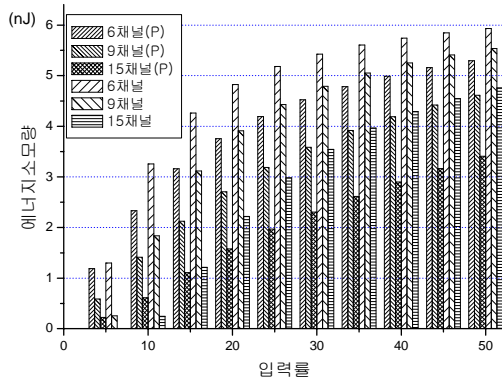


그림 6. 채널수에 따른 재전송 에너지 소모량  
**Fig. 6** Retransmission Energy Consumption according to the Number of Channels

그림 6에서는 채널 수를 다르게 설정한 경우에 있어서 재전송 에너지 소모량을 나타낸다. 그림 6에서 제안 기법을 적용한 경우에는 우선순위를 3개로 나누고, 우선순위에 따른 채널수는 균등하게 3개의 영역으로 배정하였다. 그림 6에서는 '(P)'가 인덱싱된 항목은 본 논문에서 제안한 기법이 적용된 경우이다. 제안된 기법이 적용된 경우에 기법이 적용되지 않은 경우보다 재전송 에너지 소모량이 작게 발생하고 채널의 수가 많은 수록 재전송 에너지 소모량이 작게 발생한다.

## V. 결론

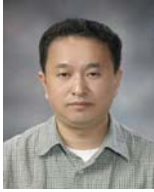
본 논문에서는 다중 채널 기반의 센서 네트워크에서 데이터 전송의 실패로 인하여 발생하는 추가적인 재전송 에너지 소모를 줄이기 위하여 전송 거리에 멀수록 안정적인 전송 환경을 제공하는 전송거리 기반의 채널 할당 기법을 제안한다. 먼저 전송거리가 멀수록 높은 우선순위를 배정하고 높은 우선순위의 수신 데이터를 위해서는 사용 가능한 채널의 수를 더 많이 배정하여 먼 전송 거리 데이터를 위해서 안정적인 전송 환경을 제공하였다.

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 모의 실험을 통해서 평가하였다. 실험 결과 제안 기법을 적용하지 않은 경우보다 재전송 소모 에너지가 감소하였고 채널의 수가 많을수록 재전송 소모 에너지가 감소함을 보였다.

## REFERENCES

- [1] Manish Bhardwaj et al., "Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, Helsinki Finland, pp. 785-790, 2001.
- [2] C-Y. Wan, S. Eisenman and A. Campbell, "CODA Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks", in *Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Networks*, Los Angeles USA, pp. 296-279, 2003.
- [3] C. Wang, B. Li, K. Sohrawy, M. Daneshmand, and Y. Hu, "Upstream congestion Control in Wireless Sensor Networks through Cross-Layer Optimization", *IEEE Journal on selected areas in Communications*, vol. 25, No. 4, pp. 786-795, May 2007.
- [4] R. Beulah Jayakumari and V. Jawahar Senthilkumar, "Priority based Congestion Detection and Avoidance in wireless Sensor Networks", *Journal of Computer Science*, vol. 9, issue 3, pp. 350-357, April 2013.
- [5] C. Xun, H. Peng, H. Sheng, T. Liang and C. Long, "A Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, Seoul Korea, pp. 224-229, 2006.

- [6] Md. Shariful Islam, Muhammad Mahbub Alam, Choong Seon Hong and Sungwon Lee, "Load-Adaptive Practical Multi-Channel Communications in Wireless Sensor Networks", *Sensors*, Vol 10, no. 2, pp. 8761-8781, 2010.
- [7] Yuguang Fang and Yi Zhang, "Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, no. 2, March 2002.



**박시용(Si-Yong Park)**

2005년 부산대학교 전자계산학과 박사  
2006년 ~ 현재 대전대학교 교양학부대학 조교수  
※관심분야: 이동 통신, 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 임베디드 시스템, 컴퓨터 네트워크



**조현숙(Hyun-Sug Cho)**

1995년 대전대학교 수학과 학사  
2001년 대전대학교 정보통신공학과 석사  
2008년 대전대학교 정보통신공학과 박사  
2006년 ~ 현재 대전대학교 교양학부대학 조교수  
※관심분야: 센서 네트워크, 웨이블릿 변환, 컴퓨터 네트워크 보안