

# 감시정찰 센서 네트워크를 위한 자원예약 기반 이미지 데이터 전송 기법

송운섭\*, 정우성\*, 고영배<sup>o</sup>

## Resource Reservation Based Image Data Transmission Scheme for Surveillance Sensor Networks

Woon-Seop Song\*, Woo-Sung Jung\*, Young-Bae Ko<sup>o</sup>

### 요 약

미래전은 Sensor-to-Shooter 개념에 기반한 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare) 양상을 지닌다. 이러한 NCW의 핵심적인 요소들 중 하나로 무선 비디오 센서 네트워킹 기술이 군 감시정찰용으로 활발히 적용되고 있다. 감시정찰 센서 네트워크에서는 침입탐지 및 추적정보의 신뢰성 향상을 위하여 이미지 센서가 결합된 복합 센서가 사용되고 있으나 대용량의 네트워크 자원 및 에너지 소비를 요구하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 자원 예약을 통한 이미지 데이터 전송 기법을 제안한다. 제안 기법은 네트워크 자원 가용성을 고려하여 이미지 데이터 해상도 및 압축률 조정을 시도하는 동시에 다중 인터페이스의 적절한 선택을 통하여 안정적인 이미지 데이터 전송을 가능토록 한다. NS-3 시뮬레이션 기반의 성능분석을 통해서 제안기법의 전송 안정성 및 에너지 효율성의 증가를 확인하였다.

**Key Words** : Surveillance Sensor Networks, Resource Reservation, Image Sensor, NCW, Image Data Transmission

### ABSTRACT

Future combat systems can be represented as the NCW (Network Centric Warfare), which is based on the concept of Sensor-to-Shooter. A wireless video sensor networking technology, one of the core components of NCW, has been actively applied for the purpose of tactical surveillance. In such a surveillance sensor network, multi-composite sensors, especially consisting of image sensors are utilized to improve reliability for intrusion detection and enemy tracing. However, these sensors may cause a problem of requiring very high network capacity and energy consumption. In order to alleviate this problem, this paper proposes an image data transmission scheme based on resource reservation. The proposed scheme can make it possible to have more reliable image data transmission by choosing proper multiple interfaces, while trying to control resolution and compression quality of image data based on network resource availability. By the performance analysis using NS-3 simulation, we have confirmed the transmission reliability as well as energy efficiency of the proposed scheme.

\* 본 연구는 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2012R1A1B3003573), 또한 미래 창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-(H0301-14-1011))

◆ First Author: Ajou University, Department of NCW, wssong99@ajou.ac.kr, 정희원

◦ Corresponding Author: Ajou University, Department of Computer Engineering, youngko@ajou.ac.kr, 정희원

\* Ajou University, Department of Computer Engineering, woosung@uns.ajou.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2014-07-285, Received July 30, 2014; Revised October 18, 2014; Accepted November 5, 2014

## I. 서 론

미래전은 다양한 센서들로부터 수집된 디지털 전송 정보(예: 표적, 항적, 위치정보, 피아식별 및 명령 등)를 가공하여 곧바로 타격하는 Sensor-to-Shooter 개념의 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare) 양상을 지닌다. NCW의 핵심적인 요소들 중 하나로 무선 센서 네트워킹 기술이 대두되고 있으며, 특히 감시정찰용 센서 네트워크는 아군이 접근하기 힘든 지역 또는 기존 플랫폼 중심 감시체계에서 감지할 수 없는 각종 전송정보를 수집함으로써 군사작전의 효율성을 제고한다.

무선 센서 네트워크를 군 감시정찰분야에 적용하기 위해서는 설치된 센서 네트워크 영역내로 적이 침입하였을 경우, 100% 탐지하여 군 지휘통제소로 알려줄 수 있어야 하며 바람, 나뭇잎, 새, 동물 또는 센서의 오동작 등에 의해 적의 침입이 잘못 보고되는 오보율이 최소화 되어야 한다. 또한 실외에서 배터리로 동작되어야 하므로 전력소모가 최소화 되어야 하고 탐지된 표적 정보는 무선 센서 네트워크를 통해 멀티 홉으로 군 지휘통제소에 정해진 시간 내에 전달되어야 하는 요구사항을 만족시켜야 한다.<sup>[1]</sup> 하지만 국내에서 기존 상용 센서 네트워크 기술을 활용하여 육군 00사단사령부를 대상으로 부대 감시경계 업무에 시범 적용하는 U-Army 실험사업을 '07~'08년에 추진한 결과, 센서 탐지경보 오감지율 개선, 침입탐지/식별의 신뢰성 향상, 배터리 성능 향상 등 군 감시 정찰 분야에 적용하기 위한 추가적인 요구사항이 도출 되었다.

이러한 군 무선 센서 네트워크 요구 및 개선 사항인 신뢰성 있는 탐지, 오보율의 최소화, 침입탐지/식별의 신뢰성을 향상시키기 위해서 센서필드에서 복합 센서를 설치하고 센서로부터 수집된 정보를 분석/판단하려는 움직임이 활발해 지고 있다.<sup>[2]</sup> 특히 복합 센서 내에 영상 센서를 포함하여 이미지 데이터가 군 지휘통제소로 전송되어 상황 근무자가 정확히 상황을 판단토록 하려는 논의도 이루어지고 있다. 하지만 기존 통신 기술을 그대로 이용할 경우 대용량 이미지 데이터 전달로 인한 빈번한 지연 및 네트워크의 수명 단축 등의 문제가 더욱 심각하게 대두 되었다.

본 논문에서는 이미지 센서가 포함된 복합 센서로 구성된 감시정찰 센서 네트워크에서 에너지 효율적이면서도 군 지휘통제소로 전달되는 탐지정보의 신뢰성 향상이 가능하도록 효율적인 이미지 데이터 전송을 위한 자원 예약 및 인터페이스 선택 알고리즘을 제안한다. 제안 기법을 통하여, 안정적인 데이터 전송 및 에

너지 효율 증대로 인한 네트워크 라이프 타임 증가를 기대할 수 있을 것이다.

## II. 연구 배경 및 관련 연구

네트워크 중심작전 환경 구축의 일환으로 국·내외에서 무선 센서 네트워크 기술을 군에 적용하려는 많은 시도를 하고 있다. 국외사례를 살펴보면, UC Berkeley 와 MLB Company가 수행한 SensIt (Sensor Information Technology) 프로젝트, 오하이오 주립대학 등이 미국 DARPA의 지원으로 수행한 A Line in Sand 프로젝트, 2003년부터 추진 중인 미 육군의 FCS(Future Combat System) 프로젝트 등이 있으며,<sup>[3]</sup> 국내에서는 기존 상용 센서 네트워크 기술을 군에 적용하려는 U-Army 실험사업 추진, 국방부(ADD)-지경부(ETRI)간 공동 연구개발 사업으로 감시정찰 센서 네트워크 시스템 기술개발을 진행하였다.

위와 같은 군 감시정찰용 센서 네트워크의 도입 및 획득시 에너지 효율성이 좋은 네트워크의 구축은 물론, 신뢰성 있는 데이터 전송이 필수적이며 멀티미디어 데이터를 멀티 홉으로 전송하는 경우에도 낮은 지연 및 Jitter를 갖는 고 대역폭의 스트림 전송 능력을 요구하고 있다. 이러한 요구사항을 정리하여 NATO C3 Agency에서는 군 무선통신에서의 전송 데이터별 허용 지연시간(Time Limit)을 표 1과 같이 정의하였다.<sup>[4]</sup>

군 감시정찰 환경에서 이를 해결하고자 [5]에서는 이동 싱크를 활용하고 효율적인 클러스터링 및 데이터 수집 기법을 제안하였으며, 전체 센서 네트워크의 라이프 타임은 향상시키면서 침입탐지 및 타겟 트래킹 정보 등 군 지휘통제소로 신속하게 전달되어야 하는 긴급한 정보, 즉 비실시간성 이지만 Time-Critical 전송 데이터에 대해서는 이동 중인 싱크에게 최대한 빨리 전송이 되도록 전송 데이터별 전송경로 구성 방법을 제안하였다. 그러나 다수의 장소에서 동시 다발적으로 대용량 이미지 데이터가 발생하는 상황을 고려하지

표 1. 전송데이터 유형별 허용지연시간<sup>[4]</sup>  
Table 1. Time limit by traffic type

특 성 (characteristic)	허용지연시간 (time limit)
Real-Time	< 250ms
Non-Real-Time but Time-Critical	250ms ~ 10 second
Non-Real-Time, Lower Priority	10 second ~ 1 minute
Best Effort	> 1 minute

못하는 한계를 가진다.

무선 센서 네트워크에서 영상 전송의 가능성을 보여 준 연구로 [6]은 초소형 무선 센서 네트워크 노드에 장착된 온도센서를 기반으로 화재감지 시스템을 구현하였다. 무선 환경에서의 높은 신뢰성 보장을 위하여 초소형 카메라 모듈을 탑재한 센서 노드를 이용하여 화재 발생 시 주변의 영상을 모니터링 서버로 전송/발생 이벤트를 확인할 수 있는 시스템을 구축하였다. 하지만 [7]의 결과에서 볼 수 있듯이 카메라 센서네트워크에서 홉 수가 증가하면 데이터 전송률 및 end-to-end 수신율이 감소하고, payload의 크기가 크면 전송시간이 길어는 문제점이 있다. 또한 카메라 센서 네트워크의 burstiness의 영향은 예측하기 어려운 문제점을 여전히 가지고 있다.

[8]은 시간 동기화 채널 호핑(Time Synchronized Channel Hopping) MAC 프로토콜을 사용하여 비디오 전송에 관한 연구로 3홉의 멀티 홉 네트워크를 구성하고 웹캠이 탑재된 노드에서 30%의 압축 품질로 압축된 160x120 pixel gray scale JPEG(2.1kbyte) 이미지를 생성하여 싱크로 전송한 결과 이미지 전송 성공률(0.5fps까지)은 90%이상을 보여주고 있다. 하지만 군용 감시정찰 센서 네트워크에서는 3홉 이상의 환경 구성이 발생할 수 있으며, 전송하는 이미지의 크기가 증가하면 네트워크 안정성에 여전히 문제가 발생할 수 있다.

네트워크 안정성 향상을 위해서 [9]는 무선 센서 네트워크에서 대역폭 자원 할당과 타임 슬롯 할당을 통한 스케줄링에 대한 해결 방법을 정리하고 있다. 실시간 트래픽 처리를 위하여 보장 시간 슬롯(GTS : Guaranteed Time Slot)를 할당하고 이러한 할당방식을 적용 시에 IEEE 802.15.4 프레임 및 부 프레임과 관련된 최적의 파라미터 획득방안을 제안한다. 그러나 다중 영상 처리에 대한 고려가 이루어지지 않고 있으며 네트워크의 확장성에 문제를 가질 수 있다.

네트워크 용량 확장 측면에서 [10]과 같은 IEEE 802.11/802.15.4의 듀얼 라디오 인터페이스를 사용하는 방법이 제안되었다. 탐지된 이벤트의 전송뿐만 아니라 시스템 관리, 카메라간의 협조는 802.15.4 라디오를 사용하고 특별히 모니터링 스테이션에서 시각적인 확인이 필요하여 비디오 전송이 요구될 때에는 802.11 라디오를 사용하도록 한다. 센서 노드의 에너지 측면과 처리량 측면에서 좋은 결과를 얻을 수 있으나 제한된 시간 안에 데이터가 전송되어야 하는 군 센서 네트워크의 특성을 반영하는데 한계를 가진다.

[11]은 다중 인터페이스와 다중 채널을 사용하여 노

드 간의 내부 간섭을 회피하고 목적지까지 제한된 시간 내에 도착하도록 하는 다중 홉 자원 예약 기법을 제안하였다. 본 기법은 IEEE 802.11 MAC의 CSMA/CA에서 사용되고 있는 RTS(Request-to-Send) 제어프레임을 멀티 홉에 적용할 수 있도록 수정하여 MH-RTS(Multi-Hop RTS)를 사용하였다. 하지만 본 논문의 환경과 같이 하나의 채널을 사용하는 환경에서는 멀티 홉 전 구간의 자원을 하나의 플로우가 배타적으로 점유하여 전송 효율의 저하를 가져오게 된다. [12]는 Diffserve의 대표적인 스케줄링 기법인 PQ(Priority Queue), WRR(Weight Round Robin)의 단점을 보완하는 자원할당 알고리즘을 제안하였다. 유동적으로 변화하는 각 클래스의 큐 상태를 체크하여 큐의 상태에 따라 각 클래스의 가중치를 동적으로 할당함으로써 보다 효율적인 서비스가 가능토록 한다. 그러나 우선순위가 동일한 데이터의 경우 효과가 없다.

### III. 감시정찰 센서 노드 시스템 및 네트워크 모델

#### 3.1 감시정찰 센서 노드 시스템 모델

감시정찰 센서 노드 시스템은 그림 1과 같이 침입 탐지 등 이벤트 감지를 위한 센싱부와, 통신을 위한 네트워크 자원 할당 및 이미지 조정을 담당하는 센서 관리 엔진 부분으로 나누어진다.

센서에 의해서 감지된 이벤트는 이벤트 트리거를 통하여 센서 관리 엔진에 전달되고, 네트워크 리소스 관리 모듈을 통해서 기본 통신 모듈인 Zigbee 인터페이스를 활용하여 탐지한 데이터를 전송하게 된다. 동시에 카메라 관리 모듈로 이벤트가 전달되어 이미지 센서가 이미지를 생성한다. 자원예약 모듈은 군 지휘통제소 사용자가 사전에 정해진 기본 품질의 이미지 데이터를 전송하기 위하여 자원할당을 요청하고 할당 가능여부

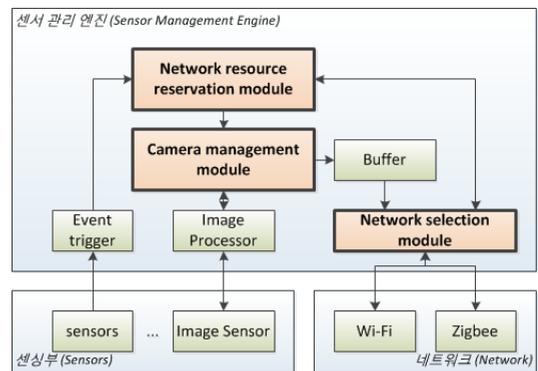


그림 1. 감시정찰 센서 노드 시스템 모델  
Fig. 1. Model of surveillance sensor node system

를 판단하며 할당 불가 시에는 해상도, 압축률 조정을 통한 할당 대역폭의 조정, 인터페이스 변경 여부 등을 판단/시행한다. 이미지 프로세서는 이미지 센서로부터 들어온 데이터를 압축, 해상도 조절, 데이터 인코딩 등의 임무를 수행하고 완성된 이미지는 버퍼로 이동하여 센서 관리 엔진의 네트워크 선택 모듈에 의해서 선택된 네트워크 카드를 통해서 전달되게 된다. 통신을 위한 네트워크는 이미지 데이터 및 일반 데이터를 송수신하는 임무를 수행하며 Zigbee와 Wi-Fi의 두 가지 인터페이스를 지원한다. 네트워크 선택 모듈은 이미지 데이터 전송 시 노드의 에너지 소모를 최소화하기 위하여 Zigbee 인터페이스를 기본적으로 사용하고 Wi-Fi 모듈은 평상시 Off 상태를 유지한다. 만약 이미지 데이터 전송을 위한 자원 부족 시에는 Wi-Fi 인터페이스를 활용하여 전송하고 종료 시 다시 Off 상태로 돌아오도록 한다.

### 3.2 감시정찰 센서 네트워크 모델

본 논문은 전체 센서 네트워크의 라이프 타임을 향상시키기 위하여 그림 2와 같은 네트워크 형태를 구성하고 일반정보와 긴급 정보로 구분하여 데이터를 전송한다. 클러스터 구성은 싱크가 정해진 경로를 이동하면서 비콘 메시지를 전송하면 비콘 메시지를 수신한 노드는 클러스터 헤더 후보가 되고 후보 노드는 타이머를 동작시켜 가장 먼저 타이머가 종료된 노드가 클러스터 헤더가 되어 2홉 거리의 클러스터(최상위 클러스터)를 구성한다. 클러스터 생성 종료 후, 군 지휘통제소로 센싱 데이터를 전달하기 위한 최상위 클러스터 헤더 중심의 라우팅 트리 경로를 구성하며, 이 때, 최상위 클러스터에 포함되어있지 않은 센서 노드는 일정 시간이 경과 후 자율적으로 2홉 클러스터를 구성한다. 센서 관리정보 등의 일반정보는 일차적으로 각 클러스터

터 헤더에서 데이터를 aggregation하고 일정 지연시간 또는 정해진 수량의 패킷이 모이면 클러스터 헤더(Cluster Header: CH)를 중심으로 한 라우팅 트리 경로를 따라 전달되도록 한다. 음향센서 등이 탐지한 스칼라 데이터 등의 긴급 정보는 각 센서에서 탐지한 침입탐지 및 트래킹 정보 등의 정보로서 센서 네트워크 구축 초기에 설정된 최적의 라우팅 트리 경로를 통하여 데이터 aggregation 없이 최상위 CH까지 즉시 전달한다. 또한 이미지 센서가 탐지한 이미지 데이터는 해당 클러스터 헤더로 자원예약/할당 후 우선적으로 해당 CH를 중심으로 한 라우팅 트리 경로를 따라 전달한다.

## IV. 제안 기법

전·평시 군 지휘통제소로 전달되어야 하는 현장의 상황정보는 데이터의 정확도가 높으면 높을수록 상황 근무자가 오관할 확률이 적어진다. 실제로 군에서 상용의 센서 네트워크 기술을 활용한 전투실험을 수행한 결과, 센서 탐지정보 오감지율로 인한 정확도 향상과 침입탐지/식별의 신뢰성 향상 문제를 제기한 사례가 있다. 따라서 본 논문에서는 이미지 센서가 포함된 복합 센서로 구성된 감시정찰 센서 네트워크에서 침입탐지/식별 정보의 신뢰성 향상을 통한 군 작전능력 향상을 위하여 최소의 에너지를 소모하면서 트래킹 정보인 주기적인 이미지 데이터가 실시간으로 군 지휘통제소에 전송되도록 자원예약 기법을 사용하고 이를 위한 1) 자원예약 메시지 및 포맷 정의, 2) 자원예약 절차, 3) 자원할당 및 인터페이스 선택 알고리즘을 제안한다.

### 4.1 자원예약 메시지 및 포맷 정의

감시정찰 센서 네트워크에서 동시 다발적으로 발생하는 이미지 데이터를 정해진 시간 내에 멀티 홉을 통하여 군 지휘통제소까지 전송하는 것은 쉽지 않다. 따라서 트래킹 이미지 데이터를 신뢰성 있게 전송하고 사용자가 관심이 있는 지역의 정밀한 이미지 데이터를 수집하기 위하여 자원할당 요청 메시지, 자원할당 승인 메시지, 할당자원 변경 메시지, 특정지역 집중감시 메시지, 특정지역 집중감시 해제 메시지 등 5종의 자원예약 메시지를 사용한다.

자원할당 요청 메시지는 이미지를 캡처/저장한 센서 노드가 해당 CH에게 자원할당 요청, 해당 CH가 라우팅 경로상의 CH에게 자원 할당을 요청하기 위하여 사용한다. 자원할당 승인 메시지는 자원 할당 요청을 받은 이벤트 탐지 센서 노드의 해당 CH 및 라우팅 경로

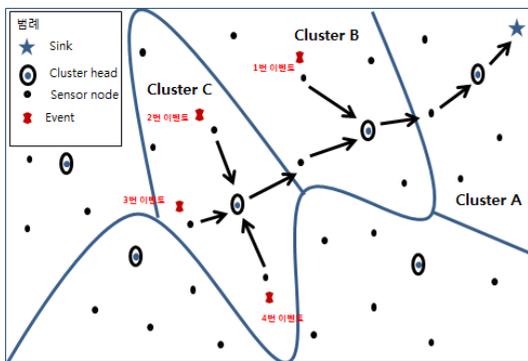


그림 2. 클러스터링 기반 네트워크 구조  
Fig. 2. A Clustering based Network Architecture

상의 CH가 할당 가능여부를 판단하여 자원 할당을 승인하기 위하여 사용한다. 할당자원 변경 메시지는 기 할당된 자원을 최종적으로 판단한 CH가 라우팅 경로 상의 CH 및 이벤트를 탐지한 센서노드까지 할당된 자원을 변경하기 위하여 사용한다.

특정지역 집중감시 메시지는 특정 센서노드가 탐지한 이미지 정보를 정밀 감시/분석하기 위하여 사용자가 특별히 고해상도의 이미지로 전송하도록 지시하기 위하여 사용하며 특정지역 집중감시 해제 메시지는 정밀 감시중인 특정 센서 노드의 이미지를 기본 품질의 이미지 또는 네트워크 상황에 맞는 전송률(해상도)로 전송하도록 지시하기 위하여 사용한다.

메시지 포맷은 표 2와 같으며, 메시지 필드의 Message Type은 자원할당 요청, 할당, 할당변경 등의 메시지 종류를 구분하고 인터페이스 ID는 Zigbee, Wi-Fi 등 사용 될 또는 사용되고 있는 라디오 인터페이스를 정의한다. Bit Rate(bps)는 자원할당 요청/할당/변경할 데이터 전송용량을 말하며 # of Camera는 이미지 데이터를 전송하는 카메라 수량이고 Sensor ID는 사용자가 고해상도의 이미지 데이터를 요청 또는 해지하는 특정 카메라의 고유 식별번호이다.

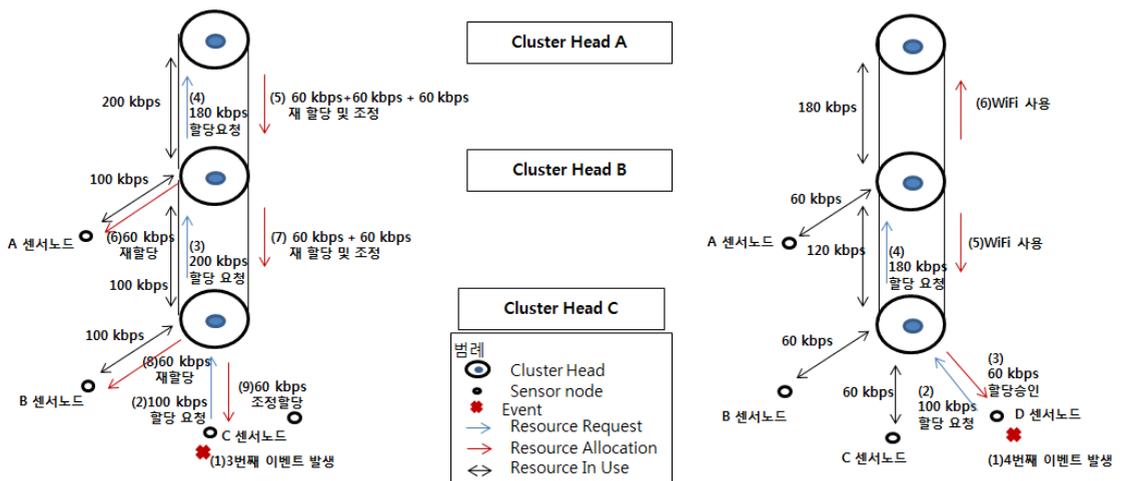
4.2 자원예약 절차

자원 예약은 음향 센서 등의 센서가 이벤트를 탐지한 후 이벤트 트리거 신호가 네트워크 자원 예약모듈로 전송된 후 네트워크 자원 예약모듈에서 수행하며 해당 클러스터 헤더에게 사전 정의된 기본 품질의 이

표 2. 메시지 포맷  
Table 2. message format

Field Name	Size (bit)	Description
Message Type	4	0000: Resource Request 0001: Resource Allocation 0010: Resource Change 0011: Image Request 0100: Image Cancel
Interface ID	4	0000 ~ 1111
Bit Rate(Kbps)	8	1Kbps ~ 256Kbps
# of Camera	8	1 ~ 256
Sensor ID	16	Camera Sensor ID

미지 데이터를 전송하기 위한 자원할당을 요청한다. 이를 수신한 클러스터 헤더는 할당 가능여부를 판단 후 자원할당을 요청한 센서에게 자원을 할당하며 동시에 라우팅 경로상의 클러스터 헤더에게 자원할당 결과를 통보하여 기본 품질의 이미지 데이터가 전송 가능한지 판단토록 한다. 라우팅 경로상의 각 CH는 필요한 자원 할당을 요청하며 각각의 CH에서 자원할당 가능여부를 판단토록 한다. 라우팅 경로상의 각 클러스터 헤더는 기본 품질의 이미지 데이터를 지원이 가능한지, 해상도/압축률 조정을 통하여 요청된 자원할당을 변경해야 하는지, 이미지 데이터를 전송하기 위하여 Wi-Fi 인터페이스를 사용해야 하는지를 판단하며 이를 수행하는 자원할당 판단, 인터페이스 선택 알고리즘은 3항에 제안하였다.



(a) 할당 요청된 자원의 조정 / 재할당 예  
(a) Example of resource reservation and re-allocation

(b) 할당 요청 불가로 인터페이스 스위칭 예  
(b) Example of interface switching

그림 3. 자원예약 및 할당 예  
Fig. 3. Example of resource reservation and allocation

그림 3은 제안기법의 자원예약 및 할당 예를 보여준다. 본 동작 예에서 Zigbee 인터페이스는 최대 200kbps까지 자원할당이 가능하고 사용자가 권장하는 해상도의 이미지를 전송하기 위해서는 100kbps가 필요하며 사용자가 요구하는 최소의 해상도로 이미지 데이터를 전송하기 위해서는 60kbps가 요구되는 것으로 가정한다.

1) 그림 3(a)에서 클러스터 헤더 B의 자식노드인 A 센서노드와 클러스터 헤더 C의 자식노드인 B 센서노드는 각각 이벤트를 탐지한 후 이미지 데이터를 전송하기 위하여 100kbps를 자원할당 요청하였고 해당 CH 및 라우팅 경로상의 CH에서 자원할당 가능여부를 판단한 결과 100kbps 대역폭의 할당이 가능하여 최종적으로 100kbps를 할당받아 이미지 데이터를 전송하고 있다.

2) 이후 클러스터 헤더 C의 또 다른 자식노드인 C 센서노드가 3번째 이벤트를 탐지하여 이미지 데이터를 전송하기 위하여 CH에게 100kbps 자원할당을 요청하고 CH는 자원할당이 가능하므로 100kbps의 자원을 할당한다. 동시에 CH B에게 B 센서노드와 C 센서노드를 위한 할당 자원인 200kbps를 요청하며 CH B는 200kbps 자원 중 A, B, C 노드를 지원하기 위해서는 각각 60kbps씩 자원할당이 가능함을 판단하고 CH A에게 180kbps 자원할당을 요청한다. CH A는 CH B 및 CH C를 경유하여 A 및 B 센서 노드에게는 100kbps에서 60kbps로 재 할당하고 3번째 이벤트를 탐지한 C 센서노드에게는 60kbps를 최종 할당한다.

3) 그림 3(b)에서 D 센서노드는 4번째 이벤트를 탐지하여 이미지 데이터를 전송하기 위하여 CH C에게 100kbps 자원할당을 요청하면 CH C는 센서 노드 B 및 C가 이미 120kbps를 사용하고 있으므로 60kbps의 자원을 할당하고 동시에 CH B에게 180bps를 요청한다. CH B는 자원할당이 불가능하므로 CH C 및 CH A에게 Zigbee 인터페이스가 아닌 Wi-Fi 인터페이스를 활용하여 이미지 데이터를 전송하도록 한다.

4.3 자원할당 및 인터페이스 선택 알고리즘

자원할당 요청 메시지를 수신한 노드는 그림 4의 자원할당 알고리즘을 따른다. 즉 이미지 데이터 전송을 위한 자원 할당이 가능한지를 판단하여 자원할당이 가능하면 전송하는 이미지 데이터 전송 노드 수, 인터페이스 등 할당된 정보를 기록한 후 자원할당을 수행하고 자원할당이 불가능하면 다시 해상도 및 압축률 조정 등을 통하여 자원할당이 가능한지를 판단하여 자원할

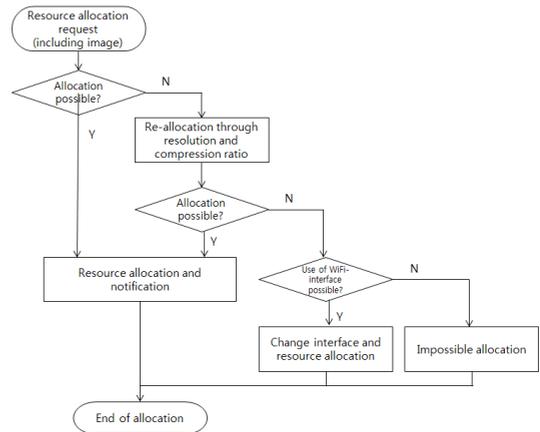


그림 4. 자원할당 및 인터페이스 선택 알고리즘  
Fig. 4. An algorithm for resource allocation and interface selection

당이 가능하면 전송하는 이미지 데이터 전송 노드 수, 인터페이스 등 할당된 정보를 기록한 후 자원할당을 수행하고 자원할당이 불가능하면 해상도, 압축률 등을 통한 자원을 재 배분한다. 이후 재 배분된 자원을 대상으로 자원할당이 가능한지를 판단하여 자원할당이 가능하면 자원할당을 시행하고 자원할당이 불가능하면 Wi-Fi 인터페이스 사용 가능여부를 판단하여 사용 가능하면 인터페이스를 변경하고 자원을 할당한다.

평시 클러스터 헤더 노드는 자원할당 가능여부를 판단하기 위하여 현재 사용 중인 인터페이스 정보, 할당/사용 중인 자원정보, 자원할당 요청 및 할당/승인 정보를 저장하고 있다. 자원할당 요청 메시지를 수신한 노드는 현 사용 중인 인터페이스로부터 최대 사용 가능한 자원정보와 할당/사용 중인 자원정보(누적 사용된 자원정보)로부터 할당 가능한 자원정보를 산출한다. 즉 현 사용 중인 인터페이스의 지원 데이터 전송률에서 할당/사용 중인 데이터 전송률을 빼면 할당 가능한 자원정보이다. 또한 저장하고 있는 자원할당 요청 및 할당 정보는 자원할당을 요청한 노드의 ID, # of Camera, 자원할당을 요청한 대역폭과 할당한 대역폭 관련 정보이다.

자원할당을 요청한 노드가 자신이 요청한 자원 할당량을 받지 못하였다면 즉, 축소 조정된 자원을 할당 받으면 그림 5의 이미지 데이터 전송판단 메커니즘을 사용하여 압축률 또는 압축률과 해상도 모두를 조정하여 할당된 자원에 맞추어 이미지 데이터를 전송한다. 즉 자원할당 응답 메시지를 수신한 노드는 우선적으로 압축률을 조정하여 이미지 데이터 전송이 가능한지를 판단하고 압축률 조정으로 이미지 데이터 전송이 불가능하

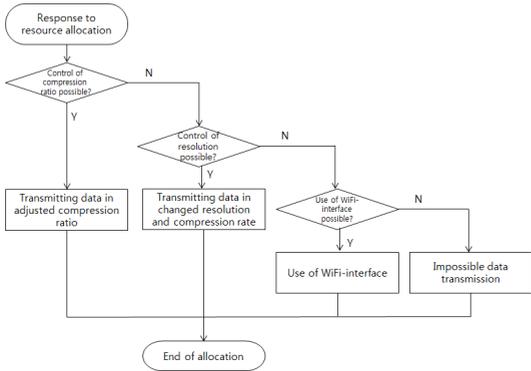


그림 5. 이미지 데이터 전송 판단 알고리즘  
Fig. 5. An algorithm for Image data transmission decision

면 추가적으로 해상도를 조정하여 데이터 전송이 가능한지를 판단하여 가능하면 조정된 해상도 및 압축률로 데이터를 전송하고 불가능시에는 Wi-Fi 인터페이스를 사용하여 이미지 데이터를 전송한다.

본 논문은 이미지 데이터를 전송하기 위하여 우선적으로 Zigbee 인터페이스를 활용한다. 그러나 Zigbee 인터페이스를 활용하여 원하는 시간 내에, 사용자가 정의한 해상도의 이미지를 군 지휘통제소에 보낼 수 없을 때는 Wi-Fi 인터페이스를 사용하도록 하였다. Wi-Fi 인터페이스를 사용하면 대용량의 데이터를 빠른 시간 내에 전송할 수는 있으나 노드의 에너지 소모량이 많아 전체 네트워크의 라이프 타임은 감소된다. 따라서 시스템은 사용 중인 인터페이스에 대한 주기적인 검사를 통하여 Wi-Fi 인터페이스를 활용하는 경우에는 Zigbee 인터페이스로 처리가 가능한지를 판단하여 변경 가능 시에 Zigbee 인터페이스로 변경한다.

만약 네트워크 내의 다중 전송으로 인한 간섭, 충돌로 할당된 자원만큼 원활한 데이터 전송을 할 수 없는 경우 자원 재 할당을 통해서 이미 할당된 자원을 조정할 수 있다. 라우팅 경로 중간에 위치한 자원할당 노드들은 자신의 전송 큐 상태를 확인하여 할당된 자원만큼 데이터가 전달되지 못한다면 현 인터페이스가 지원하는 데이터 전송률을 자신의 정보에 맞추어 보정할 수 있다. 지원 데이터 전송률이 보정되면, 현재 할당된 자원을 대상으로 압축률 또는 해상도를 조정하게 되며, 이때 변경된 자원에 대해서는 자원 변경 메시지를 이용하여 자원을 재 할당하게 된다.

V. 성능 분석 및 평가

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여 NS-3 시뮬레이터를 사용하였으며 실험 환경은 표 3과 같다.

1000m x 1000m 크기의 영역에 400개의 센서를 설치하고 1개의 sink를 중앙에 설치하였다. 각 센서 노드는 uniform distribution에 따라서 전 영역에 고루 분포되어 있으며, 센서 노드간 이웃 노드와의 평균 거리는 50m이다. 센서 간의 통신 거리는 60m이고 각각의 센서는 WPAN 인터페이스와 WLAN 인터페이스를 장착하였으며 랜덤한 위치에서 침입 탐지 이벤트를 발생시켰다. 채널 propagation loss 모델로는 Nakagami 모델이 사용되었다. 침입을 탐지한 센서 노드는 2초당 1장의 사진 이미지를 싱크로 전송하게 된다. 한번 탐지된 정보는 10초간 총 5장의 이미지 정보가 지속적으로 싱크에 전송되며, 이미지 크기는 압축률 및 해상도에 따라서 총 네 가지 종류를 정의 하였다. 기본적인 이미지는 640x480 픽셀 해상도로 한 장 당 20kbyte로 설정되어 있으며, 네트워크 상황에 따라서 해상도 및 압축률 조정이 가능하다. 640x480 픽셀 해상도의 고화질의 경우 사용자의 요청에 의해서 모니터링 요청 시 사용이 된다.

실험은 동시 이벤트 발생에 따른 제안 기법의 성능을 평가하기 위해서 이벤트 발생의 수를 증가시키면서 지연 허용 시간 내 도착 성공률 및 이미지 전송을 위해 사용된 평균 에너지 소모량에 대한 결과를 비교하였다.

표 3. 시뮬레이션 환경  
Table 3. Simulation Environment

Simulator	NS-3.19
Area	1000m x 1000m
Number of Sensors	401 (1 sink node + 400 sensors)
Tx range	60m
Node distribution	Uniform distribution
Interfaces	WPAN: IEEE 802.15.4 250 kbps(2.4GHz) WLAN: IEEE 802.11 65 Mbps(5GHz)
Power consumption [13][14]	WPAN: Tx-17.4mA / Rx-18.8mA / Idle-0.4mA WLAN: Tx-250mA / Rx-60mA / Idle-52mA
Time limit	10 sec
Camera Image Type[8]	640x480 resolution: 200kbyte/frame (Quality=100%), 20kbyte/frame (Quality=30%), 160x120 resolution: 15kbyte/frame (Quality=100%), 5kbyte/frame (Quality=30%)
Event	1 ~ 5 events

각 이벤트는 400개의 센서 중 랜덤하게 발생할 수 있으며 총 10번의 실험 결과를 평균한 값을 그래프로 보여 주었다. WPAN만을 사용하는 경우는 고정된 이미지 데이터를 전송하는 경우와 가변 이미지 데이터를 전송하는 경우로 나누어 실험을 진행하였다. WLAN만 사용한 경우, 충분한 대역폭을 사용할 수 있기 때문에 대역폭 할당 프로토콜이 사용되지 않았으며 제안기법은 WPAN 기반의 가변 이미지 데이터를 전송하면서 필요시 WLAN을 추가적으로 사용하였다.

그림 6은 허용 시간 내 도착한 이미지 데이터의 전송 성공률을 보여준다. 이미지 데이터 전송률은 센서에서 전송된 이미지 데이터 대비 수신된 이미지 데이터의 비율을 의미하며, 정상적으로 수신한 이미지 데이터는 해상도 조절을 통한 이미지 데이터의 수신까지 포함한다. 해상도가 조절된 이미지 데이터는 기본 이미지 보다는 해상도가 낮으나 사용자가 바람 등에 의한 오경보인지, 동물인지, 사람인지 충분히 구분이 가능한 데이터이므로 이미지 데이터 전송 성공률에 포함된다.

WLAN 인터페이스만을 사용하는 경우, 발생하는 이미지 데이터에 비해서 높은 데이터 전송 속도를 가지고 있기 때문에 실험 범위 안에서 대부분의 이미지 데이터가 지연 허용시간 안에 들어오게 된다. 반면에 WPAN 인터페이스만을 사용한 경우 싱크로 향하는 경로에 병목 현상이 발생하면서 지연시간의 증가로 허용 지연시간을 만족하지 못하게 된다. WPAN 인터페이스만을 사용하지만 이미지 데이터의 압축률 조절이 가능한 경우, 단일 해상도의 이미지 데이터를 사용하는 경우보다 더 많은 이미지 정보를 싱크로 보낼 수 있지만 동시에 발생하는 이미지 데이터의 수가 일정 이상 올라가는 경우 더 이상 지원할 수 없는 한계를 보여주고 있다. 실제 이미지 데이터의 전송 성공률은 패킷의 전송 성공률보다 낮은 것을 감안한다면 WPAN 기반의 이미지 데이터 전송 기술은 다중 이벤트 전송에 한계를 보

인다고 할 수 있다. 제안기법의 경우, 필요시 WLAN을 활용할 수 있기 때문에 WLAN만 사용한 경우와 마찬가지로 대부분의 이미지 데이터가 허용 지연시간 안에 들어오는 결과를 확인할 수 있다.

그림 7은 데이터 전송에 참여한 노드들의 평균 에너지 소모량을 비교한 결과이다. WPAN 인터페이스를 사용하는 센서의 경우 낮은 에너지 소모량을 보여주고 있으나, 그림 6에서와 같이 전송 성공률에서 문제가 발생한다. 특히 고정된 해상도의 이미지 데이터를 전송하는 경우는 이벤트가 2개 이상 발생하면서부터 네트워크가 혼잡한 상황에서 데이터 송수신을 지속적으로 하게 되어 해상도 및 압축률을 조절할 수 있을 때보다 더 많은 에너지를 사용하게 된다. 반면에 WLAN 인터페이스만을 사용한 경우 높은 에너지 소모로 인하여 네트워크 관리를 위한 비용이 많이 발생하게 된다. WLAN의 경우 대부분의 시간을 IDLE 상태로 보내기 때문에 에너지 소모량의 차이가 크게 발생하지 않는다. 제안 기법의 경우 필요 시 WLAN 인터페이스를 선택적으로 사용함으로써, 이벤트 발생이 적은 경우 WPAN 인터페이스만을 사용한 결과와 비슷한 에너지 소비량을 보여주며, 이벤트 발생이 증가할수록 이미지 데이터 전송의 성공률을 유지하기 위해서 WLAN 인터페이스를 이용하게 되는 것을 볼 수 있다. 이를 통해서 제안기법의 높은 에너지 효율성을 기대할 수 있다.

그림 8은 특정 지역 집중감시 메시지에 대한 네트워크 영향을 알아보기 위한 실험결과로 특정 지역 감시 메시지의 전송 시간을 나타낸다. 지역 감시 메시지는 네트워크에 가장 끝에 위치한 노드에 이미지 데이터를 요청하며, 해당 노드로부터 이미지 정보가 싱크로 전달이 된다. 35초에 200kbyte (640x480 해상도, 100% compression quality) 이미지 데이터 전송을 요청하는 특정 지역 집중감시 메시지를 발생하였으며, 30~35초 사이에 이벤트를 발생시켰다. 특정 지역 감시 요청의

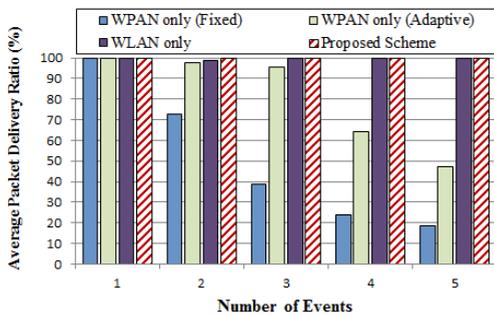


그림 6. 허용 지연 시간 내 전송 성공률  
Fig. 6. Packet delivery success ration within limit time

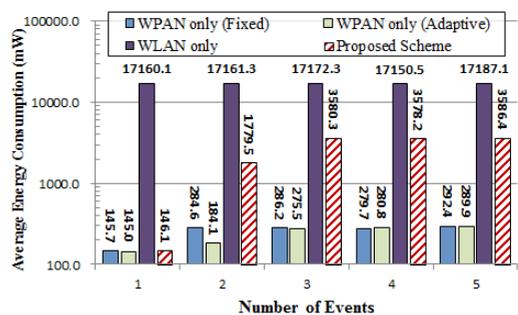


그림 7. 평균 에너지 소모량  
Fig. 7. Average Energy consumption

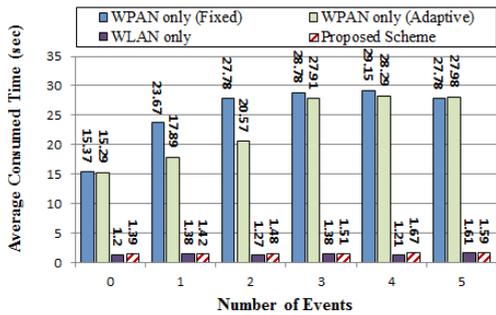


그림 8. 전송 완료 시간  
Fig. 8. Consumed Transmission Time

경우, end-to-end 재전송을 사용함으로써 모든 패킷이 전송되도록 하였다. WPAN의 경우, 이벤트 발생이 없는 경우 전송 요청 후 15초 전후로 전송이 완료되었다. 이벤트가 늘어남에 따라서 네트워크 자원의 부족으로 전송 시간이 길어지게 된다. 가변 해상도를 지원하는 WPAN의 경우, 특정 지역 집중 감시 메시지로 인하여 이벤트 영상은 최소 해상도의 높은 압축률로 전달되어 영향을 주는 폭이 작으나, 네트워크 용량의 한계로 일정 수 이상이 넘어가면 전송 시간이 높게 증가된다. 자원 할당이 알고리즘이 동작하는 제안 기법의 경우, WLAN을 사용하기 때문에 낮은 전송 완료 시간을 보여주나 WLAN만 사용하는 결과에 비해서 0.1~0.4초 정도 지연시간이 더 발생하게 되는데 그 이유는 자원 할당을 위한 초기 control packet으로 인하여 데이터 전송에 영향을 받는 것으로 보인다.

## VI. 결 론

무선 센서 네트워크 체계는 네트워크 중심전의 필수 요소로 군의 중요한 감시정찰 수단이 되고 있다. 무선 센서 네트워크의 군 감시정찰분야 적용을 위해서는 탐지 정보에 대한 오보율이 최소화 되어야 하고 전력소모가 최소화 되어야 하며 탐지된 표적 정보는 멀티 홉으로 정해진 시간 내에 군 지휘통제소에 전달되어야 하는 요구사항을 만족시켜야 한다.

본 논문에서는 이미지 센서가 포함된 복합 센서로 구성된 감시정찰 센서 네트워크에서 에너지 효율적이면서도 군 지휘통제소로 전달되는 탐지정보의 신뢰성을 향상시키기 위하여 감시정찰 센서 노드 시스템 및 네트워크 모델, 자원예약 메시지 및 포맷, 자원예약 절차, 자원할당 및 인터페이스 선택 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 제안기법은 이미지 데이터를 전송하기 위해 자원을 예약하고 네트워크 자원 가용성을

고려한 해상도 및 압축률 조정, 다중 인터페이스를 사용하도록 하여 대부분의 이미지 데이터가 허용 지연시간 내에 들어오는 결과를 보여 주었다. 또한 이미지 데이터 전송에 참여한 노드의 평균 에너지 소모는 기본적으로 WPAN 인터페이스를 사용하고 선택적으로 WLAN 인터페이스를 사용함으로써 높은 에너지 효율성을 얻어 제안기법의 우수함을 증명하였다.

## References

- [1] S. Park, H. Park, and Y. H. Ham, "Key elements of the defense sensor network technology," *J. KICS*, vol. 25 no. 10, pp. 42-49, Sept. 2008.
- [2] M. Islam, Y. Jang, S. Choi, and S. Park, "Key Technology Issues for Military Sensor Networks," *J. KICS*, vol. 26 no. 3, pp. 41-51, Feb. 2009.
- [3] *Development of surveillance sensor networks Report*, Electronics and Telecommunications Research Institute, Oct. 2009.
- [4] M. D. Street and F. Szczucki, "Wireless communications architecture(land) : Scenarios, requirements and operational view," *NATO C3 Agency, Tech. Note 1246*, Dec. 2006.
- [5] W. Song, W. Jung, Y. Seo, and Y.-B. Ko, "Efficient clustering and data transmission for service-centric data gathering in surveillance sensor networks," *J. Korea Inst. Military Sci. Technol.*, vol. 16, no. 3, pp. 304-313, Jun. 2013.
- [6] S. S. Lee, J. H. Kim, K. H. Won, and J. H. Kim, "An efficient image information transfer system for wireless image sensor network environments," *J. KIISE : Inf. Netw.*, vol. 35, no. 3, pp. 207-214, Jun. 2008.
- [7] K. Hong, P. Yan, P. Chen, and S. Sastry, "Multihop routing in camera networks : An experimental study," in *Proc. Int. Conf. Inf. Process. Sensor Netw.(IPSN)*, pp. 381-382, San Francisco, USA, Apr. 2009.
- [8] T. Watteyne, F. Chraim, N. Sarmicanic, C. Jian, and K. S. J. Pister, "Video transmission over a standard-based wireless multi-hop sensor network," *IEEE COMSOC MMT*

*E-Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 22-27, May 2010.

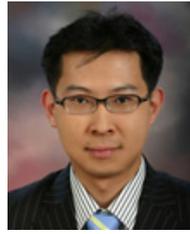
- [9] H. S. Kim, "Frame/slot allocation method for real-time traffic in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks," *J. IEEK*, vol. 44, no. 3(WN. 315), pp. 49-56, May 2007.
- [10] T. Winkler and B. Rinner, "Pervasive smart camera networks exploiting heterogeneous wireless channels," *7th Annu. IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. (PerCom)*, pp. 296-299, Texas, Mar. 2009.
- [11] Y. C. Cho, S. J. Yoon, and Y. B. Ko, "IEEE 802.11 MAC based multi-hop reservation and backoff scheme in MIMC tactical ad hoc networks," *J. Korea Inst. Military Sci. Technol.*, vol. 15, no. 1, pp. 16-27, Feb. 2012.
- [12] J. Hwang and J. Cho, "An efficient resource allocation algorithm for ubiquitous sensor networks," *J. KIICE*, vol. 17, no. 12, pp. 2769-2774, Dec. 2013.
- [13] CC2420 2.4GHz IEEE 802.15.4 RF Transceiver data sheet from <http://www.ti.com>
- [14] BCM4330 single chip IEEE 802.11 Transceiver data sheet from <http://www.broadcom.com>

**송 운 섭 (Woon-Seop Song)**



1987년 3월 : 공군사관학교 기계공학 학사  
 1997년 2월 : 연세대학교 전자공학 석사  
 2010년 3월~현재 : 아주대학교 NCW학과 박사과정  
 <관심분야> 무선네트워크, 전송 데이터링크, 망 관리

**정 우 성 (Woo-Sung Jung)**



2007년 8월 : 아주대학교 전자공학, 정보 및 컴퓨터공학 학사 (복수전공)  
 2009년 8월 : 아주대학교 정보통신공학 석사  
 2011년 9월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Wireless Network, Embedded system, IoT

**고 영 배 (Young-Bae Ko)**



1991년 2월 : 아주대학교 전계산학 학사  
 1995년 2월 : 아주대학교 MBA 경영정보학 석사  
 2000년 7월 : Texas A&M Univ. 컴퓨터공학 박사  
 2000년~2002년 : 미국 IBM T.J

왓슨 연구소 전임연구원  
 2002년 9월~2011년 : 아주대학교 정보컴퓨터공학부 정교수  
 2012년~현재 : 아주대학교 소프트웨어 융합학과, 일 반대학원 컴퓨터공학과 및 NCW학과 정교수  
 <관심분야> Wi-Fi Technology, MANET, 미래인터넷 CCN, 군 기술네트워크 등