

# 클러스터링 기반 유비쿼터스 센서 네트워크 관리 프레임워크의 설계 및 구현

정희원 이종언\*, 차시호\*\*, 종신회원 조국현\*\*\*

## Design and Implementation of a Management Framework for Ubiquitous Sensor Networks Based on Clustering

Jong-Eon Lee\*, Si-Ho Cha\*\*<sup>o</sup> *Regular Members*, Kuk-Hyun Cho\*\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문은 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)를 위한 관리 프레임워크(SNMF)를 설계하고 구현한다. SNMF는 센서 네트워크의 자동적인 관리와 에너지 효율적인 관리를 위하여 정책 기반 관리(PBM) 기법을 사용한다. SNMF는 PBM 기법을 적용하기 위하여 경량의 정책 분배 프로토콜인 TinyCOPS-PR 프로토콜을 설계하고, 하위 수준 정책을 표현하는 USN PIB를 정의하였다. 이로써 관리자에 의해 정의된 추상적인 상위 수준 정책은 구체적인 하위 수준 정책으로 변환되어 센서 노드에 적용됨으로써 원하는 관리 행위를 성취하게 된다. 관리자로부터 정책을 수신한 센서 노드는 자신의 지역 정책에 따라 지역적인 관리 행위를 수행함으로써 적은 에너지 소비로 인해 전체적인 네트워크의 생존성을 향상시킬 수 있으며, 관리자의 개입을 최소화함으로써 자동적인 네트워크 관리를 실현할 수 있다.

**Key Words** : USN, PBM, Self-Management, USN PIB

### ABSTRACT

In this paper we design and implement a sensor network management framework(SNMF) for ubiquitous sensor networks(USNs). The SNMF employs the policy-based management approach for the autonomous and energy-efficient management of USNs. Moreover, a new light-weight policy distribution protocol called TinyCOPS-PR is designed and USN PIB for low-level policy is also defined. This allows the abstract high-level policies defined by an administrator to translate into the specific low-level policies. The low-level policies are executed on sensor nodes so it can fulfill the proper management actions. The sensor nodes that receive some policies from an administrator perform local management actions according to those policies. SNMF can therefore realize small energy consumption and bring long network lifetime. It can also manage USNs automatically with a minimum of human interference.

### I. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크(ubiquitous sensor

network: USN) 관리는 제한된 네트워크 자원, 동적인 토폴로지, 트래픽 발생의 임의성, 제한된 에너지, 다수의 센서 노드 등으로 인해 관리 부하의 최소화,

\* 삼성탈레스 기술연구소(jong-eon.lee@samsung.com), \*\* 세종대학교 정보통신공학과(sihoc@sejong.ac.kr) (° : 교신저자)

\*\*\* 광운대학교 컴퓨터공학부(khcho@cs.kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-11-532, 접수일자 : 2007년 11월 30일, 최종논문접수일자 : 2008년 2월 18일

경량화, 자동화, 견고성 등이 고려되어야 한다<sup>[1][2]</sup>. 센서 노드는 배터리 수명, 저장용량, 프로세싱 능력 등의 제한된 하드웨어 자원을 가지고 있다. 이러한 제한된 하드웨어 자원의 부담을 최소화하기 위한 경량화된 계산은 필수적인 요구사항이다. 센서 환경은 항상 동적이고 불확실성을 가지고 있다. 관리 부하가 과도하게 발생하게 되면 통신비용의 상승으로 인해 센서 네트워크의 기본 기능과 생존성에 치명적인 영향을 미치게 된다. 따라서 관리를 원활하게 수행하면서도 네트워크의 기본 기능과 생존성을 보장할 수 있도록 관리 부하는 최소화 되어야 한다. 이를 위해 센서 환경에 유연하게 대처할 수 있는 자동화되고 지능적이며 자치적 구성이 가능한 적응력 있는 관리 프레임워크가 필요하다.

본 논문에서 제안하는 센서 네트워크 관리 프레임워크(sensor network management framework: SNMF)는 정책기반 관리(policy-based management: PBM)<sup>[3][4]</sup> 기법을 사용하여 센서 노드들이 정책에 의해 지능적이고 자치적으로 관리될 수 있도록 한다. PBM 기법은 관리 요구사항의 변화에 따라 센서 노드의 행위를 동적으로 변경할 수 있다. 즉, 상위 수준의 정책을 변경하거나 추가하게 되면 상위 수준의 정책이 하위 수준의 정책으로 변경되고 분배되며, 센서 노드들은 하위 수준의 정책에 따라 지역적인 행위를 결정하게 되는 것이다. 본 논문에서는 상위 수준의 정책 정의와 검증을 위하여 XML 스키마를 사용하였고, 정책의 분배를 위해 경량의 정책 분배 프로토콜(TinyCOPS-PR)을 설계하였으며, 센서 노드에서 사용되는 하위 수준의 정책을 표현하는 PIB(Policy Information Base)를 정의하였다. 제안된 SNMF는 관리 오퍼레이션으로 인한 비용을 최소화하고 지역적인 센서 네트워크 관리를 효율적으로 수행하기 위해 기존의 계층적 클러스터링 기법을 채용하여 라우팅 인프라를 구축한다.

이를 위해 본 논문의 II장에서는 USN의 관리와 관련된 클러스터링 기법과 PBM 모델의 개념에 대하여 기술한다. III장에서는 관리 프레임워크의 관리 절차 및 설계 요건, 구조와 기능적 컴포넌트 등에 대하여 설명한다. IV장에서는 정책의 생성, 변환, 분배에 관련된 사항을 기술하고 이를 위한 TinyCOPS-PR과 PIB를 설명한다. V장에서는 SNMF가 구축될 테스트 베드 네트워크를 포함하는 구현환경과 SNMF의 구현을 설명하고, VI장에서는 본 연구에 대한 결론을 기술한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 클러스터 기반의 계층적 라우팅 기법

센서 네트워크에서 클러스터링 기반의 계층적 라우팅 기법은 인접한 노드간에 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지와 대역폭의 낭비를 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 클러스터의 헤드(cluster head: CH)를 선정하는 방식에 따라 지역적 방식(localized)과 중앙적(centralized) 방식으로 구분할 수 있다. 지역적 방식은 노드들 간의 자율적 클러스터링이 이루어지고 중앙적 방식은 BS에서 클러스터 헤드를 결정하여 클러스터가 구성된다. 지역적 방식의 클러스터 기법에는 LEACH<sup>[5]</sup>가 대표적인 방법이고 중앙적 방식에는 LEACH-C<sup>[6]</sup>와 BCDCP<sup>[7]</sup> 등이 있다. 이 기법들의 특징은 다음과 같다.

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 CH가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 모음을 수행하여 싱크로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들의 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 CH를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 CH에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 데이터 모음을 수행한다. LEACH는 노드들 간에 CH를 무작위로 순환시킴으로써 모든 노드의 에너지 소비를 균등하게 할 수 있는 장점이 있는 반면, 노드들의 위치에 관한 정보가 없으므로 CH의 수와 위치가 보장되지 않는다.

LEACH-C(LEACH-Centralized)는 BS와 센서 노드들 간의 데이터 전달 과정은 LEACH와 동일하지만, CH를 선출함에 있어서 BS가 센서 노드들의 위치정보와 에너지 보유량에 따라 CH를 선출하는 방식을 사용하고 있다. LEACH-C는 BS에서 노드들의 위치 정보와 에너지 잔여 수준에 따라 CH를 결정함으로써 보다 견고한 네트워크 구성이 가능하지만, BS와 센서 노드들 간의 잦은 통신으로 인한 통신비용이 상승하는 단점이 있다.

BCDCP(Base Station Controlled Dynamic Clustering Protocol)는 LEACH-C와 동작방식이 유사한 중앙적 방식의 클러스터링 기법이다. 하지만, CH가 휴전한 데이터를 싱크에게 직접 전송하는 것이 아니라 CH-to-CH 방식으로 싱크까지 전송한다. 또한 클러스터 설정 단계에서 전체 센서 노드들의 에너지 정보를 바탕으로 전체 센서필드의 평균 에너지를 구하고 CH 후보집합을 생성한 다음 각 클

러스터에 거의 같은 수의 센서 노드들이 분포 될 수 있도록 분산 과정을 거쳐 CH를 선정한다.

본 논문에서 제안하는 관리 프레임워크에 가장 적합한 클러스터링 기법은 LEACH-C나 BCDCP와 같은 중앙 집중적인 클러스터링 기법이다. 이러한 기법은 관리오퍼레이션의 전달에 있어서 에너지 효율적이고 BS에서 CH의 위치와 에너지 수준 등의 정보를 얻을 수 있기 때문에 구성과 관리적 측면에서 유리하다.

### 2.2 센서 네트워크 관리 기법

센서 네트워크의 연구는 주로 MAC 및 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 센서 네트워크 관리와 관련된 연구는 현재까지 기본적인 개념적 구조만이 제안되고 있다.

Linnyer B. Ruiz<sup>[8]</sup>는 USN을 위한 MANNA 구조를 제안하였다. MANNA는 관리 차원을 기능 영역, 관리 수준, 그리고 무선 센서 네트워크 기능성의 세 가지로 나누어 고려하였으며, 관리 행위에 대한 WSN 모델을 제시하였다. 이 모델은 무선 센서 네트워크에서 관리자와 에이전트 사이의 관리 기능을 개념적으로 제시하고 있다.

M. Younis<sup>[9]</sup>는 에이전트 센서를 이용한 센서의 모니터링과 관리를 제안하였다. 에이전트 센서는 관리 메시지가 도달하지 않는 센서들에게 관리 메시지를 전달하고 모니터링 하는 역할을 수행한다.

Chie-An Lee<sup>[10]</sup>는 지능적 자치구성(intelligent self-organization) 관리 메커니즘을 제시하였다. 노드들은 각각의 기능에 따라 3개의 수준으로 구분되었다. 하위 수준의 노드들은 상위 수준의 노드들에 의해 관리되는 계층적 관리 구조를 가진다. 이 연구에서 상위 수준의 노드가 어떻게 하위 수준의 노드와의 경쟁으로 클러스터를 형성하는지를 제시하였다.

이러한 연구들은 공통적으로 개념적인 구조만 다루고 있다. 즉, 관리 메시지나 네트워크 구성 절차 그리고 시스템의 구현 방법에 대한 부분은 다루고 있지 않다.

### 2.3 정책 기반 관리 기법

정책 기반 관리의 목적은 망 장비들과 망 형상에 대해 가능한 독립적인 방법으로 망의 행위를 기술하는 추상적인 정책들을 사용하여 망을 관리하는 것이다. 하나의 정책이 특정 망 장비에만 국한되는 것이 아니라, 다양한 망 장비들에 사용될 수 있고, 단지 추상적인 정책만을 수정함으로써 망 관리의 변경 사항을 망에 동적으로 적용할 수 있다. 따라서

USN 관리를 위해 정책을 사용하는 방법은 효율적이고 동적인 관리를 가능하게 해준다.

IETF는 네 개의 요소로 구성된 정책 프레임워크를 정의하였다. 정책기반 프레임워크는 정책 관리 도구(policy management tool: PMT), 정책 저장소(policy repository: PR), 정책 결정자(policy decision point: PDP)와 정책 집행자(policy enforcement point: PEP)로 구성된다.

COPS는 PDP와 PEP간에 정책 정보를 교환하기 위해 사용되는 TCP 기반의 요청/응답 프로토콜이다<sup>[11]</sup>. 정책의 상태를 PDP와 PEP가 공유해야 하기 때문에 TCP 기반의 동기적 프로토콜로 설계되었다. PEP는 PDP에 대해 요청, 갱신 및 삭제 명령을 보내고, PDP는 PEP에게 결정을 내려 보내는 클라이언트/서버 모델이다. PEP와 PDP간에 정책 교환 및 설정을 위해 아웃소싱(outsourcing)과 프로비저닝(provisioning)의 두 가지 모델이 있다. 아웃소싱 모델은 PEP가 특정 이벤트에 대한 행위를 결정할 때, 이를 PDP에게 통보하고 정책 결정을 PDP에게 위임하는 방식이다. 프로비저닝 모델은 PDP가 PEP를 대상으로 정책 구성 및 정책 제공을 사전에 수행한다. 정책 프로비저닝을 위해서는 COPS 로부터 확장한 COPS-PR<sup>[12]</sup>을 사용한다. 따라서 USN을 위한 정책 분배는 USN의 제약적인 특성으로 인하여 COPS-PR 방식을 사용하여야 한다.

## III. SNMF 설계

USN 관리 프레임워크는 크게 PM(policy manager), PS(policy server), PA(policy agent)로 구성된다.

### 3.1 관리 절차

센서 네트워크 관리를 위한 SNMF 프레임워크의 개념적인 관리 절차는 그림 1과 같이 5단계의 절차를 통해 이루어진다. 1단계와 2단계는 계층적 클러스터링을 통하여 수행된다.

- 1) 계층적 클러스터링을 통한 라우팅 인프라 구축: LEACH-C나 BCDCP 같은 계층적 클러스터링 절차에 따라 라우팅 인프라를 구축하는 단계이다. 이 단계를 통해 구축된 인프라는 센서 네트워크 관리 인프라로 활용된다.
- 2) 자원 정보 수집과 서비스 검출: 절차 1을 통해 얻어진 센서 네트워크의 자원(센서 타입, 에너지 등) 및 형상 정보를 통해 네트워크가 제공할 수 있는 서비스를 검출한다.

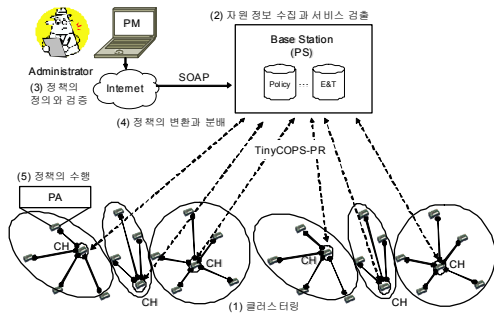


그림 1. 센서 네트워크 관리 절차

- 3) 정책의 정의와 검증: 절차 2에서 검출된 자원 정보와 네트워크 서비스를 바탕으로 PM에서 관리자는 상위 수준의 관리 정책을 정의한다. 정의된 상위 수준의 정책은 XML 스키마를 통해 검증되어 SOAP 프로토콜을 통하여 PS에게 전달된다.
- 4) 정책의 변환과 분배: PS는 절차 3에서 정의된 XML 정책을 하위 수준 정책으로 변환한 후 이 정책을 TinyCOPS-PR을 통하여 해당 센서 노드 상의 PA로 분배한다.
- 5) 정책의 수행: PA는 PS로부터 전달된 하위 수준의 정책을 수행함으로써 자치적인 USN 관리가 가능하도록 한다.

### 3.2 PM(Policy Manager)

PM은 그림 2에서 보인 것처럼 크게 정책 에디터와 USN 뷰어로 구성된다. 정책 에디터는 관리자에게 정책을 생성하고 전송할 수 있는 기능을 제공하며, 정책의 생성과 검증을 시행하는 컴포넌트와 정책의 전송을 담당하는 하위 컴포넌트들로 구성된다. 정책의 생성과 검증을 시행하는 컴포넌트는 관리자에게 미리 정의된 스키마에 따라 검증된 정책을 생성할 수 있도록 해준다. 정책의 전송을 담당하는 컴포넌트는 검증된 정책을 기반으로 SOAP 메시지를 생성하여 PS로 전송한다. SOAP은 메시지 자체가 XML 이므로 별도의 파싱 과정 없이 정책의 전달이 가능하다.

USN 뷰어는 관리자에게 USN의 상태를 모니터링할 수 있도록 다양한 뷰(view)를 제공한다. 형상 뷰(topology view)와 에너지 맵 뷰(energy map view)는 각각 네트워크의 라우팅 인프라와 현재 네트워크의 전체적인 에너지 상황을 모니터링 할 수 있다. 정책 뷰(policy view)는 현재 적용된 정책의 상태정보를 관리자에게 제공하며 네트워크의 센싱이

나 추적 등의 서비스와 관련된 정보를 모니터링 한다. 이러한 USN 뷰어는 PS의 기능 컴포넌트들로부터 정보를 제공받는다.

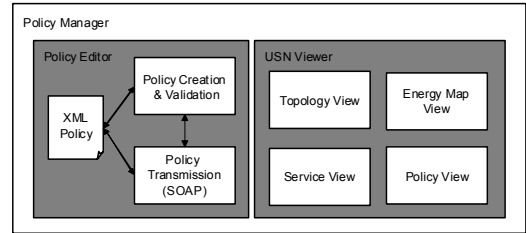


그림 2. PM의 기능적 컴포넌트

### 3.3 PS(Policy Server)

PS는 정책 변환(policy translation), 정책 분배(policy distribution), 정책 모니터링(policy monitoring), 자원 관리(resource management), 에너지 맵 관리(energy map management), QoS 관리(QoS management), 형상 관리(topology management), 역할 관리(role management), 지역 서비스(localization service) 등의 기능적 컴포넌트로 구성된다. 정책 관리와 연관된 컴포넌트들은 전역의 정책 정보를 가지고 정책의 변환, 분배, 모니터링 등의 기능을 수행한다. 나머지 컴포넌트는 센서 네트워크의 자원정보를 기반으로 관리와 서비스를 제공하며, 각각의 기능 컴포넌트들은 상호 연관성을 가지고 있다. 그림 3은 PS의 컴포넌트와 PM 컴포넌트간의 상호 관계를 보여 준다.

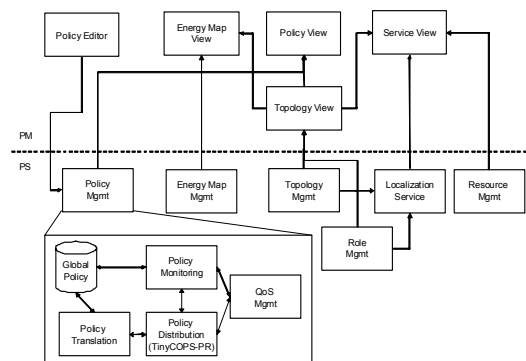


그림 3. PM과 PS의 기능적 컴포넌트

### 3.4 PA(Policy Agent)

PA는 PS에서 수신된 지역 정책에 기반하여 자율적이고 지역적으로 관리 행위를 결정한다. 정책 실행

행(policy enforcement) 컴포넌트는 지역 결정과 행위 함수 컴포넌트를 관리하여 정책을 수행한다. 정책 실행 컴포넌트의 다른 임무는 센서 노드에 중대한 이벤트가 발생하면 리포트 메시지를 생성하여 PS에게 전송한다. PA에 지역 결정 컴포넌트는 배포된 하위 수준의 정책(PIB)에 따라 정책의 실행 여부를 판단한다. 행위 함수는 데이터 필터링, 데이터 합병, 액추에이터 구동, 에너지 절약, 재클러스터링, 통보 등과 같은 행위와 관련된 함수이다. 이 함수는 센서 노드의 내장함수의 조합으로 구성된다.

#### IV. 관리 정책의 생성과 분배

##### 4.1 상위 수준 정책

센서 네트워크의 상위 수준 관리 정책은 네트워크 관리자에 의해 정의되며, 관리 요구사항이나 목적에 따라 관리자가 쉽게 정의하거나 수정할 수 있어야 한다. 본 논문에서 상위 수준 정책은 유효한 XML 문서로 정의한다. 그림 4는 USN의 상위 수준 정책의 구조를 보여준다.

상위 수준 정책은 크게 Policy ID, Resource Group, Role Group, Destination Group, Time Group, Data Group, Action Group으로 구성된다. 각 요소들은 센서 네트워크의 세부적인 특성을 포함하고 있다. 이러한 구조의 상위 수준 정책은 관리자에 의해 유효한 XML 문서로 생성된다. 정의된 상위 수준의 XML 정책은 XML 스키마를 이용하여 검증된다.

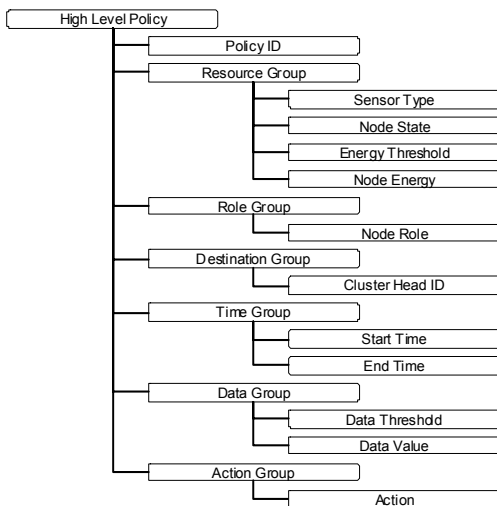


그림 4. USN 상위 수준 정책 구조

##### 4.2 하위 수준 정책

PS를 통해 변환된 하위 수준 정책은 TinyCOPS-PR 메시지로 센서 노드상의 PA에게 전달된다. PA는 추상적인 하위 수준 정책(USN PIB)을 구성하며, 이를 기반으로 지역적인 정책을 실행한다. USN PIB는 DiffServ PIB와 동일한 계층에 위치 시켰다. USN PIB를 이렇게 정의한 이유는 향후 기존의 망과 USN의 통합적인 관리를 고려한 것이다.

USN PIB는 센서 노드의 상태나 조건을 나타내는 노드 조건 테이블과 실제 센서 노드의 동작을 정의하는 Action으로 정의된다. 실제 PA에서 정책의 실행은 조건에 해당하는 노드 조건을 자신의 상태와 비교하여 해당하는 Action을 수행하게 된다. 센서노드에서 하나의 Action은 센서노드의 내장함수의 조합으로 구성된다. 센서의 조건을 나타내는 항목과 세부사항은 표 1과 같다.

표 1. USN PIB 분류

Name	Syntax	Description
Policy ID	XSD.ID	Policy ID
Sensor Type	INTEGER (0..10)	Any(0), Temp(1), Light(2), Humidity(3), Infrared(4), Gas(5), Ultrasonic(6), Seismic(7), Acoustic(8), Actuator(9), etc(10)
Node State	INTEGER (1..3)	OK(1), Unavailable(2), Nonoperational(3)
Energy Threshold	INTEGER (1..6)	lessThan(1), lessOrEqual(2), greaterThan(3), greaterOrEqual(4), equalTo(5), notEqualTo(6)
Node Condition Energy	XSD.Decimal	Current node energy status
Node Role	INTEGER (0..2)	Any(0), CH(1), SN(2)
Start Time	XSD.Date Time	Policy start time
End Time	XSD.Date Time	Policy end time
Data Threshold	INTEGER (1..6)	lessThan(1), lessOrEqual(2), greaterThan(3), greaterOrEqual(4), equalTo(5), notEqualTo(6)
Sensing Data	XSD.Float	Current sensing data value
Node Action	INTEGER (0..7)	nullAction(0), filtering(1), merging(2), actuator_on(3), actuator_off(4), energySaving(5), reClustering(6), notification(7)

### 4.3 정책의 변환

상위 수준 정책에서 하위 수준 정책으로의 변환 과정의 개요는 그림 5와 같다. 상위 수준 정책은 미리 정의된 XML 스키마를 통해 검증되어 생성된다. 상위 수준 정책 파일을 변환하기 위해서는 XML 스키마 파일(XSD)이 SMI 트리 구조를 가지는 ASN.1 형태로 변환 되어야 한다. XSD와 ASN.1 간의 구분에 대한 사상 규칙은 ITU에서 정의한 X.694<sup>[13]</sup> 표준에 기술되어 있다. 이 규칙에 따라 XML의 엘리먼트와 속성 그리고 타입 등이 ASN.1 형태로 변환될 수 있다. 변환된 ASN.1 형태의 USN PIB와 TinyCOPS-PR 스택을 기반으로 XML 정책 문서는 ASN.1 인코딩 규칙에 따라 TinyCOPS-PR 메시지로 인코딩 된다.

XSD에서 USN PIB으로의 변환에서 우선적으로 고려할 사항은 변환 후에도 변환전의 모델이 가지는 정보를 유지하면서 하위 수준의 정책에 적합하도록 하는 것이다. XML 정책이 계층적 트리 구조로 정의되어 있으므로 USN PIB의 관리대상 정의는 SMI 트리 형태를 가지도록 함으로써 문서의 구조를 바꾸지 않고 트리 구조로 변환하는 것이 정보를 쉽게 효율적으로 변환하는 방법이다. 여기에 변환되는 모델의 특성을 반영하여 변환된 모델을 최적화 하여야 한다.

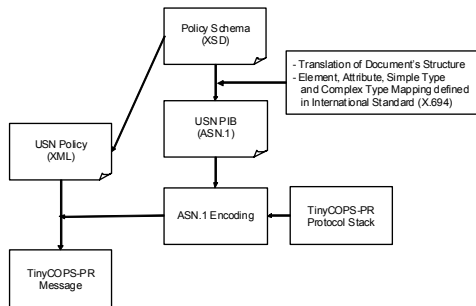


그림 5. 상위 수준 정책에서 하위 수준 정책으로의 변환

### 4.4 정책 분배 프로토콜(TinyCOPS-PR)

TinyCOPS-PR은 COPS-PR을 기반으로 USN에 적합하게 경량화 하여 기본적이고 필수적인 오퍼레이션만을 지원한다. 표 2는 본 논문에서 정의한 TinyCOPS-PR 일반 헤더에 대한 세부사항을 보인 것이다. 여기에서 Version은 프로토콜의 버전을 명시하며, Flags는 OP Code와 조합으로 커맨드의 종류를 식별하게 된다. OP Code는 3개의 오퍼레이션인 Request (REQ), Decision (DEC), Report State

(RPT)를 나타낸다(기존의 COPS-PR의 operation은 10개). Client-Type은 정책 클라이언트를 식별하기 위해 사용된다. 여기에서는 5 값을 사용한다. 마지막 Message length는 바이트 단위의 메시지 길이이다.

표 2. Tiny-COPSPR 일반 헤더

Name	Description	etc
Version	Protocol Version = 1	
Flags	각각의 OP Code와 조합되어 커맨드의 종류 표현	
OP Code	1=Request(REQ), 정책요구 및 PA 현재상태 정보	PS ← PA
	2=Decision(DEC), 정책전송, Install 또는 Remove	PS → PA
	3=Request State(RPT), 정책수행 성공여부 등	PS ← PA
Client Type	1=Use authentication processes	
	2=DiffServ PIB	
	5=USN PIB	
	0x4000~0x7FFF=private use	
	0x8000~0xFFFF=enterprise use(IANA)	
Message Length	바이트 단위의 메시지 길이	

- Request Message(REQ): PA에서 PS로 전송되는 구성 요청 메시지이다. COPS-PR에서는 PEP가 정책의 결정이 필요할 때 마다 PDP에게 REQ를 전송하게 된다. 반면, TinyCOPS-PR에서는 센서 네트워크가 구성된 초기에만 사용된다. 즉, 센서들이 클러스터링이 완료되고 정책을 인스톨할 준비가 완료되었음을 알리기 위해 사용된다. Flags 값은 0 하나만을 사용한다.
- Decision Message(DEC): DEC는 PS에서 PA로 정책 전송, 정책의 설치 및 제거 하는 메시지이다. 정책은 PRC와 PRI 형태의 PIB이며, 이때 필요한 PRC를 선택적으로 설치 및 제거할 수 있다. Flags 값은 0=Null Decision, 1=Install (정책의 설치), 2=Remove(정책의 제거)를 사용한다.
- Report State Message(RTP): RTP는 PA에서 PS로 정책 구성의 성공 여부를 알리는 메시지이다. DEC 메시지에 의해 발생 하는 경우도 있고, 스스로 RTP 메시지를 전송하는

Alert 기능(3=Flags)도 포함되어 있다. Flags 값은 0=Reboot, 1=Success, 2=Failure, 3=Alert를 사용한다.

- Policy Provisioning Object Format(PPOF): DEC와 함께 사용되는 Object Format이다. PIB의 실제 값 PRID(Complete Provision Instance Identifier)나 객체의 이름을 사용하는 EPD(Encoded Provision Instance Data) 값을 전송하는 데 사용된다.

## V. 구 현

본 논문의 테스트 베드 구축은 TinyOS 환경의 구현을 가능하게 해주는 Nano-24 플랫폼<sup>[14]</sup>을 이용하여 구축하였다. Nano-24는 2.4GHz Zigbee를 지원하는 Chipcon CC4420 RF 모듈을 채용하고 있으며, atmega 128L CPU, 32KB 메모리와 512KB 플래시를 가진다. 또한 Nano-24는 한국전자통신 연구원에서 개발한 센서 네트워크 개발 환경인 Qplus-N을 지원한다. 본 논문에서는 10개로 구성된 테스트 베드를 구축하였다. 각각의 노드는 PA 모듈이 탑재된다. SNMF의 PM과 PS는 Windows XP OS 환경에서 자바 기술을 기반으로 구현하고 PA는 Nano-24 노드상의 NanoQplus OS 환경에서 gcc를 이용하여 구현하였다.

### 5.1 PA의 구현

센서 노드 상에서 동작하는 PA의 첫 번째 조건은 경량화이다. 실제 PA상에서 동작하는 실행코드는 센서 장비의 실행에 문제가 없도록 최적화 되어야 한다. 또한 센서에 올라가는 하위 수준 정책의 자료 형태와 구조는 단순한 형태를 가져야 한다. 표 3은 PA의 동작 의사코드를 보여준다.

표 3. PA의 동작 의사 코드

1. PA 의 시작과 초기화
2. USN PIB 로딩
3. While true
4. PS로부터 관리 요청을 기다림
5. IF TinyCOPS-PR 메시지 이면
6. IF 조건 테이블과 수신된 조건 비교
7. OID에 해당하는 Action 함수 호출
8. 호출된 Action 함수는 관련 내장함수 호출
9. End IF
10. End IF
11. End while

PA는 실행시에 USN PIB 정보와 함께 로딩 되어야 한다. PA는 쓰레드로 생성되며 TinyCOPS-PR 메시지를 기다린다. 메시지를 수신하면 USN PIB와 수신된 조건을 비교하여 조건이 일치하면 해당 OID의 Action 함수를 호출한다.

각각의 Action 함수는 내장 함수의 조합으로 구성되어 있다. 예를 들어 Action 함수 energy\_saving()은 내장함수 qplus\_pm\_atmega128l\_sleep()을 호출하여 센서 노드 상태를 sleep 상태로 전환시켜 정책을 수행한다. notification()함수가 호출되면 PS로 Alert 메시지를 전송하는데 다음은 Alert 메시지를 정의한 구조체이다.

```
typedef struct {
    BYTE version;
    BYTE flags;
    BYTE op_code;
    BYTE client_type;
    int policy_ID;
} notification_packet;
```

### 5.2 PM과 PS의 구현

PM에서 관리자는 XML 문서 형태의 정책을 생성한다. 상위수준의 정책은 미리 정의된 정책의 XML 스키마를 통해 검증된다. 작성된 스키마 파일로 스키마의 구조를 생성하여 생성된 구조에 입력 값을 할당하고 입력 정보를 포함하는 XML 스키마 구조를 Marshalling(XML serialize)하여 XML 정책을 생성한다. 이 과정의 구현을 위하여 JAXB<sup>[15]</sup>를 사용하였다. JAXB는 DOM이나 SAX보다 간단한 파싱 과정을 제공한다. JAXB에 포함되어 있는 XSD 컴파일러를 이용하여 XML 스키마를 컴파일한다. 컴파일 결과 XML 스키마의 엘리먼트들은 자바 빈즈 클래스로 생성된다. 그림 6은 스키마 컴파일 된 자바 빈즈의 클래스 다이어그램이다.

이 클래스를 이용하여 사용자의 입력 뷰를 만들고 입력된 값은 자바 빈즈의 인스턴스에 입력된다. 이 인스턴스를 Marshalling을 수행하여 정책 문서를 생성한다.

그림 7은 생성된 XML 정책의 입력 뷰를 보여준다. Policy ID는 1로 지정되고 센서 타입은 습도 센서를 선택한다. 이 정책에서는 CH에게만 정책을 수행시키는 것이 아니기 때문에 센서의 역할은 모든 센서를 의미하는 ANY로 지정한다. 목적지 주소는 CH2와 3이므로 ClusterHead ID는 각각 2와 3으로

설정한다. 정책의 실행 기간은 오전 10시에서 오후 1시 이므로 각각 Start Time은 10:00로 End Time은 13:00으로 설정한다. 습도가 0.8 이하인 데이터는 필터링 하므로 Data Threshold 값은 lessOrEqual로 Data Value는 0.8로 각각 설정한다. 마지막으로 Action을 Filtering으로 설정한다. 생성 버튼을 누르면 실제 정책이 생성되게 된다.

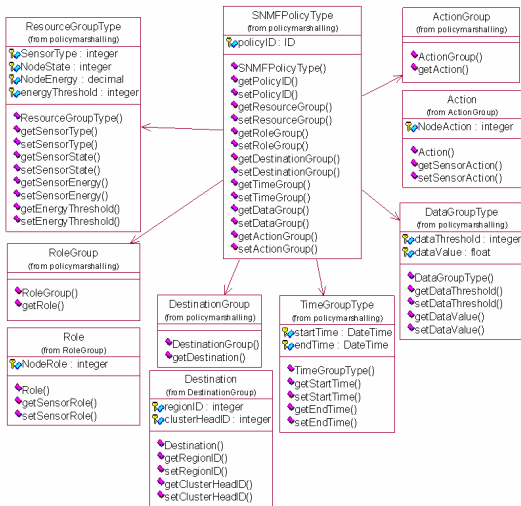


그림 6. 생성된 클래스 다이어그램

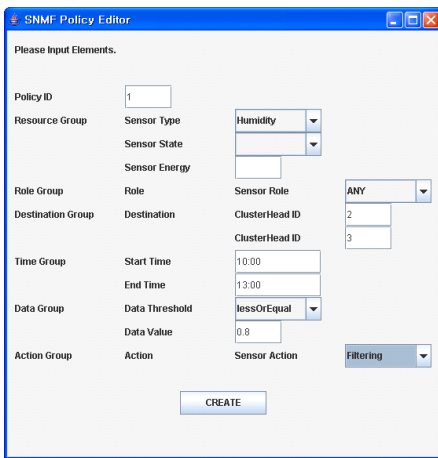


그림 7. SNMF 정책 에디터

생성된 정책은 SOAP 메시지 형태로 PS로 전송된다. 다음은 SOAP 메시지를 생성하여 전송하는 코드의 일부이다.

```

public class SetPolicy {
    SOAPMessage requestMessage =
        messageFactory.createMessage();
    javax.xml.soap.MimeHeaders headers =

```

```

    requestMessage.getMimeHeaders();
    headers.setHeader("USNPolicy",
        "http://xxx.xxx.xx.xxx");
    javax.xml.soap.SOAPPart soapPart =
        requestMessage.getSOAPPart();
    SOAPEnvelope envelope = soapPart.getEnvelope();
    ...
}

```

PS는 센서 노드의 정보를 가공하여 PM에게 여러 가지 뷰들을 제공한다. 그림 8은 PM을 통해 보여진 에너지 맵 뷰이다. 노드의 형상 뷰의 정보를 기반으로 센서 노드의 에너지 상태를 관리자에게 제공한다.

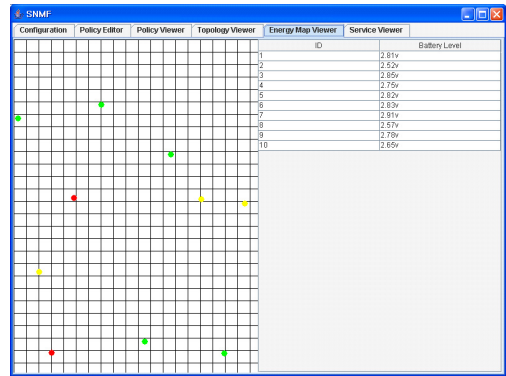


그림 8. SNMF 에너지 맵 뷰어

### 5.3 구현 분석

본 논문의 분석을 위하여 정성적 분석을 사용하였다. 표 4는 SNMF가 제시한 요건을 어떻게 만족시키는데에 대한 분석을 종합한 것이다.

표 4. SNMF 분석

설계 요건 항목	지원여부	방법
관리부하 최소화	지역 전송	지역별 전송에 따른 대역폭 이득
	비동기 방식	지원: 관리자와 피관리 객체 간의 비동기적 연결
경량화	메시지 크기	ASN.1 인코딩 이득, 관리 메시지(최대 20Bytes)
	실행 코드	WSN PIB(4KB), PA 실행 파일(3KB)
자동화, 지능화	지원: 정책의 자동변환과 실행	
자치구성	지원: 클러스터링 절차	
지역별 관리	지원: 지역별 특성화된 관리 가능	

## VI. 결론

본 논문에서는 자원 제약이 많은 유비쿼터스 센서 네트워크를 자동적이고 자치적으로 관리할 수



있는 정책 기반 관리 프레임워크(SNMF)를 제안하고 구현하였다. 제안된 SNMF는 정책 기반 관리가 가능하기 때문에 관리자에게 추상적이고 자동적인 관리 방법을 제공한다. 즉 관리자의 관리 행위를 추상적인 상위 수준의 정책으로 정의하고 배포하는 것으로 단순화 할 수 있다. 구현된 SNMF 시스템은 Nano 24 센서 노드 기반의 센서 네트워크 테스트 베드 상에서의 실험을 통해 상위 레벨 정책을 통해 센서 네트워크를 자동적으로 관리할 수 있음을 보였다.

SNMF는 상위 수준 정책을 유연성 있는 XML을 사용하여 표현하고 PM과 PS는 자바 기반으로 분산 환경에서 원활하게 동작한다. 또한, TinyCOPS-PR은 COPS-PR과 호환성이 있도록 설계하였고 USN PIB도 기존의 PIB의 하위에 정의하였다. 따라서 SNMF는 기존의 IP 기반 네트워크를 위한 정책 기반 관리 프레임워크와 유연하게 통합될 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks", PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology, June 2000.
- [2] Kaustubh S. Phanse, Luiz A. DaSilva, "Extending Policy-Based Management to Wireless Ad Hoc Networks", 2003 IREAN Research Workshop, April 2003.
- [3] R. Yavatkar, D. Pendarakis, R. Guerin, "A Framework for Policy-based Admission Control", IETF RFC 2753, January 2000.
- [4] D. C. Verma, "Policy-Based Networking: Architecture and Algorithms", New Riders, November 2000.
- [5] M. J. Handy, M. Haase, D. Timmermann, Low Energy Adaptive "Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-Head Selection", IEEE, 2002.
- [6] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", IEEE, 2002.
- [7] Siva D. Muruganathan, Daniel C. F. MA, Rolly I. Bhasin, Abraham O. Fapojuwo, "A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Ubiquitous Sensor Networks", IEEE Radio Communications, March 2005.
- [8] Linnyer B. Ruiz, Jos'e M. Nogueira, Antonio A. F. Loureiro, "MANNA: A Management Architecture for Ubiquitous Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, Volume 41, Issue 2, February 2003.
- [9] M. Younis, P. Munshi, "Architecture for Efficient Monitoring and Management of Sensor Networks", IFIP/IEEE E2EMON, September 2003.
- [10] Chien-An Lee et al., "Intelligent Self-Organization Management Mechanism for Ubiquitous Sensor Networks", <http://www.ndhu.edu.tw/~rdoffice/exchange/CYC-paper.pdf>.
- [11] D. Durham et al., "The COPS(Common Open Policy Service) Protocol", IETF 2748, January 2000.
- [12] K. Chen et al., "COPS usage for Policy Provisioning(COPS-PR)", IETF RFC 3084, March 2001.
- [13] ITU-T, "X.694(Information technology - ASN.1 encoding rules: Mapping W3C XML schema definitions into ASN.1)", January 2004.
- [14] Nano-24: Sensor Network, Octacomm Inc., <http://www.octacomm.net>
- [15] Java Architecture for XML Binding (JAXB), Sun, <http://java.sun.com/xml/downloads/jaxb.html>

이 종 언 (Jong-Eon Lee)

정회원



2001년 광운대학교 전자계 산학과 졸업(이학사)  
 2003년 광운대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사)  
 2007년 광운대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학박사)  
 2008년~현재 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원

<관심분야> 네트워크 관리, 무선 센서 네트워크, HCI, 유비쿼터스 컴퓨팅

차 시 호 (Si-Ho Cha)

정회원



1995년 순천대학교 전자계산학과  
졸업(이학사)  
1997년 광운대학교 대학원 전자  
계산학과 졸업(이학석사)  
2004 광운대학교 대학원 컴퓨터  
과학과(공학박사)  
1997년~2000년 대우통신 종합연

구소 선임연구원

2004년~2005년 WarePlus, Inc. NI사업본부 기술개발  
팀장(차장)

2005년~2006년 세종대학교 컴퓨터공학과 초빙교수

2007년~현재 세종대학교 정보통신공학과 연구교수

<관심분야> 네트워크 관리, 무선 센서 네트워크,  
MIMO, 유비쿼터스 컴퓨팅

조 국 현 (Kuk-Hyun Cho)

종신회원



1977년 한양대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1981년 일본 동북대학교 대학원  
졸업(공학석사)  
1984년 일본 동북대학교 대학원  
졸업(공학박사)  
1984년~현재 광운대학교 전자

정보대학 컴퓨터공학부 교수

개방형컴퓨터통신연구회(OSIA) 회장 역임

<관심분야> 네트워크 관리, 분산처리, 정보통신 분야  
표준화 등