



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

공학 석사학위 논문

RFID 기반 유비쿼터스 센서 네트워크를 위한  
저전력 통신 프로토콜

An Energy Efficiency Protocol for RFID-based Ubiquitous Sensor  
Networks

아주대학교 정보통신전문대학원  
정보통신공학과  
고 경 철

RFID 기반 유비쿼터스 센서 네트워크를 위한  
저전력 통신 프로토콜

An Energy Efficiency Protocol for RFID-based Ubiquitous Sensor  
Networks

지도교수 김 재 훈

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2006 년 12 월 13일

아주대학교 정보통신 전문대학원

정보통신공학과

고 경 철

고경철의 공학 석사학위 논문을 인준함.

심사 위원장 김 재 훈 (인)

심 사 위 원 고 영 배 (인)

심 사 위 원 김 성 수 (인)

아주대학교 정보통신 전문대학원

2006 년 12 월 13 일

# 감 사 의 글

두려움 반 기대 반으로 시작했던 석사 2년이 어느새 끝나고 졸업을 하게 되는군요. 저에게 지난 2년은 많은 성취와 함께 가능성을 발견하게 된 귀한 시간이었습니다. 정말 좋은 사람들과 연구하게 된 것이 저에겐 큰 행운이었던 것 같습니다. 먼저 2년 동안 저를 지도하여주신 고영배 교수님과 김재훈 교수님께 감사의 말씀 드립니다. 교수님의 지도와 훈계, 따뜻한 격려 때문에 많은 것을 배우고 졸업할 수 있었습니다. 또한 본 논문을 심사해주신 김성수 교수님께도 감사 드립니다.

연구실 2년 동안 누구보다 많은 시간 함께하며 동거 동락했던 연구실 동기들, 근희, 성호, 성찬과 DMC 연구실에 재희, 정호에게도 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 또한 연구실 선후배인 성희, 상원이, 동민이, 지나, 성원이, 근우, 민수에게도 감사의 마음을 전합니다. 무엇보다 대화는 잘 통하지 않지만 항상 옆에서 도와주고 힘이 되어준 Deepesh, Zeeshan, Arun에게 감사 드립니다. 하루에도 12시간이상 같이 함께하며 고생했던 기억들 잊지 않고 늘 멀리서나마 연구실 동료들의 건승을 기원하겠습니다.

또한 멀리 춘천에서 여러모로 저를 격려해준 IVF 멤버들과 간사님, 새포도원 교회 식구들과, 지난 2년 동안 물심양면으로 격려해주었던 다영에게 감사의 마음을 전합니다. 또한, 정말 오랜 시간 인내하시며 대학원공부까지 뒷바라지 해주신 부모님과 동생에게 깊이 감사 하며 배운 공부가 절대 헛되지 않게 열심히 살겠노라고 약속 드리겠습니다.

마지막으로 이 모든 좋은 사람들을 허락하신 하나님, 순간순간 세밀한 인도하심과 사랑의 언어로 위로하셨던 주님의 계획하심에 감사 드립니다.

## 요 약

RFID(Radio Frequency Identification)시스템과 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 유비쿼터스 환경에서의 지능적인 상황인지를 가능하게 하는 핵심 기술이다. 특히 RFID는 부착된 RFID 태그를 리더로 읽어 들여 정확하게 객체를 인식할 수 있어 상황 인지를 위한 중요한 정보를 제공할 수 있다. 그러나 태그와 리더간의 통신이 단일 홉으로 구성되어 있기 때문에 상황 인지가 필요한 대상 지역의 전체를 인식하지 못하여, 상황인지를 위한 총체적 정보를 제공할 수 없는 문제를 가지고 있다. 이러한 상호 시스템간의 장점을 극대화 시키기 위하여, 본 논문에서는 RFID 시스템이 좁은 인식 범위를 보완한 멀티 홉의 태그 인식을 가능하게 하는 동시에, 센서 네트워크의 센싱 정보와 함께 활용하여 지능적인 상황 인지가 가능한 RFID 기반 무선 센서네트워크의 지능적 상황 인지 지원 시스템을 제안한다. 이러한 시스템을 제안하기 위해 현재 프로토타입으로 연구되고 있는 RFID리더 모듈이 탑재된 센서모드를 이용한다. 뿐만 아니라, 제안한 계층적인 모듈에서 RFID리더가 작동하기 위해서는 상당히 많은 에너지를 필요로 하기 때문에 에너지 효율적인 알고리즘을 필요로 한다. 그러므로 본 논문은 이벤트 지향적인 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적인 두 가지 동작기법을 제안하고자 한다. (1) 첫 번째 기법은 "Influence Range(IR)"안에 들어온 RFID 리더 노드만 RFID리더의 작동을 하는 것이다. (2) 두 번째 기법은 첫 번째 방법에서 진보된 알고리즘으로 에너지를 분산시키기 위해 "influence range"안에 있는 다수의 RFID 리더 노드 중에 하나만 선택하여 RFID 리더를 작동시키는 것이다.

# Abstract

Over the past few decades, there have been immense advancements in the field of wireless communications. A network of sensors with diverse sensing modalities, computing and communication capabilities can be configured to capture these events and thus provides the basis for determining relevant state change (event recognition) in the environment i.e., context-awareness. By attaching RFID tags to an object we can capture its identity and environment dynamics (location information), that would lead to better awareness. The integration of RFID systems and Wireless Sensor Networks (WSNs) is the next big leap that would enable our transition into the new era of ubiquitous sensing and smart environment monitoring. In this paper I have presented a hierarchical Ubiquitous Sensor Network architecture for ubiquitous sensing and supporting intelligent context-awareness.

However, the success of such integration largely depends on inexpensive operations in terms of resource consumption. In this paper I present two energy efficient RFID reader wake-up schemes for the event driven sensor networks; (1) The first scheme simply wakes-up all RFID readers within the “Influence Range” while, (2) In this more improved version, nodes that are in close vicinity of an object being monitored are required to be woken-up only. Simulation results show that these RFID wake-up schemes conserve significant energy as compare to their periodic counterpart.

# 목 차

제 1 장 서론.....	1
제 2 장 관련 연구 .....	5
제 1 절 유비쿼터스 환경에서의 상황인지 컴퓨팅 시스템 .....	5
제 2 절 RFID 시스템 구조.....	6
제 3 절 무선센서네트워크의 에너지 절약 알고리즘 .....	7
제 3 장 RFID 리더 기반 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적 알고리즘	10
제 1 절 RFID 리더 기반 유비쿼터스 센서 네트워크.....	10
제 1 항 센서노드와 RFID 리더 결합 .....	10
제 2 항 RFID 리더가 탑재된 유비쿼터스 센서 네트워크 구조.....	11
제 3 항 RFID기반 유비쿼터스 센서 네트워크에서 지능적 상황 인지 시스템의 활용 .....	13
제 2 절 에너지 효율성을 고려한 Wake-Up 알고리즘 .....	16
제 1 항 연구 동기 .....	16
제 2 항 Simple-Wakeup Scheme .....	18
제 3 항 Advanced -Wakeup Scheme .....	20
제 3 절 성능평가.....	22
제 1 항 시뮬레이션 환경 .....	23
제 2 항 시뮬레이션 결과.....	23



제 4 장 결 론.....	2 7
참고문헌.....	2 9

# 그림 목차

그림 1-1. A unified framework for Ubiquitous Sensor Network.....	2
그림 2-1. RFID System Architecture.....	6
그림 2-2. The Current consumption (mA) for different operations of RFID-embedded sensor node.....	7
그림 3-1. RFID-embedded sensor node.....	11
그림 3-2. RFID-embedded Ubiquitous Sensor Network Architecture.....	12
그림 3-3. 취침 서비스 제공을 위한 베이지안 네트워크.....	15
그림 3-4. 클러스터 크기에 따른 센서 네트워크의 수명.....	18
그림 3-5. Simple-Wakeup Scheme - First Step.....	19
그림 3-6. Simple-Wakeup Scheme – Second Step.....	20
그림 3-7. Advanced-Wakeup Scheme-First Step.....	21
그림 3-8. Advanced-Wakeup Scheme-Second Step.....	22
그림 3-9. Advanced-Wakeup Scheme-Third Step.....	22
그림 3-10. Average RFID reader energy consumed (mJ).....	25
그림 3-11. Average RFID reader energy consumed (mJ).....	26

# 표 목차

표. 3-1. 제안한 시나리오의 조건부 확률표 (CPT: Conditional Probability Table).....	14
표 3-2. Energy Model of Periodic Duty-Cycle (1%) in RFID-Sensor Node.....	17

# 제 1 장 서 론

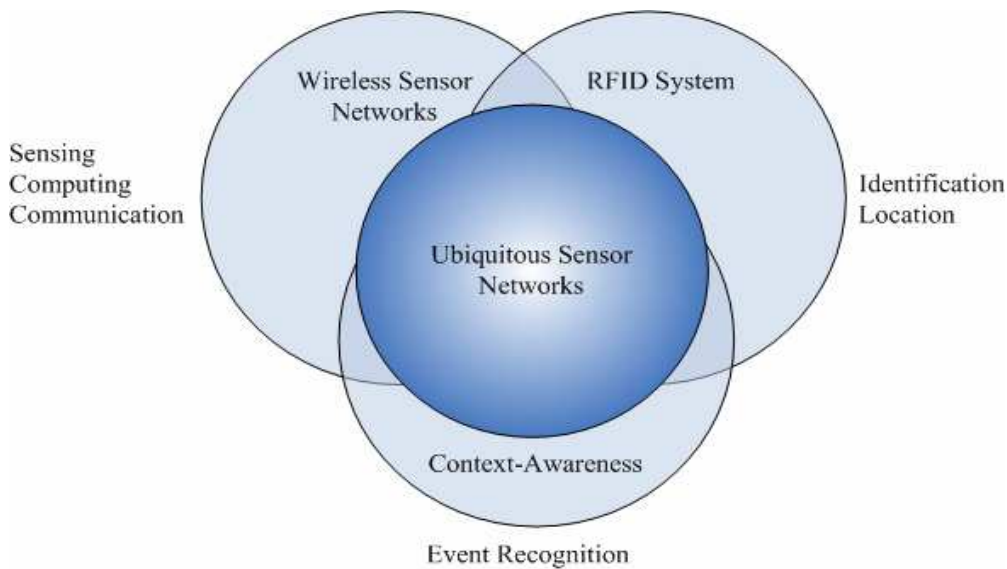
상황인지 기술이란 현실의 상황을 정보화하고 이를 활용하여 사용자 중심의 지능화된 서비스를 제공하는 것이다. 이때 현실 세계에 존재하는 실체의 상태를 특징화하여 정의한 정보를 컨텍스트 (Context)라고 한다 [Dey99]. 컨텍스트 획득을 위한 기술 중 대표적인 것은 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 이다. 무선센서 네트워크는 빛, 온도, 습도, 압력과 같은 데이터를 센싱 필드에 배포된 센서 노드가 수집하여 베이스 노드에게 전달함으로써 컨텍스트 획득을 위한 기반을 제공한다 [특허청04]. 이러한 무선 센서 네트워크는 대상 지역에 대한 충분한 환경 정보를 제공하지만, 대상 지역에 존재하는 객체에 대한 정보를 충분히 제공하지는 못한다. 대상 지역의 환경 정보는 존재하는 객체에 따라 의미가 달라지기 때문에 센서 네트워크가 제공하는 정보는 상황인지를 위한 충분한 컨텍스트가 아니며, 따라서 센서 네트워크가 제공하는 정보만으로는 정확한 상황 추론이 어렵다.

그러나, 최근 활발한 연구가 진행되고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크 (Ubiquitous Sensor Networks)는 정확한 상황 추론을 가능하게 할 수 있는 기술로서, 유비쿼터스 환경에 적합한 센싱 능력과 지능적인 환경 모니터링을 지원하는 다양한 시스템을 대상으로 연구되고 있다. 거주 모니터링(habitat Monitoring), 건강 의료(healthcare) 같은 USN의 중요한 대부분의 활용영역은 주위 환경에 존재하는 객체의 복잡한 특징을 모니터링 하여 그에 맞는 서비스를 제공하는 일을 한다. 여러 종류의 정보수집 능력을 갖고 있는 센서 모듈은 자신이 수집한 센싱 자료를 무선 센서 네트워크를 통해 사용자에게 보냄으로써 지능적인 상황 인지를 가능하게 한다 [Essa00].

하지만, 환경정보를 통한 객체 인지는 추론의 한계가 있어서 고유한 객체를 식

별하는 것은 불가능하다. 이런 한계점을 보완하기 위해서는 전자 태그를 객체에 붙이는 RFID 기술을 이용하여 객체의 고유한 ID 및 다양하게 변하는 환경정보 및 위치정보를 얻을 수 있다. 이것은 훨씬 좋은 성능의 상황 인지능력 기대할 수 있음을 의미한다[Lang00][Nath06]. 그러므로 무선센서네트워크와 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템의 결합이 최근 관심 이슈로 대두되고 있다.

RFID 시스템과 무선센서네트워크(WSN) 시스템의 결합에서 가장 먼저 해결해야 할 연구 주제는 “어떤 방법을 사용하여 에너지 소모를 절약하면서 RFID태그 정보를 사용자가 연결된 인프라 구조까지 효율적으로 전달할 것인가?” 라는 문제이다. [그림1-1]은 유비쿼터스 센서 네트워크의 세가지 중요 컴포넌트의 구조를 보여준 것이다. 유비쿼터스 센싱과 지능적인 상황 모니터링은 다음과 같은 특징을 갖는다 [Essa00].



**그림 1-1. A unified framework for Ubiquitous Sensor Network.**

- 1 **Self-configuration:** 역동적이며 정확성을 요구하는 센싱 환경에서 센서는 자기 스스로 네트워크를 맺고 적응하여 작동한다.
- 1 **Networking:** 센서들이 넓은 센싱 환경에서 작동하기 위해서 무선 에드-

혹 네트워킹을 통해 다른 센서와 협력한다.

- 1 **Energy efficient:** 센서 네트워크는 작은 크기의 노드가 에드-혹 무선 통신을 지원하기 때문에 프로세싱 능력과 통신능력의 제약이 있다. 그러므로 에너지 자원을 효율적으로 운용해야 할 필요성을 갖는다.
- 1 **Distributed and localized computing:** 다수의 노드가 센싱 공간에 분산적으로 분포되어 있는 상황에서는 분산 알고리즘 및 위치 알고리즘을 이용하여 에너지 자원의 효율성과 정확한 자료해석을 가능하게 한다.

최근 RFID 시스템과 센서 네트워크의 협력에 대한 하드웨어적 시도가 활발해지고 있다 [Cull04]. 예를 들어, Intel은 아주 작은 부품을 사용하여 휴대가 가능한 RFID 리더 시스템을 연구하였고 이것은 SKYETEK RFID 리더[Skynetek]로 출시되어 MICA2DOT [Xbow] 라는 센서 노드에 직접 탑재가 가능하게 되었다. 이러한 RFID 시스템에서는 전자 태그를 이용하여 객체를 정확하게 구분하기 때문에, 센서 네트워크와 함께 RFID 시스템을 운영함으로써 상황 인지를 위한 충분한 컨텍스트를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 RFID 시스템은 RFID 리더가 태그를 인식하는 범위가 매우 작다는 한계가 존재한다.

본 논문은 이러한 RFID 시스템의 인식 범위 한계 문제를 무선 센서 네트워크의 네트워킹 기능을 이용하여 극복하고, RFID 시스템을 통해 센서 네트워크에 객체 인식 능력을 제공하여 정확한 상황 인지를 할 수 있는 구성하였다.

제안한 시스템을 활용하기 위해서는 RFID 리더가 탑재된 센서 노드는 RFID 시스템이 노드의 자원을 공유해야 하기 때문에 심각한 에너지 소모 문제를 갖게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 직관적인 방법으로는 노드에 탑재된 RFID 리더를 계속 작동시키지 않고 sleep상태로 해주는 것이다. 하지만 이런 방법으로는 역동적으로 발생하는 센서의 이벤트에 대해 RFID 리더의 민감한 태그 센싱이 어려워 질 수밖에 없다. 이러한 문제를 해결하고 다양한 활용을 가능하게 하기 위하여 본 논문은 RFID 리더를 지능적으로 Wake-Up시킴으로써 에너지를 절약할 수 있는 두 가지 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션으로 성능을 평가하였다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 작성되었다. 관련연구는 2번째 장이며 3번째 장에

서는 RFID리더가 탑재된 유비쿼터스 센서 네트워크의 구조를 구성하고, 제안한 시스템의 지능적인 정확한 상황인지 시스템의 활용 시나리오 및 시뮬레이션을 보여준다. 4번째 장에서는 에너지 소모를 줄이며 정확한 태그를 리딩 하기 위한 제안 알고리즘과 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 보여주며 5번째 장에서는 결론이다.

## 제 2 장

### 관 련 연 구

#### 제 1 절 유비쿼터스 환경에서의 상황인지 컴퓨팅 시스템

HP의 CoolTown 프로젝트의 경우 모든 현실세계의 사람, 물건, 장소가 각자의 웹 페이지를 보유하게 되어 인터넷상의 가상공간과 현실세계를 하나로 묶음으로써 현실생활에 도움이 될 수 있는 웹 서비스를 실현하고자 한다. 모든 객체가 갖고 있는 고유한 ID 정보를 통해 객체의 웹 표현 주소 (URL)을 찾고 그 객체와 관련된 컨텍스트의 웹 주소를 얻어와 상황에 맞는 서비스를 해주는 방식이다. EasyLiving은 마이크로소프트에서 집중적으로 연구하고 있는 프로젝트로서 지능적인 서비스 환경을 위한 기술과 시스템 구조를 개발한다. 객체와 사람, 공간 사이의 물리적 관계의 정보를 컨텍스트화 하여 사용함으로써 상황을 추론하고 사용자가 원하는 서비스를 제공한다 [Keith01].

이렇게 분산되어 있는 센서를 통해 상황정보를 모으는 방법은 현실과 가장 밀접한 컨텍스트를 사용하는 가장 진보된 접근 방법이며 현재 활발하게 연구되고 있다. 그러나 객체의 정보를 인식하기 위해서는 특정한 정의를 해주거나 객체의 물리적인 패턴 등을 학습하기 위한 복잡한 과정을 거쳐야 하는 어려움이 있다. 하지만 RFID 시스템은 식별자를 인식하기 위해서 개발되었기 때문에, 응용분야가 많아질 뿐만 아니라, 식별자를 다양하게 구성함으로써 유비쿼터스 컴퓨팅에서



필요로 하는 컨텍스트 정보를 상당부분 지원할 수 있다.

RFID 시스템을 통한 컨텍스트 획득시 고려해야 할 요소들은 위치, 시간, 인접성 상태와 행위, 식별자와 주소등이 있다 [Kay04]. 또한 Bravo은 RFID를 이용해서 강의실과 컨퍼런스 사이트에서 사용할 수 있는 시스템을 제시하면서, 컨텍스트 정보로 사용자, 위치, 시간, 행위, 목적을 컨텍스트 요소로 제시하였다 [Bra06].

## 제 2 절 RFID 시스템 구조

RFID 시스템은 태그, 리더, 서버 (미들웨어 및 응용서비스 플랫폼)으로 구성되고, 유무선 통신망과 연동되어 사용한다. 태그는 객체를 구별할 수 있는 데이터를 가지고 객체상에 위치 하고 있으며, 에너지 자원의 보유 여부에 따라 수동형 태그와 능동형 태그로 구분한다. 수동형 태그의 경우 리더로부터 에너지를 공급받으며 통신 범위는 1m 이내이다. 능동형 태그의 경우는 에너지 자원을 가지고

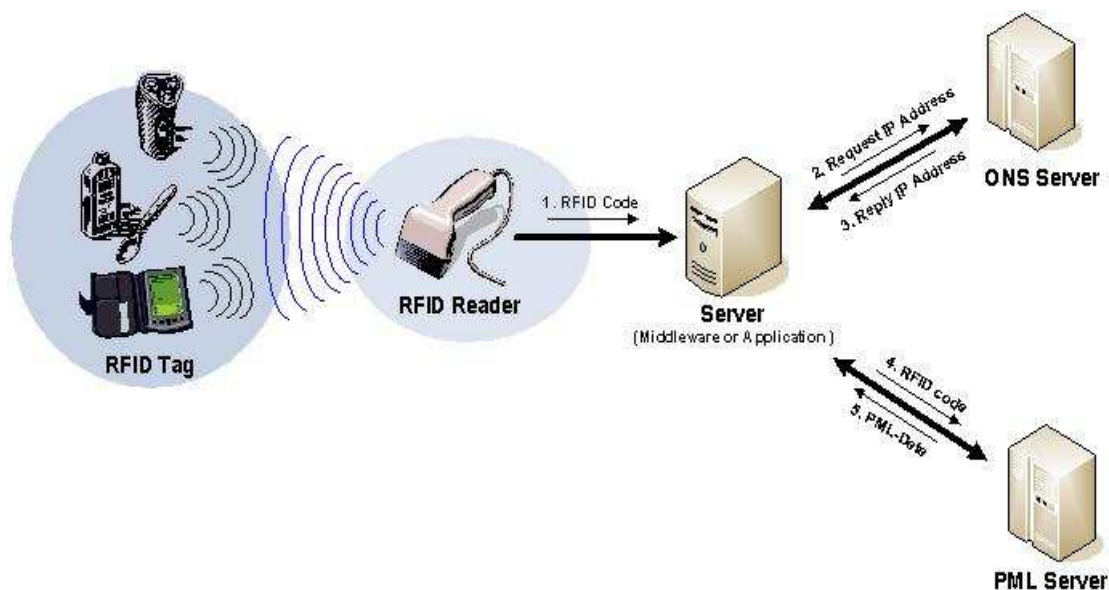
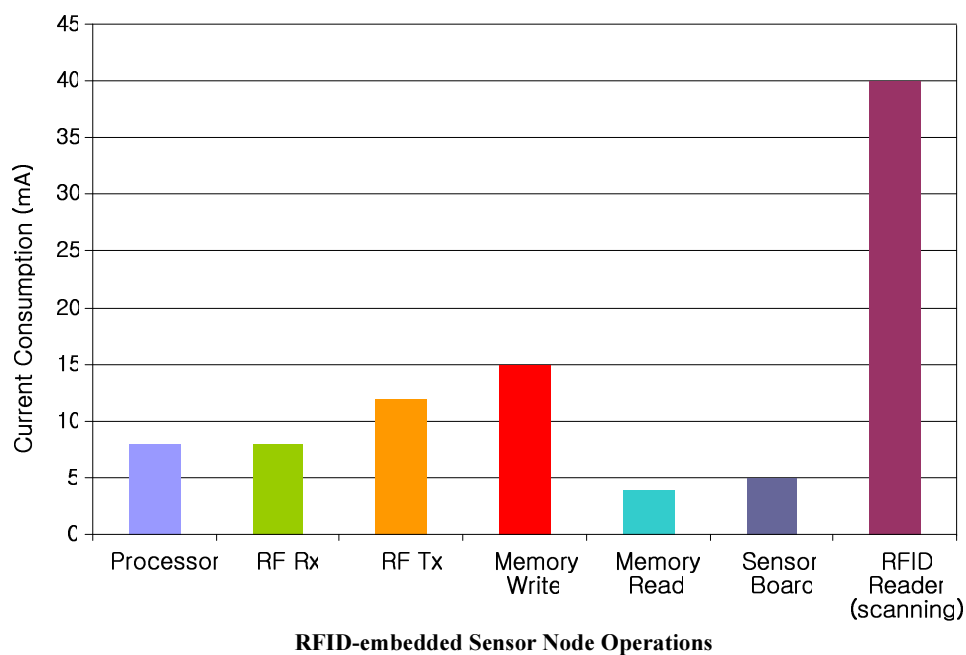


그림 2-1. RFID System Architecture.

있어 수십~수백m의 통신 범위를 갖는다. RFID 리더는 태그가 가진 데이터를 읽어 들여 객체를 인식하고, ONS (Object Naming Service) 서버와 PML (Product Markup Language) 서버를 통해 객체에 대한 정보를 획득한다 [유승화05]. [그림2-1]은 RFID 시스템의 구조를 보여주고 있다.

### 제 3 절 무선센서네트워크의 에너지 절약 알고리즘

무선센서네트워크에서 에너지 효율적인 알고리즘의 대부분은 idle listening 시간을 줄이는 문제를 해결하는 것에 집중되어 있다. 이것은 가장 심각한 에너지 소비를 유발하는 것으로 전체 통신 에너지 소비의 약 50~100%를 차지한다 [Heid02].



**그림 2-2. The Current consumption (mA) for different operations of RFID-embedded sensor node**

이러한 사실 때문에, 무선 센서 네트워크의 에너지 효율적 알고리즘은 idle listening 문제를 해결할 수 있는 “에너지 효율적 MAC 프로토콜”의 설계를 중점으로 연구되고 있다. 그러나 RFID 리더가 탑재된 센서 네트워크에서는 RFID 리더의 에너지 소모가 전체 에너지의 대부분을 차지하고 있다. [그림2-2]에서는 RFID 리더가 탑재된 센서 노드의 작동 부분에 대한 에너지 소모를 보여준다. 이 통계자료는 SkyTek Mini Reader [SkyTek] 와 Crossbow Technologies 사의 MICA2 Mote platform [Xbow] 의 매뉴얼을 토대로 작성하였다.

본 연구에서 제안된 에너지 절약 방법에는 세 가지 동기가 있다.

- 1 RFID리더와 센서 노드가 결합된 새로운 센서 모듈에는 에너지를 절약할 수 있는 방법이 필요하다. 왜냐하면, 새로운 유닛 (RFID Reader + Sensor Node) 의 에너지 소모가 RFID 리더의 방대한 에너지 소모로 인해 기존 센서 모듈의 에너지 소모보다 상당히 많아져 노드의 라이프 타임이 상당히 짧아지기 때문이다.
- 1 RFID리더의 태그 리딩 범위가 짧은 것을 보완하기 위해서는 상대적으로 넓은 범위를 가지고 있는 센서노드의 상황 인지 정보를 이용해야 한다는 것이다. 이는 센서노드의 인식정보를 통해 특정 객체가 태그 리딩 가능범위 안에 존재 하는지를 알 수 있기 때문이다 [Aro04].
- 1 다수의 RFID 리더가 탑재된 센서 노드가 밀집하여 배포 된 환경에서는 RFID리더가 태그를 감지하는 지역이 중복될 경우, RFID리더의 불필요한 에너지 소모가 발생할 뿐만 아니라, 리더-태그-리더 간의 Detect Collision [Enge02] 이 발생할 수 있기 때문에 최소한의 RFID리더가 작동되는 스케줄링 기법이 필요하다.

최근 연구된 논문 중에서는[Eng04], 객체 인지를 위해 RFID 시스템과 센서노드의

결합을 시도가 있었다. 이 연구는 CSMA/CA 와 TDMA에 기반한 MAC을 통해 RFID 리더의 감지 범위에 있는 다수의 태그를 읽어 계층적인 클러스터 라우팅 프로토콜과 데이터 통합 알고리즘을 통해 효율성을 보여준다. 그러나 이 연구의 저자는 여러 무선 센서네트워크의 이벤트-드리븐 한 특성이 없이 고정적인 주기율을 사용하였다. 논문에 저자는 이벤트-드리븐 한 센서 네트워크에서 역동적인 주기율을 통한 RFID 태그의 스케줄링을 소개 하였다. 기초적인 아이디어는 idle listening 대신에 wake-up 신호를 보냄으로 RFID 시스템을 사용하는 것이었다[Skr04]. 하지만 위 논문은 RFID리더를 센서노드에 결합하는 배경이 없었다.

본 논문에서는 **“Influence Range(IR)”** 라는 개념을 사용한다. 이는 센서 네트워크가 객체의 환경정보(빛, 소리, 움직임)등을 감지하여 객체의 존재의 추론이 가능한 범위이다. 이 개념은 센서 노드의 객체 인지 추론을 통해 자신이 가지고 있는 RFID 리더를 지능적으로 작동시키거나, 작동을 중지시킬 수 있는 판단을 가능하게 한다 [Aro04]. 본 논문은 센서 노드가 감지한 이벤트의 값에 따라 객체의 타입을 추론할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 즉, 어떤 센서노드가 감지한 이벤트 값인 온도와 소리, 빛의 값이 갑자기 변화하여 이벤트를 감지했을 때 이를 통해 사전에 노드가 설정한 자료를 바탕으로 주위 IR 안에 어떤 객체가 존재한다는 것을 노드 자체가 인식하는 것이다.

## 제 3 장

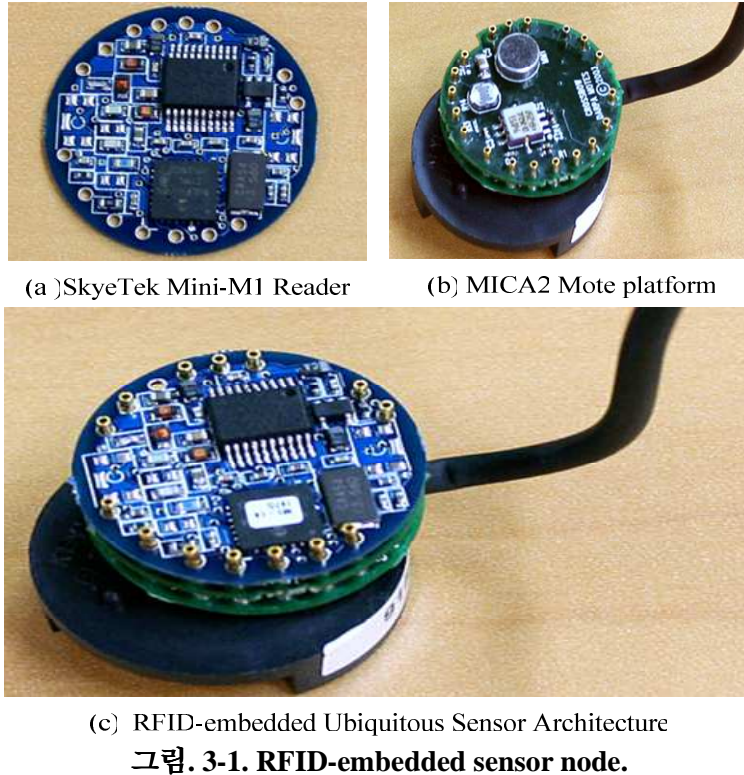
# RFID 리더 기반 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적 알고리즘

## 제 1 절 RFID 리더 기반 유비쿼터스 센서 네트워크

### 제 1항 센서노드와 RFID 리더 결합

RFID 리더가 센서 노드와 결합되기 위해서는 기존의 센서 노드가 가지는 크기 제약, 효율적 에너지 소비와 같은 특징을 충족시켜야 한다. 특히, 기존의 RFID 리더는 에너지 자원의 제약을 많이 받지 않았기 때문에, 에너지 소비에서 문제가 될 수 있다.

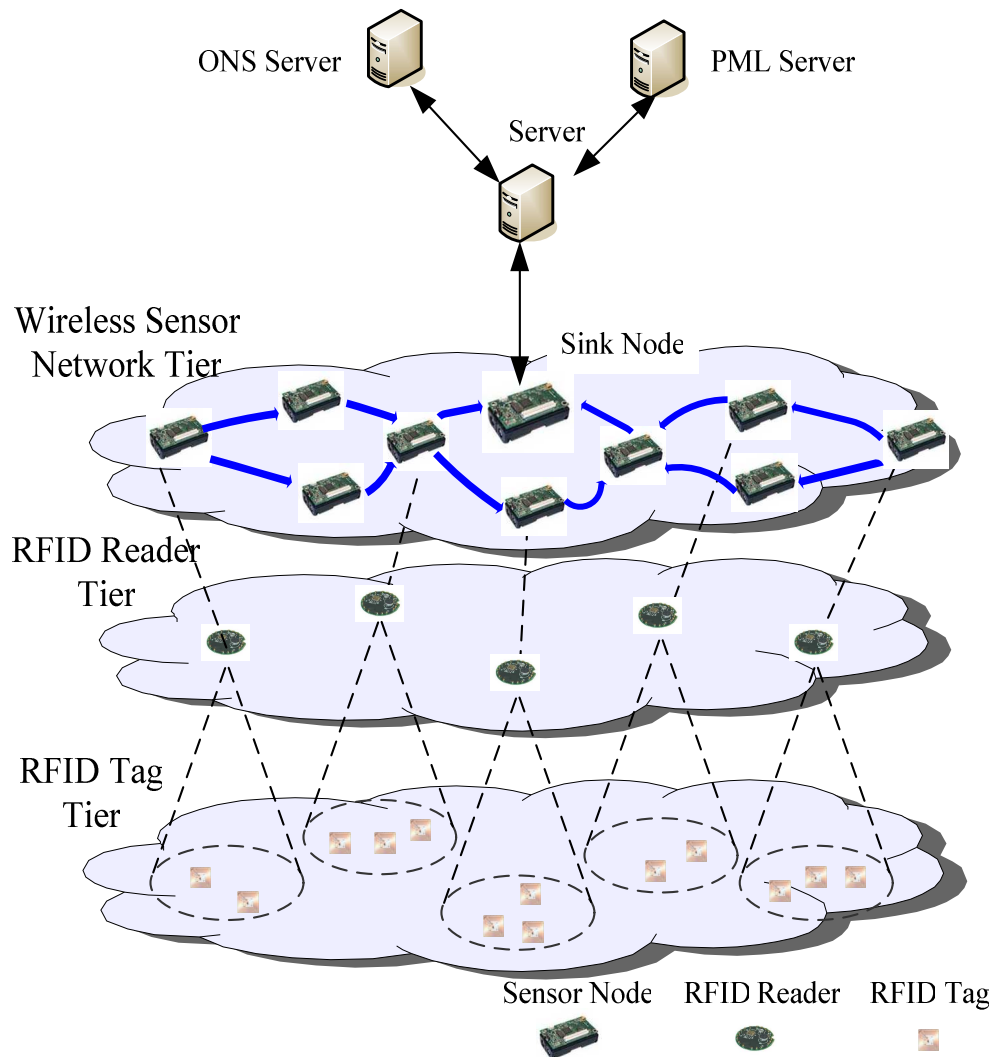
RFID 리더의 크기는 태그와의 통신을 위한 안테나, 트랜시버와 이를 처리하기 위한 프로세서, 핸드 헬드 장비일 경우에는 배터리까지 장착하여야 하므로 매우 크다. 그러나 센서 노드와 프로세서 배터리를 공유함으로써 그 크기를 센서 노드에 적합한 크기로 제작할 수 있으며, 이미 다수의 리더가 센서 노드에 직접 임베디드 할 수 있도록 디자인하여 출시되었다. [Tag, Chi]. [그림3-1]은 SkyTek Mini Reader) [SkyTek]와 Crossbow Technologies 사의 MICA2dot Mote [Xbow] 직접적으로 결합된 모습을 보여준다.



## 제 2 항 RFID 리더가 탑재된 유비쿼터스 센서 네트워크 구조

본 논문은 이미 앞에서 RFID 시스템의 구조와 RFID리더가 탑재된 센서 네트워크의 하드웨어적 근거를 살펴보았다. 이번 장에서는 전체적인 제안 알고리즘의 네트워크 구조를 살펴보려고 한다.

[그림3-2]는 RFID가 탑재된 유비쿼터스 센서네트워크의 구조를 보여주고 있다. 가장 밑에 두 개의 층은 RFID 시스템을 보여준다. RFID 태그가 부착된 객체와 태그를 읽을 수 있는 RFID리더로 구성된다. RFID 태그는 bar-code의 진보적인 기술로서 리더가 객체를 접촉하지 않고 태그를 통해 ID를 읽을 수 있으며 수동형 태그와 능동형 태그가 있다. 수동형 태그는 에너지를 갖고 있지 않는 태그로서 리딩범위가 짧다. 하지만 능동형 태그는 자체적인 에너지가 있어서 리딩범위가 긴 장점이 있다. 태그는 객체에 붙어서서 객체의 ID를 알려준다. 예를 들어, 야생동물을 감시하는 환



**그림 3-2. RFID-embedded Ubiquitous Sensor Network Architecture.**

경에서는 동물에게 작은 크기의 태그를 붙어서 동물의 이력이나 생태를 쉽고 정확하게 알려줄 수 있다.

다음 위 층에 있는 **RFID 리더**는 무선 센서노드에 탑재되어 있다. 무선 센서 네트워크 층은 가장 위에 있다. 이는 **RFID리더**가 얻는 태그 정보를 무선 네트워킹을 통해 싱크 노드까지 전달 하는 역할을 한다. 무선 센서 네트워크는 인프라구조를 구축할 수 없는 넓은 지역에 센서를 자유롭게 분포시켜 네트워킹을 하므로 **RFID 리**

더를 통합한 센서 네트워킹은 넓은 지역에 있는 객체의 이동 및 활동정보를 손쉽게 얻는 장점을 갖는다. 센서 노드는 여러 가지 센싱 정보를 수집할 수 있는 능력(빛, 온도, 소리, 가속도 등)이 있다. 이를 통해 환경상태를 모니터링이 가능하다. 센서 노드의 감지능력의 범위는 노드의 종류에 따라 몇 센티부터 몇 미터까지 다양하다. 센서노드가 수집한 태그정보가 싱크노드에 전달되면 ONS (Object Naming Service) 나 PML (Product Markup Language)를 통해 객체정보로 전환되어 백본 네트워크로 전달된다.

이런 RFID가 탑재된 무선센서네트워크 구조가 실현 되기 위해서는 앞에서 언급했던 에너지 효율성 문제를 해결해야 한다. 앞으로 제안될 스킴에서는 에너지 효율적 알고리즘을 통해 노드의 에너지를 효율적으로 관리함으로써 노드의 생명주기가 늘어남을 보여줄 것이다.

### **제 3 항 RFID기반 유비쿼터스 센서 네트워크에서 지능적 상황 인지 시스템의 활용**

전 항에서는 기존 센서 네트워크에서의 상황인지에서 RFID 태그를 컨텍스트 정보로 이용할 수 있는 지능적 상황 인지 지원 시스템을 구성하였다. 제안 시스템에서는 센서 네트워크가 제공하는 환경 정보 컨텍스트 뿐만 아니라 RFID 시스템이 제공하는 객체 정보에 대한 컨텍스트를 활용할 수 있다. 이 두 컨텍스트를 통합하여 활용함으로써, 기존보다 더욱 상세하고 발전된 상황 인지를 할 수 있다. 더욱이 객체 정보에 대한 활용은 시스템 사용자의 행동패턴과 밀접한 관계가 있기 때문에 다수의 사용자에게 대해서도 개별적인 추론 또한 가능하다.

본 절에서는 제안한 시스템을 통한 지능적인 상황 인지를 이용하여 네트워크 서비스 제공 측면에서 강력한 장점이 되는 사례를 시나리오와 시뮬레이션을 통해 알아보려고 한다.



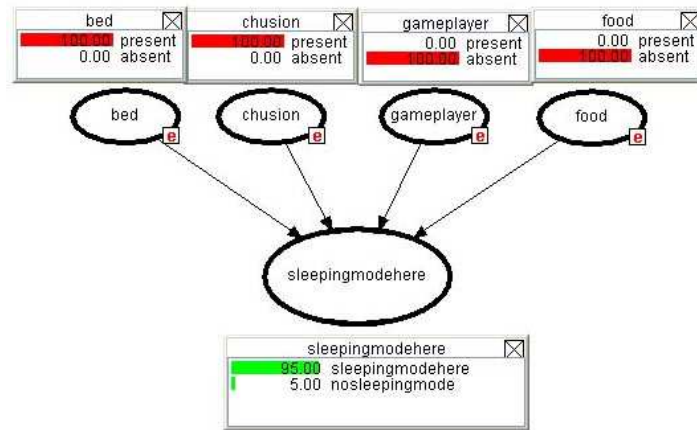
먼저 제안된 시스템에서의 컨텍스트 통신 흐름에 대해 알아보고자 한다. RFID 태그는 리더로부터의 요청이 있을 경우, 자신의 태그 데이터를 리더에게 전송한다. 리더는 읽어 들인 RFID 태그 데이터를 센서 노드의 마이크로 컨트롤러에게 전송하고, 센서 노드는 이 데이터를 수집한 환경 정보와 함께 라우팅 프로토콜과 같은 통신 프로토콜을 이용하여 베이스 노드에게 전송한다. 이 때 효율적인 전송을 위하여 데이터 통합 기술과 같은 기법을 사용할 수 있다. 베이스 노드는 지능적인 상황 인지를 위하여 베이지안 네트워크나 신경망 네트워크 등을 응용한 추론 엔진을 가지고 있을 수 있으며, 이를 이용하여 사용자에게 적합한 서비스를 제공할 수 있다.

**표. 3-1 .** 제안한 시나리오의 조건부 확률표 (CPT: Conditional Probability Table)

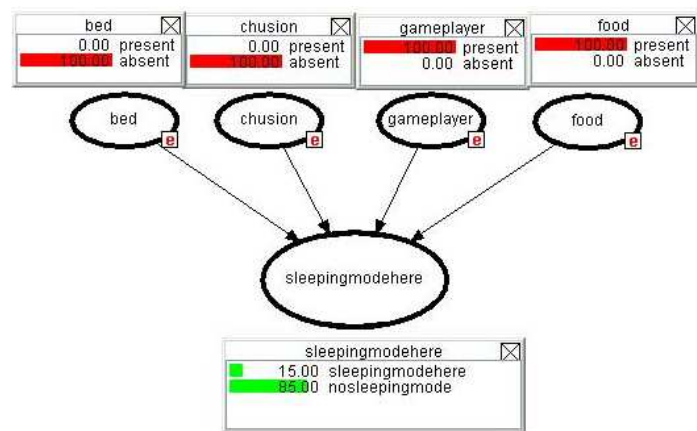
Food	Present							
Gameplayer	Present				Absent			
Cusion	Present		Absent		Present		Absent	
Bed	Pre	Abs	Pre	Abs	Pre	Abs	Pre	Abs
Sleepingmode	0.45	0.32	0.23	0.15	0.55	0.53	0.44	0.23
Nosleepingmode	0.55	0.68	0.77	0.85	0.45	0.47	0.36	0.77
Food	Absent							
Gameplayer	Present				Absent			
Cusion	Present		Absent		Present		Absent	
Bed	Pre	Abs	Pre	Abs	Pre	Abs	Pre	Abs
Sleepingmode	0.7	0.65	0.53	0.35	0.95	0.9	0.89	0.88
Nosleepingmode	0.3	0.35	0.47	0.65	0.05	0.1	0.11	0.12

RFID 태그정보를 이용한 상황 인지의 가장 큰 제약사항은 빈번한 객체의 이동이며 사용자의 특성에 맞는 활동 패턴에 대한 적응성 문제 역시 추론에 의한 서비스 제공에 큰 제약을 가져온다. 이런 변화라는 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 RFID 태그정보를 통해 상황을 추론하는 알고리즘으로 베이지안 네트워크를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다

베이지안 네트워크는 각각의 상황과 행동 사이의 관계를 사전에 파악하여 복잡한 환경상황에 대한 유연한 해답을 추론해 주는 방법으로 널리 사용된다.[Hec95]. 베이지안 네트워크는 이미 알려진 상황에 따른 행동을 통해 앞으로 일어날 상황을 예측하는 알고리즘이므로 일정기간 동안 사용자의 행동패턴을 기록해야 한다. 그러



(a)



(b)

그림 3-3. 취침 서비스 제공을 위한 베이지안 네트워크

- (a) 이불, 베개의 태그가 읽히고 게임기, 음식의 태그가 읽히지 않는 경우.  
 (b) 이불, 베개의 태그가 읽히지 않고 게임기, 음식의 태그가 읽히는 경우.

므로 베이스 노드와 연결된 서버에서는 일정 기간 동안 센서 네트워크를 통해 보내진 객체의 태그정보와 센서를 통한 환경정보를 히스토리 데이터로 저장하고, 이 정보와 사용자의 행동 패턴과의 관계를 조건부 확률표 (CPT: Conditional Probability Table)로 만든다. 명확한 추론을 위해 객체의 정보를 모두 다 사용하지 않고 서버에 등록되어 있는 히스토리 정보에서 상황을 결정 짓는 중요한 키 태그(Key Tag) 만을

콜라 추론에 사용한다. 서버는 히스토리 정보를 통해 학습된 사용자의 서비스 패턴을 이용하여 사용자가 어떠한 행동을 하고 어떠한 서비스를 받기 원하는지를 예측하고 그것에 맞는 서비스를 제공하게 되는 것이다.

베이지안 네트워크 구현을 위하여 본 논문에서는 마이크로소프트의 MSBNx [MSBN] 툴을 사용하였으며, 대상 공간의 태그 정보와 센싱 데이터가 수집되어 [표 3-1]과 같이 조건부 확률표 데이터베이스화 되었다고 가정하였다. [그림 3-3]은 시물레이션에 사용된 MSBNx를 이용한 베이지안 네트워크를 보여주고 있다. 이 시물레이션에서 키 태그는 이불, 사용자 소유의 쿠션, 타인의 쿠션, 음식, 게임기의 태그며 이 객체의 정보를 센서 네트워크가 수집한 온도, 조도 등의 정보와의 통합을 통해 사용자의 취침 서비스 제공을 위한 컨텍스트로 활용한다. 본 시물레이션에서는 RFID 센싱 노드가 특정 공간을 감지한 결과 나타난 태그의 정보를 통해 [그림4-1]의 취침 확률과 같이 공간에서 사용자가 취침모드 서비스를 실행의 타당성을 인지할 수 있다.

이와 같이 환경정보와 객체정보를 모두 상황인지의 컨텍스트로 사용하면 지능적인 추론을 가능하게 되어 사용자에게 서비스의 편리함을 제공하고, 상황인지 시스템에게는 다양한 컨텍스트에 대한 유연성 또한 기대할 수 있다. 그리고 동일한 객체에 대해서도 환경 정보와의 결합을 통하여 사용자에게 따라 적합한 추론과 서비스 제공을 가능하게 할 수 있다.

## 제 2 절 에너지 효율성을 고려한 Wake-Up 알고리즘

### 제 1 항 연구 동기

**표. 3-2 . Energy Model of Periodic Duty-Cycle (1%) in RFID-Sensor Node**

	Conditions	Power (mA)	Duty Cycle(%)	Energy Consumption	Total Energy
Processor	Full Operation	8	1	0.08	0.0879
	Sleep	0.008	99	0.00792	
Radio	Receive	8	0.75	0.06	0.092
	Transmit	12	0.25	0.03	
	Sleep	0.002	99	0.00198	
Memory	Write	15	0	0	0.002
	Read	4	0	0	
	Sleep	0.002	100	0.002	
Sensor Board	Full Operation	5	1	0.05	0.055
	Sleep	0.005	99	0.00495	
RFID Reader	Full Operation	150	1	1.5	1.599
	Sleep	0.1	99	0.099	
TOTAL	Energy Consumption of Total Module= 1.8359 (Lifetime=1.74(month), using 2100mA Battery Capacity)				

RFID리더가 탑재된 센서 네트워크의 에너지 소모 문제는 직관적인 방법으로 센서 네트워크의 동작율 (duty cycle)을 응용한 리더의 동작율 조절이나 클러스터링 등의 기법을 통하여 해결할 수 있다. [표3-2]은 동작율을 1%으로 조정하였을 때의 센서노드의 수명을 보여주고 있다. 센서 노드의 수명은 UC Berkeley에서 설계하고 Crossbow사에서 제작한 MICA2 모트와 SkyTek Mini Reader를 대상으로 하였으며, 에너지 자원은 2300 mA 용량의 AA 배터리인 상황에서 계산하였다. 이 경우 센서노드의 수명은 1.74개월로 무척 짧아지는 것을 알 수 있다. 하지만 RFID리더의 경우 1%의 동작율을 갖는다면 99%의 시간 동안은 태그가 접근하더라도 읽어들이지 못함을 의미함으로 정확한 상황인지를 할 수 없다.

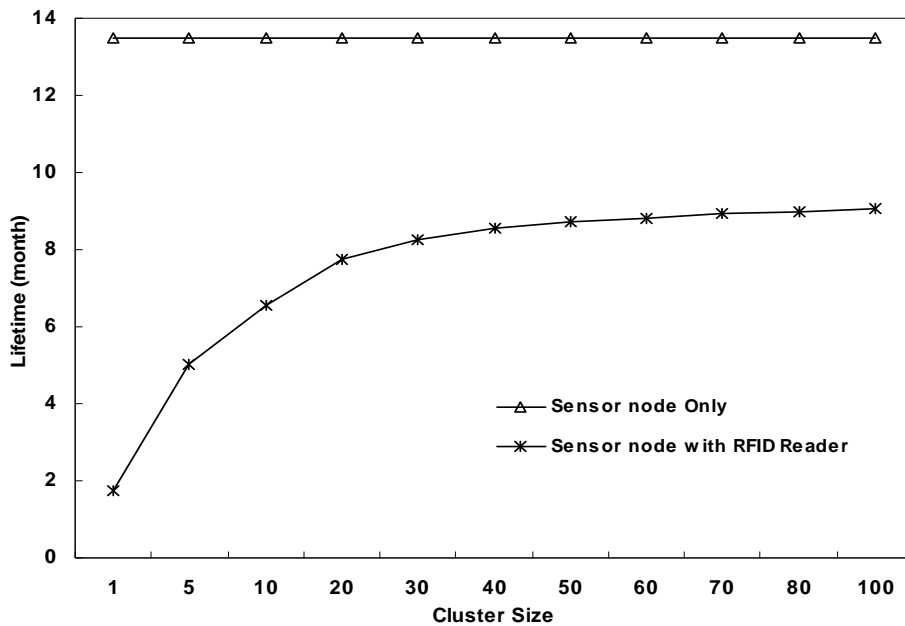


그림 3-4. 클러스터 크기에 따른 센서 네트워크의 수명

[그림 3-4]는 클러스터 크기에 따른 센서 네트워크의 수명을 보여주고 있다. 리더가 부착되지 않은 센서 네트워크는 13.49 개월의 수명을 가지는데 반하여, 다수의 센서 노드 중 하나의 노드만 리더의 기능을 하는 클러스터링 기법을 사용할 경우 네트워크의 수명을 8개월 이상으로 올릴 수 있음을 볼 수 있다. 하지만 클러스터링 기법을 사용할 경우 클러스터의 크기가 커질수록 동시간에 센싱필드에 분포되어있는 RFID리더가 작동하는 노드의 수가 적어진다는 것을 의미하기 때문에 센싱필드에 다양한 객체들이 이동하는 상황에서는 민감한 상황인지를 기대할 수 없다. 그러므로 RFID리더의 작동횟수를 줄이는 동시에 객체 인지를 민감하게 파악하여 태그를 읽을 수 있는 에너지 효율적 알고리즘이 필요하다.

## 제 2 항 Simple-Wakeup Scheme

센서 네트워크의 환경 모니터링은 대부분 이벤트-드리븐 한 방식으로 이루어 진다. 이벤트를 통해 감지를 목표로 하는 객체에 대한 통계적 특징에 맞는지를 확인하고 적합한 객체라는 것을 인지 할 수 있는 것이다 [Skr04]. 첫 번째 제안 하는 알고리즘은 위에서 언급했던 객체의 Influence Range(IR) 의 내부에 존재 하는 센서 노드만 RFID 리더를 작동 시키는 것이다. 이 방법을 위해서는 모든 태그를 지닌 객체는 센싱을 위한 환경정보를 가지고 있다고 가정한다. 넓은 지역의 생태를 모니터링 하기 위한 환경에서의 목표가 되는 객체는 환경정보 (온도, 소리, 가속도 등)을 가지고 있는 것이 일반적이다.

센서 노드는 고정적인 주기로 wake와 sleep을 반복한다. 하지만 노드에 탑재된 RFID 리더는 노드에 설정된 이벤트 값을 인지한 후 프로세서 명령이 있어야 만 작동을 시작하거나 시작하지 않는다. [그림3-5]는 첫 번째 알고리즘(Simple Wake-Up Scheme)의 초기 단계를 보여주고 있다. 태그를 지닌 센서노드가 환경정보를 감지한다. 이 범위 안에 있어서 IR안에 있는 노드(검은색)와 IR 밖에 있는 노드(하얀색)가 구분이 된다. 이때 IR안에 있는 노드는 객체의 이벤트를 받아 주위에 객체가 있어서 RFID 리더를 통해 태그를 인식하는 것이 성공할 가능성이 높음을 나타내므로

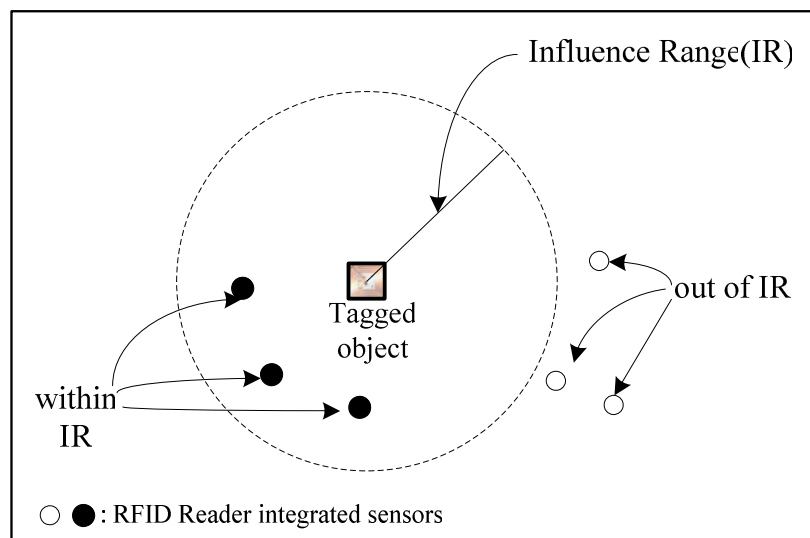


그림 3-5. Simple-Wakeup Scheme - first step

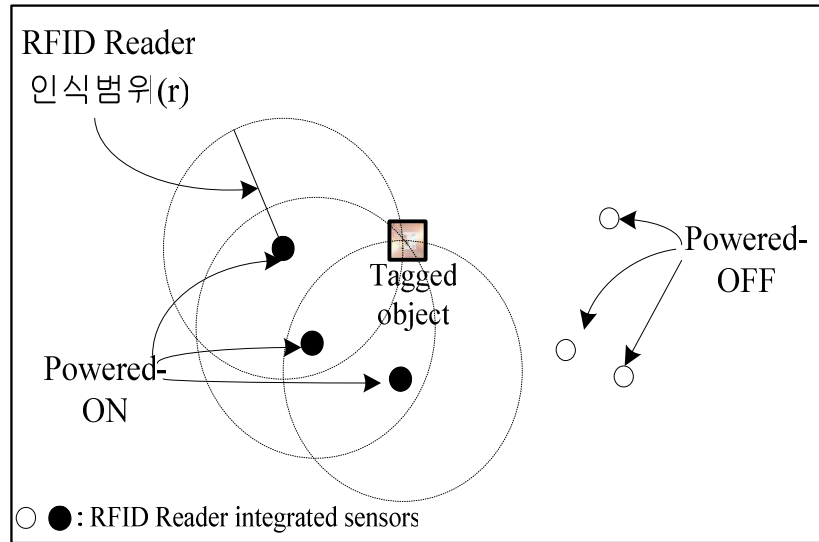
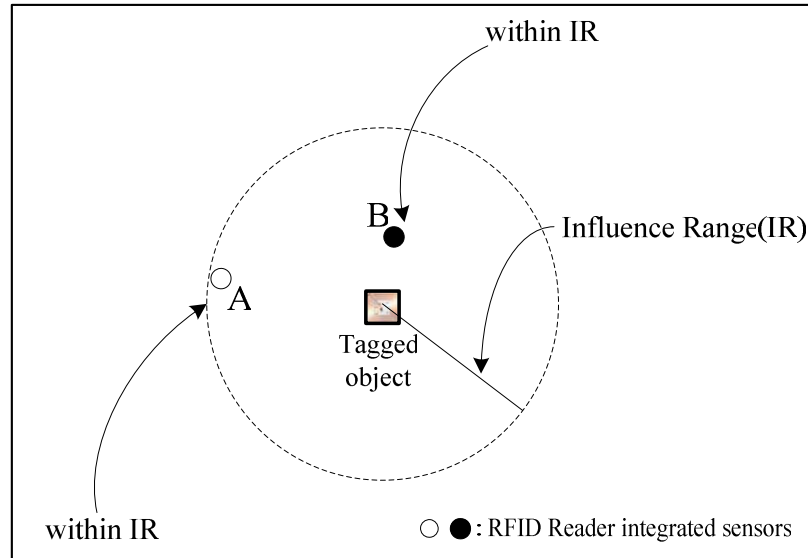


그림 3-6. Simple-Wakeup Scheme – Second Step.

RFID 리더의 작동을 시작한다. 하지만 IR 밖에 있는 노드는 계속 RFID 리더를 작동시키지 않으면서 에너지 소모를 차단한다 [그림 3-6].

### 제 3 항 Advanced -Wakeup Scheme

본 논문에서의 센서노드는 무작위로 배포하므로 센서노드의 밀집되어 분포될 가능성이 있다. 두 번째 방법은 이러한 상황에서 다수의 노드가 IR에 있을 경우에서의 에너지 효율적 알고리즘이다. 이럴 때는 범위 안에 있는 모든 노드가 RFID 리더가 작동한다면 에너지가 낭비 될 가능성이 있다. 이런 문제를 해결하기 위하여 가장 RFID 태그를 읽을 수 있는 가능성이 높은 노드 하나만 RFID리더를 작동시킨다.



**그림 3-7. Advanced-Wakeup Scheme-First Step.**

[그림3-7]에서 A노드와 B노드는 모두 RFID 태그의 IR에 있다. 하지만, 일반적으로 센서 노드는 적외선 등의 위치측정 능력을 통해 객체와의 거리를 알 수 있기 때문에 [Rap00] [Gir01] 이를 이용하여 태그 리더링 가능 범위가 객체와의 거리보다 작은 경우에는 RFID리더의 동작을 포기한다. 하지만 자신의 태그 리더링 가능 범위가 객체와의 거리보다 큰 경우에는 RFID리더가 동작한다. [그림 3-8]의 경우에는 태그를 읽을 가능성이 높은 위치에 있는 B노드만 RFID 리더를 작동시키고 나머지 노드는 RFID 리더를 작동시키지 않는다 [그림3-9].



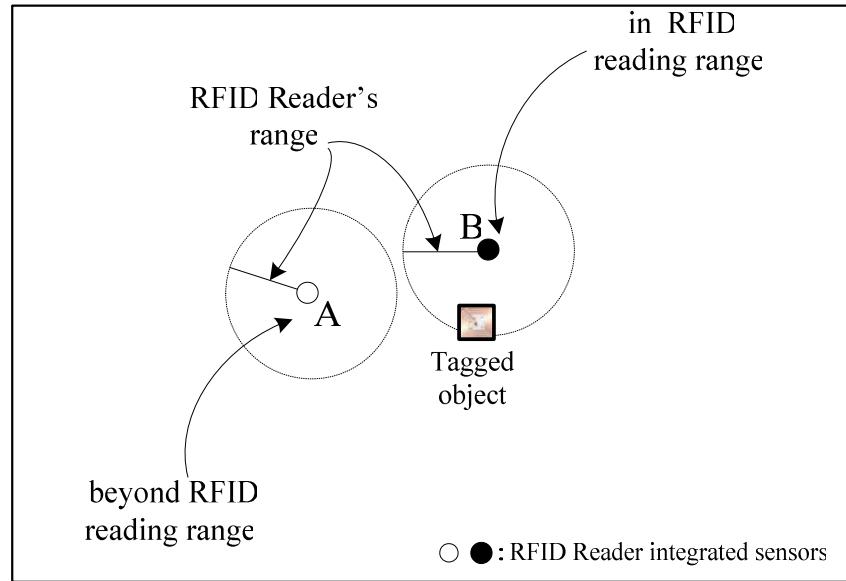


그림 3-8. Advanced-Wakeup Scheme-Second Step.

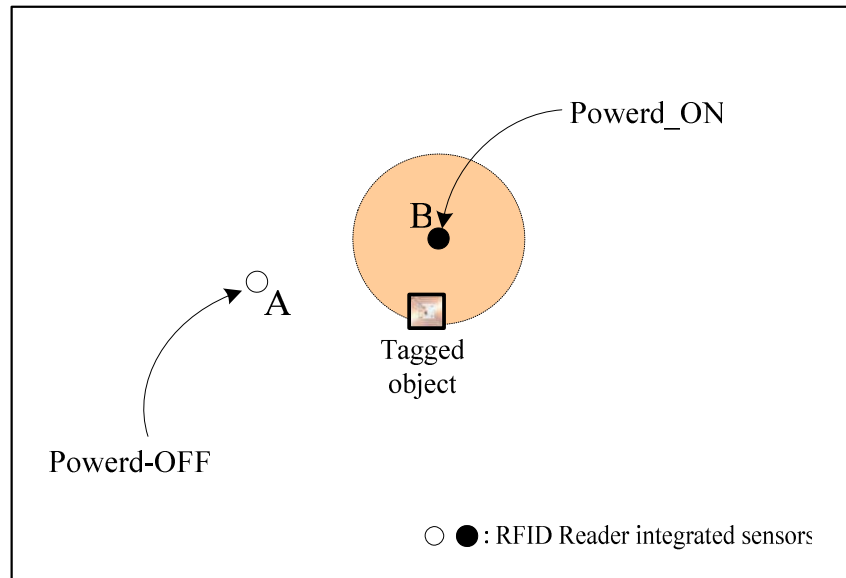


그림 3-9. Advanced-Wakeup Scheme-Third Step.

### 제 3 절 성능평가

## 제 1항 시뮬레이션 환경

본 절에서 수행된 시뮬레이션은 ns-2[NS-2] 을 사용하여 진행되었다. 시뮬레이션 모델은 500 x 500 m<sup>2</sup> 환경에서 100개에서 200개의 노드를 25씩 늘려가면서 실험하였다. Simply Wake-Up 스킴과 Advanced Wake-up 알고리즘을 시뮬레이션 하기 위해 2가지 척도를 이용하였다 (1) 객체의 수 (2) IR의 크기. 목표 객체는 1m/s로 이동하며 전체 시뮬레이션 시간은 200초였다. 객체는 Random Way-point model를 사용하여 주기적으로 이동하게 하였다.

일반적으로, RFID시스템은 다양한 변수가 있다. 그것은 크기, cost, 성능에 관한 변수이다. 본 논문은 특별히 얼마나 자주 RFID리더가 작동하는가에 대한 부분에 초점을 맞춘다. 왜냐하면 에너지 소모의 결정적인 요소가 되기 때문이다. 그러므로 RFID리더의 평균에너지 소모값을 평가요소로 선택하였다.

RFID 리더의 에너지 소모는 단일태그를 읽을 때 7.1166 mJ을 사용한다고 가정하였으며 이는 Tag+ 리더 모듈 [Tag]을 참고하였다 또한 RFID 리더의 리딩범위는 10m로 가정하였다.

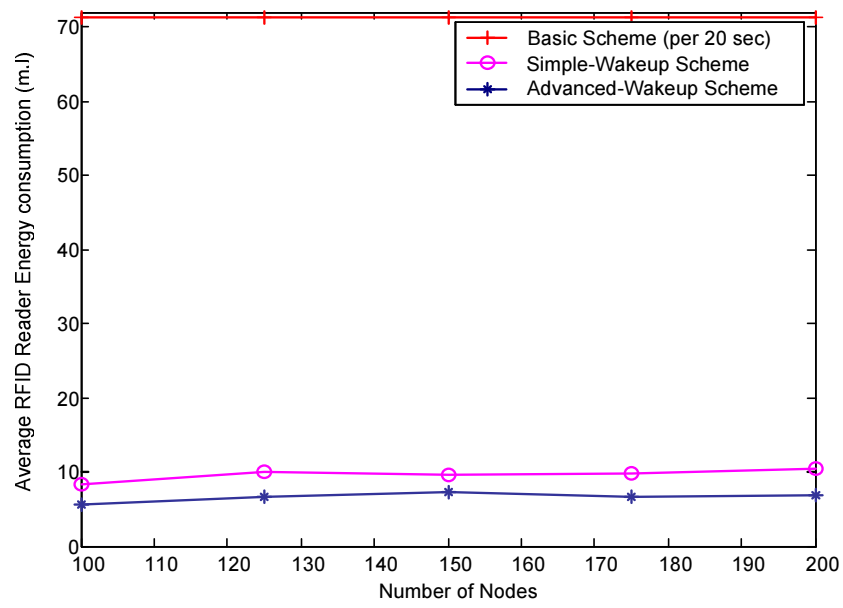
## 제 2 항 시뮬레이션 결과

첫 번째 시뮬레이션 결과는 [그림3-10]에 있다. 여기서의 IR 각 25m이다. [그림3-10a]와 [그림3-10b]와 같이 이동하는 객체는 각각 5개와 8개이다. 두 개의 그래프에서 나타난 에너지 소모를 볼 때, 고정적인 주기로 RFID리더를 작동시키는 기본 알고리즘(Basic Scheme) 보다 제안한 알고리즘의 에너지 소모가 현격히 줄어듦을 볼 수 있다. 또한 Simply Wake-up Scheme 보다 Advanced Wake-up Scheme 이 에너지 소모가 적음을 알 수 있다. 이는 Advanced Wake-up Scheme가 IR에 있는 노드들 중 RFID 리더가 태그를 읽을 수 있는 범위에 있는 센서 노드 만을 선출하여 RFID리더를 작동시

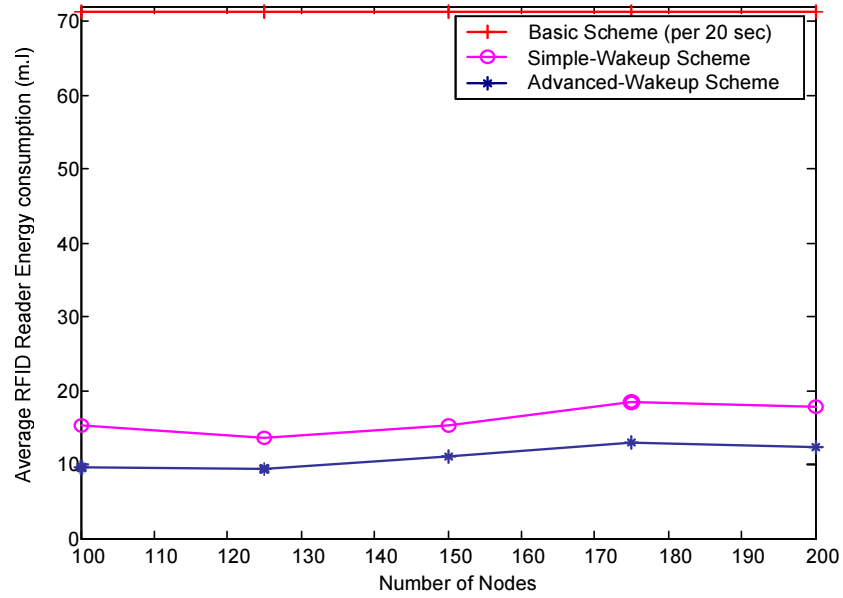
키기 때문이다. 또한 객체의 수가 늘어날 때 에너지 소모가 약간 늘어남을 볼 수 있는데 이는 객체가 RFID리더를 작동시키기 위한 이벤트를 많이 발생 시키기 때문이다.

[그림3-11]은 IR을 40m로 늘린 경우를 시뮬레이션 한 결과이다. IR을 늘리면 범위 내에 RFID리더 노드가 들어갈 확률이 높아지므로 Simply Wake-up Scheme 방법의 경우에는 에너지 소모가 [그림3-10] 보다 약 50%가량 늘어난다. 하지만 Advanced Wake-up Scheme 의 경우에는 IR안에 있는 노드 중 실제로 태그 리딩이 가능한 노드만 선택하여 RFID 리더를 작동시키므로 노드들 에너지 소모의 평균값은 [그림3-10]과 차이가 별로 없음을 보여준다.

또한 시뮬레이션에는 객체의 수를 5개와 8개로 나누어 실험하였다. 이는 객체의 수에 따른 에너지 소모의 변화를 측정하기 위해서이다. 본 시뮬레이션 결과에서는 8개의 움직이는 객체가 있는 환경에서 에너지 소모가 약 25% 늘어남을 볼 수 있었다. 이는 객체의 이벤트가 많은 환경에서 RFID리더의 작동 또한 많이 지기 때문이다. 하지만, [그림 3-11]과 같이 IR이 늘어날 경우에는 Advanced Wake-up Scheme의 에너지소모는 Simply Wake-up Scheme과는 달리 에너지 소모의 변동이 별로 없음을 볼 수 있다. 이것은 Advanced Wake-up Scheme의 선택적인 RFID리더 작동 알고리즘의 효과를 보고 있기 때문이다.

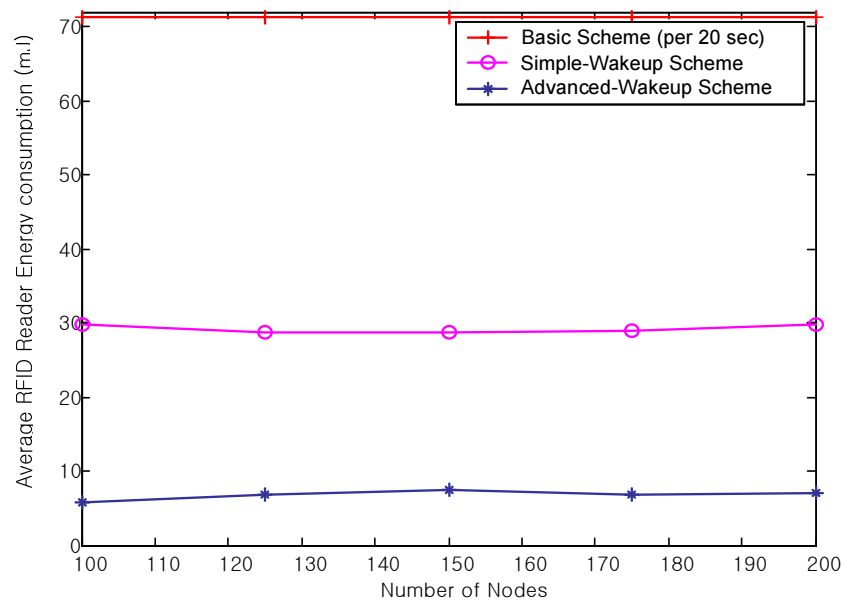


(a)

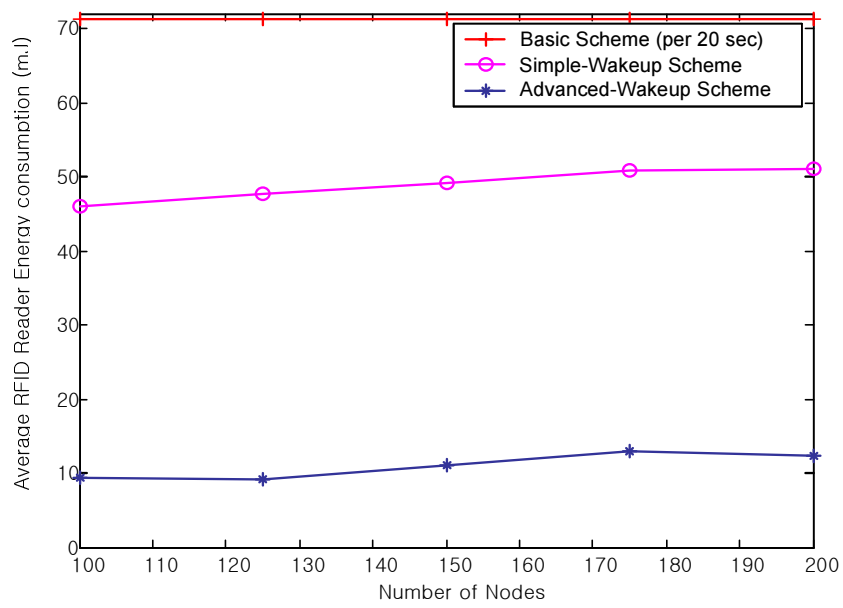


(b)

그림 3-10. Average RFID reader energy consumed (mJ). (a)Influence Range =25m and Mobile Objects=5. (b)Influence Range=25m and Mobile Objects=8.



(a)



(b)

**그림 3-11. Average RFID reader energy consumed (mJ). (a)Influence Range=40m and Mobile Objects=5. (b)Influence Range=40m and Mobile Objects=8**

## 제 4 장 결 론

본 논문은 기존 무선 센서네트워크의 상황인지에서 RFID 태그를 컨텍스트 정보로 사용할 수 있는 유비쿼터스 센서 네트워크의 지능적인 상황인지 시스템을 제안하였다. 또한, 계층적인 유비쿼터스 네트워킹과 지능적인 상황인지를 실현하기 위한 에너지 효율적 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션으로 성능을 평가하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1 **RFID와 무선 센서네트워크의 통합된 시스템을 통한 지능적인 상황인지:** 대상 지역의 환경 정보는 존재하는 객체에 따라 의미가 달라지기 때문에 센서 네트워크가 제공하는 정보는 상황인지를 위한 충분한 컨텍스트가 아니다. 본 연구에서는 기존 무선 센서 모듈에 RFID 리더를 직접 임베디드하여 객체 유일한 태그 ID를 무선 센서 네트워크의 컨텍스트로 활용하는 시스템을 제안하고 계층적인 유비쿼터스 센서 네트워킹 구조를 제안하였다. 또한, 제안한 시스템을 이용하는 것이 유비쿼터스 환경의 서비스 제공 측면에서 강력한 장점이 되는 시나리오를 제안하여 베이지안 네트워크를 통해 보였다.
- 1 **RFID 리더가 탑재된 유비쿼터스 센서 네트워크의 에너지 효율적 프로토콜 설계를 통한 성능개선:** 기존 무선 센서 네트워크에 RFID리더를 탑재할 경우 상대적으로 큰 에너지를 소모하는 RFID리더모듈 때문에 에너지 효율성이 급격하게 떨어지는 현상을 보완하기 위해 두가지 에너지 보존 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 통하여 RFID리더의 불필요한 작동을 줄이고, 센서 노드의 효율적인 에너지 소비를 가능하게 하였다. 제안된

알고리즘은 센서노드의 수와 RFID리더의 에너지 소모량을 평가요소로 하여 진행된 시뮬레이션을 통해 RFID리더와 센서노드가 같은 시간에 작동하는 것 보다 최대 84%정도 노드의 에너지 절감을 확인하였다.

위와 같은 연구 결과는 무선 센서 네트워크가 RFID 시스템과 협업하여 유비쿼터스 센서 네트워크로 진화하는 단계를 보여주는 것으로서, RFID 시스템과 센서 네트워크의 제한된 자원을 효율적으로 활용하게 하고, 고수준 상황인지 서비스를 제공하는 데 기여할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [Dey99] A.K Dey “Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness”
- [특허청04] 특허청, 2004 신기술 동향 조사 보고서-유비쿼터스 컴퓨팅 기술, 전기/전자분야
- [Essa00] I. A. Essa, "Ubiquitous Sensing for Smart and Aware Environments", In Proceedings of IEEE Personal Communications, Special Issue on Networking the Physical World, October 2000.
- [Lang00] M. Langheinrich, F. Mattern, K. Rmer, and H. Vogt, "First Steps Towards an Event-Based Infrastructure for Smart Things", In Proceedings of PACT '00, October 2000.
- [Nath06] B. Nath, F. Reynolds, and Roy Want, "RFID Technology and Applications", In Proceedings of IEEE Pervasive Computing, Guest Editors Introduction, Vol. 5, No. 1, pp. 22-24, Jan-Mar 2006.
- [Cull04] D. Culler, D. Estrin, and M. B. Srivastava, "Overview of Sensor Networks", In Proceedings of IEEE Computer, Guest Editors Introduction, Vol. 37, No. 8, pp. 41-49, 2004.
- [Heid02] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin“. An energyefficient MAC protocol for wireless sensor networks,” INFOCOM 2002, Vol. 3, Jun. 2002, pp. 1567-1576.
- [Skyetek] SkyeTek RFID reader, <http://www.skyetec.com/>
- [Xbow] Mica2Dot mote, [Online] <http://www.xbow.com/>
- [Keith01] Dr. Keith Mitchell, “A Survey of Context-Awareness,” [Online] <http://www.comp.lancs.ac.uk/~km/>
- [Kay04] Kay Romer, Thomas Schoch, Friedmann Mattern, and Thomas Dubendorfer, “Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications”, in Wireless Networks, Springer, Vol. 10, No.6, pp 689-700, Nov., 2004.
- [Bra06] Bravo J., Hervas R, Chavira G, and Nava S., “Modeling Contexts by RFID-Sensor Fusion,” in Proc. of Pervasive Computing and Communications Workshop, pp. 30-34, 2006.



- [유승화05] 유승화, “유비쿼터스 사회의 RFID”, 전자신문사, 2005
- [Eng04] C. Englund, and H. Wallin, "RFID in Wireless Sensor Networks", In Master Thesis Report, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, April 2004.
- [Enge02] Engels, D.W. Sarma, S.E. “The reader collision problem,” IEEE International Conference on, Vol. 3, Oct. 2002
- [Skr04] P. Skraba, H. Aghajan, and A. Bahai, "RFID Wakeup in Event Driven Sensor Networks", In Proceedings of SigComm 04, August 2004.
- [Aro04] A. Arora et al., "A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for Target Detection, Classification, and Tracking", In Proceedings of Computer Networks (Elsevier), 2004.
- [Tag] TAGSYS RFID Reader, [Online] <http://www.tagsys.net>
- [Chi] China –Vision RFID Reader, [Online] <http://www.chinaidcard.com>
- [Hec95] D. Heckerman. "A tutorial on learning with Bayesian networks," Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft Research, March, 1995.
- [MSBN] MSBNx, [Online] <http://research.microsoft.com/adapt/MSBNx>
- [Rap00] T. S. Rappaport, Wireless Communications - Principles and Practice, Prentice Hall PTR, 1996. 9. P. Bahl and V. N. Padmanabhan, “Radar: An in-building rf-based user location and tracking system,” In Proceedings of the IEEE Infocom 2000, Tel-Aviv, Israel, vol. 2, Mar. 2000, pp. 775–784.
- [Gir01] 10. L. Girod, D. Estrin, “Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal Sensing”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2001.
- [NS-2] ns-2, the network simulator [Online] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>