

U-CITY를 위한 이동단말기 기반의 무선 센서 네트워크

이준석 장석진*

◆ 목 차 ◆

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. 서론 | 4. U-City에서 이동 단말기 기반의 무선 센서 네트워크를 이용한 응용사례 |
| 2. 무선 센서 네트워크 | 5. 결론 |
| 3. 무선 센서 기능을 포함하는 SoC 기반의 이동 단말기 모델 | |

1. 서론

사회의 발전이 고도화 됨에 따라, 도시 생활에 있어 편리성, 안전성, 쾌적함 등의 요구가 급격히 증가하고 있는 실정이다. 특히, 많은 도시인들이 쾌적한 공기, 맑은 수질, 원활한 교통, 건강한 삶, 안전한 생활 등을 원하고 있다. 급격히 발전해온 IT 기술은 이러한 도시인들의 꿈과 희망을 현실화 시켜줄 기반으로 여겨지고 있다. 이러한 쾌적한 삶과 복지를 가능하게 해주는 IT 기술로는 유비쿼터스(ubiquitous) 네트워크 기술, 정보 융합(convergence) 기술, 융합 네트워크 기술, 미들웨어(middleware) 기술 등이 있다. 특히, 메트로폴리탄(metropolitan) 규모의 대도시에서는 유비쿼터스 기술을 기반으로 U-health, U-safety, U-traffic 등의 서비스를 계획하고 있다. 이러한 서비스들을 제공하고자 하는 대도시를 일반적으로 U-City라고 명명하며, 많은 도시들이 진정한 의미의 U-City로서 시민들에게 양질의 서비스를 제공하려고 노력하고 있다. U-City에서 제공할 수 있는 구체적인 서비스로서 시설물 실시간 모니터링, 에너지/폐기물 예측관리, 시설물 구축지원, 교체관리 손실지점 추적, 원격검침/통합과금, 에너지 on-demand 배분, 안전/재해 예방 및 대처, 공공/민간 빌딩 관리 등을 들 수 있다. 이러한 서비스들 또한 유비쿼터스 네트워크를 기반으로 한다.

이러한 유비쿼터스 네트워크는 일반적으로 무선 센

서(sensor) 노드(node)를 이용하여 구현될 수 있다. 무선 센서 노드들로 구성된 네트워크를 무선 센서 네트워크로 부르며, 기존의 이동통신 및 무선 네트워크와는 달리, 주위 환경에 따라 최적의 효율을 갖도록 스스로 네트워크 구조를 결정할 수 있다. 이러한 네트워크를 일반적으로 애드혹(ad-hoc) 네트워크로 부른다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 매우 엄격한 저전력(low power), 저비용(low cost), 소형(small size)의 무선 센서 노드를 요구한다. 이러한 요구조건들을 모두 만족하면서 최소의 비트(bit) 오류율(error rate), 정교한 위치 추정, 최적의 라우팅 등을 보장하는 무선 센서 노드를 구현하기는 매우 어렵다.

본 논문에서는 무선 센서 노드를 이동 단말기에 구현함으로써, 위의 요구조건과 최상의 성능을 동시에 만족시키는 무선 센서 노드가 가능함을 보여준다. 또한, SoC(System-on-Chip) 기법을 기반으로 하여 무선 센서 노드의 기능이 기존의 이동 단말기 모델(modem)에 포함될 수 있는 가능성을 제시한다. 실제로 많은 수의 이동통신 가입자가 존재하고 있어, 이들이 휴대하고 있는 이동 단말기에 무선 센서 노드 기능을 추가시키면, 무선 센서 네트워크 구현시에 나타나는 많은 어려움들이 해결될 수 있다. 또한, 이동 단말기와 무선 센서 노드들이 상호 보완적으로 운용될 수 있음을 기술한다. 본 논문에서는 제시된 이동 단말기 기반의 무선 센서 노드가 적용될 수 있는 U-City를 위한 응용사례들을 구체적으로 소개한다.

본 논문은 다음과 같은 구성으로 되어 있다. 2절에

* 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 조교수

서는 무선 센서 네트워크의 일반적인 개요와 동향 등을 기술하며, 몇 가지 위치 추정 기법들을 소개한다. 3절에서는 무선 센서 기능을 포함하는 SoC 기반의 이동 단말 모델의 구조를 제안한다. 또한, 4절에서는 이동 단말기 기반의 무선 센서 네트워크를 이용하여 U City에서 제공하고자 하는 응용 서비스를 실현시킬 수 있는 몇 가지 시나리오를 제시한다. 마지막으로 5

절에서는 이 논문의 결론을 제시한다.

2. 무선 센서 네트워크

2.1 개요 (1)

최근에 소형화, 저전력, 저가의 IC 기술이 급속도로

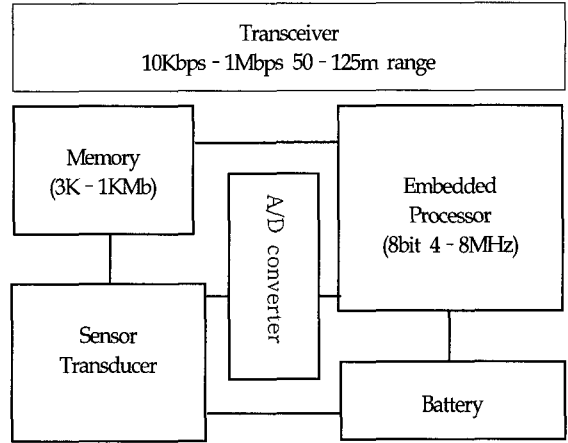
(표 1) 각 무선 센서 노드들의 비교 (2)

Sensor Node	CPU	Power	Memory	I/O	Trans Rate	Radio	Tran Range
Special - purpose sensor Nodes							
Spec 2003	4 8 Mhz	3 mW (peak) 3µW (idle)	3K RAM	8 bitonchip ADC	50 100 Kbps		40feet (indoors)
Generic Sensor Nodes							
Rene 1999	ATMEL 8535	60mW (active) 0.036mW (sleep)	8K flash 32K EEPROM	Large Expansion Connector	10Kbps	916Mhz	Up to 100 feet (use External antenna)
Mica2 2001	ATMEL 8235	60mW (active) 0.036mW (sleep)	128K Flash 4K RAM	Large Expansion Connector	76Kbps	433Mhz	100 meters
Tlecs 2004 (Moteiv Inc.)	Motorola HCS08	32mW (active) 0.001mW (sleep)	4K RAM	USB and Ethernet	250Kbps	2.4 GHz IEEE 802.15.4	50m (indoors) 125m (outdoors)
Mica Z 2004	ATMEGA		4K RAM 128Kflash	Expansion Connector	250Kbps	2.4 GHz IEEE 802.15.4	30m (indoors) 100m (outdoors)
iB5324 (Millennial Net Inc)					250Kbps	2.4 GHz	30meters
Rockwell WINS	Intel StrongArm SA 1100		1MB SRAM 4MB flash			900 MHz	
High - bandwidth Sensor Nodes							
BT Node 2003	ATMEL Mega 128L 7.328 MHz	590mW (idle) 285mW (active)	128KB Flash 4KB EEPROM 4KB SRAM	8channel 10biA/D, 2UARTS Expandable connectors		Bluetooth	433 915MHz
Imote 1.0 2003	ARM 7TDMI 12 48MHz	1mW (idle) 120mW (active)	64KB SRAM 512KB Flash	UART, USB ,GPIO, I ² C ,SPI		Bluetooth1.1	
Gateway Nodes							
Stargate 2003	Intel PXA255		64KN SRAM	2PCMICA/CF,com ports, Ethernet, USB		Serial connection to sensor network	
Inryinc Cerfcube2003	Intel PXA255		32KB flash 64KB SRAM	Single CF Card, General I/O			
PCI 104 Nodes	X86 Processor		32KB Flash 64KB SRAM	PCI Bus			

발전하면서 무선 센서 네트워크 또한 새로운 기술의 비전을 기대하고 있다. 이 네트워크는 기존 무선 통신 기술과 극소의 에너지를 이용하여 자연현상을 쉽게 감지할 수 있는 장비인 센서를 결합한다. 이 기술은 실제 센서와 마이크로 콘트롤러(controller), 무선통신을 포함한 수 밀리미터의 입방 사이즈와 1 달러보다 낮은 저가로 무선 센서 노드의 구현이 가능함을 보여주고 있다. 이 모든 구성요소들은 하나의 센서 노드에 전부 결합되어 있다. 즉 센서 노드는 온도와 진동 등의 정보를 사용자가 원하는 형태로 변환할 수 있는 기본적인 측정 장비이다.

무선 센서 네트워크는 이동성이 없거나 제한된 애드혹 네트워크 같은 특별한 환경 속에서 고려될 수 있는데, 신뢰성 있는 모니터링과 잘 알려지지 않은 자연환경을 분석할 수 있게 되면서 해마다 많은 발전을 기대하고 있다. 이러한 네트워크는 “데이터 중심성”이라는 특징을 갖는다. 즉, 특별한 노드에서 데이터가 요구되는 전통적인 애드혹 망과는 다르게, 예를 들어 “섭씨 35도 혹은 화씨 95도 보다 높은 지역”과 같이 특성에 기반을 하여 데이터가 요구된다. 그러므로 주어진 지역 안에서 정확한 특성을 전달할 수 있도록 수많은 노드들이 필요하다.

하나의 무선 센서 노드는 (그림 1)과 같이 다양한 구성요소들을 가지고 있다. 전형적인 하나의 센서 노드는 정밀하게 감지된 데이터를 변환하는 A/D 변환기(converter), 통신 알고리즘을 처리하기 위한 local processing 임베디드 프로세서(embedded processor)와 데이터를 저장하기 위한 작은 메모리, 배터리를 부착해서, 모든 센서 노드들간에 무선으로 정보를 전송할 수 있는 송수신기로 구성된다. (그림 1)이 보여주는 것처럼, 다양한 구성요소들의 정확한 정의는 실제로 응용분야의 형태에 달려있다. 그러나 그 구성요소들의 기본적인 특징들은 요구된 응용분야의 기능들을 보여준다. 통상적으로 사용할 수 있고 상태를 체크하기 위해, 플러그 앤 플레이(plug and play)를 할 수 있거나 정교하고 물리적인 파라미터를 제어할 수 있는 통합된 센서들은 거의 없다. 그러나 온도, 압력, 속도, 가속도, 강도, 팽창, 약화, 기울기, 밝기, 세기, 소음, 습도, 가스 감지, 생물, 오염, 원자핵에 의한 방사선, 혈압, 도시구조, 당분 등의 정보를 알아낼 수 있는 많은



(그림 1) 전형적인 무선 센서 노드의 기능부

센서들이 있다. (표 1)은 현재 통상적으로 이용되고 있는 무선 센서 노드들의 비교를 나타낸다.

2.2 위치 추정 알고리즘

무선 센서 네트워크가 이용하는 위치 추정 알고리즘은 크게 중앙집중 알고리즘과 분산처리 알고리즘으로 구분된다 [3].

중앙집중 알고리즘은 어느 중앙 프로세서를 갖는 노드가 다른 노드들이 보내온 신호의 측정치들을 이용하여 위치를 추정하는 방식이다. 이 방식은 다른 대부분 노드들의 부하가 감소되나, 그 중앙 노드에 많은 부하가 걸리며, 다른 노드들의 신호가 중앙 노드에 도달하기 위하여 멀티홉(multi-hop)을 거쳐야하는 단점이 있다. 분산처리 알고리즘은 이웃 노드(neighboring node)들과 같은 정보를 공유하여 위치를 추정하는 방식이다. 이 방식은 한 노드에 부하가 집중되지 않는 대신, 어느 값으로 수렴하기 위하여 많은 반복 계산(iteration)을 수행할 필요가 있다.

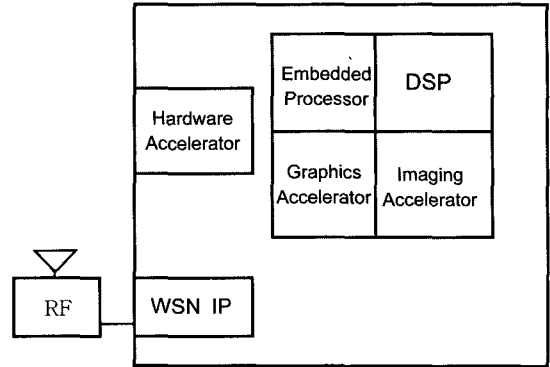
어느 알고리즘을 이용하든 정교한 위치 추정을 위해서는 보통 MLE(Maximum Likelihood Estimation) 기법이 이용된다. 특히, MLE 방식은 최소 바운드(bound)를 이론적으로 증명할 수 있기 때문에, 최적의 성능을 갖는 알고리즘 개발에 많은 도움을 준다. 그러나, 위치 추정에 이용되는 그 MLE 기법은 비선형 최적화

문제로 귀착되어, 로컬 맥시마(local maxima)를 극복해야 하는 등 해결해야 될 많은 문제들을 포함하고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 AME (Approximate Maximum - likelihood Estimation) 기법 [4], SDP(Semi - Definite Programming) 기법 [5]등이 제안되었다.

3. 무선 센서 기능을 포함하는 SoC 기반의 이동 단말기 모델

3.1 무선 센서 기능을 포함한 이동 단말기 모델의 기본구조

현재 대부분의 이동 단말기 모델은 SoC 구조를 기반으로 설계되어 있으며, (그림 2)에 보여 지듯이 임베디드 프로세서, DSP(Digital Signal Processor), 하드웨어 가속기(accelerator)로 구성되어 있다. 이동통신 알고리즘 중에서 제어 및 비교적 단순 연산이 존재하는 부분들은 임베디드 프로세서, 산술 및 반복 연산이 많은 부분들은 DSP 로 나누어져 구현되며, 고속 연산이 필요한 부분들은 하드웨어 가속기로 구현된다. 예를들어, GSM 모델의 경우 복잡한 MLSE 등화기 또는 비터비 복호기 등은 하드웨어 가속기로 구현되며, 디지털 변복조 등의 연산은 DSP 에서 구동되는 프로그램으로 구현될 수 있다. 그리고, MAC 계층 이상의 프로토콜들과 제어 알고리즘들은 일반적으로 임베디드 프로세서에 구현된다. 또한, CDMA 모델의 경우 복잡한 레이크(rake) 수신기 또는 대역 확산/역확산 모듈 등이 하드웨어 가속기로 구현될 수 있다. SoC 구조하에서 그러한 하드웨어 가속기는 임베디드 프로세서 또는 DSP 관점에서 일종의 주변부(peripheral)로 간주된다. 따라서, 알고리즘 복잡도가 매우 적은 무선 센서 기능은 간단한 하드웨어 가속기 (그림 2)에서 WSN IP로 표현되어 있다.)로 구현될 수 있으며, (그림 2)에서 보여지듯

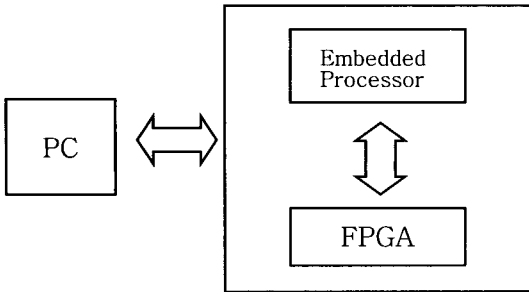


(그림 2) 무선 센서 기능을 포함한 이동 단말기 모델

이 간단한 주변부로 이동 단말기 모델 안에 수용될 수 있다. 현재, 하나의 이동 단말기 모델안에 GSM/GPRS/EDGE, WCDMA, WLAN, GPS, Bluetooth 등 다양한 무선 프로토콜들이 융합되고 있는 추세를 감안하면, 매우 단순한 무선 센서 프로토콜의 추가는 이동 단말기 모델의 복잡도를 크게 증가시키지 않는다.

3.2 무선 센서 기능을 포함한 이동 단말기 모델의 개발을 위한 임베디드 시스템

(그림 3)은 무선 센서 기능을 포함한 이동 단말기 모델의 개발을 위해 사용하고자 하는 임베디드 시스템을 보여준다. 그 임베디드 시스템은 임베디드 프로세서와 FPGA로 구성된다. 이동 단말기 모델의 알고리즘부는 임베디드 프로세서에서 모델링되며, 무선 센서 알고리즘은 FPGA 위에서 하드웨어 형태로 구현된다. 따라서, 이동 단말기 모델 알고리즘부는 주로 C/C++를 이용하여 구현되며, 무선 센서 알고리즘부는 VHDL 이나 Verilog 등의 HDL(Hardware Description Language)를 이용하여 구현된다. 또한 각 알고리즘부들의 원활한 제어와 모니터링(monitoring)을 위하여 그 임베디드 시스템은 PC와 연결된다. 그 PC와의 통신 인터페이스 부분은 일반적으로 TCP/IP를 이용하여 구현된다.



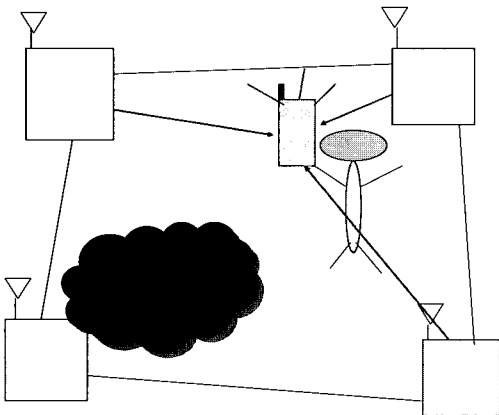
(그림 3) 무선 센서 기능을 포함한 이동 단말기 모델의 개발을 위한 임베디드 시스템

4. U-City에서 이동 단말기 기반의 무선 센서 네트워크를 이용한 응용사례

4절에서는 3절에서 제안한 이동 단말기 기반의 무선 센서 네트워크가 적용될 수 있는 U-City를 위한 응용들을 제시하고 있다. 다양한 응용들 중에서 대표적인 2개의 시나리오를 소개한다.

4.1 시나리오 1

(그림 4)는 어느 한 건물에 애드혹 네트워크가 구성되어 있어 긴급 화재 및 재난 발생시 휴대폰(이동 단말기)의 위치를 추적하여 사람의 위치를 알아낼 수 있는 상황을 나타낸다. 휴대폰 안에 GPS 기능이 내장

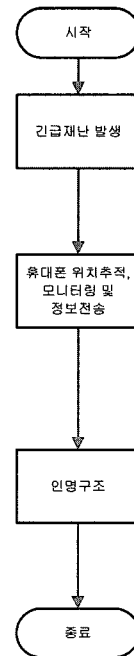


(그림 4) 긴급재난 발생 및 인명구조를 위한 환경

되어 있으면 휴대폰에 내장된 무선 센서 모듈이 그 GPS 기능을 이용하여 사용자의 위치를 추정하고, 다른 센서들을 통하여 제어통제실에 그 위치를 전송한다. 또한, GPS가 설치되어 있지 않은 경우, 휴대폰속의 그 무선 센서 모듈 자체가 하나의 노드를 형성하기 때문에 2절에서 소개한 위치 추정 알고리즘 또는 더 정교한 알고리즘을 이용하여 그 무선 센서 즉, 그 소유자의 위치추적이 가능하다. 그러므로 긴급 사고나 재난을 당해도 건물 안의 애드혹 네트워크 안에 그 이동 단말기의 사용자가 있다면 구조 활동 및 위치 추적이 매우 용이하다. 또한 건물 안에 아직 구조가 안된 사람들까지도 위치 및 상황을 모니터링 할 수 있기 때문에 구조활동의 종료 및 완료를 파악할 수 있다. (그림 5)는 무선 센서 모듈이 탑재된 이동 단말기를 이용하여, 재난 발생시 인명구조의 시나리오를 보여준다.

4.2 시나리오 2

(그림 6)은 시나리오 2가 적용될 수 있는 애드혹네트워크 구성 및 상황 등을 보여준다. 이 시나리오는



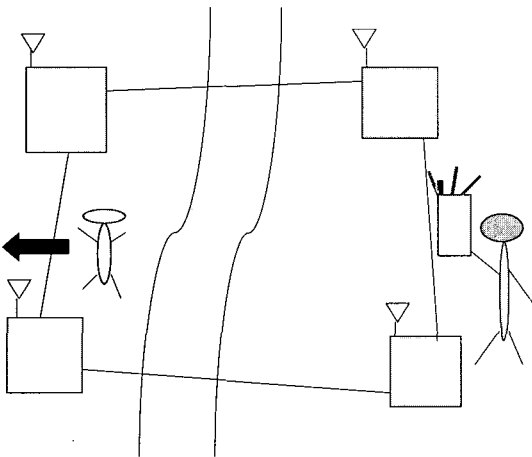
(그림 5) 이동 단말기를 이용한 인명구조

청계천 등의 공원이나 식당의 놀이방 등에서 애드혹 네트워크가 구성되어 있다는 것을 가정한다. 또한, 어린이용 고유 ID 칩을 가지고 있는 어린이들과 무선 센서 노드가 탑재된 휴대폰을 가진 부모가 공원이나 식당 등에서 자유롭게 여가활동을 즐기고 있는 상황을 설정한다. (그림 6)에서 보여지는 것처럼 ID 칩을 가진 어린이가 애드혹 네트워크 밖으로 벗어나게 된다면 경고(alarm) 표시가 그 부모의 휴대폰으로 연락되어 어린이의 위치를 자동적으로 추적하게 된다. 이 적용이 가능할 경우, 미아보호에 유리하고 좀 더 안전하고 여유로운 여가활동을 가질 수 있다. 또한, 대형 박물관 및 국가 공공기관, 대형 놀이공원 등에 이러한 애드혹 네트워크 기능이 설정되어 있다면, 미아보호 및 아동, 장애인 등의 단체 관람과 관계된 운영 등에 보다 안정적이고 양질의 서비스 적용이 가능할 것이다. (그림 7)은 무선 센서 노드가 탑재된 이동 단말기를 이용하여 아동 보호를 수행하는 시나리오를 보여준다.

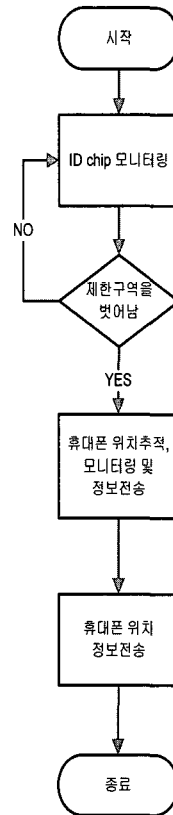
5. 결론

본 논문에서는 이동 단말기를 기반으로 하는 무선 센서 네트워크를 이용하여 U-City가 제공하고자 하는 재난 발생시 인명구조 및 아동보호 등의 서비스를 효율적으로 수행할 수 있음을 보여준다. 이를 위하여

기존 이동 단말기 모델에 효율적으로 무선 센서 알고리즘이 구현될 수 있는 구조를 제시하였다. 이 구조는 임베디드 개념을 포함하는 SoC 기술에 기반을 두고 있다. 즉, 최신 SoC 기술을 이용하여, 무선 센서 알고리즘을 효율적으로 이동 단말기에 탑재함으로써, 우수한 무선 센서 노드 구현에 큰 제약이었던 저전력, 저비용, 소형화 등의 한계를 극복할 수 있다. 또한, 기존 무선 센서 노드가 이용하는 단순한 위치 추정 알고리즘 보다 정교한 알고리즘들을 채택함으로써, 애드혹 네트워크 환경 하에서 이동 단말기 소유자의 위치 추정을 더욱 정밀하게 수행할 수 있다. 또한 그 이동 단말기는 일종의 무선 센서 노드의 기능을 수행할 수 있어, 재난 발생으로 기존 설치된 무선 센서 노드의 망실시 라우팅(routing)의 변경 등을 통하여 그 이동 단말기를 이용한 새로운 네트워크를 구성한 후 기존의 서비스를 수행할 수 있다.



(그림 6) 이동 보호를 위한 환경

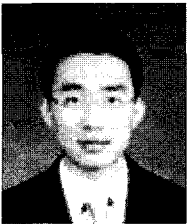


(그림 7) 이동 단말기를 이용한 아동 보호

참고 문헌

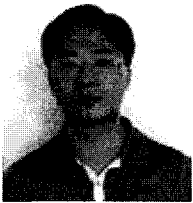
- [1] C. M. Cordeiro and D. P. Agrawal, "Ad Hoc & Sensor Networks: Theory and Applications", World Scientific, 2006.
- [2] J. Hill, M. Horton, R. King and L. Krishnamurthy, "The platform enabling wireless sensor networks," Communications of the ACM, pp. 41-46, vol. 47, no. 6, June 2004.
- [3] N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas, A. O. Hero III, R. L. Moses, and N. S. Correal, "Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks," IEEE Signal Processing Magazine, July 2005.
- [4] Y. T. Chan, C. H. Yau, P. C. Ching, "Linear and approximate maximum likelihood localization from TOA measurements," Proc. of IEEE Signal Processing and Its Applications, pp. 295-298, vol. 2, July 2003.
- [5] K. W. Cheung, W. K. Ma, and H. C. So, "Accurate approximation algorithm for TOA based maximum likelihood mobile location using semidefinite programming," Proc. of IEEE ICASSP, pp. 145-148, vol. 2, May 2004.

○ 저자 소개 ○



이준석

2007년 2월 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 학사 (예정)
2007년 3월 서울시립대학교 대학원 전자전기컴퓨터공학부 석사과정 입학 (예정)
2006년 현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 무선이동시스템연구실 소속 인턴 연구원



장석진

1991년 고려대학교 전자전산공학과 학사
1993년 고려대학교 대학원 전자공학과 석사
2001년 텍사스주립대학교 (오스틴) 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 박사
1993년 ~ 1998년 한국전자통신연구원 선임연구원
2000년 ~ 2004년 모토롤라 (오스틴) 선임연구원
2004년 ~ 현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 조교수