

무선 센서 네트워크를 이용한 군 감시시스템 발전방안 (An Evolution Scheme of the Military Surveillance System Using Wireless Sensor Network)

조재규*, 이길섭**, 이승중**, 권태경*, 최양희*
*서울대학교, **국방대학교

요 약

무선 센서 네트워크는 소형 센서를 이용하여 주변의 정보를 획득하고, 처리하여 무선 인터페이스를 통하여 다른 센서에 정보를 제공한다. 이러한 무선 센서 네트워크의 가장 대표적인 응용은 전장에서 적의 침투를 감지하고, 이동경로를 추적하며, 적의 화생방 공격에 대한 정보를 제공하는 등 주변에 산재한 물리적 현상을 감지하여 이를 수집하고 모니터링 하는 군사목적용 센서 네트워크라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 향후 군 감시시스템에 적용될 무선 센서 네트워크 기술에 대해서 소개하고 해외에서의 주요 적용사례에 대해 살펴본다. 새롭게 구성될 무선 센서 네트워크를 이용한 군 감시시스템의 기본구조, 기술구조, 운영구조를 제시하고, 구축시 필요한 고려사항에 대해 설명한다.

I. 서 론

정보과학기술의 급속한 발전으로 현재의 전장상황은 급속하게 변화하고 있다. 무인 항공기, 레이더와 같은 지상 감시체계가 출현하여 '정보·정찰·감시체계(ISR: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance)'를 구축할 수가 있고, 지구상 어느 곳이든 전송이 가능한 디지털 통신과 실시간 전송을 가능하게 하는 광대역 전송체계의 출현으로 지휘통제 개념이 근본적으로 바뀌고 있다. 따라서 이와 같은 과학기술을 이용하여 현재 물리적인 수단이 중요한 구성요소인 군 감시시스템을 획기적으로 변화시킬 수 있다.

현재 군은 군사분계선을 비롯하여 해·강안 지역, 공항·항만과 같은 주요 기반시설, 전술지휘통제소를 포함한 주둔지 지역에 대해 24시간 철통같은 경계근무를 수행 중에 있다. 또한 이러한 경계근무를 지원하기 위해 레이더, 라지트, 음파탐지기, UAV(Unmanned Air Vehicle), CCTV 등의 최첨단 기기를 배치, 운용하고 있다. 그러나 경계의 많은 부분을 이런 최첨단 기기보다는 장병들의 시정각 능력에

의존하고 있고, 특히 야간에는 경계병에 의한 의존도는 더욱 높은 실정이다.

장병들의 의한 물리적 감시시스템은 전장 상황 파악에 대한 정확성의 장점이 있으나, 단단계 지휘체통을 통한 신속한 보고의 제한, 장병들의 심적·체력적 부담감에 따른 완벽한 경계근무의 제한, 광범위한 지역을 감시하기 위해 많은 병력 유지, 기상 및 지형에 따른 경계 및 감시범위의 제한, 적의 은닉/기만에 따른 경계상의 어려움 등의 단점을 내포하고 있다.

이러한 물리적 감시시스템의 단점 및 제약사항을 극복하는데 있어서 무선 센서 네트워크 기술은 아주 좋은 대안이라 할 수 있다.

센서 네트워크 기술은 '90년대부터 군사 및 생태연구, 물류관리 등의 산업분야에서 활용을 목적으로 연구되어 왔다. 최근에는 센서의 초소형화, 성능향상 및 가격하락 등으로 실생활의 응용분야에 적용되고 있다. 센서 네트워크의 연구의 대표적인 사례로 미국 DARPA와 버클리 대학에서 공동연구 중인 Smart Dust [1] 프로젝트가 있으며 군사적 이용을 목적으로 기상상태, 생화학 오염 및 병력과 장비의 이동 등을 감지하는 기술에 대해 연구를 수

행 중에 있다.

따라서 본 논문은 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 효율적인 군 감시시스템을 구축하기 위하여 연구되었다.

논문의 구성은 2장은 무선 센서 네트워크의 기술 및 군사적 응용사례에 대하여 살펴보고, 3장에서는 무선 센서 네트워크를 이용한 군 감시시스템을 제안한다. 4장은 감시시스템 구축에 따른 고려사항을 제시한다. 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 센서 네트워크

센서 네트워크는 필요한 모든 것(곳)에 센서를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보를 기본으로 주변의 환경정보(온도, 습도, 오염정보, 균열정보 등)까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것을 말하는 것으로 궁극적으로 모든 사물에 컴퓨팅 및 커뮤니케이션 기능을 부여하여 Anytime, Anywhere, Anything 통신이 가능한 환경을 구현하기 위한 것이다[2].

이러한 무선 센서 네트워크는 수많은 센서가 감시대상지역에 배치되고 자체 구성된 네트워크는 게이트웨이를 통해 외부 네트워크에 연결되는 구조를 갖는다. 센서 노드들은 가까운 Sink 노드로 데이터를 전송하고 센서 노드로 집적된 데이터는 게이트웨이로 전송된다. 게이트웨이에서는 관리자에게 전달되는 데이터는 위성통신, 유무선 인터넷 등을 통해 전송될 수 있으며, 이런 Access Network는 기존의 인프라를 이용한다[3].

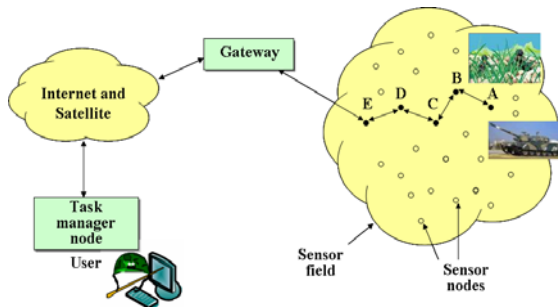


그림1. 센서 네트워크와 기존 통신망 연동구조

그림 1은 무선 센서 네트워크와 기존 통신망연동구조의 기본적인 아키텍처를 보여준다.

2. 무선 센서네트워크의 군사 응용사례

미국은 1997년 발표한 “합동비전 2010(Joint Vision 2010)”에서 미래전투 시스템(FCS : Future Combat System) [4]의 2010~2015년 전력화를 목표로 군사력 정비 계획을 추진 중이다.

센서 시스템은 FCS의 가장 핵심적인 기술로 군의 생존을 보장해 주는데 있어 필수적인 요소이다. 따라서 미 육군은 적을 조기에 탐지할 목적으로 미래의 전장에 배치할 “격자형 센서 네트워크(grid of networked sensors)”에 관한 연구를 하고 있다[5].

또한 소규모 지휘체계와 무기체계에서 얻어진 정보를 인터넷에서의 정보공유처럼 상호 실시간으로 정보를 공유토록 하여 전 전장에서 필요에 따라 동시에 작전이 이루어 질 수 있도록 하는 “네트워크 중심전 (Network Centric Warfare)”의 목적을 달성하기 위해 지상 살포형, 공중 탑재형 및 이동차량 탑재형 센서에 관해 연구 중이다[6] [7].

이 밖에도 미국은 사/여단의 ISR 정보를 지원하기 위한 IREMBASS(Improved Remotely Monitored Battlefield Sensor System, version II)와 REMBASS-II 체계 [8]를 연구/ 실전배치 중이며, 특히 이라크 전과 아프가니스탄 전에 센서 네트워크를 배치하여 운용 중이다.

미국 외에도 영국, 노르웨이 등 다른 여러 나라들도 군사목적상의 센서네트워크에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

III. 무선 센서 네트워크를 이용한 군 감시시스템

본 장에서는 2장에서 소개된 무선 센서 네트워크 기술과 미군의 발전 프로그램을 고려하여 군 감시시스템의 기본구조, 기술구조, 운영구조에 대한 발전방안을 제시한다.

1. 기본구조

무선 센서네트워크 감시시스템은 격자형 분산네트워크 구조와 선형 중앙집중식 네트워크 구조로 구분하여 구성할 수 있다. 격자형 분산네트워크 시스템은 대규모 적의 이동을 감시하고, 추적하여 전장 상황에 필요한 정보를 제공하기 위한 것으로 광범위한 전장 및 DMZ(DeMilitarized Zone) 등지에서 적합하고, 선형 중앙집중식 네트워크 시스템은 공항 및 항만, 전술지휘소 등 주요시설의 외곽에서 소규모 인원에 의한 침투를 감시하기 적합한 시스템이다.

격자형 분산 센서 네트워크는 넓은 지역을 감시정찰하기 때문에 많은 수의 센서가 필요하며, 계층적인 2-tier 구조를 가진다. 그림 2는 격자형 분산 센서네트워크 구조를 나타낸다.

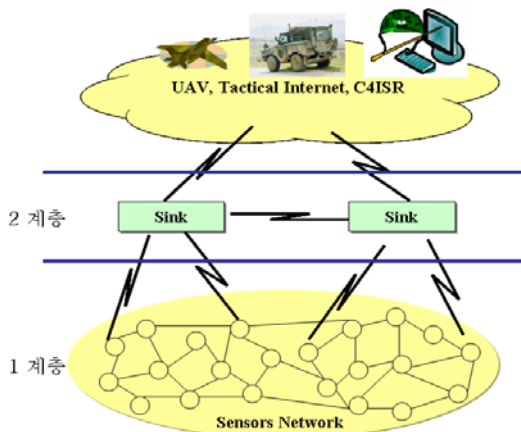


그림2. 격자형 분산 센서 네트워크 구조

격자형 분산 센서 네트워크의 1계층은 수십 ~ 수백 개의 센서 노드들로 구성된다. 센서 노드들은 마그네틱, 진동, 소리, 빛, 열을 감지할 수 있는 센싱능력을 갖추고 있으며, 적지를 포함한 비우호지역에서 네트워크를 구성할 수 있는 자기구성(self-configuration) 능력과 센서 파괴 및 고장에 대비한 자기복구(self-healing)능력을 가지고 있다. 이 때, 센서는 화포나 비행기에 의해 투하하여 네트워크 구성이 가능하며, DMZ 등 직접 네트워크가 설치 가능한 지역은 위치정보 및 라우팅 정보를 미리 저장할 수도 있다. 2계층에는 다수의 싱크노드들로 구성된다. 싱크 노드들은 센서노

드보다 많은 에너지 자원을 바탕으로 뛰어난 계산능력과 확장된 전송능력을 가진다. 싱크노드는 센서들이 전송한 정보들을 수집, 처리하여 전술 인터넷 또는 UAV에 전송하여 적의 침입여부와 위치, 이동경로를 보고하는 역할을 한다.

선형 중앙집중식 네트워크는 격자형 분산네트워크와는 달리 싱크노드가 없는 센서노드들만으로 구성될 수 있다. 이는 격자형 분산네트워크보다 센싱지역이 제한되어 있고, 기존의 통신 인프라를 활용할 수 있기 때문에 전송거리가 짧아도 정보를 전송할 수 있는 경우에 쓰인다. 센서노드들은 획득한 정보를 직접 지능형 경계로봇 및 지휘통제실로 전송하여 주요시설에 접근하는 물체에 대하여 경보를 취할 수 있다. 그림 3은 선형 중앙집중식 네트워크 시스템의 기본구조이다.

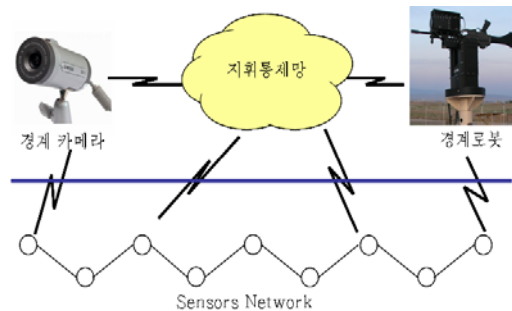


그림3. 선형 중앙집중식 센서 네트워크 구조

2. 무선 센서네트워크 기술구조

무선 센서 네트워크 감시시스템의 센서노드들은 적의 시야에 잡히지 않을 정도로 소형이어야 하며, 저전력을 소모하여야 한다. 따라서 이에 적합한 프로토콜 기술을 적용해야 한다.

센서 네트워크의 프로토콜 스택은 그림 4와 같으며, 각 계층별 많은 연구들이 이루어지고 있고 표준화가 진행 중이다. 따라서 군 감시시스템에 적합한 계층별 관련기술을 다음과 같이 제시할 수 있다.

물리계층에 대해서는 아직 많은 연구가 이루어지지 않고 있는 분야로 간단하지만 견고한 변조기법에 대한 연구가 더 필요하다. 하지만 전-평시 작전간 주파수 중복에 따른 혼란을 피하기 위해 ISM(Industrial Scientific and

Medical) 주파수 대역을 사용하는 것이 효율적일 것이다.

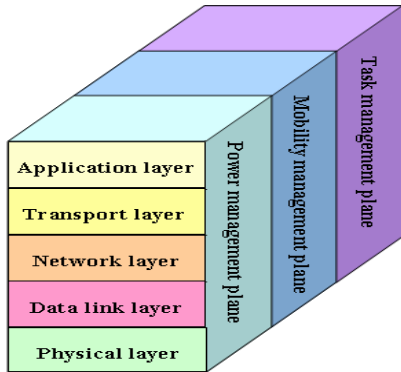


그림4. 센서 네트워크 프로토콜 스택

데이터 링크계층에서는 에너지 자원이 부족한 센서 노드의 통신 에너지 소비를 최소화하기 위한 MAC(Medium Access Control) 프로토콜 연구가 많이 이루어졌다. 그러나 대표적인 MAC 프로토콜인 SMAC[9], TMAC[10]은 저비용 에너지 소모에만 중점을 두어 상당한 전송지연이 발생한다. 이는 신속성을 중요시하는 군사용으로 부적합하며, Adaptive SMAC[11], DSMAC[12] 과 같이 전송지연 문제를 해결하는 MAC 프로토콜을 적용해야 한다.

네트워크 계층은 주소 기반 라우팅 기법보다는 데이터 중심의 라우팅 기법이 널리 연구되고 있으며 센서별 에너지 소모를 균등하게 하는 방식이 제한되고 있다. 대표적인 라우팅 프로토콜은 Directed Diffusion[13], LEACH[14] 등이 있다. 그러나 군사용으로써의 센서네트워크는 실내보다는 주로 실외에 구성되고, 군사위성의 위치정보를 이용할 수 있으며 데이터 플러딩(flooding)에 의한 자료 중복 및 에너지 소모가 적은 GPSR[15], GeRAF[16] 등이 더 유용할 것이다.

현재 IEEE 802.15.4 LR-WPAN[17]은 물리계층과 데이터 링크 계층에 대해 표준화를 하였다. 또한 라우팅 기법에도 많은 부분을 표준화 진행 중이다. 802.15.4 는 2.4Ghz 대역을 이용하면서 데이터 전송속도는 250Kbps를 가지며 배터리의 수명이 1년 정도 사용될 수 있는 저전력 통신기술이다. 따라서 군 감시시

스템의 센서 네트워크 초기 도입시 802.15.4 통신기술을 적용할 수 있을 것이다.

3. 감시시스템 운영구조

국방부는 정통부와의 협력으로 소형 센서들을 네트워크로 연결해 근거리에서 감시하고 탐지정보를 실시간으로 획득·처리하는 “감시정찰 센서 네트워크” 를 개발키로 했다[18].

운영초기에는 센서 네트워크의 기술적 제한사항으로 인해 적의 침입을 감지하여 경보를 제공하는 수단으로 사용될 것이다. 감지정보는 주변에 있는 경계병에게 무선으로 전달되어 적의 침투방향으로 즉각 투입될 수 있다. 또한 현재 자이툰 부대에서 운용중인 경계로봇과의 연계를 통해 주요지점을 방어하는데 큰 효과를 얻을 수 있다.

센서 네트워크의 기술적 제한사항이 해결되면, 향후에는 C4I 체계와 연동이 가능할 것이다. 전장에서 수집된 정보는 UAV 또는 UGV(Unmanned Ground Vehicle)를 통해서 멀티미디어 형태로 지휘체계에 전송될 것이고, 더불어 이러한 영상정보를 통하여 얻을 수 없는 은닉하여 기동하는 적에 대한 정보 및 화학오염 정보까지 제공하여 전장정보에 의한 작전을 가능하게 한다. 그림 5는 센서 네트워크 감시시스템에서 센싱에서 타격까지의 일련의 정보흐름을 보여준다.

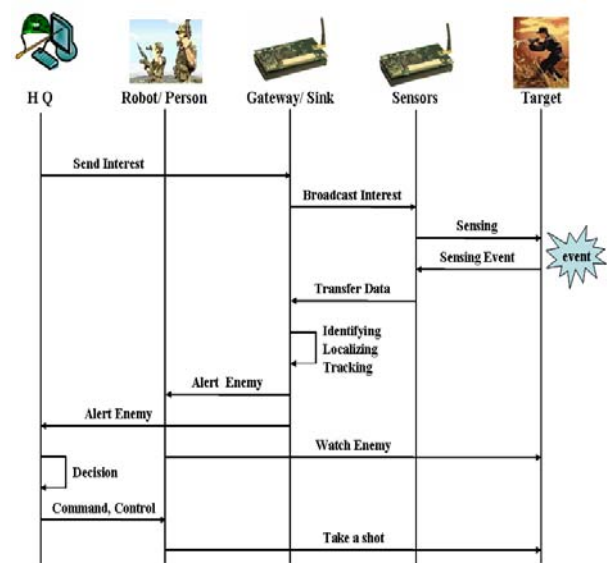


그림5. 군 감시 센서 네트워크 데이터 흐름

IV. 무선 센서 네트워크 감시시스템 구축 고려사항

군 감시시스템에 무선 센서 네트워크를 적용하기 위해서는 다음과 같은 특성을 고려해야 한다.

1. 센서 정보의 정확성 및 신속성

감시 시스템에서 무엇보다 중요한 요소는 감지된 객체에 대한 정보의 정확성과 정보제공의 신속성이라 할 수 있다. 특히 군사적 대치 상황에서는 정보의 부정확성은 큰 피해를 초래할 수 있다. 예를 들면, 이라크 전에 배치된 센서들의 정보가 부정확하여, 선두에 있던 미 기갑 대대는 획득된 정보의 적 장비, 인원보다 훨씬 더 많은 적과 조우하여 예상치 못한 피해를 입었다[19].

또한, 센서 정보전송에 중요한 요소인 MAC 프로토콜 설계시 현재 이루어지고 있는 대부분의 연구는 전송 지연에 대해서 고려하지 않고 있기 때문에 다른 무선통신과는 달리 센서네트워크에서의 정보 전송은 많은 시간을 소모한다. 이러한 센서네트워크의 특성은 실시간 정보가 중요한 감시시스템에서는 큰 단점이라 할 수 있다.

따라서 이러한 감시시스템은 열악한 운용환경에서도 정확한 정보를 적시에 제공할 수 있는 센서의 정확성과 신속성이 보장되어야 한다.

2. 센서 네트워크의 보안성

대부분의 군 통신과 같이 센서 네트워크에서도 높은 보안성이 요구된다. 특히 센서 네트워크에서는 에너지 및 계산능력이 제한됨에 따라 효과적인 보안 프로토콜이 필요하다.

감시 시스템에 이용되는 센서 네트워크의 보안 프로토콜은 정보의 도청에 따른 기밀성보다는 왜곡된 정보가 전달되지 않도록 하는 무결성과 지정된 센서에서 전달된 정보인지를 판단할 수 있는 인증성이 더욱 요구된다. 또한 주파수 재밍(jamming) 공격이나 재전송 요구 공격(replay attack)으로 센서의 에너지 자원을 조기에 소모시켜 네트워크 자체를 마비시키는

DoS(Denial of Service) 공격에 대비한 정보 전송 프로토콜이 필요하다.

더불어, 센서 네트워크의 파괴를 위한 물리적 공격을 회피하고, 적으로 하여금 센서 네트워크 구성사실을 은닉하기 위해 센서노드의 크기를 최소화하는 기술이 요구된다.

3. 센서 네트워크의 효율성 및 경제성

센서 네트워크 구성시 구성환경과 작전임무에 맞는 센서 노드를 배치해야 한다. 즉, 센서 노드를 배치하기 위해서는 감시지역, 임무 수행에 적절한 센서노드의 수, 적 장비 및 인원의 침투 감시 또는 적 화생방 공격 감시 등 임무에 맞는 물리적, 화학적 센싱 능력 등을 고려해야 한다.

또한 센서 네트워크의 특성상 적 지역에서 장기간의 임무를 수행하기 위해 에너지 소모를 최소화하는 energy-aware 프로토콜이 요구되며 경제적 측면에서도 현재 600 달러 정도 하는 센서노드의 가격이 10 달러 미만으로 대량 생산할 수 있는 기술 및 시설이 요구된다. 이는 경계에 소요되는 병력감축으로 이어져 전체 국방비의 60% 정도를 차지하고 있는 경상운영비의 절감을 유도할 수 있다.

4. 타 체계와 연동성

전장에서 획득된 정보가 보고되어 지휘관이 지휘결심하기 위해서는 센서 네트워크와 전술 인터넷, C4I 체계 등과 연동성이 보장되어야 한다. 기존 IP 네트워크와 센서 네트워크의 연동성을 보장하기 위해 최근에 많은 연구가 이루어지고 있으며, 크게 두 네트워크 사이에 위치한 게이트웨이 기반 연동[20]과 인터넷 상 오버레이 네트워크를 기반으로 한 연동기법[21]으로 나눌 수 있다.

센서 네트워크와 타 체계를 연동하기 위한 기술적 고려사항으로는 IPv6 도입, 센서 노드의 IP 적용에 따른 여러 가지 기술적 문제, 불필요한 TCP/IP상의 오버헤드 제거, 이동 센서 네트워크 지원 등의 문제를 해결해야 한다.

또한 수집된 정보를 바탕으로 컴퓨터가 지시하는 실제 작업을 수행하는 액추에이터(actuator) 기술을 병행 개발하여 화생방 오염 지역 제독체계, 적 주력에 대한 타격체계와 연

동하여 운영이 가능해야 한다.

따라서 이러한 센서 네트워크가 군 감시시스템에 적용되기 위해서는 하드웨어, 소프트웨어 및 네트워크 구성 아키텍처도 함께 고려되어야 한다.

V. 결 론

현재 군은 국방개혁의 일환으로 병력을 감축하고 군의 과학화·정보화를 위한 로드맵을 구상하고 적용해 나가고 있다.

무선 센서네트워크는 시간적 공간적으로 감시 및 정찰이 제한되는 적지 및 관심 전장지역에 구성되어 전장상황에 대한 정보를 전송하여 먼저 보고, 먼저 판단하게 하여 먼저 타격할 수 있는 네트워크 중심전의 핵심수단이 될 것이다.

본 논문에서는 이러한 무선 센서 네트워크 기술을 군 감시시스템에 적용하기 위한 방안을 제안하였다.

참 고 문 헌

- [1] <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>
- [2] 백상현, 장민, 장덕현, 조기덕, 최양희, 권태경, "유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동기법," *Telecommunication Review* 제15권 2호, 2005. 4월.
- [3] 이재용, "유비쿼터스 센서 네트워킹 기술", *TTA저널* 제 95호, 2004. 10월.
- [4] <http://www.army.mil/fcs>.
- [5] <http://defence.janes.com>.
- [6] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/rembass.htm>.
- [7] C. Wilson, "Network Centric Warfare: Background and Oversight Issue for Congress," *CRS Report for Congress*, Jun. 2004.
- [8] <http://www.dod.mil/nii/NCW>.
- [9] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An Energy efficiency MAC protocol for wireless sensor networks," In *Proc. INFOCOM 2002*, Jun. 2002.
- [10] T. Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," In *Proc. ACM Sensys 2003*, Nov. 2003.
- [11] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks," In *IEEE Transactions on Networking*, Apr. 2004.
- [12] P. Lin, C. Qiao, X. Wang, "Medium access control with a dynamic duty cycle for sensor network," In *Proc. IEEE WCNC 2004*, Mar. 2004.
- [13] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," In *Proc. of MobiCom '00*, Aug. 2000.
- [14] W. Heinzelmann, J. Kulik, H. Balakrishnan, "Energy-Efficiency Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," In *Proc. 33rd Hawaii Int'l. Conference*, Jan. 2000.
- [15] B. Karp, and H.T. Kung, "Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," In *Proc. MobiCom 2000*, Aug. 2000.
- [16] M. Zorzi, R.R. Rao, "Geographic Random Forwarding (GeRaF) for ad hoc and sensor networks: multihop performance," in *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 2, Oct.-Dec. 2003.
- [17] <http://www.ieee.org>.
- [18] 강희중, "전투 정찰 견마형 로봇을 만든다," *디지털타임즈*, 2005. 9월.
- [19] D. Talbot, "How Technology Failed in Iraq," *TechnologyReview.com*, Nov. 2004.
- [20] A. Dunkels, J. Alonso, T. Voigt, "Making TCP/IP Networks," In *Proc. EWSN 2004*, Jan. 2004.
- [21] H. Dai, R. Han, "Unifying Micro Sensor Networks with the Internet via Overlay Networking," In *Proc. IEEE Ennets-I*, Nov. 2004.