

초저전력 컴퓨팅 통신 소자 기술

원 광 호, 송 병 철, 박 용 국, 김 재 호

전자부품연구원 (KETI)

I. 서 론

21세기 IT 산업의 패러다임은 유비쿼터스 컴퓨팅 (Ubiquitous Computing)으로 대변되며 이는 차세대 국가 산업경쟁력의 근간을 이룰 것으로 예상된다. 유비쿼터스는 언제, 어디서나, 도처에 존재하는 다양한 유비쿼터스 네트워크 (브로드밴드 네트워크 + 모바일 네트워크 + 와이어리스 네트워크)와 센서, 칩 등과 같이 아주 작은 컴퓨터가 내재된 기기간의 연결과 통합으로 구성되어 사용자에게 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하는 구조를 가지고 있으며 실세계의 각종 사물들과 물리적 환경 전반에 걸쳐 컴퓨터가 편재화된 컴퓨터의 걸모습이 드러나지 않도록 환경 내에 효과적으로 배치, 통합하는 것을 말한다.

이러한 유비쿼터스 컴퓨팅의 등장으로 개인이나 기업은 시간과 장소에 구애됨이 없이 언제, 어디서나, 어떠한 네트워크에 상관없이, 어떠한 정보 기기를 사용하는 다양한 정보 서비스에 효율적이고 간편하게 접근하고 사용할 수 있게 되어 정치 및 사회, 문화 전반에 걸쳐 유비쿼터스 혁명이라는 또 다른 문명의 장을 마련할 것으로 예측되고 있다.

이에 따라 미국, 일본, 유럽등의 선진 각국에서는 유비쿼터스 사회의 조기 실현을 위한 연구개발을 활발히 진행하고 있으며 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 가능하게 하는 인력 및 사회 인프라 구축에 경쟁적으로 많은 투자를 하고 있는 상황이다.

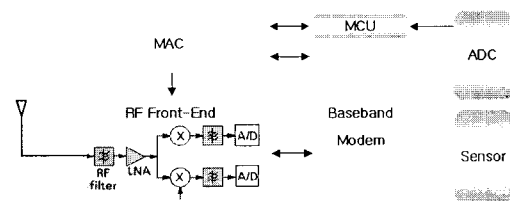
이러한 유비쿼터스 인프라 구축을 위해서는 모든 사물을 지능화 시켜야 하며 이를 위해서는 상

황인지 자율형 센서와 통신기능을 가진 초저전력 컴퓨팅 통신 소자의 개발이 필수적이라고 할 수 있다. 본 고에서는 초저전력 컴퓨팅 소자의 기본 개념과 기술 동향에 대해서 논하고자 한다.

II. 초저전력 컴퓨팅 통신 소자의 개요

초저전력 컴퓨팅 통신 소자는 상황을 인지하기 위한 자율형 센서를 가진 초저전력·초소형 칩으로 사물 또는 공간에 장착되어 다양한 정보를 수집하고 통신을 하는 기능을 수행하며, 이러한 소자간에 동적으로 변화하는 센서 네트워크를 구성하고 이를 기존의 유무선 네트워크와 연동시키는 역할을 한다. 또한 컴퓨팅 디바이스 및 센서의 초소형화로 휴대 및 부착이 용이하게 함으로써 이동성을 보장한다.

〈그림 1〉은 초저전력 컴퓨팅 통신 소자에 대한 기본구조를 개략적으로 표현한 것이다.



〈그림 1〉 초저전력 컴퓨팅 통신 소자 구조도

위의 그림에서와 같이 초저전력의 초소형 컴퓨팅 소자는 크게 RF송수신부, 데이터 변복조부, 매체접근 제어(MAC) 및 네트워크 프로토콜부, 센서부 등으로 구성되어 있다. 이러한 초저전력 컴퓨팅 소자 관련 기술들을 좀더 구체적으로 살펴보면 초소형·초저전력화를 위해 초소형 안테나 설계 기술, 초저전력 RFIC 설계 기술, 초저전력 베이스밴드 설계 기술, 초저전력 MPU/MAC 프로세서 설계 기술 등이 하나의 칩 위에 구현되어 있는 이른바 SoC(System on Chip)기술이라고 할 수 있다. 또한 초저전력의 컴퓨팅 통신 소자들간의 네트워크 구성을 통한 데이터 송수신을 위해 MEMS(MicroElectro-Mechanical System)기술을 이용하여 진동이나 태양전지 등으로 자체 전력을 공급하는 다양한 self-powered technique들이 함께 연구되고 있다.

이러한 초저전력 컴퓨팅 소자들을 내재한 수천 개 이상의 노드 객체들로 구성된 유비쿼터스 환경은 각각의 객체들이 수~수백 Kbyte 이하의 통신 프로토콜을 가지고 네트워크를 구성하여 언제 어디서나 다양한 정보서비스를 제공 가능하게 한다. 이렇게 망 구성요소들간에 언제 어디서나 접속되어 어떠한 형태의 연결에서도 제약이 없는 무선 네트워크 구성하기 위해서는 어떤 공간에서든 네트워크간 통합과 연결을 실현할 수 있고 속도와 용량의 제약 없는 완전한 IP네트워크(All IP 네트워크)를 구성해야 하며 이와 동시에 네트워크 구성시 전력 소모를 최소화 하기 위한 매체 접근제어(MAC) 및 라우팅 기술 등의 개발이 필수적이라 할 수 있다.

III. 초저전력 컴퓨팅 통신 소자의 저전력화 기술

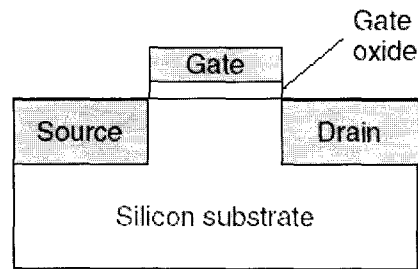
초저전력형 통신 소자와 같은 반도체의 비약적인 발전은 기초소재인 실리콘웨이퍼의 발전과 맥을 같이한다. 실리콘웨이퍼는 다른 한편으로 다양한 공정용 웨이퍼(프로세스 웨이퍼)가 개발돼

디바이스의 초소형화를 선도하고 있다.

현재보다 수십 배 또는 수백 배 이상의 높은 성능의 가진 유비쿼터스 컴퓨팅 소자를 구현하기 위해서는 대규모 집적회로 기술이 필요하며 여기에 따르는 소자의 초저전력화가 이루어져야 한다. 따라서 본 고에서는 실리콘을 이용하여 소모 전력을 최소화 할 수 있는 초미세 전자 소자 기술의 핵심적인 내용을 우선적으로 알아보았다.

실리콘 초미세 CMOS 소자의 구조는 현재의 주류인 Bulk-type MOSFET 이외에도 박막 SOI MOSFET, 이중 게이트 MOSFET, 종형 MOSFET, strained silicon MOSFET 등 다양한 구조의 소자가 제안되고 있다. 이러한 기술 중에서도 최근에 각광을 받고 있는 SOI(Silicon On insulator)는 차세대 멀티미디어 산업과 대용량 통신기에 필요한 저전력, 저전압, 고속의 고집적 반도체를 만드는데 적합해 해당 분야 디바이스의 개발을 선도할 신소재로 꼽히며 가까운 시일내에 초저전력으로 동작하는 지능형 컴퓨팅 소자를 만드는데 필요한 핵심 기술이 될 것으로 예상되고 있다.^[1] 현재까지 CMOS 소자의 초미세화를 위한 주도적인 기술은 다음의 <그림 2>에 나타나 있는 Bulk 타입의 CMOS transistor이다. 이러한 구조의 MOSFET는 실리콘의 표면을 따라서 소자를 제작하기 때문에 구조가 매우 간단하면서도 공정이 비교적 쉽다는 장점을 가진다.^[2] 따라서, 고집적화에 유리하고 대량 생산에도 적합하여 세계적인 선진기업에서 다양한 연구 결과를 발표하고 있다.

위와 같은 bulk CMOS 타입의 구조에서는 소자 동작 시의 내부 전계가 소자의 단채널 효과



<그림 2> bulk CMOS 트랜지스터 구조

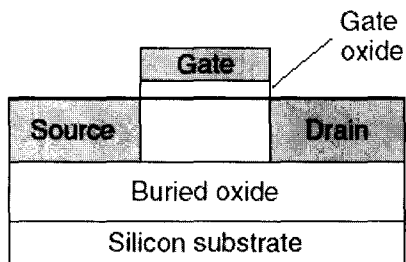
및 신뢰성에 크게 영향을 주며 소자의 크기가 감소할수록 내부 전계의 완화 방법에 따라 sub-10 nm MOSFET 소자의 구현 여부가 결정될 수 있다.

이와 같이 MOSFET 소자의 크기가 미세화됨에 따라 가장 심각하게 대두되고 있는 문제는 단채널 효과(short channel effect : SCE)이며 이것은 Bulk 실리콘을 이용한 MOSFET의 게이트 길이가 deep-submicron 영역일 때 threshold 전압 근처 또는 그 이하의 전압을 게이트에 인가하면 트랜지스터 채널이 약한 반전 상태가 된다. 이때의 동작 특성을 나타내는 subthreshold 특성은 MOSFET의 성능을 결정짓는 중요한 지표가 될 수 있다.

앞서 언급한 고성능의 유비쿼터스형 소자를 구현하기 위해서는 회로의 고집적화가 필요하며 이러한 고집적회로의 전력 소모는 MOSFET 소자의 subthreshold 전류에 직접적으로 관련이 있게 된다. 따라서 Bulk CMOS 트랜지스터 소자 기술보다는 SOI기판을 이용한 SOI기술이 소자의 구조 및 공정의 단순화 측면에서 많은 이점을 가지기 때문에, 고성능의 고집적화 소자 기술의 주류를 형성할 것으로 기대하고 있다.

다음의 <그림 3>은 SOI로 제작된 CMOS 트랜지스터의 단면 구조를 나타낸 것이다.

SOI기술을 이용하는 CMOS 회로는 기존의 Bulk CMOS 소자보다 낮은 기판 바이어스 효과를 가지므로 낮은 전압에서의 동작이 가능하게 되어 저전력 회로 구현이 가능하다는 장점이 있다. 우선 SOI트랜지스터의 주요 특징을 살펴보면 회로내부에 buried oxide가 존재하여 소자 간의



<그림 3> SOI CMOS 트랜지스터 구조

전기적 분리가 완벽하게 이루어지는 완전한 절연효과를 제공하고, 소스 및 드레인 집합과 기판 간의 기생 용량뿐만 아니라 게이트 전극 및 금속 배선과 기판 사이의 기생 용량이 감소하므로 낮은 전압에서 고속의 동작이 가능하게 된 것이다. 따라서 이러한 SOI 트랜지스터 기술이 저전력에서 speed나 full isolation, increased security의 손실 없이 동작해야 하는 초저전력 컴퓨팅 소자에 매력적이라고 할 수 있다.

SOI의 구조적 잇점으로 인해 얻어지는 감소된 집합 커패시턴스로 인해 bulk CMOS 트랜지스터보다 저전력으로 동일한 주파수에서 동작할 수 있으며 약 25-75% 가량의 다이내믹한 전력 감소를 기대할 수 있다. 여기에다 buried oxide에 의한 완전 절연 효과로 소자를 구성하는 아날로그부와 디지털부 사이의 crosstalk에 의한 noise를 현저하게 감소시킬 수 있다.^[3] 따라서 기본적으로 RF송수신부 모듈로 구성되어 있는 초소형 컴퓨팅 소자는 이러한 noise 방지로 성능향상의 효과를 가져올 수 있다.

이러한 SOI CMOS 트랜지스터 기술은 구조 및 활성층의 두께에 따라 적용 제품군이 다른 것이 특징이다. 박막(thin film) SOI 기술은 고속, 저전력 D램, S램 및 CPU 등에 적용되고, 후막(thick film) SOI 기술은 고전압으로 빠른 전환을 요구하는 양극형 게이트절연트랜지스터(IGBT) 제조에 쓰인다.

다음으로는 이러한 컴퓨팅 소자들의 프로토타입 측면에서의 저전력화에 대해 간략히 알아보려고 한다. 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크 환경에서는 컴퓨팅 통신 소자들간의 네트워크 구성을 통한 자유로운 데이터 교환이 이루어져야 하며 이러한 동작을 위해서는 하드웨어의 저전력 구현과 더불어 중요하게 고려되는 요소로는 MAC (Medium Access Control) 구조와 이를 구현한 펌웨어적인 소프트웨어, 그리고 네트워크 프로토콜 구조와 소프트웨어가 있다. 이들은 네트워크를 구성하는 전체 관점에서 통신 노드의 소비 전력을 줄이는 요소로 중요한 위치를 차지하고 있다. 그리고 기존 무선 네트워크의 MAC과

달리 배터리를 주 에너지원으로 사용하는 환경에서의 저전력을 고려한 설계는 제일 중요한 목표가 될 수 있다.^[4] 따라서 본 고에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크에서 연구되고 있는 저전력 지원용 MAC에 대해서 구체적으로 알아보기로 한다.

첫번째로 SMACS & EAR 알고리즘을 들 수 있다.^{[5][6]} 이것은 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크를 위해 sohrabi & pottie가 제안한 self-organization 프로토콜로서 TDMA 기법을 사용하였으며 다른 노드들과 통신하기 위해서는 super frame 구조 형태를 사용하여 각각의 time slot에 하나의 노드하고만 통신할 수 있도록 설계되어 있다. 이 프로토콜은 네트워크가 주로 고정되어 있어 모바일 노드가 있더라도 그 주위에는 많은 고정된 이웃노드가 있고 노드가 통신 라디오를 스스로 끄고 켤 수 있다는 가정으로부터 시작한다.

일반적인 채널 접근 방법에는 경쟁 기반(contention-based) 방식과 조직화된 방식(organized channel access)이 있다. 조직화된 방식은 각 노드의 이웃노드를 발견하여 라디오 링크를 연결하고 충돌이 없는 채널을 라디오에 할당한다. SMACS에서 채널은 TDMA에서 시간 슬롯(time slot)과 같은 시간 구간으로 정의하고 조직화된 방식을 취한다. 지역(local) 마스터나 전역(global) 마스터(master) 없이 이웃노드 발견단계와 송수신 스케줄 설정단계를 동시에 분산하여 수행하며 근접 링크간의 간섭을 피하기 위하여 각 링크는 다른 채널을 사용하도록(FDMA) 설계되였지만 이 방법은 대역폭의 활용도가 낮은 단점이 있다.

한편 EAR 프로토콜은 모바일 노드가 연결 절차에 모든 권한을 가지고 연결 해제를 언제 수행할지 결정한다고 가정하고 이동중의 끊김 없는 연결을 제공한다. 연결설정 단계에서는 임의의 기상(wake-up) 스케줄을 사용하고 유휴(idle) 시간 슬롯에서는 라디오를 끄므로 전력보존(power conservation)을 이룬다.

두번째로 CSMA-Based MAC 알고리즘에

대해 알아보기로 한다.^[7] 이러한 알고리즘 구현을 위해서 UC Berkeley내 TinyOS 프로젝트를 수행하는 연구진이 mote와 TinyOS를 사용하여 CSMA 기반의 다양한 MAC 구조를 실험 및 분석 하였고 더불어 ARC(Adaptive transmission Rate Control) 방식도 제안하였다. 하지만 이러한 ARC는 저전력과는 무관한 측면이며 무선에서의 공평성을 이루는데 사용된다. 보통 CSMA 기반 방식은 통계적으로 분산된 트래픽을 가정하고 상호 독립적인 점대점(point-to-point) 통신을 지원하지만 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크에서의 통신은 가변적이고 매우 연관성이 높은 주로 주기적인 트래픽이다. 따라서 기존 CSMA 기반 MAC을 변경하여 실험하였으며 시뮬레이션을 통해 고정 대기 주기(constant listening period)가 에너지 측면에서 효율적인 것으로 증명되었지만 이를 바탕으로 좀더 깊은 연구가 필요할 것으로 예상된다.

세번째로 Hybrid TDMA/FDMA-Based 알고리즘을 들 수 있다.^[8] 이 알고리즘은 중앙 제어 MAC 방식으로 시스템이 가까이 있는 하나의 고전력 베이스 스테이션과 통신하는 에너지 제약이 있는 컴퓨팅 통신 노드로 구성된 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크를 가정한다. 순수한 TDMA 방식이 전체 대역을 하나의 컴퓨팅 통신 노드에 제공하는 반면 순수 FDMA는 노드당 최소 단일 대역을 할당한다. 순수 FDMA가 전송 시간을 최소화하지만 시간 동기화 때문에 늘 선호되지는 않는다. 여기서 아래에 표현되어 있는 평균 파워 소모에 관한 공식을 통해 최소 전력 소모의 최적 채널 수를 찾을 수 있으며 채널의 최적 수는 수신측 전력대비 송신측 전력비에 따르게 되는데 송신측이 전력을 더 많이 소모하면 TDMA 기법을 사용하고 수신측이 전력을 많이 사용하면 FDMA를 쓴다.

컴퓨팅 통신 소자를 저전력으로 동작시키고 T_{onTx} 를 줄이기 위해서는 최대의 data rate에서 전송을 하는 것이 바람직하며 또한 전력 소모를 줄이기 위해 radio 모듈은 active/idle의 주기에서 전원의 on/off 기능이 필요하고 컴퓨팅

통신 소자에서는 베이스 스테이션 쪽으로의 uplink 위주의 통신이 이루어지는 것을 주로 고려해야 한다.



〈그림 4〉 주기적 listen과 sleep

$$\begin{aligned} & \text{평균 파워 소모 (Pavg)} \\ & = Ntx\{(Ptx(Ton_tx + Tst) \\ & \quad + Pout Ton_tx)\} + Nrx Prx \\ & \quad (Ton_rx + Tst) \end{aligned}$$

Ntx/rx : 센서가 전송과 수신에 사용한 평균 시간
 Ptx/rx : 송수신에 사용한 파워 소모량
 Ton-tx/rx : 실제 데이터를 수신 또는 송신한 시간
 Tst : 송수신을 시작한 시간
 Pout : 안테나를 통해 유도된 출력 파워

네번째로 S-MAC 알고리즘에 대해 살펴본다.^[9] 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크에서 이러한 컴퓨팅 통신 노드들은 보통 ad hoc 형태의 구조를 가지며 각각의 노드들은 장시간동안 inactive한 상태에 머무르게 되고 센싱을 하기 위한 특정 이벤트가 발생하였을 때만 active 상태로 전이하게 된다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크의 특성을 고려하여 IEEE 802.11과 같은 기존의 MAC 프로토콜과는 다르게 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크는 노드들의 fairness나 latency보다는 에너지절약과 self-configuration에 더 중점을 두고 있기 때문에 이에 적합한 MAC 프로토콜이 필요한 것이다. 이러한 특성을 반영한 S-MAC 알고리즘은 에너지 소모를 최소화 하기위해서 다음과 같은 기술을 적용하였다.

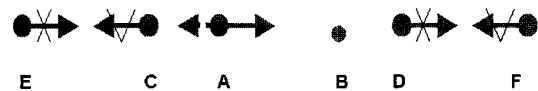
- 주기적인 listen과 sleep

유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크에서 노드들은 장시간 이벤트가 발생하지 않는 idle 상태에 머물게 된다. 이러한 idle 상태 구간이 길기 때문에 노드들은 항상 listen 상태로 있을 필요가 없고 따라서 이때에 sleep 상태로 전이하도록 한다. 그리고 동일한 sleep 스케줄러를 사용하여 이웃 노드들 간의 가상 클러스터를 형성하여 동기화를 이루며 이를 통하여 전송지연을 최소화할 수 있다.

- Overhearing 회피

기존의 IEEE 802.11에서는 효율적인 성능을 위해 모든 이웃 컴퓨팅 노드들이 전송중인 데이터의 listening을 수행한다. 결과적으로 이것은 노드들의 에너지 소비를 증대시키는 결과를 가져오며 특히 노드간 밀집도가 높은 경우 트래픽 노드와 에너지소모는 더욱 더 증가하게 되므로 이는 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크에서는 부적절한 방식이다. 여기서는 RTS/CTS 패킷을 수신한 후에 sleep 상태로 노드를 전이함으로써 overhearing 문제를 해결할 수 있다. Data 패킷이 RTS/CTS 패킷보다 길기 때문에 이러한 접근방식은 이웃노드들의 overhearing 문제를 줄여줄 수 있다. 한편 노드가 active 전송상태에서 sleep 상태로 전이하는 시점에 대해서 살펴보기 위해 우선 아래의 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 노드 A, B, C, D, E, F들로 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크가 구성되어 있다고 가정하자. 각 노드들은 인접한 노드들과 통신할 수 있으며 A가 현재 B에 데이터를 전송중이라 가정할 때 sleep 상태로 전이하는 노드들에 대해서 알아보기로 한다.

먼저 수신 측에서 충돌이 일어날 가능성을 없애기 위해서 D 노드는 sleep 상태로 전이해야 한다. E나 F 노드는 B와 인접하지 않았으므로 sleep 상태로 전이할 필요가 없으며 C의 경우는 물론 B로부터 2hop 떨어져 있으므로 B의 수신에 영향을 끼치지 않으나 E가 데이터를 보냈을 경우 A의 전송으로 C는 E의 데이터를 제대로 수신할 수 없으므로 굳이 active 상태로 머무르는 것은 에너지의 소비를 가져오는 것이다. 그러



〈그림 5〉 Sleep 상태전이

므로 CS도 sleep 상태로 전이하게 되고 결과적으로 RTS/CTS를 수신한 주변의 이웃 노드들은 데이터 전송이 끝날 때까지 모두 sleep 상태로 전이하게 된다. 데이터 수신기간을 계산하기 위해서는 이웃노드들은 activity를 나타내는 NAV 변수를 유지하게 되는데 이것에 의해 노드는 다른 노드로 전송되는 패킷을 들었을 때 패킷의 NAV값으로 NAV변수를 업데이트 한다. 이 NAV값은 이웃 노드의 데이터 전송 시간을 나타내게 되며 이 값이 0이 될때까지 sleep 상태에 머무르게 된다.

- Message Passing

긴 메시지를 어떻게 에너지 소비와 지연을 최소화하면서 전송할 수 있는지에 대해서 알아보기로 한다. 긴 메시지를 하나의 패킷으로 전송하는데 발생하는 단점으로는 에러가 발생했을 경우 다시 메시지를 모두 다시 재전송해야 한다는 것이며 이를은 메시지 단위로 전송하였을 경우 RTS/CTS 제어 패킷 부하가 크다는 점을 단점으로 꼽을 수 있다. 저전력을 위한 유비쿼터스 컴퓨팅 센서 네트워크에서는 긴 메시지를 작은 단위의 패킷으로 쪼개어 전송하는 방법을 사용하게 되는데 오직 하나의 RTS/CTS 패킷이 메시지 전송시 사용되며 이는 작게 분할된 패킷이 모두

전송될 때까지의 미디어를 점유하기 위해 사용된다. 또한 분할된 패킷이 전송될 때는 수신 측에서 항상 ACK를 전송하도록 하여 패킷의 재전송 여부를 결정하도록 하였다. 패킷에러가 발생한 경우 ACK를 수신받지 못할 것이며 이에 따라 송신자는 하나의 패킷을 전송하기 위한 시간만큼의 미디어 사용의 연장이 필요하게 된다. 이때 사용하는 방법이 각 패킷의 필드중 앞으로 전송해야 할 패킷과 ACK의 시간 필드값을 연장시키는 것이다. 이러한 메시지 전송방식은 제어패킷의 오버헤드를 줄여줄 뿐만 아니라 잦은 sleep/listen 반복시 radio on/off에서 발생하는 시간 지연을 줄이는 효과도 가져와 컴퓨팅 통신 노드들의 전력 소모를 최소화하게 한다.

마지막으로 컴퓨팅 통신 노드들이 유비쿼터스 환경하에서 저전력으로 동작하기 위해 MEMS 기술을 응용하여 자체 전력을 공급하는 방안에 대해 앞서 간략하게 언급한 바 있다. 이와 같이 유비쿼터스 환경하에서 초저전력의 컴퓨팅 소자들 간의 자율적인 데이터 통신을 통한 네트워크 구성을 위해서는 자체 전력의 공급이 가능해야 한다. 따라서 MEMS 기술을 적용한 self-powered technique를 이용하여 주위환경으로부터 에너지를 추출해내어 자체 전력을 공급하는 방안이 다양하게 연구되고 있다. 다음의 <표 1>은 기존의

<표 1> 에너지원 간의 Power density 비교

Energy source	Power density	Energy density
Batteries (zinc-air)		1050 -1560 mWh/cm ³
Batteries (rechargeable lithium)		300 mWh/cm ³ (3 - 4 V)
Solar (outdoors)	15 mW/cm ² (direct sun) 0.15mW/cm ² (cloudy day)	
Solar (indoors)	0.006 mW/cm ² (standard office desk) 0.57 mW/cm ² (< 60W desk lamp)	
Vibrations	0.01 - 0.1 mW/cm ²	
Acoustic noise	3E-6 mW/cm ² at 75 Db 9.6E-4 mW/cm ² at 100 Db	
Passive human-powered systems	1.8 mW (shoe inserts)	
Nuclear reaction	80 mW/cm ³ 1E6 mWh/cm ³	

*Values are estimates taken from literature, analyses, and a few experiments.

**Values are highly dependent on the amplitude and frequency of the driving vibrations.

연구와 이론, 실험결과들을 종합하여 에너지 소스간의 에너지 밀도치를 비교해 놓은 것이다.

위의 표에서 알 수 있듯이 solar cell은 몇 시간의 직사광선으로 cm^2 당 15mW까지, 흐린날에는 0.15mW까지의 전력을 저장할 수 있다. 하지만 낮시간과 밤시간의 평균 직사광선의 양과 건물내부 환경을 고려해 보았을때 solar cell은 초저전력 컴퓨팅 통신 소자의 유일한 self-powered 에너지원으로 언급하기에는 어려운 점이 있다. 따라서 완전히 autonomous하고 maintenance free한 초저전력의 컴퓨팅 노드를 구현하기 위해서는 solar cell 이외의 다양한 에너지원을 고려해야 하며 이것들로부터 자체 전력을 생성시켜야 한다.

그러한 것들 중에는 자연적으로 발생하는 온도 진동(temperature vibration)이 에너지원이 될 수 있는데 10° 의 온도 차이로부터 약 15uW의 전력을 발생시킬 수 있는 thermoelectric device가 고안된 바 있으며 또한 인간이 걸을 때 몸체로부터의 진동으로 약 8.4mW의 전력을 발생하는 기술도 MEMS로 구현된 바 있다.^[10] 또한 전자기 진동을 전기로 바꾸어주는 컨버터 기술도 개발되었으며 이것은 $(4 \times 4 \times 10) \text{cm}^3$ 의 체적에서 약 400uW의 전력을 생산해낼 수 있다.^[11] 그 외의 기술로는 압전 진동(piezoelectric vibration)에 의해 전력을 발생시키는 power circuitry 등이 있는데 이것 또한 MEMS로 구현 가능한 기술이다.

아래의 <그림 6>은 위에서 기술한 다양한 에너

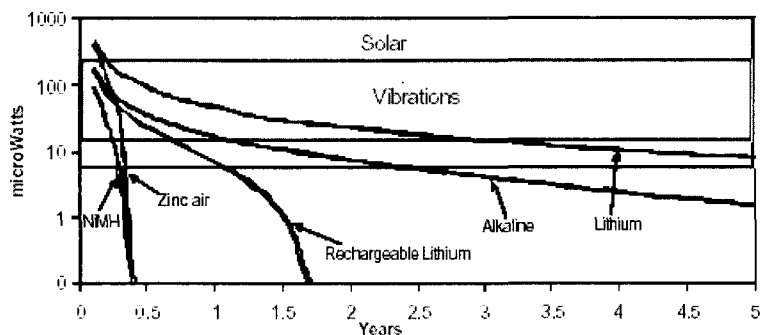
지원으로부터 발생시킬 수 있는 전력의 수명과 potential output에 관한 비교를 도식화 한 것이다.

<그림 6>에서 위의 두 개의 박스는 solar cell과 진동에 의해 얻어지는 전력의 범위를 나타내고 있다. solar cell에 관한 윗부분은 한낮의 태양광선으로부터 발생될 수 있는 전력을 나타내고 아랫부분은 보통의 사무실 조명환경 하에서 발생될 수 있는 전력의 범위를 표시하고 있다. 중간부분의 진동에 의한 전력부분은 가정용 전기기구와 같이 우리 주변에서 흔하게 접할 수 있는 미소 진동원으로부터 발생시킬 수 있는 전력의 범위를 나타내고 있다.

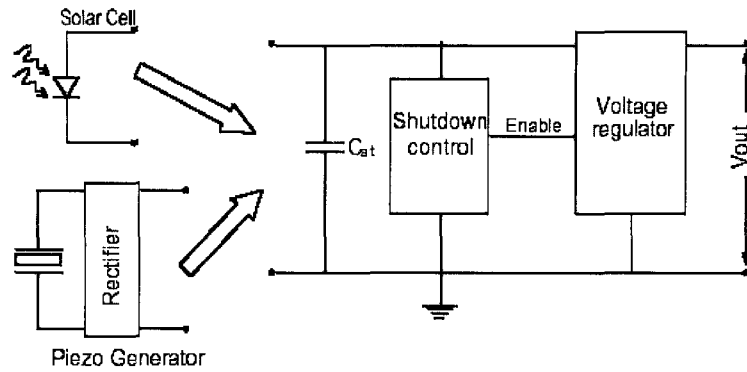
<그림 6>에서 알 수 있듯이 초저전력의 컴퓨팅 소자의 예측 수명이 1년 이상인 경우 solar cell과 진동원이 1차 전지보다 훨씬 더 나은 에너지원이 될 수 있으며 이러한 기술들이 유비쿼터스 환경을 지원할 수 있는 self-powered 초저전력 컴퓨팅 소자의 구현에 필수적이라 하겠다.

이와 같이 자체 전력을 발생시키기 위해서는 energy scavenging circuitry의 기술이 핵심적인데 이러한 기능을 수행하는 power conditioning circuit의 한 예를 <그림 7>에서 간단하게 나타내었다.

<그림 7>에서 power circuit은 주위의 다양한 에너지를 안정된 공급 전압으로 변환하게 되는데 이것은 high impedance의 불안정한 전원을 low impedance의 안정된 전원으로 변환함을 의미한다. 여기서 capacitor는 에너지 저장소



<그림 6> Power density와 lifetime 비교



〈그림 7〉 Power conditioning circuit

의 역할을 하게 되고 capacitor가 정해진 에너지 레벨까지 충전되면 회로로 에너지가 공급되어 전력이 소비되게 된다. 실제 초저전력 컴퓨팅 소자의 transmitter가 solar cell 혹은 압전소자가 전력을 만들어내는 것보다 더 빠르게 전력을 소비할 것이므로 capacitor에 걸리는 전압은 무선 링크가 on 상태가 되면 낮아지게 된다. 한편 에너지가 shutdown control 블록에서 정의해 놓은 레벨까지 떨어지게 되면 전원 공급은 중단되고 capacitor는 다시 충전되게 된다. 이와 같이 MEMS 기술을 이용하여 구현할 수 있는 간단한 자체 전력 공급 회로에 대해 간단하게 살펴 보았다.

IV. 초저전력 컴퓨팅 통신 소자의 개발동향

미래 정보산업의 핵심이 유비쿼터스 환경으로 예측됨에 따라 이러한 환경을 구축하기 위해서는 초저전력 컴퓨팅 통신 소자 관련 기술 개발이 핵심적이며 이러한 기술에 의해 산재된 산업 및 가정용 기기들에 지능형 무선 노드 기능을 제공하여 이들간의 임의의 네트워킹을 통한 다양한 서비스를 가능하게 하는 것이 필수적이다.

따라서 현재 유비쿼터스 컴퓨팅 네트워크 인프라를 구축할 수 있는 근거리 통신용의 초저전력 컴퓨팅 통신 소자와 관련한 기술 개발 및 표준화

경쟁이 본격화 되었으며 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 초소형, 저전력, 저속용의 컴퓨팅 통신 소자와 관련한 기술 개발 및 표준화에 이미 착수한 상태이다.

특히 미국에서는 Philips, Motorola 등의 우수 정보통신 업체들이 근거리 통신용으로 블루투스 혹은 무선랜을 대체할 초저전력, 저가의 컴퓨팅 통신 소자 기술의 개발을 진행중이며 Butterfly Communication, Commcepts, RF Monolithics, AMD, Panasonic과 같은 업체들에서도 유비쿼터스 통신용 컴퓨팅 통신 소자의 저전력화를 위한 MAC 계층에 대한 표준화 작업을 진행하고 있다. 더욱이 미국내 대학 연구소에서에서도 초저전력의 컴퓨팅 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 이 가운데 UC Berkeley내 무선 연구 센터에서는 무선 센서, 모니터 등을 이용한 근거리 통신용의 초저전력 컴퓨팅 소자에 대한 연구가 활발히 진행 중이며 미 국방부 산하 방위고등연구계획청(DARPA)의 프로젝트로 2002년부터 본격적인 연구 및 개발에 착수한 상태이다.

한편 일본에서는 ‘어디에서나 컴퓨팅 환경’이라는 미래를 겨냥한 신기술 체제의 확립을 목표로 TRON(The Realtime Operating System Nucleus) 프로젝트에서 출발하여 네트워킹을 중심으로 본격적인 유비쿼터스 추진을 계획하고 있다. 또한 일본전기(NEC), 히타치, 후지쯔 등의 정보통신 업체들은 유비쿼터스 컴퓨팅 네트워크

의 조기 실현을 위해 관련 송수신 소자 및 센서 기술, MAC 및 라우팅 기술, 모빌리티기술, 트랙픽 엔지니어링기술, 에이전트기술의 연구개발에 역점을 두고 있다.

유럽에서는 2001년에 시작된 사라지는 컴퓨팅(Disappearing Computing)을 중심으로 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 대한 대응 전략을 모색하고 있는데 disappearing computing은 컴퓨팅 기술을 일상사물 및 환경 속에 보이지 않게 통합하여 컴퓨터의 존재를 의식하지 않도록 인간의 생활을 지원 및 개선하기 위한 유비쿼터스형 컴퓨팅 소자 및 프로토콜 기술로 16개 이상의 프로젝트를 EU국의 대학, 연구소 및 기업 등의 공동 연구로 수행하고 있다. 그 대표적인 예로는 스위스, 독일, 핀란드, 스웨덴 등의 연구기관들이 주축이 되어 수행하는 Smart-Its 프로젝트가 있다. 아래의 표는 각국에서 진행되고 있는 유비쿼

터스 컴퓨팅 소자 및 네트워크 연구관련 프로젝트들을 간략하게 정리해 놓은 것이다.

유비쿼터스 환경 구축을 위한 근거리 통신용 저전력 컴퓨팅 통신 소자의 연구 및 개발과 관련된 대표적인 표준화 단체는 미국 표준인 IEEE 802.15.4이다. 이러한 표준을 바탕으로 Honeywell, Invensys, Motorola, Mitsubishi, Philips 등의 5회사를 주축으로 구성된 Zigbee Alliance라는 산업계 표준 단체가 구성되어 근거리 통신용 저전력 컴퓨팅 통신 소자의 조기 개발과 시장 진입을 위한 표준을 개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 Zigbee Alliance는 해외 우수 정보통신 업체들은 물론 국내 삼성전자 및 전자부품연구원(KETI)을 비롯한 약 50여개의 회원사들을 확보하고 있는 상황이다.

한편 국내에서는 최근에 이르러 유비쿼터스 컴퓨팅 통신 소자 관련 핵심 기술에 대한 중요성이 인식되었으며 따라서 미국, 일본, 유럽등의 선진국에 비해서는 초기 연구단계에 불과한 실정이다. 이러한 상황에서 정부의 주도적인 정책에 산업자원부에서는 IT산업의 새로운 돌파구를 마련하고, 새로운 정보화 패러다임으로 급속히 전환되고 있는 유비쿼터스 환경에 적극 대처하기 위하여 2003~2008년 까지 향후 5년 동안 280억 원을 투입하여 Smart Dust(스마트 먼지) 칩을 포함하는 유비쿼터스 컴퓨팅 통신 소자 관련 핵심 기술을 개발하여 수출전략 상품화하기로 하였다. 또한 정보통신부는 정보인프라의 질적 고도화를 추구하는 '제3차 정보화촉진기본계획(2002~2006년)'에 유비쿼터스 패러다임의 기본 개념을 반영키로 하여 유비쿼터스 컴퓨팅 시대의 개막을 예고하고 이의 기반기술을 기획하는 단계이다.

〈표 2〉 각국의 유비쿼터스 관련 프로젝트

국가	프로젝트	개 요
미국	CoolTown	유비쿼터스형 미래도시
	Smart Tag	스마트 태그에 의한 사물의 지능화
	MiThtil	컴퓨팅 환경 구축 목표
	Oxygen	유비쿼터스 환경 구축
	Smart Dust	초소형의 센싱기능 및 통신 기능을 가진 시스템 소자
	Easy Living	센서를 통한 위치 기반 서비스와 자동화 서비스
일본	초소형 칩 네트워크 프로젝트	초소형 칩에 의한 유비쿼터스 네트워크를 구성
	무엇이든 MY 단말 프로젝트	어떤 단말도 자신의 단말로 이용 가능하게 하는 기술
	어디에서든 네트워크 프로젝트	유비쿼터스 네트워크 환경 구현
유럽	Smart Its Project	일상사물에 Smart Its를 삽입하여 지능화

V. 결 론

세계적으로 인터넷 이후 새로운 경제·사회·문화적 패러다임으로 언제 어디서나 어떠한 기기를 이용하더라도 네트워크에 접속하여 정보를 교

환할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 네트워크가 부상하고 있는바 이러한 네트워크 인프라를 구성할 초저전력 컴퓨팅 통신 소자 관련 기술이 새로운 이슈로 떠오르고 있다.

이러한 기술이 아직 태동단계임에도 불구하고 그 중요성이 날로 증가됨에 따라 선진국을 중심으로 해당 산업의 활성화 및 관련 기술 선점을 위한 표준화 작업이 이미 진행되고 있다. 더욱이 초저전력 컴퓨팅 통신 소자 기술은 향후 3~5년 내에 사이버 아파트, 자동화 오피스, 자동차, 병원, 백화점, 공항 등에서 invisible network로 구현될 지능형 공간(smart space) 개념을 현실화하는 핵심 기반 기술이 될 것이 확실하다.

이러한 초저전력 컴퓨팅 통신 소자와 관련한 핵심 설계기술 등의 확보가 선진국에 비해 상당히 뒤져있는 국내 비메모리 관련 기술 분야의 비약적인 발전을 위한 견인차 역할을 할 것으로 기대된다. 또한 이러한 기술을 바탕으로 한 유비쿼터스 네트워크의 확장에 따른 고속 네트워크 인프라 구축으로 전자상거래 등의 e-비즈니스 산업을 뛰어넘는 포괄적 유비쿼터스 상거래(u-commerce)를 촉진하여 국가 산업 및 경제 활성화 뿐만 아니라 그에 따른 막대한 고용창출 효과도 예상할 수 있다. 더욱이 이러한 유비쿼터스 인프라 구축용의 초저전력 컴퓨팅 통신 소자 관련 고부가 핵심 기술에 의해 정보통신(IT)·바이오(BT)·나노(NT)·환경(ET)분야 기술들의 컨버전스(convergence)가 유도될 수 있으며 이러한 컨버전스가 국가 기간산업의 첨단화·고도화로 산업 체질 및 구조 개선에 이바지할 것으로 전망된다.

따라서 초소형 컴퓨팅 통신 소자 관련 핵심 기술에 대한 정부 및 관련 산·학·연 중심의 적극적인 투자와 연구 및 개발로 현재 초기 단계에 있는 관련 기술에 대한 국제 표준화를 선도하여 관련 원천 기술에 대한 기술적 우위를 확보함으로써 국가 경쟁력을 제고하여 다가오는 유비쿼터스 시대에 대비하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] P.-F. Lu et al., "Floating-Body effects in Partially Depleted SOI CMOS Circuits," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol.32, no. 8, Aug. 1997, pp.1241-1253
- [2] B. Doyle, R. Arghavani, D. Barlage, S. Datta, M. Doczy, J. Kavalieros, A. Murthy and R. Chau, *Intel Technology Journal*, Vol. 6, 2002, p. 42.
- [3] Y. Kado et al., "Mixed-Signal LSI Technology using SOI Devices for Fingertip-Sized Communicator," *Electrochemical Society. Proc.*, vol. 2001, no. 3, Mar. 2001, pp.277-288
- [4] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarabramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, August 2002, pp. 102-114.
- [5] K. Sohrabi, G. Pottie, "Performance of a novel self-organization protocol for wireless ad hoc sensor networks," *Proc. IEEE 50th Vehicular Technology Conference*, 1999, pp.1222-1226.
- [6] K. Sohrabi, et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Pers. Commun.*, Oct. 2000, pp.16-27.
- [7] A. Woo, and D. Culler, "A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks," *Proc. ACM MobiCom '01*, Rome, Italy, July 2001.
- [8] S. Cho, A. Chandrakasan, "Energy Efficient Protocols for Low Duty Cycle Wireless Microsensor," *Proc. IEEE ICASSP '01*, May 2001, pp. 2041-2044.
- [9] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for

Wireless Sensor Networks," *IEEE INFOCOM2002*, New York, NY, USA, June, 2002, pp.1567-1576.

- [10] Shenck, N. S., Paradiso, J. A., 2001. "Energy Scavenging with Shoe-Mounted Piezoelectrics." *IEEE Micro*, 21 (2001) 30-41
- [11] Amirtharajah, R., Chandrakasan, A. P., "Self-Powered Signal Processing Using Vibration-Based Power Generation," *IEEE JSSC*, Vol. 33, No. 5, pp. 687-695

저자 소개



원 광 호

1989년 단국대학교 전자공학과 (학사), 2003년 중앙대학교 정보통신(석사), 1991년 7월~1997년 3월 : (구)현대전자 정보통신 연구소, 2003년 3월~현재 : 전자부품연구원 유비쿼터스컴퓨팅연구센터 책임연구원, <주관심 분야 : Ubiquitous Computing, 무선통신용 RFIC, 무선통신시스템>



송 병 철

1994년 명지대학교 전자공학과 (학사), 1996년 명지대학교 전자공학과(석사), 1996년 ~현재 : 전자부품연구원 유비쿼터스 컴퓨팅연구센터 선임연구원, <주관심 분야 : Ubiquitous Computing, Sensor Network Protocol, 4G Communication>



박 용 국

1994년 중앙대학교 전자공학과 (학사), 1996년 중앙대학교 전자공학과(석사), 1996년 1월~2001년 8월 : (주)한화/정보통신 중앙연구소, 2001년 9월~현재 : 전자부품연구원 유비쿼터스컴퓨팅연구센터 선임연구원, <주관심 분야 : 휴대인터넷, Ubiquitous Computing, 무선통신용 RFIC>



김 재 호

1996년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과(학사), 2000년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과(석사), 2000년~현재 : 전자부품연구원 유비쿼터스 컴퓨팅연구센터 선임연구원, <주관심 분야 : Personal Area Networking, Ubiquitous Networking, Sensor Network Protocol>