

IoT 반도체 기술 및 SoC 플랫폼

조경록 (충북대학교)

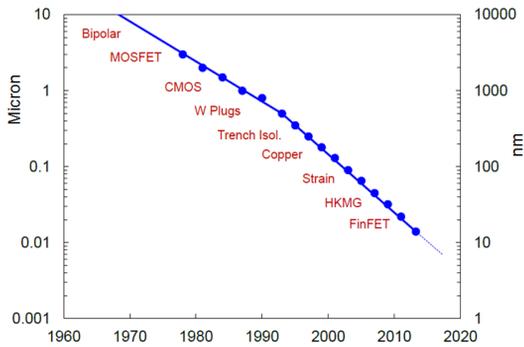
목 차	1. 서 론
	2. IoT용 SoC아키텍처
	3. IoT용 저소비 전력SoC
	4. IoT용 SoC플랫폼 보드
	5. IoT용 저전력 회로설계기술
	6. 결 론

1. 서 론

무어의 법칙은 인텔 창업자인 Gordon Moore 씨가 1965년에 발표한 논문에서 언급한 반도체 제조에 관한 경험법칙으로 “칩에 집적화가 가능한 트랜지스터의 수는 12개월 단위로 2배로 증가한다” 라는 내용이나 인텔이 기술 발전을 감안하여 24개월 단위로 2배 증가하면 대부분 업계에서 동의 한다. 그러나 이러한 주장이 언제까지 지속될 수 있는가의 관심이 집중되는 사이에 IBM 기초연구소가 7nm 칩을 제작했다는 연구 결과가 발표되었다. 그리고 이 기술은 2017년이나 2018년에 상용화된 제품이 출시 될 것으로 보고 있으며 적어도 무어의 법칙이 2018년 까지는 유효하다고 볼 수 있다. 이 법칙이 유지될 수 있었던 것은 칩의 배선폭을 좁게 만드는 기술에 의한 것이라고 할 수 있다. 칩의 배선폭이 7nm

를 넘어 3nm 정도이면 한계가 있을 것으로 생각되며 이 정도의 미세한 선로에 전류가 흐르는 것은 전류라고 하기 보다는 숫자를 셀 수 있을 만큼의 전자가 흐르고 있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 지금까지의 기술로 보면 65nm 이하에서는 트랜지스터에 전류가 흐르면 전자가 누설되어 완전하게 온-오프 되지 않는 현상이 일어나고 이 현상은 미세화에 따라 급격하게 발생한다. 따라서 미세한 배선에서는 회로 동작이 성립하지 않는 물리적인 한계가 있고 5-7nm가 여기에 해당 된다고 볼 수 있다. 이러한 상황을 종합해 보면 더 이상 무어의 법칙이 유지되기는 어려울 것으로 보여진다.

IoT 제품의 시장이 열리고 있으나 기술혁신과 투자가 서로 맞물리고 있으며, 기존의 기기들이 스마트화 하는 데는 시간이 어느 정도 필요하나 2020년에는 200억대 이상의 IoT 제품이 판매 될 것을 보고 있다. 또한 IoT 시장은 다양하게 존재

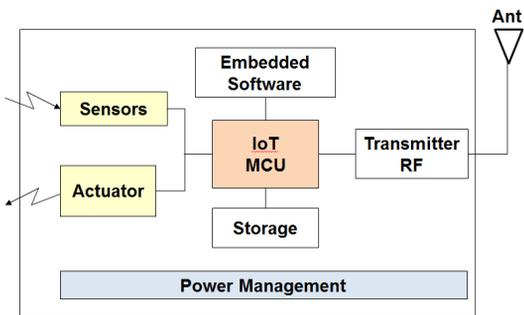


(그림 1) 소자의 종류와 공정의 연도별 기술추이

하고 있고 대단히 세분화 되어 있다. 주요 분야로는 피트니스 건강관련 웨어러블, 인포테인먼트, Machinr-to Machine 등의 새로운 어플리케이션이 주를 이루고 있으나 물리적인 크기와 소비전력이 가장 이슈로 등장 한다. 특히 소비전력을 위해서는 기존에 사용되고 있는 기술보다 대단히 혁신적인 저전력 기술로 장시간 배터리로 동작을 하는 조건을 충족해야 한다.

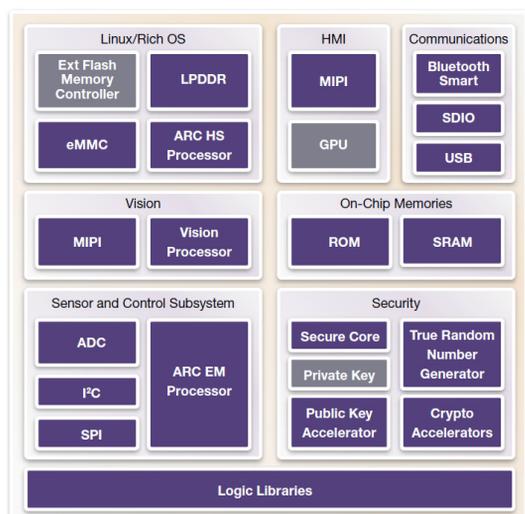
2. IoT용 SoC 아키텍처

(그림 2)는 IoT 네트워크에 연결되는 무선센서 노드로 센서에서 감지되는 신호가 안테나를 타고 또 다른 네트워크나 서버로 전송되는 단말기 플랫폼이다. 플랫폼의 핵심은 사용되고 있는 MCU로 모든 제어를 담당하고 있다. 여기에 사



(그림 2) 무선 센서노드의 구성

용되는 SoC의 아키텍처는 크게 어플리케이션·프로세서(high-end), 프로세서(low-end), 스마트·아날로그의 3종류로 분류된다. (그림 3)과 같이 High-end 프로세서는 MMU, GPU등을 내장할 수 있으며, 스마트폰이나 태블릿에 사용되는 Android 혹은 Linux 등의 OS를 탑재 할 수 있다. 여기에 비해 Low-end 는 마이크로 컨트롤러 혹은 어플리케이션 프로세서를 탑재 하고 있어 real time OS를 탑재 하는 것이 많다. 이러한 SoC IP들이 하나의 칩에 내장되어 무선으로 접속되고 있으며, 여기에 공정을 제공하는 파운드리 회사는 무선접속 솔루션을 다양하게 준비하고 있다. IoT용 SoC는 사용용도에 따라 요구 사항이 달라 IP제공사는 광범위한 포트폴리오와 설계환경을 제공하고 있다. 유선 및 무선 인터페이스 IP, 보안 IP, 임베디드 메모리, 로직 라이브러리, 프로세서와 아날로그 IP를 제공하고 있다. 뿐만 아니라, 하이 엔드 시스템의 설계 요구를 제공하고 저가형 마이크로 컨트롤러와 스마트 아날로그 SoC도 제공해야 한다.

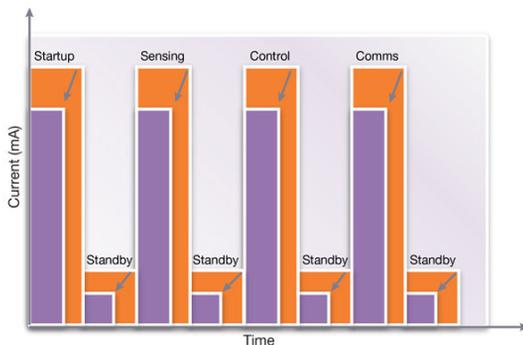


(그림 3) High-end 프로세서의 아키텍처

3. IoT용 저소비 전력 SoC

(그림 4)는 IoT 노드가 시간의 경과에 따라 전력소비 패턴을 나타내는 것으로 초기에는 시스템의 부트에 전력을 사용하고 대기모드로 넘어가면서 센싱 준비가 된다. 센싱 후에는 데이터를 준비하고 이를 통신으로 네트워크에 올려 보내는데 전력을 사용한 후에 다시 대기 상태로 돌아간다. 따라서 대기 상태에서 저전력을 유지하는 것이 중요한데 이는 사용하는 로직, 메모리관리 정책 등에 좌우되며, 전력소비 프로파일에서 각 기능별로 소비전력을 줄이는 방법은 다음과 같다.

- 시작할 때 메모리에 로딩 시간을 길게 하여 초기전류를 줄이거나 부트로더를 MCU가 fetch 하지 않고 ROM에서 직접 읽도록 하는 옵션을 제공한다.
- 센서노드가 기동 후에 첫 신호를 감지하고 측정 및 계산을 수행 할 때까지 다양한 저전력 모드를 지원하여 가급적 필요한 모듈만 동작시키는 저전력 모드를 제공한다.
- 센싱 및 측정 중에 측정 사이클 및 측정 대기 상태를 줄여 소비전력을 줄일 수 있으며, 이는 아날로그 신호의 분해능과 변환 속도를 적절히 설정하고 동시에 인터페이스와 프로세서



(그림 4) IoT 기기의 전력소비 프로파일

코어를 서브시스템으로 결합하여 데이터 처리에 필요한 사이클 수를 줄인다.

- 복잡한 산술연산을 낮은 동작 주파수로 짧은 시간에 처리함으로써 소비 전력을 줄일 수 있다. 이렇게 처리기능을 높이고 센싱기능과 결합하면 전기적인 부품과 기계 부품의 비용도 절감할 수 있다. 예를 들어 모터의 토크제어 기능이 많이 향상되고 소형화되어 쿼드콥터 Drone에서 8개의 날개를 다는 것도 어렵지 않다.
- 통신을 할 타이밍과 데이터 페이로드 용량을 적절하게 조정하여 어플리케이션 프로그램의 동작회수를 줄이는 것도 도움이 된다.
- 필요한 회로만 항상 온(on)상태로 유지하고 나머지 블록은 슬립(sleep) 모드로 동작하는 저전력 아키텍처로 운영하여 누설전류를 줄여 소비전력의 최적화를 가져온다.

그러나 IoT 센서노드에서는 소비전력을 줄이는 것 이외에도 기능의 집적에 의한 시스템 비용 절감, 상호 인터페이스 및 보안 강화, 제품의 조기 출시 등의 과제가 남아있다.

4. IoT용 SoC플랫폼 보드

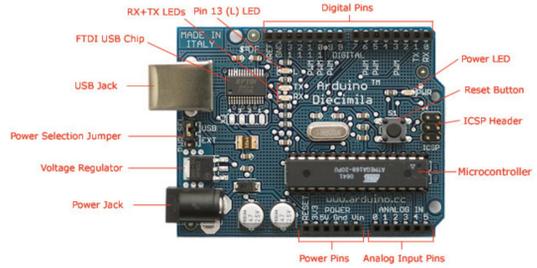
IoT를 개발하는 틀이나 환경을 제공하는 측면에서 보면 3가지 접근방식이 있다고 볼 수 있다. 첫째는 IDE (통합개발환경, IoT Development Environment)를 제공하는 업체, 둘째는 하드웨어 플랫폼 및 모듈IP를 제공하는 업체, 마지막으로 임베디드 OS를 제공하는 업체로 나누어 생각해 볼 수 있다. 여기에서 하드웨어 플랫폼은 잘 알려진 Auduino 보드를 비롯하여 (그림 5)와 같이 다양한 보드가 준비 되어 있다. 결론부터 이야기 하면 개발 당시에는 어느 보드를 사용하여

Catalyst BT	Intel® Atom™ SoC	
Catalyst CV	ULP Atom™ N2x00 Processor	
BitsyXb	Rich Graphics	
Vector	Intel® Atom™ in Low Power, EPIC SBC	
ALUDRA	single board computer	
ISIS	Intel® Atom™ Low Power PC/104 Plus	

(그림 5) 다양한 IoT 플랫폼

도 가능 하며, 용도에 따라 주변장치 구성을 고려하면 된다. 플랫폼 보드는 다양한 마이크로 컨트롤러 (MCU) 또는 CPU 아키텍처를 지원하여 의료, 전자 및 게임과 같은 특정 애플리케이션을 위해 만들어 졌다. (그림 6)과 같이 IDE가 디버깅 및 소프트웨어 개발 및 펌웨어 개발을 지원하고, 하드웨어 보드가 단일 마이크로 컨트롤러로 제공이 된다면 컴팩트한 개발 키트가 준비 되었다고 할 수 있다. 이러한 개발 키트에 (그림 6)의 아두이노 보드가 기여한 부분이 대단하다고 볼 수 있으며 아두이노 보드를 이해하는 것이 IoT를 제품화하는데 지름길이라고 할 수 있다.

아두이노는 플러그 앤 플레이 임베디드 프로그래밍을 위한 부트로더와 Atmel 마이크로 컨트롤러 제품군을 결합하는 구조가 기본이나 최근에는 다양한 프로세서를 탑재하는 보드도 제공하고 있다. 어플리케이션 프로그램 개발을 위하



(그림 6) Arduino 보드

여 개발환경 소프트웨어 IDE가 제공되어 디버깅을 쉽게 할 수 있다. 이 보드는 PWM 포트, USB 컨트롤러, ADC, LCD 포트 등 모든 것을 갖추고 있다. 전원도 5V 또는 센서를 구동하는 데 필요한 3V 및 USB 또는 9V 배터리를 연결하거나 전원을 공급할 수 있다. 아두이노는 USB 케이블을 통해 PC와 통신 할 수 있으며, 슬레이브 디바이스로 구성이 가능하여 여러개의 아두이노 보드가 시리얼 통신을 통해 연결할 수 있다. 또한 송수신 포트를 사용하여 지문 인식 센서와 같은 다른 주변 장치에 마스터가 될 수 도 있다.

5. IoT용 저전력 회로설계기술

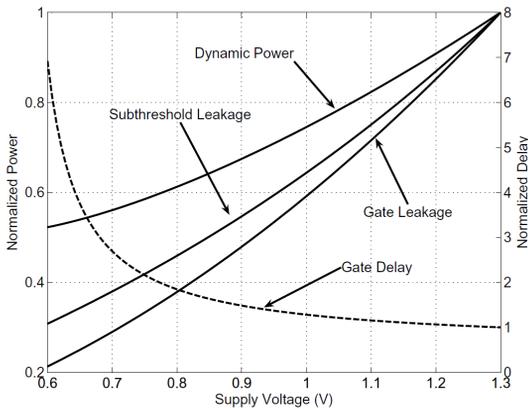
(그림 2)에서와 같이 IoT 시스템이 동작하는 모드를 보면 짧은 시간에 일어나는 동적 전력소비와 긴 시간을 점유하는 대기 전력소비가 있다. 전력 감소의 방법은 다수의 전원 전압을 사용하여 트랜지스터 회로를 적절하게 전원을 차단 및 공급 하는 것이고, 소비 전력은 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{dyn} = \alpha \cdot C_{eff} \cdot V_{dd}^2 \cdot f \quad (1)$$

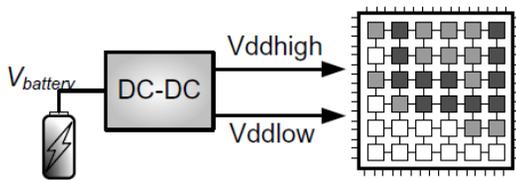
식(1)에서 C_{eff} 는 전체의 회로의 유효커패시턴스, α 는 스위칭 확률, V_{dd} 는 공급 전압이며,

f 는 클럭 주파수이다. 그러나 (그림 7)에서 보는 바와 같이 V_{dd} 가 감소하면 회로의 지연 (time delay)이 증가하여 전압 및 주파수의 동적 스케일링 (DVFS, dynamic voltage frequency scaling)을 상이한 레벨에 적용할 수 있다. DVFS에 대한 접근은 큰 모듈속에서 지연을 기준으로 하는 임계 경로를 파악하여 출력단에서 균등한 시간에 결과가 얻어지는 개념으로 (그림 8)과 같이 멀티 전원을 사용하여 구현하는 것이 일반적이다. (그림 8)은 Vdd high 와 Vdd low path가 있으며, 저속으로 동작하는 회로에 Vdd low를 공급하여 식(1)의 소비 전력을 줄이는 방법이다. 이런 시도는 회로를 병렬로 구성하여 속도를 1/2로 저하시키면 사용전압을 낮게 할 수가 있어 소비전력이 감소된다.

병렬 처리 아키텍처는 특히 디지털 신호 처리 응용에서 DVFS 로 전력소비를 줄이는 이점을



(그림 7) 전원전압에 따른 회로성능

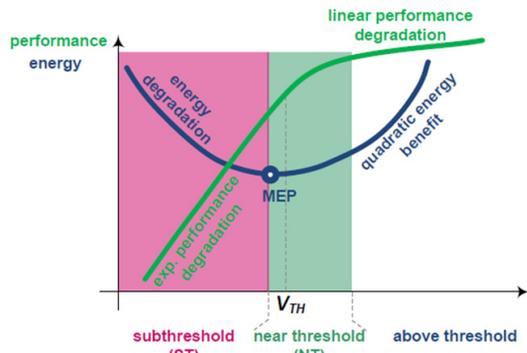


(그림 8) Multi-supply로 저전력화

제공한다. DVFS 설계 목표는 동적 및 누설전류를 모두 감소시켜 성능을 높이고 면적의 오버 헤드를 최소화하는 것이다. 실리콘 기술의 발전에 따라 낮은 전원 전압이 누설 전류의 증가를 가져와서 IoT처럼 대기 모드가 긴 시스템에는 중요한 문제가 된다.

최근에는 저전력을 위하여 표준 공급전압보다 낮은 NT(near threshold), ST(sub-threshold)에서 회로가 동작하여 소비전력을 줄이는 시도를 하고 있다. 특히 IoT에서는 이 기술이 유효할 것으로 보이는데, 센싱하는 데이터가 음성, 단순 온-오프 및 비디오 등 다양하므로 동작 속도가 MOPS에서 KOPS 사이에서 크게 변화한다. 그림9에서와 같이 NT와 ST사이에서 적절한 점을 찾으면 최적점이 얻어진다.

IoT시스템은 소비전력보다 파워의 공급이 더 문제가 된다고 볼 수 있으며 시스템에 어떻게 파워를 공급하느냐가 새로운 이슈이다. 이는 전력 소모가 적은 것과는 다르다. 대부분 최종 센서노드에는 배터리를 사용하는 것이 당연히 되고 있으나, 어떻게 수명을 연장하는가라는 문제에서 배터리에 에너지를 저장하는 시도를 하고 있다. 에너지 획득과 전력 소비 사이의 균형이 필요하다. (그림 10)은 전력 획득 및 소비의 균형을 해



(그림 9) NT, ST 모드에서 회로동작



(그림 10) IoT시스템에서 에너지 획득과 사용

결하기 위해 전력 획득 시간 및 전력 소비 시간을 나타낸다. 즉 전력은 지속적으로 얻어지고 사용은 특정 시간에 이루어진다. 최종 목표는 에너지 수확으로 배터리 없는 무선 센서 단자를 운영하는 것이다.

6. 결론

IoT는 지금까지 경험한 적이 없는 새로운 세계로 반도체 산업에 큰 시장으로 다가 오고 있으며, 이미 우리 생활에 밀접하게 다가와 있다. 그러나 아직도 해결해야 할 부분이 많이 있고 이는 대부분 반도체 관련 기술이라 볼 수 있다. IoT는 시스템을 저전력으로 운영하는 것이 관건으로 이는 아키텍처, 소자기술, 운영기술 등이 복합적이며, 에너지 소모를 줄이고 특히 에너지를 외부에서 획득하여 시스템을 운영하는 노력이 필요하다.

yst%20BT

[5] https://www.synopsys.com/dw/doc.php/dso/internet_of_things_brochure.pdf

[6] Takashi Nakada *et al*, "Normally-off Computing for IoT Systems," IEEE Proc. ISoCC2015, Nov. 2015

저 자 약 력



조 경 록

이메일 : krcho@cbnu.ac.kr

- 1977년 경북대학교 (학사)
- 1989년 동경대학교 전자공학과 (석사)
- 1992년 동경대학교 전자공학과 (박사)
- 1979년~1986년 (주)LG전자
- 1992년~현재 충북대학교 정보통신공학부 교수
- 관심분야: 통신시스템 설계, 임베디드프로세서, 저전력 회로설계기술

참 고 문 헌

- [1] Andrew B. Kahng *et al*, "Enhancing the Efficiency of Energy-Constrained DVFS Designs," IEEE TRANS. ON VLSI SYSTEMS, VOL. 21, NO. 10, OCTOBER 2013
- [2] <http://www.synopsys.com/IP/market-segments/iot>
- [3] <http://www.eurotech.com/en/products/ISIS>
- [4] <http://www.eurotech.com/en/products/Catal>