

Chapter 128. 메모리 이야기

메모리는 컴퓨터에서 프로그램이나 데이터를 저장하고 실행시키기 위해 필요한 핵심적인 요소 중 하나이다. 메모리는 저장장치(storage)의 하나로 컴퓨터에서는 일반적으로 칩의 형태로 존재하며 ‘내부 저장장치 (internal storage)’라고도 불린다. 반면 ‘저장장치’는 디스크 형태의 외부 저장장치를 가리키는 것이 일반적이며 ‘외부 메모리’라고도 부른다. 이 장에서는 마이크로컨트롤러에서 흔히 사용되는 메모리를 중심으로 다양한 메모리의 종류와 용도에 대해 알아본다.

1. ATmega328의 메모리

마이크로컨트롤러는 컴퓨터의 메인보드에 해당하는 기능을 하나의 칩으로 집약시켜 놓은 싱글 칩 컴퓨터(single chip computer)이다. 컴퓨터가 동작하기 위해서는 최소한 3가지 종류의 메모리(또는 저장장치)가 필요하다. 이 중 두 가지는 메인보드에 포함되어 있지 않고 메인보드에 추가로 장착되는 것이 일반적인 하드디스크와 메인 메모리이다. 다른 한 가지는 중앙처리장치(CPU)에서 실제 연산이 수행될 때 필요한, 레지스터라 불리는 작은 용량의 고속 메모리로 CPU내에 포함되어 있다. 마이크로컨트롤러의 경우 하드디스크를 포함시키기에는 크기와 이동성 등에 문제가 있어 사용하지 하지 않는 것이 일반적이므로, ATmega328에는 위에서 언급한 3종류의 메모리에 대응하는 3종류의 메모리인 플래시 메모리, SRAM, EEPROM을 포함하고 있다. 다만 ATmega328의 3종류 메모리와 컴퓨터의 3종류 메모리는 1:1로 대응하지는 않으며 보다 자세한 내용은 ATmega328 소개 장을 참고하도록 한다.

2. ROM과 RAM

메모리는 크게 ROM과 RAM으로 나눈다. ROM은 Read Only Memory의 약어로, 이미 기록된 내용을 읽기만 할 수 있고 쓰거나 지울 수는 없는 메모리를 말한다. 컴퓨터의 부팅 과정에서 사용되는 정보를 저장하고 있는 BIOS 칩이 ROM에 해당하며, 그 크기는 수 메가바이트 정도이다. BIOS는 기본 입출력 시스템(Basic Input/Output System)의 약어로 컴퓨터의 하드웨어 요소들을 초기화 및 검사하고 운영체제를 시작하는 역할을 담당하고 있다. BIOS의 내용은 컴퓨터 생산 과정에서 결정되며 제조사에서 ROM의 형태로 만들지만, 최근의 BIOS는 제한된 횟수의 지우고 쓰기가 가능한 ROM 형태로 제작되어 수정이 가능하다. 컴퓨터뿐만이 아니라

휴대용 MP3 플레이어와 같은 장치에서도 기기의 초기 구동 과정과 동작을 담당하는 프로그램이 존재하는 경우가 대부분이며 이들 프로그램 역시 ROM으로 만들어지고 ‘펌웨어 업그레이드’를 통해 ROM의 내용을 수정하여 기능을 개선할 수 있도록 하고 있다. ROM의 장점 중 하나는 전원 공급이 중단되어도 내용이 사라지지 않는 비휘발성 메모리라는 점으로, 이러한 특징으로 인해 컴퓨터 등의 시스템에서 항상 유지하고 있어야 하는 정보를 저장하기 위한 용도로 사용된다.

RAM은 Random Access Memory의 약어로 단어 의미를 그대로 번역하면 ‘임의 접근 방식 메모리’ 정도가 되겠지만 실제로는 자유롭게 읽고 쓸 수 있는 메모리를 말한다. 임의 접근 방식은 순차 접근 방식(Sequential Access)과 비교되는 방법으로 자기테이프와 같이 기록된 순서로만 데이터를 읽는 메모리와 비교하기 위해 사용된 용어이다. 하지만 현재는 RAM이 고유 명사로 정착되어 ROM과 대비되는 메모리를 지칭하는 단어로 사용되고 있다. RAM은 ROM과는 달리 휘발성 메모리이다. 즉, 전원 공급이 중단되면 저장된 내용은 사라진다. 따라서 컴퓨터가 동작하고 있는 동안 변하는 값들을 기록하기 위한 메인 메모리로 사용되며, CPU 내부의 레지스터 역시 RAM의 한 종류에 해당한다.

3. ROM은 정말 읽을 수만 있나?

초기에 ROM은 위에서 설명한 것처럼 제조사에서 미리 내용을 기록시켜 놓고 변경할 수 없도록 만들었고 이를 마스크 롬(Mask ROM)이라 한다. ROM 제작에 사용된 데이터에 오류가 있다고 생각해 보자. 오류 수정을 위해서는 칩 자체를 교환하여야 하며, 칩을 다시 생산하기 위해서는 생산 라인을 수정해야 하는 등 많은 비용이 소요된다. 따라서 마스크 롬은 더 이상 제조되지 않으며 내용을 지우고 다시 쓸 수 있는 ROM이 사용된다. 내용을 지우고 다시 쓸 수 있다면 ROM의 정의와는 달라지지만 비휘발성 메모리라는 점은 동일하므로 아직도 ROM으로 불리고 있다.

내용을 기록할 수 있는 ROM 중 처음 소개된 ROM은 PROM(Programmable ROM)이다. PROM은 내용이 기록되지 않은 상태로 생산되어 전용 장치인 롬라이터를 통해 1회만 내용을 기록할 수 있다. PROM에 비트를 기록하는 각 셀에는 퓨즈가 포함되어 있어서 롬라이터를 통해 퓨즈가 끊어지면 0으로, 연결된 상태 그대로이면 1로 인식되는 방식으로 정보를 기록한다. 이처럼 PROM은 물리적으로 퓨즈를 끊어버리는 방식을 사용하므로 한 번 끊어진 퓨즈를 다시 연결할 수 있는 방법이 없어 내용을 1회 기록한 이후에는 마스크 롬과 동일한 상태에 놓이게 된다.

PROM을 개선하여 여러 번 지우고 쓰기가 가능한 ROM이 EPROM(Erasable PROM)이다.

EPROM의 윗면에는 자외선을 잘 통과시키는 석영 유리창이 윗면에 나 있고, 이 창을 통해 자외선을 쬔면 기록된 내용을 지울 수 있다. 내용을 지우기 위해서는 전용 장치인 롬 이레이저를 사용하지만, 태양빛에도 자외선이 포함되어 있어 오래 방치해두면 자연적으로 기록된 내용이 사라질 수 있으므로 내용을 기록한 후에는 창에 검정색 테이프로 막아 내용이 지워지는 것을 방지하였다.

EPROM이 전용 장치를 필요로 하는 단점을 개선하여 만들어진 ROM이 EEPROM(Electrically EPROM)으로 전기 신호를 이용하여 내용을 지우거나 기록할 수 있는 ROM이다. 전용 장치 없이도 간단하게 내용을 지우고 쓸 수 있어 컴퓨터의 바이오스 칩에 주로 EEPROM이 사용된다. 플래시 메모리가 출시된 이후 사용 빈도가 줄어들고 있지만 플래시 메모리에 비해 적은 용량의 메모리는 가격이 싸고 제어가 간단하기 때문에, 적은 용량의 메모리가 필요한 가전제품에서는 아직도 사용되고 있다. ATmega328에도 1K바이트 크기의 EEPROM이 포함되어 있어 프로그램의 설정 등을 저장하기 위한 용도로 사용될 수 있다.

4. 플래시 메모리

EEPROM은 바이트 단위로 데이터를 읽거나 쓸 수 있다. EEPROM의 읽기 동작은 메모리 중 가장 빠른 속도를 보이는 SRAM과 거의 비슷하지만, 쓰기 동작은 밀리초 단위의 시간이 필요해서 메인 메모리 용도로는 적합하지 않으며, 한 번 내용을 저장하면 오랜 시간 동안 이를 기억하고 읽기 용도로만 사용하는 경우에 주로 사용된다. 플래시 메모리는 EEPROM의 변형으로 1984년 도시바에서 처음 만들어졌다. 플래시 메모리는 바이트 단위로 읽기가 가능한 점에서는 EEPROM과 동일하나 쓰기 동작의 경우 블록 단위로만 수행할 수 있다는 점에서 차이가 있다. 블록의 크기는 제조사나 메모리 용량에 따라 다르지만 일반적으로 64바이트에서 128K바이트 크기가 사용된다. 플래시 메모리는 블록 단위의 쓰기만 가능한 단점이 있지만 EEPROM에 비해 구조가 간단하므로 대용량 메모리를 만들기에 적합하며, 블록 전체를 쓰는데 수 밀리초 정도가 걸리므로 대용량의 데이터를 기록할 때에는 EEPROM보다 빠른 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해 1988년에 NOR 게이트 기반의 상업용 플래시 메모리가 처음 소개된 이후 사용량이 증가하여 USB 메모리를 포함하여 대부분의 휴대용 장치에서는 플래시 메모리가 사용되고 있다. 하지만 플래시 메모리는 일반적으로 EEPROM에 비해 쓰기 가능한 횟수가 적다. ATmega328에 포함되어 있는 EEPROM의 경우 100,000회 쓰기를 보장하는 반면 플래시 메모리는 그 1/10인 10,000회 쓰기만을 보장하고 있다.

플래시 메모리는 내부 구조에 딸 크게 NOR 형과 NAND 형의 2가지가 있다. NOR 형은 메모리에서 직접 코드를 실행하는 어플리케이션에서 EEPROM을 대체하기 위해 설계되었다. 따라

서 NOR 형 플래시 메모리는 임의 접근 방식에서 읽기 시간을 최소화하는 구조로 만들어졌다. 반면 NAND 형 플래시 메모리는 대용량의 데이터 저장을 위해 설계되어서 읽기 속도는 NOR 형에 비해 느리지만 지우고 쓰기 속도는 NOR 형보다 빠르다. 또한 NAND 형 플래시는 집적도가 높아 NOR 형 플래시에 비해 약 40% 가격이 저렴하여 대용량 저장 장치에 주로 사용된다. 최근 하드디스크의 대안으로 떠오르고 있는 SSD(Solid State Disk) 역시 NAND 형 플래시 메모리로 만들어졌다. ATmega328에서 프로그램 저장을 위해 사용되는 메모리 역시 플래시 메모리이다.

5. SD 카드

SD(Secure Digital) 카드는 플래시 메모리를 사용하여 만들어진 외부 저장 장치 표준의 하나로, NAND 플래시 메모리와 메모리에 데이터를 읽고 쓰는 과정을 제어하는 컨트롤러로 구성된다. SD 카드는 스마트폰, 디지털 카메라, 태블릿 컴퓨터 등에서 널리 사용되고 있다. 2005년 발표된 SD 카드는 1997년 발표된 MMC(Multi Media Card)의 데이터 핀 수와 동작 클럭을 보완하여 만들어졌다. MMC의 규격이 개정되면서 SD 카드의 기능상의 장점을 찾기는 어려워진 것이 사실이지만 MMC를 사용하는 기기를 찾아보기 어려운 것도 사실이다. 하지만 칩 형태로 제작된 eMMC(embedded MMC)는 휴대용 기기의 저장용 메모리로 널리 사용되고 있다. MMC와 SD 카드의 표준은 거의 흡사해서 일부 SD 카드 리더기에서는 MMC 역시 읽을 수 있다. 그 하지만 MMC 리더기에서 SD 카드를 읽을 수는 없다. MMC가 NAND 형 플래시 메모리를 기반으로 만들어졌다면, CF(Compact Flash)는 NOR 형 플래시 메모리를 기반으로 만들어진 카드로 아직도 디지털 카메라에서 일부 사용되고 있다.

SD 카드는 최대 2 테라바이트의 용량을 가질 수 있으며 2 기가바이트 이하의 용량을 표준 SD 또는 SDSC (Standard Capacity), 4기가바이트에서 32기가바이트까지의 용량을 SDHC (High Capacity), 그 이상을 SDXC (eXtended Capacity)로 구별하여 부르고 있다. SD 카드는 그 크기에도 세 가지 종류가 있으며 각각 SD, mini SD, micro SD라고 부르며, 휴대용 기기에서는 마이크로 SD 카드가 주로 사용되고 있다.



그림 1. 마이크로 SD 카드

아두이노에는 SD 카드 사용을 위한 하드웨어를 기본으로 포함하고 있지는 않지만 SD 카드 사용을 위한 SD 라이브러리를 기본으로 제공하고 있어 대용량의 데이터 저장이 필요한 경우 사용할 수 있다. SD 라이브러리는 FAT16과 FAT32 파일 시스템을 지원하며, 사용할 수 있는 카드의 용량은 최대 32기가바이트로 표준 SD 카드와 SDHC 카드를 사용할 수 있다.

6. eMMC

아두이노의 경우 외부 저장장치를 포함하고 있지 않지만 최근 발매되고 있는 마이크로컨트롤러 보드의 경우 외부 저장장치로 eMMC를 포함하고 있는 경우를 종종 볼 수 있다. eMMC는 embedded Multi Media Card의 약자로 메모리 컨트롤러와 플래시 메모리를 하나의 칩으로 구현되어 보드에 장착된다. 스마트폰 등 모바일 기기에서 탈착이 불가능한 저장용 메모리에 eMMC가 사용되며, 싱글 보드 컴퓨터 중 하나인 비글본블랙(BeagleBone Black)에서도 4G바이트의 eMMC가 저장장치로 포함되어 있다.

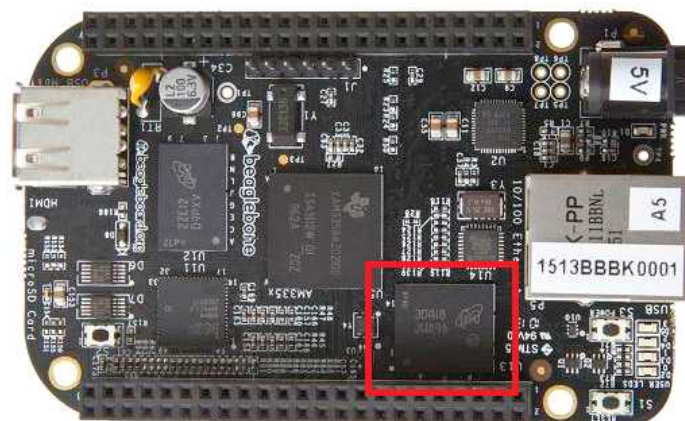


그림 2. 비글본 블랙

7. SSD

eMMC가 임베디드 시스템에서 상대적으로 적은 용량의 저장장치를 위해 사용된다면 SSD(Solid State Drive)는 하드디스크 대용으로 대용량의 고속 저장장치를 위해 사용된다. 전통적인 기계식 동작을 기반으로 하는 하드디스크에 비해 SSD는 기계적인 장치 없이 NAND 형 플래시 메모리에 정보를 저장하므로 빠른 속도와 높은 안정성을 가지고 있으며 소음, 발열, 전력 소모 등이 적어 소형화, 경량화가 가능한 등 여러 면에서 장점이 있다. SSD는 크게 데이터 저장을 위한 플래시 메모리, 데이터 교환을 제어하는 컨트롤러, 캐시 메모리 역할을 하는 DRAM의 세 부분으로 구성되어 있다.



그림 3. SSD

SSD는 플래시 메모리를 바탕으로 하므로 쓰기 횟수에 제한이 있다. 일반적으로 SSD는 일상적인 사용에서 10년 이상의 수명을 보장하는 것으로 알려져 있으므로 빈번한 쓰기 작업이 발생하는 환경이 아닌 경우에는 수명 걱정을 크게 할 필요는 없어 보인다. 또한 동일한 위치의 반복적인 쓰기를 감소시키는 균등 분배 기술 (wear leveling), 비트 오류의 복구가 가능한 오류 정정 알고리즘의 채택 등으로 수명은 더 늘어날 것으로 보인다. 최근에는 SSD의 빠른 속도와 eMMC의 저전력 특징으로 하는 새로운 포맷인 UFS(Universal Flash Storage)가 주목받고 있다.

8. DRAM과 SRAM

지금까지 살펴본 메모리들은 비휘발성 메모리 종류인 ROM으로 쓰기에 비해 읽기가 빈번한 경우에 적합하다. 하지만 CPU에서 연산이 수행되는 경우 잦은 쓰기는 피할 수 없으며 이 때

사용되는 메모리가 컴퓨터에서 흔히 메인 메모리라고 불리는 RAM이다. RAM은 크게 동적 RAM (Dynamic RAM, DRAM)과 정적 RAM (Static RAM, SRAM)의 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 동적과 정적의 차이는 전원이 공급되고 있는 동안 기록된 데이터가 보존되는지의 여부에 있다. SRAM의 플립플롭을 바탕으로 만들어진 메모리로 한 번 기록된 데이터는 전원이 공급되는 동안 계속 남아있다. 반면 DRAM은 커패시터에 전하를 저장하는 방식으로 데이터를 기록하므로 일정 시간이 지나면 방전으로 인해 데이터는 사라진다. 따라서 일정 시간 간격으로 커패시터를 충전하여야 하며 이를 리프레시(refresh)라고 한다. SRAM은 DRAM에 비해 최대 20배 이상의 속도로 동작할 수 있지만 가격이 비싸 대용량의 메모리를 만들기에는 적합하지 않다. 따라서 CPU내의 레지스터나 캐시 메모리로 주로 사용된다. 반면 DRAM은 구조가 간단하여 집적도를 높이기가 용이하고 소비 전력이 적어 메인 메모리로 주로 사용된다. ATmega328에는 SRAM이 포함되어 있지만 DRAM은 사용되지 않는다.

최근 사용되고 있는 메모리의 대부분은 DDR SDRAM이다. SDRAM은 Synchronous DRAM의 약자로 클록에 동기화하여 메모리 동작이 일어나는 동기식 DRAM을 말한다. SDRAM은 인텔의 펜티엄 CPU 발표 당시 CPU 클록과 메모리 동작을 동기화시켜 DRAM의 성능을 개선하기 위해 만들어졌다. 하지만 이후 더 높은 클록의 CPU가 발표되었지만 메모리의 속도는 이를 따라가지 못하게 되어 CPU와 메모리의 속도 차이는 증가하게 되었고 이를 해결하기 위한 방법으로 도입된 것이 DDR(Double Data Rate)이다. DDR은 SDR(Single Data Rate)과 대비되는 개념으로, SDR은 각 클록 펄스의 상승 또는 하강 시점에서 한 번만 정보를 전송하는 것을 의미한다. 이에 비해 DDR은 상승 및 하강 시점에서 두 번 정보를 전송함으로써 동작 주파수의 증가 없이 전송 속도를 2배까지 상승시킬 수 있는 방법이다. DDR의 동작주파수를 높이고 소비 전력을 줄이는 등의 개선을 통해 발표된 것으로 DDR2, DDR3 등이 있으며 이들은 이전 방법에 비해 최대 2배의 전송 속도를 얻을 수 있다. 하지만 하위 호환성이 없으므로 함께 사용할 수는 없다. 현재 시장에서 판매되는 메모리는 DDR3가 주종을 이루고 있고 DDR2와 동일한 핀 수를 가지고 있지만 슬롯에 있는 홈의 위치가 달라 쉽게 구별할 수 있다. DDR은 시장에서 거의 찾아볼 수 없다.

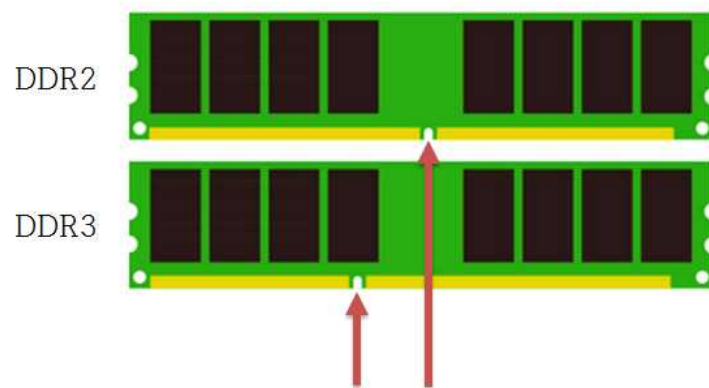


그림 4. DDR2와 DDR3 메모리 비교