

임베디드 설계를 위한 I2C/SPI 통신 정밀 분석 가이드

(The Essentials of Embedded Communication: I2C vs. SPI)

Application Note

Introduction / 서론: 마이크로컨트롤러의 통신 프로토콜 개요

임베디드 시스템의 두뇌 역할을 하는 마이크로컨트롤러(MCU)는 혼자서 모든 일을 할 수 없습니다. 온도를 측정하는 센서, 모터를 제어하는 컨트롤러, 사용자 인터페이스 칩 등 다양한 주변 장치(Peripheral)와 끊임없이 정보를 주고받아야 합니다. 이때 마이크로컨트롤러와 주변 장치가 서로 '대화'하기 위해 사용하는 약속된 언어가 바로 통신 프로토콜입니다.

이 문서에서는 임베디드 시스템에서 가장 널리 사용되는 두 가지 통신 프로토콜, I2C와 SPI의 기본 원리를 알아봅니다. 이 두 기술이 어떻게 다른 장치들과 효율적으로 데이터를 교환하는지 이해하면, 임베디드 시스템의 동작 원리를 더 깊이 파악할 수 있게 될 것입니다.

1. I2C (Inter-Integrated Circuit)

I2C 개념 소개

I2C는 'Inter-Integrated Circuit'의 약자로, 이름에서 알 수 있듯이 집적 회로(IC) 간의 통신을 위해 만들어졌습니다. 1980년대 초 필립스(Philips)에서 컨트롤러와 주변 칩을 저비용으로 간단하게 연결하기 위해 개발한 이 기술은 오늘날 전 세계 임베디드 시스템의 표준 통신 방식 중 하나로 자리 잡았습니다.

핵심 구조 설명

I2C 통신은 '마스터-슬레이브(Master-Slave)' 관계를 기반으로 동작합니다.

- 마스터(Master): 통신을 시작하고 제어하는 주체입니다. 클럭 신호를 생성하고, 어떤 슬레이브와 통신할지 결정합니다.
- 슬레이브(Slave): 마스터의 요청에 응답하여 데이터를 보내거나 받는 장치입니다.

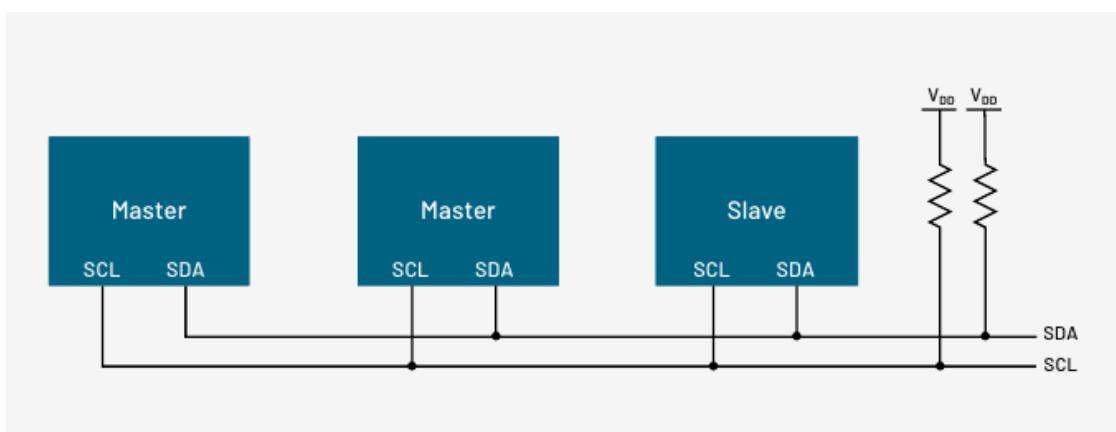


그림1. I2C 기본 구조

하나의 통신 회선(버스)에 여러 개의 마스터와 여러 개의 슬레이브가 연결될 수 있지만, 한 번에 단 하나의 마스터만이 버스를 제어할 수 있습니다. 각 슬레이브 장치는 고유한 주소(Address)를 가지고 있어, 마스터는 이 주소를 통해 통신할 대상을 정확히 찾아낼 수 있습니다. 또한, I2C는 다양한 속도를 지원하여 유연성을 제공합니다. 일반적으로 100kb/s(표준 모드), 400kb/s(고속 모드), 그리고 3.4Mb/s(초고속 모드)의 세 가지 전송 속도가 사용됩니다.

신호선 분석

I2C는 단 두 개의 신호선만으로 모든 통신을 처리하는 매우 효율적인 방식입니다. 두 신호선 모두 양방향(bi-directional)으로 데이터를 주고받을 수 있습니다.

신호선 이름	기능
SCL (Serial Clock)	마스터가 생성하는 클럭 신호선입니다. 데이터 전송 타이밍을 동기화하는 박자 역할을 합니다.
SDA (Serial Data)	실제 데이터가 오고 가는 데이터 신호선입니다.

데이터 전송 과정

I2C 메시지는 정해진 순서에 따라 여러 단계로 구성됩니다. 마스터는 이 순서에 맞춰 슬레이브에게 신호를 보냅니다.

1. Start (시작): 마스터가 버스의 제어권을 잡고 메시지 전송을 시작하겠다고 알리는 신호입니다.
2. Address(주소): 마스터가 통신하고자 하는 슬레이브의 고유한 7비트 또는 10비트 주소를 전송합니다. 버스에 연결된 모든 슬레이브는 이 주소를 듣고 자신의 주소와 일치하는지 확인합니다.
3. R/W Bit(읽기/쓰기 비트): 1비트 신호로, 마스터가 슬레이브에게 데이터를 쓸 것인지(Write) 또는 슬레이브로부터 데이터를 읽을 것인지(Read)를 결정합니다.
4. Ack(응답): 슬레이브가 주소나 데이터를 성공적으로 수신했음을 마스터에게 알리는 1비트 응답 신호입니다. 'Acknowledge'의 약자입니다.
5. Data(데이터): 실제 교환되는 데이터로, 8비트(1바이트) 단위로 여러 번 주고받을 수 있습니다.
6. Stop(정지): 마스터가 메시지 전송을 모두 마치고 버스의 제어권을 놓음을 알리는 신호입니다.

START	ADDRESS	R/W	ACK	DATA0	ACK0	DATA1	ACK1	...	DATAN	ACKN	STOP
7 or 10 bits	1 bit	1 bit	8 bits	1bit	8 bits	1bit	1bit	1bit	8 bits	1 bit	

I2C Data 구조 예시

이제 두 선만으로 효율적으로 통신하는 I2C에 대해 알아보았으니, 더 많은 선을 사용하지만 빠르고 유연한 SPI 통신 방식을 살펴보겠습니다.

2. SPI (Serial Peripheral Interface)

SPI 개념 소개

SPI는 'Serial Peripheral Interface'의 약자로, 1980년대 후반 모토로라(Motorola)에서 마이크로 컨트롤러와 주변 장치 간의 통신을 위해 개발했습니다. 단순성과 높은 인기로 인해 현재는 휴대폰, 디스플레이, 메모리 칩 등 다양한 임베디드 시스템에서 널리 사용되고 있습니다.

핵심 구조 설명

SPI 역시 '마스터-슬레이브' 구조를 기반으로 하지만, 일반적으로 4개의 신호선을 사용합니다. I2C와 가장 큰 차이점 중 하나는 데이터 송신과 수신이 동시에 이루어지는 '전이중(full-duplex)' 통신 방식이라는 점입니다. 즉, 마스터가 슬레이브에게 데이터를 보내는 동시에 슬레이브로부터 데이터를 받을 수 있습니다. SPI의 진정한 강점은 '유연성'에 있습니다. 기본적인 4선 방식 외에도 시스템 요구사항에 맞춰 다양하게 변형될 수 있습니다.

- ✓ **데이터 체인(Daisy-chain) 구성:** 여러 슬레이브를 직렬로 연결하여 하나의 SS 회선으로 제어할 수 있습니다. 데이터가 첫 번째 슬레이브를 거쳐 다음 슬레이브로 전달되는 방식입니다.
- ✓ **3선 SPI:** 슬레이브에서 마스터로 데이터를 보낼 필요가 없는 경우, MISO 회선을 생략하여 3개의 선만으로 통신할 수 있습니다.

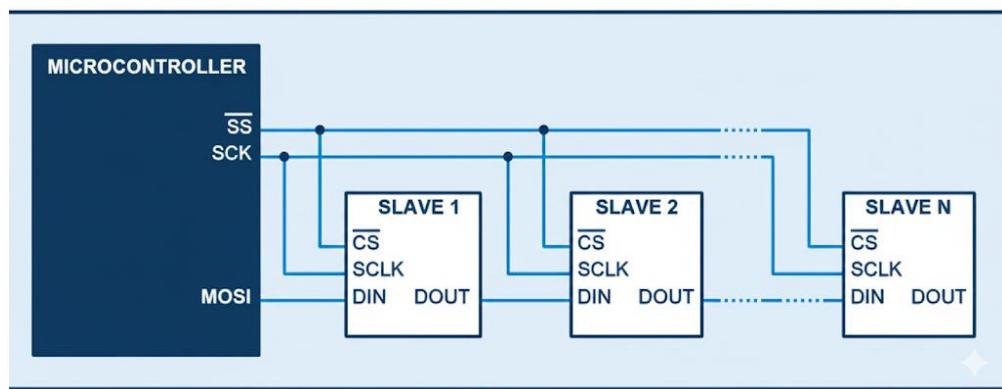


그림2. SPI 데이터 체인 구성



그림3. 3선 SPI 구성

신호선 분석

SPI는 기본적으로 4개의 신호선을 사용하여 통신합니다.

신호선 이름	기능
SCLK (Serial Clock)	마스터가 생성하는 클럭 신호로, 통신 타이밍을 동기화합니다.
MOSI (Master Out / Slave In)	마스터가 출력하고 슬레이브가 입력받는 데이터 선입니다. 데이터가 마스터에서 슬레이브로 나갑니다.
MISO (Master In / Slave Out)	마스터가 입력받고 슬레이브가 출력하는 데이터 선입니다. 데이터가 슬레이브에서 마스터로 들어옵니다.
SS (Slave Select)	마스터가 통신할 특정 슬레이브를 선택하는 신호선입니다.

3. I2C와 SPI: 핵심 차이점

두 프로토콜은 각각의 장단점이 있어 사용되는 환경이 다릅니다.

비교 항목	I2C	SPI
신호선 수	2 개 (SCL, SDA)	기본 4 개 (SCLK, MOSI, MISO, SS)
통신 방식	1 개의 양방향 데이터선(SDA)을 공유하므로, 송신과 수신이 번갈아 일어남	송신/수신선이 분리된 전이중 방식
장치 선택	각 장치의 고유 주소를 사용	개별적인 슬레이브 선택(SS) 신호선을 사용
하드웨어 복잡성	배선이 더 간단함	슬레이브가 많아질수록 더 많은 배선 필요

슬레이브 선택 방식

SPI는 I2C의 주소 방식과 다른 방법으로 통신 대상을 선택합니다.

- I2C: 고유한 주소를 방송하여 해당하는 슬레이브가 응답하게 합니다.
- SPI: 마스터가 통신하고 싶은 슬레이브에 개별적으로 연결된 SS 신호선을 활성화하여 대상을 지정합니다. 만약 3개의 슬레이브가 있다면, 마스터는 3개의 개별 SS 신호선을 사용하여 각각의 슬레이브를 선택해야 합니다.

4. 마무리

이번 Apps Note에선 임베디드 시스템의 두 가지 핵심 통신 프로토콜인 I2C와 SPI에 대해 알아보았습니다. 핵심 내용을 다시 정리하면 다음과 같습니다.

- I2C는 적은 수의 핀(2개)으로 여러 장치를 연결해야 할 때 매우 유용합니다. 하드웨어 배선이 간단하다는 큰 장점이 있습니다.
- SPI는 빠른 속도의 전이중(동시 송수신) 통신이 필요할 때 이상적입니다. 구조는 더 복잡하지만, 데이터 교환 효율이 높습니다.

리골의 오실로스코프는 I2C와 SPI 프로토콜 디코딩을 지원합니다. 어플리케이션에 따른 적절한 대역폭의 오실로스코프, 프로브의 선택으로 시스템 개발에 시간 단축에 도움이 될 수 있습니다.



I2C와 SPI의 기본 개념에 대한 이해는 이후 다양한 임베디드 시스템 프로젝트를 수행하는 데 있어 중요한 기초가 됩니다. 본 문서에서 다룬 내용을 바탕으로 각 통신 방식의 특성과 적용 환경을 이해한다면, 시스템 요구사항에 보다 적합한 통신 방식을 선택하는 데 도움이 될 것입니다.

<참고 문헌>

Tektronix - How to Troubleshoot System Problems Using an Oscilloscope with I2C and SPI Decoding Application Note