

# 유비플로어 II: 포토 인터럽터 센서들을 이용한 사용자 추적 및 인식 시스템

윤재석<sup>1</sup>, 류제하<sup>1</sup>, 우운택<sup>2</sup>  
광주과학기술원 기전공학과 HMCI 연구실<sup>1</sup>  
광주과학기술원 정보통신공학과 U-VR 연구실<sup>2</sup>  
{zapper<sup>1</sup>, ryu<sup>1</sup>, wwoo<sup>2</sup>}@kjist.ac.kr

## ubiFloorII: User Tracking and Identification System using Photo Interrupter Sensors

Jaeseok Yun<sup>1</sup>, Jaha Ryu<sup>1</sup>, Woontack Woo<sup>2</sup>  
KJIST HMCI Lab.<sup>1</sup>, KJIST U-VR Lab.<sup>2</sup>

### 요약

본 논문에서는 사용자의 발걸음 정보를 이용하여 사용자 추적 및 인식이 가능한 유비플로어 II 시스템을 제안한다. 유비쿼터스 환경에서 개인화 된 위치 기반 서비스를 제공하기 위해서는 사용자 및 위치 정보가 반드시 필요하다. 기존 시스템은 이를 위해 카메라 등의 비접촉 센서를 사용하거나 사용자가 항상 TAG 등의 센서를 휴대 하였다. 그러나 이들은 노이즈에 민감하거나 사용자에게 불편함을 주는 단점을 지닌다. 이를 극복하기 위해 제안했던 유비플로어 I 은 스위치 센서들의 각기 다른 기계적인 특성과 낮은 분해능으로 인해 성능의 한계가 있었다. 제안된 시스템의 구성은 다음과 같다. 먼저 마루 바닥의 각 셀(30×30cm)에 64 개의 포토 인터럽터 센서들을 깔고 마이크로 콘트롤러에서 센서들의 상태를 읽어 들인다. 읽어 들인 센서들의 상태 정보를 CAN(Controller Area Network)을 통해 서로 전달하고, 최종적으로 호스트 PC 는 모든 센서들의 정보를 받아 현재 사용자의 걸음걸이 패턴을 인식하고 사용자의 위치를 추적한다. 제안된 시스템은 구현 비용이 싸고, 센서 네트워킹을 구현하여 유지 보수 및 확장이 편리하다. 또한 사용자에게 특별한 장치나 주의를 필요로 하지않는 장점이 있다. 뿐만이 아니라, 제안된 시스템은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서의 사용자 친화적 인터페이스로도 사용될 수 있다.

Keyword : ubiFloorII, Photo interrupter, Sensor networking, User identification

### 1. 서론

유비쿼터스 환경에서 사용자에게 개인화 된 위치 기반 서비스를 제공하기 위해 다양한 형태의 사용자 추적 및 인식 시스템들이 개발되었다. 대표적인 예로서, Active Badge[1]와 BAT[2] 및 RADAR[3]등과 같은 RF TAG 시스템들은 각 센서의 고유한 ID 를 비교하여 사용자를 인식하였다. 이러한 RF TAG 시스템들은 무선 주파수를 통해 정보를 전달하기 때문에 사용자 주변 환경의 노이즈에 강한 장점이 있다. 그러나 사용자가 유비쿼

터스 환경에서 인식되기 위해서는 언제나 배지나 태그 등의 센서를 소지하여야 하는 불편함이 있다. 또한 일시적으로 방문하는 사용자를 위해서 임시적으로 센서를 지급해야 하는 불편함이 있다.

이렇게 센서를 휴대하는 방식의 추적 및 인식 시스템들의 단점들을 해결하기 위해 생물 측정 (biometric) 인식 시스템들이 개발되었다. 이 시스템들은 사용자의 홍채나 얼굴 또는 음성이나 지문을 분석하여 사용자를 인식하고, 따라서 사용자는 어떠한 형태의 센서도 휴대할 필요가 없다. 그러

\* 본 연구는 광주과학기술원 기관고유 사업과 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 ITRC 사업의 지원에 의한 것이다

나 생물 측정 인식 시스템은 아직까지 완벽한 결과를 보여주지 못하고 있다. 예를 들어 카메라에 기반한 시스템은 그림자나 빛의 세기의 변화에 인식이 민감하게 반응하는 단점이 있다.

기존의 생물 측정 인식 시스템들을 보완하기 위해 사용자의 발걸음 패턴을 이용하여 사용자를 인식하는 Smart Floor[5]와 Active Floor[6]가 개발되었다. 이들은 마루 타일 밑에 무게를 감지하는 로드셀들을 부착하여 발 뒤꿈치가 닿는 순간부터 엄지발가락이 떴어지는 순간까지의 무게 변화 특징들을 얻을 수 있는 플로어를 제작하고 비교적 간단한 알고리즘을 이용하여 사용자를 인식하였다. 그러나 이 시스템들은 센서의 가격이 비싸고 타일의 특정부분을 정확하게 밟아야 한다는 면에서 사용자가 자연스럽게 못하다는 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위해, 보다 싼 센서를 이용하고 자연스러운 사용자 인터페이스를 제공하는 유비플로어 I 을 제안하였다[8]. 그림 1 과 같이 유비플로어는 I 은 다수의 ON-OFF 스위치 센서들을 바닥 장판에 깔고 사용자가 자연스럽게 걸을 때 얻을 수 있는 발걸음 패턴을 이용하여 사용자를 추적 및 인식하였다. 그러나 사용했던 스위치 센서들의 각기 다른 기계적인 특성과 낮은 분해능으로 인해 사용자 인식의 한계가 있었다. 또한 모든 센서들의 정보 획득 및 처리를 하나의 마이크로 컨트롤러에서 처리함으로써 플로어의 확장성 및 유지 보수 능력이 부족하였다.



그림 1. 유비플로어 I 을 이용한 사용자 인식 시스템

유비플로어 I 이 갖는 자연스러운 인터페이스 등의 장점을 유지 하면서 보다 정확하게 발걸음 패턴을 이용한 사용자 인식을 하기 위해 본 논문

에서는 다수의 포토 인터럽터 센서들을 이용한 사용자 추적 및 인식 시스템, 유비플로어 II 를 제안한다. 제안된 유비플로어 II 는 플로어를 구성하는 하나의 타일을 셀(cell) 개념을 사용하여 모듈화하였다. 각 셀의 크기는 30×30cm 이고 64 개의 포토 인터럽터 센서들을 일정한 간격으로 배열하였으며 이들 센서들의 ON-OFF 상태 정보 처리 및 전송을 각 셀의 마이크로 컨트롤러에게 분담시켰다. 플로어를 구성하는 각 셀에 위치한 마이크로 컨트롤러는 CAN(Controller Area Network) 버스를 통해 서로 연결되어서 셀 간의 상호 정보 교환이 가능하다.

제안된 시스템은 구조가 간단하고 구현 비용이 싸며 특히 모듈화 개념을 이용한 센서 네트워킹(sensor networking)을 도입하여 시스템의 유지 보수 및 확장이 편리하다. 뿐만 아니라, 기존의 유비플로어 I 의 사용자 인터페이스 방식을 그대로 유지 하여 사용자 친화적 인터페이스를 제공하고 보다 향상된 사용자 발걸음 패턴 정보를 이용하여 사용자 추적 및 인식이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안된 유비플로어 II 시스템의 구성, 3 장에서는 제안된 유비플로어 II 의 구현 및 실험, 4 장은 결론 및 추후 연구를 설명한다.

## 2. 유비플로어 II 시스템

본 논문에서는 사용자의 추적 및 효과적인 발걸음 패턴 정보 획득을 위해 24 개의 셀, 즉 24 장의 타일로 이루어진 마루 바닥을 구현하였다. 각 셀에는 사용자의 발걸음 정보를 얻기 위해 64 개의 반사형 포토 인터럽터 센서들을 일정한 간격으로 배치시켰다. 또한 데이터 획득 보드를 각 타일의 밑부분에 부착하여 센서들의 상태 정보를 획득하고 그 정보를 센서 네트워크를 통해 서로 전송함으로써 최종적으로 호스트 PC 에 모든 센서의 상태 정보 전달이 가능케 하였다.

## 2.1 포토 인터럽터 센서와 셀

유비플로어 I 에서 사용된 ON-OFF 스위치 센서를 대체하기 위해 반사형 포토 인터럽터를 선택하였다. 포토 인터럽터는 포토 다이오드와 포토 트랜지스터를 한 소자 내에 집적한 것으로 비접촉식 센서이며 물체에 반사된 빛의 양에 따라 출력 전압이 달라진다. 그러나 ON-OFF 출력만을 위해 디지털 반사형 포토 인터럽터를 사용하였다.

유비플로어 II 를 구성하는 각 셀의 크기는 그림 2 에서 보여지는 것처럼 일반적인 성인 남자의 발 크기를 고려하여 가로 및 세로 길이를 30×30cm 으로 결정하였고 여기에 충분한 분해능 및 효율적인 데이터 처리를 고려하여 가로 및 세로 일정한 간격으로 총 64 개의 포토 인터럽터 센서들을 배치 하였다.



그림 2. 셀 구성도

## 2.2 데이터 획득

각 셀에 위치한 64 개 센서들의 간결한 회로 구성과 효율적인 데이터 획득(DAQ)을 위해 그림 3 과 같이 마이크로 콘트롤러와 8-비트 디코더 및 여덟 개의 8-비트 버퍼를 이용하여 데이터 획득 보드를 설계하였다. 보드 구성을 살펴보면, 하나의 행에 위치한 8 개의 센서들을 하나의 블록으로 묶어서 센서들의 출력핀들을 한 개의 8-비트 버퍼의 입력핀에 각각 연결하였다. 각 버퍼의 선택 제어 신호는 8-비트 디코더의 각 출력단에 연결하였고 마이크로 콘트롤러의 출력핀들 중 세 개를 선택해 디코더의 입력핀에 연결하였다.

데이터 획득 과정을 살펴보면, 먼저 마이크로 콘트롤러는 내부 타이머를 이용하여 일정한 시간 간격으로 인터럽트를 발생시키고 이 인터럽트 처리 루틴에서 디코더에 순차적으로 제어 신호를 발생시켜 여덟 개의 8-비트 버퍼를 차례대로 선택한다. 선택 신호를 받아 활성화 된 버퍼는 해당블록 내에 위치한 8 개의 센서들의 상태 정보를 읽어 들이고 이를 마이크로 콘트롤러의 내부 메모리에 저장한다. 이러한 과정을 통해 8 개 블록의 모든 센서들에 대해 상태 정보를 획득 할 수 있다.

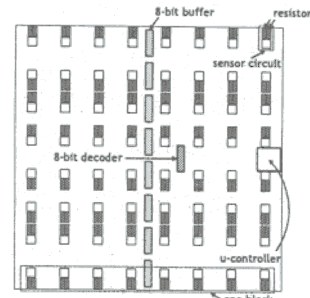


그림 3. 데이터 획득을 위한 DAQ 보드

## 2.3 데이터 전송 및 센서 네트워킹

센서들로부터 데이터 획득 과정을 거친 뒤 마이크로 콘트롤러는 획득한 각 센서의 상태를 이전에 기록해둔 상태와 비교하여 변화가 있을 때 바뀐 내용을 호스트 PC 에 전송한다.

본 논문에서는 이러한 데이터 전송을 위해 다음과 같은 사항들을 고려 하였다. 먼저 모든 셀들을 모듈화하여 서로간의 네트워킹을 가능하게 하기 위해 각 셀 자체가 고유한 주소(address)를 가지고 데이터를 송수신 할 수 있는 네트워크 디바이스를 포함 해야 한다. 다음으로는 셀 사이의 네트워크 구성에 사용되는 배선이 간결해야 하고 신뢰할 만한 데이터 전송 속도를 보장 해야 하며 확장성 또한 용이 해야 한다. 위에서 기술한 사항들을 고려하여 본 논문에서는 CAN(Controller Area Network)을 이용하여 센서 네트워킹을 구현하였다.

CAN 은 효율적이고 안전한 자동차 제어를 위해 개발되었으며 주변 환경의 노이즈에 강건한 메시지-기반(message-based) 방식의 직렬 통신 방법으로 1980 년대에 개발된 이래 자동차를 포함한 산업 전반의 통신 프로토콜로 사용되고 있다. 최대 1Mbps 의 전송 속도를 제공하고 다양한 응용 시스템에 사용되어 그 신뢰성을 인정받았다[9]. CAN 과 SPI(Serial Peripheral Interface) 인터페이스를 이용한 일반적인 센서 네트워크의 노드(node) 구성도는 그림 4 와 같다[10].

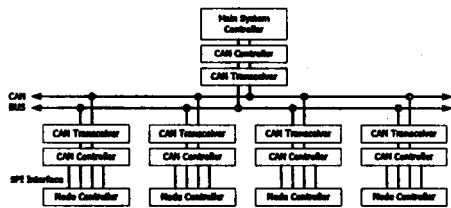


그림 4. 센서 네트워크를 위한 노드 구성도

메인 노드(main node)와 모든 서브 노드(sub node)들은 2 개의 라인으로 이루어진 CAN 버스를 공유하여, 한 노드에서 메시지를 생성할 때 버스에 연결된 자신을 포함하는 모든 노드들은 생성된 메시지를 공유한다. 이 때 각 노드들은 생성된 메시지의 데이터 프레임에 포함된 식별자(identifier)를 자신의 CAN 컨트롤러에 설정되어 있는 메시지 필터값과 비교하여 메시지를 수신할 지를 결정한다. 이러한 방법으로 각 노드는 메시지 필터에 고유한 값을 가지며 이를 통해 각 노드는 서로 일대일 또는 일대다 통신이 가능하다. 그림 5 는 CAN 통신을 위한 네트워크 디바이스들을 데이터 획득 보드에 포함시킨 최종 보드 구성을 보여준다. CAN\_left 와 CAN\_right 는 해당 셀 좌우에 있는 셀들과의 네트워크 구성을 위한 2-pin 커넥터이고 UART 는 RS232 케이블을 통하여 호스트 PC 와의 직렬 통신을 위한 커넥터이다. UART 는 각 데이터 획득 보드의 데이터 획득 테스트 및 메인 노드와 호스트 PC

사이의 데이터 송수신을 위해 사용되었다

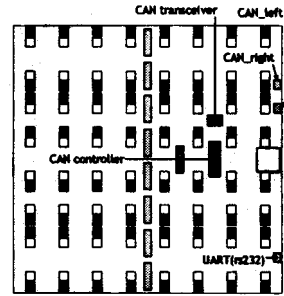


그림 5. 네트워크 디바이스를 포함한 DAQ 보드

그림 6 은 포토 인터럽터 센서들을 배치한 24 개의 셀들 밑에 데이터 획득 보드를 장착하고 각 셀들간에 CAN 을 이용해 네트워크를 구성하고 있는 유비플로어 II 의 전체 시스템 구성도이다.

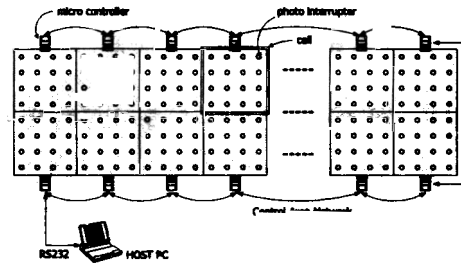


그림 6. 전체 시스템 구성도

### 3. 구현 및 실험

센서로 사용된 포토 인터럽터는 고텐시사의 DG-105 로서 반사 물체의 검출 가능 거리가 최대 5mm 이다. 본 논문에서는 검출 가능 거리를 대략 3mm 가 되도록 설정하고 이를 위해 저항값을 바꿔가면서 실험한 결과, 포토 다이오드 쪽에는 150Ω 그리고 트랜지스터 쪽에는 100KΩ 의 저항이 적절하다는 결론을 얻었다. 그림 7 는 사용된 포토 인터럽터 센서의 외형 및 회로도를 보여준다.

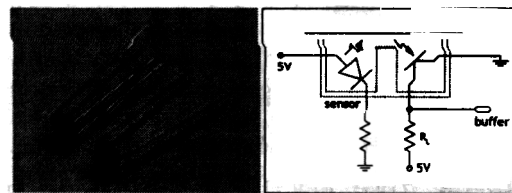


그림 7 포토 인터럽터 센서 및 회로도

모든 데이터 획득 과정을 제어하는 마이크로 컨트롤러는 ATMEL AVR 8-bit RISC ATmega128 을 사용하였다. 소프트웨어 프로그래밍은 C 언어를 기반으로 하는 WINAVR 컴파일러를 사용하였고 생성된 인텔 헥사 파일을 마이크로 컨트롤러에 다운로드를 하기 위해 ISP 케이블과 이를 지원하는 ponyprog2000 프로그램을 사용하였다. 표 1 은 유비플로어 I 과 II 에서 시스템 구성에 사용된 하드웨어 및 소프트웨어의 비교를 보여준다.

	유비플로어 I	유비플로어 II
Sensor	ON-OFF switch	photo interrupter
Sensor type	contact	non-contact
# of sensor	144	1536
Controller	INTEL 80KC196	AVR ATmega128
# of controller	1	24
Language	C	C
Complier	IAR	WINAVR
Downloader	Hyper terminal	ponyprog2000
Interface	RAM writing	SPI Interface

표 1. H/W 및 S/W 의 비교표

유비플로어 I 에서는 데이터를 획득하기 위해 타이머 인터럽트를 사용하지 않고 프로그램의 메인 루틴에서 무한 루프를 돌면서 순차적으로 데이터를 읽어 들인 뒤 읽어 들인 센서 상태 값들을 호스트 PC 로 보내는 방식을 사용했다. 따라서 정확한 데이터 획득 주기 설정을 하기가 어려웠고 호스트 PC 로 송신하는 정보량이 많았다 이에 반해 유비플로어 II 에서는 메인 루틴을 사용하지 않고 데이터 획득 주기를 위한 컨트롤러의 타이머 인터럽트의 주기를 10msec 가 되도록 설정하여 1 초에 100 번의 데이터 획득을 하였다. 즉 매 10msec 마다 타이머 인터럽트 서비스 루틴이 호출이 되어 데이터 획득을 한 뒤 이전 과정에서 저장되어진 값들과 비교하여 변화가 있을 때에만 전송하여 송신하는 정보량을 줄였다.

CAN 네트워크 구현을 위한 노드 컨트롤러는 위의 데이터 획득 보드에서 사용한 AVR 마이크로 컨트롤러를 그대로 이용하였다. 또한, MICROCHIP Technology 사의 MCP2510 을 Stand-Alone CAN

Controller 로, PHILIPS 사의 82C250 을 CAN Transceiver 로 각각 사용하였다.

각 셀들간의 네트워킹을 위한 노드 설정은 다음 표 2 와 같다. 메인 노드는 첫 번째 셀이 담당하고 나머지 셀들은 각각 서브 노드 1 에서 서브 노드 23 에 해당한다. 특히 서브 노드 모두에게 공통으로 데이터를 송신할 메시지 식별자를 위해 공통 서브 노드를 설정했다.

노드 번호	해당 셀 번호
Main node	Cell 1
Sub node 1	Cell 2
Sub node 2	Cell 3
...	...
Sub node 23	Cell 24
Common sub node	Cell 2-24

표 2. 유비플로어 II 의 노드 설정

표 2 와 같은 노드 구조를 기반으로 셀 간에 데이터를 송수신 하기 위해서는 CAN 컨트롤러의 메시지 필터와 마스크를 적절하게 설정해 줘야 한다. 메시지 필터는 총 11 비트로 이루어져 있으며 그림 8 과 같은 구조를 사용한다. 상위 세 비트는 데이터의 전송 방향, 즉 메인 노드에서 서브 노드로의 데이터 전송 인지, 아니면 반대의 경우인지를 설정한다. 중간 다섯 비트는 서브 노드의 고유 주소를 설정하는데 사용된다. 마지막 세 비트는 추가 정보를 위해 남겨 두었다. 이를 바탕으로 해서 구현된 시스템에서 사용된 노드별 메시지 필터가 표 3 에 나와 있다. 메시지 마스크는 필터링을 할 때 확인해야 할 비트들을 나타낸다.

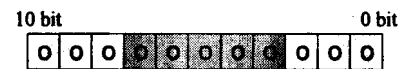


그림 8. 메시지 필터 구조

	Message filter	Message mask
Main node	011 xxxxx xxx	111 00000 000
Sub node 1	001 00001 xxx	111 11111 000
Sub node 2	001 00010 xxx	111 11111 000
...	...	...
Sub node 23	001 10111 xxx	111 11111 000
Common sub node	001 00000 xxx	111 11111 000

표 3. 노드별 메시지 필터 및 마스크

서브 노드의 센서들에서 변화가 일어났을 때 변화 내용을 메인 노드에 전송하기 위해서는 필터 설정을 참고로 해서 메시지 식별자를 만들어 주어야 한다. 예를 들어 서브 노드 2 에서 메인 노드로 변화를 보고할 경우 메시지 식별자는 011 00010 xxx 이 된다. 앞의 세 비트는 메인 노드로 보내지는 것을 의미 하고 중간 다섯 비트는 송신자가 서브 노드 2 번임을 의미 한다. 그림 9 와 10 은 각각 제작 및 구현된 데이터 획득 보드와 이를 장착한 셀에서 센서들의 상태 변화를 모니터링 하는 프로그램을 보여준다.

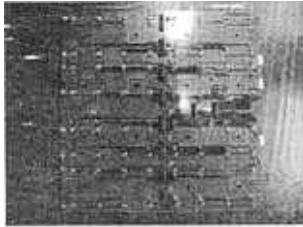


그림 9 제작된 데이터 획득 보드

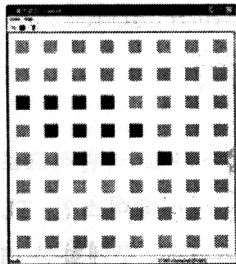


그림 10. 셀 상태 정보 모니터 프로그램

#### 4. 결론 및 추후 연구

유비쿼터스 환경에서 사용자에게 개인화 된 위치 기반 서비스를 제공하기 위해 본 논문에서는 포토 인터럽터 센서들을 이용한 사용자 추적 및 인증 시스템인 유비플로어 II 를 제안하였다. 제안된 시스템은 유비플로어 I 에서의 단점인 접촉식 센서의 문제점과 중앙 처리 방식으로 인해 불편했던 점들을 해결하였다. 즉 비접촉식 센서를 사용하여 기존의 기계적인 특성을 제외시켰고 모듈화를 통해 전체 시스템의 유지 보수 및

확장성을 증대하였다. 또한 네트워킹을 구현하여 셀 간의 정보 교환 및 처리를 가능케 하였다. 그러나 현재의 인식 과정은 유비플로어 I 에서 사용했던 발걸음 특징만을 추출하여 이용한다. 따라서 높아진 분해능과 비접촉 센서가 갖는 장점으로부터 얻을 수 있는, 예를 들어 사용자의 발바닥 모양과 같은 발걸음 특징들을 추출하여 기존의 특징들과 함께 사용한다면 유비플로어 I 의 보다 사용자 인식률을 증가 시킬 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] A. Harter and A. Hopper, "A Distributed Location System, for the Active Office," *IEEE network*, Vol. 8, No. 1, 1994.
- [2] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," *ACM Mobicom*, 1999.
- [3] P. Bahl and V. N. Padmanabham, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *IEEE Infocom*, 2000.
- [4] A. Jain, L. Jong, and S. Pankanti, "Biometric identification," *Communication of ACM*, Vol. 43, 1998.
- [5] R. Orr and G. Abowd, "The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking," *ACM CHI 2000 Conference proceedings*, pp. 1-6, 2000.
- [6] M.D. Addlesee, A.H. Jones, F. Livesey, and F.S. Samaria, "ORL Active Floor," *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, pp. 35-41, 1997.
- [7] S. Lee and W. Woo, "The Interactive Dancing Floor: The Smart Floor Plays Music," *WIAMIS* pp. 328-331, London, U.K, 2003.
- [8] J. Yun, S. Lee, W. Woo and J. Ryu, "The User Identification System Using Walking Pattern over the ubiFloor," *ICCAS* pp.1046-1050, Gyeongju, Korea, 2003.
- [9] K. Pazul, "Controller Area Network(CAN) Basics," *MICROCHIP Technology inc. application notes, AN713*
- [10] "Stand-Alone CAN Controller with SPI Interface MCP2510," *MICROCHIP Technology inc. data sheets, DS21291E*