http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.279
JIWIT 2012-6-35

모바일용 저전력 터치 스크린 제어 회로 설계 및 구현

Design and Implementation of Low Power Touch Screen Controller for Mobile Devices

박상봉*

Sang-Bong Park

요 약 본 논문에서는 모바일용 터치 스크린에서 손가락이 닿는 부분의 좌표를 계산하여 출력하는 저전력 고속 터치 제어 회로를 설계하고 구현하였다. 시스템 클럭은 10MHz이고, 채널 수는 21개, 대기 상태 전류는 20μ A 이고, 다이나믹 레인지는 140pF ~ 400pF 이며, 응답 시간은 0.1ms/frame이다. 저전력을 위한 전력 관리 회로와 보드, 습도, 온도에 따른 자동 임피이던스 보정 기능과 주변 키 및 패턴 간섭 억제 기능 및 직렬 인터페이스 I2C, SPI 기능을 구현하였다. 설계된 제어 회로의 성능은 FPGA와 0.18μ m CMOS 표준 공정을 이용하여 측정하였다. 구현된 제어회로는 모바일 폰이나 스마트 리모트 컨트롤로에 응용할 수 있도록, 다이아몬드 형태를 이용한 2 레이어 ITO용 모듈과 원가 절감을 위한 단일 레이어 ITO 모듈에 사용 가능하도록 설계하였다.

Abstract In is paper, we design and implement the low power, high speed touch screen controller that calculates and outputs the coordinate of touch point on the touch screen of mobile devices. The system clock is 10㎒, the number of input channels is 21, standby current is 20㎂, dynamic range of input is 140㎊~400㎊ and the response time is 0.1㎳/frame. It contains the power management unit for low power, automatic impedance calibration unit in order to adapt to humidity, temperature and evaluation board, adjacent key and pattern interference suppression unit, serial interface unit of I2C and SPI. The function and performance is verified by using FPGA and 0.18㎛ CMOS standard process. The implemented touch screen is designed for using in the double layer ITO(Indium Thin Oxide) module with diamond pattern and single layer ITO module for cost-effective which are applied to mobile phone or smart remote controller.

Key Words : Touch screen controller, Single layer ITO, Double layer ITO, Automatic impedance calibration, Adjacent key and pattern interface suppression

Ⅰ. 서 론

2007년 미국 애플사가 개발한 iPhone을 통하여 전 세계적으로 터치 스크린 방식이 모바일 제품과 가전 제품에 HID(Human Input Device) 로 사용되고 있다. 기존의 저항막 방식에서는 임계치 이상의 터치 압력과 비교적 느린 응답 속도를 지니는 반면에 정전용량 방식은 빠른 응답 속도와 부드러운 터치감으로 사용자의 편리성으로 인하여 제조비가 비싼 단점이 있지만 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 전도성 패드와 손가락 사이에서 발생

*정회원, 세명대학교 정보통신학부
접수일자 : 2012년 9월 11일, 수정완료 : 2012년 11월 18일
게재확정일자 : 2012년 12월 14일

Received: 11 September 2012 / Revised: 18 November / Accepted: 14 December 2012
**Corresponding Author: psbcom@semyung.ac.kr
Dept. Information&Communication, Semyung University, Korea

하는 커패시턴스의 양을 측정하여 터치 유무를 판단하고, 터치 좌표를 계산하여 출력하는 정전용량 방식의 터치 스크린 제어 회로를 설계하고 구현하였다. 기존의 정전용량 방식에서는 아날로그 회로 방식을 이용하였지만, 본 논문에서는 디지털 지연 회로를 이용하여 순수한 디지털 회로로 터치 유무를 감지하도록 설계하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 전체 구현된 터치 스크린 제어 회로 블록도와 각 유닛에 대한 기능을 설명하고, Ⅲ장에서는 FPGA를 이용하여 기능을 검증한 내용과 테스트 방법을 기술하였고, Ⅳ장에서는 실지 0.18㎛ 표준 CMOS 공정을 이용하여 구현된 칩의 성능에 대한 측정 및 평가 내용을 기술하고, Ⅴ장에서는 결론을 적었다.

Ⅱ. 터치 스크린 제어 회로의 구조 및 기능

1. 제어 회로 구조

그림 1은 본 논문에서 구현된 전체 제어 회로의 블록도이다. 터치스크린에서 입력되는 21개의 채널에 대한 입력 커패시턴스 값을 구하는 디지털 센서 유닛(DSU), 보드, 온도, 습도에 맞게 터치 임계값을 결정하는 자동 임피이던스 보정 유닛(AICU), 디지털 센서 유닛에서 구한 값 중에서 사람의 터치에 의한 커패시턴스 변화를 추출하는 신호 필터링 유닛(SFU), 실지 터치 유무를 결정하는 터치 결정 유닛(TDU), 위치 좌표 결정 유닛(PFU), 입·출력 직렬 인터페이스 유닛(SIU), 클럭 발생기 유닛(CGU), 전력제어 유닛(PMU) 로 구성하였다.

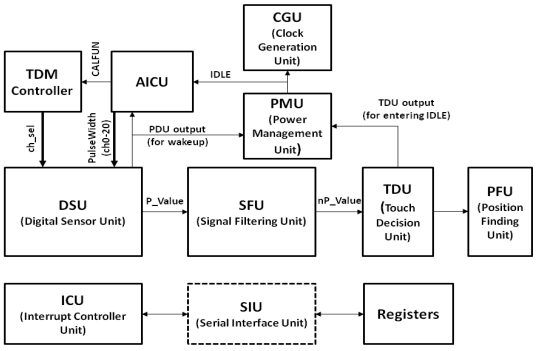

그림 1. 터치스크린 제어 회로 블록도
Fig 1. Block diagram of touch screen controller

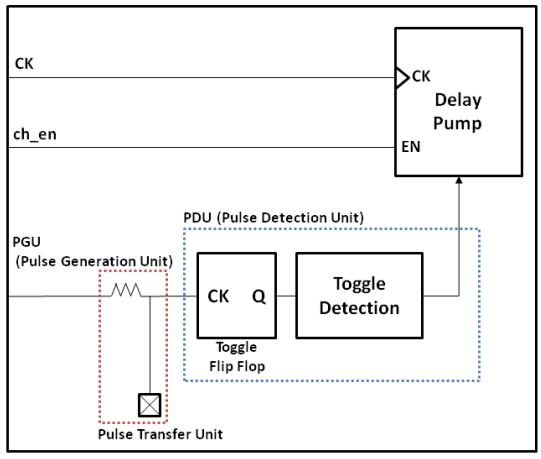

그림 2. 1개 채널에 대한 디지털 센서 유닛
Fig 2. 1-channel Digital Sensor Unit

가. 디지털 센서 유닛(Digital Sensor Unit)

디지털 센서유닛은 21개 채널의 입력 패드 중하나 또는 그 이상의 입력 패드에 손가락이 닿는 경우 커패시턴스 값을 측정하여 디지털 값으로 그 변화량을 출력하는 회로이다. 그림 2는 1개 채널에 대한 DSU 회로이다.

손가락이 닿는 부분의 커패시턴스 값이 증가되면, 펄스의 폭은 임계 값에 도달하지 못한 수준이 되므로, 펄스 감지기(Pulse Detector)에서 “1” 의 값을 출력하여 지연 값을 증가시켜서 펄스의 폭을 증가시킨다. 만약 손가락이 닿지 않는 부분은 커패시턴스의 값이 감소하여서 펄스의 폭은 임계값이상의 수준이 되므로, 펄스 감지기는 “0”를 출력해서 지연 값을 감소시켜서 펄스의 폭을 줄인다. 따라서 지연 펌프(Delay Pump) 출력은 손가락이 닿는 경우와 닿지 않는 경우 각각에 대한 펄스 폭에 해당하는 10비트의 디지털 값을 출력한다.

나. 신호 필터링 유닛(Signal Filtering Unit)

DSU에서 측정한 커패시턴스 입력은 외부로부터 다양한 잡음을 포함하고 있으므로, 신호 필터링 유닛(SFU)에서는 Leaky Integrator 형태의 IIR 필터를 이용하여 잡음을 제거하였다. IIR 필터의 전달함수는 다음과 같은 전달 함수 값을 지닌다.

$$y[n] = a*x[n] + (1-a)*y[n-1] \quad \text{(식 1)}$$

계수 a 값은 입력 인터페이스 회로를 통하여 변경가능하다. 또한 SFU 에서는 주변의 환경 즉 보드 및 온도,습

도에 따르는 자동 임피이던스 조정(Automatic Impedance Calibration)을 위하여 IIR 필터링된 값(p_value)에서 구간평균값(Avr_value)를 빼서 여러 성분 중 실질적으로 사람의 터치에 의한 커패시턴스 변화 값만을 추출하는 회로를 포함하였다.

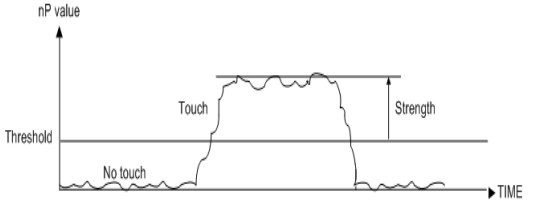

그림 3. SFU 출력 값 nP_value와 임계 값을 이용한 터치결정
Fig 3. Touch decision method using the nP_value of SFU output and threshold level

다. 터치 결정 유닛(Touch Decision Unit)

그림 3은 해당 채널에 대한 터치 유뮤를 결정하는 그림이다. SFU 의 출력 nP_value 값과 미리 설정한 임계 값을 사용한다. 각 채널에 대한 임께 값을 입력 인터페이스를 통하여 각각 설정할 수 있다. 터치 강도(Strength)는 SFU 출력 nP_value 값과 임계 값의 차

이로 구할 수 있다. 여러 채널 중에서 강도가 0 보다 크거나 같으면, 해당 채널에 손가락이 터치 된 것을 나타내며, 각각의 강도와 nP_value 값을 이용해서 PFU에서 터치 좌표를 구하게 된다.

라. 위치 추출 유닛(Positioning Finding Unit)

위치추출 유닛(PFU) 가 제공하는 출력은 마이크로컨트롤러 소프트웨어에서 스크롤과 같은 1차원 위치 알고리즘과 2 레이어로 구성한 채널에서 2차원 터치 좌표를 추출하는데 사용된다. TDU에서 21개 각 채널에 대한 10비트 터치 강도(strength) 값을 받아서 10비트의 x축, y축 인터폴레이트된 좌표 값과 각각의 8비트 강도 값을 출력한다. PFU 에서는 터치 좌표를 구하기 위해서 weight-based인터폴레이션 알고리즘을 사용한다.

마. 인접패턴간섭억제 유닛(Adjacent Pattern Interference Suppression Unit)

APIS 유닛은 근접 키나 패턴의 간섭을 억제하는 기능을 수행한다. 호스트로부터 다음과 같은 2가지 모드를 설정하여 사용한다.

APIS 모드 1 : 미리 설정된 임계값보다 큰 값들중에서 가장 큰 값을 지니는 채널을 터치 입력으로 설정한다.

APIS 모두 2 : 채널 수에 관계없이 임계값보다 큰 값을 지니는 모든 채널을 터치 입력으로 설정한다.

바. 전력 관리 유닛(Power Management Unit)

전력 소모를 줄이기 위해서 시스템의 상태를 IDLE, ACTIVE, SLEEP 으로 나누어서 ACTIVE 상태는 전체 유닛의 클럭이 동작되고, IDLE 상태는 디지털센서 유닛(DSU) 의 클럭이 동작되고, SLEEP 상태에서는 모든 유닛의 클럭이 동작되지 않는다. 그림 4는 전력관리 유닛에서 상태 변이 조건을 나타낸다. 특정시간 동안 터치가 발생되지 않는 경우에 Active 상태에서 Idle 상태로 변이하고, 터치가 발생되거나 호스트로부터 명령을 받았을 때 Active 상태로 전환된다. 호스트로부터 명령을 받게 되면, Sleep 상태 또는 Acitve 상태로 전환된다. IDLE 상태에서는 샘플링 클럭 주파수가 11㎑에서 47Hz 로 변환된다.

아. 클럭 생성 유닛(Clock Generation Unit)

표 1은 클럭발생 유닛(CGU)에서 생성되는 클럭들의 주파수 값과 사용되는 유닛을 나타낸다. 클럭 발생 유닛은 시스템 클럭을 분주하여 필요한 클럭을 생성한다.

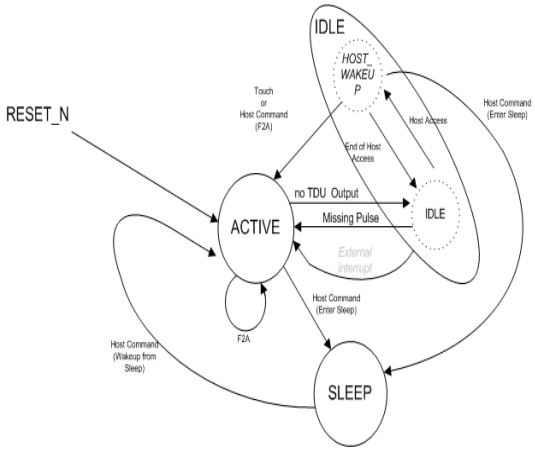

그림 4. 전력관리 유닛의 상태 변이도
Fig 4. State transition diagram of Power Management Unit

표 1. CGU 클럭 주파수 값과 사용되는 유닛
Table 1. The clock frequencies and used units of CGU

Clock Name	ACTIVE 때	IDLE 때	사용되는 유닛
SYSCLK_ACTIVE	2MHz	-	CGU
SYSCLK_REG	2MHz	2Mhz	REG
SNCLK	250kHz ~ 71.4kHz	977Hz ~ 488Hz	PGU+PDU
SNCLK_ACTIVE	250kHz ~ 71.4kHz	-	PGU+PDU APIS
FSCLK	11.9kHz ~ 3.4kHz	47Hz ~ 23Hz	PMU
FSCLK_ACTIVE	11.9kHz ~ 3.4kHz	-	TDU, PFU

III. FPGA를 이용한 동작 검증

설계된 터치스크린 제어 회로의 동작을 검증하기 위해서 FPGA를 이용하여 그림 5와 같이 보드를 구성하였다. 21개의 채널에 대한 터치 패드를 구성한 터치 패드 보드와 Ⅱ절의 각 유닛들을 구현한 FPGA 와 마이크로 프로세서로 구성하였다. 시스템 클럭은 2Mhz를 사용하고, USB 는 FPGA 의 전원 공급과 PC 와의 직렬 인터페이스 I2C 또는 SPIC 로 통신하는데 사용한다. 보드 뒷면에 위치한 메모리와 마이크로프로세서는 FPGA 프로그램 다운로드와 터치 감도 조절 값을 저장하는데 사용한다. 동작 검증은 그림 6과 같이 터치 스크린에서 사용자가 터치된 부분의 좌표값을 PC 상에서 디스플레이함으로써 정상적인 2차원 좌표값 추출을 확인하였다.

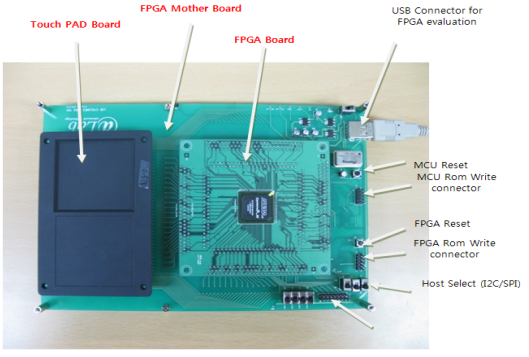

그림 5. 성능 검증을 위해 구현된 FPGA 보드
Fig 5. FPGA board to verify the function of controller

그림 6. 2차원 터치 좌표 추출 결과
Fig 6. Result of 2 dimention touch coordinates

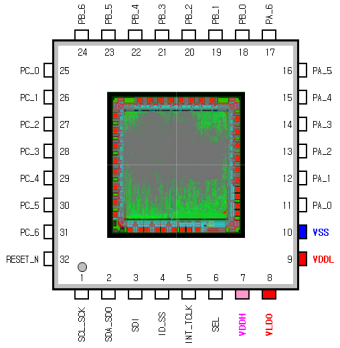

그림 7. 제작된 칩 레이아웃과 핀 배치도
Fig 7. Pin diagram and layout of chip

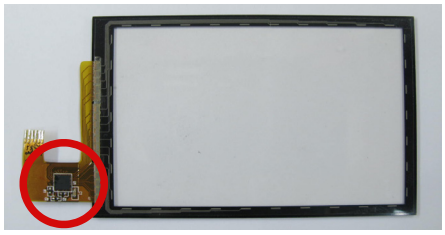

그림 8. 구현된 칩을 이용하여 실장테스트를 위한 터치 스크린
Fig 8. Touch screen for field test using implemented chip

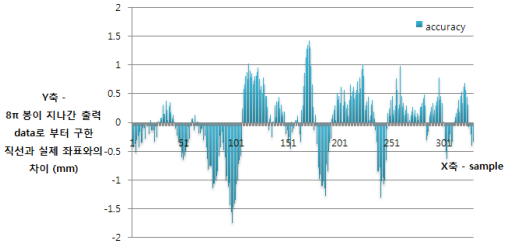

그림 9. 터치 좌표 정확도 측정 결과
Fig 9. Result of touch coordinate accuracy

IV. 구현한 칩의 성능 및 측정 결과

FPGA를 이용하여 기능을 검증한 터치 스크린 제어 회로는 그림 7과 같이 32개의 입, 출력을 지니고, 0.18㎛ 표준 CMOS 공정을 이용하여 칩으로 제작하였다. 입력 핀은 PA,PB,PC 21개 채널 핀과 직렬 인터페이스 관련 SCL_SCK,SDA, DA_SDO,SDI 핀과 RESET_N 리셋핀과 전원 공급 핀으로 구성되고 칩 면적은 2100㎛X2100㎛ 이다. 그림 8은 실장 테스트를 위한 터치 스크린 판넬과 제작된 칩으로 구성한 터치스크린 시스템이다. 설계된 유닛들은 정상적으로 동작되었고, 감도는 최소 2fF, 응답 시간 0.1mSec/frame 대기 상태 전류 20㎂ 이하로 기존 칩보다 낮은 전력 소모와 빠른 응답 시간을 지녔다. 실제 터치된 위치와 출력되는 좌표 값의 오차를 확인하는 지표인 Accuracy 측정 결과는 그림 9와 같다. Accuracy 측정은 8π 도전성 막대를 ITO 모듈의 대각선 방향으로 움직이며, 출력되는 (x,y) 좌표 값과 대각선 기준 축과의 거리를 구하는 방식이다. Accuracy 는 1 이하인 경우 우수한 것으로 판단되는데 구현된 칩의 측정결과 대부분 ±0.5~±0.8 값을 지녔다.

V. 결론

본 논문에서는 휴대폰이나 리모트콘트롤러에 적합한 모바일용 저전력, 고속 응답의 터치 스크린 제어 회로를 설계하고 칩으로 구현하여 성능을 평가하였다. 정전용량 측정 방식을 아날로그가 아닌 디지털 지연 회로를 이용한 순수 디지털 회로로 구현함으로써 일반적인 제어 회로보다 10% 정도의 소비 전력을 사용하고, 공정이 바뀌더라도 설계 시간을 단축하는 장점을 지닌다. 터치 좌표의 정확도도 측정결과 대부분 ±0.5~±0.8 값으로 우수함이 확인되었고, 단일 레이어와 2 레이어의 ITO 적용이 가능하다. 앞으로 3차원 인식 등 보다 편리한 HID 사용에 적합한 알고리즘 개발과 제스터 알고리즘 구현 유닛 개발에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Nam,C., Pu,Y.G., Park,J.S., Hong,S.H., Hur,J., Lee,K.Y., “A Design of Multi-Channel Capacitive Touch Sensing ASIC for SoC Applications in 0.18 ㎛ CMOS Process”, Journal of IEEK, Vol.47, No.4, pp. 26~33., 2010

[2] Lee,K.J., Han,P.Y., Lee,H.S., Bae, J.W., Kim, E.S., Nam,C., “Implementation of 24-Channel Capacitive Touch Sensing AS”, Journal of IEEK, Vol.48, No.5, pp. 34~41., 2011

[3] Shin,H.J., Han,T.D., “Design Multi Touch Screen by Linear Touch Sensor on Resistive Touchscreen”, Journal of KSCI, Vol.16, No.2, pp.309~312, 2008

[4] Jung,S.W., Kwon,O.J., Jeong,Y.J., “Design of an Infrared Multi-touch Screen Controller using Stereo Vision”, Journal of IEEK, Vol.47, No.2, pp. 68~76., 2010

[5] Lee,S.Y., Park,H.S., Han,M.K., “A Touch-sensitive Display with Embedded Hydrogenated Amorphous-silicon Photodetector Arrays”, Journal of KIEE, Vol.58, No.11, pp.2219~2222, 2009

[6] Oh,S.K., Park, G.D., Kim, B.K., “Performance Comparison of the Recognition Methods of a Touched Area on a Touch-Screen Panel for Embedded Systems”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 10, No. 9, pp. 2334-2339, September 2009.

저자 소개

박 상 봉(정회원)

- 1985년 : 광운대 전자재료공학과 학사 졸업
- 1987년 : 고려대 전자공학 석사 졸업
- 1992년 : 고려대 전자공학과 공학 박사 졸업
- 1992년 ~ 1999년 : 삼성전자 선임 연구원
- 1999년 ~ 현재 : 세명대학교 정보통신학과 부교수
- 2000년 ~ 현재 : 옴니미디어(주) ASIC팀 기술고문
- 2000년 ~ 현재 : @lab(주) Digital 설계팀 기술고문

<주관심분야 : Digital TV, Multi-Touch>