

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.2.135>

JIIBC 2014-2-19

# 광마우스 잡음 개선을 위한 회로 설계 및 구현

## Circuit Design and Implementation for Noise Enhancement of Optical Mouse

박상봉\*, 허정화\*

Sang-bong Park\*, Jeong-hwa Heo\*

**요약** 본 논문은 광마우스의 패턴 잡음에 대한 움직임 벡터 값에 대해서 디지털 필터링을 통하여 특성 개선 내용을 기술한다. 설계된 회로는 PS2나 USB로 출력되기 전에 x축과 y축 움직임 벡터에 대해 필터링과 평균값을 취하여, 광마우스의 이동을 부드럽게 하고 떨림 현상을 개선하였다. FPGA를 이용해서 각각의 기능을 검증하고 0.35 $\mu$ m 표준 CMOS 공정을 이용하여 칩으로 제작해서 성능을 측정하였다. 시스템 클럭 주파수는 6MHz를 사용하여 1/1700sec 마다 +6에서 -6사이의 움직임 벡터 값을 출력한다. 테스트는 카테시안 로봇을 이용하여 특성에 대한 측정을 실시하였다.

**Abstract** In this paper, we describe the contents of noise characteristic enhancement using digital filtering to the motion vector in the pattern noise of optical mouse. The designed circuit is implemented to enhance the smoothing and trembling with filtering and averaging of x, y motion vector before PS2 or USB output. The function is verified by using FPGA and the performance is measured by the fabricated chip using 0.35 $\mu$ m standard CMOS process. The system clock is 6MHz and the motion vector has the range of +6 to -6 per 1/1700sec. It is tested using the Cartesian robot to measure the noise characteristic enhancement.

**Key Words** : Optical Mouse, Motion Vector, Digital Filtering, FPGA

### I. 서론

광마우스는 LED로부터 빛을 표면에 비추어서 반사되는 표면 특성을 CMOS 센서 어레이를 이용하여 연속적인 표면에 대한 이미지를 받게 된다. 사용자가 광마우스를 움직이면, 표면 이미지의 정보를 디지털 신호 처리를 통하여 커서 또는 스크롤바의 이동 거리와 방향을 얻어 낼 수 있다. 센서 어레이는 광마우스의 접촉 표면으로부터 반사되는 빛의 빔을 읽게 된다. 센서 어레이는 작은 디지털 그레이 스케일 카메라와 같은 기능으로, 16x16 픽

셀에서 최대 30x30 픽셀로 구성된다. 초당 6000회 이상 연속적인 프레임을 사용하여 광마우스의 정확한 위치와 방향을 구하게 된다. 센서 어레이는 CMOS PN 접합 다이오드인 다이오드와 PNP 트랜지스터, 커패시터로 구성된다. 픽셀에 입력되는 빛의 밝기에 따라서 해당하는 전류 값이 PNP 트랜지스터의 베이스 전류를 형성하고, 증폭된 에미터 전류에 의해서 커패시터에 충전된다. 일정한 시간동안의 충전된 전압 값을 4비트의 Flash type ADC를 통하여 각 픽셀에 대한 디지털 출력 값을 내보낸다. 전체적인 픽셀 어레이의 빛의 평균 크기에 따라서 카

\*정회원, 세명대학교 정보통신학부 (교신저자)  
접수일자 2014년 2월 24일, 수정완료 2014년 4월 1일  
게재확정일자 2014년 4월 11일

Received: 24 February, 2014 / Revised: 1 April, 2014

Accepted: 11 April, 2014

\*Corresponding Author: psbcom@semyung.ac.kr

Dept. Information&Communication, Semyung University, Korea

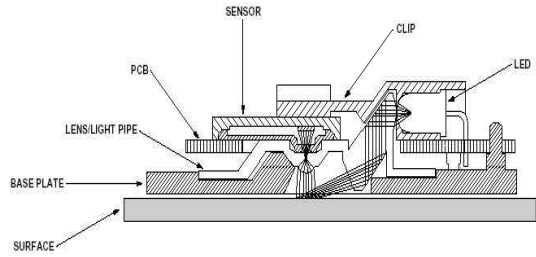
메라의 서터와 같은 역할을 통하여 전류의 크기를 전체적으로 조정한다. 광마우스를 움직이면 센서 어레이 픽셀에 비친 표면의 이미지도 변화되므로, 매 프레임의 이미지와 이전 프레임의 이미지를 비교하여서 어느 방향으로 얼마만큼 이동했는가의 모션 정보를 추출한다.<sup>[1][2]</sup>

센서 어레이에서는 랜덤 잡음과 패턴 잡음이 존재하게 된다. 패턴 잡음은 고정된 패턴 잡음(Fixed Pattern Noise)와 광응답 비균일성 잡음(Photo-response non-uniformity)으로 이루어진다. 이러한 센서 어레이의 잡음은 광마우스의 동작에서 떨림이나 정확한 거리 및 방향을 추출하는데 오류를 발생시키는 요인이 된다. 본 논문에서는 센서 어레이로부터 구한 광마우스의 모션 정보에 대해서 필터링과 평균값 계산을 처리하는 잡음개선 회로를 설계 및 구현하여 패턴 잡음으로부터 특성이 개선된 광마우스 센서 칩 구현 내용을 기술한다.

본 논문의 II장에서는 광마우스의 구조 및 패턴 잡음에 대해 설명하고, III장에서는 제안된 회로 및 구조에 대해 설명하고, IV장에서는 시뮬레이션 결과와 테스트 결과를 보여주고, 마지막으로 V장에서 결론을 기술한다.

## II. 광마우스 구조 및 패턴 잡음

그림 1은 일반적으로 사용되고 있는 광마우스의 구성요소를 나타낸다. 광마우스 센서 칩과 렌즈, LED 어셈블리 클립, LED로 이루어진다. 광마우스 센서 칩은 이미지를 인식하는 광센서 어레이, 방향과 거리를 추출하는 모션 디지털 신호 처리, 데이터 인터페이스 블록으로 구성된다. 렌즈 기능은 센서에서 광마우스 접촉 표면의 광 조명과 초점을 확실하게 하고, ESD (Electrostatic Discharge)로부터 센서 칩을 보호하는 기능을 한다. 클립은 LED를 고정시키고, 센서의 윗면과 렌즈의 빛 통로를 조정한다. LED는 위치 추적을 위하여 센서에서 필요한 조명을 제공한다. 광마우스가 동작하는 표면의 미시적인 모양 변화를 이용하여 이동을 계산한다. 광 센서 어레이는 표면 이미지를 인식해서 연속적인 표면 이미지를 비교하여 이동량과 방향을 결정한다. 광마우스의 해상도는 CPI(Count Per Inch)로 나타낸다. 보통 400CPI 또는 800CPI의 값을 지니며, 이 값은 센서 어레이의 1인치 당 센서 어레이의 픽셀 수를 나타낸다. 그림 2는 광마우스의 이동에 따르는 표면 이미지의 변화를 나타낸 그림이다.<sup>[3][4]</sup>



1. 광마우스 구성요소

Fig. 1. Optical mouse components

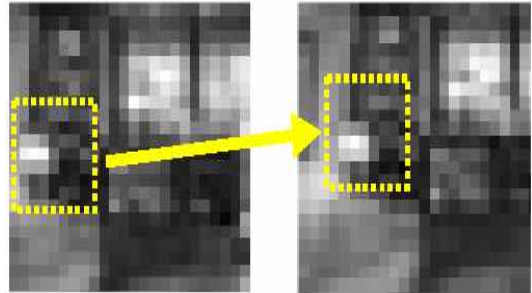


그림 2. 광마우스 이동에 따르는 표면 이미지 변화

Fig. 2. Variation of surface image when the optical mouse moves

광센서 어레이에서 잡음은 랜덤 잡음과 패턴 잡음으로 구성된다. 랜덤 잡음은 매 프레임마다 서로 다른 픽셀에서 규칙성 없이 나타나고, 통계적 분포를 지니게 된다. 패턴 잡음은 비교적 매 프레임마다 일정한 패턴에서 발생되며 고정 패턴 잡음과 광응답 비균일성 잡음으로 분류된다. 랜덤 잡음은 빛의 깜박임과 열 잡음에 의해 발생되고, 고정 패턴 잡음은 암전류 누설과 각 픽셀마다 서로 다른 임계 전압 값에 의하여 발생된다. 이러한 광센서 어레이에서의 잡음은 광마우스의 떨림 현상이나 정확한 방향과 거리 값에 오류를 가져오는 요인이 된다. 디지털 신호처리를 이용하여 이러한 잡음을 줄이기 위해서 평균값을 취하거나 저대역 통과 필터를 사용한다. 본 논문에서는 센서 어레이를 통하여 구한 방향과 거리 값에 대해서 평균값과 필터링을 통하여 잡음을 최소화하는 잡음개선 회로 설계 및 구현 내용을 III 장에서 기술한다.

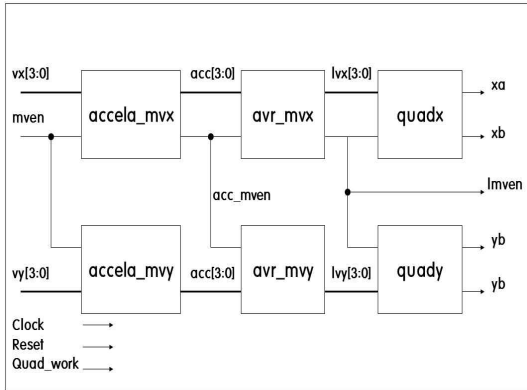
## III. 제안된 잡음 개선 회로 및 구조

### 1. 잡음 개선 회로 블록도 및 타이밍도

제안된 패턴 잡음 개선 회로는 그림 3과 같이 6개의

모듈로 구성하였다. 입력은 센서 어레이와 모션 벡터 디지털 처리 출력으로 x축과 y축에 대한 4비트 디지털 값  $vx[3:0]$  와  $vy[3:0]$  을 받는다. Clock 은 6MHz 이고, 각 블록은 상승 모서리에서 동작된다. resetb 는 리셋 신호로써 "0" 인 구간동안 모든 레지스터 값을 "0" 으로 클리어한다. quad\_work 신호는 "1" 인 구간에서 출력 신호인 XA, XB, YA, YB 신호를 발생하고, "0" 인 구간동안은 이전 상태를 유지한다. mven은 실제 유효한  $vx[3:0]$ ,  $vy[3:0]$  구간을 알려주는 신호로 매 프레임마다 1번씩 1클럭 동안 "1"을 유지한다.  $vx[3:0]$  와  $vy[3:0]$  는 거리 변화량을 4비트로 표현한 것이고 2의 보수 값 형태로 -6에서 +6까지의 값을 지닌다.  $acc\_mvx[3:0]$  와  $acc\_mvy[3:0]$ 은 이전 값에 비해 절대 값 3보다 크기가 큰 경우의 변화가 있을 때 연산을 처리한다.  $lvx[3:0]$ 와  $lvy[3:0]$ 은 4비트 입력을 받아서 이전 값과 현재 값의 평균값을 구한 출력 값이다.

출력 신호인  $lmven$  은 모션 모드 동작 선택을 결정하고,  $xa$ ,  $xb$ ,  $ya$ ,  $yb$  는 PC로 전달하는 광마우스 움직임 거리를 나타내는 출력 값이다. 그림 4는 제안된 잡음 개선 회로의 주요 신호 및 입, 출력 타이밍도이다. 한 클럭의 주기는 166ns이다. 한 프레임은 1/1700sec 이고 연산 클럭의 개수는 3,528개다. 매 프레임마다  $mven$  과  $mvx[3:0]$ ,  $mvy[3:0]$  값이 모션 벡터 블록에서 2의 보수 형태로 출력된다.



3. 제안된 잡음 개선 블록도  
 Fig. 3. The proposed noise reduction block diagram

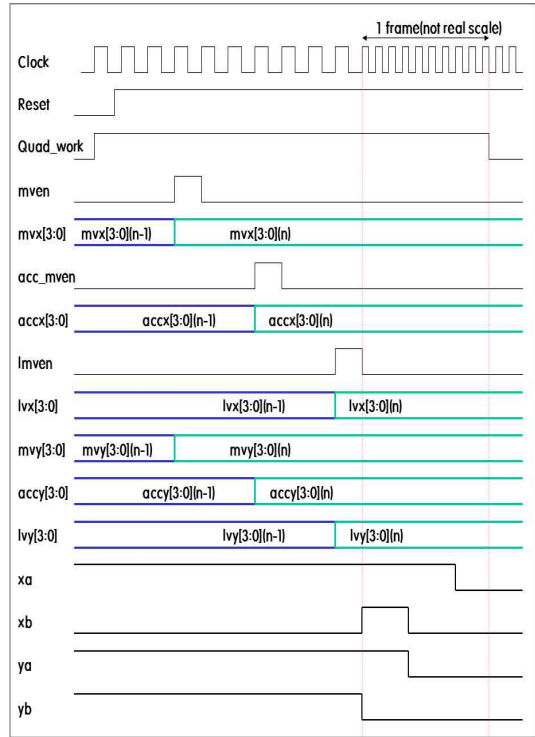


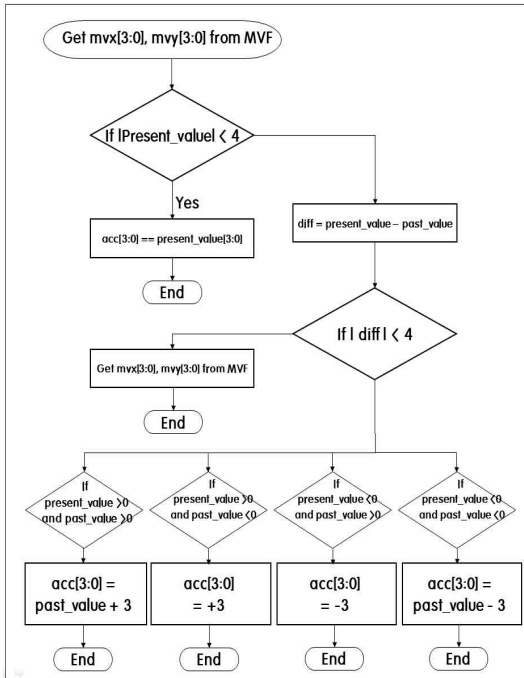
그림 4. 제안된 잡음 개선 회로 타이밍도  
 Fig. 4. Timing diagram of the proposed noise reduction circuit

## 2. accel\_a\_mvx, accel\_a\_mvy 모듈

이 모듈에서는 이전 모션 벡터 탐색 모듈에서 출력되는 현재 프레임의 모션 벡터의 절대 값이 3 보다 큰 경우에 이전 프레임 모션 벡터 값과 현재 값을 비교해서 그 값의 차이가 3 이상으로 발생하는 경우에 같은 양의 부호에 대해서는 이전 값에 3을 더해주고, 다른 부호인 경우는 현재 값을 3으로 정한다. 만약 그 값의 차이가 3이상이고, 같은 음의 부호에서는 이전 값에서 3을 빼주고 다른 부호인 경우는 현재 값을 -3으로 정한다. 즉 절대값 3보다 큰 경우에는 이전 값과 현재 값의 차이를 구해서 그 값의 범위를 제한하여 패턴 잡음으로 인한 오류량을 최소화한다.

그림 5는 accel\_a 모듈의 알고리즘 순서도이다. 전체적으로 다음과 같은 입력이 들어오는 경우에 출력은 다음과 같다.

입력 : 1, 5, -1, 4, 2, -6, -1, -6, 6, 0, 0, 5  
 출력 : 1, 4, -1, 3, 2, -3, -1, -4, 3, 0, 0, 3



5. accel module 알고리즘 순서도  
Fig. 5. Flowchart of accel module algorithm

### 3. avr\_mvz, avr\_mvz 모듈

이 모듈은 매 프레임마다 같은 값으로 부호가 반대인 +3, -3 과 같은 모션 벡터의 떨림 현상을 막기 위해서 2-점 평균값을 구하는 필터링을 수행한다. 출력은 이전 프레임의 모션 벡터인 past\_value[3:0]와 현재 프레임의 모션 벡터인 present\_value[3:0]를 가산해서 2로 나누어 평균값을 출력한다. 만약 이전 값과 현재 값이 홀수와 짝수 형태이면 오른쪽 이동으로 나눗셈을 수행하면 절삭 오류가 발생된다, 이것을 방지하기 위해서 오른쪽으로 쉬프트된 lsb\_shift 값을 다음 덧셈에서 반영하여 오류를 줄이도록 설계하였다. 연산과정은 다음과 같다.

- (1) 이전 프레임에서의 acc\_mv[3:0] 값을 past\_value[3:0] 레지스터에 저장한다.
- (2) 현재 프레임에서의 acc\_mv[3:0] 값을 present\_value[3:0] 레지스터에 저장한다.
- (3) 4비트 전가산기를 이용해서 past\_value[3:0]와 present\_value[3:0] 와 이전 쉬프트된 lsb를 가산한다.
- (4) 현재 프레임의 값과 이전 프레임의 값의 부호가 같은 경우는 오른쪽 쉬프트를 통하여 1/2 나눗셈을 수행한다.

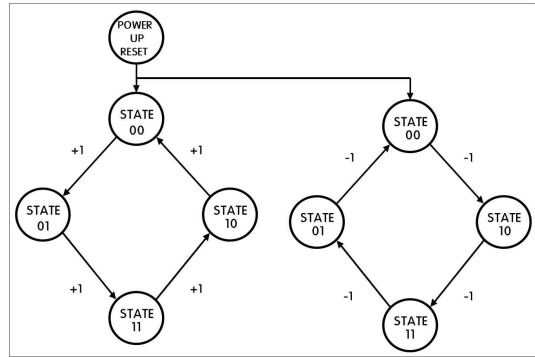


그림 6. quadrature 출력 XA, XB, YA, YB 상태도  
Fig. 6. State diagram of Quadrature output

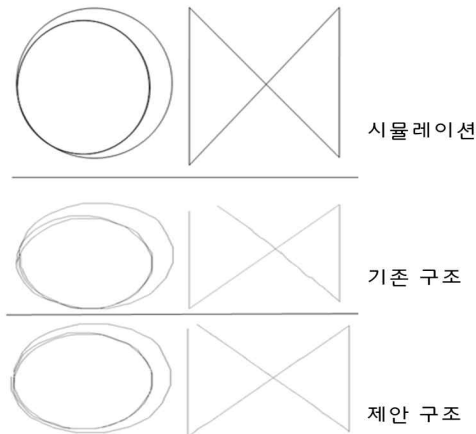
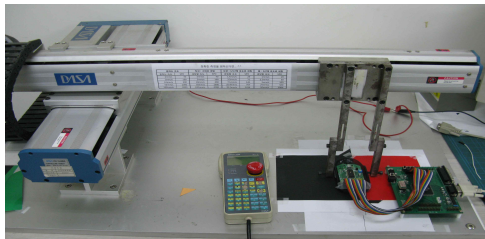
- (5) 현재 프레임의 값과 이전 프레임의 값의 부호가 다른 경우는 부호 비트는 그대로 유지하고, 나머지 비트를 오른쪽 쉬프트를 통하여 1/2 나눗셈을 수행한다.

### 4. quadz, quady 모듈

패턴 잡음 개선을 위한 필터링과 평균값 계산을 수행한 모션 벡터인  $-6 \leq \Delta x \leq +6$ ,  $-6 \leq \Delta y \leq +6$  값으로부터 quadrature 형태의 XA, XB, YA, YB를 출력시키는 PC 인터페이스 모듈이다. GUI 시스템 클럭을 분주하여 매 프레임마다 새로운  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  값에 대해서 그림 6과 같은 파형을 출력하는 회로를 구성한다.

## IV. 시뮬레이션 검증 및 테스트 결과

하드웨어 설계 언어인 Verilog HDL을 사용하여 제안된 패턴 잡음 개선 디지털 회로를 구현하고, 각 모듈에 대한 시뮬레이션을 Cadence의 Verilog 논리 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다. 구현된 잡음 개선 회로는 FPGA 보드와 광센서가 부착된 마우스를 사용하여 개선 내용을 확인하였다. Synopsys의 Design Compiler를 사용하여 합성 및 검증 후 칩으로 제작하였다. 제작된 칩은 삼성 0.35 $\mu$ m 표준 CMOS 공정을 사용하여 구현하였고, 광센서 어레이는 기존 광마우스의 회로를 사용하였다. 테스트는 원과 대각선 방향에 대한 좌표를 로봇에 입력하여 기존 방식의 광마우스와 제안된 잡음 개선 회로를 사용한 광마우스에 대해서 이동을 실시하여 광마우스의 실제 움직임을 그림으로 비교하였다.



7. 테스트 장비 및 테스트 결과  
 Fig. 7. Test equipment and result

그림 7은 테스트에서 사용한 장비 및 테스트 환경과 각각의 좌표를 로봇에 입력하여 입력된 좌표 값과 기존 방식의 광마우스와 제안된 잡음 개선 회로를 사용한 광마우스의 값에 대한 그림을 나타낸다. 원을 그렸을 때 잡음 개선 회로를 사용한 경우에 기존 방식보다 원의 형태가 개선되었고, 대각선 방향에 대한 성능 평가에서도 직선이 매끄럽고, 특히 좌상우하의 대각선에서 성능이 개선될 것을 확인하였다.

## V. 결론

본 논문에서는 광마우스의 패턴 잡음을 개선한 회로를 디지털로 구현하고, 기존의 방식과 개선 회로의 성능을 비교하였다. 제안된 회로는 FPGA로 구현하여 성능을 확인하고, 삼성 0.35um 표준 CMOS 2-poly-4-metal 공정을 이용하여 칩을 제작하였으며, 테스트 결과 원하는 클럭 주파수인 6MHz에서 패턴 잡음을 개선한 성능을 확인할 수 있었다. 광마우스의 원과 대각선 방향의 움직임에 대해서, 제안된 회로의 필터링과 평균값 연산을 통

하여 선의 떨림과 속도가 빠른 경우의 오차 발생 값을 개선하였다. 본 논문에서 제안한 패턴에 대한 잡음 개선 회로 및 알고리즘은 비교적 회로가 간단하고 칩의 면적이 작아 광마우스뿐만 아니라, 광센서를 사용하는 디바이스에도 응용이 적합하다고 사료된다.

## References

- [1] Publication Number: 04799055 United States Patent and Trademark Office, "Optical Mouse", August 26, 2008
- [2] Publication Number: 07327351 United States Patent and Trademark Office, "Optical pointing system, signal transmission method of the same, and signal processing method of computing apparatus used in the same", February 5, 2008
- [3] Publication Number: 06697053 United States Patent and Trademark Office, "Image sensor mouse", February 24, 2004
- [4] R.W. Corrigan, et al. "Calibration of a Scanned Line ar Grating Light Valve Projection System" May 18, 1999, pp. 1-4
- [5] Suhara et al; "Monolithic Integrated -Optic Position / Displacement Sensor Using Waveguide Grating and QW -DFB Laser"; IEEE Photonicstechnologyletters, Vol. 7, No. 10, Oct. 1995
- [6] J. H. Park, D. S. Kang, "Proposal of Hand Mouse Interface Using Separated Finger Recognition of Distance Transform Vector Based", Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 12, issue 1, pp. 1503-1508, Oct 2009
- [7] B. J. Jeong, S. W. Jang, "Image Processing using Thermal Infrared Image", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 10, No. 7, pp. 31-37, Jan 2014

소개

상 봉(정회원)



- 1992년 2월 : 고려대 전자공학과 공학 박사
- 1992년 3월~1992년 2월 : 삼성전자 선임 연구원
- 1999년 3월~현재 : 세명대학교 정보통신학부 부교수
- 2000년 7월 ~ 현재 : @lab(주)

Digital 설계팀 기술고문

- 관심분야 : RFID/USN 기술, ASIC 설계, 광센서, 멀티터치

허 정 화(정회원)



- 2009년 2월 : 세명대학교 전산정보학과 이학 박사
- 2003년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 시간강사
- 관심분야 : ASIC 설계, 신호처리, ADC/ DAC, Multi-Touch