

Low cost형 3차원 Force Sensor

박찬원, 최삼진, 신상열
강원대학교 전기전자정보통신 공학부

Low cost type 3D Force Sensor

Chan-won Park, Sam-Jin Choi, Sang-Youl Shin
Dept. of Electrical & Computer Engineering, Kangwon National Univ.

Abstract - 기존의 게임기를 포함한 여러 입력장치들의 대부분이 미세한 조작과 변위의 변화, 특히 가속도와 변위의 세분화가 어려웠다. 또한 외부의 충격에 내구성이 약한 단점들이 있었다. 본 연구에서는 최근 게임기 산업에서 3차원 입력장치를 필요로 함에 따라 기존의 2차원 변위에 더해서 3차원 입력장치의 구현을 기반으로 저가형의 소형 다축load cell 센서방식을 채택하여 부분 변위의 조작, 내구성과 기존 하드웨어의 단순화 등 여러 면에서 개선이 되었으며, 보다 정밀하고 다양한 입력에 대응하기 위하여 센싱 신호처리 회로의 개선과 디지털 통신방식을 부가하였다. 본 논문에서는 이 구현을 위한 하드웨어와 소프트웨어에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

1. 서 론

최근 게임 산업의 급속한 발전과 게임 관련 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 발달로 인간의 다양한 요구에 충족하는 게임기가 출현되고 있다. 특히 가상현실을 근간으로 하는 게임장치가 최근 각광을 받고 있으며 이에 대한 하드웨어 기술의 발달이 절실히 요구되고 있다. 가상현실 게임기의 입력장치는 기본적으로 3차원 이상의 변위에 대한 입력이 가능하여야 하며 이는 개별적이 아닌 동시에 다발적으로 구동할 수 있도록 하여야 한다. 기존의 게임기에서 위치 혹은 힘에 대한 변위의 입력 센싱 장치는 초기에는 접점식에 근거한 구동부에 가변저항을 이용하여 입력 변위에 비례하는 저항값의 변화를 변위의 입력정보로 하였으나 사용 중 가변저항의 마모와 빈번한 접촉불량으로 인해 내구성에의 문제점들이 있다.

이후 디지털기술의 급속한 발전으로 한 단계 진보한 형태인 타이머 접점방식은 현재 가장 많이 쓰이고 있는 마이크로 스위치를 이용한 것으로 단순한 구조에다가 저가형인 장점이 있으나 변위 입력에 대한 실현감이 미흡하고 미세한 조작에 대한 응답성이 떨어지며 가속도와 부분 변위에 대한 표현이 어려운 단점이 있다. 더욱이 기존 접점식의 방식은 게임의 속성상 가혹한 조건으로 입력되는 기계적 충격에 약하여 내구성에도 문제가 있다. 따라서 기존에 사용되고 있는 입력장치의 가장 큰 문제점에 대한 해결방안은 우선 센싱 장치의 무접점화의 실현을 들 수 있다.

최근에 실현화된 무접점화의 방법으로는 광선과 원형 slit을 이용하는 photo-coupler방식이 주로 이용되고 있다. 하지만, 원형 slit을 이용하여 광의 차단 유무를 검출하는 방식이므로 당연히 slit의 미세화 여부가 정밀도의 제약이 되고 비교적 복잡한 기계적 구조와 충격에 약한 단점이 있어 3차원 입력장치로 이용하기에는 기계적으로 너무 복잡하고 여전히 내구성문제의 극복에는 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 3차원 게임기 입력장치의 무접점화 방법을 주목적으로 실용성이 가능한 저가형 다축 load cell을 이용하는 방법을 제시하고, 구조해석 시뮬레이션 프로그램을 통하여 센서를 설계하여 기존의 복잡

한 구성과 내구성이 부족한 단점을 개선한 장치를 설계 제작을 기본 목적으로 한다. 이에 보다 정밀하고 다양한 변위의 입력이 가능한 센싱 신호처리 회로를 첨가하여 3차원 입력의 변위에 따른 디지털 신호를 출력 전송하는 장치를 개발하고자 하였다. 이를 위한 기술로서 해결하여야 할 핵심적 기술요소로는 기계적 동작을 가능하게 하는 구조학적 설계와 센싱 신호의 신호처리에 있다. 본 논문에서는 장치의 설계와 구현, 그리고 그 신호처리에 대한 결과를 소개한다.

2. 본 론

2.1 센싱부와 인터페이스 하드웨어의 기본구성

본 연구에서 개발된 장치는 그림1과 같은 기본적인 하드웨어로 구성되어 있다. 가해진 힘의 변위는 load cell 금속의 응력의 변화로 나타나고 이에 따른 스트레인의 변화를 스트레인지에이지의 저항값의 변화로부터 전압신호로 바꿈으로서 X, Y, Z 축에 가해진 변위에 대응하는 미세한 아날로그 출력 전압을 발생시킨다. 이는 다시 디지털 인식 전압레벨까지 증폭 후 저역 통과 필터를 거친 후 A/D 변환되고 변환된 디지털데이터는 one chip CPU에서 신호처리 되어 PC측으로 직렬 통신 포트를 이용하여 송수신 한다. 이때 필요에 따라 PC로부터 calibration data를 전송 받아 센서의 보정값을 A/D 변환 값과 비교하여 NVRAM에 save하여 재수정할 때까지 cold back-up으로 유지한다. 즉, 기본구성은 크게 2가지로 구성 되어 있다. 3차원 센싱 입력 장치의 기구 부를 포함한 센싱부와 그 신호 변환을 위한 A/D 변환 부와 마이크로프로세서를 이용한 신호처리로서 PC와의 디지털 접속을 가능하게 하는 인터페이스장치로 구성된다.

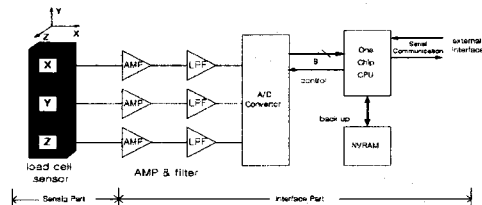


그림 1. 개발된 하드웨어 블록도

2.2 3차원 센싱 장치의 기본요건 및 구성

3차원 입력의 기본요소는 그림1과 같이 2차원의 X, Y 외에 Z축이 추가되며 시뮬레이션 게임기의 경우 핸들 조작과 같은 입력이 요구될 때는 1축의 모멘트요소가 추가된다. 따라서 본 연구에서는 X, Y, Z축의 양방향 성분과 Y축의 모멘트를 센싱할 수 있는 힘 변위 센서를 기본개발방향으로 설정하였다. 센싱 장치의 응답특성은 사용자의 요구에 최대한 근접하게 보다 빠르고 정확한 신호 전달이 이루어지는 성능이 요구된다. 즉, 구현하고

자 하는 3차원 센싱 입력 장치는 기계적 내구성을 고려한 무접점 방식, X, Y, Z축의 3축 힘 변위와 1축 모멘트를 센싱, 보다 고속 및 정밀한 신호 전달, X, Y, Z축의 상호간섭 현상의 최소화, 센서의 영점 드리프트, creep, hysteresis 및 온도 보상, span의 auto adjust기능 및 calibration 기능의 여러 기본요건을 충족하여야만 한다.

앞의 기본요건을 충족시키기 위한 방법의 일환으로 선행되어야 할 연구 방향으로 경제성과 내구성 및 성능의 개선에 중점을 두어 그림2의 3가지 방식을 모의 실험한 결과를 보면, 우선 Hall 소자와 로드셀을 독립 혹은 혼용한 방식의 경우, 호울 소자를 이용하는 방법은 low cost 의 장점은 우수하나 검출기구의 기계적 내구성의 확보와 제작의 난이성이 실용화의 가장 큰 장애요소로 작용할 것으로 분석되었다. 특히 인 접촉과의 간섭 현상을 없애기 위해서 기구 부의 설계도 중요하지만 2개의 hall 소자쌍을 이용하여 차동회로를 구성하고 동상분을 간섭신호를 유도하여 차동신호를 디지털적으로 마이크로 프로세서로 산출해 내는 알고리즘을 필요로 하였다. 최근 하중센서로 많이 쓰이고 있는 load cell은 현존하는 계측센서 중 가장 정밀하고 가동부가 없고 내구성이 좋은 장점이 있으므로 앞으로 3차원 입력 장치로서 사용 가능성을 밝게 하고 있다. 그러나 계측기용의 고정밀급 다축 로드셀은 경제성의 제약으로 실현가능성이 희박하다는 결론에 도달하였다. 따라서 본 연구에서는 게임기 센싱 입력 수준의 정밀도와 분해능을 갖는 저가형의 소형 다축 로드셀을 설계 개발하고자 하였다.

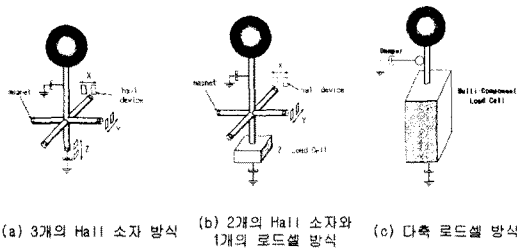


그림 2. 로드셀 설계

2.3 FEM 구조해석 시뮬레이션에 의한 설계

본 연구에서 결론적으로 제시한 다축 로드셀 (multi-component load cell)은 현재 실용적인 다축 로드셀이 계속 개발 연구 중에 있고 가격적으로 실용성이 적어 본격적인 보급이 힘든 관계로 기존의 다축 로드셀을 사용하기에는 부적합하다는 결론에 도달하였다. 따라서 구조해석 프로그램인 FEM을 이용하여 모멘트의 최고점을 예상하여 기구부의 구조를 설계하고 각 형상에 따른 엘레먼트와 노드, 경계조건을 입력하여 임의의 방향에서 가해지는 힘에 대한 응력, 스트레인 변화 특성을 시뮬레이션 하였다. 그림3은 본 연구에서 설계된 다축 로드셀로서 3축의 방향인식과 1축의 모멘트를 인식할 수 있는 실제 설계한 사진으로 금속의 재료는 탄성과 가공성이 양호한 영울(young's modulus)이 7500Kgf/mm²인 드랄류민을 사용하였으며 밀링 가공성을 고려하여 노치 부분의 형상을 설계하였다. Y축과 수평축 X, Z와 간섭을 줄이기 위하여 분리 홈을 만들어 구성하였다.

그림4는 구조해석 시뮬레이션 결과의 예이다. 이 그림은 각 부위의 스트레인을 참고로 가공의 경제성을 고려하고 개선하여 시뮬레이션 한 것이다. 그림 3의 노치 부분에 발생하는 응력을 구조해석 프로그램으로 시뮬레이션 하여 발생하는 이들 결과로부터 노치 두께와 센서의 형상을 결정하여 제작하였다. 제작된 범구조 센서의 노치 부분에 스트레인게이지 센서가 브릿지 형태로 부착되며 응력에 대한 스트레인게이지의 저항의 변화는

Hook의 법칙과 관계하여, 스트레인게이지의 미소 변위 저항분이 $\Delta R/R$ 로 되므로,

$$\frac{\Delta R}{R} = k\epsilon = k \frac{\sigma}{E} \text{ ----- (1)}$$

으로 나타낸다. 여기서 ϵ 은 표면에서의 스트레인이다. 이때 각 축 방향의 출력은 브릿지 인가전압을 V_i , 출력 전압을 V_o 라고 할 때,

$$V_o = \frac{V_i k}{4E} (\sigma_1 - \sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_4) \text{ ----- (2)}$$

로 표시된다. 여기서 k 는 스트레인게이지의 게이지율 (gauge factor)이고 E 는 영률, σ_x 는 각각의 노치 (notch)부분에 나타나는 응력(kg·f/mm²)이다. 본 제작에 사용된 스트레인게이지의 게이지율이 2일 때 최대 스패에서의 출력전압은 $2mV/V_{ex}$ 정도로 설계하였다.

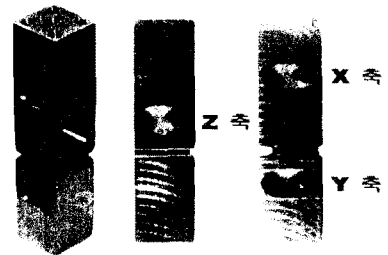


그림 3. 저가형 다축 로드셀

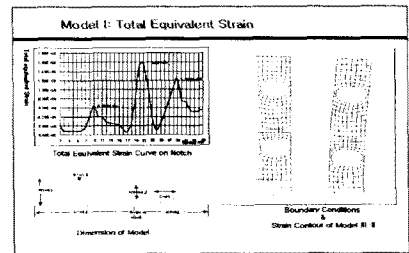


그림 4. 구조해석시뮬레이션결과

2.4 센서의 제작과 인터페이스의 구현

센서의 제작에 사용된 수감부 금속의 소재는 2017계열의 드랄류민으로서 먼저 이를 머시닝센터에서 프로그램된 형상대로 가공하여 열처리한 후, 스트레인게이지가 접착되는 부분은 흡착력이 좋게 #400 Al 분말을 사용한 BS-2 blaster로 표면 가공처리를 하였다. 그리고 구조해석 시뮬레이션의 결과에 따른 위치에 에폭시 접착제 EPY-500을 사용하여 스트레인 게이지를 정확하게 접착시키고 5Kg/cm² 압력의 접착 지그를 장치한 채로 130℃의 항온조에서 8시간 건조시켰다.

접착된 4개의 스트레인 게이지의 단자선에 적절한 온도보상을 한 후, 외부 단자선을 연결하였다. 최종적으로 습기 방지를 위한 실리콘 코팅제를 발라 흡습에 의한 전기적 특성의 드리프트를 최소화 시켰다. 그림 5는 제작된 센서의 사진이다. 완성된 센서를 그림 1의 신호처리 하드웨어로 제작하고 PC에 인터페이스하여 시스템을 구성하였다.

제작된 센서는 미소한 힘을 가하여 거의 변위 (deflection)가 없는 연속적인 아날로그 전압 신호를 출력하는 로드셀 센서를 이용함으로써 변위의 입력을 보다 정밀하고 고속으로 센싱 할 수 있으며 특히 다른 기존의 입력기구와 달리 미소힘 만으로도 변위 없이 센싱이 가능한 장점이 있고 각 축에 대한 변위는 상호간섭이 필연

적으로 작용하게 되는데 브리지 방식을 채용, 무접점,

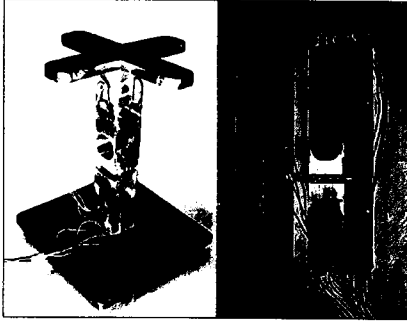


그림 5. 제작된 센서부분의 사진

미소 변위, 무가동부이므로 기구적으로서의 내구성이 우수하다. 아울러 기존의 마이크로스위치를 이용하던 단순 ON/OFF 방식이 아니라 레버에 가한 힘에 대한 변위를 아날로그적 크기로 검출하는 센싱 방식이므로 마이크로프로세서에 의한 시간당 데이터 변화를 산출 계산할 경우 가속도까지 센싱해낼 수 있는 특징을 가진다. 모든 센서는 온도의 변화에 따라 출력이 드리프트되므로 이에 대한 영점 balance보상과 span보상을 해주어야한다. 본 연구의 목적이 계측센서용이 아니므로 크게 정밀보상은 필요하지 않으나 계인 온도 드리프트, 히스테리시스와 크리프(creep)에 대한 파라미터들을 고려한 능동형 온도보상회로를 구성하여 실장 하였으며 시간적인 변화 요소들은 소프트웨어 보상알고리즘으로 최대한의 안정화를 도모하였다. 또한, 게임의 특성에 맞게 출력의 span을 조정해야할 필요성을 고려하여 이를 위한 Auto Span Adjust 기능도 소프트웨어적으로 알고리즘을 개발하여 부가하였다.

아울러 필요에 따라 이에 대한 back-up이 가능하도록 NVRAM (E^2 PROM)으로 calibration 데이터를 저장할 수 있도록 하여 사용상의 편의성을 고려하였다.

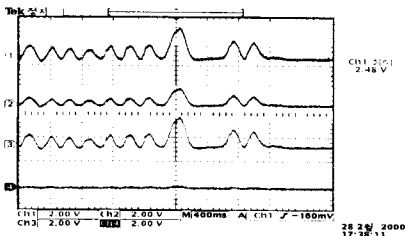


그림 6. 센서 증폭부 후단의 출력 파형

그림6은 제작한 센서를 동작시켜 증폭앰프후단의 출력 파형을 관찰한 것으로 모멘트를 제외한 축 방향에 전체적으로 힘을 가하였을 때의 파형 표시이다. 결과에서 보는 바와 같이 축간 간섭 현상이 비교적 양호 한 것을 볼 수 있다.

센서 인터페이스에서 PC로의 직렬통신형식의 규격필드 경계 패킷 형태로서 각축방향의 힘과 모멘트정보를 출력하는 데이터형식이다. 6개의 바이트가 1개의 packet을 구성하며 각각의 바이트 성분은 8비트 데이터로서 정부의 방향성을 갖는다.



그림 7. 직렬통신형식의 규격필드 경계 패킷 형태

그림8은 센서의 초기화 및 신호처리를 위한 시작모드에서의 프로그램 흐름도 이다.

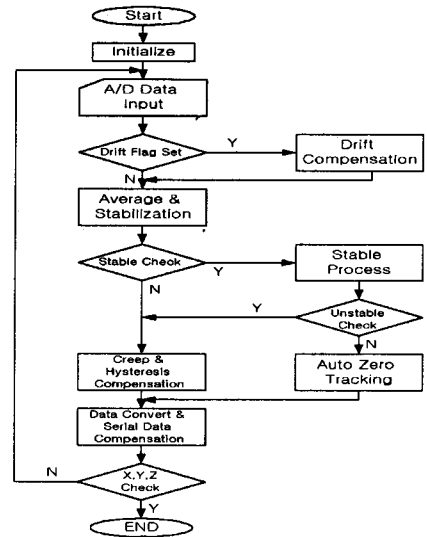


그림 8. 시작모드 프로그램의 흐름도

3. 결 론

기존의 게임기에서 입력장치는 변위 입력에 대한 실현감이 부족하고 미세한 조작이 어려우며 가속도 및 부분 변위에 대한 구별이 불가능한 단점이 있다.

본 연구에서는 게임기 3차원 입력장치의 무접점화 방법으로 여러방식의 장단점들을 비교분석 하였으며 결론적으로 스트레인지지를 이용하는 소형의 다축 load cell을 이용하는 장치를 제시하였다. 이를 실현하는 개발 연구로서 센서의 설계를 위한 구조해석 시뮬레이션, 신호처리를 위한 신호분석과 다양한 안정성을 추구하는 하드웨어와 소프트웨어를 개발하였다.

본 연구의 결과는 기존 게임기에서 입력장치의 고속 및 정밀화 대체가 가능하고 개발된 저가형 다축 로드셀은 보다 고속 및 고정밀 대용량의 개발전개로 가상현실 체험관의 기구장치로서의 활용을 기대한다.

(참 고 문 헌)

- [1] Mills Dean & Richard K. Konglas, 'Semiconductor and Conventional Strain Gauges', Academic Press, pp45 ~ 75, (1962)
- [2] 渡邊 理, ひずみ ゲージとその應用 Ch.2, 日刊工業社, (1987)
- [3] 高橋 清, 센サ エレクトロニクス p.241, 昭晃堂, (1984)
- [4] Wills J. Tompkins & G. Wbster, 'Interfacing Sensors to the IBM PC' Prentice-Hall Inc., pp250 ~ 268, (1988)
- [5] Joseph J. Carr, 'Sensors and Circuits', Prentice-Hall Inc., pp1 ~ 37, (1993)
- [6] 박찬원, '자동계량 콘베이어 설비에서의 중량센서 신호처리'에 관한 연구' 한국조명 전기설비학회논문집, Vol.8, No.5, (1994)
- [7] 박찬원, 안광희, '계량설비용 디지털 출력 로드셀의 개발'에 관한 연구' 한국조명 전기설비학회논문집, Vol.11, No.11, (1997)
- [8] 박찬원, 민남기, 능동회로에 의해 온도보상된 이중 빔 로드셀의 개발' 대한전기학회 논문집, Vol.44, No.8, (1995)
- [9] 박찬원, 게임기용 3차원 입력센싱 장치의 구현, CMC-2000, vol.2, pp3-8, (2000)