

마이크로 관성 센서의 기술연향과 전망

이 병렬*, 김서규*, 전국진*

(*서울대 공대 전기공학부 미세기술연구소)

1. 서 두

항공기나 배와 같은 운항체를 한지점으로 부터 다른 지점으로 일정 시간 내에 이동하도록 유도하는 방법에 사용되는 항법 기술은 관성센서의 개발에 의해 가능해졌다. 즉 현재의 위치 정보를 항상 기억하고 있으면서 이동하고자 하는 목적으로 방향을 결정하는 것이다. 일반적으로 위치, 속도 그리고 방향을 지표면 위에 2차원적으로 위도와 경도 좌표로 표시한다. 고도는 고도계를 써서 별도로 다룬다.

관성 센서는 항체에 부착한 상태로 인가되는 관성력을 검출하므로써 측정 대상인 움직이는 물체의 가속도, 속도, 방향, 거리 등 다양한 항법 관련 정보를 제공하기 위한 부품이다. 과거 선박이나 항공기등 대형 항체의 항법을 보조하기 위한 수단으로 사용되어 오던 고가 초정밀 부품이었으나, 현재는 미세 가공기술의 향상에 따른 반도체 일괄 제작 기술을 이용하여 다양한 저가의 관성 센서가 시장에 등장 함으로서 우리의 일상생활 응용에까지 큰 변혁을 줄 것으로 예상된다. 즉 과거 군사용 항법기기 등이 주 응용 분야인 반면, 현재 및 향후에는 가상현실용 입력 장치, 게임기, 개인용 항법 장치, 차량용 블랙박스, 웨어러블 컴퓨터의 입력 수단 등 광범위한 응용분야로의 기술 발전이 예상되고 있다.

관성센서는 크게 가속도계와 각속도계로 구분할 수 있는데, 전술한 다양한 응용분야의 도래에 힘입어 그림 1에 보인 바와 같은 큰 시장 증가율이 예상되고 있다.

이와 같은 폭발적인 관성센서의 발전은 소형화 기술의 개발에 힘입은 바 크다 할 수 있다. 과거 초정밀 기계가공에 의한 큰 부피의 관성 센서 모듈(IMU, Inertial Measurement Unit)은 점차 축소되어 하나의 반도체 칩 형태로 발전할 것으로 전망된다. 그림2는 연대별로 IMU의 개발 동향을 도식화 한 것으로 크기 및 중량 그리고 소비전력이 감소하는 정도를 설명한 것이다.

본지에서는 미세 가공 기술로 개발되고 있는 관성센서의 개발 현황과 발전 전망 그리고 다양한 응용 분야에 대한 소개를 하고자 한다.

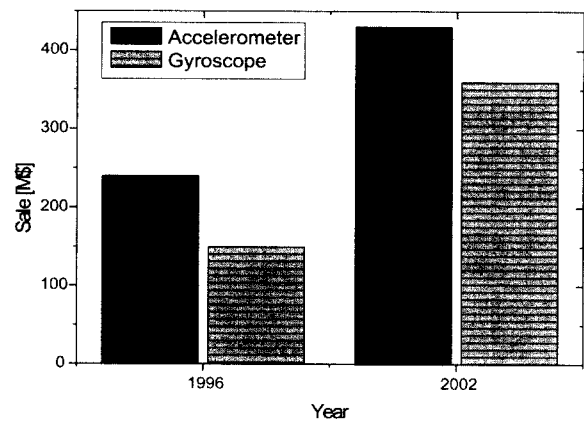


그림 1. 관성센서의 시장 전망

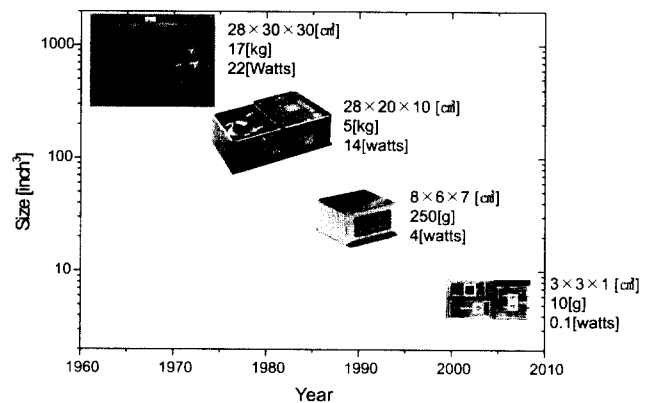


그림 2. 관성항법 모듈의 소형화 추세

2. 관성센서 개발 현황

2.1 가속도 센서

관성 센서는 기본적으로 인가되는 가속도에 의해 관성체에 작용하는 관성력을 검출하는 원리를 사용하고 있다. 따

라서 입력으로 작용하는 물리량은 크게 선형 가속도, 각 가속도, 코리올리(Coriolis) 가속도로 구별할 수 있으며, 통상 선형 또는 각가속도를 검출하는 가속도 센서와 코리올리 가속도를 검출하는 각가속도계(자이로스코프)로 분류된다.

가속도계는 그림3에 보인 바와 같이 동작 영역에 따라 고정밀의 분해능을 요하는 항법용 센서와 차량의 충돌 또는 현가 장치로 사용되는 중급 가속도계, 그리고 수천 ~ 수만G 이상의 입력범위를 요하는 smart bomb 등 다양한 응용분야를 갖고 있다

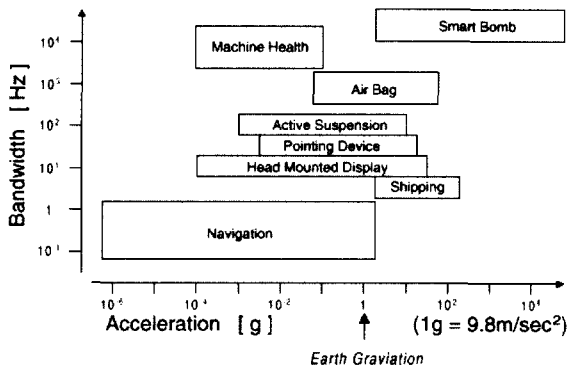


그림 3. 가속도계 응용 분야

일반적인 가속도계의 동작 원리는 그림 4에서 보인바와 같이 인가 가속도에 의해 현수 되어 있는 관성질량에 작용하는 관성력을 검출하는 형태로, 관성력을 변환하는 방식에 따라 압전, 압저항, 용량, 터널링형, 공진형등으로 구별된다.

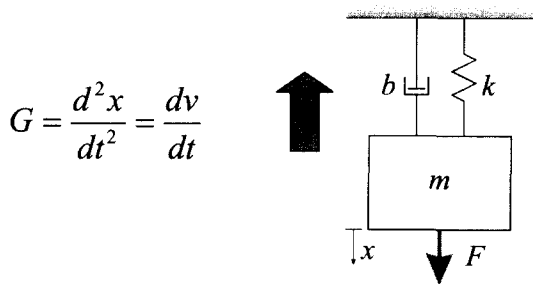


그림 4. 선형 가속도계의 동작 원리

그림 5는 관성력 검출방식에 따른 센서의 구분을 보인 것이다. 일반적으로 압저항형은 신호 검출은 간단하지만 온도변화에 따른 특성을 보정해야 하며, 압전형은 감도는 높지만 저역에서의 주파수 특성이 나쁜 단점이 있다. 이밖에 고성능의 가속도계를 구현하기 위한 방법으로 미세한 거리 변화에 따른 전류량의 변화를 측정하는 터널링형도 있는데 현재 알려진 방법중 가장 고도의 성능을 보일 수는 있지만, 복잡한 제어가 필요하고, 충격에 매우 약하며 열화현상에 의한 특성변화가 큰 장애로 지적되고 있다.

현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 형식은 용량의 변화

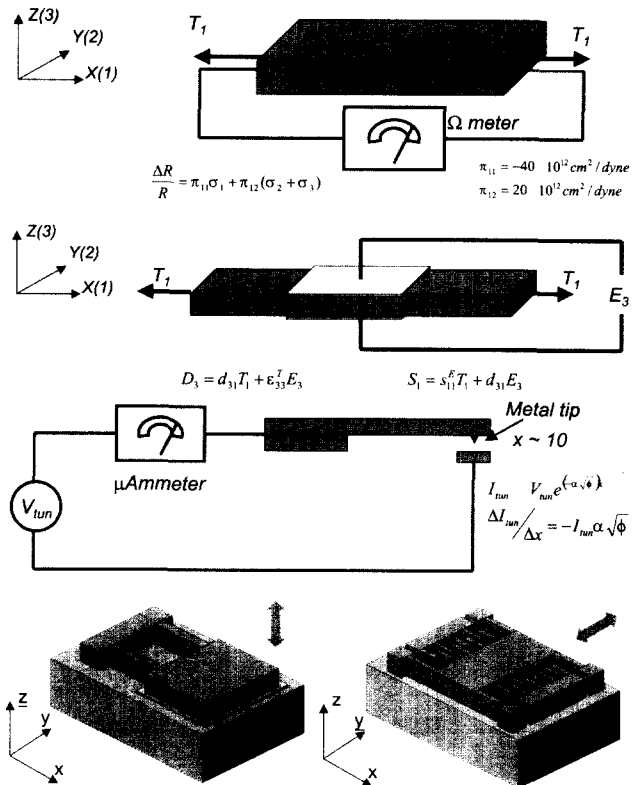


그림 5. 관성력 검출 방식에 따른 분류 (위로부터 압저항, 압전, 터널링, 용량형 가속도계)

를 감지하는 방식으로, 이는 기생용량에 의한 감도의 저하를 막기위한 복잡한 신호처리가 필요하지만, 제작이 간단하고, 응답성과 온도특성이 우수하며, 재평형 제어를 이용하여 비교적 균일한 성능을 얻을 수 있고 디지털 출력이 가능하다는 등의 이유로 대부분의 가속도계가 채용하고 있다. 특히 반도체 제조와 거의 유사한 일괄 공정으로 만들어 낼 수 있기 때문에 그림 6과 같은 회로 일체형의 가속도계도 가능하다.

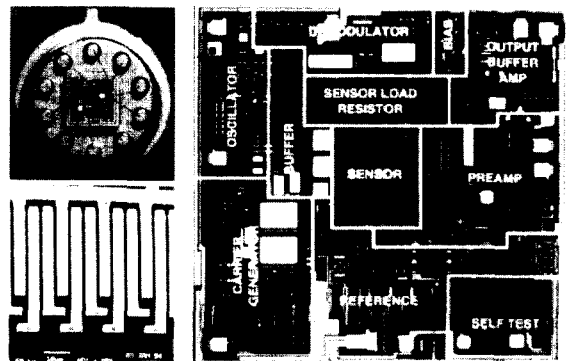


그림 6. 회로 일체형 가속도계(ADXL50)

이외에 공진형 가속도계는 용량형 가속도계와 유사하지만,



상시 진동하는 공진 구조에서 인가 가속도에 따라 진동 주파수가 달라지는 원리를 사용한다. 이는 주파수 출력형이므로 디지털 신호처리가 용이하고 분해능이 우수하며 상시 자기진단이 가능하다는 큰 장점을 갖고 있다. 이 경우 공진 구조를 위한 진공 실장이 제조상 난점이었으나, 최근 기관 단위의 진공 실장 기술이 개발됨에 따라 저가의 고성능 가속도계로 주목을 받고 있다.

이처럼 반도체 제작 기술을 이용하여 가속도 센서를 제작함에 따라 가격 및 성능의 개선과 함께 소형화가 크게 진전되고 있다. 최근에는 과거에 여러 방향의 가속도를 측정하기 위해 동일한 센서를 공간상에 배치하는 대신, 그림 8과 같이 단일 기관위에 구현함으로써 소형화와 함께 다기능화를 위한 개발이 활성화되는 추세이다.

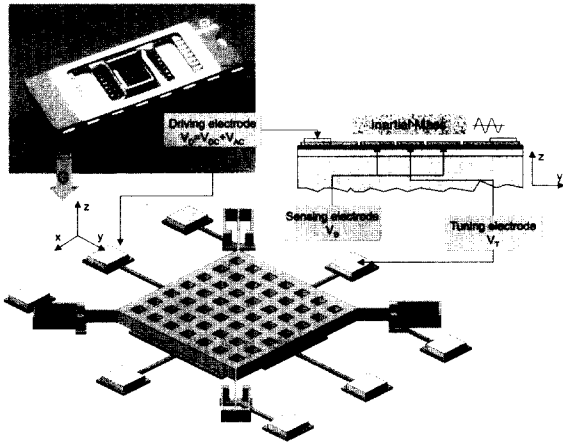


그림 7. 공진형 가속도계 개념도

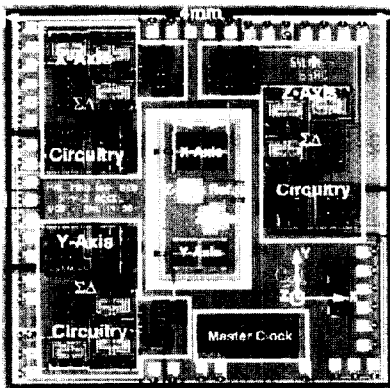


그림 8. 다축 가속도계의 일례

2.2 각속도 센서

자이로스코프는 1852년 프랑스의 물리학자 Leon Foucault에 의해 발명된 이래 선박, 항공기 등의 이동체의 자세와 각속도를 검출하는 센서로서 중요한 위치를 차지하여 왔다. 종래에는 검출방식이 로터를 고속 회전시켜 일정한 각운동량을 주었을 때 외부에서 가해지는 각회전력에 의해 일어나는 로터 축과 직각방향의 회전을 검출하는 기계적 자이로

가 주류를 이루었고, 이의 성능 향상이나 소형화, 경량화에 치중한 연구가 진행되어 왔다.

그러나 최근 들어 기존의 기계식 자이로와는 동작원리 자체가 전혀 다른 레이저를 이용한 자이로, 진동을 이용한 자이로동 구동모터를 갖지 않는 방식이 개발되어 실용화 단계에 접어들고 있다. 이는 새로운 원리에 입각하여 초정밀 구동요소를 없애거나 간단하게 함으로써 기계식 자이로가 갖는 제작의 어려움이나 마모성, 나아가서는 성능의 한계를 극복할 수 있다는 점과 제작에 드는 비용을 대폭 절감할 수 있다는 점이 주목되어 미국을 비롯한 선진국에서는 치열한 연구경쟁이 진행되고 있다.

자이로가 이와 같이 치열한 연구경쟁이 되는 배경으로는 자이로센서에 대한 엄청난 잠재수요가 예상되고 있기 때문이다. 자이로는 항공, 선박, 우주분야는 물론 터널굴착기, 안테나 안정대, 정밀계측기와 같은 산업분야에 응용이 확대되고 있으며 최근에는 손떨림 보정용 캠코더 카메라, 3차원 마우스를 채용한 TV를 비롯한 가전제품에도 적용되는 등 수요가 급증하고 있다. 또한, 자이로를 이용한 자동차 주행 안정화장치도 최근에 실용화 되는 등 우리 생활에 밀접한 다양한 응용분야가 도출되고 있는 상황이다.

표 1. 사양에 따른 자이로스코프의 분류

Parameter	Rate Grade	Tactical Grade	Inertial Grade
Angle Random Walk, °/√h	>0.5	0.5-0.05	<0.001
Bias Drift, °/h	10-1000	0.1-10	<0.01
Scale Factor Accuracy, %	0.1-1	0.01-0.1	<0.001
Full Scale Range (°/sec)	50-1000	>500	>400
Max. Shock in 1msec, g's	10 ³	10 ³ -10 ⁴	10 ³
Bandwidth, Hz	>70	~100	~100

이와 같은 산업/가전용 자이로는 소형, 저가격화가 필수적이며 대량생산에 적합해야 한다. 이러한 측면에서 볼 때 기계식이나 레이저방식은 성능은 뛰어난 반면, 가격이 비싸서 응용성이 낮은 이유로 구조가 간단하고 소형이며 저가격의 실리콘 진동형 자이로가 주목되어 진다. 실리콘 진동형 자이로는 성능, 입력각속도의 범위와 정밀도로 볼 때 Ring Gyro Group에 속하는데, 동작원리는 정전기적인 힘에 의해 구조물을 진동시킨 상태에서 외부에서 각회전이 주어지면 진동과 회전방향의 직각방향에 나타나는 코리올리 힘을 검출하도록 되어있다.

앞서 기술한 가속도계와 유사하게 초소형 자이로도 검지 방식에 따라 다양한 방식이 존재하지만 용광형이 주류를 이루고 있다. 그림 9는 CSDL(Charles Stark Draper Lab.)에서 1989년에 발표한 내용으로, 반도체 가공기술을 이용한 최초의 진동형 자이로이다. 동작 원리는 기관에 평행한 한 축을 중심으로 회전 진동 운동을 하는 상태에서 기관에 수직인 방향의 회전 각속도가 인가되면 제3의 축, 즉 내부 검

블을 중심으로 코리올리 힘에 의한 운동이 발생하는 것을 이용하였다. 원리적으로 회전부 없이 진동을 이용하기 때문에 마모나 제작의 난점을 배제한 것이 특징이다.

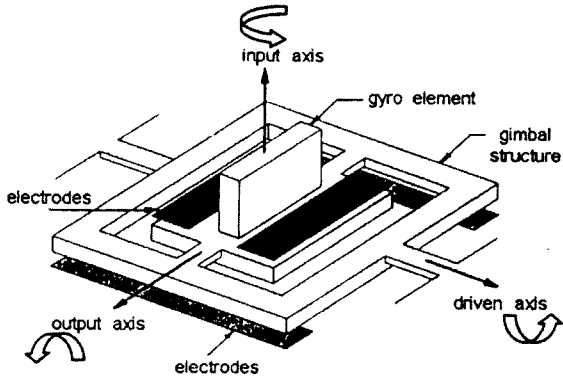


그림 9. 김블형 진동 자이로

이러한 김블형 자이로는 일괄 제작 공정으로 제작하기에는 복잡하기 때문에 새로운 동작 원리가 대두되게 되었다. 즉 그림 10에 보인 수평 진동형 구조에서는 빗살형 액츄에이터를 통해 관성 질량체를 수평진동시키고, 이때 회전 각속도가 인가되면 수직방향으로 작용하는 코리올리힘을 차동으로 측정하는 방식이다.

이 경우 앞서의 김블형에 비해 구조가 수직방향으로 두층의 도체가 있으면 되므로, 구조가 간단하고 일괄 제작이 용이해 졌다. 그림 10의 수평 진동형 자이로도, 1993년에 CSDL에서 발표하였으며 이후 Murata, Samsung, Analog Devices, Motorola 등 여러 기관에서 반도체 공정을 이용한 관성센서 개발에 박차를 가하는 계기가 되었다.

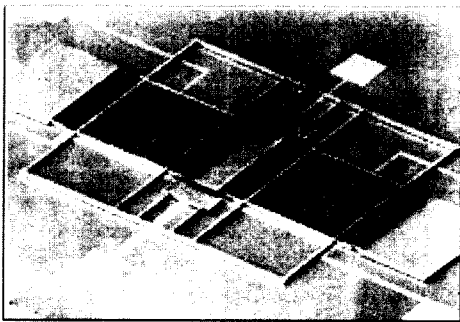


그림 10. 수평 진동형 자이로스코프

이러한 빗살형 액츄에이터를 이용한 다양한 형태의 자이로 연구 결과가 보고되고 있다. 그림 11은 김블 구조에 연결된 관성 질량체의 수평진동을 이용하는 방식으로 두개의 공진모드가 비연성화 할 수 있기 때문에 동작의 안정성을 높일 수 있는 구조이다. 그림 12는 수평 및 수직의 회전 진동을 이용하는 방식의 자이로인데, 이런 원리를 이용하여 그림 13에 보인 바와 같이 단일 소자를 2축의 각속도를 동시에 측정할 수 있는 방식으로 구현이 가능하다.

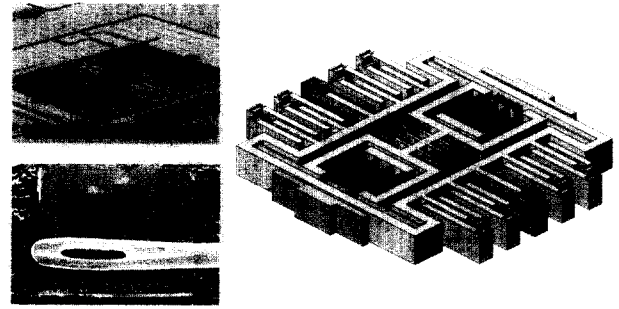


그림 11. 김블 구조의 수평 진동형 자이로

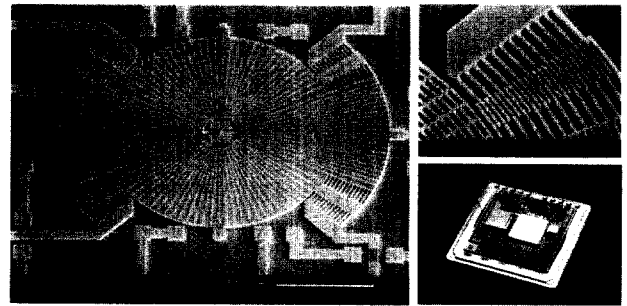


그림 12. 회전 진동형 자이로스코프

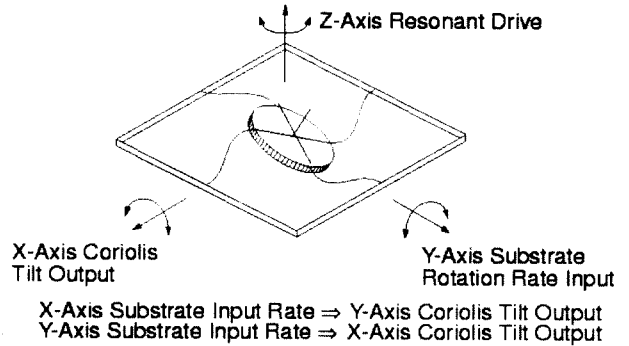


그림 13. 2축 자이로스코프

이외에도 다양한 원리와 제작방식을 이용한 여러 종류의 자이로가 개발되고 있으나, 현재까지는 반도체 제조 기술을 이용하는 자이로는 아직 상품으로는 나오지 않은 상황이다.

2.3 IMUs(Inertial Measurement Unit)

1950년대 초반에 미국 MIT에서 개발되었으며 1960년대 실용화된 장치이다. 외부의 도움이 없이 관성센서인 자이로와 가속도계로 측정되는 항체의 선형 가속도와 각속도를 이용하여 항체의 위치, 속도 및 자세에 대한 정보를 계산하여 항법에 사용한다. 기본적으로 다자유도의 관성 센서로 구성되는 모듈이다.

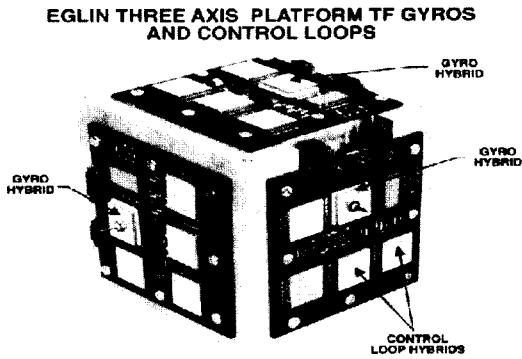


그림 14. IMU 구성 예

계적인 안정대의 유무에 따라 크게 GINS와 SDINS로 구분되며 오차가 시간이 지남에 따라 누적되는 단점이 있기 때문에 GPS, 도플러 레이더 등과 함께 복합 항법장치를 구성하여 사용하기도 한다. 출발 시각부터 임의의 시각까지의 가속도 출력을 항법 방정식에 넣고 적분하여 속도를 얻어 내고 이것을 다시 적분하여 비행한 거리를 구할 수 있게 되며 최종적으로 현재의 위치를 알 수 있게 된다. 미사일 유도를 위해 개발되어 현재는 수천 km를 비행하는 항공기와 우주선에 많이 사용되며 군사적 용도에서 특히 중요성이 부각되고 있다.

IMU는 앞서 그림2에 보인 바와 같이 점차 소형화되고 있는 추세이며, 궁극적으로는 그림 15에 보인 예와 같이 단일 소자 형태로 6자유도의 관성력을 검출하는 방식으로 구현이 주류를 이룰 전망이다.

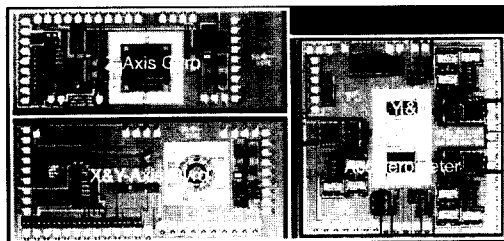


그림 15. 단일 기판형 다자유도 IMU

3. 응용 분야 및 발전 방향

서두에서 언급한 바와 같이 항법용으로 사용되던 관성센서는 반도체 가공기술과 접목하여 중급 성능을 가지는 초소형 핵심부품으로 응용분야가 확대되고 있다. 대표적인 예로는 차량의 에어백 작동을 결정하기 위한 충돌 감지용 가속도계와 능동형 현가장치에 이용되는 진동 측정용 가속도계를 들 수 있다. 이외에도 디지털 TV등 internet 기능이 부가되는 가전 제품에 필요한 3D 마우스나 교배용 캠코더에서 사용자의 손떨림을 계측하여 화상을 보정하기 위한 2축 자이로스코프는 현재에도 큰 시장을 형성하고 있는 부품이다.

또한 게임기의 헤드셋에 관성센서를 장착하거나 VR용 HMD(Head mount display)사용 또는 사람의 제스처를 이용하여 정보를 입력하거나 전자 상거래용 서명 확인에 사용하는 등 인간과 기계 사이의 자연스러운 인터페이스를 통해 다양한 응용 제품군을 도출하는 방향으로 크게 발전할 것이 예상되는 분야이다.

정보통신 분야에서는 휴대전화 사용자의 현위치를 파악할 것을 규정하고 있는 E-911 규제에 대응하기 위해 관성센서 장착이 급속히 늘어날 전망이다. 현재 휴대전화 사용자의 무선위치 확인은 GPS나 근처 기지국의 발신 정보로부터 일부 가능하지만, 정밀도나 상시 수신이 불가능하다는 제약으로 인해 초소형 관성센서의 장착은 불가피할 것으로 예상된다.



그림 16. 3차원 마우스 및 충돌 센서

군사용으로는, 병사 개인이 자신의 위치를 확인하거나, 원격지에서 파악하기 위한 휴대용 항법 장치 개발이 진행되고 있다. 또한 소형의 비행체를 이용 무인으로 근거리를 정찰하기 위한 MAV(Micro Ariel Vehicle)등에 장착하기 위한 소형화 및 저전력화에 대한 연구도 활발히 전개되는 중이다.



그림 17. MAV 개념도

현재까지 기술한 관성센서의 성능 개선과 소형화가 진전되면 극소형의 항체에 장착하여 외부에서 감지가 불가능한 영역을 원격지에서 파악하고 조작을 할 수 있게 된다. 즉 원자력 발전소의 배관이나 인체 내부를 주행하는 진단용 로봇 등에 응용이 되어 현재 불가능한 많은 작업이 가능해질 것이다.

4. 결 언

기존에 사용되던 고가의 초정밀 관성센서는 반도체 가공

기술의 발달과 함께 저가 소형 핵심부품으로 일상에서의 이용이 날로 증가하고 있다. 현재까지 형성된 응용 분야 외에도 다양한 정보를 요하는 고도의 첨단 사회에서는 보다 작고 정밀한 관성센서에 대한 요구가 늘어날 것이다. 현재의 추이로 볼 때 이러한 관성센서를 이용한 다양한 응용제품의 소형화와 다기능화는 인간의 일상에 큰 혜택을 줄 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] A market analysis for microsystem, in *NEXUS task force report*, October 1998

[2] Microstructures and Microsystem technology applications and Market 1997-2002 in *Microsystems Industry Report*, 1999

[3] N. Yazdi, F. Ayazi, K. Najafi, Micromachined inertial sensors, *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 8, August 1998.

[4] C. Song, B. Ha, and S. Lee, Micromachined inertial sensors, in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, Kyungju, Korea, 1999, pp. 1049-1056.

[5] R. Hulsing, MEMS inertial rate and acceleration sensor, *IEEE AES Systems Magazine*, pp. 17-23, November 1998.

[6] N. Barbour and G. Schmidt, Inertial sensors technology trends, in *Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS98)*, Heidelberg, Germany, February 1998, pp. 55-62.

[7] D. J. Murphy, Characteristics of a small low cost inertial measurement unit, in *Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS98)*, Heidelberg, Germany, February 1998, pp. 75-87.

[8] M. Weinberg, J. Connelly, A. Kourepenis, and D. Sargent, Microelectromechanical instrument and systems development at the Charles Stark Draper Laboratory, INC., in *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference (16th DASC)*, vol.2, pp. 33-40, 1997.

[9] N. Barbour, E. Brown, J. Connelly, and J. Dowdie, G. Brand, J. Nelson, and J. OBannon, Micromachined inertial sensors for vehicles, in *Proc. IEEE Workshop on Microelectromech. Syst. (MEMS98)*, Heidelberg, Germany, February 1998, pp. 1058-1063.

[10] H. T. Lim, et al, Elastically Gimballed In-Plane Vibrating Microgyroscope, *MNC2000*, pp.156-157

저 자 소개



이병렬(李秉烈)

1966년생. 1989년 한양대학교 전자공학과 학사. 1991년 한국과학 기술원 전기전자과 석사 1991~현재 삼성종합기술원 재직. 1998~현재 서울대학교 전기공학부 박사과정 재학. 주관심분야는 실리콘 마이크로머시닝. 마이크로 시스템



김서규(金瑞規)

1964년생. 1988년 서강대학교 전자공학과 학사. 1990년 동대학 석사. 1991~1996 대우 전자 근무. 1997~현재 주식회사 공화 재직. 1997~현재 서울대학교 전기공학부 박사과정 재학. 주관심분야는 집적

형 마이크로 센서 및 액츄에이터, 아레이형 관성센서



전국진(全國眞)

1955년생. 1977년 서울대학교 전자공학과 학사. 1981년 University of Michigan 석사. 1986년 University of Michigan 박사. 1986~1989년 워싱턴 주립대학 조교수. 1989~현재 서울대학교 전기공학부

교수. 주관심 분야는 실리콘 마이크로 머시닝