

논문 2008-45SC-1-6

저 전력 센서를 이용한 MEMS 회로의 구현과 시스템 효율의 진단

(System Diagnosis and MEMS Driving Circuits Design using Low Power Sensors)

김 태 완*, 고 수 은**, Hamid Jabbar*, 이 중 민*, 최 성 수***, 이 장 호****, 정 태 경*****

(Taewan Kim, Soeun Ko, Hamid Jabbar, Jongmin Lee, Sungsoo Choi,
Jangho Lee, and Taikyeong Jeong)

요 약

앞으로 conversions 시대의 도래와 진보된 기술 발전으로 인해 많은 기기들이 복잡해지고 또한 다양해지고 있음에 이처럼 다양하고 복잡한 기기들이 정밀하고 정확한 결과를 나타내기 위해 센서의 보다 더 정확하고 저전력의 Sensor들이 필요하게 되었다. 본 논문의 목적은 센서 네트워크를 위한 Fault tolerance와 Feedback 이론 그리고 무선 네트워크를 통해 에너지 효율성이 높은 MEMS 회로를 제안한다. 시스템은 휴무상태를 이용, 사용하지 않는 설정으로 전력소비를 줄이기 위해 가능한 한 독립적인 센서 통신 구현하였으며, 최소한의 하위 회로 수를 요구한다. 이러한 기술은 관리적인 측면의 제어와 하드웨어적 요구, 시간, 상호작용적 문제를 줄여 시스템 실행에 영향을 끼치며 개발된 센서에 의한 Moving Distance별 Product를 조사하여 시스템효율을 비교하였다. 이 시스템은 응용을 위해 디자인 되어 있지만 이 시스템은 "유비쿼터스 시티", "공장 자동화 공정", "실시간 처리 시스템"등에서 많은 일상 환경과 생산 환경에 적용될 수 있을 것이다.

Abstract

Many machineries and equipments are being changing to various and complicated by development of recent technology and arrival of convergence age in distant future. These various and complicate equipments need more precise outcomes and low-power consumption sensors to get close and exact results. In this paper, we proposed fault tolerance and feedback theorem for sensor network and MEMS circuit which has a benefit of energy efficiency through wireless sensor network. The system is provided with independent sensor communication if possible as unused action, using idle condition of system and is proposed the least number of circuits. These technologies compared system efficiency after examining product of each Moving Distance by developed sensor which gives effects to execution of system witch is reduced things like control of management side and requirement for hardware, time, and interaction problems. This system is designed for practical application; however, it can be applied to a normal life and production environment such as "Ubiquitous City", "Factory Automata ion Process", and "Real-time Operating System", etc.

Keywords : Low Power Sensors, Driving Circuits, MEMS, Design and Verification

I. 서 론

* 정회원, ** 학생회원, ***** 정회원-교신저자,
명지대학교 통신공학과
(Department of Communication Engineering,
Myongji University)

*** 정회원, 한국전기연구원
(KERI)

**** 정회원, 홍익대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering,
Hongik University)

접수일자: 2007년11월9일, 수정완료일: 2008년1월7일

복잡하고 지능화되는 환경에 맞추어 상황을 추론하기 위해 필요한 여러 종류의 센서 장비를 만들었으며 이때 다수의 센서로부터 주위 환경 데이터를 수집하고 최소 시간 내에 요구된 작업을 실행하기 위해 최소 사이즈, 그 특성을 이용에서 센서와 통신 그리고 전력의 효과적인 활용을 요구한다. 위와 같은 형태들은 안전성

보단 요구된 데이터 잉여와 손실이 없어야만 하는 요구 조건들을 가지고 있어야 한다.

본 논문은 실험 환경에 사용한 검증된 센싱 기술을 보여주며, 이러한 센서들은 Safety-critical 분야에 적용된다^[1]. 예를 들면, 원자력 발전소 운영, 비행기 비행 그리고 반도체 공정상에서 Fault가 발생할 경우 그 짧은 시간 내에 Fault를 찾아내고 그 Fault를 해결하기 위해 센서를 신속하게 동작시키고, 만약 처리 하지 않는다면 이는 안전과 신뢰성 그리고 생산성에 큰 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 Fault Hypothesis 이론을 이용해 새로운 시스템 플랫폼에 작용되어지는 input과 같은 요구된 작업을 실행하거나 물체를 찾기 위해 로봇 팔의 앞면에 네 개 이상의 센서를 효과적으로 사용하기 위한 기술을 보여준다.

스마트 센서 네트워크상에서 문제는 사용 가능한 전력 제한 문제 때문에 효과적인 작동을 성취해야 하는 것이며 이때 각각의 센서는 전자와 통합 센서들의 집합들을 말한다. 센서들의 이러한 타입이 무선센서 네트워크(WSNs)상에서 사용되곤 할 때, 매우 강력하고 응용이 쉬운 네트워크는 전통적인 유선 네트워크가 실패 또는 다운될 경우에 사용 될 수 있고 활성화될 수 있다. 4개의 이웃으로 구성된 2D 네트워크 사용한 우리가 제안한 시스템 상에서는 6개 혹은 8개 이상의 이웃으로 구성된 2D 네트워크 보다 적은 전력을 소비한다. 이것은 시스템 상에서 흩어진 전력과의 이웃의 센서 수 사이의 Trade-off문제 때문이다^[7-8].

그러므로 우리는 Feedback을 적용하여 보다 개선된 Oscillator를 제안한다. 또한, Fault Hypothesis와 VHDL을 통해 개선된 Oscillator를 검증코자 한다. 제II장에서는 Fault Hypothesis 이론을 본 Oscillator에 적용시키고 본 시스템이 Fault Tolerance를 최소화 시키는 개념을 설명하고자 한다. 제III장에서는 제안한 Oscillator에 Feedback 이론을 적용한 방법에 대해 설명 할 것이다. 제IV장에서 Feedback 이론을 적용한 Oscillator를 Prove와 VHDL을 이용하여 검증 할 것이다.

II. Sensor 의 기본 설계 개념

1. Fault Tolerance

우리는 설계된 최종 시스템이 Fault Tolerance를 최소화 시키는 개념을 설명하고자 하여 이를 위한 최소한의 Fault에 민감하지 않은 시스템을 가져야만 한다. 이

를 Fault Tolerance로 정의할 수 있으며^[2] 이때 Fault Tolerance 시스템은 Fault, Default 그리고 Error에 관련되어있어 시스템의 Fault란 장비의 어떠한 부분에 있어서 작동이나 외관상에서 발생할 수 있는 오류를 나타낸다. 또한 Default란 응용 프로그램에서 사용자가 별도의 명령을 내리지 않았을 때, 시스템이 미리 정해진 값이나 조건을 자동으로 적용시키는 것. 마지막으로, Error란 실제 행동이나 측정된 값과 예상한 값들 사이의 차이점을 말한다. 시스템의 효율을 검증할 때 Fault를 집어넣어 Fault injection(실험하는 시스템의 효율성을 측정하는 방법)으로 시스템 효율을 검증한다.

이를 위해, Fault modeling 그리고 Fault simulation을 살펴보기 위하여 Fault의 종류별로 고찰하여보면, Stuck-at-fault, Bridging fault, Delay fault 그리고 Transition fault, Stuck open fault로 분류 된다^[4].

Stuck-at-fault(고착 결함)는 논리 값이 항상 '0' 또는 '1'로 머물러 있는 상태로 그 값이 변하지 않아 발생하는 결함이다. Bridging fault(교차 결함)는 디바이스의 제조상의 과실이나 결함에 의해 발생하는 경우와 회로 제작시 회로 내에서 임의의 둘 또는 그 이상의 도선이 각각 독립적이지 못하고 다른 도선과 단락된 경우 발생할 수 있는 결함이다. Delay fault(지연 결함)는 임의의 회로 상에서 고유한 동작에 따라서 신호가 지정된 범위의 시간 내에 도달하지 못하는 경우 또는 동기시간이 정확하지 않아 시스템이 오동작을 일으키거나 동작을 하지 않는 경우로 인해 발생하는 결함이다. Transition fault(천이 결함)는 게이트 내부의 특정한 트랜지스터 또는 도선의 결함으로 천이 동작을 일으키지 못하는 결함이다. Stuck open fault(무한 지연 결함)는 주로 게이트 내부의 트랜지스터의 구성에 있어서 Pull-up 또는 Pull-down 동작이 이루어질 때 발생하는 결함에 의한 것이다^[5-6].

Fault simulation은 Fault specification, Fault insertion 그리고 Fault propagation, Fault detection, Post processing로 구성된다. Fault specification은 어떤 fault와 type이 시뮬레이션 동안에 모델이 되는지 결정하는 활동이다. Fault insertion은 기계에 fault의 삽입을 처리하는 아날로그적인 시뮬레이션 시스템이다. Fault propagation은 fault의 효과를 전달하는 기능이다. Fault detection은 물체 네트워크의 초기 결과 값이나 어떠한 주어진 지점에서 언제 관찰하는지를 결정하는 기능이다. Post processing은 어떤 처리 후에 행해지는 처리 과정이다.

위에서 설명한 방법들을 사용함으로써 인해서 Fault tolerance를 최소화 시킨 시스템을 만들어야한다.

2. Oscillator 동작

그림 1에 sensor의 개념도를 나타내며 초기의 insulator 되어있는 패널 두 장으로부터 각각의 거리 d_1 과 d_2 를 계산하고자 A/D 컨버터와 Data Acquisition Board가 필요하게 된다. 이를 위한 공식은 다음에 자세히 설명하고 있으며, 따라서 물체와의 거리는 다음과 같은 식으로 계산 할 수 있다^[3].

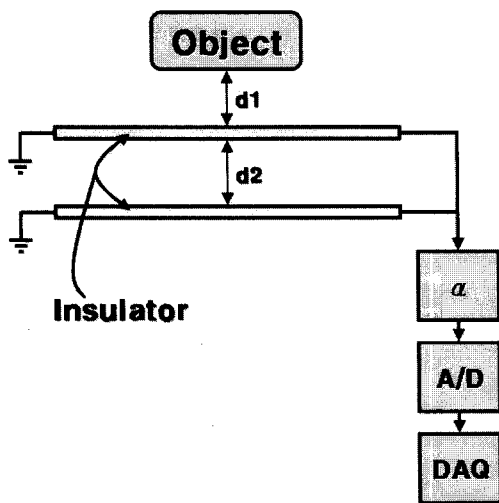


그림 1. Sensor 개념도 (α는 Oscillator를 의미한다)
Fig. 1. Basic concept of Oscillator circuit.

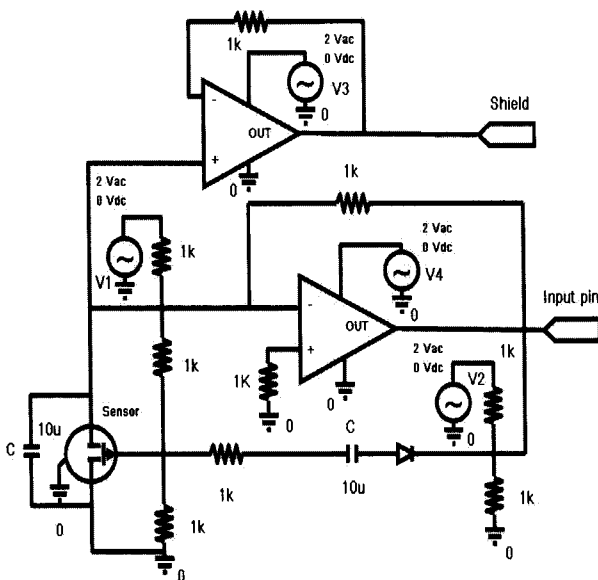


그림 2. 제안된 Oscillator 회로도
Fig. 2. Proposed oscillator circuit and its schematic.

$$C = \frac{\lambda}{d} \tag{1}$$

d_1 과 d_2 가 변화함에 따라 커패시터의 값이 변하게 된다. 이 값이 우리가 정의한 Oscillator로 들어가고 그 값이 A/D컨버터와 DAQ(Data Acquisition)를 통해 우리가 원하는 정보를 얻을 수 있다. 제안한 Oscillator는 다음과 같다.

우리는 IV장에서 위 Oscillator를 fault와 prove통해 검증코자 한다. 모든 경우 진동 레퍼런스 전류는 Voltage follower 전류측정에 의해 포함되고, 누출문제 의 특별한 카테고리 공식화된 문제로서 감소단락회로 전력 낭비가 해결된다. 누출인 경우 예는 충분히 전해 지지 않는다. 이것은 단락 회로 전력 낭비로 알려진 일 반적인 전류진동 문제이다. 이 경우 좋은 Self-detection 메커니즘은 좋은 결과를 낼 수 있으나, voltage follower 전류 측정의 누출의 양이 전형적으로 적으므로, 동적인, 전력 낭비를 이용하여 최적의 해결을 얻는다. 저전력센서는 전극을 감지하는 것으로 설계된다. 설계는 센싱 알고리즘에서 제안된 것으로 프로그램 된다. 전자기적 성질은 감지하는 회로와 그 센서들에서 전류를 올리기 위해 감지된 센서들 사이에서 영향을 미친다. 저항R26이R11, R22, R24에 OP1에 대한 오프셋 전류값 (Ioff-current)이 항상 일정하지 않고, 입력에 따라 변화하고 이때 R11, R22, R24의 값과 함께 급격히 증가 하므로 누설전류 값이 동시에 증가하게 된다. 저항R26 이 R11, R22, R24에 이러한 영향을 받아서 가장 최적화된 값을 형성한다. 이때 만들어져 oscillation circuits의 OP1과 OP2의 값이 우리가 만들고자 할 센서 회로의 커패시턴스 값을 결정하게 되고, 이때 커패시턴스(C)는 거리에 반비례하므로 거리를 크게 할 때 커패시턴스 값 이 작게 되고, 또는 그 반대의 현상이 일어난다. 따라서 누설문제의 문제의 최소화는 단락회로 전력 낭비를 해결한다^[7].

III. 센서회로와 Feedback의 관계

1. 일반적인 Feedback의 구조

그림 3에 귀환 증폭기의 기본적인 구조를 나타냈다. 이 그림은 일종의 신호흐름도(signal-flow diagram)이며, 따라서 Feedback의 수식은 다음과 같이 정의된다.

$$E_0 = \alpha E_i \tag{1}$$

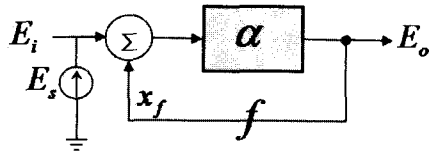


그림 3. 귀환증폭기의 기본구조
Fig. 3. Basic system block of Feedback.

$$E_i = E_s + \beta E_o \quad (2)$$

즉 위의 식을 결합하여 E_o 을 얻을 수 있다.

$$E_o = E_s \frac{\alpha}{1 - \alpha\beta} \quad (3)$$

여기서

$$G = \alpha / (1 - \alpha\beta) \quad (4)$$

$$G_\infty = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} G = -\frac{1}{\beta} \quad (5)$$

으로 표현된다.

이로부터 G를 Laplace transformation으로 변환시키면

$$E_o = G_\infty \cdot E_s \quad (6)$$

$$E_o(s) = G_\infty(s) \cdot E_s(s), \quad s = j\omega \quad (7)$$

의 식을 얻을 수 있다.

위의 식에서 time domain으로 나타내면

$$e_o(t) = \mathcal{L}^{-1}\{E_o(s)\} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{\beta} e^{w_o \alpha_o \beta_o t} + \frac{a_o}{1 - a_o \beta_o} u(t) \quad (9)$$

로 나타낼 수 있다.

2. 센싱 알고리즘

그림 4는 어떻게 하여 센서들의 집합, 즉, 4개 센서들이 물체를 찾을 수 있는지 그리고 우리의 제안된 알고리즘에서 관리자들 뿐 아니라 각각에 대해서 어떻게 통신하는지 보여준다. 센서 조절을 위한 그리고 각 센서들의 정보를 관리를 위한 “Sensing manager”, 정확한 이동을 위해 “Moving manager”를 제안했다.

센서들의 집합, 4개 센서는 오직 원하는 물체에 대한

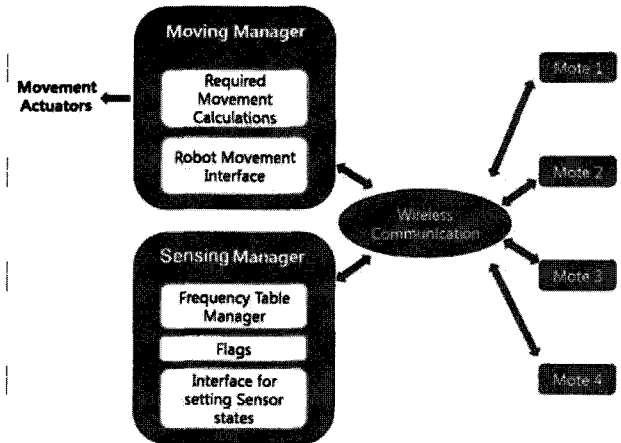


그림 4. 센서 알고리즘과 메카니즘
Fig. 4. Sensor Detection Mechanism.

- 0 x, y, z = distance (or frequency)
- 1 Pa = Pattern(The Vector between four sensors and object)
- 2 Pb = near one sensor to the object
- 3 Init_sensing_mode ()
 - 3.1 set the start point x0, y0, z0
 - 3.2 find the Δx Δy Δz
 - 3.3 Pa = find_Pattern(x,y,z);
- 4 Moving_mode()
 - 4.4 while (Pa≠Pb) Pb = find_Pattern(x, y, z);
 - 4.5 Put other sensor to SLEEP
 - 4.6 if (table_SF < current_SF)
 - 4.7 update "sensing manager" by current_SF
 - 4.8 While (table_SF !≥ current_SF)
 - 4.9 "moving manager" decides x, y, z
 - 4.10 "moving manager" moves the robots
- 5 Self_locking_mode()
 - 5.1 while (current_SF ≠ max_SF)
 - 5.2 "sensing manager" wakes four sensors
 - 5.3 "moving manager" decides x, y, z
 - 5.4 "moving manager" moves the robots
 - 5.5 if (table_SF < current_SF)
 - 5.6 update"sensing manager" by current_SF
 - 5.7 update "flag" by TURE
 - 5.8 if (table_SF ≥ current_SF)
 - 5.9 update "flag" by TURE
 - 5.10 if (flag == TURE)
 - 5.11 "moving manager" increases x, y, z
 - 5.12 "moving manager" moves the robots
 - 5.13 if (flag == FALSE)
 - 5.14 "moving manager"decides moving amount in different directions
 - 5.15 if (current_SF == max_SF)
 - 5.16 stop moving the robot

- 6 Level_setting_mode()
 - 6.1 Sensing manager decides two sensors
 - 6.2 one with max frequency max_SF
 - 6.3 second with min frequency min_SF
 - 6.4 $Current_angle = find_angle(max_SF, min_SF)$
- 7 Forcing_mode()
 - 7.1 chooses one sensor
 - 7.2 put other sensor to SLEEP
 - 7.3 find the matching pattern of object in the minimum distance (match_SF)
 - 7.4 forcing the z axis

그림 5. 센서 Pseudo-code 알고리즘

Fig. 5. Pseudo-code of Sensing Algorithm.

표 1. 그림 5의 단계별 모드와 총요약

Table 1. Summary of Fig. 5 and Each Step modes.

단계	알고리즘 설명	remark
step1	<ul style="list-style-type: none"> ·pa와 pb를 비교함으로써 최단 최소 시간 소모방향, 에너지 효율을 결정 ·각 센서에 대한 정보 테이블을 가진 "Sensing manager"로 각 테이블 업데이트 ·센서가 가장 짧은 물체의 모서리 거리를 찾을 때까지 반복해서 움직인다. 	Moving Mode
step2	<ul style="list-style-type: none"> ·모든 센서들이 물체가 주파수 유효 범위 내로 들어올 때 까지 로봇을 이동시킴. 	Self-locking mode
step3	<ul style="list-style-type: none"> ·최대 최소 주파수를 가진 두 개 센서를 결정(나머지 두 개는 sleep 상태로 전환) ·깨어있는 두 개의 센서들의 각도를 측정 후 Moving manager에게 각도를 전송 ·로봇과 물체가 평행할 때까지 레벨 조정 	Level setting mode
step4	<ul style="list-style-type: none"> ·하나의 센서를 결정한 후 나머지는 sleep 상태로 고정 ·로봇을 센서가 최소 거리 내에 물체의 매 칭된 패턴을 찾을 때까지 z축을 따라 회전 	Forcing Mode

주파수를 읽기 위함이다. 그것들은 Sensing manager에 주파수 정보를 보내고 Wake 혹은 Sleep 명령어를 받는다. 센서들은 상호간에 그리고 관리기들 간에 무선통신으로 통신을 한다.

Sensing manager는 많은 지역과 방향들을 찾기 위해 정보테이블을 가진다. Sensing manager는 다음의 작업을 수행 할 수 있다.

아울러 센싱 메카니즘에 관여된 알고리즘을 표현하여보면 아래와 같은 그림 5의 pseudo-code 로 표현할 수 있다. 표 1 에서는 센싱 되어지는 알고리즘을 Step1~4로 나누어 설명하고 있다.

IV. 실험과 검증

1. 실행환경

모든 제안된 알고리즘과 기술들은 센서가 결합된 4개의 Mote(mote) 형 기판을 구성하는 실험적인 플랫폼을 사용하여 테스트 된다. Mica2 Mote [x]는 가장 유명한 센서 노드 디자인 중에 하나이다. 이것은 ROM 128Kbyte, RAM 4Kbyte를 탑재한 7.3MHz Atmer ATmega128L 임베디드 컨트롤러를 기초했다. Mica2는 저 전력으로 대략 20-30m의 실제적인 실내 범위를 가진 76.8kbps로 동작하는 Single-chip radio (The Chipcon CC1000)을 포함한다. Mica2의 크기는 5.7cm × 3.2cm × 2.2cm 이고 AA 배터리를 사용 한다. 만약 계속적으로 장치를 사용했을 경우 일주일 이상을 사용할 수 있다. 그러나 Mica2의 전력 수명을 한 달 혹은 일년을 적절한 사용을 통해 연장시킬 수 있다^[8]. Mica2는 센서 노드들을 동시에적으로 자원관리를 어드레싱 하는 TinyOS에 의해 동작한다.

각 기판은 그림 6에서 보는 바와 같이 3개의 파트를 가지고 있다. 프로그램 된 기판 MIB510는 Mote를 프로그래밍 하기 위한 그리고 기본 Mote를 하우징(housing)을 무선통신을 위해 사용한다. Motes-Mica2는 TinyOS [xx]를 실행하는 하나의 프로세서를 포함한다^[9-10]. 그것은 라디오 전송과 수신을 할 수 있다. 그 프로세서는 센서를 구성하기 위해 51개의 접속 핀을 가진다. 센서-MTS300은 데이터를 센서화 할 수 있고 프로세서/ 라

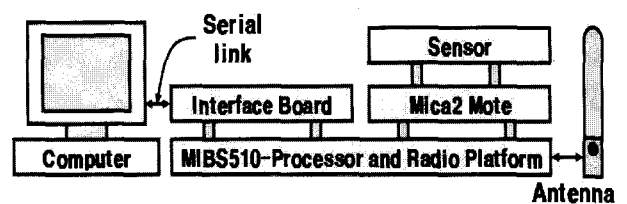


그림 6. Mote 회로 보드와 연결

Fig. 6. Mote Circuit Boards and its connections.

디오 모듈을 사용한다. 우리는 *nesC*언어를 사용하여 기판을 프로그램 했다^[11~12]. 기판은 시리얼 통신을 이용해 PC에 UNIX machine 과 통신하게 된다^[13].

2. VHDL을 이용한 검증

제안된 알고리즘과 기 실험된 MEMS 회로의 구현을 위하여 시스템의 효율을 검증하기 위해서는 시스템의 Fault 를 줄이고 Diagnosis test 를 거쳐야 한다. 이를 RTL(Register-Transistor Level)에서 검증하기 위한 방법을 찾아보면 많은 방법중에 이를 VHDL로 표현할 수 있는 방법이 있다. 우리가 표현한 제안된 Oscillation Circuit 중에서는 Driving IC를 표현하여 그림 7과 같이 표현할 수 있다.

위에 표현된 바와 같이 MEMS 회로의 설계를 RTL(Register-Transistor Level)에서 시스템을 검증함으로써 Fault Diagnosis 를 이루고 MEMS 회로의 건전성을 이룰 수 있게 되는 것이다.

```
entity Oscillator inside of sensor is
  port(A, B, C: in bit; f: out bit_vector(0 to 3));
end entity;
architecture Oscillator of Oscillator1_2 is
  type OPamp1x4 is array (0 to 7) of bit_vector(0 to 3);
  constant OPamp1: Opamp2x5 =("0001", "0010", "0011",
    "0101", "0111", "1001", "1111");
  signal index: Integer range 0 to 7;
begin
  index <= vec2int(A&B); --A&B is a 2-bit vector
  vec2int is a function that converts this vector to an
  integer
  F <=Oscillator(index);
  this statement reads the output from the oscillator
end Oscillator inside of sensor
```

그림 7. 드라이빙 회로를 구현한 VHDL 작성의 예
Fig. 7. VHDL code for Driving IC circuit.

V. 시뮬레이션 결과

본 장은 각 모드에서 이동거리, 시간, 소비전력, PD Product에 대해 비교하고 그 결과를 그래프로 나타내었다. 또한, 센서 수에 따른 각 모드들에서의 변화량도 나타내었다.

첫 번째로, 센서 동작의 각 모드에 대해 설명해 보도록 한다.

Initialization Mode : 이 모드는 센서에 대해 시작점을 설정하고 모든 센서들을 깨우는 것에 의해 물체의 패턴(Pa)나 첫 번째 방향을 찾는다.

Moving Mode : 이 모드는 다른 센서들에 의해 물체의 비슷한 패턴(Pb)를 찾기 위한 모드이다. 원하는 물체를 찾은 후에, 우리는 에너지 효율, 실직적인 이동 모드 실행 전 최단 최소 시간 소모 방향을 결정이 필요하므로 이것을 위해 두 개 패턴 (Pa)와 (Pb)를 비교한다. "Sensing manager"는 각 센서에 대한 정보 테이블을 가진다. 그리고 이벤트에 의해 각 테이블을 업데이트 한다. 위 단계들은 센서가 가장 짧은 물체의 모서리 거리를 찾을 때까지 반복된다.

Self-locking mode : 모든 센서는 다시 깨어나고 가장 짧은 거리상에 있는 물체의 모서리를 찾기 위한 모드이다. 위 단계는 각 센서의 최대 주파수 범위까지 반복한다. 만약 그것이 유효범위 내에 있을 경우 이동 관리기는 물체 위 로봇 오른쪽을 움직이는 것을 멈춘다.

Level setting mode : Sensing manager는 최대 최소 주파수를 가진 두 개 센서들을 결정한다. 두 개 센서를 제외한 Sensing manager는 다른 두 개 센서를 sleep 상태로 만든다. Sensing manager는 레벨 설정을 위해 깨어있는 두 개 센서들에 대한 각도를 결정한다. Sensing manager는 Moving manager에게 각도의 값을 보내고 그 후에 이동 관리기는 로봇과 물체가 평행할 때까지 레벨 조절을 할 수 있다.

Forcing Mode : Sensing manager는 한 센서를 결정하고 다른 한 센서를 sleep상태로 만든다. 이동 관리기는 로봇이 이동하는 방향 상에서 더 이상 움직일 수 없을 때까지 z 축을 따라 로봇을 움직인다. 마지막으로 이동 관리기는 로봇을 센서가 최소 거리 내에 물체의 매칭된 패턴을 찾을 수 있을 때 까지 z 축을 따라 회전시킨다. 센서가 패턴을 찾을 때, 회전을 중지하고 물체에 힘을 가한다.

이때, 전반적인 시스템에서 이루는 모드별, Moving Distance, Total time, Power consumption 그리고 PD Product는 각 모드별로 다르지만 이 중에서 Moving mode에서 PD Product이 가장 많이 상존하게 되고 센서들에 의한 Forcing Mode가 가장 적게 상존하는 것을 알 수 있게 되었다.

표 2. 각 모드별 소비전력과 그 외 벤치마킹

Table 2. Power consumption & other aspects in various of values.

Modes	Moving mode	Self Locking Mode	Level Setting Mode	Forcing Mode
Moving Distance (cm)	7.62	5.33	3.55	0.50
Total time (μsec)	2.10	0.80	0.40	0.10
Power consumption (mW)	1.45	1.38	1.25	1.21
PD Product	3.05	1.1	0.5	0.12

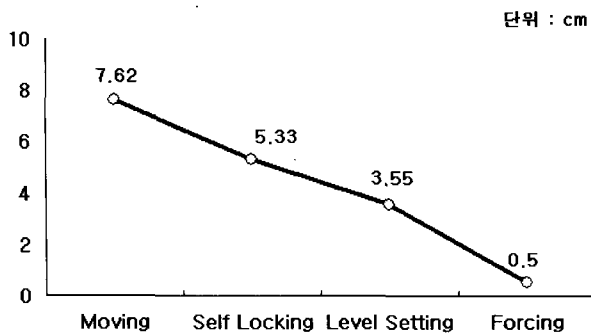


그림 8. 각 모드 대한 Moving Distance 비교.

Fig. 8. Comparison results of Moving Distance on each modes.



그림 9. 각 모드 대한 Total time 비교.

Fig. 9. Comparison results of Total time on each modes.

특히 각 단계별 분석중 가장 중요한 각 모드별 Moving Distance를 살펴보면 그림 8과 같이 표현되어진다. 이를 자세히 살펴보면 점차 감소하는 현상을 살펴볼 수 있게 되면 이때 단위는 cm 이다.

또한 각 모드에 대한 Total time 을 비교한 것은 그림9 에 나와 있으며 이를 보면 특히 Forcing mode에서 가장 적은 시간소요를 보이고 있다.

Power consumption 의 경우도 마찬가지로 감소의

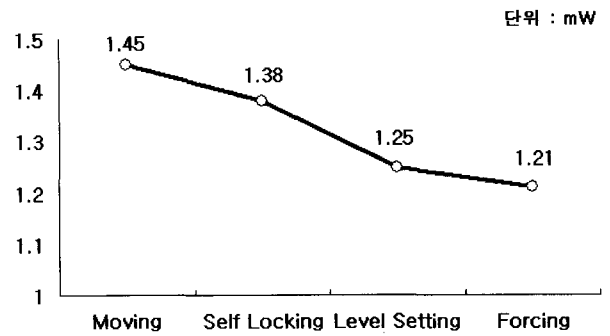


그림 10. 각 모드 대한 Power consumption 비교.

Fig. 10. Comparison results of Power Consumption on each modes.

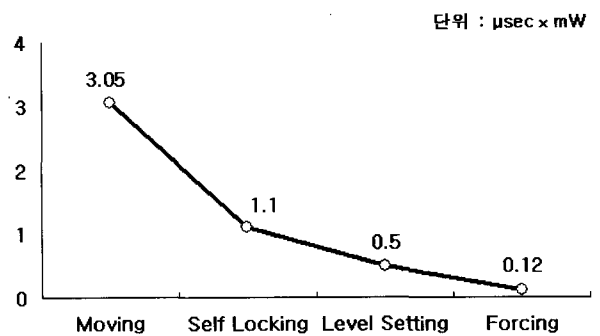


그림 11. 각 모드 대한 PD Product 비교.

Fig. 11. Comparison results of PD Product on each modes.

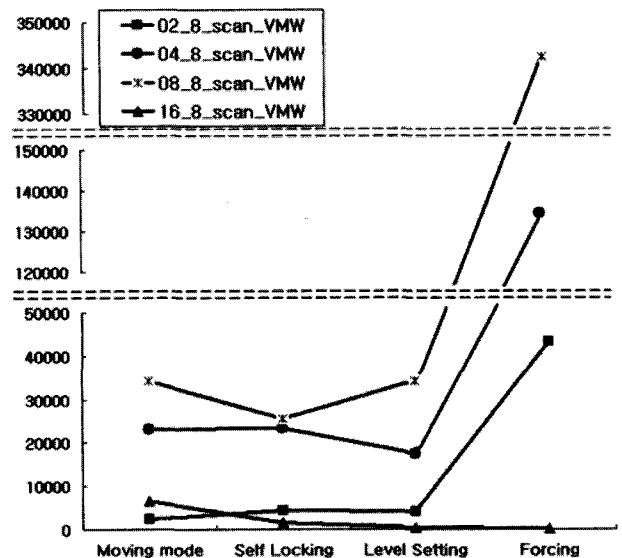


그림 12. Cache hit rate과 연관성 표현

Fig. 12. Cache hit rate in various of associate value.

추세를 보이고 있으나 Level setting mode와 Forcing mode에서 약간의 비슷함을 보이고 있다.

마찬가지로 각 모드에 대한 PD product 를 비교하여 볼 경우에도 Forcing 모드에서 현격한 감소의 값을

가지고 있으므로 이의 센싱 알고리즘이 확대되었음을 확인할 수 있다.

아울러 시스템의 효율을 검증하기 위하여 센싱 알고리즘을 검증한 결과 그림 11의 Cache hit rate을 각각의 VMW에 8-set-associate cache를 예들 들어 검증한 결과 02_8_scan, 04_8_scan, 08_8_scan, 그리고 16_8_scan 별로 각각의 연관성이 각 모드별로 있다고 결론짓게 되었다.

VI. 결 론

결론적으로 저전력 센서를 이용한 MEMS 회로의 구현을 통해 Fault Tolerance를 최소화 시키는 개념을 제시하였다. Feed-back 이론을 적용하는 방법을 통해서, 이를 적용한 Oscillator를 증명하고 VHDL을 이용하여 검증한 결과를 시뮬레이션 결과를 통해서 얻었다. 이러한 결과들을 바탕으로 MEMS 회로가 관리적인 측면에서의 제어와 하드웨어적인 요구, 시간, 상호적인 문제점들을 줄임으로서 생기는 에너지 측면에서의 효율을 극대화 할 수 있게 되었다. 이 시스템은 향후 일상생활과 생산 환경에 적용되어 보다 높은 생산성과 편리함을 가져다 줄 것을 기대한다.

VII. 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 시행한 제15차년도 산학연 컨소시엄의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 논문 집필시 과학기술부의 재원으로 2007년도 한국과학재단의 지원을 받아 수행 (No. R01-2007-000-20599-0)되었습니다. 회로 제작은 반도체설계교육센터(IDECE)의 지원을 받아 시제품 제작되었음에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] F. L. LEWIS Wireless Sensor Networks, to appear in Smart Environments : Technologies, Protocols, and Applications Advanced Controls, Sensors, and MEMS Group, 2004.
- [2] A. Bharathidasan, V. Anand Sai Produrur "Sensor Networks : An Overview"
- [3] P. Levis, S. Madden, D. Gay, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, and D. Culler "TinyOS : An Operating System for Sensor Network", Ambient Intelligence. W. Wever, J. Rabaey, and E. Aarts (Eds.), springer-verlag 2004.
- [4] <http://change.oact.hq.nasa.gov/ft-tech-capaciflector-guided-mechs.html> "The National Aeronautics and Space Capaciflector-Based Technology"
- [5] J.M. Vranish, R.McConnell, "Driven-Shield Capacitive Sensor," U.S. patent 5,166,679. Nov. 1992.
- [6] N. Bulusu, D. Estrin, L. Girod, University of California at Los Angeles, John Heidemann USC/ISI, proc. of the 6th International Symposium on Communication Theory and Applications (ISCTA '01) Ambleside, UK, July, 2001.1.
- [7] T. Jeong and A. Ambler, "PESFA mission: Power efficiency System for Flight Applications" IEEE Trans. on Aerospace and Electronics System, vol. 42, no.4, pp.1510-1515, Oct. 2006.
- [8] A. Salhieh, J. Weinmann, M. Kochhal, L. Schwiebert "Power Efficient Topologies for Wireless Sensor Networks" in the proceedings of the 2001 International Conference on Parallel Processing (ICPP), Valencia, Spain pages 156-163, september 2001.
- [9] J. Hillet al, System Architecture Directions for Networked Sensors, "Proc. 9th Intl Conf. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems" (ASPLOS 2000), ACM Press, pp. 93104. 2000.
- [10] F. Herzel, H. Erzgraber, N. Ilkov, "A new approach to fully intergrated CMOS LC-oscillators with a very large tuning range," CICC, pp. 573-576, May 2000.
- [11] P. Hofstee, N. Aoki, et. al., "A 1.0 GHz Single-Issue 64-bit PowerPC Processor," proc. ISSCC, pp. 30-31, 186-187, Feb 1998., pp. 230-231, 1998., vol. 33, pp.1600-1608, 1998.
- [12] K. Loincz, D. Malan, T. R. F. Fulford Jones, A. Nawoj, A. Clavel, V. Shnayder, G. Mainland, S. Moulton, and M. Welsh "Sensor Networks for Emergency Response : Challenges and Opportunities" In IEEE Pervasive Computing, Special Issue on Pervasive Computing for First Response Oct-Dec 2004.
- [13] H. Ngo and G. Carpenter, "Low-power Phased locked Loop Concept and System," 27th annual Int'l. symp. on Computer Architecture, pp. 83-94, Vancouver, BC, Canada, sep 10-14, 2001.

저 자 소 개



김 태 완(정회원)
2008년 명지대학교 전자공학과
학사 졸업
2008년 현재 (주) KEC 근무
<주관심분야 : 통신, 회로설계, 반
도체>



고 수 은(학생회원)
2009년 명지대학교 통신공학과
학사 졸업 예정
<주관심분야 : 이동통신, 컴퓨터,
회로>



이 중 민(정회원)
2008년 명지대학교 통신공학과
졸업
2007년~현재 (주) 엠케스트비전
근무
<주관심분야 : JAVA, Web
Programing, RFID 설계>



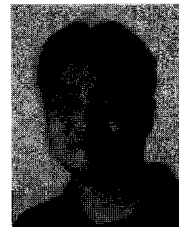
하미드 자바
1998년 P.A.F Intermediate
college, Chaklala,
Rawalpindi, Pakistan
2002년 National University of
Sciences & Technology
(NUST)

2006년~현재 Myongji University M.S 과정
<주관심분야 : 통신회로 설계, RF IC 설계>



최 성 수(정회원)
1998년~광주과학기술원
정보통신공학과 석사
2002년 Univ. of Minnesota,
Twin Cities, Pre-
Doctoral Assistant
2003년~광주과학기술원
정보통신공학과 박사

2004년~현재 과학기술연합대학원대학교
전력정보통신학 조교수
2004년~Univ. of Minnesota, VLSI DSP Lab.,
초빙연구원
2006년~현재 ISO /IEC JTC1 SC25 전문위원,
산자부 유비쿼터스 네트워크표준기술
연구위원
2003년~현재 한국전기연구원 융합기술연구단
선임연구원
<주관심분야: 회로설계, 전력 반도체, 유비쿼터스
컴퓨팅>



이 장 호(정회원)
1990년~서울대학교 컴퓨터공학과
(학사)
1992년~서울대학교 컴퓨터공학과
(석사)
2000년 미국 University of
Michigan, Electrical Eng.
and Computer Science
(박사)

2000년~IBM T. J. Watson 연구소 Postdoctoral
Researcher
2001년~2002년 Ubiquix 수석연구원
2002년~현재 홍익대학교 컴퓨터공학과 조교수
<주관심분야: 협업컴퓨팅, 그리드컴퓨팅, 유비쿼터
스 컴퓨팅>



정 태 경(정회원)
1999년~2001년 Cisco Systems.
Inc.
2001년~2002년 IBM Austin
Research Laboratory.
2004년~2006년 Univ. of
Delaware collaboration
with NASA Goddard
Space Flight Center,
Research Associate

2006년~현재 명지대학교 통신공학과 조교수
<주관심분야 : 통신회로설계, 고성능 반도체설
계>