

이동로봇의 실시간 자세 감지 기능을 갖는 전력공급 시스템

Power Supply System with Real-time Posture Sensing Capability for Mobile Robot

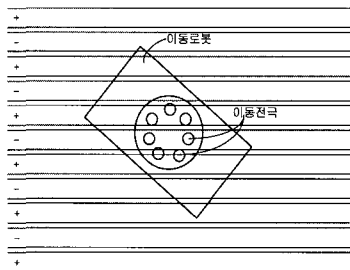
진 상 윤, 이 수 영*
(Sang-Yun Jin, and Soo-Yeong Yi)

Abstract : In this paper, we developed a ground power supply system for a mobile robot moving in the constrained region. By using an external scan circuit through the electrodes, it is also possible to detect the absolute position and heading angle of the robot without any additional position sensors. Since the heavy weighted-battery for electric power and the expensive absolute position sensors are not necessary to the robot by using for proposed system, the mobile robot system becomes cost-effective and dynamically fast.

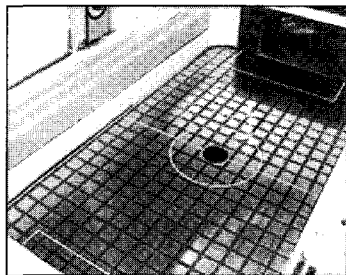
Keywords : ground power supply, switch array, position detection, time-division

I. 서론

이동로봇에 전력을 공급하는 가장 간단한 방법은 물론 충전지를 탑재하는 것이다. 그러나 충전지는 충전시간에 비해 방전시간이 짧아 자주 충전 해주어야 하며, 또한 일반적으로 충전지의 무게가 이동로봇 자체 무게의 반 이상을 차지할 만큼 무거워, 동적 영향이 크고 전력효율이 매우 낮은 문제점이 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 축구



(a) Stripe type electrodes



(b) Lattice type electrodes

그림 1. 외부 전력을 공급하기 위한 바닥면 전극.
Fig. 1. Ground electrodes for supplying external power.

로봇 게임기와 같이 이동로봇의 운동공간이 제한되어 있는 경우에는 운동 바닥면에 전력공급 전극을 배치하고, 로봇의 이동 전극과 바닥면 전극 사이의 접점을 통하여 외부로부터 전력을 공급하는 방식이 고안된 바가 있다. 응용 예에 따라 다음 그림 1(a)와 같은 띠 형태의 전극이나 그림 1(b)와 같은 격자 형태의 전극이 사용되기도 하였다[1].

한편 외부로부터의 전류는 이들 전극배열을 통해 이동로봇으로 흐르게 되므로, 전극배열을 스캔하므로써 전류가 흐르는 전극을 찾아내면 그 전극의 위치가 이동로봇의 실제 위치라고 생각할 수 있다. 이러한 이동로봇의 위치 감지 방식을 사용하면 이동로봇의 주행제어에 필요한 실시간 위치 정보를 별도의 위치감지 센서 없이 측정할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 제한된 공간 내에서 움직이는 이동로봇에 대한 전력공급 문제와 위치 확인 문제를 통합적으로 해결하기 위해 운동 바닥면에 전극을 배치하여 전력을 공급함과 동시에 전극을 통하여 흐르는 전류를 감지하므로써 이동로봇의 위치를 감지할 수 있는 새로운 방법을 제안하고자 한다. 이러한 방식은 이동로봇에 탑재하는 충전지를 배제하므로써 동적효과를 높일 수 있고, 전력효율을 개선할 수 있으며, 또한 별도의 센서 없이 이동로봇의 실시간 위치를 감지할 수 있다는 장점이 있다.

II. N×N 스위치 배열

먼저 다음 그림 2와 같이 $x-y$ 평면상에 $N \times N$ 개의 접촉 스위치 배열이 있다고 생각하자. 이러한 스위치 배열은 컴퓨터의 자판이나 전화기 누름 스위치와 같이 여러 개의 스위치로 구성된 시스템에서 많이 사용하는 방식이다[2]. 그림에서 $I_i, i = 1, 2, 3$ 은 펄스 입력단자, $O_j, j = 1, 2, 3$ 은 출력 스캔단자, 그리고 S_{ij} 는 저항 R_L 의 크기를 갖는 접촉 스위치를 나타낸다. 예로서 만일 어떤 시점에 스위치 S_{32} 가 닫힌다면 $I_2 - S_{32} - O_3$ 로 폐회로가 구성되므로, I_2 에 가해진 펄스 입력은 O_3 에 나타나게 된다. 그러므로 이러한 스위치 배열에서 그림 3과 같은 타이밍 다이어그램에 따른

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2005. 3. 31., 채택확정 : 2005. 11. 16.
진상윤 : 전북대학교 제어계측공학과(vivachin@netian.com)
이수영 : 전북대학교 전자정보공학부(suylee@chonbuk.ac.kr)

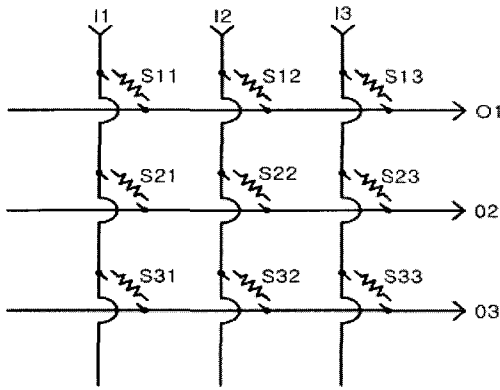


그림 2. $N \times N$ 스위치 배열.
Fig. 2. $N \times N$ switch array.

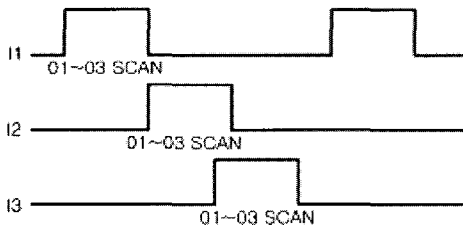


그림 3. 타이밍 다이어그램.
Fig. 3. Timing diagram.

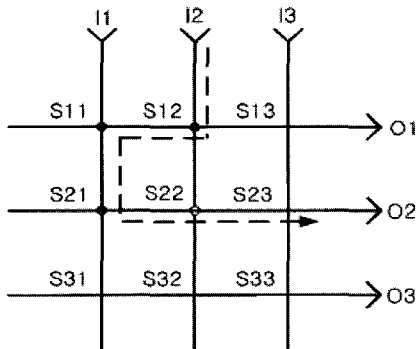


그림 4. 팬텀 효과.
Fig. 4. Phantom effect.

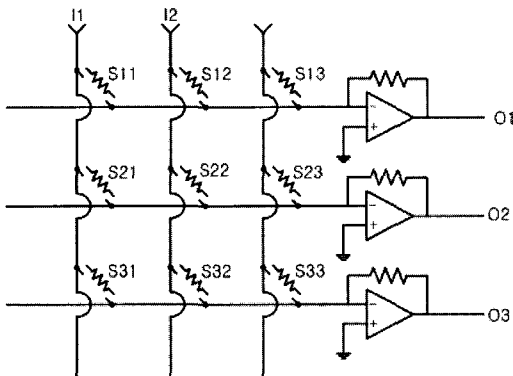


그림 5. 연산증폭기의 가상접지.
Fig. 5. Virtual-ground of operational amplifier.

출력단자 스캔을 통해 스위치의 개폐 여부를 감지할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 스위치 배열을 이동로봇의 운동 공간 바닥면에 설치하고 로봇의 이동에 따라 각 스위치가 개폐되면 이를 감지하여 로봇의 위치를 알 수 있도록 한다.

이러한 스위치 배열의 스캔감지 방식은 각각의 스위치를 독립적으로 배선하는 방식에 비해 필요한 배선의 수를 크게 줄일 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 $N \times M$ 개의 스위치를 독립적으로 배선하는 경우 각 스위치당 2개씩 총 $2NM$ 개의 외부 배선이 필요한 반면에 위의 방식은 N 개의 입력배선과 M 개의 출력배선, 즉 $N+M$ 개의 외부 배선만 있으면 된다[3].

그러나 이러한 스위치 배열은 다음 그림 4에서 설명하는 바와 같이 소위 팬텀(phantom) 효과라는 문제점이 있다. 즉, 그림 4에서 S_{11} , S_{21} , S_{12} 스위치가 동시에 닫히면, 이들을 통하여 I_2 로부터 O_2 까지 폐회로가 구성되므로 마치 이들과 인접한 스위치 S_{22} 도 닫힌 것과 같이 인식된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 스위치 S_{21} 과 S_{11} 사이의 전류 흐름을 차단해야 하는데, 이는 연산증폭기의 가상 접지를 이용하여 각 열 전극들을 같은 전위로 유지시켜 주므로써 해결할 수 있다[2]. 즉, 아래 그림과 같이 연산증폭기를 출력단자에 연결하면 스위치 S_{21} 과 S_{11} 사이 경로가 등 전위로 되어 전류가 흐르지 않게 된다.

III. 이동로봇 위치 감지와 전력 공급

이제 다음 그림 6과 같은 바닥면 전극배열을 생각하자. 그림에서 각 마름모꼴 격자는 전극을 나타내며, 열전극 c_i 와 행전극 r_j 들은 각각 수직, 수평방향으로 연결되어 있다. 이러한 전극 배열은 다층 PCB 형태로 제작할 수 있다. 그림에서 굵은 점으로 표시된 A, B 는 이동로봇의 하부에 설치된 이동 전극과 바닥면 전극배열 사이의 접점을 나타낸다.

이동로봇 하부의 이동전극은 그림 5에서 각 스위치 S_{ij} 의 역할을 한다. 즉 로봇 이동에 따라 S_{ij} 에 의해 열전극 c_i 와 행전극 r_j 가 로봇 부하에 의해 연결되면, 앞서 설명한 타이밍 다이어그램에 따라 T_i^V 를 순차적으로 단락하고 O_j 를 스캔하므로써 이동 전극의 실시간 위치를 감지할 수 있다.

1. 스위치 배열을 통한 전력 공급

먼저 그림 6과 같은 이동전극 접점 상황에서 스위치 T_2^V 와 T_G^G 이 단락되어 있는 경우를 생각해 보자. 그러면 $V_{cc} - T_2^V - c_2 - A - B - r_3 - T_G^G - GND$ 로 폐회로가 구성되어 이동로봇 부하 $A - B$ 로 외부전압 V_{cc} 가 인가된다. 그러므로 전원쪽 스위치 T_i^V 와 접지쪽 스위치 T_j^G 에 의해 이동로봇에 전력을 공급할 수 있다.

스위치 배열을 통해 앞서와 같이 이동전극의 위치를 감지하고 또한 전력을 공급하기 위해서는 시분할 운영이 필요하다. 즉 다음 그림 7에 보이는 바와 같이 일정 시간 간격을 위치확인을 위한 스캔주기와 전력공급 주기로 나누어 운영한다[4].

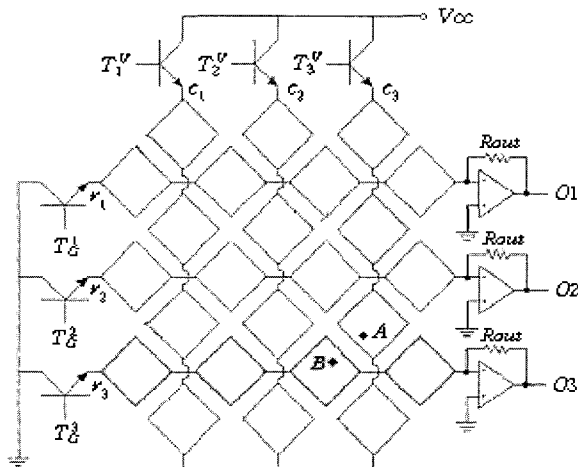


그림 6. 바닥면 전극배열.
Fig. 6. Ground electrode array.

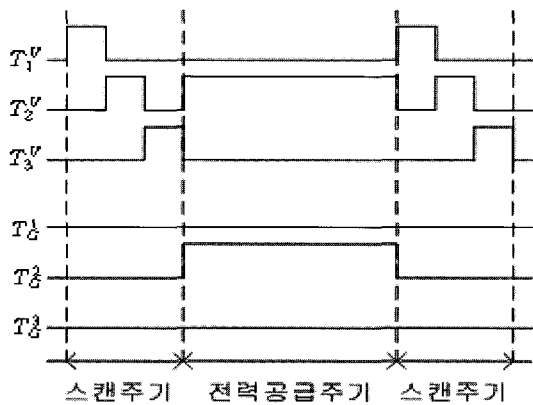


그림 7. 시분할 운영도.
Fig. 7. Operation timing diagram.

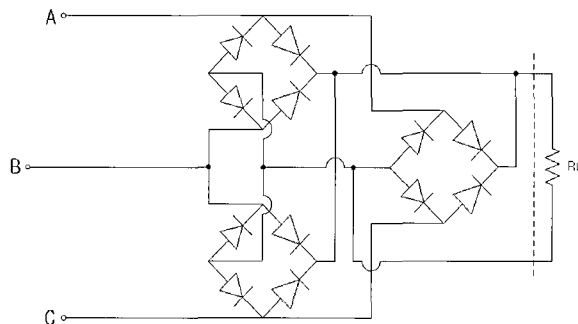


그림 8. 이동전극 평활 회로.
Fig. 8. Rectifier circuit for moving electrode.

위 그림에서 스캔주기에서는 모든 접지쪽 스위치 T_G^i 를 개방하고, 전력공급주기에서는 스캔주기에서 확인된 이동로봇의 위치에 따라 스위치 T_V^i 와 T_G^i 를 단락하므로써 이동로봇 부하에 전력이 공급될 수 있도록 한다. 일반적으로 이동로봇의 속력에 비해 매우 빠른 스위칭 스캔이 가능하므로 감지된 위치는 이동로봇의 실시간 위치로 간주할 수 있다.

2. 이동로봇 공급전원 평활화

위의 그림 6에서 이동로봇의 전극과 바닥면 전극 사이의 접점 A, B를 통해 공급되는 전력은 이동로봇의 방향에 따라 극성이 바뀔 수 있다. 공급되는 전력의 극성을 유지하므로써 안정화하기 위해서는 평활회로가 필요하다. 본 논문에서는 이동로봇 위치 감지율을 높이기 위해서 이동전극을 A, B, C 3단자로 하였다. 3단자 사이의 평활회로는 다음 그림 8과 같이 구성할 수 있다. 그림에서 R_L 은 모터나 제어기등과 같은 이동로봇의 부하를 의미한다.

IV. 시스템 구성 및 실험

1. 시스템 설계 및 제작

본 시스템은 크게 PC상의 모니터링 시스템과 바닥면 전극 배열, 그리고 시분할에 의해 전력펄스를 공급하고 위치를 감지하기 위한 제어부로 구성된다. 전술한 바와 같이 일정 공간상에서 운동하는 이동로봇의 바닥면 전극으로서 그림 9와 같이 PCB 전극면을 제작하였다. 각 격자 전극의 크기는 마이크로마우스와 같은 소형 이동로봇의 크기를 고려하여 $13\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ 의 크기로 하였으며, 배열의 크기는 16열 \times 21행이다. 그러므로 실험을 위한 이동 바닥면의 크기는 대략 $38\text{ cm} \times 47\text{ cm}$ 이 된다.

위치감지를 위해서는 이동로봇의 전극은 한 쌍(A, B, C)이면 되지만, 위치뿐만 아니라 이동로봇의 방향도 감지할 수 있도록 하기 위하여 본 논문에서는 그림 10에 보이는 것과 같이 이동면 삼각형 형태로 세 쌍의 전극을 설치하였다. 세 쌍의 이동전극 중 하나는 그림 10에 보인 바와 같은 이동로봇 전력공급용이며, 나머지 두 개는 위치 감지용으로 단순 저항을 연결하였다.

제어부는 바닥면 전극 배열의 열전극 c_i 에 주기적인 펄스를 공급하고 행전극 r_j 을 스캔하므로써 이동로봇의 위치를 감지하고 전력을 공급하는 역할을 한다. 제어부와 PC상의 이동로봇 모니터링 프로그램은 직렬포트를 통해 연결되며, 모니터링 프로그램은 다음 그림 11에 보이듯이 이동로봇의 실시간 위치를 그래픽으로 사용자에게 제시한다.

2. 실험결과

제한한 시스템의 위치감지 및 전력공급 성능을 확인하기 위해 실험을 행하였다. 그림 6의 외부 전원으로 $V_{cc} = 10V$ 를 공급하였고, 제어부에서 시분할의 한 주기는 50 ms 로 하였다. 이중 위치감지를 위한 스캔주기는 2 ms , 그리고 나머지 48 ms 는 전력공급 주기이다. 바닥면 전극배열 상에서 이동로봇이 외부전력으로 운동하는 것을 실험하기 위해서는 이동전극과 바닥면 전극사이의 접점 유지를 위한 스프링장치와 같은 기계적 압력 장치가 필요하다. 그러나 이를 구현하는 것은 본제에서 벗어나므로 여기서는 단순히 이동전극에 모터부하를 연결하고 바닥면 전극과 접점을 유지할 수 있도록 손으로 일정한 압력을 가하면서 이동전극을 이동시켰다. 다음 그림 12는 우하단에서 좌상단 대각선 방향으로 이동전극을 운동시켰을 때 모니터링 프로그램에서 관측한 감지 결과를 그래프로 표시한 것이다[5]. 각 삼각형의 꼭지점이 한 쌍의 이동전극을 나타내며, 하나의 삼각형은

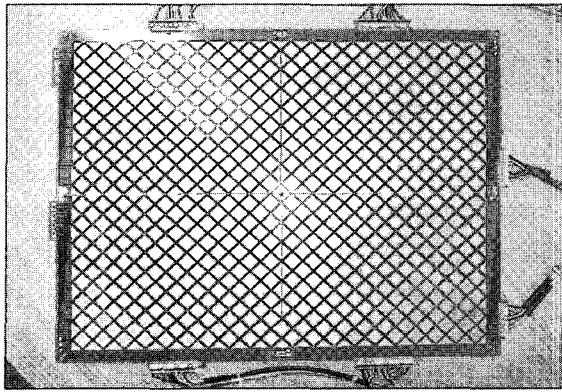


그림 9. 바닥면 전극 배열.
Fig. 9. Ground electrode array.

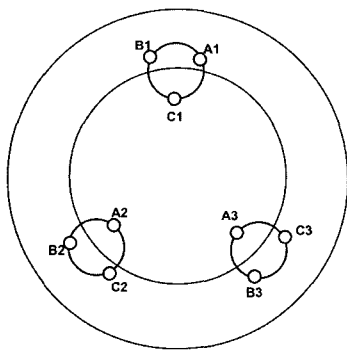


그림 10. 이동로봇의 전극.
Fig. 10. Moving electrodes of mobile robot.

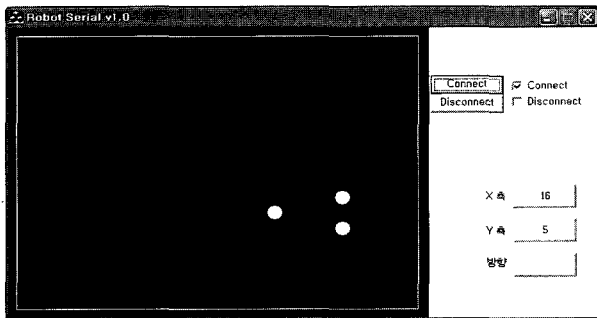


그림 11. 모니터링 프로그램.
Fig. 11. Monitoring program.

한 순간의 세 쌍 전극들의 위치를 나타낸다. 그림에서 x 축과 y 축은 각각 열전극 r_i 와 행전극 c_i 의 번호를 나타낸다. 이동 실험과정에서 이동전극에 연결된 모터부하의 회전으로부터 외부전력이 이동부하에 계속 공급되고 있음을 확인하였다. 모터에 실제로 공급되는 전압은 열전극과 행전극을 개폐하기 위한 스위칭 트랜지스터의 턴온 전압 V_{ce} 때문에 공급전압 $V_{cc} = 10V$ 보다 다소 작은 $8V$ 를 얻었다.

본 논문에서는 이동전극으로 위의 그림 8과 같은 단순한 평활회로만을 구성하였으나 실제 상황에서는 부하에 대한 전력공급을 안정시키고, 또한 바닥면 전극 격자와 격자 사

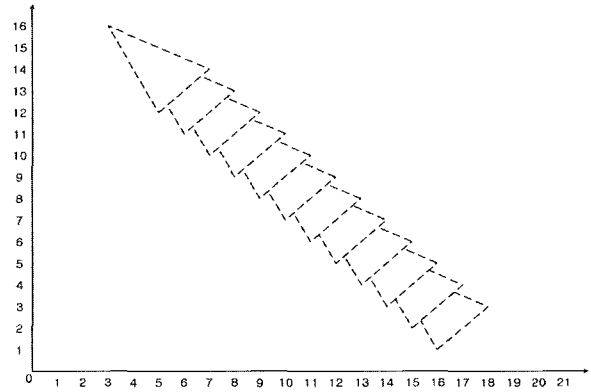


그림 12. 대각방향 이동 감지.
Fig. 12. Detection result for diagonal movement.

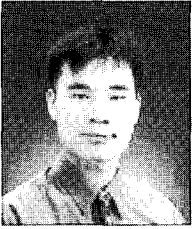
이에 이동전극이 놓여서 외부 전력공급이 중단되는 상황을 고려하여 어느 정도 충전지가 필요할 것으로 생각된다. 그러나 이 경우에도 전적으로 충전지에만 의존하는 기존의 방법에 비해 훨씬 적은 용량의 충전지로 충분하므로 여전히 본 시스템은 효율성이 있다고 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 위치 및 방향 감지 기능을 갖는 바닥면 전력 공급 시스템을 개발하였다. 이를 이용해 이동로봇에 전력을 공급함과 동시에 별도의 외부센서 없이 이동로봇의 위치 및 진행 방향을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 시스템을 이용함으로써 이동로봇 무게의 반 이상을 차지하는 충전지를 배제할 수 있으며 따라서 이동로봇의 동특성을 개선하고, 이동로봇 제작에 있어서 경제성과 유지, 보수의 효율성을 극대화 할 수 있다. 제한한 시스템은 축구로봇 게임기나 무인공장의 반송 장치와 같이 제한된 공간상에서 운동하는 이동로봇의 전력공급 및 자율주행을 위한 실시간 감지 시스템에 활용 가능하다.

참고문헌

- [1] S. Wang, "Remote table-based log-in authentication upon geometric triangle" *Computer standards and Interfaces*, vol. 26, no. 2, March, pp. 85-92, 2004.
- [2] W. Daniel Hillis, "A high-resolution imaging touch sensor," *Int. journal of Robotics Research*, vol. 1, no. 2, pp. 33-44, 1982.
- [3] K. Nakazawa, K. Mizuhara, T. Hirabayashi, "Development of person counting system using distributed touch sensor," *IECON*, pp. 1536-1540, 1992.
- [4] S. Ohyama, J. Iizukas, J. Takayama, and A. Kobayasi "Position measurement using an enclosed signal field with pulse-width-modulated function." *Sensors and Actuators A. Physical*, vol. A-113, pp. 54-59, 2004.
- [5] Y. Bar-Shalom and X. R. Li, *Estimation and Tracking: Principles, Techniques and Software*, Artech House, Delham, MA, 1993.



진 상 운

2003년 서남대학교 전자공학과 졸업.
2005년 전북대학교 제어계측공학과 대학원 석사. 관심분야는 자동화 시스템, 시스템 설계, 이동로봇.



이 수 영

1988년 연세대학교 전자공학과 졸업.
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1997년~1998년 Dept. of EECS, Univ. of Southern California 박사후과정. 1995년~1999년 한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터 선임연구원, 1999년~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수. 관심분야는 이동로봇, 지능 제어, 센서시스템.