

논문 2011-5-5

영상정보를 이용한 이동로봇의 무선 전력전송 자동충전에 관한 연구

A Study on Mobile Robot Auto Recharging System Based on Wireless Power Transmission and Visual Information

김재오*, 이경중*, 안현식**, 문찬우***

Jaehoh Kim, Kyung-Jung Lee, Hyun-Sik Ahn, Chanwoo Moon

요약 본 논문에서는, 무선 전력전송 방식을 이용한 이동로봇의 자동 충전 시스템을 개발한다. 기존 이동로봇의 자동 충전이 기구적 접촉에 의해 이루어졌던 것에 비해, 무선 전력전송을 이용한 충전 방법은 전자기 유도 방식에 의한 비접촉 충전시스템이다. 이 방식은 송수신 코일이 바른 위치에 정렬되어야만 효율적인 충전이 가능하다. 이 문제를 해결하기 위하여, 영상정보를 통해 충전시스템의 원형 송신 코일의 변형률을 인식하여, 효율적인 자동충전이 가능하도록 이동로봇의 자세를 제어한다.

Abstract In this paper, an auto recharging system for a mobile robot based on the wireless power transmission and visual information is proposed. The existing recharging systems for mobile robot use mechanical contact while wireless power transmission transfers energy by electromagnetic induction method without contacts. For efficiency of charging, alignment of coils is important. In order to solve this problem, with the visual image, ellipticity of coil circle is recognized to control the pose of mobile robot.

Key Words : Mobile Robot, Wireless power Transmission, Image Recognition, Contact-less charging

1. 서론

이동 로봇이 구동되기 위해서는, 전력원으로 로봇 몸체에 탑재되어있는 충전지 혹은 건전지를 이용하며, 로봇에서 소모되는 전력이 크면 클수록 자주 외부에서 전력을 재공급해 주어야 한다. 이동 로봇에 충전을 하기 위해서는 여러 가지 방법이 있지만, 일반적인 방식은 접촉식 충전스테이션의 위치를 기억하고, 충전 필요시 기억된 위치로 이동하여 충전하는 자동충전방식이다. 가정에

서 사용하는 청소용 로봇에서는 로봇 스스로 충전하는 기능을 갖춘 것이 많다. 이러한 충전스테이션을 이용하는 경우에는 충전을 하는 로봇과 충전스테이션에 충전을 하기 위한 접촉 부분을 가지고 있어야 한다. 이 접촉부분과 바르게 접촉 되어야 충전을 할 수 있다. 따라서 접촉이 확실히 이루어질 수 있도록 하는 다양한 방법과 구조가 존재한다^{[1][2]}. 반면 무선전력전송을 이용한 충전방법은 비 접촉 식이기 때문에 접촉식과 비교하여 충전시스템의 배치에 대해서 복잡한 구조가 필요 없다는 장점이 있다. 무선 충전방식에 따라서 원거리, 근거리 비접촉 방식으로 나뉘지며^[3]. 본 논문에서는 비접촉방식인 자기 유도방식을 이용한다. 이 방식은 전력 송수신 코일의 거리 및 위치의 제한성을 가지고 있다. 이전에도 이동로봇

*준회원, 국민대학교 전자공학과

**정회원, 국민대학교 전자공학과

***정회원, 국민대학교 전자공학과(교신저자)

접수일자 2011.9.17, 수정일자 2011.10.12

게재확정일자 2011.10.14

의 무선충전에 관한 연구가 있었으나 무선충전의 현실적인 문제점은 고려되지 않았다^[6]. 충전의 효율을 높이기 위해서는 송수신단의 위치 및 거리가 중요한 요소이다. 본 논문에서는 송수신단 코일의 정확한 정렬을 위하여 카메라를 이용하여, 송신부의 원형 안테나를 인식하고, 인식된 원형안테나의 변형률을 측정한다. 변형률은 송신부의 상대적 위치를 나타내며 고효율 충전을 위한 로봇의 자세제어 정보로 사용된다. 변형률은 사용하는 송신 안테나의 이미지인 원의 영상에서 타원을 검출하고, 선이나 원을 검출하는데 사용되는 RHT(Randomize Hough Transform)을 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용된 무선충전 및 영상처리에 대한 이론 적인 부분에 대해서 다루고, 3장에서는 실제 구현 시스템에 대한 내용을 다루며, 4장에서는 TI사의 충전 시스템을 모바일 로봇에 적용 시의 문제점 및 이에 대한 해결책으로 제안한 방법에 대한 실험 및 결과를, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 이론적 배경

1. 무선 전력 전송 충전 시스템

무선으로 전기에너지를 전력원에서 원하는 기기로 전달하는 무선전력전송 기술은 이미 1800년대에 전자기유도 원리를 이용한 전기모터나 변압기가 사용되기 시작했고, 그 후로는 라디오파나 레이저와 같은 전자파를 방사해서 전기에너지를 전송하는 방법도 시도되었다. 흔히 사용하는 전동칫솔이나 무선면도기도 전자기 유도 원리로 충전된다^[3].

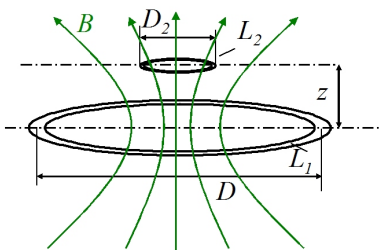


그림 1. 유도결합 전력 전송 시스템
Fig. 1. Inductively coupled power transfer systems

그림1에 유도결합 전력전송시스템의 기본원리에 대해서 나타내었다^[3]. 송신기 코일 L1과 수신기 코일 L2로 이

루어져 있고, 두 코일은 자기 결합 인덕터 시스템을 형성한다. 송신기 코일에 흐르는 전류는 수신 코일에 전압을 유도하며, 이 전압은 모바일 장치의 전원을 충전하는데 사용된다. 전력 전송의 효율은 인덕터 품질(Q)과 커플링(K)에 따라 달라지며, 커플링은 인덕터(Z)와 상대적인 크기(D/D2)사이의 거리에 의해 결정된다.

이러한 것을 전달 방법에 따라서 분류하면 표 1과 같이 나타낼 수 있다^[4]

표 1. 무선전력전송 규격 분류
Table 1. Classification of wireless power transmission

분류	전송 거리	특성
원거리전송	수km ~ 수백 km	수 GHz주파수 사용 고효율 전송
근거리 전송	수m ~ 10m내외	수십MHz ~ 수백MHz 저출력 전송
비접촉 전송	수 mm내외	고효율 전송 Inductive coupling을 이용한 전송

비접촉 전력전송 방법은 일부를 제외하고는 대부분 자기유도 방식을 사용하고 있다. 두 개의 코일 사이의 자기유도는 코일 사이의 거리 및 상대적 위치에 매우 민감하여 두 코일 사이의 거리가 약간만 더 멀거나 틀어져도 전송 효율이 급속히 떨어지는 약점이 있다. 그러므로, 근접거리에서만 가능한 방법으로 전력 공급원과 수신기 사이의 거리가 거의 1 cm이내 또는 수 mm에서만 사용이 가능하다. 실질적인 무선 에너지 전송은 거리가 제한되어 있으며 전송거리가 수 mm내외로 전력공급원과 기기가 밀착되는 형태이며, 자기유도 (inductive coupling)방식을 이용하여, 에너지 전송효율이 높고, 실용화가 많이 된 부분이다^[7].

2. 코일 영상정보 처리

충전 효율을 높이기 위해서는 송수신 코일의 정확한 정렬이 필요하다. 본 논문에서는 송신코일을 영상정보를 통해 인식하고 수신코일의 위치와 방향을 인식해 로봇의 충전 자세제어에 사용한다. 그림 2는 영상 처리 방법에 대한 순서도이다. 영상처리의 순서는 카메라로부터 캡처된 영상을 이진화 및 세션화 처리를 진행하여, RHT를 이용한 원의 이미지를 검출한다. 이러한 검출된 이미지의

클러스터링을 통해 이미지의 찌그러짐(원의 변형률)을 계산해낸다. 원의 찌그러짐을 이용하여, 변형률과 추가로 좌우 치우침에 대한 값도 추출한다^{[8][10]}. 그림3에 보이는 바와 같이 인식된 타원의 방향에 따라서, 안테나들의 위치를 검출한다. 그림 3에 있는 원은 송신안테나를, 사각형은 수신안테나를 나타내고 있다. 그림 3에서는 타원의 영상을 이용하여, 제어신호의 출력을 구하는 그림으로 나타내었다.

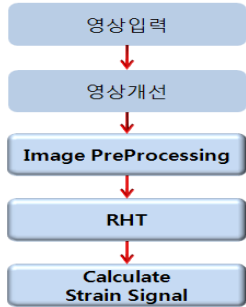


그림 2. 무선 충전 안테나의 변형률 추출
Fig. 2. Process of ellipticity extraction of charging antenna

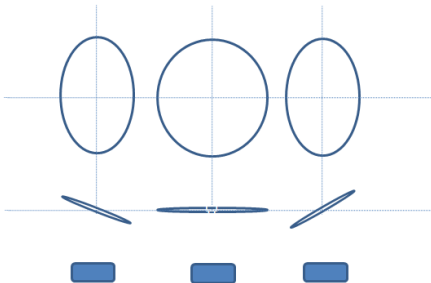


그림 3. 송수신 안테나와의 위치 판단
좌측부터(a) 좌측 치우침(b)바른위치(c)우측 치우침
Fig. 3. Determination of the antenna location
From the left, (a) the left shift, (b) front position (c) the right shift

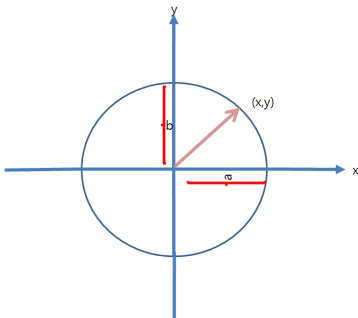


그림 4. 2차원 직교좌표계에서의 타원의 표현
Fig. 4. Two-dimensional representation of the ellipse in Cartesian coordinates

그림 4와 같은 타원의 방정식에서,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{1}$$

if $a = b$, 원
if $a > b$, 가로로 긴 타원
if $a < b$, 세로로 긴 타원

식 (2)에서 보는 바와 같이 변수 a,b의 값에 따라서 타원인지 원인지 판단한다.

III. 이동 로봇의 충전 시스템 설계

본 논문에서 사용된 무선 충전 시스템의 전체 제어도를 그림에 5에 나타내었다. 카메라에 캡처된 이미지에서 안테나 이미지를 발견, 인식하고, 이를 바탕으로 이동 로봇의 위치를 이동해서 안테나와의 배치를 판단하여, 이동 로봇에 탑재되어있는 무선 전력전송 충전 수신시스템과 송신시스템과의 통신 신호로 통신을 주고받은 후에, 일정한 충전이 되었는지 판단하고, 충전 완료시에는 충전동작을 마무리하는 흐름이다.

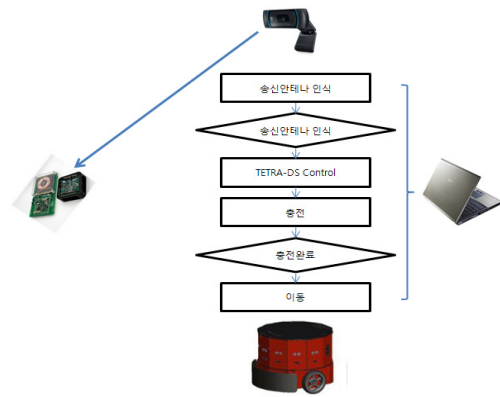


그림 5. 모바일 로봇의 무선전력전송시스템흐름도
Fig. 5. Flow of the mobile robot wireless power transmission process

IV. 이동 로봇의 자동 충전 시스템 구현

1. 무선 충전 송수신 시스템

본 논문에서 사용된 무선 충전시스템은 TI(Texas Instruments)사의 bq25046EVM-687 Kit를 이용하였다^[11].

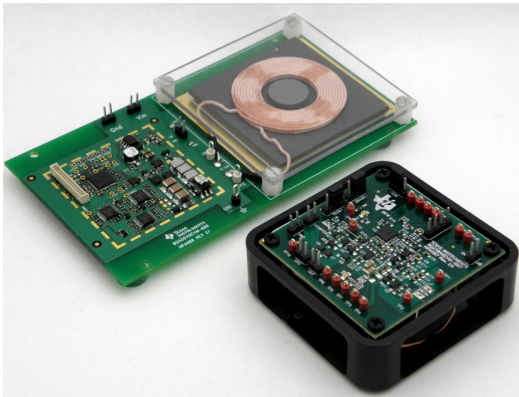


그림 6. 사용된 TI사의 BQTESRA100LP
Fig. 6. TI's used BQTESRA100LP

그림 6의 Kit 상단에 위치한 것이 전력을 송출하기 위한 송신시스템이며, 아래에 있는 것이 무선 전력을 수신하기 위한 수신시스템이다. 수신시스템에 사용된 칩은 bq51013으로 5V 정격출력에 최대 1A까지 지원 가능한 칩이다. 송신단에 사용된 칩은 bq500100을 사용한다. bqTESRA에서는 19Vdc \pm 200mv 500mA까지 전송가능하다.

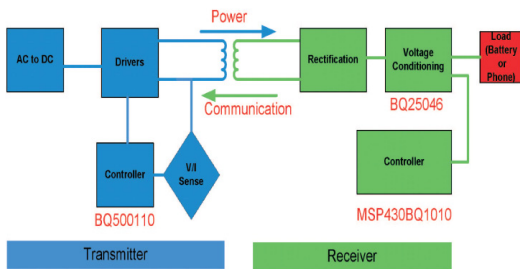


그림 7. 무선 전력 시스템
Fig. 7. Wireless Power System

그림7은 무선전송시스템의 블록도이다. 그림7의 좌측의 AC-DC변환된 전압을 bq500100과 Driver, 전압/전류 피드백 신호를 이용해서 전송하며, 수신 시스템에는 수신단에 장착된 코일을 통해서 송신단과의 상호 인덕턴스를 통해서 전력이 전송된다. 이때 수신단에서는 송신단에 일련의 환경 변화 및 충전량의 변화등을 알려 주기 위하여, Differential Bi-phase encoding 방식으로 2kbps의 속도로 통신을 행한다.

2. 자동 충전 제어

전체 제어프로그램은 MicroSoft Visual Studio를 이용하여 제작되었으며^[12], 좌측 카메라로부터 입력된 영상을 분석하여, 이동로봇의 움직임 및 속도와 이동 등을 제어하는 주 프로그램이다이다.

그림8에서 ①은 카메라로부터 입력된 메인 영상이다. ②는 무선 전력전송시스템의 송신 안테나이며, ③은 안테나의 모습을 위에서 본 모습이다.이 정보를 이용해서, 이동로봇과 무선 전력전송시스템과의 배치되어있는 위치를 계산하여, 좌우 2축의 모터 제어 명령을 내 보낸다. ④는 이동로봇의 속도 및 방향을 제어하기 위한 UI(User Interface)이다. 우측에 있는 영상은 카메라에서 인식된 결과를 나타낸 것이다.

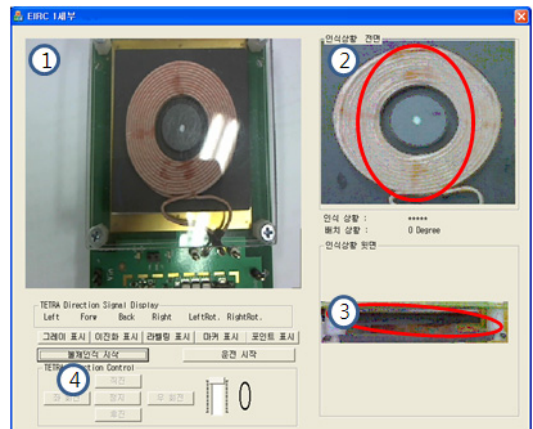


그림 8. 인식 및 위치제어 프로그램
Fig. 8. Recognition and positioning program

V. 실험 및 결과

본 논문에서의 실험환경은 그림9와 같이, TI사의 무선 전력 전송 송수신 모듈 1개를 장착하여, 이동로봇에 수신단 및 충전 제어장치를 배치하고, PC에 그림8의 제어 프로그램을 이용하여, 무선 충전시스템의 안테나의 위치에 따른 충전가능성을 측정하기 위하여 거리에 대한 충전율을 테스트 하였다. 그림10에서 보이는 바와 같이, 송수신 안테나의 위치에 따라서 충전 가능성의 유무 및 효율이 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다. 실험에 사용되고 있는 무선 전력전송시스템인 BQTESRA100LP는 충전 가능한 최대 거리는 5mm이며, 이 거리를 벗어난 경우에는

충전이 안 된다. 또한, 그림 10에서 보는 바와 같이, 송수신 안테나가 중심에서 10mm이상 벗어나면 역시 충전이 되지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 위치에 따른 충전 효율의 차이를 줄이면서, 그 효율을 올리기 위한 안테나의 위치를 파악하여, 송수신단에 대한 수신단의 위치 배치를 효율이 높아지도록 제어를 함으로서 안정한 동작을 수행할 수 있다는 것을 볼 수 있었다. 그림 11은 이동로봇의 충전실험을 나타낸 것이다. 송수신 코일이 정렬된 상태로 있다. 이 상태에서 로봇이 전진하여 충전 가능한 거리에 들어오면 충전이 개시된다.



그림 11. 충전 중인 이동로봇
Fig. 11. Robot which is being recharging



그림 9. 자동충전을 위한 시험 시스템
Fig. 9. Automatic test system for charging

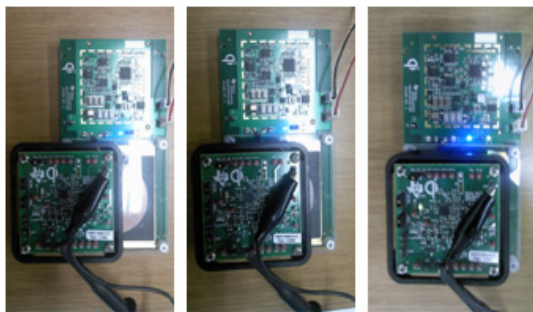


그림 10. bqTESRALP의 송수신 위치에 따른 실험 좌측부터(a)충전불가 (b)충전불가 (c)충전가
Fig. 10. Charging test of bqTESRALP changing position of receiver coil From the left, (a) charging failure, (b) charging failure, (c) charging success

VI. 결 론

본 논문에서는, 무선 전력전송 기술을 사용한 이동로봇의 자동 충전시스템을 개발하였다. 충전의 효율을 높이기 위해서는 송수신 코일의 정렬이 중요하다. 본 연구에서는 카메라를 이용하여, 송신 코일을 인식하고 송신 코일의 위치와 방향을 인식해서, 이동로봇의 충전 위치를 제어함으로서, 고효율의 충전이 가능하도록 하였다. 현재에는 무선충전장치가 전송할 수 있는 전력용량이 접촉식 충전방법에 비해 작아 충전시간이 오래 걸리지만, 향후 무선 충전기술의 성능 향상과 함께 해결될 수 있는 문제로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 하기소닉, 대한민국등록특허 100845531, “이방성초음파센서를 이용한 이동로봇의 자동충전을 위한 접속 방법”
- [2] 전자통신연구원, 대한민국등록특허 100924994, “적외선 센서와 카메라를 이용한 이동로봇의 자동충전 시스템 및 그 방법”
- [3] “<http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/how-it-works.html>”
- [4] 강승열, 김용해, 이명래, 정태형, “무선에너지 전송 기술”, 전자통신동향분석, 제23권 제6호, pp.59-69, 2008년 12월

- [5] Aristeidis Karalis a, et al., "Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer", Annals of Physics 323: 34-48. 2008
- [6] 엘지전자, 공개특허 10-2009-0007906, "로봇 청소기의 충전 시스템 및 충전 방법"
- [7] 허진, 이우영, 이성우, 조규형, 조정구, 임춘택, "넓은 좌우 허용편차를 갖는 EV정차중 무선충전용 급집전 코일", 전력전자학회, 추계학술대회논문집, 2010
- [8] 강민숙, 조동섭, "RHT의 개선된 타원의 검출을 통한 세포인식", 한국정보과학회, 학술발표논문집, Vol.26, No.1, 1999
- [9] Mao Jianfei, Xiong Rong, DingWeilong, "A Compound and Robust Algorithm for Ellipse Detection", ICAT '06. 16th International Conference on Digital Object Identifier, Page(s): 381 - 386, 2006
- [10] 이수현, 박찬일, 강철호, 이혁준, 이형근, 정용진, "영상 특징점 추출 기반의 임베디드 객체인식 시스템", 정보 및 제어학술대회, 논문집, pp102-103, 2008
- [11] "1.1A, Single-Input 5-V Power Supply IC for Wireless Power Applications", Texas Instruments, Seb. 2010
- [12] 이인근, 서석태, 단나, 권순학, "내부 객체를 이용한 객체 영상 인식 과정", KIIS 가을 콘퍼런스, Vol, 18.No 2, 2008

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C1090-1121-0005)
본 연구는 2010년도 국민대학교 교내연구비를 지원 받아 수행된 연구입니다.

저자 소개

김 재 오(준회원)



- 1994년 국민대학교 전자공학부 학사 졸업
- 1996년 국민대학교 전자공학부 석사 졸업
- 2008년 ~ 현재 국민대학교 전자공학부 박사과정

<주관심분야 : USN 기술, 로봇틱스 응용>

이 경 중(준회원)



- 2010년 국민대학교 전자공학부 학사 졸업
- 2010년~현재 국민대학교 대학원 전자공학부 석사과정

<주관심분야 : USN 기술, 로봇틱스 응용>

안 현 식(정회원)



- 1992년 서울대학교 제어계측 공학부 박사
- 현재 대한전기학회 정보 및 제어부문의사
- 현재 국민대학교 전자공학부 교수

<주관심분야 : 지능형 로봇틱스 및 차량 전자 제어>

문 찬 우(정회원)



- 2001년 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 박사
 - 현재 국민대학교 전자공학부 교수
- <주관심분야 : 로봇틱스 응용>