

RFID 태그플로어 방식의 내비게이션에 관한 연구

A Study on the RFID Tag-Floor Based Navigation

최정욱*, 오동익, 김승우
(Jung-Wook Choi, Dong-Ik Oh, and Seung-Woo Kim)

Abstract : We are moving into the era of ubiquitous computing. Ubiquitous Sensor Network (USN) is a base of such computing paradigm, where recognizing the identification and the position of objects is important. For the object identification, RFID tags are commonly used. For the object positioning, use of sensors such as laser and ultrasonic scanners is popular. Recently, there have been a few attempts to apply RFID technology in robot localization by replacing the sensors with RFID readers to achieve simpler and unified USN settings. However, RFID does not provide enough sensing accuracy for some USN applications such as robot navigation, mainly because of its inaccuracy in distance measurements. In this paper, we describe our approach on achieving accurate navigation using RFID. We solely rely on RFID mechanism for the localization by providing coordinate information through RFID tag installed floors. With the accurate positional information stored in the RFID tag, we complement coordinate errors accumulated during the wheel based robot navigation. We especially focus on how to distribute RFID tags (tag pattern) and how many to place (tag granularity) on the RFID tag-floor. To determine efficient tag granularities and tag patterns, we developed a simulation program. We define the error in navigation and use it to compare the effectiveness of the navigation. We analyze the simulation results to determine the efficient granularities and tag arrangement patterns that can improve the effectiveness of RFID navigation in general.

Keywords : USN, RFID, localization, robot navigation, tag-floor, simulation

I. 서론

IT분야의 발전과 함께 RT(Robot Technology)분야가 21세기 유망 첨단기술로 손꼽히고 있다. 그 동안 주류를 이루던 산업용 로봇과는 달리, 오늘날의 로봇에는 소프트웨어, 상호작용기술, 음성 인식, 물체 인식, 사용자 의도 파악 등 인간 친화적인 최첨단 기술들이 요구된다. 이를 응용한 개인용 로봇, 복지 및 서비스 로봇이 이미 각광을 받고 있으며 국내·외에서 활발히 연구되고 있다.

개인용 로봇은 사무실이나 가정에서 자율적으로 이동하며 사람을 지원, 보조하는 역할을 수행한다. 자율적인 이동을 위해서는 환경인식, 경로 계획 및 주행제어, 위치추정 및 보정 등의 기본적 내비게이션 능력을 갖추어야 한다. 특히, 임의의 경로를 자율적으로 주행하는 이동로봇의 경우에는 로봇이 자신의 현재 위치를 추정할 수 있는 기능이 필수적이다.

로봇의 위치추정은 상대위치추정과 절대위치추정으로 크게 분류할 수 있다. 상대위치추정은 기준 위치로부터 주어진 시간 동안 이동한 거리, 속도 및 각속도(angular velocity)를 계산하여 현재의 위치를 추정하는 방법이다. 절대위치추정은 알고 있는 기준 위치들로부터의 거리 혹은 각도를 측정하여 기하학적으로 위치를 결정하는 방법이다[1].

로봇의 상대위치추정을 위해서는, 바퀴에 회전수를 측정할 수 있는 엔코더를 장착하여 초기위치로부터 이동하는 거리를 더해 나가거나, 가속도 센서와 자이로 센서 등의 정보를 2차 적분하여 초기위치로부터 변화된 위치를 알아내는 방법

등이 일반적으로 사용된다. 그러나 이러한 방법들은 단순하고 손쉽게 구현이 가능한 반면, 바퀴에서 발생하는 오차를 누적시키는 결정적인 단점을 가지고 있다. 예를 들어, 로봇이 작은 문턱을 넘어갈 경우에 1~2도의 방향오차가 쉽게 발생할 수 있으며, 만약 이 상황에서 100m의 직선주행을 한다면 전체적으로 1.7~3.5m의 위치오차가 발생하게 된다. 장시간 주행을 할 경우 누적오차가 발생되어 위치 추정에 심각한 오류를 유발할 수 있다[1,2,3]. 예상치 못한 사람의 출현 등 장애물과의 충돌 시에는 로봇의 위치를 완전히 잃어버릴 수도 있다. 따라서 바퀴의 오차가 누적되는 등의 신뢰할 수 없는 상황을 피하기 위해서는 내비게이션 중인 물체의 절대위치를 측정할 수 있는 위치추정 기술이 필요하다.

위치추정 방법은 로봇 내비게이션 뿐만 아니라 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network - USN)분야에서도 핵심적인 기술이다. USN은 유비쿼터스 컴퓨팅의 기반환경인데, 여기에서 다루지는 정보의 핵심중의 하나는 컴퓨팅 환경에 관한 정보이다. 이는 컴퓨팅에 속한 개체가 어떠한 문맥에서 컴퓨팅에 참여하고 있는지가 파악이 되어야만 현재 상황에 적합하고 의미 있는 컴퓨팅이 이루어질 수 있기 때문이다. 이러한 상황인식을 위해 기본적으로 해결해야 할 문제중의 하나가 절대위치추정인데, 이는 컴퓨팅에 참여하는 개체의 정확한 위치를 파악 할 수 있게 하는 총체적 방법을 의미한다.

일반적으로 로봇의 개체인식 및 절대위치파악에 레이저나 초음파 센서를 사용하지만 이들은 USN분야에 적용하기에는 크게 두 가지 문제점이 있다. 첫째는 센싱된 사물의 개체가 무엇인지를 판단하기 어렵다는 문제이다. 왜냐하면, 센서가 개체를 감지할 수는 있으나, 이의 ID(Identification)를 알기 위해서는 다른 특수한 정보를 부수적으로 확보하여야 하기 때문이다. 예를 들어, 감지한 물체가 사과라고 한다면 사과색, 모양 등을 파악하고 패턴 데이터베이스와 대조하면 그것

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 4. 28., 채택확정 : 2006. 6. 10.

최정욱 : 순천향대학교 전산학과 (jwchoi@sch.ac.kr)

오동익 : 순천향대학교 컴퓨터학부(dohdoh@sch.ac.kr)

김승우 : 순천향대학교 정보기술공학부(seungwo@sch.ac.kr)

※ 본 연구는 과학기술부 특장기초연구 지원사업(R01-2004-000-10274-0(2005))에 의해 연구되었음.

이 무엇인지 판단 할 수 있다. 그러나 여러 개의 유사개체 중 특정한 개체를 구분하려 한다면 문제는 어려워진다. 즉, 모양이나 색으로 사과임을 구별할 수는 있으나, 어떤 사과인지 구분할 수가 없다는 것이다. 두 번째 문제는 line-of-sight 문제이다. 일반적인 센서로는 센서와 물체간 장애물이 존재할 경우 센싱이 원활하지 않을 수 있다. 실시간 위치파악을 통해 이동이 이루어져야 하는 로봇 내비게이션과 같은 USN 응용분야에서 원활하게 위치정보를 제공받지 못하면 응용의 진행에 어려움이 생길 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 RFID기술을 이용하여 자율 이동로봇이 자신의 절대위치를 알아낼 수 있도록 하고 이를 사용해 내비게이션을 수행하도록 한다. RFID 기술을 이용하면 개체의 ID문제가 쉽게 해결되고, RF전파의 특성상 line-of-sight의 문제도 해결될 수 있기 때문이다. 구체적으로는 소형 이동로봇의 자율 이동모듈 구현을 위해 RFID 기술을 사용하는데, RFID 안테나를 내장한 소형의 리더를 로봇에 장착하고, 절대위치정보를 포함하는 다수의 RFID 태그를 플로어에 부착한 후, 로봇이 이동 중 읽어 들이는 태그의 정보에 따라 자신의 절대위치를 파악할 수 있도록 한다. 특히, 이 위치정보를 이동 중 발생할 수 있는 각종오차를 보정하는 정보로 활용하여 보다 효과적인 로봇 내비게이션이 이루어질 수 있도록 한다.

이렇게 RFID 태그가 장착된 플로어를 구성 할 때에 얼마나 태그를 촘촘히, 또 어떠한 배치방식으로 플로어를 구성하느냐에 따라 플로어 구성 비용이 결정되고 내비게이션의 성능에도 영향을 끼치게 된다. 따라서 본 연구에서는 RFID 를 사용한 내비게이션의 구현과 더불어, 어떻게 하면 효과적으로 태그플로어를 구성할 수 있는지에 대해서도 분석하고자 한다. 이를 위해 내비게이션과 관련된 다양한 파라미터를 조절할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하고 결과를 분석하여, 효과적인 RFID 태그배치방식 및 태그밀도를 도출해 내하고자 한다. 이 분석의 결과는 이동로봇 개발을 위해서뿐만 아니라 RFID 태그플로어를 필요로 하는 폭 넓은 USN 응용을 위해 유용한 자료로 활용될 수 있기에 그 의미가 클 것으로 기대된다.

논문의 이후 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동로봇의 내비게이션을 위한 RFID 기반 자기위치추정기에 대해 설명한다. 3장에서는 RFID 태그플로어의 구성방식에 따른 내비게이션 성능 분석을 위한 시뮬레이션 프로그램에 대해 설명하고, 4장에서는 이 시뮬레이션에서 구해진 결과에 대한 분석을 통해 효율적인 RFID 태그플로어 구성을 위한 태그 밀도와 태그배치방식을 제안한다. 5장에서는 연구의 결론을 맺는다.

II. 자기위치추정기 및 RFID 태그플로어

본 장에서는 이동로봇의 내비게이션을 위한 RFID 기반 자기위치추정기 및 RFID 태그플로어에 대해 설명한다.

1. 휠베이스 내비게이션(wheel-based navigation)

본 논문은 이동로봇 기술 중에서 로봇의 절대위치 파악을 통한 자율 이동기술에 초점을 맞추고 있다. 본 논문에서 고려하는 이동로봇의 주행제어는 바퀴에 장착한 센서를 활용하는 휠베이스 내비게이션을 기본으로 하되(상대위치추정),

외부센서로부터 얻는 위치보정정보(절대위치추정)를 통해 이루어진다[4,5]. 로봇의 자율적인 이동을 위한 자율내비게이션 시스템은 속도 및 위치 피드백을 위한 추적제어기(trjectory controller)와 로봇이 자신의 위치를 추정하는 자기위치추정기(self-localization controller)로 구성된다. 추적제어기 내부의 경로제어기는 소형 배터리에 마이크로 직류 모터로 구동되는 바퀴를 장착하고 있고, 자기위치추정기에 의한 피드백 데이터를 이용하여 경로를 제어한다. 자기위치추정기는 RFID 센싱을 이용하여 로봇의 절대위치를 파악하고, 이렇게 추정된 절대위치는 추적제어기가 로봇을 내비게이션 시킬 때에 필요로 하는 위치보정정보로 사용된다.

2. 자기위치추정기(self-localization controller)

자기위치추정기는 이동 중에 있는 로봇의 절대위치를 파악하여 추적제어기에 제공함으로써 휠베이스 내비게이션에 의해 발생하는 상대경로오차를 보정하여 로봇의 원활한 주행이 이루어 질 수 있도록 한다. 절대위치추정을 위해서는 레이저나 초음파 센서를 사용하여 삼각 측량을 하는 방법이 일반적으로 많이 활용된다. 그러나 서론에서 언급한 바와 같이 이러한 센서들은 line-of-sight 문제를 가지고 있다.

최근에 line-of-sight에 구애 받지 않고 사물을 센싱 할 수 있으며, 센싱된 사물의 ID도 쉽게 인식할 수 있는 RFID 기술을 이용한 로컬라이제이션 기법을 로봇 내비게이션에 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. RFID를 로봇 내비게이션에 활용하기 위해서는 태그와 안테나 사이의 거리를 정확히 측정할 수 있어야 한다. 그래야만 삼각측량법과 같은 방식으로 로봇의 위치를 파악할 수 있기 때문이다. 태그와 안테나 사이의 거리 측정을 위해서는 RF신호의 세기를 알아야 한다. 하지만, RFID 시스템은 일반적으로 ID인식(정보교환)을 목적으로 사용되기 때문에 신호 세기를 통한 거리 측정의 정확도가 매우 떨어진다. 몇몇 연구에서 로봇에 RFID 안테나와 리더를 장착시키고, 위치가 알려져 있는 실내공간에 다수의 RFID 태그를 장착시켜 안테나와 태그 사이의 거리를 측정하여 삼각측량법과 유사한 방식으로 위치를 파악하는 방식을 제안하였다[6,7]. 그러나 몬테카를로(Monte-Carlo)방식과 같은 통계학적 필터링 기법을 사용한 후에도 평균 거리 0.77 피트(24cm) 이상의 위치측정 오차가 있는 것으로 보고되었다[6]. 원초적으로 이 문제는 RF신호의 수신감도에 따라 거리를 정확히 측정하는 것이 불가능하다는 사실에 기인한다. 따라서 RFID 센싱을 활용하여 삼각 측량법과 유사한 방법으로 거리 및 위치를 측정하는 방식은 현재로서는 활용하기 어려운 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 RFID를 이용하여 자율이동로봇이 자신의 절대위치를 알아내는 새로운 방법을 이용한다. 이 방법은 자율 이동로봇에 소형 RFID 안테나/리더를 내장하고 이동 중에 절대위치정보가 저장되어 있는 RFID 태그를 읽어 들여 로봇 자신의 절대위치를 파악하도록 하는 방법이다. 이로써 태그와 리더간의 거리를 측정하지 않더라도 로봇의 절대위치를 정확히 파악할 수 있기 때문에 로봇 내비게이션에 활용할 만큼의 오차율을 보장 받을 수 있게 된다.

3. 자율내비게이션 시스템의 구성 및 작동

자기위치추정기 구성을 위해 본 연구에서는 안테나가 내

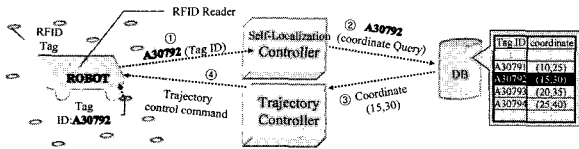


그림 1. 자율내비게이션 시스템의 구조 및 논리적 흐름.
Fig. 1. Structure and procedures of an autonomous navigation system.

장된 소형 RFID 리더를 로봇에 장착한다. 내비게이션이 이루어질 플로어에는 RFID 태그들을 배치하고, 배치된 태그의 절대위치정보를 태그 ID와 연동하여 백엔드 DB에 저장한다. 로봇은 이동 중 태그를 검출하게 되고 그 태그의 ID가 백엔드 DB에서 절대위치정보(좌표)로 변환되어 추적제어기로 피드백 된다. 추적제어기는 절대위치정보(좌표)에 따라 목적지까지의 경로 및 각도를 다시 계산하고 경로제어기로 피드백하여 로봇을 제어한다. 이런 과정을 통해 이동로봇이 자유롭게 내비게이션하여 목적지까지 도달하게 된다. 그림 1은 본 절에서 설명하는 자율내비게이션 시스템의 구조 및 논리적 흐름을 나타낸다.

4. RFID 태그플로어(tag-floor)

RFID 태그플로어를 이용하여 이동물체의 절대위치를 정확히 파악하는 방법은 몇몇 연구에서 진행되나 있다. NaviGeta 프로젝트[8]에서는 RFID 태그를 배치한 플로어에서 RFID 리더를 장착한 신발을 신은 사람을 위한 내비게이션 시스템을 개발했다. 또한 Smart Vacuum Cleaner Project[9,10]에서는 레고를 활용해 제작한 로봇이 청소가 이루어지지 않은 마루부위를 찾아내도록 하기 위해 RFID 태그가 부착된 플로어를 활용하고 있다. 태그플로어를 활용한 내비게이션 방식의 성능에 큰 영향을 끼칠 수 있는 것이 태그밀도와 태그배치방식인데, 보다 효율적인 태그플로어 제작을 위해서는 이에 대한 성능분석이 이루어질 필요가 있다. 하지만 이들 논문에서는 어떻게 플로어에 태그를 배치해야 하는지에 대한 분석적 근거를 제시하지 않고 있다. 즉, 어떤 형태와 밀도로 태그를 플로어에 배치시키는 것이 내비게이션의 효율성 확보를 위해 적절한지에 대한 언급이 없다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 실시하여 이에 대한 논리를 제시하고자 한다. 일단, 태그밀도와 태그배치방식이 결정되면 실제적인 플로어 구성을 위해서 동일한 모양의 태그가 내장된 타일을 준비하고, 이들을 연결하여 전체적인 내비게이션 플로어를 구성한다.

4.1 태그밀도

RFID 태그를 플로어에 부착하여 로봇의 절대위치정보를 습득하게 하는 방식에서는 리더에서 충돌이 생기지 않는 범위 내에서 가능한 한 많은 태그를 플로어에 장착하면 효과적일 것이다. 왜냐하면 태그가 많을수록 로봇의 이동 중 더 많은 태그인식이 가능하고, 이는 로봇이 현재위치를 더 자주 파악할 수 있음을 의미하기 때문이다. 이렇게 되면, 휠베이스 내비게이션으로 인해 발생하는 오차를 더 자주 보정할 수 있다. 그러나 RFID 태그의 가격이 아직도 50센트 대에 머무르고 있는 현실을 생각할 때, 이러한 방법을 적용하기에는 플로어의 제작비용이 너무 높다. 따라서 태그밀도와 내비게

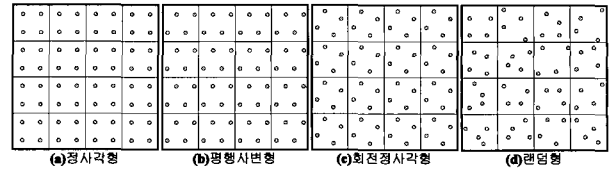


그림 2. 다양한 태그배치 방법.
Fig. 2. Various tag arrangement patterns.

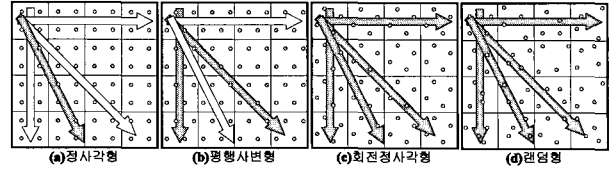


그림 3. 태그인식 실패 가능성(□ 실패, ■ 성공).
Fig. 3. Possible misses of tag detection (□ failure, ■ success).

이션 성능간의 상관관계를 규명하여 최소한의 태그를 가지고 목표하는 성능을 얻어내는 것이 필요하다.

4.2 태그배치방식

태그의 밀도가 정해진 후, 각각의 타일에서 가장 용이하게 생각할 수 있는 태그배치방식은 그림 2(a)의 방식으로 하나의 타일에 4개의 태그를 정사각형 형태로 붙이는 방식이다. 또 다른 방식은 [8]에서 제안한 그림 2(b)의 평행사변형 형태로 태그를 붙이는 방식이다. 이 아이디어는 그림 2(a)의 방식으로는 내비게이션 도중 수직이나 수평으로 움직이는 물체를 잘 인식할 수 없을 것이라는 추정에 기반하고 있다. 하지만 그림 3(a)와 그림 3(b)에서 보는 것과 같이 이러한 인식부재의 가능성은 두 가지 방식에 공히 존재한다. 본 연구에서는 이 두 가지 방식 이외에 회전정사각형 형태의 태그배치방식(그림 2(c))을 제안한다. 이 경우, 전체 플로어에서 어떤 규칙으로 태그가 배치되었는지 확인이 어려울 정도로 불규칙해 보이며 태그간의 간격 또한 일정하지 않다. 때문에 그림 3(c)에서와 같이 어느 방향으로의 직선 이동이든지 이동물체가 태그를 인식하지 못하는 경우가 줄어들 것으로 기대된다. 또한 회전정사각형 배치방식에서 나타나는 불규칙한 태그간격이 내비게이션에 어떠한 영향을 주는지를 분석하기 위해, 전체적인 태그간격이 매우 불규칙한 랜덤 배치방식(그림 2(d))을 추가적으로 고려한다. 랜덤형 또한 그림 3(d)에서와 같이 태그를 인식하지 못하는 경우가 적을 것으로 기대된다.

III. 태그배치방식을 위한 시뮬레이션 구성

태그배치방식과 태그밀도가 내비게이션에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 본 논문에서는 플로어에 배치된 RFID 태그 정보에 따라 로봇이 내비게이션하는 시뮬레이션 프로그램을 구현하였다. 프로그램은 자바(Java)언어로 구현하였고, 각종 주행환경을 반영하기 위한 파라미터를 정의하였다. 본 시뮬레이션에서는, 플로어에 배치된 태그는 모두 정상적으로 인식이 가능한 것으로 가정하였고, 내비게이션 중 실제 발생될 수 있음직한 오차 즉, 바퀴의 마찰력, 특정지면의 불균형, 바퀴의 미끄러짐 등을 고려하기 위해 일정 각도 내에서 랜덤하게 바퀴의 오차를 발생시켰다. 또한, 리더

및 태그의 인식범위는 경계가 확실하여 복수개의 태그가 동시에 읽히지 않는다는 가정하에 시뮬레이션을 진행하였다.

1. 내비게이션 오차 및 성능평가 기준

로봇은 이동 중 인식된 태그의 절대좌표에 따라 현재 위치를 파악한 후, 목적지까지의 각도 및 방향(패스)을 다시 계산하고 자신의 자세(방향)를 보정하여 내비게이션을 지속한다. 장애물이나 특정 경로를 고려하지 않은 상태에서 로봇의 주행을 파악하는 것이므로, 내비게이션의 가장 중요한 평가 기준은 주어진 두 점(출발점, 도착점)을 로봇이 이동하는 시간이다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 로봇이 출발지에서 목적지까지 이동하는데 소요되는 시간을 순차적으로 거처가는 태그간의 직선 움직임과, 태그를 검출했을 경우에 새로운 직선 움직임을 준비하기 위해 필요로 하는 자세보정 시간의 총계로 나타내었다. 이를 식으로 나타내면 (1)과 같다.

$$T_e(x_0, x_n) = \sum_{i=0}^{n-1} \{tm(x_i, x_{i+1}) + tr(x_i, x_n)\} \quad (1)$$

여기서,

$T_e(x_s, x_d)$: e 플로어 배치 형식에서, 출발점 x_s 부터 도착점 x_d 까지 내비게이션하는데 걸리는 시간

$tm(x_a, x_b)$: 특정 점 x_a 부터 특정 점 x_b 까지의 직선 이동시간

$tr(x_a, x_b)$: 특정 점 x_a 부터 특정 점 x_b 로의 방향(자세) 보정시간

x_s 또는 x_0 : 출발위치

x_d 또는 x_n : 도착위치

$x_1 \dots x_{n-1}$: 로봇 이동 중 검출하는 태그들의 위치

특정 내비게이션의 오차는 (1)을 통해 구해진 로봇 내비게이션 이동시간과 출발-도착점간 직선 이동시간의 차이로 정의할 수 있다. 즉, e 플로어 배치 형식에서 어떤 내비게이션의 오차는 (2)로 정의될 수 있다.

$$E_e(x_s, x_d) = T_e(x_s, x_d) - tm(x_s, x_d) \quad (2)$$

또한 e 플로어 배치 형식에서 어떤 내비게이션의 오차를 출발-도착점간 이동시간에 대한 비율로 나타내는 $RE_e(x_s, x_d)$ 는 (3)으로 정의될 수 있다. 이 식은 각각의 태그배치방식의 성능을 비교하는데 사용될 수 있다.

$$RE_e(x_s, x_d) = E_e(x_s, x_d) / tm(x_s, x_d) \quad (3)$$

2. 주요 파라미터

시뮬레이션 프로그램에서는 내비게이션에서 발생할 수 있는 여러 가지 상황을 파라미터를 통해 사용자가 정의해 줄 수 있다. 시뮬레이션을 위해 사용되는 주요 파라미터는 다음과 같다.

2.1 태그배치방식

정사각형, 평행사변형, 회전정사각형, 사분면랜덤형을 지정할 수 있다. 그림 4는 본 시뮬레이션 프로그램에서 사용한 정사각형(a), 평행사변형(b), 회전정사각형(c), 사분면랜덤형(d)의 태그배치방식에 관한 정의이다.

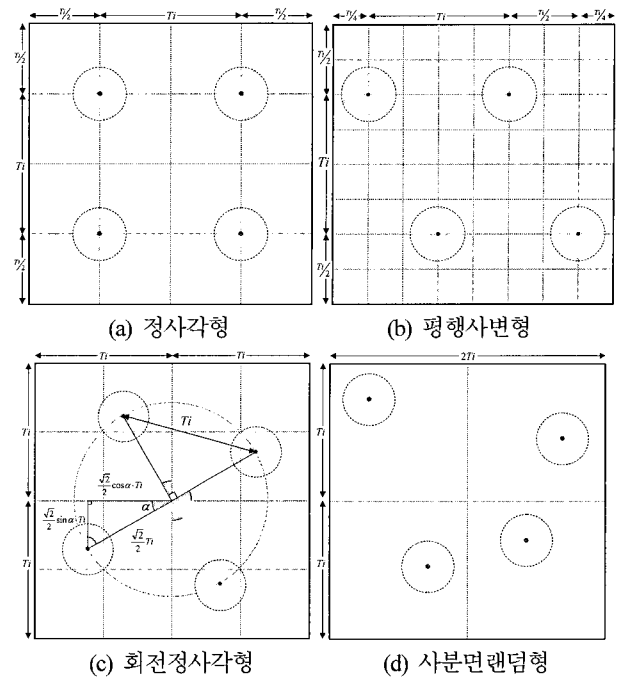


그림 4. 태그배치방식의 정의 (Ts: 태그크기, Tl: 태그간격).

Fig. 4. Definition of tag arrangement patterns (where, Ts : Tag size, Tl : Tag interval).

태그간격은 수직 또는 수평으로 이웃한 태그와의 중심점간의 거리 Tl 로 정의하며, 태그 크기는 태그의 실질적인 크기와 태그의 인식범위까지 포함하여 Ts 로 정의한다(Ts 에 관한 자세한 설명은 2.3절 참조). 그림 4(c)의 회전정사각형 배치는 그림 4(a)의 정사각형 배치방식을 α 각도만큼 회전시킨 방법이며 0-45도 각도 범위에서 회전시킬 수 있다. α 가 0도일 때는 정사각형 형태가, 45도일 때는 마름모 형태가 되며 45도를 초과할 때는 0-45도 각도 내에서와 동일한 형태가 생성되므로 고려할 필요가 없다. 정사각형 배치방식을 회전했을 때 태그가 타일 밖으로 벗어나는 경우를 막기 위해 Tl 는 최소한 Ts 의 두 배 이상으로 제한한다.

사분면랜덤형은 한 개의 타일을 네분면으로 구분하여 각 사분면마다 한 개의 좌표를 랜덤하게 발생시켜 태그를 배치하는 방식이다. 이 방식은 실제로 플로어를 구성하는 데는 사용될 수 없지만 (각각의 타일마다 좌표의 설정을 일일이 해 주어야 하는데, 이는 현실적으로 불가능), 태그배치가 불규칙적일 경우 태그검출 확률이 높아질 수 있다는 가정하에 다른 방식들과의 비교자료를 확보하고자 시뮬레이션에 포함시킨 방식이다. 랜덤좌표는 태그의 크기로 인해 이웃 사분면이나 타일 밖으로 벗어나지 않도록, 각 사분면의 크기에서 태그 반지름만큼 안쪽에서 발생되도록 하였다.

2.2 태그밀도

한 개 타일에 4개의 태그를 기본으로 하되, 타일의 크기를 조정함으로써 전체 플로어의 태그밀도를 조절한다. 태그간격 (Tl)의 최소 기준에 따라 타일의 크기는 최소 $2Tl \times 2Tl$ 가 된다. 이러한 조건의 태그간격 및 타일크기로 인해 어느 태그를 중심을 봤을 때도 배치방식에 따른 동일한 패턴을 발견할 수 있다(랜덤방식은 예외).

2.3 태그 및 리더의 인식범위

태그의 인식범위 및 리더의 인식범위를 설정할 수 있다. 일반적으로 인식 범위는 전력과 주파수에 따라 다르며, 태그와 리더(안테나)의 주파수 산란 각도 및 거리에 따라 다르다(그림 5(a)). 그러나 본 논문에서 목표로 하는 시스템은 동시에 복수개가 읽히지 않는 형태의 태그인식에 바탕을 두고 있기 때문에 리더가 주변 태그를 동시에 읽어오지 않도록 리더를 지면에 가능한 한 가깝게 위치시키는 것을 가정한다(그림 5(b)). 이 경우 부착된 태그와 수평 즉, 리더의 안테나 방향은 태그와 수직으로 있게 되는데, 작은 전력, 짧은 인식거리의 13.56MHz 주파수 대역을 사용하는 RFID 시스템에서 실제적으로 구현이 가능하다.

그러나 실제구현에 사용될 태그와 리더의 크기 및 태그인식 범위가 제 각각일 수 있기 때문에 이 인식범위에 관한 수치는 파라미터화 될 필요가 있다. 그림 6은 태그 및 리더의 인식범위에 따른 관계를 보여준다.

그림 6(a)에서와 같이 태그의 실제 크기를 포함해 태그가 인식되는 부분이 태그인식범위이고, 리더의 실제 크기를 포함해 태그가 인식되는 부분이 리더인식범위이다. 리더는 태그의 어느 부분을 읽던지 간에 태그에 저장되어 있는 데이터를 읽어온다. 즉, 그림 6(a)에서 태그의 ①, ②, ③ 어느 부분을 읽던지 태그에 저장되어 있는 좌표를 읽어온다. 태그인식범위와 리더인식범위가 겹치는 순간 태그인식이 이루어지므로 하나의 범위가 다른 하나의 범위에 포함될 때를 인식범위로 판단해야 한다. 그러나 두 범위간의 포함관계를 시뮬레이션 하기는 복잡하므로 그림 6(b)처럼 두 범위를 합치고 하나의 범위는 점으로 인식하면 동일한 관계를 표현할 수 있다. 따라서 시뮬레이션에서는 두 범위를 합쳐 태그인식범위라고 하고 리더인식범위는 점으로 표현한다.

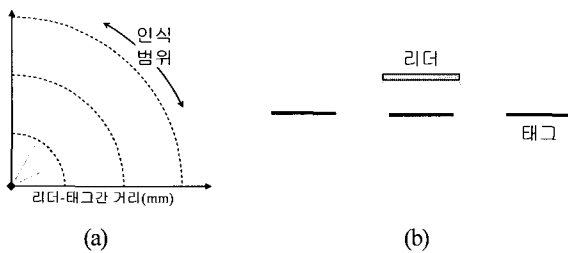


그림 5. 리더의 인식각도를 이용한 단일 태그인식.
Fig. 5. Single tag reading with RFID reading range.

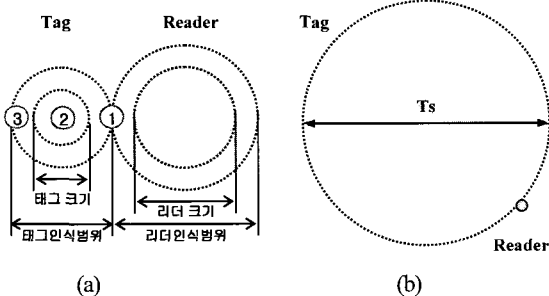


그림 6. 태그와 리더의 인식범위.
Fig. 6. Dimension of tag and reader.

2.4 기타 파라미터

로봇 이동속도, 로봇 회전(방향전환)속도, 로봇 이동오차각도 등을 설정해 줄 수 있다. 로봇은 직선이동 후 태그를 읽게 되면 정지하여 각도 계산 후 그 각도만큼 회전(자세보정)을 한 뒤에 다시 직선으로 이동한다. 실제 제작하는 이동로봇의 크기나 성능에 따라 차이가 나겠지만, 일반적으로 회전하는데 걸리는 시간은 정지 후 목적지까지의 각도를 계산하고 회전하는 시간을 필요로 하기 때문에 직선이동 시간보다 더 오래 걸린다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

1. 시뮬레이션 과정

본 연구에서는 3장에서 설명한 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 내비게이션의 성능을 측정하였다. 플로어의 배치방식, 태그간격(밀도)을 변화 시키면서 시뮬레이션 했으며 이외의 파라미터들에는 모두 동일한 값을 사용하였다. 데이터의 신뢰도를 향상시키기 위하여 랜덤으로 생성된 출발/도착점 쌍으로 내비게이션을 실시하였고, 각각의 출발/도착점 쌍마다 네 가지의 다른 태그배치방식을 적용하여 주행거리에 따른 비율오차를 누적한 후, 이의 평균값을 사용하여 태그배치방식의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 횟수는 각 방식마다 50,000번을 수행하였는데, 그 이상의 경우에도 결과의 의미상 변화는 나타나지 않았다. 실제적인 로봇 주행 환경을 반영하기 위해 사용한 파라미터의 값은 표 1과 같다.

직선움직임속도와 회전각속도는 프로토타입(prototype)으로 제작한 로봇[4]이 2,000RPM에서 1초에 10cm 직선 이동하는 것과, 제자리에서 360도(2π rad)회전하는 데에 약 4초가 소요되는 것에 기초하여 정의하였다. 이동(시뮬레이션) 중 로봇이 플로어 밖으로 벗어나 시뮬레이션을 더 이상 진행할 수 없는 경우 등을 배제하기 위해 2,000cm × 2,000cm 플로어 테두리에서 500cm 안쪽 즉, 좌표 (500, 500)~좌표 (1,500, 1,500) 범위 내에서 출발/도착점 쌍을 랜덤하게 발생시켰다. 또한 태그간격보다 짧게 발생된 거리의 출발/도착점을 배제하기 위해 최소 400cm 이상 떨어진 출발/도착점 쌍이 발생하도록 하였다.

실제 시뮬레이션에 앞서 회전정사각형 배치방식에 있어서 0-45도 중 몇 도로 회전을 시키는 것이 가장 좋은 성능을 나타내는지를 파악하기 위한 예비 시뮬레이션을 수행하였다. 위와 동일한 조건으로 0도에서 45도까지 각도를 변화하면서 시뮬레이션을 수행한 결과 성능 차이가 중간 값 부분에서 가장 크게 발생하였고, 따라서 중간 각도인 22.5도로 고정하여

표 1. 고정 파라미터 목록.

Table 1. Fixed simulation parameters.

파라미터	고정 값
플로어크기	2,000cm × 2,000cm
로봇의 직선 움직임속도	10cm/sec
로봇의 회전 각속도	$\frac{1}{2}\pi$ rad/sec
최소이동거리(출발-도착점)	400cm
회전정사각형의 회전각	22.5도(그림4(c)의 α)
바퀴오차 등으로 인한 주행오차	$\pm \frac{1}{90}\pi$ rad

시뮬레이션을 수행하였다.

이동오차 각도는 이동 중에 발생할 수 있는 바퀴의 미끄러짐이나 장애물에 관한 오차로서 실제적인 주행환경을 반영하기 위해 $\pm 1/90 \pi rad$ 범위 내에서 랜덤하게 발생하도록 하였다.

2. 시뮬레이션 결과

2.1 태그 밀도

본 연구에서는 태그인식범위에 따라 태그의 밀도(간격)를 변화시키면서 가장 효율적인 밀도가 어디서 존재하는지를 파악하고자 하였다. 태그의 밀도 및 태그의 인식범위에 대한 변화를 제공하고 이를 네 가지 태그배치방식에 비추어 결과를 확보하였다. 그림 7은 태그인식범위가 7cm인 경우의 비율 오차를 나타내고 있다. 이 경우 오차 값이 26~32cm 인 구간

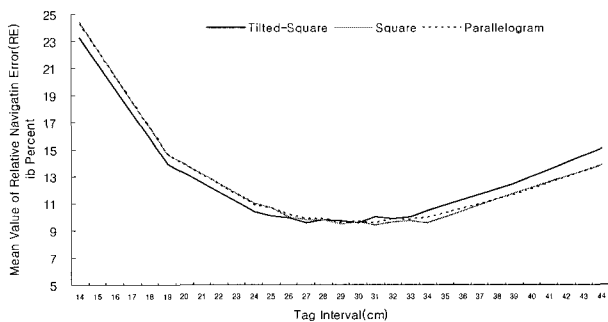


그림 6. 태그인식범위가 7cm인 경우의 비율 오차.

Fig. 6. Mean value of relative navigation error in percent (tag dimension: 7cm).

표 2. 인식범위에 따른 최적태그간격.

Table 2. Optimal tag intervals of different read ranges.

태그인식범위	태그간격	플로어배치방식	비율오차평균
6 cm	26 cm	회전정사각형	13.81%
		정사각형	14.79%
		평행사변형	14.78%
	-	사분면랜덤형	12.43%
8 cm	34 cm	회전정사각형	11.01%
		정사각형	11.81%
		평행사변형	11.60%
	-	사분면랜덤형	9.71%
10 cm	35 cm	회전정사각형	10.75%
		정사각형	12.29%
		평행사변형	12.40%
	-	사분면랜덤형	9.52%
12 cm	39 cm	회전정사각형	13.12%
		정사각형	14.70%
		평행사변형	14.72%
	-	사분면랜덤형	12.34%
14 cm	45 cm	회전정사각형	9.69%
		정사각형	10.93%
		평행사변형	11.16%
	-	사분면랜덤형	8.65%

에서 최소값이 발생함을 볼 수 있는데, 태그인식범위를 변화해 가며 시뮬레이션을 한 결과 세 가지 경우에 있어 상대적 오차가 최소화되는 최적의 태그간격이 존재함을 파악할 수 있었다. 이 결과를 요약하면 표 2와 같다. 사분면랜덤형에서 태그의 간격은 타일 크기를 정하는 기준은 되지만 실제간격에서는 의미가 없기 때문에 최적태그간격 비교에서는 제외하였다.

표 2의 값을 살펴보면, 태그간격을 태그 크기(태그와 리더의 크기의 합)의 약 3.2~4.3배 떨어지도록 배치할 때, 즉 태그 인식범위와 태그간격의 상관관계가 대략 1.4정도의 비율일 때에 모든 배치방식에서 최소의 내비게이션 오차를 내는 것으로 파악되었다. 이러한 현상은 표 2에 기술된 이외의 구간에서도 관찰되었다.

2.2 태그배치방식

최적의 오차를 나타내는 태그밀도에서 세 가지 태그배치 방식 중, 어떤 배치방식이 가장 효율적인 것인가에 대한 분석은 표 2의 비율오차 평균을 보면 알 수 있는데, 시뮬레이션 결과 정사각형과 평행사변형에서는 성능상 차이가 거의 나타나지 않았다. 그러나 회전정사각형에서는 최대 1.65%, 랜덤형에서는 최대 2.88%의 성능향상이 나타났다.

따라서 평행사변형 배치방식이 다른 배치방식보다 뛰어난 효율을 보일 것으로 예상한 기존의 연구[8]의 논리는 옳지 않음이 확인되었다. 반면, 본 연구에서 제시한 회전정사각형과 랜덤형 방식의 효율이 상대적으로 높음을 확인할 수 있었다. 그러나 랜덤형을 사용하기 위해서는 각각의 타일마다 태그의 위치를 확인하여 입력해야 하는 번거로움이 있어 실제적인 타일제작을 위해서는 이 방식을 사용하기가 곤란하다. 이 방식은 다양한 태그배치방식의 유효성을 비교하기 위해 시뮬레이션에서 활용한 방법이다. 따라서 효율성 높은 태그 플로어의 제작을 위해서는 본 연구에서 제안한 회전정사각형 배치방식이 사용되면 될 것이다.

V. 결론

자율적이고 정교한 내비게이션을 위해서는 로봇이 스스로 자신의 절대위치를 파악할 수 있도록 하는 로컬라이제이션 기법이 필요하다. 이러한 로컬라이제이션 기술은 로봇분야뿐만 아니라 향후 일반화될 USN분야의 핵심 기술로 자리 잡을 것으로 예상된다. 로컬라이제이션의 구현을 위해서 외부 센서를 활용한 여러 기술이 연구되고 있으며, 최근에는 RFID 기술을 이용한 기법을 로봇분야에 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 플로어에 RFID 태그를 배치하고 그 정보를 이용해 로봇이 자율적으로 내비게이션 할 수 있게 하는 기법을 제시하였다. 로봇의 자기위치추정기는 플로어에 장착된 태그의 절대위치를 로봇에 장착된 RFID 리더로 읽어 들임으로써 이동 중에 있는 로봇의 절대위치 파악을 가능하게 한다. 이 자료로 휠베이스 내비게이션에서 발생하는 상대경로오차를 보정하도록 하여 보다 정확한 내비게이션이 이루어 질 수 있다.

로봇 내비게이션의 구현을 위해 본 연구에서는 RFID 태그를 장착한 플로어를 제작함에 있어 태그의 밀도와 배치방식

이 내비게이션의 성능에 어떤 영향을 미치는가에 대해 파악하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 시물레이션 프로그램을 제작하여 태그의 밀도와 배치방식의 효율성에 대한 시물레이션을 진행하였다.

시물레이션의 결과 태그인식범위와 태그간격의 상관관계가 대략 1:4비율에서 모든 태그배치방식이 최소의 내비게이션 오차를 발생시키는 것을 알 수 있었다. 실제적으로 태그 타일을 제작할 때 이 비율을 유지하면 비용대비 효율이 가장 높은 태그플로어를 손쉽게 제작할 수 있다.

태그의 배치방식에서는 기존 연구에서 제시된 정사각형과 평행사변형은 유사한 성능을 나타내고, 본 연구에서 제시된 회전정사각형은 최대 1.65%의 향상된 성능을 나타내는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 [8]의 연구에서 평행사변형 배치방식의 성능이 정사각형 배치방식 보다 효과적일 것이라는 추측이 옳지 않음을 알려준다. 따라서 태그 타일의 제작을 위해서는 현실적으로 적용이 가능한 회전정사각형 방식을 사용하여 개개의 태그 타일을 만들고, 이를 연결하여 전체적인 태그플로어를 구성할 것을 제안한다.

본 연구는 시물레이션을 통해 효율적인 RFID 태그플로어의 제작 기준을 마련하여 제공하였다. 이 결과는 로봇의 내비게이션 분야뿐만 아니라, 절대위치에 기반한 로컬라이제이션을 필요로 하는 여러 USN 응용을 위해서도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 본 연구팀에서는 제안한 방식이 실제 주행에 적용될 때 발생할 수 있는 문제점들을 파악하고 이를 보완하기 위한 필드 테스트(field test)를 수행할 예정이다. 또한 태그의 중복인식과 거리측정을 통해 보다 정확하고 효율적인 위치인식이 이루어질 수 있는 방법에 대해서도 연구하고자 한다.

참고문헌

[1] 진태석, 이장명, "단일 초음파 센서모듈을 이용한 이동로

봇의 위치추정 및 주행," 전자공학회논문지, vol. 42, no. 2, pp. 47-56, 2005.

[2] T. Tsubouchi, "Nowadays trends in map generation for mobile robots," *Proceeding of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 848-833, 1996.

[3] J. Borenstein, H. R. Everett, and L. Feng, "Where am I? Sensors and methods for mobile robot positioning," *Technical Report*, Univ. of Michigan, APR. 1996.

[4] J. I. Choe and S. W. Kim, "A study on infra-technology of robotic cellular phone," *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3571-3576, Sept., 2004.

[5] S. W. Kim and J. I. Choe, "A study on infra-technology of RCP interaction system," *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 1121-1125, Aug., 2004.

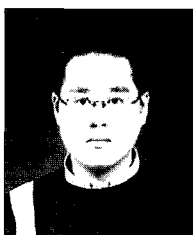
[6] G. Kantor and S. Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, Washington, DC, May 2002.

[7] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," *Intel Research Institute*, Seattle, WA, Tech. Rep. IRS-TR-03-014, December 2003.

[8] I. Siiio, "User position detection using RFID tags," *Proceedings of Japanese Information Processing Society*, 00-HI-88, pp. 45-50, 2000.

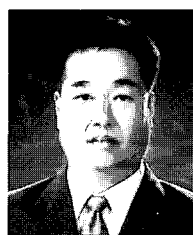
[9] S. Domnitcheva, "Smart vacuum cleaner an autonomous location-aware cleaning device," *Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing*, Tokyo, Japan, Sep. 2004.

[10] J. Bohn, F. Mattem, "Super-distributed RFID tag infrastructures," *Proceedings of the 2nd European Symposium on Ambient Intelligence (EUSAI 2004)*, pp. 1-12, Eindhoven, The Netherlands, November 2004.



최정욱

2003년 순천향대학교 컴퓨터학부 졸업. 2005년 순천향대학교 전산학 석사. 2005년~현재 순천향대학교 전산학과 박사과정. 관심분야는 RFID, 유비쿼터스 시스템, 임베디드 시스템, 운영체제 등.



오동익

1985년 뉴욕시립대학교 전산학과 졸업. 1989년 플로리다 주립대학교 전산학 석사. 1997년 플로리다 주립대학교 전산학 박사. 1997년~현재 순천향대학교 컴퓨터학부 부교수. 관심분야는 RFID, 유비쿼터스 시스템, 임베디드 시스템, 운영체제, 실시간 시스템, 프로그래밍언어 등.



김승우

1987년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1989년 동 대학원 석사. 1989년~1990년 삼성종합기술원 선임연구원. 1994년 동 대학원 전자공학과 박사. 1994년~현재 순천향대 정보기술공학부 교수. 관심분야는 로봇제어, 퍼지제어시스템, SFFS

Tech., 유비쿼터스 서비스로봇, 엔터테인먼트 로봇.