

# 위치패턴 기반 하이브리드 실내 측위를 위한 위치 인식 오류 보정 알고리즘

## Error Correction Algorithm of Position-Coded Pattern for Hybrid Indoor Localization

김 상 훈, 이 승 곁, 김 유 성, 박 재 현\*  
(Sanghoon Kim<sup>1</sup>, Seunggol Lee<sup>1</sup>, Yoo-sung Kim<sup>1</sup>, and Jaehyun Park<sup>1</sup>)  
<sup>1</sup>Inha University

**Abstract:** Recent increasing demand on the indoor localization requires more advanced and hybrid technology. This paper proposes an application of the hybrid indoor localization method based on a position-coded pattern that can be used with other existing indoor localization techniques such as vision, beacon, or landmark technique. To reduce the pattern-recognition error rate, the error detection and correction algorithm was applied based on Hamming code. The indoor localization experiments based on the proposed algorithm were performed by using a QCIF-grade CMOS sensor and a position-coded pattern with an area of 1.7x1.7mm<sup>2</sup>. The experiments have shown that the position recognition error ratio was less than 0.9 % with 0.4 mm localization accuracy. The results suggest that the proposed method could be feasibly applied for the localization of the indoor mobile service robots.

**Keywords:** indoor localization, hybrid localization, position-coded pattern, error correction code, hamming code

### I. 서론

최근 IT(정보기술)의 급격한 발전에 따라 여러 종류의 자율 주행 이동체의 등장과 이들의 자율 항법을 위한 다양한 측위 기술이 폭넓게 활용되고 있다[1]. 이들 측위 기술 중 주류를 차지하는 기술은 GPS (Global Positioning System)과 이동통신망 기지국 등을 활용하는 전파항법 기술과 관성항법 기술로서, 이들 기술은 주로 실외에서 큰 운행 범위를 가지는 비행체, 자동차 등의 이동체에 적합한 기술이다. 그러나 최근에는 다양한 기능의 서비스 로봇의 출현과 더불어 실외뿐 아니라 실내에서의 자율항법 기술의 중요성이 날로 증가되고 있다. 실내 측위 기술은 GPS와 같은 보편화된 절대 좌표를 활용할 수 없다는 점 이외에도, 측정의 정밀도가 실외 측위보다 훨씬 더 정밀해야 한다는 점과 각종 장애물로 인하여 측위 오차가 더 많다는 점 등의 애로사항이 존재한다.

현재까지 연구되는 실내 측위 기술에는 첫째, 적외선 센서, 초음파 센서, 레이저 센서, 거리 측정 센서와 같이 센서를 이용한 측위 기술로서, 구현이 단순하여 실내 측위 시스템에 널리 사용된다[2,3]. 둘째는, 컴퓨터 비전을 이용한 위치측정 방법이다[4,5]. 컴퓨터 비전을 이용한 방법은 CCD 혹은 CMOS 카메라를 사용하여 자연 표식(landmark)을 인식하는 방법으로 실내공간에 자연적으로 존재하는 특징들 중에서 배경과 구분력이 뛰어나고 반복적으로 검출 가능한 특징을 자동으로 추출하여 위치를 인식한다. 이 방법은 높은 정확성을 보장하지만 실내 조명과 같은 환경의 변화에 따라 성능이

크게 변할 수 있으며 위치 인식에 긴 시간이 걸려 실시간성을 보장하지 못하는 단점이 있다. 셋째, 인공적인 표식을 이용한 위치 인식 방법이다[6-8]. 이 방법은 실내 공간에 인위적인 표식을 설치해서 센서로 그 표식을 인식하여 위치를 인식하는 방식이다. 이 방법은 앞서 설명한 자연 표식을 인식하는 방법보다는 실시간성과 정확성이 향상되지만 실내 조명과 같은 주변환경의 변화에 영향을 받는다는 점은 여전하다. 마지막으로, 표지탑(beacon)을 이용한 위치 인식 방법이다. 표지탑을 이용한 방법은 표식과 달리 능동적으로 신호를 발생시키는 장치를 활용하는데 RSSI (Received Signal Strength Indicator), TOA (Time of Arrival), AOA (Angle-of-Arrival), TDOA (Time-Difference-of-Arrival), POA (carrier signal Phase of Arrival)과 같이 전파 혹은 전자기파의 물리적 특성을 이용한 삼각측위 방식이 널리 사용된다[9]. 최근에는 무선 네트워크나 UWB (Ultra Wide-Band)를 이용한 방법도 연구되고 있다[10,11]. 그러나 표지탑을 이용한 위치 인식은 다중경로 페이딩(multipath fading), 상호간섭 등과 같은 문제로 인해 안정적인 위치 인식이 힘들다. 또한 앞서 설명한 다양한 방법들을 복합적으로 사용한 하이브리드 측위 방법도 연구되고 있다[12,13].

기존의 방법들이 가지는 낮은 수준의 정밀도와 느린 응답 시간 등의 문제점을 해결하기 위하여 최근에 위치패턴(position-coded pattern)을 이용한 측위 방법이 제안된 바가 있다[14]. 위치 패턴이란 수 밀리미터(mm) 이내의 정밀도를 가지는 위치 정보를 인쇄한 패턴을 의미하는 것으로, 위치패턴을 활용한 측위법은 위치패턴을 고속의 카메라로 촬영하고, 촬영된 이미지를 분석하여 해당 시점의 절대 위치를 인식하는 것이다. 위치패턴을 이용한 실내 측위는 주변환경의 변화에 상관없이 이동 로봇과 같은 자율 주행 이동체의 정밀하고 정확한 위치를 인식할 수 있는 장점이 있다. 위치패턴을 활용한 실내 측위 방법은 고도의 정밀도와 실시간성 보장 등

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 12. 3., 수정: 2012. 12. 26., 채택확정: 2012. 12. 31.

김상훈: 인하대학교 대학원 정보통신공학과(shk@emcl.org)

이승곁, 김유성, 박재현: 인하대학교 정보통신공학부

(sglee@inha.ac.kr/yskim@inha.ac.kr/jhyun@inha.ac.kr)

※ 본 연구는 인하대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

장점이 많으나, 넓은 영역에 설치하기에는 패턴의 설치비용이 증가하는 등의 문제가 존재하므로, 앞서 제시한 비전시스템 혹은 표지탑 등을 이용한 측위 방법과 함께 사용하는 즉, 하이브리드 형태로 사용하는 것이 바람직하다.

이동 로봇과 같이 고속으로 이동하는 이동체가 측위를 위하여 위치패턴을 이용하는 경우, 취득한 패턴 이미지를 분석하는 과정에서 인식의 오류가 발생할 가능성이 매우 높아진다. 특히 패턴의 인쇄 과정에서 나타나는 품질 저하, 위치패턴의 광학적 환경으로 인한 입력 이미지의 품질 저하, 인식 과정에서 나타나는 패턴의 오인식 등으로 인해 오류가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 인식 오류를 검출하고 보정하기 위한 알고리즘은 반드시 필요한 과정이라 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 위치패턴을 이용한 위치 인식 기술에 적용 가능한 오류 보정 코드들에 대해 살펴보고 위치패턴에 적합한 오류 보정 코드의 구성 방법을 제안하고자 한다.

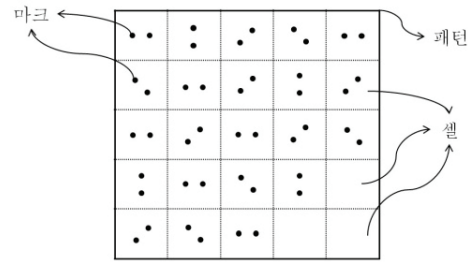
본 논문의 II 장에서는 위치 정보를 가질 수 있는 위치패턴의 구성과 인식 방법에 대해 기술한다. III 장에서는 다양한 오류 보정 코드에 대해서 살펴보고, 그리고 IV 장에서는 이 위치패턴의 인식 오류를 확인하고 보정하는 방법을 제안하고 이를 활용한 실험의 분석결과를 설명하며, 마지막 V 장에서 결론을 내린다.

II. 위치패턴

위치패턴이란 특정한 도형의 조합으로 표현될 수 있는 2차원 이미지로 정의될 수 있으며, 이차원 바코드와 유사한 형태를 취하지만 x, y 좌표를 정보로 갖는다는 점이 다르다. 이차원 바코드의 경우 바코드의 일부 이미지 만으로는 의미 있는 정보를 추출할 수 없으며, 특히 두 개의 인접한 바코드 이미지의 일부를 조합하여도 의미 있는 정보를 추출할 수 없으므로 고속으로 움직이는 이동체의 측위 목적으로 사용하기에는 한계성을 가진다. 따라서 측위 목적의 위치패턴은 이차원 바코드와는 다른 특수한 형태의 도형을 활용하여야 한다[15,16].

측위 목적의 위치패턴은 그림 1과 같이 N x N 개의 셀(cell)로 이루어지며 각 셀 내부에는 서로 다른 값을 의미하는, 형태적으로 다른 형상의 마크(mark)가 부여된다. 이때, 각 셀에 부여될 수 있는 서로 다른 마크의 종류를 m이라 한다. 그림 1(a)에서는 마크의 형상에 따라 α, β, γ, δ로 구분한 4가지 종류의 마크가 사용되고 있으며(m=4), 각 마크는 표 1과 같이 x, y 좌표에 관한 서로 다른 단위 정보(1 비트 이진수)를 갖는다. 패턴의 크기를 나타내는 N은 하나의 위치패턴이 표현할 수 있는 정보의 크기를 결정지으며, 이론적으로 m<sup>N<sup>2</sup></sup> 개의 서로 다른 정보를 담게 된다. 그림 1(b)는 5 x 5 셀로 구성된 하나의 위치패턴을 보여주는 것으로, 패턴을 구성하는 25개의 셀(C<sub>ij</sub>)은 2차원 C-행렬을 구성하게 된다. C-행렬을 구성하는 각 셀은 표 1과 같이 x, y 좌표의 1비트 데이터를 독립적으로 표현하므로 하나의 C-행렬로 표현할 수 있는 최대의 x, y 좌표값은 각각 25 비트의 이진수 값으로 표현할 수 있는 최대값이 된다.

그러나 인접한 패턴을 구분하기 위하여 위치패턴을 구성하는 셀을 크게 방향키 영역과 좌표 영역으로 구분하여 사용



(a) Conceptual diagram of a position-coded pattern.

	C <sub>0,0</sub>	C <sub>0,1</sub>	C <sub>0,2</sub>	C <sub>0,3</sub>	C <sub>0,4</sub>
	C <sub>1,0</sub>	C <sub>1,1</sub>	C <sub>1,2</sub>	C <sub>1,3</sub>	C <sub>1,4</sub>
	C <sub>2,0</sub>	C <sub>2,1</sub>	C <sub>2,2</sub>	C <sub>2,3</sub>	C <sub>2,4</sub>
	C <sub>3,0</sub>	C <sub>3,1</sub>	C <sub>3,2</sub>	C <sub>3,3</sub>	C <sub>3,4</sub>
	C <sub>4,0</sub>	C <sub>4,1</sub>	C <sub>4,2</sub>	C <sub>4,3</sub>	C <sub>4,4</sub>

(b) C-Matrix: mathematical representation of a position-coded pattern.

그림 1. 위치패턴의 구조.

Fig. 1. Structure of a position-coded pattern.

표 1. 마크가 의미하는 x, y 값.

Table 1. x, y values of four marks.

마크	x 좌표값	y 좌표값
α	1	1
β	0	1
γ	1	0
δ	0	0

한다. 방향키 영역은 하나의 위치패턴과 인접한 다른 위치패턴을 구분하고 위치패턴의 회전 상태를 판별하기 위함인데, N x N 개의 셀 중에 최소 3개 이상의 셀로 구성된다. 그림 1(a)는 방향키를 C<sub>3,4</sub>, C<sub>4,3</sub>, C<sub>4,4</sub>의 위치에 둔 것으로 좌표 영역의 셀과 구분하기 위해 셀에 마크를 표시하지 않은 채 여백으로 두고 있다. 한편, 좌표 영역은 방향키 영역에 속하지 않는 셀들(그림 1(a)에서 마크가 표시되어 있는 셀)로 구성된 영역으로서, 실제 x, y 좌표 정보를 가지는 영역이다. 따라서 최대 25개의 셀 중에서 방향키를 제외한 22개의 셀, C<sub>0,0</sub> C<sub>0,1</sub> C<sub>0,2</sub> C<sub>0,3</sub> C<sub>0,4</sub> C<sub>1,0</sub> ... C<sub>3,3</sub> C<sub>4,0</sub> C<sub>4,1</sub> C<sub>4,2</sub>의 조합에 의해 패턴의 위치 정보 즉, x, y 좌표가 최종 결정된다. 이렇게 구성된 단위 위치패턴을 넓은 평면에 순차적으로 배치함으로써 실내 측위를 위한 대면적 위치패턴 배열을 완성한다. 이때 가로 방향으로 배치되는 위치패턴들은 x 좌표가 순차적으로 1씩 증가되도록 하고, 세로 방향으로 배치되는 위치패턴들은 y 좌표가 1씩 증가되도록 한다. 위치패턴이 갖는 x, y 좌표는 위치패턴의 배열 순서를 의미하는 정수로 주어지므로, 이 값을 위치패턴의 크기로 환산하여 실제 좌표를 결정한다.

그림 2는 위치패턴을 인식하는 처리 과정을 나타내고 있다. 이미지 센서에서 촬영된 위치패턴이 입력되면 콘트라스트(contrast) 보정 및 조명 불균일 해소 등과 같은 이미지 전처리 과정을 거친다. 이미지 전처리 과정을 거친 후, 방향키

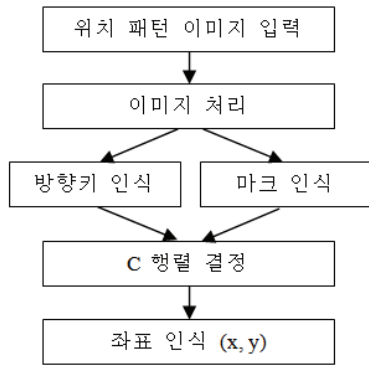


그림 2. 위치패턴의 위치 인식 처리 과정.

Fig. 2. Recognition process of position-coded patterns.

영역과 좌표 영역으로 구분해서 각 마크를 인식하여 하나의 완전한 C-행렬을 구성한다. C-행렬이 나타내는 x, y 좌표를 추출하여 입력된 위치패턴의 위치를 인식할 수 있다.

### III. 오류 보정 코드

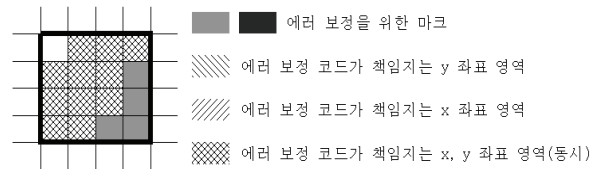
오류 보정 코드(ECC: Error Correction Code)는 입력 데이터에 일정한 정보를 추가하여 오류를 검출하고 보정할 수 있는 코드를 말한다. 추가정보를 부가하는 방법에 따라서, 입력된 정보 신호에 일정한 추가정보를 더해서 변조된 정보를 만들어 주는 블록 코드(block code)와 현재의 입력과 과거의 입력의 상관관계를 이용해 변조된 정보를 만들어 주는 컨볼루션(convolutional) 코드로 나뉜다. 블록 코드에는 Hamming 코드 [17], BCH (Bose-Hocquenghem-Ray-Chaudhuri) 코드[18], RS (Reed-Solomon) 코드[19] 등이 있으며, 컨볼루션 코드에는 Viterbi 코드와 Turbo 코드와 같은 코드가 있다.

본 논문에서 다루는 위치패턴은 x, y 좌표들이 각각 수 십 비트의 이진 코드(binary code)로 표현되며, 실시간성 보장을 위한 빠른 처리가 요구되므로, 본 논문에서는 오류 보정을 위한 코드로 Hamming 코드를 사용한다. Hamming 코드로 검출 가능한 오류는 서로 다른 비트 수를 의미하는 Hamming distance,  $h$ 로 표현할 수 있다. 만일  $e$  개의 오류를 검출하려면 Hamming distance는 식 (1)를 만족해야 하며,  $e$  개의 오류를 정정하려고 하면 식 (2)을 만족해야 한다[17].

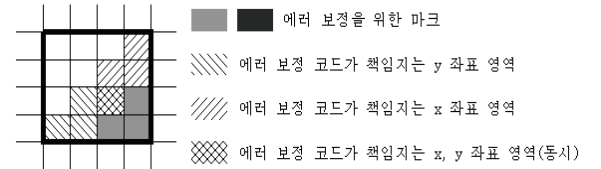
$$h \geq e + 1 \tag{1}$$

$$h \geq 2e + 1 \tag{2}$$

본 논문에서 다루는 위치패턴의 인식 과정에서 발생하는 오류에는 단일 셀 오류가 대부분을 차지하며, 복수 셀 오류의 경우 3-4개 셀의 오류보다는 5개 이상의 셀에 영향을 미치는 전체 이미지의 불량인 경우가 많다. 이러한 오류 발생 특성을 고려하여, 단일 셀 오류에 대한 보정과 두 개 셀의 오류에 대한 검출을 목적으로 식 (2)에 따라 Hamming distance를 3으로 하는 오류 보정 코드를 설계하기로 한다. 좌표 데이터의 Hamming distance를 3으로 만들기 위해서는 원래 C-행렬로 표현되는 x, y 좌표값 데이터에 오류 검출과 수정을 위한 패리티(parity) 비트를 추가하여 Hamming 코드를 만들어야 하는데 x, y 좌표 데이터의 비트 수에 따라 추가되는 패리티 비트의 수가 식(3)과 같이 정의된다[17].



(a) Error correction code composed of 4 cells.



(b) Error correction code composed of 3 cells.

그림 3. 오류 보정 코드 셀의 배치 방법.

Fig. 3. Cell placement of error correction code.

$$2^p - 1 \geq d + p \tag{3}$$

여기서  $p$  는 패리티 비트의 수이며,  $d$  는 데이터 비트의 수가 된다. 예를 들어 데이터 비트의 수( $d$ )가 4비트라면, 패리티 비트의 수( $p$ ) 는 최소한 3이 되어야 한다.

### IV. 위치패턴의 인식 오류 보정

위치패턴의 인식은 이미지 센서를 통해 입력된 위치패턴을 분석하여 위치 정보를 검출하는 것인데, 그림 1(a)의 마크를 정확히 인식하는 것이 중요하다. 그러나 위치패턴의 인쇄 과정에서 나타나는 품질 저하, 위치패턴의 광학적 환경으로 인한 입력 이미지의 품질 저하, 인식 과정에서 나타나는 마크의 오인식 등으로 인해 인식 오류가 발생할 수 있다. 그림 7(c)는 취득한 이미지의 품질 저하로 인해 빨간색 원으로 표시된 마크를 다른 종류의 마크로 잘못 인식한 예이다. 따라서 본 절에서는 이와 같은 인식 오류를 보정하기 위하여 Hamming 코드를 위치패턴에 구현하는 방법을 기술한다.

#### 1. 최대한 많은 데이터 비트들의 오류 보정 방안

하나의 패턴을  $4 \times 4$  셀로 구성하고 방향키 영역을 3개의 셀로 표현한다고 가정해 보자. 이때 3개의 방향키 셀을 제외하면, 좌표의 정보는 최대 13개의 셀, 즉 13비트 이진수로 표현될 수 있으므로, 1비트 오류를 보정하기 위해서는 식 (3)에 따라 최소 5비트의 패리티 비트가 필요하게 된다. 그런데  $4 \times 4$  패턴인 경우 총 16개의 셀로 구성되므로 원하는 코드 ( $5+13=18$ )를 모두 다 포함할 수 없다. 따라서  $4 \times 4$  셀로 구성된 패턴으로 구현할 수 있는 최적의 조합은, 식 (3)과  $d + p \leq 16$  의 조건 하에  $d=11, p=4$ 의 경우이다. 즉, 그림 3(a)와 같이 4개의 셀로 방향키 영역을 구성하고 방향키 영역에 Hamming 코드의 패리티 비트를 포함하도록 하여 11비트의 좌표 정보를 보정할 수 있도록 패턴을 재구성한다. 이와 같이 패턴을 구성할 경우, 좌표 데이터 비트를 나타내는 12개의 셀 중에서 11개의 셀만 오류 보정의 대상이 되고 나머지 한 셀에 대해서는 보정을 하지 못하게 된다. 하지만 나머지 한 셀이 위치 정보 중에서 최상위 비트(MSB)에 해당하는 정보를 갖도록 한다면, MSB의 변화는 인식한 위치 좌표의 급격한 변화를 의미하는데 이러한 오류는 상위 계층에서 이동거리 분석 알고리즘을 통하여 검출할 수 있다.



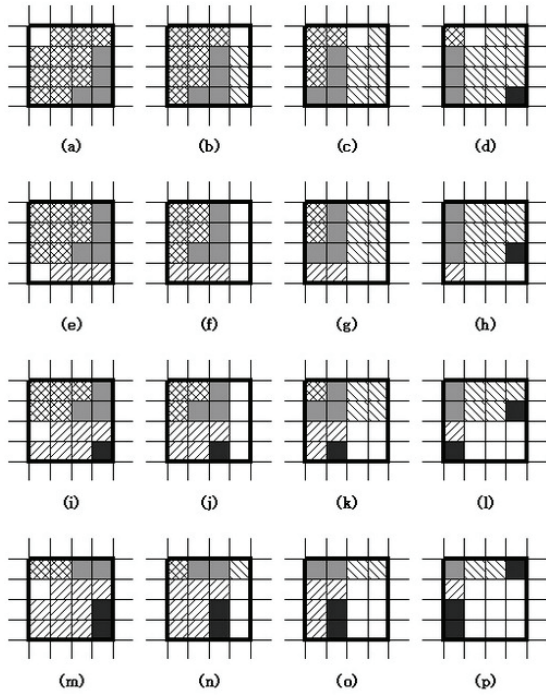


그림 4. 4개 셀을 이용한 오류 보정 가능 영역.  
Fig. 4. Error correction coverage using 4 cells.

오류를 제대로 보정하기 위해서는 하나의 패턴에 속하는 오류 보정 코드를 포함하여 총 15개의 셀이 온전하게 획득되어야 하는데, 그림 4에 제시된 것처럼 영상획득과정에서 발생될 수 있는 경우의 수는 모두 16가지이다. 그림 4에 보이는 것과 같이 획득한 영상에 따라서는 패턴을 구성하는 16개의 셀이 온전하게 획득되지 않는 경우가 발생한다. 그림 4에서 (a)의 경우는 하나의 온전한 패턴이 획득된 경우이나, (b), (c), (e), (f), (g)의 경우는 방향키만 온전하게 획득되었고 데이터 영역(좌표 영역)은 인접한 패턴과 중첩된 경우이다. 그리고 나머지 경우는 방향키 영역도 온전하게 획득되지 않은 경우이다. 그러나 좌표 데이터 영역의 경우 비록 획득한 이미지가 인접한 패턴과 중첩되어 있더라도 인접한 패턴과의 좌표값 차이가 항상 1이므로 데이터 좌표를 유추할 수 있다. 즉 유추가 불가능한 방향키 영역만 온전히 확보되면 오류를 보정할 수 있으므로, 16가지 경우 중 6개의 경우에서 오류 보정이 가능하므로 오류 보정 가능 확률은 37.5%가 된다. 그러나, 획득하는 이미지 크기를 확대하여 획득된 영상에 최소 5 × 5개의 셀들이 동시에 관찰될 수 있도록 한다면, 원하는 4 × 4 패턴 상하좌우에 생기는 여분의 이미지 영역에 방향키가 포함되는 경우가 발생하여, 총 64개의 발생 가능한 경우의 수 중, 43개의 경우에 온전한 방향키가 포함되어 오류 보정 확률은 대략 67.2%로 높아질 수 있다. 따라서 실제 구현의 경우 설계된 패턴의 크기보다 더 큰 이미지를 획득하여 오류 보정률을 향상시키도록 하여야 한다.

2. 한정된 수의 데이터 비트의 오류 보정 방안

위치패턴은 x와 y의 좌표 정보를 포함한 것으로 인접한 위치패턴의 좌표가 연속적으로 변화한다는 특성을 고려하면 보정의 대상이 되는 데이터 비트 수를 축소할 수 있다. 즉, 좌표 인식 결과, 이동체의 최대 이동 속도를 감안하여 일정

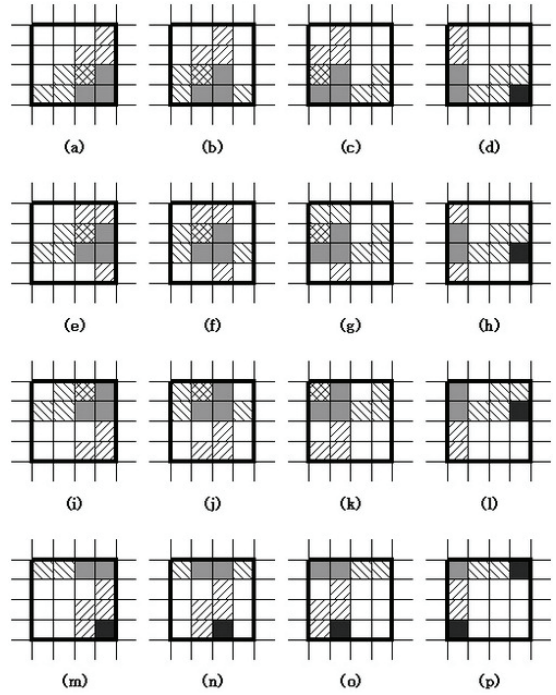


그림 5. 3개 셀을 이용한 오류 보정 가능 영역.  
Fig. 5. Error correction coverage using 3 cells.

거리 이상의 급격한 좌표값 변화가 있을 경우 좌표 연속성을 검사하는 방법으로 오류를 확인하고 보정할 수 있다. 이는 오류 검출 및 보정 알고리즘의 대상을 좌표값의 하위비트에 국한하여 적용해도 실질적으로는 전체 데이터 비트에 적용한 것과 동일한 효과를 가질 수 있음을 의미하며 결과적으로 오류 보정 코드를 위한 셀 개수를 줄일 수 있게 하여준다.

그림 3(b)는 오류 보정 코드를 3개 사용하여 하위 비트만 보정하는 경우를 보여주고 있다. 코드의 길이가 3인 경우 (p=3), 식 (1)에 의하여 보정 가능한 최대 데이터 길이 d는 4가 되므로, x, y 좌표값의 각각 하위 4비트만을 보정할 수 있게 된다. 그림 5는 4 × 4 셀로 구현된 패턴 이미지를 취득한 경우 보정용 패리티가 포함된 방향키 셀이 온전히 포함되는 경우를 보여주는 것으로 총 16개의 경우의 수 중에서 9가지 경우에 대하여 온전한 방향키 셀이 포함되어 56.2%의 경우에 대하여 데이터를 보정할 수 있음을 보여주고 있다. 만일 앞서 설명한 것과 같이 실제 패턴크기보다 더 큰 이미지를 취득할 경우, 보정률을 증가시킬 수 있는데, 실제 입력되는 위치패턴 이미지가 5 × 5로 확대되어 관찰된다면 64개의 모든 경우에 대해 온전한 방향키가 관찰될 수 있으므로 오류 코드의 기능은 100% 발휘할 수 있다.

이상의 예를 통하여 보정용 패리티 수를 조정하여 주어진 위치패턴으로 표현할 수 있는 최대 좌표 영역의 크기와 그 좌표에서 보정할 수 있는 좌표의 하위비트 수를 조정할 수 있음을 보였다. 최대한 많은 데이터 비트들에 대해 오류를 보정하는 경우, 오류를 보정할 수 있는 데이터 비트들이 많이 확보되는 반면에 구현 가능한 위치패턴의 수가 보정을 하지 않는 경우에 비해 4배 이상 줄어들게 된다. 그러나 한정된 수의 데이터 비트에 대해서 오류를 보정하는 경우, 구현 가능한 위치패턴의 수를 감소시키지 않고 보정이 가능하다.

V. 실험

본 논문에서 제안된 위치패턴을 활용한 실내 측위 시스템의 성능을 평가하기 위하여 5 m × 1.5 m 크기의 공간을 만들고 공간 전체의 바닥에 위치패턴을 설치하고 실험을 실시하였다. 위치 인식 정확도 측정에 주안점을 두었기 때문에 실내 공간에는 장애물이 존재하지 않도록 단순화 시켰다. 실험에 사용한 이동체로는 그림 6에서 보이는 레고(Lego)로 제작한 소형 이동 로봇을 이용하였다. 패턴을 인식하는 광학 모듈은 9.6 mm의 초점거리를 가지며 화상 크기가 2.5×2.5 mm<sup>2</sup>가 되도록 하였으며, 프레임 레이트(frame rate)가 90 fps(frame per second)인 QCIF(176×144)급 CMOS 센서를 이용하였다. 한 패턴의 크기와 CMOS 센서의 프레임 레이트를 고려하면, 초당 1m 움직임에서도 무리없이 측위가 가능한 것으로 계산되었다. 실험에 사용한 패턴은 그림 3(b)에서 보인 4 × 4 패턴으로 하위 4비트에 대해서만 오류 정정 코드를 부여하였으며, 관찰되는 이미지의 크기는 최소 5 × 5 이상의 셀이 관찰되도록 설계하여 오류 보정률을 향상시켰다. 실제 패턴의 인쇄는 600 dpi로 인쇄하였으며, 4 × 4 패턴의 중심점간의 물리적 거리는 1.7 mm로, 셀간의 간격은 0.4 mm이었다. 이는 4 × 4 패턴을 인식 오류 없이 인식할 경우 측위오차를 0.4 mm로 유지할 수 있음을 의미한다.

그림 7은 앞서 설명한 위치패턴 인식 과정의 예를 보여주는 그림이다. 그림 7(a)는 실제 이미지 센서에서 읽은 위치패턴의 이미지이고 그림 7(b)는 이미지 전처리 과정을 거친 이미지이다. 그림 7(c)는 빨간색 사각형으로 테두리 친 위치패턴에 해당하는 4 × 4 셀의 마크들을 모두 검출한 결과이다. 그림에서 좌표 영역에 해당하는 마크는 초록색으로 방향키 영역에 해당하는 마크는 파란색으로 표시되어 있다.

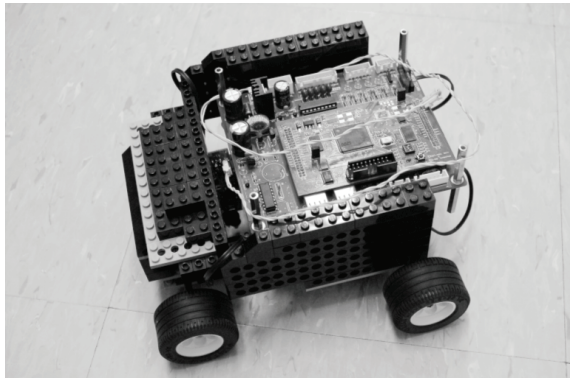


그림 6. 실험에 사용된 이동 로봇.  
Fig. 6. Mobile robot used in experiment.

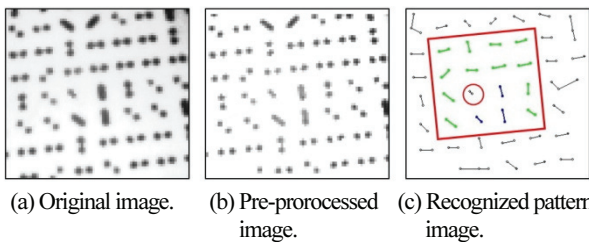


그림 7. 위치패턴 인식 과정의 예.  
Fig. 7. Example of position-coded pattern recognizing process.

표 2. 오류 보정 후 인식률 비교.

Table 2. Comparison of recognition rate after the error correction.

순번	패턴수	오류 보정 전		오류 보정 후( $p=3$ )		증감
		실패수	인식률	보정 패턴수	인식률	
1	487	21	95.69	16	98.97	+3.29
2	511	20	96.09	12	98.43	+2.35
3	498	23	95.38	21	99.60	+4.22
4	502	31	93.82	25	98.80	+4.98
5	523	19	96.37	17	99.62	+3.25
평균			95.47		99.09	+3.62

( $p$ : 오류 보정 코드 수, 인식률단위:%)

위치 인식은 먼저 좌표 영역의 정보로부터 해당 위치패턴의 좌표값을 추출하고 이전 좌표와 비교하여 좌표값의 상위 비트 오류 발생 여부를 판별하여 보정한 후, 방향키 영역에 포함된 3비트 패리티와 좌표값 하위 4비트로 7비트 Hamming 코드를 조합하여 정확한 좌표값을 추출한다. 이러한 실험을 5회 반복 수행하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 각 실험에서 한번에 인식된 패턴 이미지는 대략 500개 정도로서 오류 보정 코드를 활용하지 않을 경우, 즉 이미지로부터 얻은 좌표 영역 정보만으로 좌표를 추출하는 경우 위치 인식률은 평균적으로 95.5 %이나, 오류 보정 코드를 이용하여 오류 검출 및 보정을 시행한 경우에는 위치 인식률이 99.1 %로 향상되어 거의 모든 위치를 오차 범위 0.4 mm 이내에서 파악할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 이는 무선망을 이용한 타 측위 기법[3,5]에서 보이는 수 십 cm의 오차에 비하여 매우 작은 오차 범위를 가질 뿐 아니라, 측위 성공률도 매우 높음을 알 수 있다.

VI. 결론

위치패턴을 이용한 실내 측위 기술은 높은 정밀도와 사용의 편의성 등 장점을 가지고 있지만, 이와 함께 인식 오류 혹은 오인식에 대한 문제도 항상 내포하고 있었다. 본 논문에서는 위치패턴에 오류 보정 코드를 추가하여 인식 오류로 인한 측위 오류를 보정할 수 있음을 보였다. 이동체의 측위 목적으로 위치패턴을 사용할 경우, 위치패턴의 최상위 비트는 위치 값의 큰 변화를 의미하기 때문에, 위치 값의 연속성의 특징을 고려하여 하위 비트에 대해서만 Hamming 코드를 사용하여 오류를 보정하는 방안을 제안하였다. 실험결과 0.4 mm의 오차범위를 가지는 위치패턴에 대하여 99.1 %의 인식률을 보임을 알 수 있었다.

위치패턴을 이용한 위치 인식은 시스템의 구성과 위치패턴의 구조 설계에 따라 적용할 수 있는 영역이 매우 다양하며, 본 논문에서 제안한 오류 보정 알고리즘을 통해 위치패턴의 정확도를 더한다면 실내 측위에 적용 가능한 새로운 하이브리드 위치 인식 기술로서 자리잡을 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, "Position location using wireless communication on highways of the future," *IEEE Communication Magazine*, vol. 34, no. 10, pp. 33-41, Oct. 1996.  
[2] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster,

- “The anatomy of a context-aware application,” *Proc. of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM '99*, Seattle, Washington, USA, pp. 59-68, Aug. 1999.
- [3] M. Peasgood, C. Clark, and J. McPhee, “Localization of multiple robots with simple sensors,” *Proc. of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation*, Niagara Falls, Canada, July 2005.
- [4] S. Se, D. G. Lowe, and J. J. Little, “Vision-based global localization and mapping for mobile robots,” *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 21, no. 4, pp. 364-375, Jun. 2005.
- [5] D. C. K. Yuen and B. A. MacDonald, “Vision-based localization algorithm based on landmark matching, triangulation, reconstruction, and comparison,” *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 21, no. 2, pp. 217-226, Apr. 2005.
- [6] K. S. You and C. T. Choi, “Development of localization sensor system for intelligent robots,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 2, pp. 116-124, Feb. 2011.
- [7] H. S. C. Jae, Y. Lee, and W. P. Yu, “A real-time localization system based on IR landmark for mobile robot in indoor environment,” *Journal of Control, Automation and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 12, no. 9, 2006.
- [8] H. D. Kang and K. H. Jo, “Self-localization of autonomous mobile robot using multiple land-marks,” *Journal of Control, Automation and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 10, Jan. 2004.
- [9] M. H. Tak and Y. H. Joo, “Localization for cooperative behavior of swarm robots based on wireless sensor network,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 8, pp. 725-730, Aug. 2012.
- [10] X. L. K. Pahlavan and J. Makela, “Indoor geolocation science and technology,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 112-118, Feb. 2002.
- [11] K. Kim and N. Kim, “An enhanced wireless TCP protocol based on explicit error notification,” *Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 26, no. 12B, Dec. 2001.
- [12] D. Koutsonikolas, S. Das, Y. Hu, Y. H. Lu, and C. Lee, “Cocoa: coordinated cooperative localization for mobile multi-robot ad hoc networks,” *Proc. of the 26th IEEE International Conference Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'06)*, Feb. 2006.
- [13] H. Chae and K. Han, “Combination of RFID and vision for mobile robot localization,” *Proc. of the 2005 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference*, pp. 275-280, 2005.
- [14] D. Hwang, “A study on localization using wireless sensor networks and position pattern,” Thesis, Graduate school, Inha University, 2007.
- [15] Anoto AB. Method and Device for Decoding a Position-Coding Pattern. US Patent 7,999,798.
- [16] S. Lee and J. Park, System and Method of Detecting Absolute Coordinates. PCT Patent KR2001 02182.
- [17] R. W. Hamming, “Error detecting and error correcting codes,” *The Bell System Technical Journal*, vol. 29, no. 2, pp. 147-160, Apr. 1950.
- [18] R. C. Bose and D. K. Ray-Chaudhuri, “On a class of error

correcting binary group codes,” *Information and Control*, vol. 3, no. 1, pp. 68-79, Mar. 1960.

- [19] I. Reed and G. Solomon, “Polynomial codes over certain finite fields,” *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM)*, vol. 8, no. 2, pp. 300-304, 1960.



### 김상훈

2002년 인하대학교 전자·전기·컴퓨터공학 졸업. 2013년 인하대학교 대학원 정보통신공학과 석사. 관심분야는 실시간 시스템, 이미지 프로세싱, 패턴기반 위치 인식.



### 이승걸

1982년 인하대학교 응용물리학과 학사. 1984년 한국과학기술원 이학석사. 1987년 동 대학원 박사. 1987년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 1990년~1991년 미국 Northwestern Univ. 교환교수. 2003년~2004년 미국 Arizona Univ. 방문교수. 관심분야는 초정밀 계측, 자동화시스템, 광통신.



### 김유성

1986년 인하대학교 전자계산학 학사. 1988년 한국과학기술원 전산학석사. 1992년 동 대학원 박사. 1992년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 2006년 인디애나대학 의과대학 방문교수. 관심분야는 데이터마이닝, 멀티미디어 데이터베이스, 지능형 소프트웨어 시스템.



### 박재현

1986년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1988년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1995년 Univ. of Michigan 연구원. 1995년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 관심분야는 임베디드 시스템, 실시간시스템, 고신뢰성 컴퓨터