

Color Indexing을 이용한 이동 로봇의 위치 추정

김태균, 박학근, 정영진
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Localization of Mobile Robot Using Color Indexing

Tae Kyun Kim, Hyun Keon Park, and Myung Jin Chung
Dept. of Electrical Engineering, KAIST

Abstract - Color 이미지 데이터 베이스로부터 원하는 이미지를 찾아내는 방법으로 image indexing에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 image indexing의 한 방법인 color indexing을 이용하여 이동 로봇의 위치 추정 문제를 해결하고자 한다. Color indexing은 영상의 color 분포를 분석하여 원하는 이미지를 찾아내는 기법으로 로봇은 사전에 저장되어 있는 주변 환경에 대한 모델 이미지들로부터 현재 입력되는 영상과 가장 가까운 이미지를 찾아낸다. 또한 로봇은 찾아진 영상을 이용하여 사전에 저장되어 있는 지도상에서의 자신의 위치를 추정할 수 있다. 본 논문에서는 일반적으로 로봇이 작업하는 환경의 조명 상황이 일정하지 않음을 고려하여 다양한 조명 상태에 대하여 여러 가지 color indexing 알고리즘을 적용하여 실험하였으며 matching된 이미지를 이용하여 지도상에서의 로봇의 위치를 추정하는 구체적인 방법을 제시하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 컴퓨터의 계산속도와 저장 능력이 향상되면서 영상 이미지를 이용하는 많은 방법들이 개발되어 왔고 이러한 방법중의 하나로 image indexing 방법이 사용되고 있다. Image indexing을 위해 영상이 담고 있는 text나, 사람의 얼굴과 같은 특정 물체, optical flow로부터 카메라의 움직임 등 다양한 query를 사용하는 방법이 있으며, 특히 영상의 color 분포를 이용한 color indexing에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 이동 로봇의 위치 추정을 위해 color indexing 방법을 적용해 보았다. 실제 복잡한 조명상황을 고려하여 color constancy 알고리즘을 바탕으로 해서 color 분포가 특징적인 환경의 영상을 모델 histogram으로 저장해 두고, 실시간으로 로봇의 카메라로부터 들어오는 영상과의 histogram matching을 통하여 로봇의 위치 추정 문제를 해결하였다.

이동 로봇의 위치를 추정하기 위한 기존의 방법은 크게 dead reckoning과 표식점(land mark)을 이용하는 방법이 있는데, dead reckoning 방법은 오차가 누적되는 단점이 있으며, 표식점을 이용하는 방법은 복잡한 영상으로부터 정확하게 표식점을 인식하는데 어려움이 많다.

본 논문에서 제시하는 방법은 표식점을 대신하여 이동 로봇이 작업하는 환경의 color 영상들을 사용하며, histogram matching 방법을 통해 입력 영상들을 인식함으로써 지도상에서 로봇의 대략적인 위치를 알 수 있다. 특정한 표식점을 찾기 위한 복잡한 과정이나 오차가 누적되는 단점 없이 효과적이며 강인한 위치 추정을 할 수 있다. 또한 matching을 통해 미리 분석해서 저장해 둔 영상의 정보를 로봇이 바로 이용할 수 있으므로, 로봇의 좌표만을 제공해 주는 기존의 방법들과는 다르게 복잡한 high level의 정보 또한 쉽게 얻을 수 있다. 논문은 크게 두 부분으로 나누어져 있다. 2장에서는

color indexing을 위한 기본적인 histogram matching 방법에 대해 언급하고, 조명의 변화에 강인한 color constancy algorithm들을 비교해 본다. 3장에서는 color indexing을 사용한 로봇의 위치 추정에 관해 구체적인 방법들과 신뢰성 있는 matching을 위한 방법들을 제시할 것이다. 4장과 5장에서는 실제 다양한 복도 영상에 대한 실험결과를 바탕으로 제시한 방법의 타당성을 검증하고, 더욱 정확한 위치 추정을 위한 방법들을 생각해 볼 것이다.

2. Color Indexing

비교적 제한된 환경에서의 영상 분석은 복잡한 기하학적인 구조를 사용하는 것보다 color 정보를 이용하는 것이 훨씬 효과적일 수 있다. Color indexing의 구체적인 방법으로서, Swain과 Ballard가 제안한 color histogram matching 방법에 대해 2.1장에서 살펴보고, 2.2장에서는 조명 변화에 강인한 histogram 방법에 대해 설명하겠다.

2.1 Color Histogram Matching

Color histogram matching은 영상의 color 정보를 histogram으로 만드는 과정, histogram들을 비교하는 histogram intersection과정, 그리고 back projection 과정으로 크게 구분할 수 있다. Histogram을 만드는 데는 다양한 방법들이 존재할 수 있으며, 특히 color constancy 문제를 해결하기 위한 방법들이 많이 연구되고 있다. Histogram intersection은 두 영상간의 유사성을 판단하는 방법으로 두 영상에 대해서 각 histogram 값의 최소값을 취하고 표준화시켜줌으로써 영상의 matching 값을 결정한다. 이 matching 값들을 비교함으로써 이미지 데이터 베이스로부터 가장 유사한 영상을 찾을 수 있다. 또한 영상이 포함하고 있는 특정 물체의 위치도 back projection방법을 사용하여 찾을 수 있는데, 이는 특정 물체의 histogram과 영상의 histogram의 차이를 이용하는 것이다.

2.2 Color Constant Color Indexing

조명과 대상물체, 센서사이의 다양한 조건에 따라 영상의 color 값이 크게 달라진다. Color를 이용해 물체나 영상을 인식하기 위해서는 조명의 변화에 강인한 color constancy 알고리즘이 필수적이다.

Color constancy 알고리즘을 기본으로 한 많은 histogram 방법이 있는데, 96년 R.Kasturi가 'An Evaluation of Color Histogram Based Methods in Video Indexing'이란 보고서에서 다양한 방법들에 대한 비교결과를 제시하고 있다. 이 보고서에서 가장 좋은 결과를 보인 것이 opponent color histogram과 HSV color histogram이다. 이 외에 data를 적당히 표준화함으로써 조명의 효과를 어느 정도 제거하는 normalized r.g.b 방법과 생물학적인 견해와도 일치하는 인접한 color의 비율 이용하는 color ratio

histogram 방법이 있다.

	Color Space
Opponent	$rg = R - G, by = 2B - R - G, wb = R + G + B$
HSV	$saturation = (\max - \min) / \max$ If $\max = R, hue = (G - B) / (\max - \min)$ If $\max = G, hue = (B - R) / (\max - \min) + 1/3$ If $\max = B, hue = (R - G) / (\max - \min) + 2/3$ $value = \max / 255$
Normalized r, g, b	$r = R / (R + G + B), g = G / (R + G + B)$
Color ratio	$ratio1 = dR, ratio2 = dG, ratio3 = dB$ where $d = \text{ratio operator}$

표 1. 다양한 color constancy 알고리즘

3. 이동 로봇의 위치 추정

3.1 지도상에서의 위치 추정

로봇의 작업 환경 중 color 분포가 독특한 영상들을 일정한 거리에서 얻어 그 영상들의 histogram data와 지도상에서의 위치를 미리 저장해둔다. 현재 로봇으로부터 들어오는 입력 영상을 일정 시간 간격으로 모델 data와 histogram intersection하여 최고 matching value가 일정한 값 이상이 될 때 로봇의 위치가 해당 영상의 위치와 일정한 거리에 있음을 추정할 수 있다.

실제 복도영상의 경우, 비슷한 영상들(문, 게시판 등)이 많이 존재하므로 입력 영상에 대해 다수의 모델들이 matching value가 크게 나타날 수 있다. 단순히 matching value가 가장 큰 모델의 위치를 로봇의 위치로 추정하는 것은 많은 입력 노이즈를 생각했을 때 타당하지 못하다. 따라서 이전 영상에 대한 matching 결과를 추가적으로 이용하여 현재 matching에 대한 신뢰성을 증가시킬 수 있다.

정확한 영상 matching을 위해서 또한 로봇이 모델 영상들로부터 대략 일정 거리를 유지할 필요가 있는데, 이는 다른 독립적인 거리 센서를 사용해 로봇을 제어함으로써 해결 할 수 있으며, stereo image에 back projection을 적용함으로써 얻을 수 있는 거리 정보를 이용해 로봇의 위치를 제어할 수도 있다. 시스템의 전체적인 block diagram은 다음과 같다.

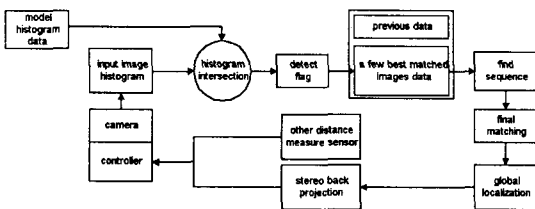


그림 1. 로봇의 위치 추정을 위한 전체 시스템

3.2 Image matching

Interreflection, specular reflection, shading의 영향이 적고, 측정 센서가 좁은 대역폭을 지닌다고 가정한다면, 센서의 반응은 다음과 같은 coefficient model로 표현될 수 있다.

$$\rho_k^* = e_k^* r_k^*$$

(x : 표면의 위치, e_k^* : 입사되는 조명, r_k^* : 표면의 albedo, ρ_k^* : 센서출력)

조명에 의한 intensity의 변화는 인접한 pixel에서는 거의 무시할 수 있으므로 다음과 같이 color ratio를 취함으로써 조명의 효과를 제거할 수 있다.

$$\rho_k^1 / \rho_k^2 = (r_k^1 e_k^1) / (r_k^2 e_k^2) = r_k^1 / r_k^2$$

즉 2장에서 설명한 color ratio를 이용한 histogram 방법은 다수의 조명이나 공간적으로 변하는 조명상황에도 강인하게 동작할 수 있다. 본 논문에서는 image matching을 위해 특히 color ratio histogram의 구현에 초점을 맞추었으며, 방법은 다음과 같다.

- ① 2D Gaussian Smoothing ($\sigma = 4$)
- ② Thresholding ($T = 20$)
- ③ Log of Maximum Ratio
- ④ Quantization
- ⑤ Make Histogram
- ⑥ Histogram intersection

복잡한 실제 영상에 대해서는 σ 를 크게 잡는 것이 좋으며, pixel의 intensity가 작으면 ratio가 noise의 영향을 크게 받을 수 있으므로 적당한 thresholding이 필요하다. 4방향의 ratio를 독립적으로 고려하되 중복을 피하기 위하여 2방향의 maximum ratio를 취한다. Histogram을 만들 때, Ratio값의 분포가 균일하지 못하므로 최적의 histogram을 만들기 위해서는 적절히 구간을 조정할 필요가 있다. Data set에 가장 적합한 histogram을 만들기 위해 ratio와 확률간의 함수를 이차식으로 모델링하여 계수를 조정할 수 있게 만들었다. Histogram이 만들어지면, 상대적인 normalizing factor을 고려하여 2장에서 설명한 방법과 동일하게 intersection을 수행한다.

3.3 Image Sequence Matching

단일 영상의 matching 결과만으로 위치 추정을 할 경우 모델 영상들의 유사성 정도와 입력 영상의 변화에 따라 정확한 matching이 일어나지 않을 수 있다. 연속적인 입력 영상들의 indexing 결과에 따른 영상들의 순서를 고려함으로써 보다 정확한 matching이 가능하다. 매 순간 단일 영상에 대해 histogram matching을 수행하고 각 최고 매칭 값이 일정 값 이상으로 커지는 순간에 data를 저장, 이전 data와 위치상의 연속성을 검토함으로써 현재 영상과 일치하는 모델 영상을 찾는다. 연속적으로 들어오는 입력 data에 sequence matching을 수행할 타이밍을 결정하는 것이 중요한 요소가 된다. 그림 2는 매 순간 최고 매칭 값이 어떻게 변하는지를 보여준다.

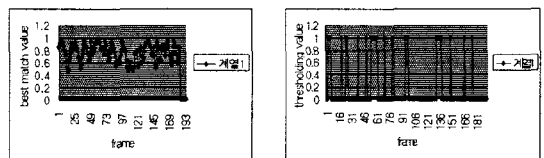


그림 2. 연속적인 입력에 대한 best matching value

3.4 Stereo Back Projection

Matching된 영상에 포함되어 있는 특정 물체에 대한 color histogram을 stereo image에 대해 back projection방법을 적용함으로써 stereo image내의 특정 물체의 위치를 알 수 있고, 삼각법을 사용하여 물체로부터 로봇의 거리를 계산할 수 있다. Calibration되어 있는 두 parallel camera를 사용하여 간단히 두 영상의 x 좌표의 편차만을 측정함으로써 간단히 거리 정보를 얻을 수 있다.

하지만 back projection 방법으로는 물체의 대략적인 중심만을 알 수 있으므로 일정 오차가 생기며, 실제 복도영상의 경우 color 분포가 배경과 잘 구분되는 작은 물체들이 많이 없으므로 어려운 점이 있다.

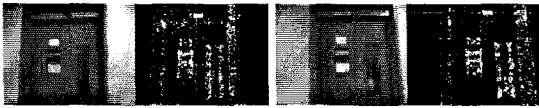


그림3. Back Projected Stereo images(left &right)

4. 실험 결과

이동 로봇이 작업하는 환경을 실내 복도로 설정하고, 복도 벽면으로부터 대략 일정한 거리를 두고 모델 영상을 얻었으며, 다양한 시간대에 형광등과 거리를 변화시켜 가며 연속적인 입력 영상을 얻었다.

▶ Model set (31 images): 6/4일, 오후 3시, 형광등 on, 벽으로부터 2m 거리를 유지

▶ Opp: opponent color histogram
nrg: normalized r,g color histogram
ratio: color ratio histogram

avgper: avg. of ($\frac{N-r}{N-1}$) where N=31, r=rank

avgtol: avg. of tolerance(해당 모델의 matching value와 다음 rank모델의 matching value 차이)

	rank	1	2	3	4	5	>5	avgper	avgtol
opp	23					1		0.994	0.255
nrg	23	1						0.998	0.163
HSV	23		1					0.997	0.198
ratio	23		1					0.997	0.044

표2. 6/4일, 오후3시, 형광등 all on, 거리유지(24 input images)

	rank	1	2	3	4	5	>5	avgper	avgtol
opp	9	1	1	3			7	0.816	0.07
nrg	9		1		1	10		0.768	0.058
HSV	8	1		2	1	9		0.782	0.059
ratio	8	3	5	3	1	1		0.937	0.048

표3. 6/4일 오후4시, 형광등 half on 거리 변화(21 input images)

	rank	1	2	3	4	5	>5	avgper	avgtol
opp	6	1	4	1			6	0.822	0.049
nrg	4	2	3	1			8	0.77	0.033
HSV	5	3	2				8	0.78	0.024
ratio	11	2	1	3			1	0.924	0.05

표4. 6/10일 오후11시, 형광등 on, 거리 유지(18 input images)

위의 결과는 현재의 영상만을 이용하여 4가지 방법으로 각각 matching 시켜본 결과이다. 표2에서 비교적 조명과 거리가 일정하게 유지되는 경우는 4가지 방법 모두 잘 동작함을 알 수 있다. 하지만 표3과 표4에서 보듯이 조명의 변화가 생길 때는 ratio 방법만이 avgper가 0.9를 넘는다. 조명의 변화가 생길 때에는 ratio 방법도 (표3과 표4에서) rank가 1보다 큰 경우가 많지만 이는 Model set에 비슷한 color 분포를 지니는 여러 개의 이미지들이 포함되어 있기 때문이다. 이 문제는 3.2.2에서 설명한 sequence matching을 사용함으로써 쉽게 해결할 수 있다.

결론적으로, 로봇의 작업 환경이 실내일 때는 color ratio histogram을 사용함으로써 다양한 변화에도 만

족스러운 matching 결과를 얻을 수 있다.

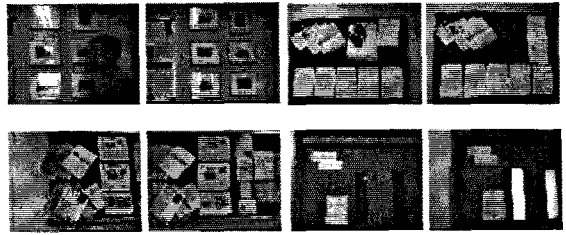


그림4. 입력 영상(좌)과 best match 모델 영상(우)

그림2는 연속적으로 입력되는 영상을 초당 7-8 frame으로 model histogram과 matching 시켜본 결과이다. 입력 영상이 모델 영상과 일치하는 순간은 best match value가 가장 크며, 모델과 멀어질수록 그 값이 감소하였다. 즉 연속적으로 계산되는 best match value를 살펴봄으로써 로봇이 모델 영상과 어느 정도 거리에 있는지도 알 수 있다. 실제 pulse가 뛰는 회수와 포함되어 있는 model의 수가 일치함을 확인할 수 있었다. 즉, 모델과 가장 가까운 순간에 위치 정보들을 저장함으로써 지도상에서 이전 data와 연속이 되는 모델을 찾을 수 있다. 다음 그림은 연속적인 입력 영상에 대해 sequence matching을 수행한 결과이다. Color 분포가 비슷한 model 영상(원으로 표시)들로부터 정확한 model 영상(두꺼운 원)을 찾아낼 수 있다.

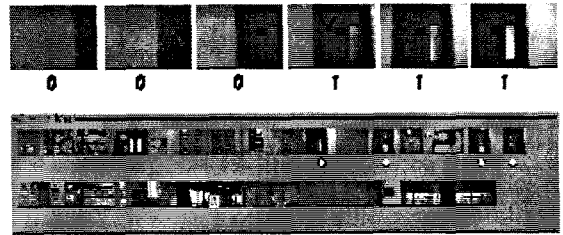


그림 5. Sequence Matching 결과

5. 결론

본 논문에서는 이동 로봇의 위치 추정 문제를 해결하기 위해 color indexing 방법을 적용해 보았다. 실내 환경에서 일어날 수 있는 다양한 환경 변화를 고려하여 대표적인 histogram matching 방법들을 적용해 본 결과 color ratio를 사용한 histogram이 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 Color ratio histogram을 여러 장의 연속한 입력 영상에 적용함으로써 환경 변화에 강한 위치 추정이 가능하였다. 추후, 더욱 정확한 이동 로봇의 위치 추정과 작업 환경의 분석을 위해 stereo image로부터의 거리 추출과 color image segmentation에 관한 연구를 수행할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Swain and Ballard, "Color Indexing", IJCV, 1991
- [2] Funt and Finlayson, "Color Constant Color Indexing", Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.17, No.5, 1995
- [3] Ronen Basri, "Image-Based Robot Navigation Under the Perspective Model", Robotics & Automation, 1999
- [4] Smith and Kanade, "Video Skimming and Characterization through the Combination of Images and Language Understanding Techniques", Image Processing, 1997