

청소용 로봇의 성능평가 자동화를 위한 Testbed 개발

신익상*(세종대 컴퓨터공학), 문승빈(세종대 컴퓨터공학), 박광호(기술표준원),
남상현(세종대 컴퓨터공학), 장순필(세종대 컴퓨터공학), 지완일(세종대 컴퓨터공학)

Testbed development for automation of performance evaluation to cleaning robot

I. S. Shin(Comp. Eng. Dept. SJU), S. B. Moon(Comp. Eng. Dept. SJU), K. H. Park(Ind. Machinery Std. ATS),
S. H. Nam(Comp. Eng. Dept. SJU), S.P. Jang(Comp. Eng. Dept. SJU), Y. I. Ji(Elec. Eng. Dept. SJU),

ABSTRACT

This paper describes the performance index of mobile robot and development of testbed which is used to evaluate the index. The developed testbed has rectangular structure similar to a living room of home. It is semi-automation testbed system for evaluation of cleaning performance index. This system is composed with scattering and cleaning equipment of test materials, equipment rifting of objects in inner space and sides itself, vision processing system. To be consistent of performance evaluation of cleaning robot, we make use of camera in this system for the sake of measurement of robot's mobility, path and suction quantity.

Key Words : Testbed(테스트베드), Performance Evaluation(성능평가), Standardization(표준화), Automation(자동화), Cleaning Robot(청소용 로봇)

1. 서론

2000 년대 이후 로봇의 주류인 산업용 로봇으로부터 각종 센서를 통해 환경인식 정보, 판단, 자율 행동 등의 기능을 갖추고 별도의 조작이 없이도 스스로 환경을 인지, 판단하고 작업을 수행하거나 인간과의 상호작용을 통하여 서비스를 제공하는 지능형 로봇이 빠른 속도로 등장하고 있다. 이러한 제품들은 주로 지능형 자율이동에 의해 구동되기 때문에 기능특성의 성능지표와 안전에 관한 사항에 대한 표준화가 필요하다. 대표적인 이동로봇인 가정용로봇에 대한 표준화는 품질 과 안정성 및 기술 수준을 향상 시킬 수 있으며 제품 신뢰도를 더욱 향상 시킬 수 있다.

청소용 로봇의 표준화를 위해서는 성능의 지표가 되는 평가항목과 실질적으로 로봇을 평가할 수 있는 시스템이 필요하다. 일반 가정에서 사용되는 청소용 로봇을 평가하기 위해서는 그 환경과 유사해야 할 것이다. 따라서 본 논문은 일반 가정과 유사한 환경을 갖는 시스템을 설계하고 청소로봇의 성능을 자동으로 측정할 수 있는 시스템을 구축 하였다. 이후 제 2 장에서 이러한 시스템에 대한 개요를 보이고 있으며 제 3 장에서는 청소로봇의 성능평가[1]를 위한 지표와 testbed 의 개발에 대하여 다루

었으며 제 4 장에서는 설계된 testbed 를 이용한 실험 결과를 보이며 마지막으로 결론을 도출한다.

2. 시스템 개요

본 논문에서 제시된 시스템(testbed)은 그림 1 에서 보이는 바와 같이 청소로봇의 성능을 평가하기 위한 이동 로봇용 testbed 로서 청소로봇의 청소량 및 기타 성능을 측정할 수 있는 처리시스템이다.

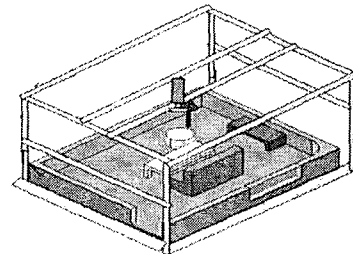


Fig. 1 Testbed Architecture

이 testbed 는 일반 가정과 유사한 환경으로서 분해 조립이 가능하며 모든 작동장치(기구리프트장치, 오물살포 및 제거장치)는 중앙 컨트롤러에서 내

* 본 논문은 한국산업기술표준원의 “청소용 로봇의 성능평가 방법표준화 연구” 과제에 의해서 연구되었습니다.

부시설물의 리프트, 오물제거 살포와 제거 명령을 내릴 수 있도록 설계되었다.

본 시스템의 동작은 구조 내에 그림 2 에서와 같이 각종 장애물을 배치하고 바닥 면에 시료를 고루 뿌린 다음 규정된 시간 안에 규정된 환경과 조건에서 청소로봇이 청소하도록 한다. 청소를 종료한 후엔 측정된 청소면적(Cleaning Area) 과 로봇의 이동 추적데이터를 이용하여 청소로봇의 성능을 테스트 한다.

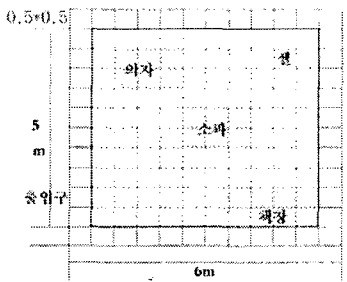


Fig. 2 Floor side of testbed

청소량은 시료의 양을 직접 측정하는 방법과 비전을 이용한 측정 방법을 비교 실험하였다. 청소량은 청소로봇이 청소시간 동안 청소한 양으로서 다음과 같이 산출한다.

- 비전을 이용한 청소량 측정

$$I_{Total} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I'_{ij} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I''_{ij}$$

여기서 m, n 은 이미지의 행, 열 사이즈를, I'_{ij}, I''_{ij} 는 각각 청소 전· 후 이미지를 나타낸다. 또한 청소기의 바닥은 평평하며 시료로 사용되는 물질의 단위 면적당 비중이 균등하다고 가정한다.

- 직접 측정하는 경우

$$M = M_1 - M_2$$

여기서 M_1, M_2 은 뿌려진 시료의 양(g)과 청소된 시료의 양(g) 이며 그 양을 정밀한 저울을 사용하여 측정한다.

3. 성능평가를 위한 Testbed 개발

3.1 Testbed 의 구조

가정환경과 유사한 시험환경의 제작을 위해서 아파트 32 평 기준의 거실(약 8 평, 5m×5m)로 내부 크기를 구성하고 내부에는 가구(의자, 소파, 테이블 등)를 배치하였다. Testbed 를 이용하여 성능의 객관적 평가를 위해서는 다음 사항을 만족해야 한다.

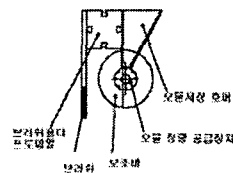
- 일반 가정과 유사한 구조

- 시료의 균일 살포 가능
- 청소 성능평가의 자동화
- 빠른 사이클 회전

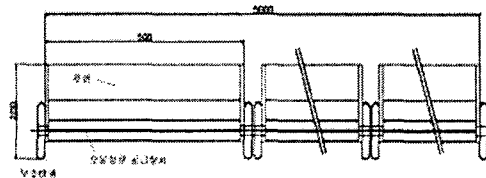
따라서 성능평가 자동화를 위해 시험환경의 중앙 상단부에 카메라를 설치하여 청소로봇의 궤적을 추적 가능하도록 하였다. 또한 내부 시설물을 자동으로 들어올리기 위해 자동리프트 장치가 설계되어 시험환경 내부에 설치된 장애물(소파, 테이블, 화장대 등)을 상단으로 200mm 이상 자동으로 들어 올리거나 내릴 수 있도록 설계하였다.

3.2 오물 살포 및 제거기능

오물살포는 그림 3 에서 보이는 바와 같이 10 분 이내에 전 내부영역에 균일하게 자동살포하며, 살포장치는 시험환경(5×5m)외부에 기구부를 설치하고 오물살포시 호퍼에 담긴 오물시료가 살포 롤러에 균일하게 분포되도록 설계하였으며 오물의 종류와 양에 따라 속도설정이 가능한 구조이다. 오물제거는 장애물을 들어올린 후 5 분 이내에 전체 영역에 대해 오물을 브러쉬 또는 걸레방식으로 깨끗하게 자동제거할 수 있다. 오물제거장치와 오물살포장치는 분리 설치하지 않고 하나의 기구시스템에서 구성되어 좌에서 우로 이동시는 오물제거가 가능하고 우에서 좌로 이동시는 오물살포가 가능하도록 설계하였다.



(a)



(b)

Fig. 3 Unit for Auto-scattering garbage and control unit (a) Side elevation (b) Front elevation

3.3 비전처리기능

비전시스템은 청소성능측정을 자동화하기 위하여 카메라와 프레임그래버 그리고 오퍼레이터를 위한 PC 화면 인터페이스와 비전정보를 처리하는 비전 라이브러리로 구성된다. LTS(Laser Tracker System)[3]대신 비전시스템을 이용하게 되면 Tracking 시 주변장애물에 의한 레이저의 끈김, 설치공간,무게등 제약이 없어진다. 또한 청소량, 이동성 분석, 그리고 청소기의 효율을 결정하는 요소 중 하나인 셀의 방문 포인트 정보를 직접 획득할 수 있다. 그러나 CCD 타입의 XC-55 카메라의 경우 Barrel distortion 왜곡이 발생하므로 왜곡을 제거하기 위하여 교차점 추출 알고리즘[2]을 사용하여 왜곡된 영상을 보정하였다.

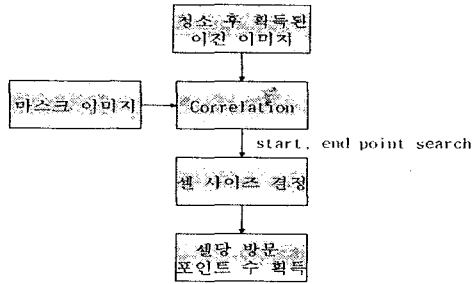


Fig. 4 Procedure for search for entry numbers of cells

이렇게 보정된 영상은 그림 4 와 같이 마스크 이미지와 획득된 이미지의 상관계수를 계산 함으로써 이미지의 초기, 마지막 포인트를 찾아낸다. 이 포인트는 셀의 시작점과 종료점의 기준으로써 셀 사이즈 및 개수를 결정하는 경계 지점으로써 이후에 로봇의 셀 방문회수의 기준으로써 사용한다.

3.4 성능평가

성능평가를 위하여 구성된 시스템 구성은 Fig.5 와 같으며 비전과 LTS 시스템을 모두 평가하였다.

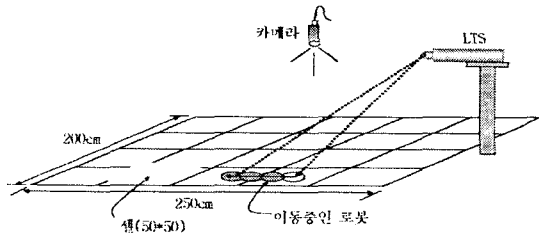


Fig.5 System configuration for performance evaluation

Table 1 은 청소로봇의 성능지표이다. 이 지표는 로봇의 성능을 평가하는 항목으로서 평일정시험 환경에서 일정시간 내에 흡입되는 시료의 양 또는 로봇 청소기가 청소할 면적 중 청소된 면적을 계산하여 청소량을 측정하게 된다. 이때 사용되는 시료는 일반 청소기의 흡입일률[4]과 일반 가정의 바닥에 버려지는 쓰레기의 종류와 무게를 고려하여 쌀, 모래, 좁쌀 등 기존의 일반 청소기가 흡입할 수 있는 재질의 시료를 사용한다.

Table 1 Performance index

평가항목	평가기준	비고
청소량	규정시간 동안의 청소량	청소효율의지표
이동성	직진성과 경로이탈정도	제어성능지표
방문수	셀당 로봇의 엔트리 포인트 수	전체영역의 균일 청소여부
총이동량	로봇이동경로의 총합	$P = \sum_{i=1}^n P_i$

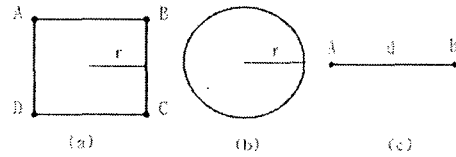


Fig.6 Types of path

(a) rectangle path (b) circular path (c) linear path

이동로봇의 이동성은 구간 사이의 위치와 방향의 정확도와 반복정밀도를 측정하는 것으로 Fig. 6 와 같이 여러 경로형태를 이용할 수 있다. 실제 실험에서는 청소 면적이 250*200cm 인 testbed 상에서 시료(흑쌀)을 대략 300g 정도를 균일 살포한 후 약 4 분간 청소로봇을 구동하여 청소 후 위에서 제시된 표 1 의 청소 성능 지표를 계산하였다.

4. 실험

성능의 비교 분석을 위해 LTS 시스템과 비전시스템을 비교 실험하였다. 실험 절차는 다음과 같다.

- 1) 배치된 가구를 들어올린다.
- 2) 기존 시료를 수거한다.
- 3) 시료를 살포한다.
- 4) 비전을 초기화한다.
- 5) 비전을 이용하여 청소성능을 측정한다.

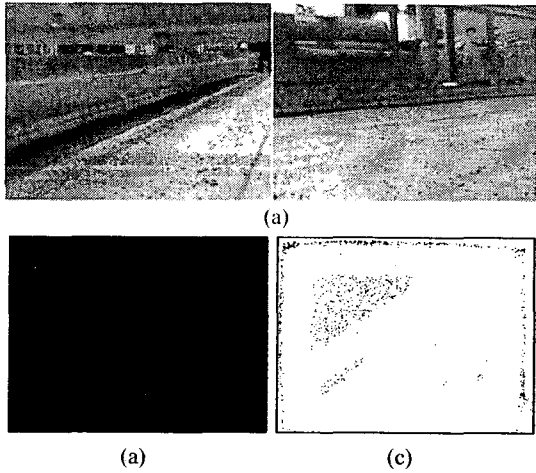


Fig. 7 experimental result
(a) garbage scattering (b) result image Before and (c) after cleaning of B robot

Table 2 Total weight and area of garbage material

로봇 \ 항목	청소전	청소후	청소비율
A 로봇	162.16(g) 409104(mm ²)	121.67(g) 306545 mm ²	75(%)
B 로봇	171(g) 431417 mm ²	124.53(g) 313785 mm ²	73(%)

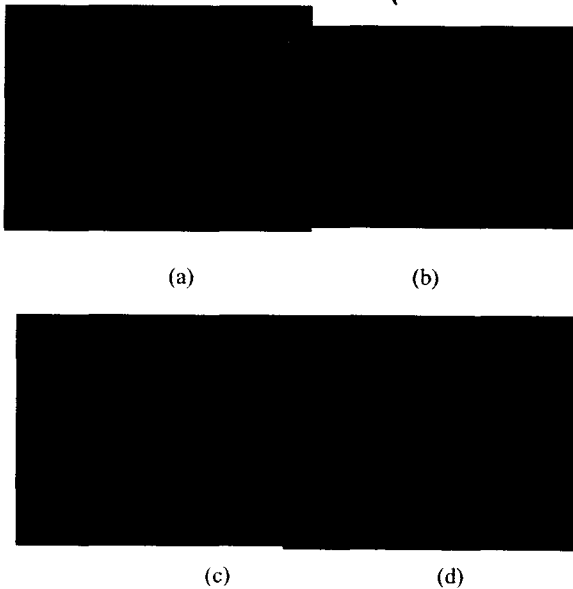


Fig. 8 path analysis: (a,c) using vision system ; (b,d) using LTS. (a),(b): B 로봇 (c),(d): A 로봇

실험에 쓰여진 청소로봇은 B 로봇과 A 로봇이며 제시된 절차를 따라 시료를 자동살포하고(Fig.

7) 청소량을 측정하기 위해 각 로봇의 청소 전·후의 이미지를 캡처한다.(Fig. 8, B 로봇) Fig. 8는 비전과 LTS 시스템의 측정 결과를 보인다. 이 결과는 청소로봇의 이동특성으로서 카메라와 LTS의 결과가 동일함을 알 수 있다.

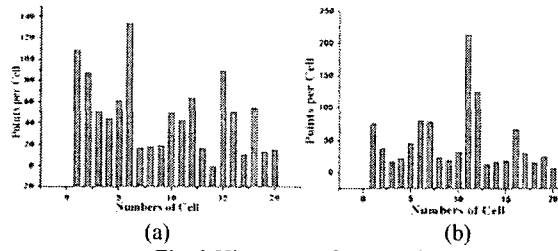


Fig. 9 Histogram of entry points
(a) B robot (b) A robot

청소 비율은 table 2 에서 보이는 바와 같이 직접 측정과 비전을 이용한 측정이 동일함을 알 수 있다. 그림 9 은 청소로봇의 셀당 entry point 를 측정한 것으로서 가장 적은 곳은 A 로봇과 B 로봇가 각각 (13 번 셀, 14), (14 번 셀, 0) 가장 많은 곳은 (12 번 셀, 127) (6 번 셀, 109)로 조사되었다. 이러한 차이는 두 청소기 모두 청소를 하지 거의 하지 못하는 영역이 존재한 다는 것을 보여주는 것이다.

5. 결론

본 논문은 청소로봇의 성능평가를 자동화 할 수 있는 Testbed 를 개발하고 청소로봇의 성능을 측정하였다. 청소로봇의 성능측정을 좀더 효율적으로 하기 위하여 비전 시스템을 도입하였고 이 시스템과 LTS 시스템의 측정결과를 보였다. 비교 결과 경제성과 성능측정의 효율성 면에서 비전시스템 활용이 추천된다. 향후 연구로서 성능평가 지표의 체계화와 Testbed 전체를 처리하기 위하여 omni-directional camera 를 도입하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 안창현, 김진호, 이건영, 퍼스널 로봇을 위한 운동과 이동 성능평가 기술의 개발? Trans. KIEE. Vol. 52D, No. 2, FEB, 2003.
- 이광진, 한기태, 김희을 Image Intensifier Camera 를 위한 자동보정기법? 한국정보처리학회 추계 논문집 제 6 권 제 2 호 pp139-144, 1999.
- 한창현, 김규로, 김진호, 레이저 트래킹 시스템을 이용한 로봇의 운동특성 분석 시스템개발? in Proc. Of ICCAS, pp1836-1839, 2001
- KS 규격, 전기진공청소기? KS C 9101, 1998.