

홈서비스로봇의 맵빌딩을 위한 효율적인 휴먼-로봇 상호작용방식에 대한 연구

A Study on the Efficient Human-Robot Interaction Style for a Map Building Process of a
Home-service Robot

주저자 : 이우훈 (Woohun Lee)

KAIST 산업디자인학과

공동저자 : 김연지 (Yeonji Kim)

KAIST 산업디자인학과

공동저자 : 김현진 (Hyunjin Kim)

삼성종합기술원 HCI랩

공동저자 : 양경혜 (Gyunhye Yang)

삼성종합기술원 HCI랩

공동저자 : 박용국 (Youngkuk Park)

삼성종합기술원 HCI랩

공동저자 : 방석원 (Seok Won Bang)

삼성종합기술원 HCI랩

1. 서론

2. 맵빌딩 태스크 분석과 유저 인터페이스 디자인 요인 정의

3. 연구방법

- 3-1 실험 디자인
- 3-2 실험용 프로토타입
- 3-3 실험 참가자
- 3-4 실험환경 및 태스크
- 3-5 실험절차
- 3-6 측정치 및 관찰 포인트

4. 실험결과

- 4-1 맵빌딩 수순과 LCD 표시창 설치 요인에 따른 태스크 수행도 비교
- 4-2 피드백 제시양식에 따른 태스크 수행도 비교
- 4-3 로봇 유도방식에 따른 태스크 수행도 비교
- 4-4 오류유형 분석
- 4-5 실험 참가자의 PC 사용능력에 따른 오류빈도 분석
- 4-6 실험후 설문 및 인터뷰를 통한 발견점
- 4-7 관찰기록 분석결과

5. 고찰

- 5-1 어떤 맵빌딩 수순이 효율적인가?
- 5-2 시스템 피드백을 어떻게 제시하는 것이 좋은가?
- 5-3 어떤 입력방식이 좋은가?
- 5-4. 로봇 조작자는 움직이기 싫어 한다
- 5-5. 간결하고 단계적인 태스크 디자인의 필요성
- 5-6. 맵빌딩 작업을 일반 사람들이 수행할 수 있을까?

6. 결론 및 향후연구

참고문헌

(要約)

홈서비스로봇은 지능적으로 인간과 상호작용하고 스마트하게 서비스를 제공하기 위해 주변 환경에 대한 충분한 공간정보를 파악하고 있어야 한다. 따라서 인간과 로봇이 공조하여 맵빌딩을 수행할 경우 보다 효율적으로 태스크를 수행하기 위한 상호작용 방식에 대해 연구할 필요가 있다.

본 연구는 우선 청소용 로봇의 맵빌딩 태스크를 분석하여 맵빌딩 수순(태스크우선/방우선), 표시창 설치(본체/본체+리모컨), 로봇 유도방식(푸쉬방식/풀방식), 피드백 제시양식 (GUI/GUI+TTS) 등 4 가지 디자인 요인을 추출하고 그에 대한 잠정적 해결안을 제시하였다. 디자인 요인과 잠정적 해결안을 실험 변인파 수준으로 정의하고 맵빌딩 태스크의 수행도와 행태에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하였다. 이를 위해 총 8종류의 실험용 프로토타입을 제작하고 16명의 가정주부를 대상으로 사용성 평가를 실시하여 실증적인 데이터를 수집하였다.

실험결과 맵빌딩 수순이라는 측면에서는 예상과 같이 태스크우선 방식보다는 방우선 방식에서 우수한 태스크 수행도를 보였다. 표시창 설치라는 디자인 요인에 대해서는 리모컨에 표시창이 부

착되어 있는 경우 높은 작업수행도와 주관적 만족도를 나타냈다. 로봇 유도방식 측면에서는 예상과는 달리 풀방식과 푸쉬방식 사이에서 태스크 수행도에 큰 차이를 발견할 수 없었고 오히려 푸쉬방식에 대한 높은 주관적 만족도를 나타냈다. 피드백 제시양식에 대한 분석결과에서도 예상과 달리 TTS에 의한 부가적인 조작 지침 제시는 부정적이라는 사실을 발견하였다.

맵빌딩을 통해 환경정보를 취득하기 이전 청소용 로봇의 자율성은 초보적인 상태이기 때문에 사용자는 단지 이동성이 있는 가전제품과 상호작용하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 총체적으로 보아 전통적인 가전제품을 조작할 때 사용되는 리모컨기반 상호작용방식을 청소용 로봇의 빌빌딩 과정에서도 선호하는 것으로 보인다.

(Abstract)

Home-service robots need to have sufficient spatial information about the surroundings for interacting with human intelligently and performing services efficiently. It is very important to investigate the efficient interaction style that supports map building task through human-robot collaboration.

We first analyzed map building task with a cleaning robot and drew 4 design factors and tentative solutions, including map building procedure (task-preferred procedure/space-preferred procedure), LCD display installation (robot/robot+ remote control), navigation method (push type/pull type), feedback modality(GUI/GUI+TTS). The design factors and tentative solutions were defined as independent variables and levels. This research investigated how those variables affect to the human task performance and behavior in map building task. 8 kinds of experiment prototypes were built and usability test among 16 house wives was conducted for acquiring empirical data.

As the experiment result, in terms of map building procedure, space-preferred procedure indicated better task performance than task-proffered procedure as we expected. For the LCD display installation factor, remote control with LCD display indicated higher task performance and subjective satisfaction. In robot navigation method, it was very difficult to find a significant difference between push type and pull type which contrary to our expectation. In fact, push type indicated higher subjective satisfaction. Also in feedback modality, we have acquired negative feedback on additional TTS operation guidance.

It seems that robot's autonomy before achieving spatial information is rudiment condition which means users are just interacting with a mobile appliance. Thus they prefer remote-control-based interaction style in robot map building process as they used in traditional appliance control.

(Keyword)

Human-Robot Interaction, Cleaning Robot, Map Building

1. 서론

최근 연구실에서 실험적으로 제작해오던 로봇이 상품화되어 점차 우리일상에 침투하고 있다. 청소, 감시, 심부름, 간호, 교육, 오락 등과 같이 다양한 용도의 홈서비스로봇이 제품화되고 있다.¹⁾ 오래 전부터 우리는 인간과 로봇의 자연스러운 공생을 상상해 왔다. 하지만 아직 상품화 가능한 기술수준의 한계 때문에 인간과의 자연스러운 의사소통을 기대하기 어렵고 태스크 수행을 위해서는 상당 부분 인간의 도움을 필요로 한다. 따라서 인간과 로봇간의 효율적인 의사소통에 대한 연구가 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 대부분의 사람들은 대인간의 커뮤니케이션과 같이 말이나 몸짓을 이용해 로봇과 소통하기를 기대한다. 하지만 이렇게 자연스런 의사소통방식으로 로봇과 상호작용하려면 입력의 모호성을 제거하기 위해 고도의 센싱 기술과 지능적 해석능력이 요구되기 때문에 아직 실용화되기에는 시기상조라고 할 수 있다.

인간-로봇 상호작용의 특징

Yanco와 Dury가 지적한 바와 같이 자율성은 인간과 로봇의 상호작용방식을 결정하는 중요한 요소이다.²⁾ 로봇에 대해 갖고 있는 자율적이며 지능적인 이미지와는 달리 현실적으로 로봇의 태스크 수행을 위해 인간의 개입이 요구되는 경우가 많다. 인간-로봇 상호작용이 기존의 인간-기계 또는 인간-컴퓨터 상호작용과 가장 근본적으로 다른 점은 조작대상이 움직이며 태스크를 수행한다는 것이다. 인간이 직면하는 조작상황은 수시로 변화하고 언어적으로 표현하기 곤란한 공간적 상호작용을 해야 하는 경우가 많다.³⁾ 대인간의 상호작용에서는 구두, 몸짓, 시선, 표정 등 다양한 감각형식을 통해 통합적으로 의사를 전달할 수 있지만, 상업적으로 이용 가능한 수준에서 인간과 로봇의 커뮤니케이션 방식은 대부분 단순화된 명령입력에 한정된다. 따라서 아직까지 많은 로봇에는 기존 가전제품과 컴퓨터에서 채용하던 조작패널, 리모컨이나 WIMP 방식의 유저 인터페이스를 개선하여 사용하고 있는데, 이러한 맥락에서 PDA나 스마트폰을 기반으로 하는 유저 인터페이스에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.^{4)~5)}

공간적 상호작용과 맵빌딩

홈서비스로봇이 가능한 한 지능적이고 자율적으로 태스크를 수행하기 위해서는 주어진 환경에 대해 상당한 공간정보를 파악하고 있어야 한다. 이를 통해 로봇은 자신의 위치를 계산할 수 있으며 이동 가능한 영역을 정의하고 태스크 수행 시 최적의 이동경로를 계획할 수 있다. 예를 들어 청소용 로봇이 주거환경에 대한 공간정보를 습득하지 못한 경우 자기위치 파악, 이동목적지 정

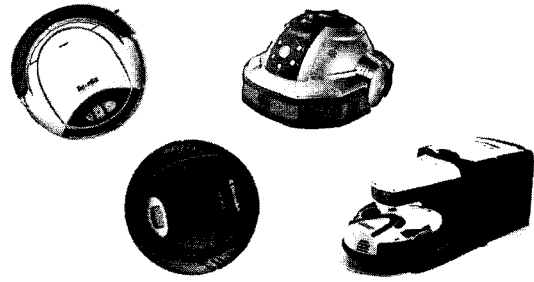


그림 1 제품화된 청소용 로봇의 예

의, 최적경로 계산 등은 물론 청소이력을 기억하거나 체계적으로 청소계획을 수립하는 것이 불가능하다.⁶⁾ 따라서 인간과 로봇간의 스마트한 상호작용을 구현하기 위해 공간정보를 취득하는 학습과정이 필수적인데 이를 로봇의 맵빌딩이라고 한다. 맵빌딩은 로봇을 구입하여 사용하기 전에 꼭 해야만 하는 일과적인 프로세스인데 소프트웨어의 초기설치나 계측기기의 캘리브레이션 작업과도 비슷하다.

홈서비스로봇 중에서 가장 상품화가 앞선 청소용 로봇의 경우도 아직은 인간의 개재 없이 맵빌딩을 수행할 정도로 지능적이지 못하다[그림1]. 또한 우리의 주거환경은 실험실 환경과는 달리 예측불허의 상황이 발생하기 쉽고 장애물로 가득 차 있다. 따라서 청소용 로봇의 맵빌딩은 인간과 로봇의 협업을 통해 이루어질 수밖에 없는 상황이다. 그런데 이 작업은 기존의 일반적인 가전제품을 다룰 때에는 달리 동적인 공간적 상호작용을 요구하기 때문에 사용자의 상당한 인내와 주의를 요구한다.

이러한 배경으로부터 본 연구는 인간의 개재가 필수적인 청소용 로봇의 맵빌딩 과정에 초점을 맞추어 효율적인 인간-로봇 상호작용을 지원하기 위한 유저 인터페이스 디자인 요인을 정의하고 이에 대한 대안을 종합하여 평가함으로써 실증적 디자인 가이드라인을 제시하고자 하였다.

2. 맵빌딩 태스크 분석과 유저 인터페이스 디자인 요인 정의

본 연구가 진행되었던 상황에서 맵빌딩이 가능한 청소용 로봇이 상품화된 사례는 없었다. 우리는 개발중인 청소용 로봇의 맵빌딩을 기반으로 맵빌딩 태스크에 대한 태스크 중심의 워크스루를 실시하였다. 맵빌딩 과정을 세부적인 태스크로 분절하고 각 단계별 태스크 수행을 위해 '사용자 지식은 충분인가', '사용자의 동기유발은 가능한가' 등의 관점에서 다양한 문제점을 파악할 수 있었다.

맵빌딩은 주거환경에서 거실과 방 등의 공간을 이동하며 수행되는데 로봇의 충전 스테이션과 준거위치 설정, 방이름 설정, 방명

1) Schraft, R. D. & Schmierer, G.: Service Robots, A K Peters, 23-205, (2000).

2) Yanco, H. A. & Dury J. L.: A Taxonomy for Human-Robot Interaction, AAAI Technical Report FS-02-03, 111-119, (2002).

3) Tenbrink, T., Fischer, K. and Moratz, R.: Spatial Strategies in Human-Robot Communication, KI 16(4), 19-23, (2002).

4) Huttenrauch, H. and Norman, M.: PocketCERO Mobile Interfaces for Service Robots, Proceedings of the International Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices, France, (2001).

5) Skubic, M., Bailey, C. and Chronis, G.: A Sketch Interface for Mobile Robots, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 919-924, (2003).

6) Schraft, R. D. & Schmierer, G.: Service Robots, A K Peters, 14-19, (2000).

7) 본 연구는 2003년6월부터 10월 사이에 수행되었다.

8) Greenberg, S.: Working through Task-Centered System Design. in Diaper, D. and Stanton, N. (Eds) The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction. Lawrence Erlbaum Associates, 49-66, (2004).

역 설정, 출입문 설정 등과 같이 4종류의 작업 그룹으로 구성된다. 워크스루 결과 맵빌딩 수준의 분절화 어려움, 직관적인 못한 로봇 유도방식, 대체적/부가적 조작가능성의 부족, 조작오류에 대한 복구가능성 부족, 시스템 상태에 대한 투명한 피드백 부족, 방이름 설정에서 대한 사용자 기억부담, 조작을 위한 적절한 지침 제시 부족 등과 같은 사용성 이슈를 예측할 수 있었다. 분석결과를 바탕으로 우리는 상기한 사용성 이슈에 대해 다양한 해결방안을 전개하여 평가했다. 그 중 대안에 대한 평가가 곤란하고 사용성에 큰 영향을 미칠 것을 예상되는 맵빌딩 수준, 표시창 설치, 로봇 유도방식, 피드백 제시양식 등 4가지 디자인 요인을 정리했다[표1].

표시창 설치라는 디자인 요인은 대체적/부가적 조작가능성과 시스템 상태에 대한 투명한 피드백 등과 관련된 것이다. 인간은 휴대형 조작장치와 청소용 로봇 본체를 통해 조작을 위한 명령 전달과 시스템 피드백에 대한 학인이 가능하다. 이 때 입력출하는 정보량의 비중을 어디에 둘 것인지가 사용성에 큰 영향을 미칠 것이다. 우리는 휴대형 조작장치에 비중을 두는 경우와 로봇 본체에 비중을 두는 경우로 디자인 요인에 대한 수준을 정의하였다.

맵빌딩 수준은 맵빌딩 수준의 분절화 용이성과 관련된 디자인 요인이다. 맵빌딩 작업은 방대한 선행적인 태스크의 집합이기 때문에 태스크를 적절히 분절하여 제시하지 않으면 사람들에게 큰 혼동을 야기할 수 있다. 맵빌딩 과정에서 로봇과 인간은 위에서 기술한 4종류의 태스크를 방과 거실을 오가며 수행하게 되는데 이때 방 단위를 우선으로 절차를 디자인하는 방식과 태스크를 우선하여 절차를 디자인하는 방법이 가능하다. 전자의 경우는 공간적 구획에 따라 태스크가 반복되고 후자의 경우 태스크 단위에 따라 공간을 순회하게 된다. 방 우선 수준 중에서 맵이 제공되는 경우가 있을 수 있는데 이때는 맵빌딩 절차가 대폭 단순해지므로 작업수행시간과 오류빈도가 적을 것으로 예상된다.

로봇 유도방식이라는 디자인 요인은 인간이 로봇을 원하는 위치를 이동하는 방법에 관한 것이다. 아직까지 청소용 로봇은 자율형 로봇이라기 보다는 움직이는 청소기에 가깝다. 특히, 맵빌딩이 완료되지 않은 상황에서는 순전히 수동적인 방법에 의존해야 한다. 요인에 대한 수준으로 정의한 푸쉬 방식은 조이스틱을 이용하여 전후진과 좌우회전의 움직임을 컨트롤하는 방법으로 통상 인간이 후방에서 로봇을 네비게이션 해야 한다. 반면 풀 방식은 인간이 앞장서며 조작장치로 로봇을 유도하는 방법이다. 푸쉬 방식보다는 풀방식이 직관적이며 편할 것으로 예측되었다.

마지막으로 피드백 제시양식은 조작을 위한 적절한 지침 부족에 관련된 디자인 요인이다. 맵빌딩 과정에서 인간은 상당히 동적인 상황에서 태스크를 수행해야 하는데 이 때 시각적인 조작지침 제시만으로 부족할 수 있다. 음성(TTS: Text To Speech)을 통한 조작지침 제시가 어느 정도 태스크 수행도를 향상시키는지 알아보기 위해 이를 디자인 요인으로 정의하였다.

9) 청소용로봇에게 구입자나 사용자 가정의 맵을 입력하는 것은 기본적으로 제조회사나 판매회사에서 담당하는 서비스이어야 한다. 맵빌딩에 대한 사용자 부담이 줄어드는 반면 시스템오류나 이사 등으로 인해 재차 맵빌딩을 해야 하는 경우 문제가 발생할 수 있다.

[표 1] 디자인 요인과 수준의 정의

디자인 요인	수준
1. 표시창 설치	본체, 본체+리모컨
2. 맵빌딩 수준	방 우선, 태스크 우선, 방 우선(맵 제공)
3. 로봇 유도방식	푸쉬 방식, 풀 방식
4. 피드백 제시양식	GUI, GUI+TTS

3. 연구방법

상기한 맵빌딩 수준, 표시창 설치, 로봇 유도방식, 피드백 제시양식 등 4가지 디자인 요인을 실험변인으로 채택하여 각 디자인 대안이 맵빌딩 태스크의 수행도에 미치는 영향을 밝혀보고자 하였다. 디자인 대안을 조합하여 청소용 로봇의 유저 인터페이스를 구현하고 통제된 실험실 환경에서 맵빌딩 태스크를 수행하게 하였다. 그리고 각각의 수행도를 측정하고 비디오 프로토콜을 채집하여 실험참가자의 행동특징을 정성적으로 분석하였다.

[표 2] 실험조건의 종류

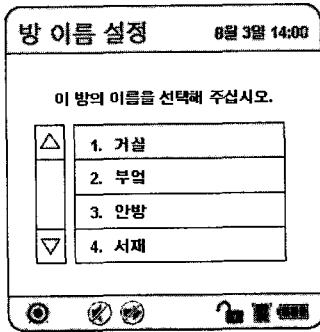
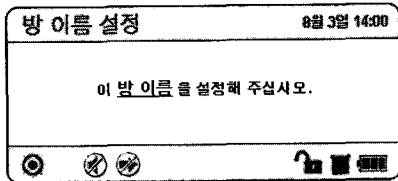
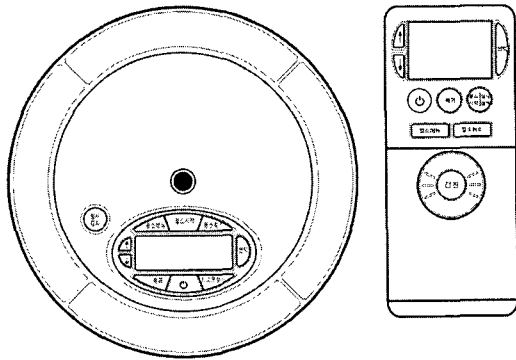
실험 조건	표시창 설치	맵빌딩 수준	로봇 유도방식	피드백 제시양식
1	본체	태스크 우선	풀 방식	GUI
2	본체	태스크 우선	풀 방식	GUI+TTS
3	본체	방 우선(맵 제공)	풀 방식	GUI
4	본체	방 우선(맵 제공)	풀 방식	GUI+TTS
5	본체+리모컨	태스크 우선	풀 방식	GUI
6	본체+리모컨	태스크 우선	푸쉬 방식	GUI
7	본체+리모컨	방 우선	풀 방식	GUI
8	본체+리모컨	방 우선	푸쉬 방식	GUI

3-1. 실험 디자인

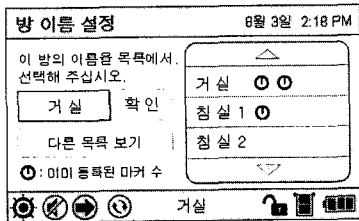
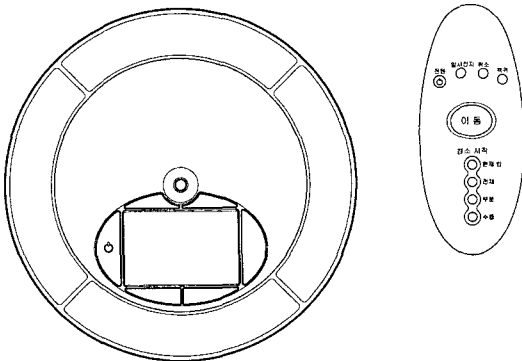
4가지 요인을 모두 조합하여 실험을 설계할 경우 총 24가지의 실험점이 생성된다. 이럴 경우 실험을 통해 디자인해야 하는 유저 인터페이스의 종류가 과다해지므로 표시창 설치와 맵빌딩 수준 두 가지 요인은 모두 조합하고 로봇 유도방식과 피드백 제시양식 두 가지 요인은 부분 조합하여 총 8개의 실험점을 생성했다[표2]. 그리고 각 실험점에 2명이 참가자를 할당하여 피험자간 실험설계로 테스트를 실시했다.

3-2. 실험용 프로토타입

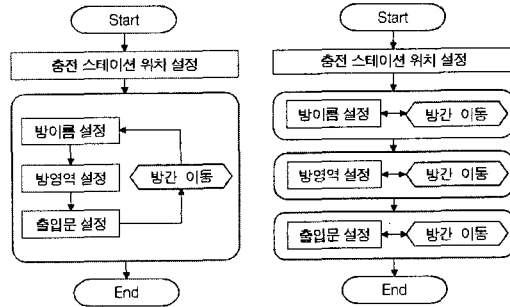
표시창 설치라는 실험요인은 그림 2와 그림3과 같이 청소용 로봇의 PUI(Physical User Interface) 구성을 좌우한다. 본체에만 표시창이 설치되는 경우와 리모컨에도 표시창이 부착되는 경우를 구분하여 PUI를 디자인했다. 맵빌딩 수준은 GUI(Graphical User Interface)의 구성에 영향을 미친다. 그림 4와 같이 3종류의 맵빌딩 수준이 구체화되었다. 크게 구분하면 방 우선과 태스크 우선으로 구분된다. 방 우선 수준 중에서 맵을 제공하는 경우는 충전스테이션 위치설정과 거실 마커와 출입문 위치설정을 마치면 로봇이 자동으로 맵을 구성하게 된다. 전술한 내용과는 달리 로봇 유도방식과 피드백 제시양식 두 요인은 부분적인 변화로 구현이 가능하다. 따라서 표 2의 조건1,3,5,7에 해당하는 실험용 프로토타입 4종류를 제작했고 나머지 조건은 부분적인 수정을 통



[그림 2] 본체와 리모컨에 표시창이 있는 유저 인터페이스(실험조건1-4에서 채용), PUI(위), 본체의 GUI(중앙), 리모컨의 GUI(아래)

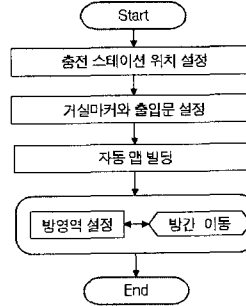


[그림 3] 본체에만 표시창이 있는 유저 인터페이스(실험조건5-8에서 채용), PUI(위), 본체의 GUI(아래)



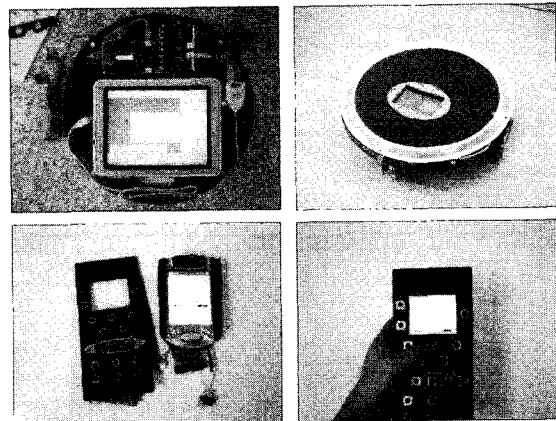
(a) 방 우선 맵빌딩 수준

(b) 태스크 우선 맵빌딩 수준



(c) 방 우선 맵빌딩 수준(맵 제공)

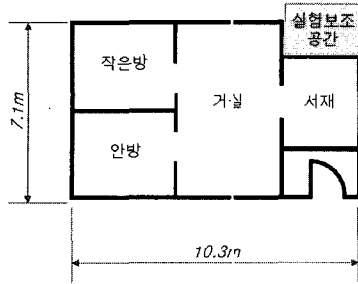
[그림 4] 맵빌딩 수준



[그림 5] 실험용 프로토타입, 본체의 프로토타입(위), 리모컨의 프로토타입(아래)

해 파생했다.

실험을 위한 프로토타입은 휴대형 컴퓨팅 장치와 로봇 구동부를 조합하여 제작하였다[그림5]. 청소용 로봇 본체는 조작을 위한 지침과 시스템 피드백을 제시해 주어야 하고 사용자로부터의 입력을 처리하며 구동부를 컨트롤해야 한다. 우리는 타블렛 PC(Compaq T1000)을 사용해 본체의 프로토타입을 구현하였다. 리모컨은 PDA(iPAQ 3970)를 이용해 사용자로부터의 입력을 받아 무선통신(블루투스)으로 실험용 서버와 교신할 수 있도록 하였다. PDA로부터의 입력은 서버를 통해 본체로 전달되고 본체에서 발생한 메시지나 이벤트 또한 리모컨에서 확인할 수 있도록 했다. 로봇 유도방식 중 폴 방식은 실험용 프로토타입 수준에서 구현하는 것은 용이하지 않아 오즈의 마법사 기법을 이용해 실험 참가자가 눈치 채지 못하도록 오퍼레이터가 조작을 대신해 주도록 했다.¹⁰⁾



[그림 6] 실험환경(위)과 실험장면(아래)

[표 3] 실험조건별 실험결과

실험 조건	측정치		실험 참가자	
	태스크 수행시간(초)	오류빈도(회)	연령	컴퓨터 사용능력
1	1195	12	35	중
	1175	8	42	중
2	1152	4	30	상
	877	9	30	중
3	681	4	44	중
	600	3	46	중
4	441	3	36	상
	485	0	30	상
5	624	2	33	중
	713	1	35	중
6	618	3	32	상
	753	3	30	중
7	512	1	34	중
	585	0	36	중
8	613	6	36	상
	503	0	33	상

3-3. 실험 참가자

실험 참가자는 청소용 로봇의 주 사용층으로 예상되는 30, 40대 주부 16명이었다. 참가자의 연령분포는 30세~46세였고 평균 35.1세였다. 실험참가자의 PC 사용능력을 조사한 결과 중급수준(기본적인 응용과 이메일, 인터넷 등 이용가능)이 10명이고 6명이 상급(신규응용 설치 가능)이었다. 실험 후 각 참가자에게는 2만원의 보수가 지급되었다.

3-4. 실험환경 및 태스크

실험환경은 거실, 안방, 작은방, 서재 등 4개의 공간으로 구성된

10) Klemmer, S. R., Sinha, A. K., Chen, J., Landay, J. A., Aboobaker, N. and Wang, A.: SLIIDE: A Wizard of Oz Prototyping Tool for Speech User Interfaces, In CHI Letters, The 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology: UIST 2000. 2(2),1-10, (2000).

소규모 아파트를 가정하고 설계되었다[그림6]. 실험 태스크는 로봇에서 제시되는 조작지침에 따라 실험참가자가 요구하는 태스크를 수행하며 맵빌딩을 완성하는 내용이었다. 태스크 수행은 실험 참가자 스스로 수행하도록 하였고 조작상에 심각한 문제가 발생한 경우에 한하여 실험보조원이 개입하도록 하였다. 실험참가자가 태스크 수행 도중 머리 속으로 생각하는 것을 가급적 언어로 표현하도록 하였고 이는 전체실험장면, 본체와 리모컨의 LCD스크린 등과 함께 비디오 테이프에 녹취되었다.

3-5. 실험절차

실험취지와 수순설명, 기본 조작법 연습, 실험실시, 실험후 설문 순서로 진행되었다. 실험소요시간은 각 피험자당 30분~40분 가량이었다.

3-6. 측정치 및 관찰 포인트

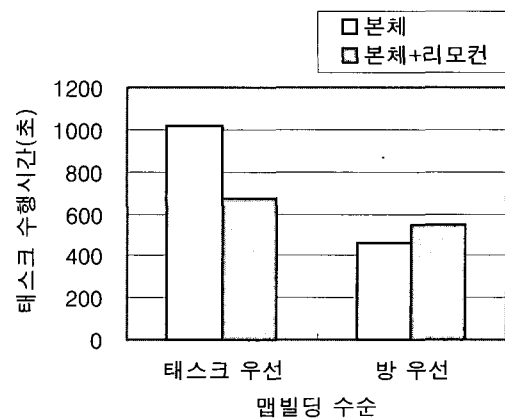
각 조건 별 태스크 수행도 비교를 위해 소요시간과 오류빈도를 측정하였다. 또한 비디오 녹취기록을 분석하여 오류의 유형을 분류하고 그 원인을 분석하였다.

4. 실험결과

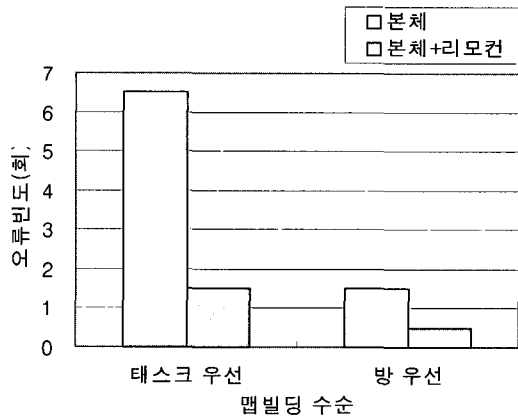
실험을 통해 표3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 실험조건에 비해 실험참가자가 적어 디자인 요인이 맵빌딩 태스크의 수행시간과 오류빈도에 어떻게 영향을 미쳤는지 통계적 유의성을 논하기는 곤란하지만 기본 통계량을 통해 대안 별 장단점을 비교할 수 있었다.

4-1. 맵빌딩 수순과 LCD 표시창 설치 요인에 따른 태스크 수행도 비교

두 요인에 대한 분석을 위해 풀 방식으로 로봇을 유도하고 GUI를 통해서 피드백을 제시하는 2, 4, 5, 7의 실험조건에 대한 데이터만을 분석대상으로 택하였다. 데이터에 대한 분석결과 태스크 우선인 경우는 태스크 수행시간이 평균 841.5초(N=4, SD=232.0)이었고 방 우선인 경우는 505.8초(SD=60.4)였다[그림7]. 오류빈도로 비교하면 각각 평균 4.0회(N=4, SD=3.6), 1.0회(SD=1.4)이었다[그림8]. 태스크 우선인 경우에 비해 방 우선인 경우가 수행시간이 짧고 오류빈도가 현저히 적었고 피험자들간의 수행도 차



[그림 7] 맵빌딩 수순과 표시창 설치 요인에 따른 평균수행시간 비교



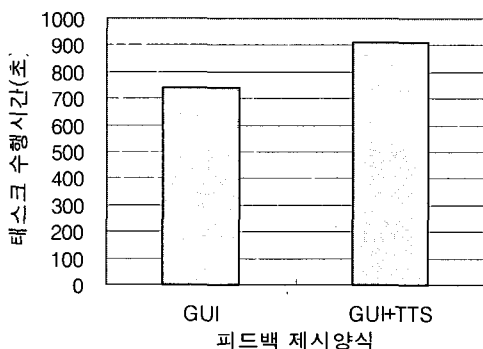
[그림 8] 맵빌딩 수순과 표시창 설치 요인에 따른 평균오류빈도 비교

이도 적었다. 표시창 설치의 측면에서 실험결과를 비교한 결과 본체에만 표시창이 있는 경우는 태스크 수행시간이 평균 738.8초(N=4, SD=338.1)였고 리모컨에도 표시창이 있는 경우 608.5초(SD=83.7)였다. 오류빈도를 비교하면 본체에만 표시창이 있는 경우 평균 4.0회(N=4, SD=3.7)였고 리모컨에도 표시창이 있는 경우 1.0회(SD=0.8)였다.

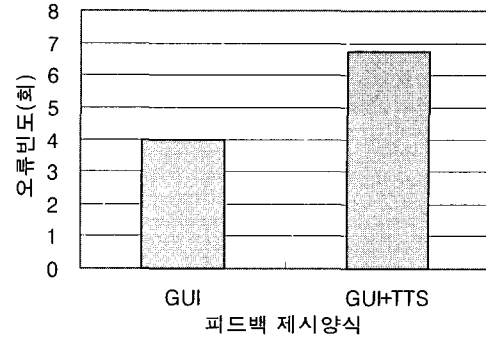
실험조건 4(방우선 수순 / 본체에만 표시창 있음)는 맵이 주어지기 때문에 빌딩 절차가 간소화된 경우로 당연히 태스크 수행시간이 가장 짧았다. 하지만 오류빈도는 상대적으로 적지 않았는데 이는 리모컨에 표시창이 없었기 때문으로 해석된다. 총체적으로 보아 방 우선의 수순이고 리모컨에 표시창이 있는 경우 태스크 수행도가 우수한 것으로 나타났다.

4-2. 피드백 제시양식에 따른 태스크 수행도 비교

피드백 제시양식에 따른 수행도 차이는 실험조건 1,2,3,4(본체에만 표시창이 있고 풀 방식으로 로봇을 유도하는 경우)에서 비교할 수 있도록 측정하였다. 피드백 제시양식에 따라 태스크 수행시간을 비교하면 그림9와 같다. GUI만을 사용하는 경우 평균 738.8초(N=4, SD=338.1)이었고 TTS를 병용하는 경우는 912.8초(SD=316.2)였다. 오류빈도를 비교하면 더욱 확연한 차이가 관찰된다. GUI만을 사용하는 경우는 평균 4.0회(N=4, SD=3.7)이었고 TTS를 병용하는 경우는 6.8회(SD=4.1)였다[그림10]. TTS를 병용하여 시스템 피드백의 용장성(Redundancy)을 높여줄 경우 작업 수행도가 향상되기보다는 정반대의 결과가 나타난 것이다.



[그림 9] 피드백 제시양식 차이에 따른 태스크 평균수행시간 비교

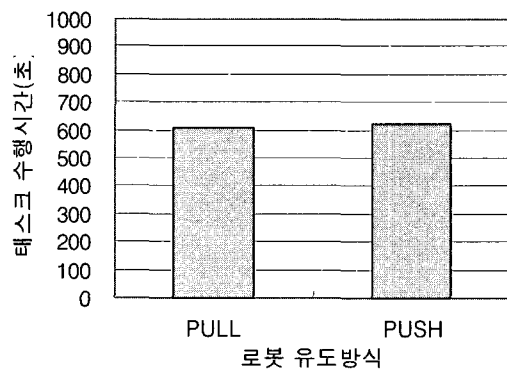


[그림 10] 피드백 제시양식 차이에 따른 평균오류빈도 비교

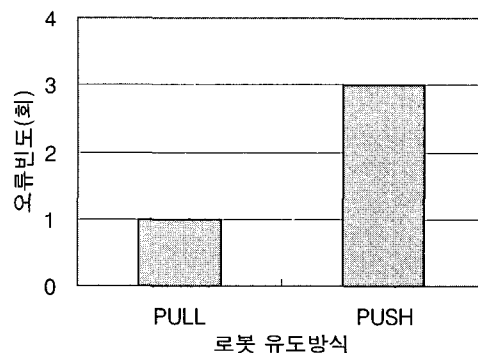
4.3. 로봇 유도방식에 따른 태스크 수행도 비교

로봇 유도방식에 따른 수행도 차이는 실험조건 5,6,7,8(리모컨에도 표시창이 있고 피드백 제시를 위해 GUI만을 사용하는 경우)에서 비교할 수 있도록 측정하였다. 로봇 유도방식에 따라 태스크 수행시간을 비교하면 그림11와 같다. 풀방식의 경우 평균 608.6초(N=4, SD=83.7)이었고 푸쉬 방식의 경우는 621.8초(SD=102.3)로 거의 동일했다. 오류빈도를 비교하면 풀방식의 경우 평균 1.0회(N=4, SD=0.8)였고 푸쉬방식의 경우 3.0회(SD=2.4)였다[그림12].

태스크 수행시간을 비교해 보면 두 방식 간에 큰 차이가 없는 반면 오류빈도를 비교해 보면 풀방식이 우수한 것으로 나타났다. 풀방식의 경우 이동 버튼만 누르면 되기 때문에 이동을 위한 별도의 조작이 필요 없어 조작자의 인지적 부담이 경감되기 때문인 것으로 보인다.



[그림 11] 로봇 유도방식 차이에 따른 태스크 평균수행시간 비교



[그림 12] 로봇 유도방식 차이에 따른 평균오류빈도 비교

4.4. 오류유형 분석

실험을 통해 관찰된 59건의 조작 오류를 내용에 따라 분류함으로써 다중 태스크오류(20건), 버튼조작 오류(13건), 마커설정 오류(7건), 태스크그룹간 분절 오류(5건), 방설정 누락 오류(3건) 등 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다[표4]. 다중 태스크 오류란 “이동 후 확인 버튼을 누르세요”와 같은 조작지침에 대해 이동하지 않고 확인버튼을 누르다든지 이동만하고 확인 버튼은 누르지 않는 경우와 같이 요구되는 다중 태스크 중 일부를 생략하여 수행하지 않는 누락 오류(Omission error)이다. 다중 태스크 오류는 모든 유형의 유저 인터페이스에서 높은 빈도로 관찰되었는데 복수의 태스크를 포함한 조작지침이 명확히 분절되어 제시되지 않았던 점이 주요 원인으로 추정된다.

버튼 조작 오류의 경우 본체에만 디스플레이가 있는 타입의 유저 인터페이스에 집중적으로 나타났다. 리모컨의 경우 하드웨어 키를 사용하는 반면 본체에서는 펜입력으로 소프트 키를 조작하게 했는데, 이 때 조작자에게 제공되는 어포던스가 미약해 조작해야 하는 버튼을 발견하지 못하거나 잘 못 눌러 오류가 발생한 경우가 많았다.

마커설정 오류는 방에 있는 마커 등록을 누락하거나 초과하여 설정하려는 경우 발생한 것이다. 대부분의 실험조건에서 유사한 빈도로 출현하였는데 태스크 수행여부에 대한 명확한 피드백이 부족한 것이 그 원인으로 추정된다.

태스크 그룹간 분절 오류는 일련의 태스크가 종료되고 다른 태스크 그룹으로 전이할 때 그 상황을 정확히 인지하지 못해 발생하는 오류이다. 모두 태스크 우선 방식의 수순을 채택한 디자인에서 관찰되었다. 방 우선인 경우는 태스크 종료와 함께 공간이동이 발생하므로 사람들이 후속 태스크와의 구분을 명확히 인지했다고 추정된다.

[표 4] 실험조건별 오류유형 분류

오류유형	다중 태스크 오류	버튼 조작 오류	마커 설정 오류	태스크 그룹간 분절 오류	방설정 누락 오류	기타	합계
1,2 본체 태스크우선	10	12	2	2	2	5	23
3,4 본체 방우선	3	1	1	0	0	5	7
5,6 본체+리모컨 태스크우선	4	0	2	3	0	0	5
7,8 본체+리모컨 방우선	3	0	2	0	1	1	4
합계	20	13	7	5	3	11	59

4.5. 실험참가자의 PC 사용능력에 따른 오류빈도 분석

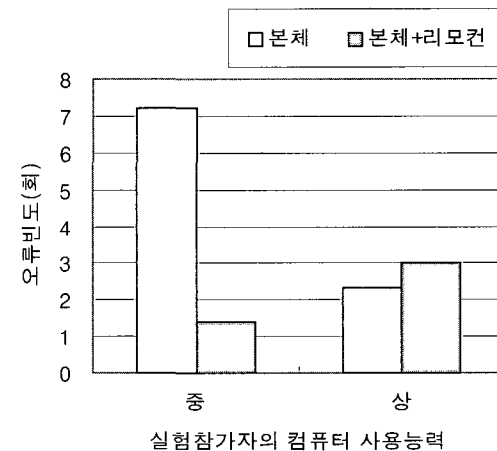
실험참가자의 PC 사용능력이 태스크 수행에 미친 영향을 분석했는데 그 중에서 표시창 설치 요인과의 상호작용을 보면 상당히

흥미로운 사실을 파악할 수 있다[그림13]. 표 5에 표시된 바와 같이 ‘중’ 수준의 PC 사용능력을 갖는 참가자는 리모컨을 통한 조작에서 월등히 적은 오류빈도를 나타냈고 ‘상’ 수준의 참가자는 본체에 있는 터치 스크린을 통해 조작하는 경우 약간 적은 오류 빈도를 나타냈다. 컴퓨터 조작능력이 우수한 못한 사용자일수록 보다 단순한 리모컨 타입의 인터페이스를 쉽게 수용하고 있음을 추론할 수 있다. 물론 전체적으로 보면 리모컨을 통한 조작이 수행도가 우수했고 실험 후 설문을 통해서도 사용하기 편하다고 대답하는 경향이 많았다.

실험녹취기록을 통해 본체에만 표시창이 있는 경우 조작을 위해 실험 참가자들은 수시로 허리를 굽혀 방바닥의 표시창을 주시해야 했고 리모컨에 표시창이 있는 경우는 편안한 자세로 시스템 피드백을 확인하고 조작할 수 있었다. 전자의 경우 빈번한 자세 변화도 작업 수행에 부정적인 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

[표 5] 피험자의 PC 사용능력과 표시창 설치 요인에 따른 평균오류빈도 비교 (평균/표준편차)

PC사용능력	중	상
실험조건		
1,2,3,4 (본체에만 표시창)	7.2 / 3.7 (5명)	2.3 / 2.1 (3명)
5,6,7,8 (본체/리모컨 표시창)	1.4 / 1.1 (5명)	3.0 / 3.0 (3명)



[그림 13] 피험자의 PC 사용능력과 표시창 설치 요인에 따른 평균 오류빈도 비교 그래프

4.6. 실험후 설문 및 인터뷰를 통한 발견점

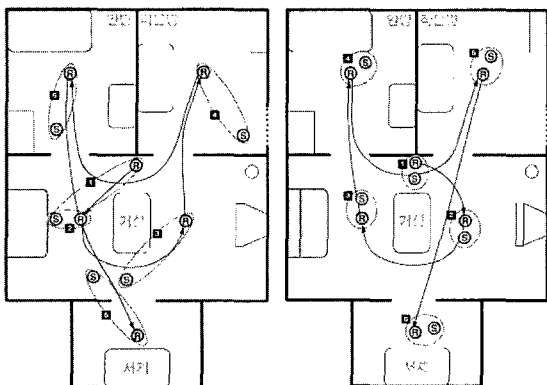
실험후 설문 결과를 종합한 결과 다음과 같은 발견점을 얻을 수 있었다.

- (1) 실험조건에 따라 조작자세가 얼마나 편안하지를 5점 척도(아주 불편함:1, 아주 편안함:5)로 평정하게 했는데 LCD 부착여부에 따라 평균값을 계산했을 때 본체에만 LCD가 있는 경우는 1.8/5.0이었고 리모컨에도 LCD가 부착되어 있는 경우는 4.3/5.0이었다. 이처럼 리모컨에 LCD가 부착된 경우를 압도적으로 선호하는 것은 자세변화가 적어 조작에 집중할 수 있기 때문인 것으로 보인다.

- (2) TTS를 이용해 피드백 제시양식을 다중화했을 경우 조작에 얼마나 도움이 되었는지를 5점 척도(아주 도움이 되지 않음:1, 아주 도움이 됨:5)로 평정하게 했는데 평균 4.75/5.0으로 상당히 긍정적인 답변을 얻을 수 있었다. 이 결과는 태스크 수행도와 정반대의 양상을 나타내고 있어 해석하기가 어렵다. 결국 TTS에 의한 시스템 피드백 제시가 심리적으로는 도움이 되지만 태스크 수행도에는 악영향을 미치고 있다고 보아야 할 것이다.
- (3) 로봇 유도 난이도를 5점 척도(매우 어려움:1, 매우 쉬움:5)로 평정하게 한 결과에서는 풀방식의 경우 3.8/5.0이었고 푸쉬방식의 경우 4.0/5.0로 예사아과는 달리 푸쉬방식을 약간 더 선호하는 것으로 나타났다.

아울러 실험 후 인터뷰를 통해 아래와 같은 발견점을 얻을 수 있었다.

- (1) 무엇보다 맵빌딩 작업에 대한 동기유발이 어렵다는 사실을 발견할 수 있었다. 실험 참가자들은 대부분 로봇을 구입하여 사용하는데 맵빌딩과 같은 복잡한 절차가 필요하다는 것을 납득하기 어려워했다. 로봇이 자동으로 하든지 아니면 최소한 제조사나 판매사의 직원이 도와 주어야 한다고 생각하는 경향이 있었다.
- (2) 실험 참가자들은 많이 움직이기 싫어했다. 특히 로봇을 유도하거나 로봇으로부터의 메시지를 확인하기 위해 움직이는 행위를 상당히 귀찮아했다. 이는 실험에 참가한 많은 피험자들에게서 공통적으로 나타나는 현상으로서 풀방식보다 직관적이지 않은 푸쉬형의 로봇 유도방식을 상대적으로 선호하고 있는 것도 같은 맥락에서 해석할 수 있다.
- (3) 방영역 설정과정은 적지 않은 작업시간을 요구했다. 따라서 연속적인 태스크의 흐름을 교란할 수 있는 것으로 보인다. 가능하다면 일차적인 맵빌딩이 완료된 후 로봇 스스로 수행할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 물론 이럴 경우 발생할 수 있는 오류에 대한 복구 가능성이 충분히 확보되어야 할 것이다.



[그림 14] 맵빌딩 태스크에 대한 동선분석(좌: 리모컨에도 LCD창이 있고 푸쉬방식으로 유도하는 경우, 우: 본체에만 LCD창이 있고 풀방식으로 유도하는 경우, S: 실험참가자, R: 로봇)

4.7. 관찰기록 분석결과

실험관찰기록을 통해 조작자세와 동선을 비교하면 실험참가자들이 리모컨에도 LCD가 부착되어 있는 경우를 압도적으로 선호하는 이유를 쉽게 파악할 수 있다. 본체에만 LCD가 있는 경우 실험 참가자는 조작을 위해 빈번하게 몸을 구부려야 했다. 또한 푸쉬방식으로 로봇을 유도하는 경우 그림 14와 같이 로봇과 어느 정도 거리를 두고 정지한 상태에서 로봇을 조작하지만 풀방식인 경우는 사람이 먼저 이동목적지까지 이동해야하므로 상대적으로 긴 동선을 나타냈다.

5. 고찰

5-1. 어떤 맵빌딩 수준이 효율적인가?

실험결과 예상했던 것처럼 태스크우선 맵빌딩보다는 방우선 맵빌딩 수준에서 우수한 태스크 수행도를 보였다. 방우선 맵빌딩 방식은 상당히 긴 일련의 태스크를 방이라는 단위로 분절하므로 자연스럽게 조작요류를 감소시키고 오류가 발생하더라도 그에 대한 복구가 용이한 것으로 나타났다. 방우선 수준에 비해 태스크우선 수준인 경우 방간 이동 빈도가 증가하므로 당연히 태스크 수행시간이 증가할 수밖에 없다. 한편 오류빈도를 비교하면 방우선 수준이 더욱 우수함을 알 수 있는데 그만큼 태스크 우선 수준에 비해 실험 참가자에게 적은 인지적 부담을 주고 있는 것으로 해석할 수 있다.

5-2. 시스템 피드백을 어떻게 제시하는 것이 좋은가?

시스템 피드백을 어떻게 제시할 것인가라는 측면에서 본체와 리모컨에 제시하는 정보량의 상대적 차이와 피드백 제시양식에 대해 실험하였다. 그 결과 LCD창을 통해 리모컨에서 많은 시스템 피드백을 제시할 경우 평균조작요류가 현저히 감소하고 편한 조작자세 때문에 주관적으로도 선호함을 알 수 있었다. 조작과 그에 대한 피드백이 본체에만 표시되는 경우 사용자는 상당한 불편을 느끼게 되고 표시되는 내용에 집중하지 못하게 된다. 일반 가전제품과는 달리 청소용 로봇은 동적이기 때문에 집중해서 조작할 수 있도록 배려해야 할 것이다. 이러한 현상은 맵빌딩 완료 후 일반적 청소 태스크 수행 중에서도 비슷하게 나타날 것으로 예상되는데, 리모컨에 표시창을 제공하고 본체에는 표시등을 설치하여 떨어진 거리에서도 불편 없이 조작할 수 있도록 하는 것이 하나의 가능한 대안이 될 수 있다.

실험계획단계에서 시스템 피드백 제시 양식을 다중화할 경우 태스크 수행에 도움을 줄 것으로 예상하였다. 하지만 예상과는 달리 부가적인 청각적 조작지침 제시는 부정적이었다. 피험자들은 GUI를 통해 제시되는 내용에 집중하기 어려워했고 여러 번 반복하여 제공할 경우 제대로 듣지 않는 현상도 관찰되었다. 동일한 텍스트 정보를 시각과 청각이라는 감각채널을 통해 장황하게 제공하는 경우 메시지를 파악하고 대응하는 태스크 수행도가 저하됨을 알 수 있었다.

5-3. 어떤 입력방식이 좋은가?

본 연구에서는 본체와 리모컨에 제시되는 상대적인 정보량 차이 외에 실험조건 1~4는 펜 기반 입력방식을 채택하고 사용하고 있고 5~8에서는 버튼 입력방식을 택하고 있다는 차이가 있었다. 표

5는 참가자의 PC 사용능력과 리모컨의 LCD창 존재여부와 의 교호작용을 보여주고 있다. 표를 통해 우리는 PC 사용능력이 상대적으로 우수하지 실험참가자들의 경우 리모컨에 LCD창이 부착된 실험조건(버튼 입력방식)에서 적은 오류빈도를 보였다. 반대로 PC 사용능력이 상대적으로 우수한 실험참가자들의 경우 본체에 LCD창이 부착된 실험조건(펜 입력방식)에서 적은 오류빈도를 보였다. 이 결과를 통해 고기능 제품에 익숙하지 않는 사람일수록 전통적인 버튼 입력방식을 잘 수용하고 있음을 알 수 있었다.

5-4. 로봇 조작자는 움직이기 싫어 한다

실험 전 예상과는 달리 로봇 유도방식에서 풀방식과 푸쉬방식의 실험조건은 태스크 수행시간과 오류빈도에서 큰 차이를 보이지 않았다. 오히려 주관적 만족도 측면에서 볼 때 푸쉬방식에 대해 사용자의 거부감이 적었다. 반면 풀방식의 경우 조작은 간단하지만 사용자의 이동량이 많아져 오히려 귀찮게 생각하는 경향이 있었다. 본 연구는 풀방식 청소용 로봇의 프로토타입을 오퍼레이터의 조작으로 구현했다는 한계를 내포한다. 따라서 그림 11와 12에 제시된 정량적 측정결과에 대해 심도 있는 고찰이 곤란하였다. 하지만 정성적인 관찰결과와 실험후 설문결과를 토대로 인간과 로봇이 공간상에서 상호작용할 때 빈번한 자세변화와 움직임을 상당히 싫어하고 있음을 확인할 수 있었다.

5-5. 간결하고 단계적인 태스크 디자인의 필요성

오류유형분류 결과 1/3 이상이 누락오류였다. 로봇이 요구하는 다중 태스크 중 일부를 생략하여 수행하는 형태의 오류이다. 다중 태스크를 몇 개의 단순 태스크로 분절하여 단계별로 개조식으로 기술하고 단계간 전이 가능여부를 자동으로 체크해 주어야 할 것이다.

5-6. 맵빌딩 작업을 일반 사람들이 수행할 수 있을까?

실험을 통한 관찰결과 피험자 스스로 맵빌딩을 수행하는 것은 쉽지 않을 것으로 생각되었다. 실험 참가자 대부분은 맵빌딩 태스크 수행에 대한 동기부여가 어렵다는 반응이었다. 로봇이 자율적으로 맵빌딩을 완수하는 것이 가장 이상적이지만 그렇지 않을 경우 인간의 개입이 최소화되도록 해야 할 것이다.

6. 결론 및 향후과제

본 연구는 인간이 개재하는 청소용 로봇의 맵빌딩 작업을 효과적으로 지원하기 위한 상호작용방식과 유저 인터페이스에 대해 연구하였다. 태스크 분석을 통해 4가지 주요 디자인 요인을 정의하고 요인별 대안을 제안하여 태스크 수행에 대한 영향과 주관적 만족도를 측정하였다. 또한 실험을 통해 로봇, 인간, 환경 간의 상호작용 행태를 관찰함으로써 몇 가지 유의미한 디자인 지침을 도출할 수 있었다.

예상했던 바와 같이 태스크우선보다는 방우선 수순이 효율적이었고 맵이 제공되는 경우 가장 쉽게 맵빌딩을 완료할 수 있었다. 하지만 리모컨에도 LCD창이 있거나 TTS에 의한 조작지침제공이 없는 경우 작업수행도가 우수했던 것은 초기에 예상하지 못했던 실험결과였다. 이러한 결과는: 기존의 일반적인 인공물과는

달리 인간-로봇간의 상호작용이 동적이며 공간적인 특성이 있다는 것을 감안할 때 충분히 해석될 수 있다고 생각된다. 펜 입력보다는 버튼 입력방식에서 적은 조작오류가 적었고 조작도중 움직이기를 싫어한다는 실험결과 또한 중요한 의미를 내포하고 있다. 청소용 로봇을 사용하는 사람들은 일반 사람들이기 때문에 로봇조작 자체를 즐기거나 많은 움직임을 선호하지 않을 것이다. 또한 펜 입력과 같이 새로운 조작방식을 채택할 경우보다 신중한 테스트가 요구된다.

서론에서 언급한 바와 같이 당분간 직관적인 대화나 몸짓 등을 통해 로봇과 공간적으로 상호작용하는 것은 극히 제한된 수준에서 가능할 것이다. 따라서 향후 인간과 로봇이 보다 직관적으로 상호작용할 수 있는 인터랙션 장치에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

참고문헌

- Schraft, R. D. & Schmierer, G.: Service Robots, A K Peters, 23-205, (2000).
- Tenbrink, T., Fischer, K. and Moratz, R.: Spatial Strategies in Human-Robot Communication, KI 16(4), 19-23, (2002).
- Huttenrauch, H. and Norman, M.: PocketCERO Mobile Interfaces for Service Robots, Proceedings of the International Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices, France, (2001).
- Skubic, M., Bailey, C. and Chronis, G.: A Sketch Interface for Mobile Robots, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 919-924, (2003).
- Greenberg, S.: Working through Task-Centered System Design. in Diaper, D. and Stanton, N. (Eds) The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction. Lawrence Erlbaum Associates, 49-66, (2004).
- Yanco, H. A. & Dury J. L.: A Taxonomy for Human-Robot Interaction, AAAI Technical Report FS-02-03, 111-119, (2002).
- Klemmer, S. R., Sinha, A. K., Chen, J., Landay, J. A., Aboobaker, N. and Wang, A.: SUEDE: A Wizard of Oz Prototyping Tool for Speech User Interfaces, In CHI Letters, The 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology: UIST 2000. 2(2), 1-10, (2000).