

## 공간 변화 영상을 이용한 재활로봇의 비주얼 서보잉 시스템에 관한 연구

송 원 경(宋 原 慶), 이 회 영(李 熙 暎), 변 증 남(卞 增 男)  
한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
전화 : (042) 869-3419 / 팩스 : (042) 869-8750

### Visual Servoing System Based on Space Variant Imaging for Rehabilitation Robots

Won-Kyung Song, Heyoung Lee, and Zeungnam Bien  
Department of Electrical Engineering, KAIST  
E-mail : zbien@ee.kaist.ac.kr

#### Abstract

The space variant imaging system which mimics the human beings visual system has some merits such as wide field-of-view, the low computational cost and the high accuracy in matching of correspondence points of stereo images. In this presentation, a visual servoing system based on the space variant imaging technique is proposed for the control of the rehabilitation robot arm. The position information of an object obtained by space variant imaging techniques is used for the visual servoing. According to the empirical data, the degree of correlation extracted by the space variant imaging technique is more accurate than that of the space invariant imaging technique.

#### I. 서론

21세기는 제조공정 무인화 등에 의한 인간소외의 위협을 벗어나서, 인간-로봇이 공존하면서 인간이 로봇으로부터 서비스를 받는 시대가 도래할 것으로 예측된다. 이런 서비스 로봇의 사용은 태동기를 지나 계속적으로 증가하는 추세이다(그림1). 서비스 로봇은 제조업에 사용되는 산

업용 로봇을 제외한 재활로봇, 수술로봇, 오락로봇 등이 있다[1].

우리 나라는 의료 수준 및 생활 수준의 향상에 따라 평균 수명이 1985년에 69.0세에서 1990년에는 71.6세로 늘어나고 2000년에는 74.9세로 연장될 전망이다. 이에 따라서 노인인구도 점차 증가하여 65세 이상 노인인구비율이 1997년 전체인구의 6.3%에서 2000년에는 7.1%, 2010년에는 10.0%로 크게 증가될 전망이다. 이러한 노인인구의 증가와 함께 노인들의 복지욕구 또한 양적 질적으로 더욱 증대될 것으로 예상된다[2].

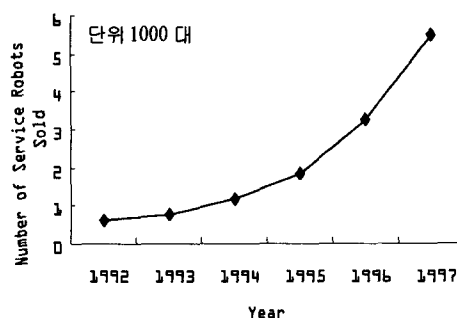


그림 1 미국의 서비스 로봇 시장의 증가 추세[3]  
Fig. 1 Increasing Trends in Service Robots Market

1995년 기준으로 장애인 출현율은 인구 천명당 23.7%으로 전체인구 중에 약 1,029천명이 장애인으로 추정되고

있다. 특히, 1990년에 비하여 1995년에는 지체장애인 출현률이 10.76%에서 14.0%로 증가하여, 지체장애인 수가 35%이상 증가하였다. 여러 장애 중에 지체, 시각, 청각장애는 대부분 후천적인 원인에 의하여 발생되고 있다[4]. 지체장애인을 포함한 많은 장애인은 독립적인 생활이 힘들고 보조자의 도움이 필요한 실정에 있다.

표 1 한국의 노인인구 증가 추이(단위: 천명, %)[2]  
Table 1 Increasing trends in Old People in Korea

	1997	2000	2005	2010
총비율	6.3	7.1	8.7	10.0
노인인구수	2,908	3371	4253	5032
65~69세	2.5	2.9	3.4	3.5
70~79세	2.9	3.2	4.0	4.9
80세 이상	0.9	1.0	1.3	1.6

우리 나라의 사회 보장비는 계속 증가하는 추세에 있으며, 국민연금제도를 비롯한 각종 사회보장제도에 의하여 노약자 및 장애인에 대한 사회보장비도 늘어나고 있으며 21세기에는 노인을 대상으로 하는 실버산업 및 장애인을 대상으로 하는 산업이 확대될 것으로 예상된다. 장애인과 노약자의 독립적인 생활을 돕는 것을 목적으로 하는 서비스 로봇을 재활로봇이라고 한다.

재활(Rehabilitation)이란 용어는 원래 장애를 가진 사람이 사회 속에서 살 수 있도록 도와주는 것[5]을 의미하며, 갖고 있는 능력을 향상시키거나 다양한 기능을 수행할 수 있거나 특정한 감각을 대체할 수 있는 다른 수단을 제공함으로써 수행된다. 재활 공학(Rehabilitation Engineering)은 장애를 가지고 있는 사람의 불완전한 운동기능을 향상시키기 위하여 과학기술을 적용하는 것으로 재활로봇도 이의 일부분이며, 앞에서 언급했듯이 빠르게 증가하고 있는 사회보장비를 효율적으로 사용하기 위하여 재활로봇에 대한 연구/개발의 필요성이 증대되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 제2장에서 재활로봇 개발을 위해 필요한 인간-기계 상호작용 기술에 대하여 기술하고 제3장에서는 재활로봇에서 핵심 기술 중에 하나인 비주얼 서보잉을 구현하기 위한 새로운 효율적인 비전 시스템에 대하여 기술한다. 마지막으로 재활로봇의 성공적 개발을 위해 필요한 사용자 안전성에 대하여 제4장에서 언급한다. 마지막으로 제5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 재활로봇시스템을 위한 인간-기계 상호작용 기술

재활로봇시스템에서 인간-기계 상호 작용 기술은 매우 중요하다. 재활로봇시스템은 로봇이 사람이 없는 환경에서 작업을 하는 것이 아니라 사람과 상호작용을 하면서 장애인의 일상적인 일들은 도와주는 작업을 수행한다. 예를 들어, 장애인과 노약자를 위한 휠체어 로봇팔 시스템

인 KARES[6]는 사람이 로봇팔이 부착된 휠체어를 타고 일상 생활하면서 사용하는 것을 목적으로 개발되고 있다. 따라서 재활로봇에 있어서 가장 기본적이고 필수적인 기술은 인간-기계 상호작용 기술이며 앞으로도 많은 연구가 이 분야에서 진행될 것이다.

인간-기계 상호작용 기술은 사용자와 직접 관련된 사용자 의도파악(Intention Reading) 기술과 파악된 의도에 따라 로봇 등을 동작하는 제어 기술로 분류할 수 있다. 사용자 의도파악의 핵심 기술로는

- 근전도, 뇌파 등의 생체 신호 처리 기술,
- 눈동자 추적 기술,
- 몸의 움직임 및 힘 계관 기술,
- 음성/음향 인식/인지 기술
- 사용자 의도 파악 기술
- 사용자의 감정 상태 및 긴장도 파악 기술

등을 들 수 있다. 핵심 제어 기술로

- 비주얼 서보잉 기술,
- 유연한 로봇 제어 기술,
- 여자유도 로봇 제어 기술,
- 이동 로봇 항해 기술

등을 들 수 있다. 이러한 기술 외에도 기본적으로 필요한 기술로

- 사용자 안전성 기술
- 소프트웨어 아키텍처 및 하드웨어 구조의 설계 및 구현 기술

등이 있다. 특히, 비주얼 서보잉(visual servoing)은 로봇에 사람의 눈과 같은 기능을 부여하기 위한 것으로 로봇팔과 작업 대상 물체의 상호 작용을 위해 필요하다. 즉, 사용자가 수동으로 로봇을 조정하는 일을 줄일 수 있는 효과가 있다. 다음 장에서 사람의 눈의 메카니즘을 모사한 새로운 형태의 비주얼 서보잉 방법을 제안한다.

자동화되는 부분이 증가할수록 사용자의 의도와는 상관없이 오작동 할 가능성이 증가하여, 사용자의 안전성이 감소 될 수 있다. 만약 휠체어에 로봇 팔이 달린 시스템에서 사용자의 의도와는 관련 없이 로봇 팔이 오작동하여 사용자의 얼굴로 접근하는 것과 같은 경우는 매우 위험할 것으로 예상된다. 이와 관련된 사용자의 안전성은 4장에서 다루고자 한다.

재활로봇의 개발에서 주목할 것은 지능형 주거 공간(Intelligent Residential System)과의 연계이다. 최신형의 자동차가 있더라도 좋은 도로 등의 교통 시스템이 없다면 자동차를 편리하게 이용하기 힘들다. 재활로봇을 자동차에 견주어 본다면 지능형 주거 공간은 자동차를 위한 도로 및 신호등 등의 교통 관계 시스템의 역할을 한다. 현재에는 단일 로봇이 사용되고 있으나 향후에는 여러 종류의 로봇 시스템이 함께 사용될 것이므로 이것들을 인간이 포함된 환경에서 효율적으로 관리/운용하는 시스템의 연구도 필요하다. 특히, 재활로봇시스템의 경우 사용자가 장애인과 노약자이며, 이들의 특성상 대부분 실내에서 생활

한다. 따라서 재활로봇 시스템과 지능형 주거 공간 및 외부 통신망을 통합관리할 수 있는 시스템을 기반으로 하여, 사용자의 건강 상황 및 활동 정보를 획득하고 이를 기반으로 하는 사용자 의도 파악 및 수행기술을 연구 개발하는 것이 주목받을 것으로 예상된다.

앞에서 언급한 인간-기계 상호작용 기술과 재활로봇과 지능형 주거 공간의 연계 기술은 여러 가지 기술들의 집약 체이다. 사람의 주위환경은 일반적으로 구조화되어 있지 않으므로 각각의 기술들은 모듈별로 구현하여 다양한 환경 및 작업에 대처할 필요가 있다. 특히, 장애인에 장애 정도 및 종류는 매우 복잡하므로 모듈별로 구현하고 각 모듈을 조합하여 특정 장애인에 맞는 상호작용 시스템을 개발할 경우 시스템의 가격을 낮출 수 있는 장점이 있다.

### III. Visual Servoing

비주얼 서보잉(visual servoing)은 영상으로부터 얻어진 시각 정보를 이용하여 로봇의 말단부(end-effector)의 자세(3차원 위치와 방위)를 제어하여 작업 대상과 작용하면서 원하는 작업을 정확히 수행하도록 한다. 서비스 로봇(service robot)과 필드 로봇(field robot)은 반구조화된 환경(semi-structured environment) 또는 비구조화된 환경(unstructured environment)에서 사용된다. 이러한 경우 로봇과 목표물 사이의 정확한 상호 위치/자세정보는 알려져 있지 않고 측정하기도 어렵다. 실제로 재활로봇이 팔, 다리가 불편한 장애인을 위하여 컵을 집어서 입 근처로 가져가는 작업[6]을 비롯하여 로봇에 의한 과일 따기(robot fruit picking) 작업과[7] 같은 경우에 컵과 과일의 자세 및 위치 정보는 얻기가 매우 힘들다. 시각정보의 폐환(feedback)을 이용한 폐루프(closed loop)시스템은 로봇 및 카메라의 보정 오차(calibration errors)와 비선형성 및 불확실성 등에 상대적으로 둔감하여 좋은 효과를 얻을 수 있다[8].

비주얼 서보잉에 있어서 핵심적인 기능은 비접촉상태에서 외부환경으로부터 대상물체의 위치 및 자세정보를 얻는 기능이다. 시각센서는 로봇의 팔 끝에 부착하여 로봇이 움직일 때 카메라도 동시에 움직이는 경우와 작업 공간에 고정 시켜 놓는 경우로 나눌 수 있다. 여기서 고려하는 경우는 전자로 아이-인-핸드 구성(eye-in-hand configuration)이라 부르며 다음과 같은 장점을 가진다[6].

- 로봇과 시각센서 사이의 보정이 편리하다.
- 시각센서를 부착할 수 있는 공간을 줄일 수 있다.
- 로봇의 움직임에 따라 카메라가 움직이므로 원하는 방향에서 다양한 해상도의 영상을 얻을 수 있다.

비전 시스템은 특정한 영역의 고해상도 영상, 넓은 시야(field-of-view), 고속영상처리의 세 가지 요소가 필요하다. 최근, 이러한 요구 사항을 충족시키기 위하여 사람의 눈의 시각 정보 처리과정을 모델링[9]하고 이를 모방하는 연구가 진행되어져 왔다[10]. 사람의 눈에 대하여 간단히

살펴보면 다음과 같다[11].

사람의 눈은 망막의 입력 소자로서 빛을 전기 신호로 변환하는 광수용기(photoreceptor)를 가지고 있다. 광수용기에는 밝은 곳이나 낮에 사용되는 망막추상체(retinal cones)와 어두운 곳이나 야간에 이용되는 망막간상체(retinal rods)가 있다. 그림 2와 같이 망막은 광수용기의 밀도를 기준으로 두 부분으로 나뉜다. 망막의 중심에 추상체(cones)만 존재하는 약 5.2도에 걸친 원형 지역이 있는데 이를 포비아(fovea)라고 하고, 이외의 지역을 주변영역(periphery)이라고 한다. 포비아는 좁은 지역에 매우 많은 추상체가 있으며, 고정밀비전(high acuity vision)에 사용된다. 포비아의 중심에서 멀어질수록 추상체의 수는 급격하게 감소되며 해상도가 낮아진다. 데이터의 양이 제한된 상태에서 추상체가 효율적으로 분포되어 있음을 알 수 있다. 광수용기에 연결되어 있는 신경절 세포(ganglion cells)도 추상체와 비슷한 분포를 가진다.

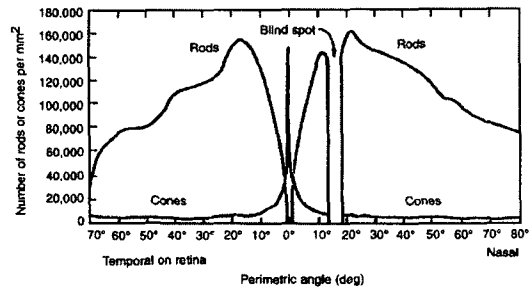


그림 2 광수용기(추상체, 간상체) 밀도[11]  
Fig. 2 Photoreceptor(Cones, Rods) Density

공간상의 샘플링이 일정하지 않는 공간 변화(space variant)하는 특성을 가진 사람 눈을 모방하는 여러 모델이 있다[11]. 이러한 모델들은 로그-폴라 매핑(log-polar mapping)을 기반으로 하고 있으며, 크게 등각사상 모델(conformal mapping models)과 원형 수용장 중첩 모델(overlapping circular receptive field models)로 나누어진다. 비교적 간단한 등각사상 모델은 복소수  $z$ 와  $z'$ 에 대하여,  $z' = \log(z)$  또는  $z' = \log(z+a)$ 라는 관계를 이용하여 주변영역을 매핑시키고 포비아는 입력 영상에서 제공하는 간격으로 샘플링하는 방식이다.

그림 3은 실제 영상에 대하여  $z' = \log(z+a)$ 을 이용하여 매핑한 영상이다. 입력 영상이 로그-폴라 모델을 이용하여 매핑되면서 영상의 격자수가 감소되었다. 그림 3(a)는 망막평면(retinal plane)에서의 입력 영상이며, 그림 3(b)는 피질평면(cortical plane)에서 매핑된 영상이다. 그림 3(c)는 이 매핑된 영상을 망막평면에 재매핑한 영상이다. 모델의 파라미터에 의하여 차이가 나지만 대개 90:1~10:1 정도로 영상 격자수가 감소되므로 입력 영상을 그대로 처리하는 것에 비하여 고속으로 처리할 수 있다.

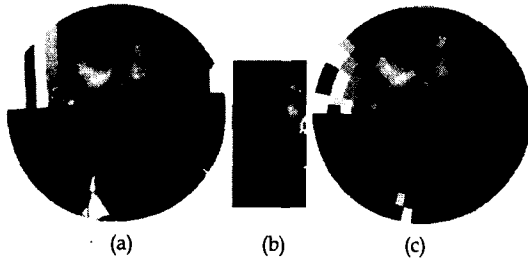


그림 3 로그-폴라 모델에 의한 영상의 변환  
 Fig. 3 Image Conversion using Log-Polar Model (a) Input Image (Retinal Plane, 180,916 pixel) (b) Log-Polar Image (Cortical Plane, 2,048 pixel) (c) Remapped Image (Retinal Plane)

로그-폴라 매핑은 위상학적으로 회전(rotation)과 크기의 변화(scaling)에 대하여 근사적으로 불변(invariant) 특성을 가진다. 예를 들어, 아이-인-핸드(eye-in-hand) 형태의 비주얼 서보잉에서 목표물을 획득하거나 상호 작용을 하기 위하여, 목표물을 감지하고 접근하는 작업이 자주 발생한다. 접근하는 작업에 의하여 영상평면상의 목표물은 회전하거나 크기가 점차 커지게 된다. 그림 4와 같이 카메라가 타원형태의 목표물에 접근할 때 망막평면(retinal plane)에서의 2차원 운동이 대뇌 피질평면(cortical plane)에서 1차원 운동으로 변환된다.

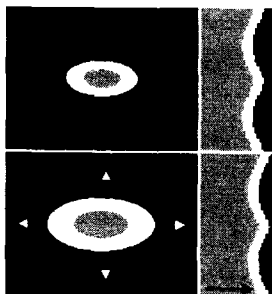


그림 4 로그-폴라 영상에서의 크기 변화  
 Fig. 4 Scaling in Log-Polar Image (Left Figures are Retinal Planes and Right Figures are their Cortical Planes)

공간 변화 비전(space variant vision)시스템의 걸림들은 현재 산업계에서 사용되는 시각센서 및 관련 처리 장비들이 이러한 기능을 제공하지 않는 데 있다. 공간 변화 비전을 구현하는 방법은 세 가지로 나뉜다. 첫째, 하드웨어로 시각센서의 CCD 셀 구조를 사람 눈의 추상체(cones) 분포와 같이 배치되도록 설계, 제작하는 방법이다[12]. 둘째, 일반 카메라를 이용하는 대신 하드웨어 매핑장치(hardware remapper)를 이용하는 방법이다[13]. 셋째, 어

안 렌즈(fisheye lens)를 사용하여 공간 변화 샘플링 효과를 얻는 방법이다[14]. 궁극적으로는 공간적으로 변하는 격자특성을 갖는 CCD의 제작이 해결책이 될 수 있다. 그러나, DSP등의 하드웨어를 이용한 두 번째 방법은 소프트웨어적으로 매핑에 사용되는 모델 파라미터를 쉽게 변환할 수 있다는 장점을 가진다. 렌즈를 사용하는 방법은 비교적 간단하며 넓은 시야(field-of-view)를 가질 수 있는 장점이 있다. 두 번째와 세 번째 방법은 구현 중에 있다. 공간 변화 영상처리와 관련하여 칩 변환(chirp transform)을 이용한 불변성 정보 추출에 대한 연구도 진행 중에 있다[15].

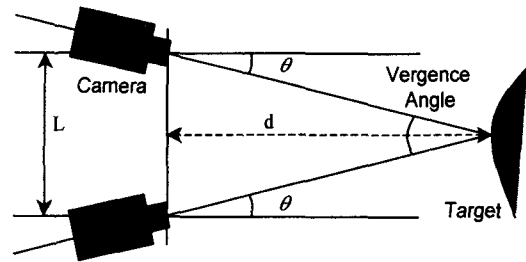


그림 5 이접운동 각도를 이용한 심도 추출  
 Fig. 5 Depth Extraction from Vergence Angle

심도(depth, 카메라와 목표물 사이의 거리)는 로봇 제어를 위한 중요한 시각 정보이다. 심도를 측정하는 방법은 다양하게 연구되고 있다[8]. 두 개의 카메라가 목표물의 동일한 점을 응시하는 운동을 이접운동(vergence)라 한다. 그림 5와 같이 이접운동 제어가 가능한 스테레오 비전은, 먼 곳에서부터 가까운 곳까지 응시점(fixation point)을 조절하는 운동 또는 그 반대 운동을 하면서, 두 카메라가 동시에 한 곳을 응시하면 심도 정보를 얻을 수 있다. 두 카메라의 각도  $\theta$ 에 의하여 얻어진 심도  $d$ 는 식(1)과 같이 얻어진다.

$$d = \frac{L}{2 \tan \theta} \quad (1)$$

목표물이 멀리 떨어져 있으면(심도  $d$ 가 커지면) 심도의 변화에 대한 각도  $\theta$ 의 변화가 0에 가까워져 심도  $d$ 의 정확도가 급격히 감소하여 측정이 어렵다 ( $\lim_{d \rightarrow \infty} \partial \theta / \partial d = \lim_{d \rightarrow \infty} (-2L) / (4d^2 + L^2) = 0$ ). 그러나 아이-인-핸드 구성의 특성에 따르면 가까운 곳의 심도는 상당히 정확할 필요가 있지만 멀리 떨어져 있는 물체의 심도는 정확히 알지 못하여도 큰 문제가 없으며 필요한 경우 시각센서가 목표물에 접근하면서 그 정보가 정확해지면 된다.

이접운동 제어가 가능한 기존의 카메라 움직임 장치들은 대부분 크고 무거워서 로봇 팔의 말단부에 부착하는 것이 어렵다. 그림 6과 같이 몸체와 카메라 헤드가 분리되어 있는 초소형 카메라(직경 12mm, 9g)와 기구적으로

구조를 간단히 하여 백래시가 적고, 저토크 고속 동작이 가능한 경량(약 100g)의 카메라 지지대가 필요하다. 이접운동을 제외한 다른 운동(팬, 틸트운동)은 시각센서가 부착된 로봇 팔에 의하여 생성될 수 있으며 필요에 따라 카메라 지지대에 그 기능을 추가할 수 있다. 현재, 이접운동 제어 장비를 설계하고 있다.

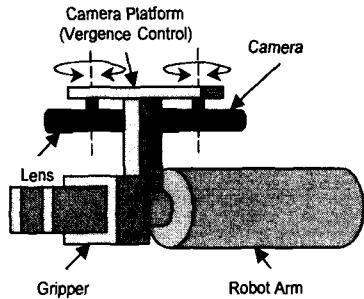


그림 6 이접운동 제어가 가능한 스테레오 카메라  
Fig. 6 Stereo Camera using Vergence Control

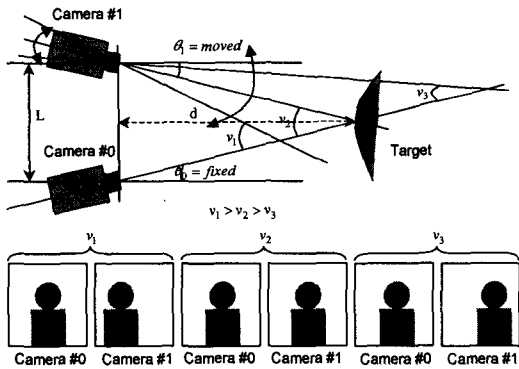


그림 7 이접운동 오차와 상관 시뮬레이션 환경  
Fig. 7 Simulation for Vergence Error vs. Correlation

이접운동을 이용한 심도 정보 추출을 위하여 그림 7과 같은 환경에서 상관(Correlation)을 기반으로 한 일치문제(Correspondence Problem)를 시뮬레이션 하였다. 카메라 #0을 고정시키고 카메라 #1은 이접운동을 하는 상황을 가정하였다. 그림 8(a)와 (b)는 각각 카메라의 움직임에 따라 사람의 얼굴 뒤의 배경이 변화하지 않는 경우와 변화하는 경우를 나타내고 있다. 공간 변화 비전을 사용하는 경우가 사용하지 않는 경우에 비하여 배경의 변화에 대하여 강인한 결과를 나타낸다.

아이-인-핸드 형태의 비주얼 서보잉에서는 스테레오 형태의 공간 변화 비전 시스템이 적합하다. 이접운동이 가능한 스테레오 형태의 공간 변화 비전시스템은 첫째, 영상의 중심부에 있고 가까운 거리에 있는 목표물의 정보를 정확히 알 수 있으며, 둘째, 넓은 범위의 정보를 획득함

로 충돌을 회피하고 추적 성능을 향상시킬 수 있으며, 세제, 빠른 시간에 영상을 처리할 수 있다. 시각센서는 로봇 팔과 함께 움직이므로 다양한 방향에서 목표물과 쉽게 상호 작용할 수 있다. 따라서, 센서의 움직임을 이용하여 원하는 목표물과 주위 정보를 각각 정확하고 넓은 범위에 걸쳐 얻을 수 있으며 이를 빠르게 처리할 수 있다.

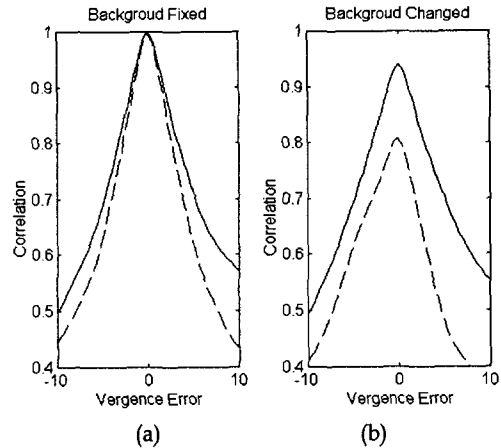


그림 8 이접운동 오차와 상관관계의 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Simulation Results for Vergence Error vs. Correlation (Solid Line: Space Variant Images, Dotted Line: Space Invariant Images)

#### IV. 재활로봇의 안전성

재활로봇과 같은 복지로봇은 산업용 로봇과는 달리 인간의 육체와 직접적으로 접촉하므로 사용자에게 치명적인 손상을 입힐 수도 있다. 그러므로 재활로봇은 산업용 로봇에 비하여 엄격한 안전성이 요구된다. 많은 경우에 재활로봇의 사용자는 로봇시스템의 동작에 대한 이해가 부족하고 로봇의 움직임을 독립적으로 통제 할 수 없으며 위험 상황이 발생 할 경우에 인지는 할 수 있으나 스스로 위험상황을 벗어날 수 없다. 재활로봇의 안전성을 구현하기 위한 방법은 크게 각종 장치의 이중화 및 기계적 구조의 고려에 의한 사용자와 로봇사이의 움직임을 제한하는 물리적 벽을 구축하여 위험 요소를 줄여야한다. 많은 경우 사용자는 위험상황을 미리 감지할 수 있으므로 긴장도의 척도가 되는 신체의 동작 및 생체신호의 변화를 감지하여 로봇의 움직임을 제어하거나 제한을 할 수 있어야 한다. 재활로봇에서 많은 경우에 사람의 얼굴 부위와 손 부위에서 작업의 최종 마무리를 위해 비주얼 서보잉을 한다. 한 예로 집을 잡아서 장애자의 입으로 가져가는 경우에 얼굴의 위치 및 입의 위치를 추적할 필요가 있다. 이 경우에 비주얼 서보잉을 할 경우 사용자의 안전성을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 정확하고 부드럽게 작업을 수행할 수 있다. 요구되는 몇 가지 안전 조건을 살펴보면

다음과 같다.

- 작업영역 및 최대 토크의 제한: 목적에 따라 미리 정의된 영역에서 동작하도록 기계적인 제한을 가할 수 있는 구조를 가져야한다. 작업의 안전성을 고려하여 사용자의 위치에 따른 안전 작업 영역을 미리 정의하고 로봇의 움직임을 안전 영역에 기계적으로 제한시킬 수 있어야 한다. H/W 및 S/W 고장이 발생해도 미리 정해진 작업 반경을 벗어나지 말아야 한다. 재활로봇의 경우는 로봇의 자세에 따른 최대 토크를 제한하여 사용자의 손상 가능성을 줄여야 한다.
  - 백업 시스템: 주 시스템과 유기적으로 연결된 고 수준의 백업 시스템이 필요하다. 주 제어기의 고장이 발생했을 경우 이중화된 제어기 및 백업 데이터에 의하여 작업을 계속 진행시킬 수 있거나 또는 아주 쉬운 일련의 방법 및 과정에 의해 로봇의 움직임을 신속히 중단시킬 수 있어야 한다. 각종 센서들을 이중화하고 제어기를 H/W 및 S/W의 측면에서 이중으로 고장에 강인하게 만들어야한다.
  - 고장 진단: 처음에 로봇을 동작시킬 경우 일련의 순서에 의해 로봇의 상태를 파악하고 이를 바탕으로 로봇의 이상 유무를 진단할 수 있는 로봇 고장 진단 시스템이 있어야 한다.
  - 상호작용: 사용자의 긴장도 및 위험 표현을 감지하는 사용자 의도 추출 기능을 구현하여 로봇과 사용자를 동기 시켜야 한다.
- 재활로봇 시스템의 안전성을 향상시키기 위해서는 넓게 통용될 수 있는 안전성에 대한 규격을 설정할 필요가 있다. 사용되는 재질의 제한 및 안전성을 위해 필수적으로 필요한 기능의 정의는 재활로봇과 같은 서비스로봇의 개발에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

## V. 결론

인간의 시각체계를 모방한 공간 변화 영상을 이용한 재활로봇의 비주얼 서보잉 시스템에 대하여 연구하였다. 공간 변화 시각시스템을 사용할 경우 좌우 영상에서 일치점을 공간 불변 시스템에 비하여 더 정확하게 그리고 빠르게 찾을 수 있는 장점이 있다. 또한 스테레오 카메라의 이점운동을 제어하여 좌우 영상의 일치점을 찾기 위한 방법에 대하여 기술하였다. 공간 변화 시각 시스템은 시각셀의 밀도가 중심으로부터 멀어짐에 따라 낮아지므로 넓은 시야 각을 갖고 잡음에 둔감하며 매칭을 위한 계산량이 적은 특성을 갖는다.

## 참고문헌

[1] Z. Bien and W. Zhu, "Service Robotics with Special Attention to Surgical Robots and Rehabilitation Robotics", KITE Journal of

Electronics Engineering, Vol. 7, No.1, pp. 13-24, 1996.

[2] "보건 복지 백서", 대한민국 보건복지부, 1997.

[3] Richard K. Miller & Associates, "The Service Robot Market, An In-Depth Study from the International Service Robot Association," ISRA, USA, 1996.

[4] 정기원 외, "1995년 장애인 실태조사", 한국보건의사회 연구원, 1995.

[5] C.J. Robinson, "What is "Rehabilitation Engineering"", IEEE Trans. Rehabilitation Engineering, Vol. 1, No. 1, p. 1, March 1993.

[6] W.-K. Song, H. Lee, Z. Bien, "KARES: Intelligent Wheelchair-mounted Robotic Arm System using Vision and Force Sensor", Robotics and Autonomous Systems, 1999 (will be appeared).

[7] R.C. Harrell, D.C. Slaughter, and P.D. Adsit, "A Fruit-Tracking System for Robotic Harvesting", Machine Vision and Applications, Vol. 2, pp. 69-80, 1989.

[8] S. Hutchinson, G.D. Hager, and P.I. Corke, "A Tutorial on Visual Servo Control", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 12, No. 5, pp. 651-670, October, 1996.

[9] S. Shah, M.D. Levine, "Visual Information Processing in Primate Cone Pathways-Park I: A Model", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 26, No. 2, pp. 259-274, April, 1996.

[10] E.L. Schwartz, D.N. Greve, and G. Bonmassar, "Space-variant Active Vision: Definition, Overview, and Examples", Neural Networks, Vol. 8, No. 7/8, pp. 1297-1308, 1995.

[11] M. Bolduc and M.D. Levine, "A Review of Biologically Motivated Space-Variant Data Reduction Models for Robotic Vision", Computer Vision and Image Understanding, Vol. 69, No. 2, February, pp. 170-184, 1998

[12] F. Ferrari, J. Nielsen, P. Questa and G. Sandini, "Space Variant Imaging", Sensor Review, Vol. 15, No. 2, 1995, pp. 18-20, 1995.

[13] M. Bolduc and M.D. Levine, "A Real-time Foveated Sensor with Overlapping Receptive Field", Real-Time Imaging, Vol. 3, pp 195-212, 1997.

[14] Y. Suematsu and T. Hayase, "An Advanced Vision Sensor with Fovea", IEEE Proc. IECON 1990.

[15] G. Bonmassar and E.L. Schwartz, "Space-Variant Fourier Analysis: The Exponential Chirp Transform", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 10, October, 1997.