

# 파지 분류체계를 이용한 손의 시너지 추출

김상현<sup>1</sup>, 김민곤<sup>1</sup>, 박재흥<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교, <sup>2</sup>차세대융합기술연구원

## Extracting Postural Synergies Using Grasping Taxonomy

Kim Sanghyun<sup>1</sup>, Kim Mingon<sup>1</sup>, Park Jaeheung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Seoul National University, <sup>2</sup>Advanced Institutes of Convergence Technology  
e-mail: ggory15@snu.ac.kr, mingonkim@snu.ac.kr, park73@snu.ac.kr

### 요 약

파지 자세들 사이의 상관관계를 이용하여 사용자의 손의 자세를 표현하는 시너지기법은 고차원의 데이터를 저차원화하여 로봇 핸드의 제어에 용이하다는 점에서 각광받고 있다. 본 논문에서는, 파지 분류체계를 이용하여 저차원화시 발생하는 오차를 최소화 하는 시너지 추출방법에 대해 논한다. 제안된 방법은 기존 시너지 추출 알고리즘이 모든 손 자세에서 시너지를 추출하는 것과 달리, 파지 분류체계를 기반으로 하여 파지 분류체계 안의 각 그룹들마다 시너지를 추출하여 준다. 사용자가 손 동작을 하는 동안, PCA-LDA 분류기는 사용자의 손 자세의 파지 종류를 분류하여 주기 때문에 해당 파지 종류가 속한 그룹의 시너지를 사용하여 인간의 손의 움직임을 묘사할 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 모션 캡처 시스템과 동역학 기반 시뮬레이션을 통하여 확인하였으며, 기존의 시너지 기반 알고리즘을 사용한 경우와 비교하였을 때 사람의 손 자세를 더 잘 묘사함을 확인 할 수 있었다.

### 1. 서론

원격 제어 시스템에서 로봇 핸드의 사용은 사용자의 많은 작업 능력을 제공하여 준다는 점에서 각광받고 있다. 그러나 인간의 손에는 수많은 관절들이 존재하는 반면에 로봇의 관절은 제한적이기 때문에, 인간의 손과 로봇 사이의 구조적 차이를 극복하며 인간의 움직임을 로봇 손에 적용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

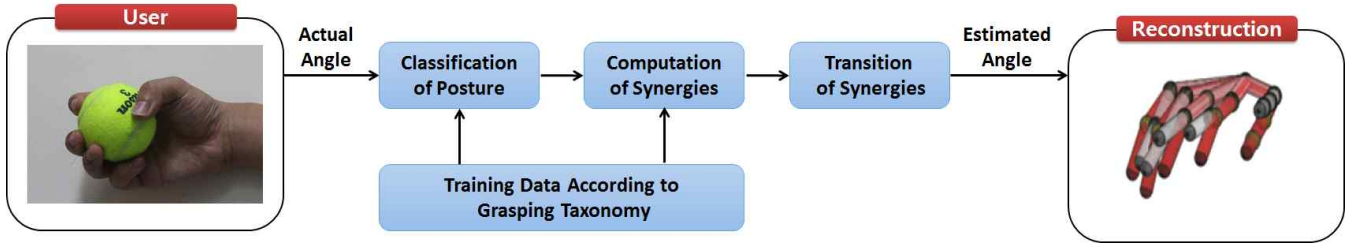
인간의 움직임을 로봇 손에 적용하는 연구는 다양한 방향으로 진행되어져 왔다. 사용자의 손 관절 각도나 손끝의 각도를 전송하거나 손의 자세를 전송하는 방법으로 로봇을 동작시키는 연구가 대표적이다 [1-3]. 그러나 이러한 연구들은 손의 움직임을 직접적으로 전송하여 손의 운동역학을 고려하지 않는다는 단점이 있다. 한편, 신경과학분야에서는 인간의 다양한 파지 자세에 연구를 진행하였다. Cutkosky는 인간이 취할 수 있는 손 자세를 16가지 종류로 나누어 파지 분류체계를 정립하였다[4]. 특히, Santello는 이러한 파지 분류 속 파지자세 사이에 강한 상관관계가 있다고 주장하였다. Santello는 시너지라고 불리는 이 상관관계를 통하여 많은 차원으로 이루어지는 다양한 손의 자세를 저차원화하여 표현할 수 있다는 것을 밝혀내었다[5]. 따라서 최근 로봇 핸드 분야에서는 이러한 시너지를 어떻게 최적화하여 추출할 수 있는지와 이를 이용하여 원격제어를 하거나 파지 힘 최적화(GFO)를 연구하는 추세이다.

본 논문에서는 시너지 이론을 기반으로 하여, 파지 분류체계를 이용한 시너지 추출 알고리즘을 제안한다. 기존 시너지 기반 알고리즘들이 모든 종류의 손 자세에서 시너지를 추출하기 때문에 차원 축소에 따른 데이터 손실은 불가피하다. 하지만, 제안된 알고리즘은 파지 분류체계를 이용하여, 사용자가 손을 움직일 때 사용자가 취하는 자세 종류를 인지하여 해당 자세가 속하는 파지 그룹 내에서만 추출된 시너지를 이용한다. 파지 그룹 내에서 추출된 시너지는 모든 종류의 손 자세에서 추출된 시너지보다 사용자가 취하는 자세를 더욱 잘 묘사할 수 있기 때문에 차원 축소에 따른 데이터 손실을 최소화 할 수 있다. 본 논문에서 제안된 알고리즘을 통하여 모션 캡처 시스템을 이용하여 촬영하는 손의 동작을 바탕으로 기존 알고리즘과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 비교하였다.

본 논문은 2장에서 제안된 시너지 추출 알고리즘에 대해 소개하고, 3장에서 실험 개요 및 실험 결과에 대해 논의한다. 마지막으로 4장에서 본 논문을 결론짓는다.

### 2. 파지 분류체계를 이용한 추출 알고리즘

본 장에서는 제안된 알고리즘에 대해 기술한다. [그림 1]과 같이, 제안된 알고리즘은 크게 미리 촬영된 다양한 손의 움직임을 바탕으로 시너지를 추출하는 알고리즘과 사용자가 시스템을 사용할 때 파지



[그림 1] 제안된 알고리즘 흐름도

분류체계를 기반으로 사용자의 손 동작을 인식하는 분류 알고리즘으로 구성되어 있다.

### 2.1 시너지 추출 알고리즘

n개의 손 관절로 이루어진 손의 자세는 [식 1]과 같이 표현할 수 있다.

$$p_i = [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_n] \in R^n \quad (1)$$

이러한 고차원의 손의 자세들을 매핑 알고리즘에 이용하면 데이터 전송 및 처리 시간이 증가하여 실시간 제어가 어렵게 된다. 따라서 파지자세 사이의 강한 상관관계인 시너지를 통하여 고차원의 손의 자세를 저차원으로 표현해 주는 것이 필요하다.

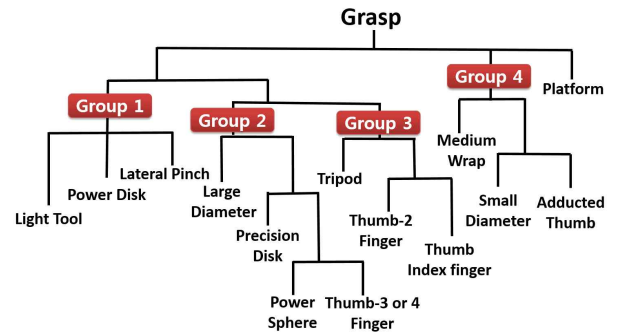
이 때 본 논문에서는 시너지 추출 알고리즘에서 대표적인 주성분 분석법(PCA)을 통하여 저차원화하여 표현하였다. PCA의 원리는 특이값 분해(SVD)의 원리와 동일하다. 먼저, N개의 파지자세로 이루어진 전처리 행렬  $Y \in R^{N \times n}$ 을 만든 후 전처리 행렬의 공분산 행렬  $C \in R^{n \times n}$ 을 구한다. 그 다음, 특이값 분해를 이용하여 공분산 행렬의 고유벡터  $e_i \in R^n$ 를 찾아준다. 이렇게 구한 고유벡터는 N개의 파지자세 사이의 상관관계를 나타내는 시너지이다. 일반적으로, 파지자세 사이에는 강한 상관관계가 있으므로 [5], 시너지의 수는 n개보다 작게 된다. 만약, 2개의 시너지로 손의 자세  $p_i$ 를 다시 표현한다면 [식 2]와 같다.

$$p_i = [a_{i,1} \ a_{i,2}] [e_1 \ e_2]^T + z_i \quad (2)$$

이 때,  $a_i$ 는 각 시너지에 해당하는 가중치 값이며  $z_i$ 는 오차 벡터이다.

### 2.2 파지 자세 분류기 설계

2.1절에서 구한 시너지 추출 알고리즘으로 전체 파지자세로 이루어진 전처리 행렬의 시너지는 전체 파지자세를 골고루 표현할 수 있다. 하지만, 사용자가 취하는 임의의 파지자세와 전처리 행렬을 구성하고 있는 파지자세들과 상관관계가 약하면 약할수록,

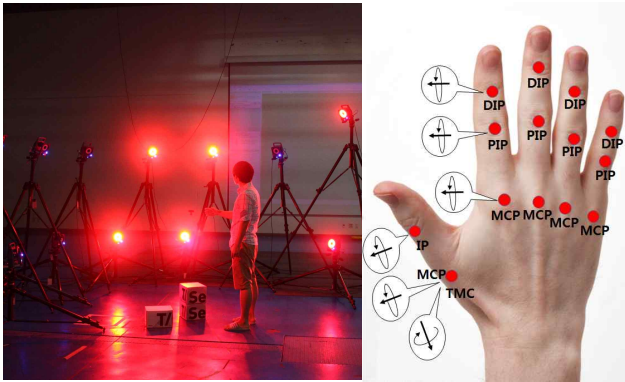


[그림 2] Wei Dai의 파지분류 체계

적은 수의 시너지를 사용하여 재구성하는 손의 모델은 저차원화로 인한 오차를 포함할 수밖에 없다. 따라서 만약 사용자가 동작을 취할 때 어떠한 종류의 파지자세인지 알 수 있다면 파지 분류체계 속 강한 상관관계를 가지는 파지자세만을 가지고 전처리 행렬을 구성할 수 있으므로 이러한 오차를 최소화할 수 있다.

[그림 2]는 Wei Dai의 파지 분류체계이다[6]. Wei Dai는 functional 주성분 분석법(fPCA)을 이용하여 시너지의 유형을 판단, 비슷한 유형의 파지자세를 그룹화하였다. Wei Dai의 파지분류체계를 바탕으로, 사용자가 임의의 잡기 동작을 취할 때 어떠한 파지자세인지 판별해주는 분류기를 설계할 수 있다. 본 논문에서는 2.1절에서 소개한 주성분 분석법과 클래스 간 분산과 클래스 내 분산의 비율을 최대화하여 특징을 분석하는 선형판별분석(LDA)를 통하여 이를 분류한다.

사용자가 임의의 자세를 취하기 시작할 때 N개의 파지자세를 골고루 표현하여 주는 시너지를 사용한다. 만약, 사용자의 특정 파지 자세를 PCA-LDA 분류기가 파지 자세를 일정 신뢰도 이상으로 분류한다면, 해당 파지 자세가 속하는 파지그룹내의 파지그룹들의 시너지를 교체한다. 그렇게 함으로써, 기존 시너지 추출 알고리즘이 가지는 저차원화로 인한 오차를 최소화 할 수 있다.



[그림 3] 실험 시스템

(a) 모션 캡처 시스템, (b) 손의 관절 위치

### 3. 실험 및 논의

본 장에서는 실험 시스템 소개 및 실험 결과에 대해 논의한다.

#### 3.1 실험 시스템

실험에서, 사용자의 손의 움직임은 스테레오 카메라가 24개의 5mm 마커를 100Hz로 추종하여 습득하였다. 이를 위해 소프트웨어인 NEXUS(Vicon, CO. USA)와 12개의 카메라(Vicon T160, CO. USA)로 이루어진 모션 캡처 시스템을 사용하였다([그림 3-(a)]). 이렇게 얻어진 마커의 좌표들은 [그림 3-(b)]과 같이 15개의 관절 각도로 재처리하여 본 논문에서 제안한 알고리즘에 사용하였다.

시너지 추출을 위한 전처리과정에서 2.2절에서 언급한 바와 같이, 사용자가 Platform 자세를 제외한 14가지의 자세를 촬영하였다. 각각의 자세는 손을 펴고 있는 Platform 자세에서부터 시작하여 해당 자세에 도달할 때까지 변화하는 관절 각도를 수집하였으며, 특정 자세에 편중되지 않도록 Dynamic Time Warping (DTW)를 이용하여 동작당 100frame으로 이루어지도록 편집하였다. 따라서 전체 파지 자세에 대한 전처리 행렬의 크기는  $Y \in R^{15 \times 1400}$ 이다.

#### 3.2 실험 결과

### 4. 결론

본 논문에서는 파지 분류체계를 이용한 새로운 개념의 시너지 추출 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서는 기존의 시너지 추출 알고리즘과는 다르게, 사용자의 손 동작을 파지 분류체계에 비추어 인식하고, 인식된 자세에 해당하는 파지 그룹 내만을 가지고 시너지를 추출하여 정보 손실을 최소화하는 알고리즘을 제안하였다. 나아가서, 실험을 통하여 사용자

의 손 동작을 효율적으로 묘사할 수 있음을 증명하였다. 향후 연구로는 제안된 추출 알고리즘을 기반으로 로봇 핸드에 적용하여 로봇 핸드 시너지 매핑 시스템을 구축하고, 모션 캡처 시스템을 대신하는 실용적인 시스템을 구축할 것이다.

### 후기

이 논문은 미래창조과학부의 글로벌 프론티어연구 개발 사업 중 인체감응솔루션의 연구결과로 수행되었음. (NRFM1AXA003-2011-0032014)

### 참고문헌

- [1] J. Hong, J. Hollerbach, and S. Jacobsen, "Calibrating a VPL dataglove for teleoperating the Utah / MIT hand", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, In proc. of the SIGCHI conf. on Humanfactors in computing systems, pp. 1752-1755, 1989.
- [2] R. Rohling and J. Hollerbach, "Optimized Fingertip Mapping for Teleoperation of Dexterous Robot Hands", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 796-775, 1993.
- [3] W. Griffin, R. Findley, M. Turner, and M. Cutkosky, "Calibration and Mapping of a Human Hand for Dexterous Telemanipulation", ASME IMECE. Conf. Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator System Symposium, pp. 1-8, 2000.
- [4] M.R. Cutkosky and R.D. Howe, "Human grasp choice and robotic grasp analysis, Dexterous robot hand", New York: Springer, pp. 5-31, 1990.
- [5] M. Santello, M. Flanders, and, J. Soechting, "Postural Hand Synergies for Tool Use", J. of Neuroscience, pp. 10105-10115, 1998.
- [6] W. Dai, Y. Sun, and X. Qian, "Functional Analysis of Grasping Motion", Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3507-3513, 2013.