

임의 물체에 대한 최적 3 차원 Grasp Planning

이현기*(경북대 대학원 기계공학과), 최상균(경북대 기계공학부), 이상룡(경북대 기계공학부)

Optimal 3D Grasp Planning for unknown objects

H. K. Lee(Mecha. Eng. Dept., KNU), S. K. Choi(Mecha. Eng. Dept., KNU) and S. R. Lee(Mecha. Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

This paper deals with the problem of synthesis of stable and optimal grasps with unknown objects by 3-finger hand. Previous robot grasp research has analyzed mainly with either unknown objects 2D by vision sensor or unknown objects, cylindrical or hexahedral objects, 3D. Extending the previous work, in this paper we propose an algorithm to analyze grasp of unknown objects 3D by vision sensor. This is achieved by two steps. The first step is to make a 3D geometrical model of unknown objects by stereo matching which is a kind of 3D computer vision technique. The second step is to find the optimal grasping points. In this step, we choose the 3-finger hand because it has the characteristic of multi-finger hand and is easy to modeling. To find the optimal grasping points, genetic algorithm is used and objective function minimizing admissible force of finger tip applied to the object is formulated. The algorithm is verified by computer simulation by which an optimal grasping points of known objects with different angles are checked.

Key Words : Stereo Matching (스테레오 정합), Grasp Planning (잡기계획), Genetic Algorithm (유전자 알고리즘)

1. 서론

인간은 물건을 보고 직관적으로, 경험적으로 물건을 잡는다. 하지만 로봇의 경우는 그렇지 못하다. 인간의 조작에 의해서나 계산에 의한 결과를 가지고 물건을 잡게 된다. 하지만 인간이 로봇을 조작할 수 없는 장소나, 물건에 대한 정보가 전혀 없는 공간에서 로봇이 작업해야 하는 상황이 된다면 계산적으로, 인간의 조작에 의한 작업을 할 수 없게 된다.

이런 문제들을 해결하기 위해 1980 년부터 grasp planning 이라는 제목으로 많은 연구들이 행하여져 왔다. Grasp planning 에 있어서 가장 중요시되는 것은 손가락의 위치와 힘의 적용에 대한 안정성이다.

Grasp planning 에 있어서 가장 기초가 되고 중요한 토대가 되는 것은 Nguyen^[1]에 의해 소개되어진 force-closure 의 개념이다. 이를 바탕으로 유연한 grasping 시스템을 구현하기 위해서 여러 논문에서 비전 센서를 장착한 시스템을 연구하였다. Hauck^[2]는 임의의 물체를 두 대의 카메라를 이용하여 3 차원 공간상에서 2-손가락 그리퍼의 grasping point 를 찾는

알고리즘을 개발하였고, Morales^[3]는 임의의 물체를 한대의 고정된 카메라를 이용하여 2-손가락 그리퍼의 최적의 grasping point 를 찾는 알고리즘을 개발하였다.

이와는 별도로 3-손가락 이상의 multi-손가락의 최적 grasping point 에 대한 연구도 많이 되어져왔다. Borst^[4]는 grasp-quality^[5]를 이용하여 빠르고, 강건한 grasping point 를 찾는 알고리즘을 제시하였고, Katada^[6]는 lyapunov stability 이론을 도입하여 안정한 grasping point 를 찾고, evolution programming 을 이용하여 최적의 점을 찾는 알고리즘을 개발하였다.

본 논문에서는 임의의 물체를 두 대의 카메라를 이용하여 3 차원으로 해석하고, 해석된 물체를 바탕으로 3-손가락 그리퍼의 최적의 grasping point 를 찾는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 3 차원 영상처리 기술

본 논문에서는 두 대의 카메라를 이용하여 3 차원 물체를 인식시키는 방법인 스테레오 정합을 사용하였다. 이 방법은 인간의 시각체계를 형상화한 것이라 볼 수 있다. 스테레오 정합의

종류에는 정합 요소에 따라 특징 기반법과 영역 기반법으로 나눌 수 있고, 둘째로 카메라의 내부, 외부 파라미터들을 알고 있느냐, 모르고 있느냐에 따라 calibrated 와 uncalibrated stereo matching 으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 특징 기반법을 기초로 한 calibrated stereo matching 을 사용하였다.

2.1 Stereo Matching 의 순서도

본 연구에서 사용된 스테레오 정합의 순서도는 Fig. 1 과 같고, 두 개의 큰 부분으로 나누어 볼 수 있다. 전체의 점들 중에서 일부의 점을 선택하여 그 점들의 관계를 확인하는 초기정합 부분과 점들의 관계를 이용하여 dense matching 을 하는 부분으로 나눌 수 있다. 일부 점들의 관계를 확인하는 부분인 초기정합과정에는 특징점 추출과정과 초기 정합 과정, 잘못된 점들을 가려내는 LMedS 과정이 있다.

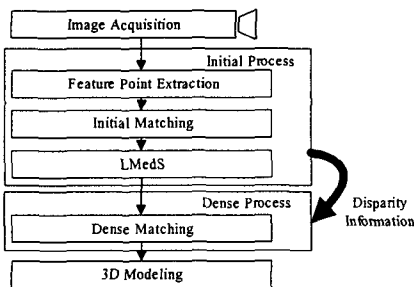


Fig. 1 Overview of Stereo Matching

특징점 추출 방법에는 Plessey Modified Corner Detector^[7]를 사용하였고, 초기정합과정에는 Scott 와 Longuet-Higgins^[8]에 의해 제안된 SVD^[9]를 이용한 초기 정합방법을 사용하였다. LMedS^[16]는 Zhang^[15]에 의해 제안된 방법으로 uncalibrated stereo matching 의 개념으로부터 일부 도입이 되었다.

Dense matching 방법은 첫단계에서 정합된 특징점들에서 disparity 정보를 이용하여 빠른 dense depth map 을 구할 수 있다. 본 연구에서는 Fusiello, Robert and Trucco^[10]에 의해 제안되어진 Sum of Squared Difference(SSD) 에러에 의한 방법을 이용하였다.

모델링 과정에서는 노이즈성 값들을 제거하기 위해 먼저 평균 필터를 적용하였다. 구하여진 depth map 을 실제로 적용하기 위해서 보간 과정을 거쳤다. 3 차원 모델링을 위해 가장 많이 쓰이는 것이 삼각형 메쉬이고, 가장 대표적인 알고리즘이 Delaunay Triangulation Method^[12]이다.

3. 최적의 Grasp Planning

3.1 기호법

3.1.1 물체의 표면점

모델링 된 물체에서 핸드의 역기구학을 구하기 위해 표면의 한 점을 찾아내어야 한다.

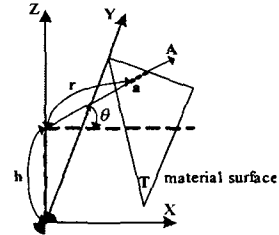


Fig. 2 Finding the surface point

형상이 일정하지 않은 물체나 형상을 모르고 있는 물체의 경우 파라미터 r 은 정해지지 않았거나 쉽게 구할 수 없다. 본 연구에서는 임의 형상의 물체에 대해서도 r 을 구하기 위해서 Fig. 2 에서 θ , h 로 벡터 A 를 구하고, 삼각형으로 이루어진 평면 T 사이의 교차점을 구하는 알고리즘을 적용하였다. 이때 구하여진 교차점 a 가 삼각형 메쉬 안에 있는 지를 조사하기 위해 Fig. 3 과 같이 꼭지점들과 교차점과의 회전방향을 확인하는 알고리즘을 사용하였다.

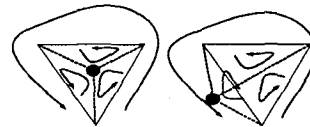


Fig. 3 Relationship between intersection point and triangular

3.1.2 마찰력

물체를 안정적으로 grasp 하기 위해서 힘의 해석이 필요하고, 마찰력에 대한 고려도 필요하다. 물체를 드는 위치는 항상 local coordinate 에서 Z 축의 양의 방향이고, 물체는 무게에 의해 Z 축의 음의 방향으로 운동하려고 한다. 따라서 마찰력은 local coordinate 의 Z 축의 양의 방향으로 작용한다.

3.2.3-손가락 핸드의 모델링

본 연구에서는 3-손가락 핸드를 모델링하여 모사실험을 수행하였다. 3-손가락 핸드는 multi-손가락에 해당하면서 해석이 가장 용이하고, multi-손가락의 특성을 잘 표현할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 사용된 3-손가락 핸드는 총 8 개의 회전운동을 하는 조인트로 구성되어진 8 자유도 핸드이다. 3-손가락 핸드에 대해서 기구학, 역기구학, 자코비안 행렬, 손가락 끝단 힘에 대한 모델링을 하였다.

3.3 Grasp Planning

3.3.1 Grasp Equilibrium

물체에 작용하는 모든 힘을 각각 f_1, f_2, \dots, f_n 이라 하고, 무게중심으로부터 힘이 작용하는 점까지의 위치 벡터를 각각 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ 이라 하면 식 (1)과 식 (2)와 같은 방정식을 만족하여야 한다.

$$\sum_{i=1}^n f_i = -mg \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \rho_i \times f_i = 0 \quad (2)$$

여기에서 m 은 물체의 무게, g 는 중력 가속도를 가리킨다.

또, 물체를 들기 위해서는 손가락 끝단 과 물체 사이에 마찰력이 작용해야 한다. 이렇게 힘이 작용할 때 coulomb friction model 을 만족해야 한다.

$$|n_i \times f_i| \leq \mu_i (f_i \cdot n_i) \quad , \quad i=1, \dots, n \quad (3)$$

여기에서 n_i 는 물체의 표면에 수직인 단위 벡터이고, μ_i 는 마찰계수를 가리킨다.

3.3.2 최적화

최적화 알고리즘을 적용하기 전에 먼저 목적함수와 제한조건을 정의한다. 목적함수는 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$F = D(p) \quad (4)$$

여기에서 $D(p) = \sum_{i=0}^n (p_i)^2$ 이고, n 은 손가락의 갯수를, p_i 는 각 손가락에서 손가락 끝단에 작용하는 힘으로 정의한다. 식(4)는 물체를 잡을때 힘이 가장 적게드는 위치를 찾는다는 것을 의미한다. 제한조건은 grasp equilibrium 조건을 이용하였다. 위의 조건들에 의해 최적화해야할 파라미터들은 아래와 같다.

- ① 손가락 1,2,3 에 대한 표면점의 높이
- ② 손가락 2,3 에 대한 표면점의 각도
- ③ 각 조인트에 작용하는 토크
- ④ 3-손가락 핸드의 높이와 각도

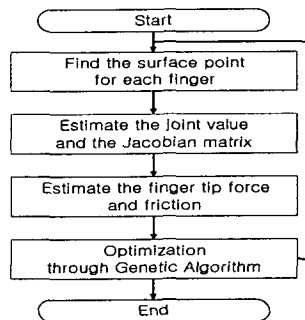


Fig. 4 Flow chart of optimization

최적의 값을 찾기 위해서 본 연구에서는 Fig. 4 와 같은 순서로 최적화를 수행 하였고, 최적화를 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다.

4. 모사실험과 결과



Fig. 5 Materials for simulation: object and 3-finger hand

본 연구에서는 위와 같이 실제 물체를 이용하여 모사실험을 실시하였다. 지름은 61.42 mm , 높이는 81.00 mm 인 원통형 물체를 선정하였다. 마찰력은 1.0 으로 선정하고, 물체의 밀도는 동일하다고 보았다. 3-손가락 핸드의 각 링크의 길이는 50.00 mm 로 하였으며, 벌칙값은 $1.0e+20$ 으로 설정하였다. 먼저 calibrate 된 두 대의 카메라를 이용하여 stereo image 를 얻는다. 스테레오 정합을 이용하여 물체를 3 차원으로 모델링 하면 Fig. 6 과 같고,



Fig. 6 3D modeling

유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 grasping point 를 찾으면 Fig. 7 과 같다.

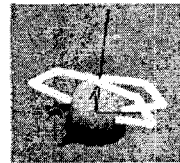


Fig. 7 Grasp with 3-finger hand

최적화의 결과 중에서 각 세대마다의 최적값을 살펴보면 Fig. 8 과 같다.

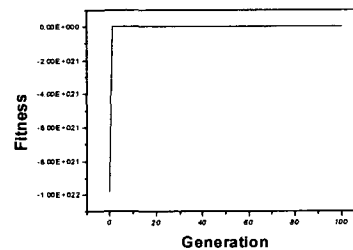


Fig. 8 Fitness value of optimization

참고문헌

최적화의 결과에 대한 타당성을 검증해 보고자 Fig. 9 와 같이 알고 있는 물체를 모델링 하고, 물체의 각도를 변화시켜 가면서 최적의 grasping point 의 위치를 찾아보았다.



Fig. 9 Object for optimization confirming

각 각도에 따라서 거의 동일한 위치에 grasping point 가 있는지를 조사하기 위해 손가락의 각각의 조인트의 값들을 비교해 보았다. Fig. 10 에서 볼 수 있듯이 조인트의 값들이 5° 미만에서 거의 유사함을 볼 수 있다. 따라서 거의 비슷한 위치에 grasping point 가 위치해 있음을 알 수 있다.

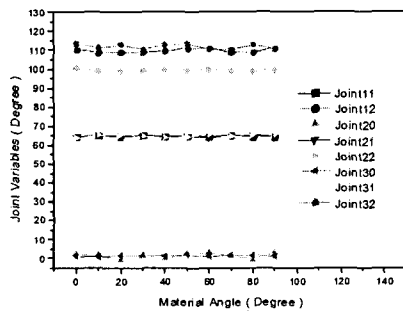


Fig. 10 Result of the confirming

5. 결론

본 연구에서는 스테레오 정합을 이용하여 알지 못하는 물체의 3 차원 모델링을 하였고, 3-손가락 핸드를 이용하여 최적의 grasping point 를 찾는 알고리즘을 개발하였다. 이는 기존의 연구가 비전 센서를 이용한 2 차원의 해석에 그친 데 반해 3 차원으로 해석이 확장되었고, 알고있는 물체에 관한 해석 많이 이루어 졌던 multi-손가락의 해석에서도 확장을 가져왔다.

이미 알고 있는 물체에 대해서 각도를 변화시킨 물체에 대해서 최적의 grasping point 를 구함으로써 본 논문의 알고리즘에 대한 효용성을 확인할 수 있었다.

기존의 Fusiello, Robert, and Trucco^[10]에 의해 제시된 dense matching 알고리즘에 uncalibrated stereo matching 방법에서 가져온 Initial Process 과정을 더함으로 더 빠르고 효율적인 3 차원 모델링을 할 수 있었다.

1. V. D. Nguyen, "Constructing force-closure grasps.", The Intl. J. of Robotics Research, 7(3), 1988.
2. A. Hauck, J. R. Stettinger, M. Sorg, and G. F. Farber, "Visual determination of 3D grasping points on unknown objects with a binocular camera system.", In Proc. of the IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent robots and System, pages 272-278, Kyongju, Korea, 1999.
3. A. Morales, G. Recattala, Pedro J. Sanz, and Angel P. del Pobil, "Heuristic Vision-Based Computation of Planar Antipodal Grasps on Unknown Objects", In Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Robotic & Automation, Seoul, Korea, 2001.
4. Ch. Borst, M. Fischer, and G. Hirzinger, "A Fast and Robust Grasp Planner for Arbitrary 3D Objects", In Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Robotics & Automation, Detroit, Michigan, 1999.
5. C. Ferrari and J. Canny, "Planning optimal grasps." In Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Robotics & Automation, pages 2290-2295, Nice, France, 1992.
6. Y. Katada, M. Svinin, K. Ohkura, and K. Ueda, "Optimization of Stable Grasps by Evolutionary Programming", In Proc. of the 32nd ISR, 2001.
7. C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector", Fourth Alvey Vision Conference, pp.147-151, 1988
8. G. Scott and H. Longuet-Higgins, "An algorithm for associating the feature of two images", Proc. Royal Society London, B244:21-26, 1991
9. H. Press, A. Teukolsky, T. Vetterling and P. Flannery, "Numerical Recipes in C", Cambridge Press, 1992
10. A. Fusiello, V. Roberto, and E. Trucco, "Efficient stereo with multiple windowing.", In Proceeding of the IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 858-836, 1997
11. J. Laszlo, "Computational Geometry and computer graphics in C++", Prentice Hall Press
12. Z. Zhang, R. Deriche, O. Faugeras, and T. Luong, "A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry", Technical report in INRIA, N2273, 1994
13. P.J. Rousseeuw and A.M. Leroy, "Robust Regression and Outlier Detection", John Wiley & Sons, New York, 1987