

최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭 방법을 이용한 3차원 영상 정합

3D Image Mergence using Weighted Bipartite Matching Method based on Minimum Distance

장택준*, 주기세**, 장복주**, 강경영**

Taek-Jun Jang*, Ki-See Joo**, Bog-Ju Jang** and Kyeong-Yeong Kang**

요 약

본 논문에서는 구조화된 격자 패턴 발생기를 이용하여 카메라 시야로부터 가려진 인체의 완전한 3차원 정보를 정합하기 위하여 턴테이블 위에 놓인 인체를 4방향에서 영상을 획득한 후 각 영상을 정합하는 새로운 알고리즘을 소개한다. 다각형 망으로 표시된 정합될 두 영상은 3차원 좌표 값의 급격한 변화가 없고 주사 방향이 한 방향이기 때문에 좌표축에 따라 가중치가 다른 최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭 법을 사용하여 정합한다. 완전한 3차원 체형 정보를 획득하기 위하여, 획득된 영상이 4개이기 때문에 이런 과정들을 3번 반복한다. 제안된 방법은 기존의 분지 한정법, 동적 계획법, 헝가리언 법에 비해 매칭 정확도는 조금 낮지만 탐색 시간을 200 - 300% 줄일 수 있는 장점이 있다.

Abstract

In this paper, to merge whole 3D information of an occluded body from a camera view point, the new image merging algorithm is introduced after obtaining images of body on the turn table from 4 directions. The two images represented by polygon meshes are merged using weight bipartite matching method with different weights according to coordinate axes based on minimum distance since two images merged don't present abrupt variation of 3D coordinates and scan direction is one direction. To obtain entire 3D information of body, these steps are repeated 3 times since the obtained images are 4. This proposed method has advantage 200 - 300% searching time reduction rather than conventional branch and bound, dynamic programming, and hungarian method though the matching accuracy rate is a little bit less than these methods.

Key words : 3D information, Weighted Bipartite Matching Method based on Minimum Distance

I. 서 론

최근 들어 산업계 및 사회 곳곳에서 3차원 정보에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 주로 의류

패션, 공장자동화, 물류자동화, 컴퓨터 그래픽 등 많은 분야에서 이용된다. 2차원 데이터는 카메라를 피사체에 수직으로 설치하여 정보를 측정하는 방법으로, 물체의 2차원 데이터만을 추출하는 방법이다. 이

* (주) 아로정보기술

** 목포해양대학교 (Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 장택준

· 투고일자 : 2008년 7월 30일

· 심사(수정)일자 : 2008년 7월 31일 (수정일자 : 2008년 8월 21일)

· 게재일자 : 2008년 10월 30일

방법은 이미 많은 연구가 이루어져 있으며 특히 계산량을 줄이기 위하여 물체의 특징 점들을 추출하여 특징 점들에 대한 2차원 정보를 측정하는 방법을 주로 사용하고 있다.

3차원 정보를 추출하기 위해서는 다양한 센서가 이용되는데 크게 자체의 광원이 없는 수동형 센서와 자체의 광원을 갖는 능동형 센서로 대별된다. 수동형 센서는 주위 환경에 민감하다는 단점이 있기 때문에 능동형 센서에 비해 정확도가 떨어지지만 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

3차원 정보를 추출하기 위한 능동형 센서에도 여러 종류의 센서들이 있다[1][2]. 이 중에서 구조화된 빛 패턴 시스템은 구조화된 패턴 빔 발생기와 카메라로 구성되어 있다[2]. 구조화된 빛 패턴 시스템은 3차원 정보를 추출하기 위해서 한번의 주사를 통하여 획득된 영역 정보를 이용하기 때문에 라인 또는 점 정보에 의존하는 레이저에 비해 영역 정보 획득 시간, 메모리, 계산량 등에서 많은 장점을 갖고 있다[3][4]. 패턴 빔 발생기는 연속적인 패턴을 물체에 주사하고 카메라는 주사된 패턴으로부터 영상을 획득한 후 3차원 정보를 추출한다. 카메라 시야로부터 가려진 물체의 3차원 정보를 추출하기 위해서는 피사체의 자세 변환이나 이동 없이 제자리에서 회전시키는 시스템이 필요하다[5].

본 논문에서는 인체의 체형 정보를 얻기 위하여 피사체를 턴테이블 위에 올려 놓고 턴테이블을 돌려가면서 정면, 양측면, 후면 등 4개의 이미지를 획득하였다. 3차원 체형 정보를 획득하기 위해서 획득된 4개의 이미지로부터 3차원 데이터를 획득한 후 4개의 이미지를 정합해야한다. 획득된 4개의 이미지를 정합하기 위하여 각각의 이미지를 한 집합으로하는 3단계 최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭 방법을 이용하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 기존의 방법들에 비해 쉽고 빠르게 해에 근접하였다.

II. 시스템 구성

본 논문에서 사용된 시스템은 그림 1에서와 같이 3차원 정보를 얻기 위해 물체에 그리드 패턴 주사 장

치인 프로젝터와 물체의 영역 정보를 얻기 위한 카메라 및 피사체를 이동 없이 제자리에서 회전시켜주기 위한 턴테이블로 구성되어 있다.



그림 1. 시스템 구성

Fig. 1. The system configuration

3차원 측정을 위하여 본 논문에서 사용하는 좌표계는 그림 2와 같이 측정 대상물에 대해서는 실세계 좌표계(x_w, y_w, z_w), 카메라를 위한 카메라 좌표계(x_c, y_c, z_c), 이미지는 이미지 좌표계(u, v)를 사용하고 마지막으로 프로젝터는 z_w 축인 1차원 좌표계를 사용하였다. 3차원 정보를 얻는 과정은 프로젝터에서 피사체를 향하여 격자무늬 패턴들을 사영한 후 카메라로 격자무늬 패턴들이 사영된 피사체의 영상을 획득한다. 그리고 획득된 이미지들에 대하여 영상 분할(Image Segmentation)을 통하여 피사체와 바탕을 구별한 후 물체들의 에지 정보를 추출한다. 그리고 추출된 에지들에 대하여 캘리브레이션된[10][11] 데이터를 이용하여 3차원 정보를 추출한다. 캘리브레이션 방법은 격자 발생기에서 빔을 캘리브레이션 평면에 사영한 후 대상물과 광선이 교차한 평면을 캘리브레이션 데이터로 저장한 후 삼각법을 이용하여 3차원 정보를 추출한다.

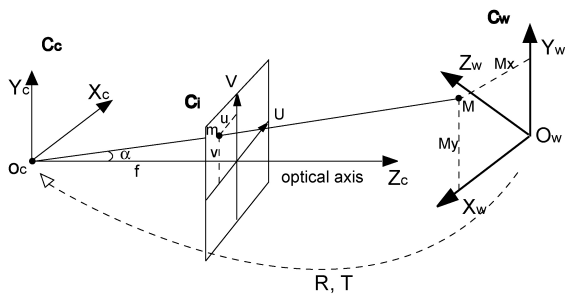


그림 2. 좌표 시스템
Fig. 2. The coordinate system

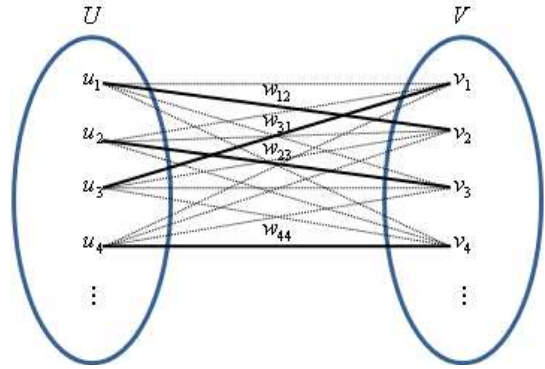


그림 3. 가중치 이분 분할 매칭
Fig. 3. Weighted bipartite matching

III. 최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭

3-1 가중치 이분 분할 매칭 그래프

가중치 이분 분할 매칭은 이분 분할 그래프에서 최대의 흐름이 되도록 온전한 짝맞춤(Complete Matching)을 하는 것이다[6][7][8][9]. 어떤 그래프 $G = (U, V, E)$ 가 이분 분할이라는 것은 그림 3에서와 같이 집합 U 와 집합 V 가 서로 공집합이고 두 집합의 각 변 $((U_i, V_j) \in E)$ 이 꼭지점 $U_i \in U$ 와 꼭지점 $V_j \in V$ 에 연결된 형태를 일컫는다. 만약 그래프 G 에 있는 각 에지가 가중치 w_{ij} 를 가지고 있으면 가중치 이분 분할 매칭이라 일컬어진다.

이분 그래프가 완전 이분 그래프(Complete Bipartite Graph)라는 것은 그래프 G 가 이분 분할이 (U, V) 일 때, U 의 각 꼭지점들이 V 의 모든 꼭지점들과 이웃하고 있음을 의미한다. U 가 m 개의 원소를 V 가 n 개의 원소를 가지고 있는 완전 이분 그래프를 $K_{m,n}$ 으로 표시한다. 특히 가중치 이분분할 매칭은 두 집합 원소 간에 관계가 없더라도 가중치를 0으로 조정함으로써 완전 이분 분할 그래프로 변환 가능하다.

이분 분할 매칭 알고리즘은 여러 개의 속성 정보를 매칭할 경우 각 속성 정보의 거리차가 적은 형태로 최대 흐름을 갖는 특징이 있다. 이분 분할 매칭은 U 와 V 두개의 노드(Node) 그룹에서 각 노드들의 거리 차의 합이 가장 적은 방법으로 최대 흐름(Max Flow)을 찾아내는 방법이다. 객체 영상 정보가 여러 개의 블록정보로 나누어져 있을 때 이분 분할 매칭을 이용하면 두 영상의 유사도가 가장 큰 값으로 최대 흐름이 이루어지고 이때 거리차를 얻게 된다. 거리차가 최소화 되는 영상은 두 영상에서 유사도가 매우 큰 것이 된다.

3-2 최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭

이분 분할 그래프 $G = (U, V, E)$ 에 있어서 그래프 G 중 매칭 집합 M 은 집합 E 의 부분 집합이다. 만약 그래프 G 가 가중치 이분 분할 그래프라면 최소 가중치 이분 분할 매칭은 집합 U 와 집합 V 를 연결하는 에지들의 가중치의 합이 최소화 되는 매칭 문제이다. 최소가중치 이분 분할 매칭 문제는 다음과 같이 모델링 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{(u_i, v_j) \in E} w_{ij} x_{ij} & (1) \\ \sum_{i=1}^{|U|} x_{ij} &= 1 \quad , \quad \forall j = 1, \dots, |V| \\ \sum_{j=1}^{|V|} x_{ij} &= 1 \quad , \quad \forall i = 1, \dots, |U| \\ x_{ij} &\in \{0, 1\} \end{aligned}$$

여기서 $x_{ij} = 1$ 은 최소 거리 기반 가중치 이분 분할에서의 에지(u_i, v_j)를 나타낸다.

최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭의 대표적인 알고리즘은 헝가리언 방법이다[8][9]. 이 방법의 기본 아이디어는 각각의 에지 값 중에서 최소 값을 공통적으로 감해도 최적화 흐름에는 영향을 미치지 않고 에지의 비용이 감소하는 방향으로 매칭되는 경우 완전한 정합이 된다는 관점에서 출발한다.

본 논문에서 이분 분할 매칭을 사용하는 목적은 거리차가 최소가 되는 에지들을 찾아내어 서로 매칭하는 것이기 때문에 에지의 가중치가 비용이 되고 그 비용이 최소화하는 방향으로 매칭하는 것이다.

본 논문에서는 4방향에서 획득한 영상을 편의상 슬라이스(Slice)라 칭한다. 즉 4방향에서 획득한 영상들은 S_1, S_2, S_3, S_4 로 표시된다. 각 슬라이스들에 대하여 3차원정보(x_w, y_w, z_w)를 계산한 후 먼저 앞면(S_1)에서 획득된 3차원 정보와 좌측면(S_2)에서 획득한 3차원 정보를 정합한다. 그리고 S_2 에서 획득한 3차원 정보와 S_3 에서 획득한 정보를 정합한 후 마지막으로 S_1 과 S_4 의 획득한 3차원 정보를 정합하여 완전한 3차원 체형 정보를 정합하였다.

4방향에서 획득한 이미지를 정합하는 과정에서 3차원 체형 정보의 특성상 서로 연결될 부위는 x_w, y_w, z_w 좌표 값의 급격한 변화가 없기 때문에 탐색 시간을 줄이기 위하여 y_w 값을 중심으로 각 슬라이스 y_w 축 끝점들을 순서적으로 색인하였다. 그리고 그림 4와 같이 $S_1(U)$ 에서 매칭될 $S_2(V)$ 의 후보로 색인된 순서를 중심으로 이웃하는 3개의 꼭지점들을 매칭 후보로 선정하였다.

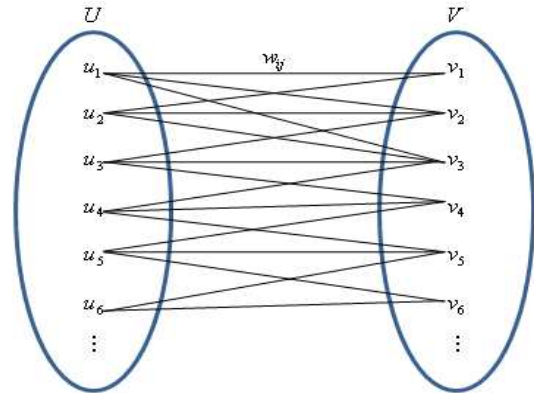


그림 4. 실험에 적용된 가중치 이분 분할 매칭
Fig. 4. Weighted bipartite matching applied a test

이웃하는 S_1 과 S_2 를 정합하기 위하여 각 슬라이스간 가중치(w_{ij})는 각 슬라이스에서 색인된 순서에 따라 다음 식 (2)에 의해서 구하였다. 식 (2)에서 좌표 값 사이에 가중치가 다른 것은 y_w 축을 중심으로 색인하였기 때문에 동일 매칭점이라면 y_w 축의 좌표 값이 차이가 없어야 하기 때문이다.

$$w_{ij} = 0.25|S_1(i_{x_w}) - S_2(j_{x_w})| + 0.5|S_1(i_{y_w}) - S_2(j_{y_w})| + 0.25|S_1(i_{z_w}) - S_2(j_{z_w})| \quad (2)$$

다음 식 (3)은 이웃하는 S_1 과 S_2 를 정합하기 위한 모델링으로서 식 (3)를 이용하여 S_1 상에 있는 점들과 S_2 상에 있는 점들을 서로 이분 분할 매칭하게 된다.

$$\begin{aligned} \text{if } i = 1, & \quad \sum_{j=i}^{i+2} w_{ij} x_{ij} \\ i < 1 < n, & \quad \sum_{i=i+1}^n \sum_{j=i-1}^{i+1} w_{ij} x_{ij} \\ i = n, & \quad \sum_{j=i-1}^i w_{ij} x_{ij} \\ x_{ij} & \in \{0, 1\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $x_{ij} = 1$ 은 최소 가중치 이분 분할에서의 에지(u_i, v_j)를 나타낸다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 사용한 비전 시스템은 1392×1024 해상도를 갖는 단색 VCC-870 CCD 카메라와 Matrox 이미지 보드, 그리드 패턴을 사영해주는 프로젝터로 구성되어 있으며 프로그램 개발환경은 Windows XP에서 Visual C++을 이용하였다. 카메라 캘리브레이션 파라미터 중 실험실의 공간 크기를 고려하여 카메라의 위치는 원점에서 z_w 축 방향으로 1825mm, 프로젝터는 원점에서 z_w 축 방향으로 1355mm만큼 떨어져 위치에 놓았다. 그리고 카메라는 프로젝터로부터 y_w 축으로 128mm만큼 떨어진 위치에 설치하여 실험하였다.

카메라의 가시영역으로부터 가려진 물체의 완전한 3차원 정보를 복원하기 위해서는 물체의 위치 변동 없이 카메라의 가시영역을 바꾸어야 한다. 본 연구에서는 가려진 물체의 3차원 정보를 복원하기 위하여 사람이 테이블 위에 올라간 후 테이블에 부착된 터치센서(Touch Sensor)를 이용하여 인체가 정방향이 된 경우에 패턴 빔 발생기에 신호가 전달되고 이 신호를 받아서 화상을 획득하게 된다. 이와 같은 과정을 4번 반복해서 4방향(정면, 후면, 왼쪽, 오른쪽) 인체 흉부 영상을 획득하였다. XY 엘리베이터 시스템 옆에 부착된 제어기는 패턴 빔 발전기의 경사각(Tilt Angle)을 조절하는 역할 및 테이블의 회전을 제어하는 역할을 담당한다.

인간 체형의 완전한 3차원 정보를 획득하기 위해서는 4개의 획득된 영상이 정합되어야 한다. 이미지 정합 알고리즘은 이분 분할 매칭법을 이용하는데 4방향에서 획득된 이미지를 영상 분할 후에 3차원 데이터를 획득한 후 각각의 3차원 정보에 대한 거리차를 가중치 즉 비용함수로 하여 비용 함수가 최소화되게 서로 매칭시켰다. 본 논문에서는 y_w 축을 중심으로 색인하여 색인순서에 따라 매칭 후보를 세 개씩 선정하였기 때문에 y_w 좌표 값에 가중치를 더 많이 주었다. 이 방법은 최적해에 빨리 수렴하고 비교적 쉽기 때문에 기존의 분지 한정법, 헝가리언법, 동적 계획법에 비해서 많은 장점을 지니고 있다.

표1은 기존 알고리즘들과의 탐색 효율을 비교한 결과를 나타낸다. 탐색 시간 계산은 3차원 데이터를

획득한 후 매칭 알고리즘이 시작되는 시점에서 매칭이 끝나는 시점까지의 시간이다. 그리고 매칭율은 MSE(Mean Square Error)를 이용하여 계산하였다. 매칭율이 대략 95%이상되면 매칭 오류를 시각적으로는 구분하기가 어려웠다. 하지만 탐색 시간은 이분 분할 매칭 방법이 다른 방법에 비해서 200 - 300%정도 줄이는 효과를 나타냈다.

표 1. 탐색 효율 비교

Table 1. Comparison of search efficiency(test number:100).

	Hungarian	분지 한정법	이동 비선형	이분 분할 매칭
매칭율	99.7%	99.85%	99.8%	99.5%
탐색 시간	2500ms	1800ms	2000ms	750ms

다음 그림 5,6,7,8은 정면, 좌측면, 뒷면, 우측면 등 4방향에서 인체를 테이블 위에서 90도씩 회전시켜가면서 획득한 영상 이미지, 이미지 분할 결과, 분할된 이미지에 대한 3차원 정보 추출결과를 나타내고 있다.

그림 9는 4방향에서 획득한 이미지를 이미지 분할과 3차원 정보추출 후에 서로 정합한 최종 결과를 나타내고 있다.

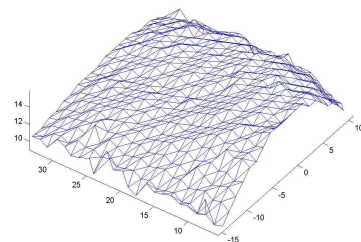
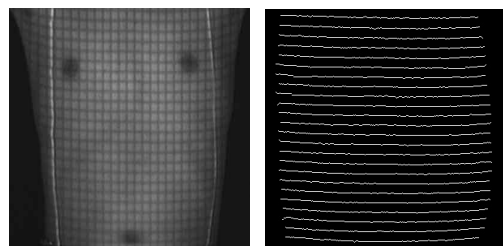


그림 5. 정면에서 3D 측정 결과
Fig. 5. The 3D measurement result in front side

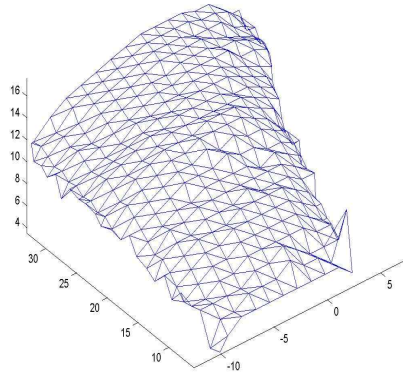
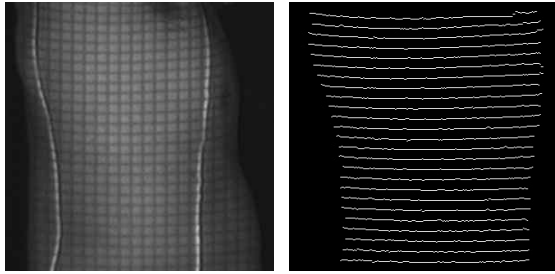


그림 6. 좌측면에서 3D 측정 결과
Fig. 6. The 3D measurement result in the left side

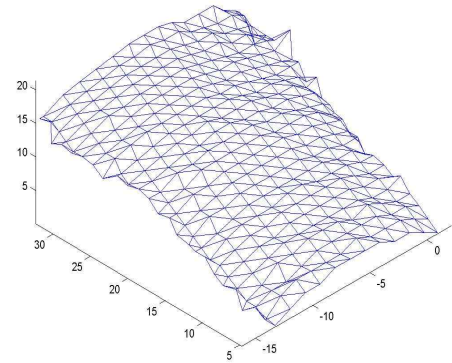
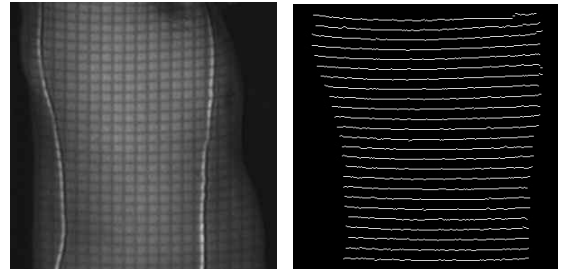


그림 8. 우측면 3D 측정 결과
Fig. 8. The 3D measurement result of the right side

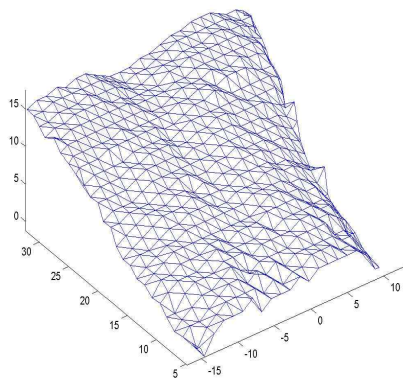
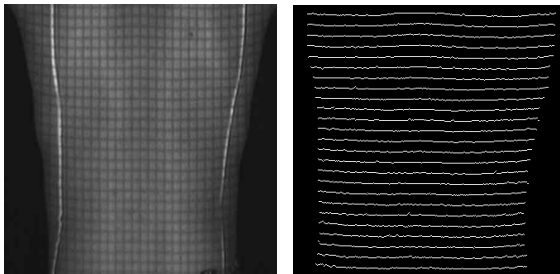


그림 7. 뒷면에서 3D 측정 결과
Fig. 7. The 3D measurement result in the back

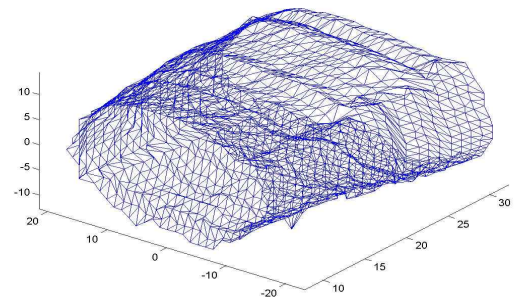


그림 9. 4방향에서 이미지 정합 결과
Fig. 9. The image merging result in the 4 direction

V. 결 론

본 논문에서는 3차원 영상을 정합하기 위하여 최소 거리 기반 가중치 이분 분할 매칭 방법을 사용하였다. 실험 결과 기존의 헝가리언법, 분지 한정법, 동적 계획법에 비해 효율적이고 해에 빠르게 접근하는 것을 확인 할 수 있었다. 제안한 방법은 정합 정확도가 99.5%로 기존 방법에 비해 0.2%정도 차이가 있지

만 탐색시간이 200 - 300%정도 줄어들기 때문에 아주 효율적인 방법이다. 인체의 체형 정보는 산업체에 서와 필요로 하는 정밀 가공 부품용 정보가 아니기 때문에 정합 정확도 보다는 탐색 시간이 중요한 역할을 한다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 측정 면적이 넓은 물체에 아주 유용한 방법이다. 향후에는 영상 정합 정확도를 개선하기 위하여 하이브리드 방법을 이용하여 3차원 정보의 정합 정확도를 높이는 연구를 할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Jarvis, "Range sensing for computer vision", in Three-Dimensional Object recognition Systems (A. K.Jain and P.J.Flynn,eds), Vol.1 of Advances in Image Communications, pp-17-56, *Amsterdam: Elsevier Science Publishers*, 1993.
- [2] V.Liario and A. B. Martnez, "Active methods for obtaining depth maps", in Computer Vision: Theory and Industrial Applications (C. Torras, ed.), Ch 3, pp 97 - 134, *Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag*, 1992.
- [3] Xiao-Wei Tu and Benarard Dubuisson, "3-D information derivation from a pair of binocular images" , *Pattern Recognition* Vol. 23 No. 3/4 p223 - 235, 1990
- [4] Richard O. Duda, Peter E. Hart and Davie G. Stork, "Pattern Classification Second Edition", *A Wiley-Interscience Publication*, pp 164-174, 2001
- [5] H. Bunke, and T. Glauser, "Viewpoint independent representation and recognition of polygonal faces in 3D", *IEEE Transaction on Robotic and Automation*, Vol. 9, No. 4, August 1993
- [6] Kenneth P. Bogart. "Introductory Combinatorics" *A Harcourt Science and Technology Company*, pp 291 - 358, 2000
- [7] Douglas B. West. "Introduction to Graph Theory", Prentice Hall, pp. 98 - 132, 1996
- [8] H. W. Huhn, " The Hungarian method for the assignment problem, " *Noval Research Logistics Quartely*, pp 83 - 97, 1955
- [9] Pravin M. Vaidya, "Geometry helps in matching", *Proceed Twentieth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 422 - 425, 1988
- [10] R. J. Valkenburg, A. M. McIvor, "Accurate 3D measurement using a structured light system" *Image and Vision Computing*, Volume 16, Issue 2, 20 February 1998, Pages 99-110
- [11] Fuqiang Zhou, Guangjun Zhang, "Complete calibration of a structured light stripe vision sensor through planar target of unknown orientations" *Image and Vision Computing*, Volume 23, Issue 1, 1 January 2005, Pages 59-67

주 기 세 (朱基世)



1988년 2월: 한양대학교 산업공학과 (공학사)
1992년 2월: Texas A&M Univ. 산업공학과(공학석사)
1996년 2월 고려대학교 산업공학과 (공학박사)
1997년 3월 - 현재: 목포해양대학교

해상운송시스템학부 정보시스템 전공 교수
관심분야 : 영상처리, 물류자동화, 통신 시스템

장 복 주 (장복주)



1995년 2월 : 조선대학교 기계공학과(공학사)
1998년 2월: 세명대학교 전자계산교육학과(공학석사)
2006년 8월: 목포해양대학교 정보시스템전공 박사과정 수료
관심분야 : 신호처리, 물류자동화,

통신시스템

장 택 준 (張澤俊)



1993년 2월: 고려대학교 산업공학과(공학사)
1995년 2월: 고려대학교 산업공학과(공학석사)
1997년 2월: 고려대학교 산업공학과 박사과정 수료

관심분야 : 데이터베이스, 지리정보 시스템, 신호처리

강 경 영 (姜敬映)



1987년 2월: 원광대학교 식품영양학과(이학사)
2001년 2월: 목포해양대학교 해상운송시스템학과(공학석사)
1996년 - 현재: (주)광양해운 대표
관심분야 : 신호처리, 통신 시스템, 물류 자동화