

표지를 이용한 새로운 그리드 레이블링 기법¹⁾

전희성

컴퓨터·정보통신공학부

<요 약>

알고 있는 2차원 패턴을 3차원 물체에 투사하여 얻은 2차원 화상을 이용하여 3차원 데이터를 계산하는 구조화 조명 시스템(structured light system)에서 투사 패턴면의 좌표 계산을 하는 그리드 레이블링(Grid Labeling)은 정확한 데이터를 얻기 위해서 매우 중요하다. 부정확한 패턴 좌표값은 삼각법(triangulation)에 의해 얻어지는 3차원 데이터의 정확도에 큰 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서는 투사 패턴의 정확한 좌표 계산을 위해 양방향 가중 그래프에 바탕을 둔 새로운 그리드 레이블링 기법을 제안하며, 또한 그리드 레이블링의 실패를 줄이기 위해 새로운 그리드 패턴을 고안하였다. 제안한 방법의 유용성을 보이기 위해 실험 결과를 포함하였으며 이 방법이 그리드 레이블링에 매우 효과적으로 동작함을 확인하였다.

A New Marked Grid Labeling Technique in Structured Light System

Jun, Heesung

School of Computer Engineering & Information Technology

<Abstract>

Correct grid labeling is very important in structured light system since the accuracy

1) 본 연구는 1996년도 울산대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

of the obtained 3D data is dependent on the obtained labels. A new grid labeling algorithm which uses bidirectional weight graph is described in this work. Bidirectional weight graph is constructed from the acquired image. Also a novel grid pattern is devised to reduce the difficulty in grid labeling. Experimental results are included to show the effectiveness of the developed method. Suggestions for the further work are included at the end.

1. 서 론

3차원 데이터를 얻는 여러 방법중의 하나로, 알고 있는 2차원 패턴을 3차원 물체에 투사하여 얻은 2차원 화상을 처리하여 3차원 데이터를 얻는 구조화 조명 방법(structured light system)^[1]이 있다. 이때 사용하는 패턴에 바둑판처럼 유사한 모양이 반복되어 나타날 경우 투사 패턴의 각 교점의 좌표값을 정확히 계산하는 방법을 그리드 레이블링(Grid Labeling)이라 한다. 좌표값이 정확히 구해지지 않을 경우 삼각법(triangulation)에 의해 얻어지는 3차원 데이터의 정확도에 큰 영향을 미치기 때문에 정확한 그리드 레이블링은 매우 중요하다.

본 연구는 구조화 조명을 이용하여 3차원 데이터를 획득하는 연구^[7]에서 파생된 것으로 연구의 진행 중 기존 그리드 레이블링 방법의 단점을 발견하고 이러한 문제점의 개선책으로 양방향 가중 그래프에 바탕을 둔 새로운 그리드 레이블링 방법을 제시하였으며, 또한 고립된 교점들에 대한 레이블링의 문제를 해결하기 위해 기존의 방식에 비해 빠르고 간편하면서 투사된 패턴이 끊기더라도 부분적으로 레이블링이 가능한 새로운 슬라이드 패턴을 고안하였다.

2절에서는 종래의 그리드 레이블링 기법에 대해 기술하며, 3절에서는 본 연구에서 제시한 새로운 그리드 레이블링의 방법 및 새로운 패턴에 대해 자세히 설명하였다. 제안하는 방법의 구현과 몇 가지 실험 결과가 4절에 기술되어 있으며, 마지막 절에는 본 논문에서 제시된 방법의 주요 특징과 앞으로의 개선방향에 대해 기술하였다.

2. 기존의 그리드 레이블링 기법

구조화 조명 방법에서의 그리드 레이블링 문제는 스테레오 비전에서 가장 어려운 문제인 대응점 문제(correspondence problem)와 본질적으로 동일하며, 이 문제는 2차원 화상에 나타나는 투사된 패턴의 점과 슬라이드 패턴 상의 대응점을 찾는 문제라 할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 많은 기법들이 개발되어 왔다.

Le Moigne와 Waxman^[2]은 수평선과 수직선으로 구성된 바둑판 모양의 패턴에 몇 개의 표지(marker)를 사용하여 그리드 레이블링 문제를 해결하고자 하였다. 그들은 먼저 표지를

찾고 그 표지로부터 수직 또는 수평선의 수를 세어 이웃한 교점들의 좌표값을 계산하였다. 투사된 곡선을 추출하는 데 LoG (Laplacian of Gaussian) 연산자가 사용되었으며, 각 직선 모양의 투사된 곡선을 더 정확히 찾는 데 허프(Hough) 변환이 이용되었다. 투사된 곡선이 끊어지거나 교점이 없는 경우 레이블링에 잘못이 있을 수 있으므로 전체적인 이완 절차(global relaxation procedure)가 사용되었다. 그들의 사용한 방법은 패턴의 크기가 그리 크지 않으며, 몇 개의 표지를 어떻게 배치하는가에 대해서 언급하지 않은 비조직적인 방법이다.

Hu와 Stockman^[3]은 Marr와 Poggio의 유일 및 연속 제약조건(uniqueness & continuity constraint)을 확장한 기하학적 및 위상학적 제약조건(geometric & topological constraint)을 이용하여 레이블링 문제를 해결하는 방법을 제시하였다. 몇 단계의 처리과정을 거쳐 각 교점은 여러 개의 후보 좌표값을 가지게 된다. 교점에 대한 (u, v)의 후보 좌표값 중 이웃 교점의 (u, v) 값과 연속성이 없는 것들을 하나씩 제거해 나가는 방법으로 해를 구하되, 최종적으로 복수 개의 해가 존재할 경우, 그 값을 이용하여 3차원 좌표의 값을 먼저 구하여 그 값을 2차원 화면 상으로 투사하여 각 이미지의 부분이 서로 겹치지 않는 좌표 값의 집합을 해로 채택하는 방법을 사용한다. 그들의 방법은 몇 가지 단점이 있는데, 그리드 패턴의 크기가 16×14로 한번에 얻을 수 있는 데이터의 개수가 많지 않고, 제약 조건을 만족시키는 지 확인해야 하는 과정 때문에 처리 시간이 많이 걸리며, 모든 제약 조건을 다 만족시키는 해가 유일하게 나오지 않을 경우에 대한 대책이 없다는 점 등이다.

Keizer와 Dunn^[4,5]은 위의 두 기법을 조합하여 그리드 레이블링 문제를 해결하였다. 그들은 표지와 인접한 교차점들의 정보를 이용하여 가중 그래프를 얻고 이것을 이용하여 좌표값을 구하였다. 그들의 방법은 표면이 완만하게 이루어진 물체에 대해서는 그리드 레이블링이 비교적 잘 되는 편이지만, 서로 떨어진 여러 개의 물체로 이루어진 장면에 대해서는 레이블링에 실패하여 데이터를 얻기가 힘들다는 단점이 있다. 그러나 사용하는 패턴의 크기가 비교적 크므로 한번에 많은 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있다.

Vuylsteke와 Oosterlinck^[6]는 체스보드 형태의 패턴에 각 정사각형의 꼭지점 부근에 밝거나 어두운 점을 의사 잡음(pseudo-noise)의 형태로 배치한 패턴을 사용하여 부분적인 비트 패턴으로부터 바로 그리드 좌표값을 결정할 수 있게 하였다. 오류 수정 이진 코드(error-correcting binary code)를 이용하여 각 교점의 레이블링의 잘못을 줄일 수 있었다. 그들의 방법은 패턴을 만들기가 쉽지 않다는 단점을 갖고 있다.

3. 새로운 그리드 레이블링 방법과 패턴의 고안

3.1 새로운 방법의 제안

앞 절에서와 같이 여러 그리드 레이블링 방법이 제시되었으나 각각 단점이 있어, 본 논문에서는 다음과 같이 Keizer의 방법을 수정 및 보완하는 그리드 레이블링 방법을 사용하였다.

본 논문에서 데이터를 얻을 때 사용한 그리드 슬라이드 패턴은 Keizer가 사용한 패턴을 수정한 것이다. 그림 1은 Keizer의 원패턴과 본 논문에서 사용한 수정패턴의 차이점을 대비하여 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 Keizer의 원패턴은 표지가 위치한 부분의 사각형의 크기가 다른 부분과 차이가 있는 등 패턴이 균일하지 않다. 또한 '十'와 '×'자 형태의 교점만 추출할 수 있는 알고리즘을 사용하였기 때문에 'T'자 형태의 교점과 표지 부분에 대해서는 데이터를 얻을 수 없다. 반면 수정 패턴은 패턴이 균일하고 데이터를 얻을 수 있는 부분이 Keizer의 패턴보다는 더 많다는 것을 알 수 있다.

바둑판 같은 이 패턴에서 수 많은 교점의 좌표를 쉽게 표현하기 위해 그림 2와 같이 u, v 좌표계를 정의한다. 좌표계의 원점($u = 0, v = 0$ 인 점)과 u, v 가 0 또는 -1인 점들은 각 점의 부근에 표지가 존재하기 때문에 다른 점들과 쉽게 구분할 수 있다.

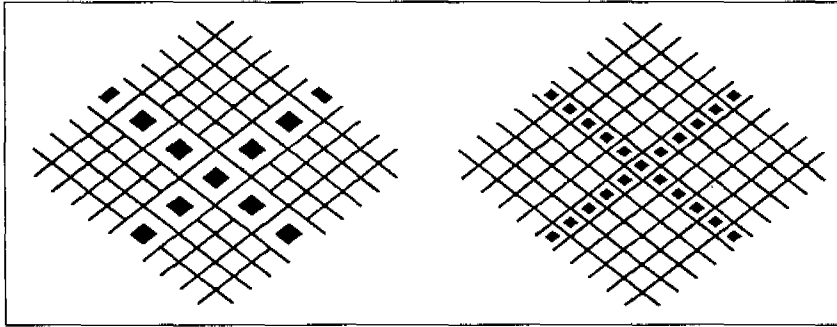


그림 1. Keizer의 원패턴(왼쪽)과 본 논문에서 사용한 수정패턴(오른쪽)
(부분만 나타내었음)

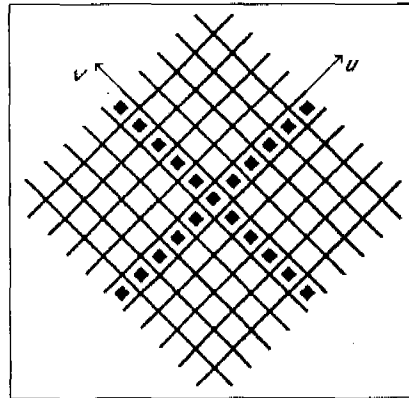


그림 2. 투사 패턴의 u, v 좌표계

Keizer는 표지의 위치와 투사 패턴의 곡선들 간의 인접성이라는 두 가지 제약 조건을

이용하여 각 교점에 좌표 값을 할당하는 방법^[4,5]을 사용하였다. 교점의 각 좌표값은 다음의 5 단계를 거친 후 할당된다.

1. 이웃하는 교점들의 목록을 만든다.
2. 표지의 위치를 찾는다.
3. 같은 u, v 좌표값을 갖는 교점끼리 그래프를 만든다.
4. 가장 긴 경로를 계산한다.
5. 각각의 좌표축을 따라 u, v 값들을 부여한다.

예를 들어 교점간의 연결 관계를 나타내는 그림 3에서 숫자는 각 교점의 고유번호이고 영문자 u 와 v 는 u 또는 v 좌표값이 같은 교점들의 그룹을 나타내었다. 예를 들어 그룹 u_1 은 점 2, 3, 5, 8로 구성되며 이 점들은 모두 $u = 3$ 이다.

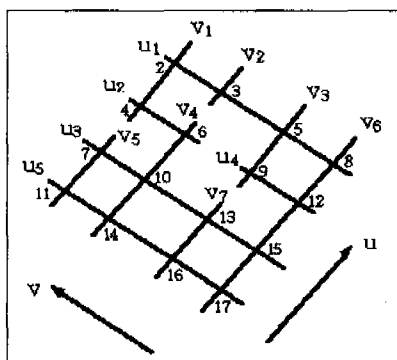


그림 3. 교점의 연결 관계

그림 3을 그래프의 형태로 표시한 것이 그림 4이며, 각 노드는 u 또는 v 값이 같은 점들의 집합을 나타낸다. 그림 4의 왼쪽 그래프에서 u_5 노드가 $u = 0$ 이면 모든 u 노드의 u 좌표값을 구할 수 있으며 u_4 노드와 u_1 노드의 연결이 끊어지더라도 모든 노드의 좌표값을 얻을 수 있다. 그러나, u_3 노드와 u_4 노드의 연결이 끊어지게 되면 u_4 노드의 u 좌표값은 구할 수 없게 된다. 어떤 경로를 통하더라도 u_4 노드로 갈 수 있는 길이 없기 때문이다.

이런 경우 u_4 노드에 속한 모든 교점들의 u 좌표값은 구할 수 없게 되고 따라서 3차원 데이터를 얻을 수 없게 된다. 이러한 방법의 단점은 단방향 연결 그래프 대신 양방향 연결 그래프를 사용하여 레이블링을 하도록 하면 쉽게 해소할 수 있다. 즉 앞의 예에서 u_3 노드와 u_4 노드의 연결이 끊어지더라도 u_5, u_3, u_2, u_1, u_4 노드의 순서로 u_4 노드까지 다다를 수 있으며, 그래프의 지선(branch)을 따라 각 노드를 방문할 때 u, v 값의 증가 방향으로 움직일 때는 양의 값, 감소 방향으로 움직일 때는 음의 값을

더하면 방문하는 노드의 u, v 좌표값은 쉽게 계산될 수 있다.

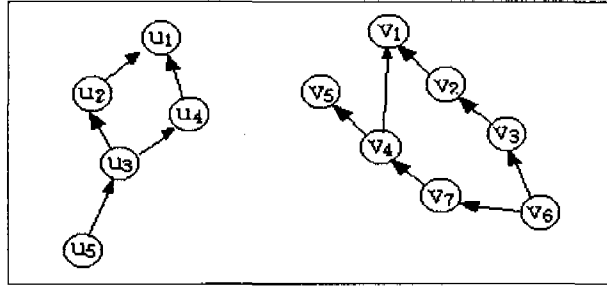


그림 4. 그래프로 나타낸 가상의 데이터

3.2 새로운 패턴(13-표지-패턴)의 고안

위에서 제안한 레이블링 방법을 사용하더라도 이 방법으로 얻을 수 있는 u, v 좌표값에는 한계가 있으며, 투사된 곡선이 어떤 이유에서든 u 또는 v 값을 알고 있는 점으로부터의 연결이 모두 끊어지게 되면 레이블링에 실패하게 된다는 약점이 있다. 카메라로부터 물체에 이르는 거리(depth)에 급격한 변화가 있거나, 그림자가 있는 경우, 또는 화상처리의 이치화 과정에서 연결이 끊어지는 경우가 생길 수 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 그림 5와 같이 13개의 표지를 사용하는 패턴(13-표지-패턴이라 함)을 고안하고 이에 따라 레이블링 알고리즘도 일부 수정하였다. 이 패턴은 Keizer의 수정 패턴과 조금 유사한 형태를 가지고 있다. 수정 패턴이 하나의 원점을 사용하여 레이블링을 하는 데 비해, 새 패턴은 이미 (u, v) 값을 알고 있는 점 5개로부터 각각 레이블링이 시작되도록 할 수 있다. 이 패턴에서도 그리드 좌표계의 원점은 앞에서와 마찬가지로 점 a 이며 직선 ag 가 u 축, 직선 ae 가 v 축이 된다. 또한 점 e, g, i, k 의 u, v 좌표값은 어떤 특정한 값으로 이미 정해져 있다. (그림 5는 모양을 설명하기 위한 그림으로 실제로는 점 a 와 점 e 의 실제 v 좌표값이 10만쯤 차이 나도록 되어 있음.)

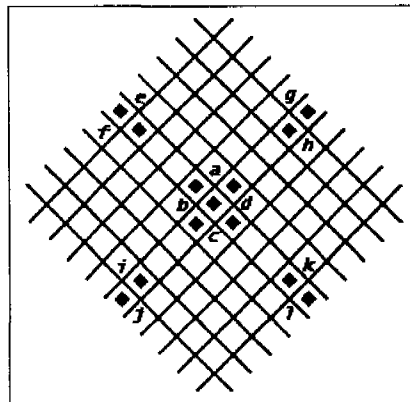


그림 5. 새로 고안한 그리드 패턴

- 점 a, b, c, d는 이웃에 사각 표지가 세 개씩 있고 각각 나타나는 위치가 다르므로 각 점들을 유일하게 결정할 수 있으며, 따라서 u, v 값들도 쉽게 구할 수 있다.
- 또한 교점 e - k는 모두 이웃에 표지가 두 개씩 있으므로 인접한 표지정보만을 사용하면 유일하게 결정할 수는 없으나, 각 교점들이 나타나는 화면상의 행과 열 값을 보조 제약조건으로 사용하면 유일하게 좌표값을 결정할 수 있다. (예를 들어 점 e와 k의 왼쪽과 아래쪽에는 똑같이 표지가 존재하므로 서로 구분하기 힘들으나, 점 e의 행과 열은 각각 점 k의 행과 열보다 작은 값일 것이므로 서로 구분이 가능하다.)
- 따라서 이 패턴에 나타나는 특별한 점 a - k의 좌표값을 이용하면 그 점들에 인접한 점들의 u, v 좌표값들은 쉽게 구할 수 있을 것이다.

Keizer의 원 패턴 또는 Keizer의 수정 패턴에서 사각형 표지를 'x'자형으로 많이 배열한 주 이유는 u 또는 v 축을 쉽게 찾아내도록 하여 좌표 계산에 도움을 주기 위한 것이다. 그러나 각 축상의 교점들은 똑같이 부근에 표지가 두 개씩 있으므로 서로 구분하기가 어렵다. 즉 필요 이상으로 많은 잉여 정보(redundant information)는 좌표 계산에 별로 도움을 주지 못한다는 점이다. 새로운 이 13-표지-패턴에서 사용하는 표지의 개수는 Keizer 패턴의 표지 개수보다 많이 줄어들어 좌표값을 결정하기가 더 쉬워졌으며, 또한 극부적인 레이블링에도 효과를 발휘할 것이라는 생각에 바탕을 두고 이 패턴을 고안하게 되었다. 이 새로운 패턴의 효과는 다음 절의 실험결과에서 예시한다.

4. 구현과 실험 결과

이상 제안한 방법의 효과를 실험하기 위해 필요한 모든 처리 과정 및 그리드 레이블링 프로그램을 Solaris 2.4 운영체제를 사용하는 현대 Axil 311 Workstation에서 C 언어로 구현하였다.

4.1 레이블링 알고리즘의 효용성 실험

제안한 방법이 제대로 동작하는 지 확인하기 위해 컴퓨터에서 사용하는 소형 스피커에 그림 2의 패턴을 투사하고 획득한 화상을 그림 6에 표시하였다. 그림 6의 화상을 이용하여 이치화, 세선화, 교점 추출 등의 과정을 거치면, 각 교점과 이웃 교점과의 관계와 부근에 표지가 존재하는 지 알 수 있다. 각 교점과 이웃 교점간의 관계가 관계가 제대로 구해졌는 지 확인하기 위해 화상으로 재구성한 것을 그림 7에 나타내었다.

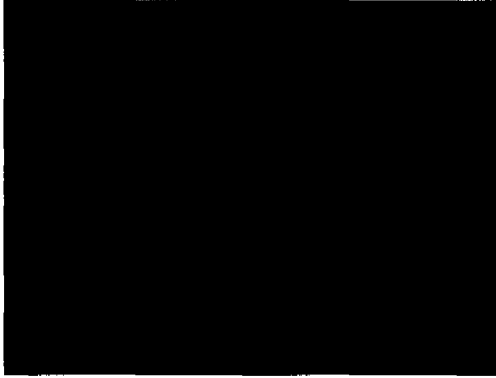


그림 6. 구조화 조명을 사용한 화상의 예
(컴퓨터스피커)

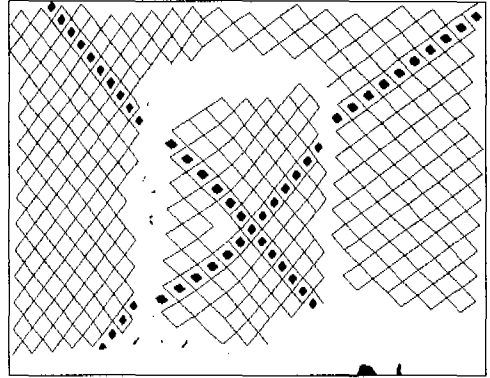


그림 7. 교점간의 관계로부터 재구성
하고 표지를 중첩시켜 만든 화상

이렇게 구한 데이터에 대해 Keizer의 레이블링 방법으로 구한 교점의 좌표값을 사용하여 재구성한 것을 그림 8에 나타내었으며, 본 논문에서 제안한 새로운 레이블링 방법으로 구한 교점의 좌표값을 사용하여 재구성한 것을 그림 9에 나타내었다.

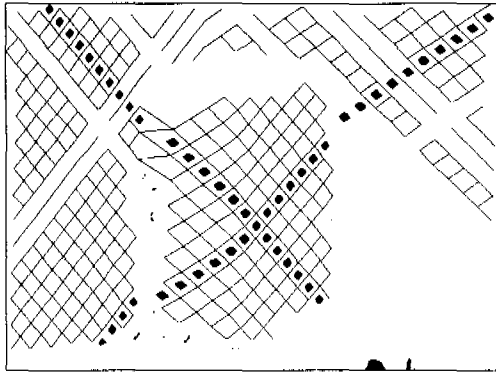


그림 8. Keizer의 레이블링 방법으로 얻은
좌표로부터 재구성한 화상

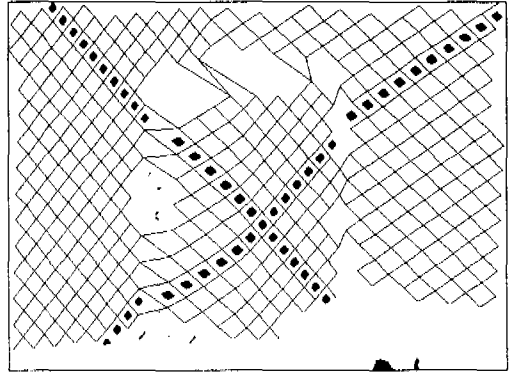


그림 9. 새로운 레이블링 방법으로 얻은
교점좌표로 재구성한 화상

앞의 두 그림에서 알 수 있듯이 Keizer의 방법으로는 상당히 많은 부분이 레이블링에 실패하는 반면 새로 제안한 방법은 매우 효과적으로 동작함을 확인할 수 있다. Keizer의 레이블링 방법이 많은 부분 실패하는 이유는 앞에서 기술한 대로 우하 부분의 경우 올바른 u 좌표값을 얻을 수 없기 때문이다.

그림 10에 새로운 레이블링 방법으로 얻은 좌표값을 이용하여 얻은 스피커의 3차원 데이터로부터 재구성한 것을 서로 다른 두 각도에서 보였다.

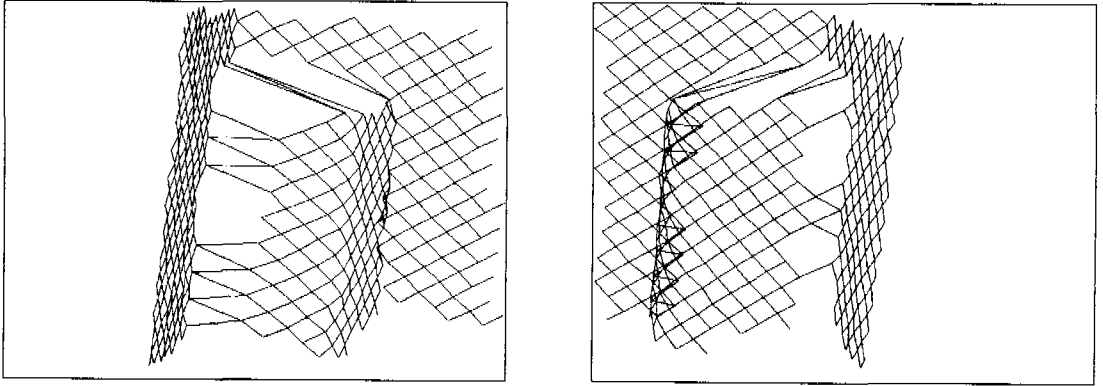


그림 10. 계산된 3차원 데이터를 이용하여 재구성한 것을 다른 두 각도에서 본 것

4.2 새로운 패턴을 이용한 실험

앞의 3절에서 그리드 레이블링이 제대로 되는 지 쉽게 확인하기 위해 교점의 상호 관계를 쉽게 알 수 있는 간단한 인위적인 데이터를 만들어 이 데이터에 대해 수정된 프로그램을 사용하여 모의 시험을 하였으며 그 결과 레이블링은 성공적으로 동작하였다. 이에 따라 새로운 패턴의 효과를 보일 목적으로, 원기둥 2개와 1개의 육면체를 포함한 장면에 대해 Keizer의 수정패턴과 새 패턴을 사용하여 화상을 획득하였으며, 얻은 화상을 이치화한 결과가 그림 11과 그림 12에 각각 표시되어 있다.

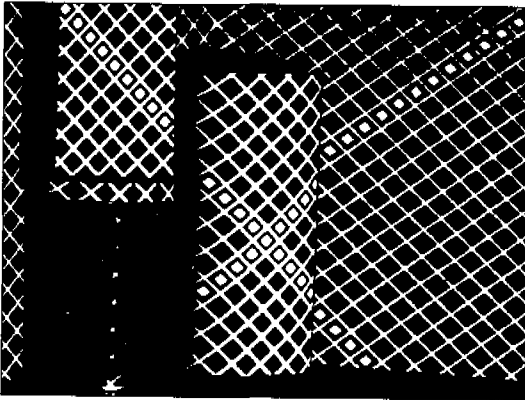


그림 11 .Keizer의 수정패턴을 사용하여 얻은 화상의 이치화 결과

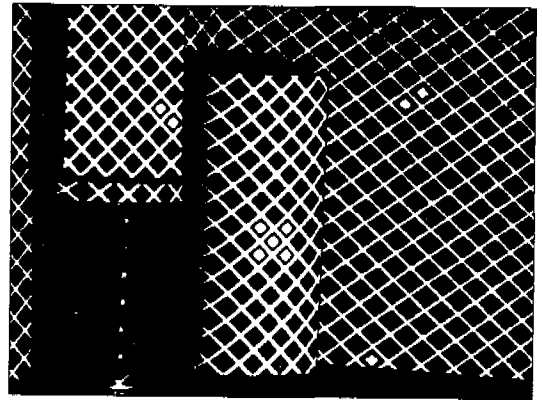


그림 12. 새로 고안한 패턴을 사용하여 얻은 화상의 이치화 결과

그림 13에는 기존의 패턴을 사용하여 데이터를 얻은 경우를, 그림 14에는 새로운 패턴을 사용하여 데이터를 얻은 경우를 각각 도시하였다. 이 두 그림에서 확인할 수 있듯이 새로운 패턴을 사용하는 것이 올바른 레이블링에 큰 도움이 되는 것을 알 수 있다.

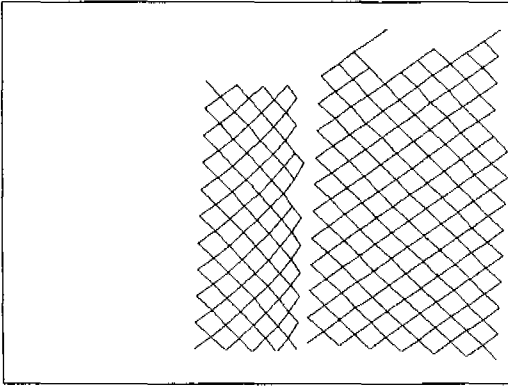


그림 13. Keizer의 수정패턴을 사용하여 얻은 데이터

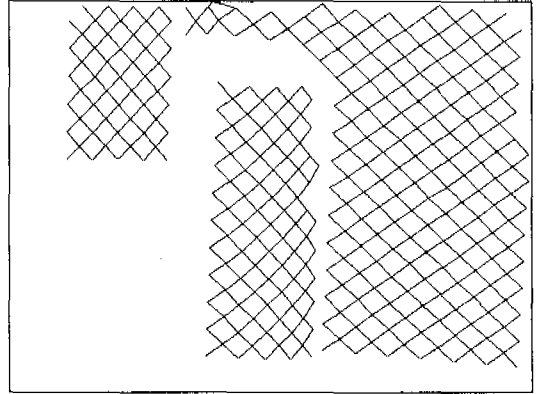


그림 14. 새로 고안한 패턴을 사용하여 얻은 데이터

5. 결 론

구조화 조명을 이용한 3차원 데이터의 획득 방법에서 올바른 그리드 레이블링은 차후에 계산될 3차원 데이터의 정확도에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 단계이다.

본 논문에서는 그리드 레이블링의 오차를 줄일 수 있으며 기존의 방법으로 레이블링을 할 수 없는 부분을 더욱 줄이는 새로운 그리드 레이블링 기법을 제안하였다. 또한 새로운 그리드 패턴을 고안하여 그 효과를 모의 시험 데이터와 실제의 화상에서 데이터를 얻도록 하여 시험하였다. 시험 결과 이 새로운 패턴은 그리드 레이블링에 매우 효과적임을 입증하였다.

앞으로의 연구과제는 Hu와 Stockman이 사용한 방법^[3]을 본 논문에서 제안한 방법에 부분적으로 함께 사용하여, 시각 좌표값이 없는 부분의 점들도 좌표값을 쉽게 얻을 수 있는 방법의 구현 등이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995
- [2] J. J. Le Moigne and A. M. Waxman, "Structured light patterns for robot mobility", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1988, vol. 4, no. 5, pp 541-548

- [3] G. Hu and G. Stockman, "3-D surface solution using structured light and constraint propagation", *IEEE Trans. on PAMI*, 1989, vol. 11, no. 4, pp 390-402
- [4] S. M. Dunn and R. L. Keizer and J. Yu, "Measuring the area and volume of the human body with structured light", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1989, vol. 19, no. 6, pp 1350-1364
- [5] R. L. Keizer and S. M. Dunn, "Marked grid labeling", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1989, pp 612-617, IEEE Computer Society Press
- [6] P. Vuylsteke and A. Oosterlinck, "Range image acquisition with a single binary-coded light pattern", *IEEE Trans. on PAMI*, 1990, vol. 12, no. 2, pp 148-164
- [7] 전희성, 박재홍, 고문석, "구조화 조명을 이용한 3차원 데이터의 획득 방법", 울산대학교 광학연구논문집 제28권 제1호, 1997.