# Structured Light를 이용한 왜곡된 문서 영상 복원에 관한 연구

곽 규 섭, *채 옥 삼
경희대학교 전자계산공학과

# A Study of Distorted Document Image Restoration using Structured Light

KyuSeob Kwak, OkSam Chae
Dept. of Computer Engineering, KyungHee University
E-mail : foxxe@hotmail.com

## Abstract

This paper describes the implementation of document image restoration system for the geometric distortion using structured light. To get accurate document images, the bounded book must be flattened by pushing down the book with a class plate. However, most of ancient documents are too fragile to be pushed. The proposed system restores the distorted character image due to geometric distortion.

## I. 서론

최근에는 컴퓨터의 발전과 더불어 종이로 된 문서들을 디지털화하여 좀더 편리하게 관리하고 이용하고자 하는 노력중의 하나가 바로 EDMS (Electronic Document Management System) 분야이다. 따라서 문서를 빠르게 입력받아 전자문서의 형태로 만들어 저장, 관리하는 기술의 필요성이 대두되었다. 또한 입력된 영상에 포함된 잡음이나 왜곡을 제거하여 가독성이 높은 문서로 변환하는 기술의 필요성도 증가되고 있다[3]. 이러한 연구들은 주로 바르게 펴놓은 문서를 찍은 영상으로 기하학적인(geometric) 왜곡이 없는 경우를 대상으로 하고 있다. 그러나, 부서지기 쉬운 고문서의 경우에는 문서의 훼손 우려 때문에 문서에 힘을 가해서 바르게 펼 수가 없어서 그로 인한 글자의 찌그러짐이 발생한다. 이러한 상황에서 입력된 디지털 문서의 가독성을 높이기 위하여 문서의 기하학적인 성질을 파악하여 문자의 왜곡을 복원하는 방안에 대한 연구가 필요하다[4].

본 연구에서는 이를 위해서 문서에 직선 빔을 비추어 문서의 기하학적인 구조를 간단하게 측정할 수 있는 방안과 측정된 정보를 바탕으로 왜곡된 글자들을 복원하기 위한 방안을 제안한다. 측정하고자 하는 주요한 기하학적인 정보는 카메라로부터 글자까지의 거리를 나타내는 깊이 정보이다. 따라서 본 연구에서는 structured light[1]를 이용하는 간단한 깊이 측정방안을 제안하고, 신속한 왜곡 복원을 위해서 특별히 고안된 워핑(warping) 방안을 제시한다.

## II. 본론

### 2.1 시스템 개요

제안된 시스템의 기본 아이디어는 그림 1에 제시된 것처럼 직선 빔을 생성할 수 있는 광원과 문서 그리고 카메라를 적절히 배치함으로서 문서의 깊이차이가 입력영상에서 직선빔의 왜곡으로 나타나도록 하는데 있다. 이 경우 직선빔의 왜곡의 정도를 측정하면 문서에서 각 점의 깊이를 구할 수 있게 된다.

기존의 structured light를 이용한 시스템들은 모든 점의 깊이 정보를 파악하기 위하여 많은 structured light를 사용해 연산에 많은 시간이 소요되는 작업을 수행해 왔다. 그러나, 본 연구는 고문서를 입력할 수 있는 독립적인 장치를 개발하기 위한 간단하고 신속한 입력알고리즘의 개발을 목표로 하고 있어 입력환경을 임의로 설계하여 계산을 단순화하고 시스템의 생산비

를 줄일 수 있는 방향으로 입력환경을 조정하였다. 문서로부터 얻어낸 영상은 수평방향으로 많은 왜곡현상이 발생하지만 수직방향으로 거의 왜곡이 발생하지 않는다. 이 경우에 책의 상단과 하단이 같은 기하학적인 구조를 갖게되고, 영상의 모든 점에서 깊이 정보를 구하는 대신 책의 한 단면의 깊이 정보를 구하면 된다.

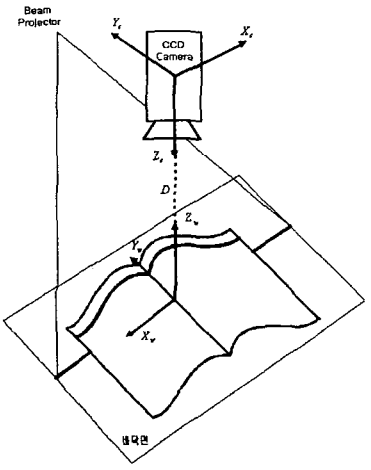


그림 1 동작 환경 설정

그림 2는 조성된 입력환경에서 입력된 영상의 기본 구조를 보여주고 있다. 그림 2에서 직선$y_s$은 직선빔이 World Coordinate(WC)의 $XY$평면에 반사될 때의 영상이고, 곡선$y_i$은 책에 직선빔이 반사될 때의 영상이다. 제안된 시스템에서는 직선으로부터 곡선까지의 거리$d$를 측정하여 이를 바탕으로 책단면의 높이를 구한다.

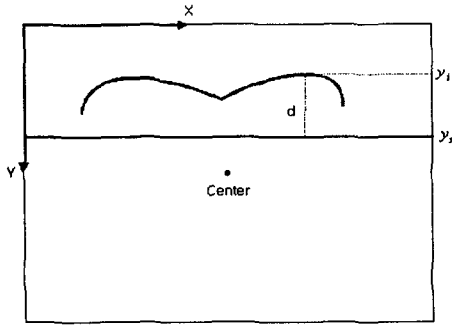


그림 2 이미지에서의 $y_s$와 $y_i$

높이를 구하고 이를 바탕으로 영상왜곡을 보정하는 과정은 그림 3에 제시되었다. 먼저 입력영상에서 빔의 궤적을 추출하고, 이를 바탕으로 책단면의 높이를 구한 다음, 각 화소의 위치에서 워핑(warping)을 위한 확대비율을 계산하여, 영상을 복원한다. 물론 높이 측정을 위해서는 카메라의 초점거리, WC와 Camera Coordinate(CC)의 관계, Beam Source와 WC와의 관계를 나타내는 정보가 필요하다. 본 장에서는 이러한 과정들을 차례대로 알아본다.

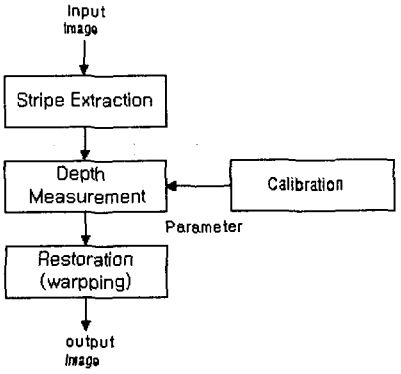


그림 3 제안된 시스템의 구조

## 2.2 동작환경 및 수학적 모델

WC와 CC는 그림 1에 제시된 것처럼 카메라의 중심이 WC상의 (0,0,D)에 있고, 보는 방향은 WC 의 원점이 되도록 위치시킨다. 이 경우 WC와 CC와의 관계는 다음 식으로 주어진다.

$$\vec{X}_c = -\vec{X}_w \qquad \vec{Y}_c = \vec{Y}_w \qquad \vec{Z}_c = -\vec{Z}_w \tag{1}$$

디지타이제이션 하고자 하는 문서는 윗면은 정확하게 WC의 $X$축과 평행하도록 위치시키고, 직선빔도 WC의 $X$축과 평행하도록 위치시킨다. 카메라는 피사체의 중심에서 이미지를 얻을 수 있는 위치에 설치되어 있고 stripe은 문서의 정보가 없는 상단부에 비추어질 수 있도록 위치를 조정한다. 이 경우 책을 놓지 않고 입력된 직선빔의 영상과 책을 놓고 입력된 직선빔의 영상은 그림 2와 같게 된다. 책의 상단과 하단의 깊이가 같다고 가정하면 하나의 $X$좌표에 대해서 하나의 높이가 구해지면 된다. 그림 4는 WC상의 임의의 점 $P(X,Y,Z)$에서 반사되는 점의 영상의 $Y$축상의 위치 $y$, 빔이 WC의 $XY$ 평면에 맺혔을 때 $Y$축상의 위치 $y_s$와 이것의 입력영상에서의 위치 $y_s$, 빔과 $Y$축과 만나는 각도 $\theta$와의 관계를 표시하고 있다.

그림 4에서 P점과 바닥면에 stripe의 위치 $Y_s$와 $Y$를 2D 영상으로 투영하기 위한 수식은 아래 식 (2)과 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{y_s}{f} = \frac{Y_s}{D} \tag{2}$$

$$\frac{y}{f}=\frac{Y}{D-Z} \tag{3}$$

위 식에서 $f$는 카메라의 초점거리이지만 $Y_s$의 단위는 mm이고 $y_s$의 단위는 화소임을 반영한 값을 갖게 된다. stripe과 WC의 $XY$평면과 만나는 각도는 식 (4)로 표현된다.

$$Z=(Y-Y_s)\tan\theta \tag{4}$$

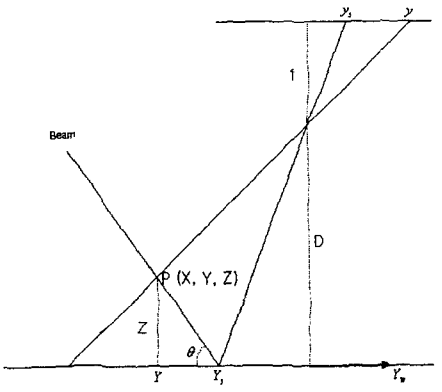


그림 4 World 좌표에서 이미지로 변환

## 2.3 초기화

식 (1), (2), (3)으로부터 임의의 점의 P의 높이 $Z$를 구하기 위해서는 파라메타 $f$, $\theta$, $D$를 결정해야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 초기화 과정을 거쳤다.

i) 그림 1의 입력장치에 아무 것도 놓지 않은 상태에서 WC상에서 빔이 반사되는 위치 $Y_s$를 측정하고 영상에서의 위치 $y_s$를 계산한다.

ii) 입력장치 위에 높이 $H$인 판자를 놓고 i)와 같은 방법으로 판자위서 빔의 위치 $Y$와 이것의 영상에서 위치 $y$를 측정한다.

iii) 식 (4)에 i)와 ii)에서 구한 값을 대입하여 $\theta$를 구한다.

$$\theta=\tan^{-1}\frac{H}{Y-Y_s} \tag{5}$$

iv) 마찬가지 방법으로 $f$와 $D$를 구한다.

$$f=\frac{H}{\frac{Y_s}{y_s}-\frac{Y}{y}} \tag{6}$$

$$D=\frac{Y_s H}{y_s(\frac{Y_s}{y_s}-\frac{Y}{y})} \tag{7}$$

## 2.4 Stripe extraction

기존에 문서영상에 투영된 stripe 성분에서 문서표면이나 광원으로 발생되는 잡음을 최소화하며 stripe의 중심만을 추출하는 알고리즘으로 Moving window average[2]가 있다. 그러나, stripe이 끊어지거나 경사도가 심한 경우에 stripe가 끊어져 버리는 경우가 발생하는 데 이에 대한 보완이 필요하다. 제안하는 방법으로 만약 열에 화소값이 존재하지 않을 경우에 이전의 중심값을 가져오는 방법을 사용한다.

$$y[x]=\sum_{r=r_c-W/2}^{r_c+W/2} r\frac{I(x,r)}{I_x} \tag{8}$$

여기서 $I_x=\sum_{r=r_c-W/2}^{r=r_c+W/2} I(x,r)$, $r_c$는 이전 단계에서 얻어진 stripe의 중심이다. 단 $I_x$가 0일 경우는 이전 단계에서 얻어낸 중심값으로 대체한다.

## 2.5 깊이 측정

이전에 초기화 단계에서 구한 parameter를 가지고 문서 표면에 투영된 stripe에 대한 3차원 깊이 정보를 구하는 단계이다.

깊이 정보는 stripe이 반사되는 위치에서 책의 높이를 구하게 된다. 본 연구에서 $X$축에서는 책의 높이변화가 없다고 가정했기 때문에 각 $X$값에 대해서 하나의 높이가 구해진다. Stripe 상의 임의의 점 P(X,Y,Z)의 높이를 영상에서의 $y$값을 이용하여 구하는 식은 식 (3)을 Y에 대해서 정리하여 식 (4)에 대입하고 이것을 Z에 관해서 정리하면 아래와 같이 표현된다.

$$Z=\frac{(DY-Y_s f)\tan\theta}{f-Y\tan\theta} \tag{9}$$

Stripe이 반사되는 책의 높이는 영상에서 추출된 stripe의 궤적을 추적하면서 각 화소의 $y$값을 식 (9)에 대입하여 간단하게 얻을 수 있다.

## 2.6 Warping 기반 영상 복원

이전 단계에서 얻은 3차원 공간상의 깊이 정보를 가지고 사용자가 최적의 가독성을 가질 수 있는 형태로 복원시키는 단계이다. 전 단계에서 계산된 높이 값을 그래프로 표현하면 그림 5와 같다.

그림에서 $X$축과 $Z$축을 화소단위로 표현했을 경우, 영상에서 한 화소로 나타나는 영역의 3차원 공간에서 실제 길이는 $\sqrt{1+h^2}$ 이다. 따라서, 이 지점에서 한 화소는 $\sqrt{1+h^2}$ 배로 확대되어야 한다.

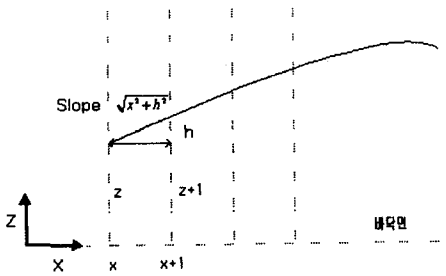


그림 5 픽셀 x와 깊이정보 Z와의 관계

영상복원 과정에서 $X$축을 따라 각 $X$값에 대해서 위와 같이 배율을 구하여 배열에 저장한다. 저장된 배율에 따라서 입력영상에서 열별로 화소단위 확대를 수행한다. 이러한 화소단위 확대를 위해서 본 연구에서는 모든 화소를 하나의 배율로 확대하는 Fant 알고리즘[5]을 개선한 알고리즘을 사용하여 픽셀마다 다른 확대비율을 가지면서도 속도가 빠르게 수행한다.

## III. 구현과 결과

제안된 시스템은 그림 1과 같은 형태로 구성하였으며 stripe의 생성을 위해서는 beam projector를 사용하였다. 또한 계산을 단순화시켜 입력환경을 제안된 조건에 맞추어 조성하였다. 그림 6은 실험환경에서 입력된 입력영상을 보여주고 있고 그림 7은 원 영상 하단에 있는 잡음 성분이 제거되고 stripe 중심값만이 추출됨을 알 수 있다.

그림 6 왜곡 영상

그림 7 추출된 stripe

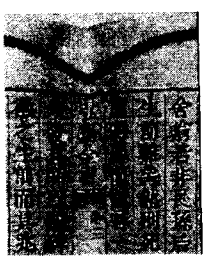

그림 8 복원된 영상

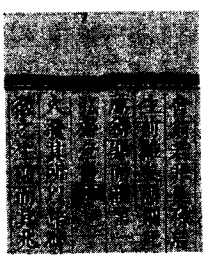

그림 9 원영상

추출된 stripe 중심 정보를 이용하여 깊이을 구하고 다시 행별 확대비율을 구한 다음, 제안된 복원 알고리즘을 적용하여 얻어진 결과가 그림 8에 제시되었다. 이 것은 그림 9의 왜곡되지 않은 원그림에 상당히 근접해 있음을 보여주고 있다.

## IV. 결론

본 논문은 회손될 가능성이 높은 문서를 빠르게 입력하는 상황일때 카메라 입력시 발생되는 왜곡을 효과적으로 복원하여 문서영상 입력을 가능하게 하는 연구로 기업의 문서전산화나 디지털 도서관 사업에 효과적으로 사용되어질 수 있는 매우 중요한 과제이다. 문서영상에 간단한 라인을 투영하여 묶어진 문서에서 3차원 깊이 정보를 얻어 원본에 가깝게 복원하여 문서영상을 얻어내는 시스템으로 구현하였다.

제안된 시스템은 힘을 가했을 때 쉽게 손상되는 고문서의 디지타이제이션에 효과적으로 사용될 수 있을 것이다. 하지만 시스템의 단순화를 위해서 수직방향으로 왜곡은 고려하지 않음으로서 완전한 복원을 이루지는 못하였다. 앞으로 보다 정확한 복원을 위해서는 수직방향 왜곡을 고려할 수 있는 연구와 확대과정에서 글자의 경계가 흐려지는 것을 막기 위한 영상향상 방안에 대한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

[1] Hans-Gerd Maas., "Robust automatic surface reconstruction with structured light," *International Archives of Photogrammetry and Remote Sense*, Vol. XXIX Part B5, pp.709-713, 1992

[2] Juan C. Santamaria., and Ronald C.Arkin., "Structured Light System for Dent Recognition: Lessons Learned," *Proceedings of the SPIE Photonic East 95 Mobile Robots X Conference*, 1995

[3] Lawrence OGorman., and Rangachar Kastun., "Document Image Analysis," *IEEE Computet Society Press*, 1995

[4] S. -W. Lee, E. -S. Kim, and Y. Y. Tang, "Shape Restoration of Nonlinear Distorted Images with Coons Transformation," *Pattern Recognition*, 1995

[5] Randy Crane., A Simplified approach to image processing, *Prentice Hall PTR*, pp.203-244. 1997