

인공지능형 삼차원 Foot Scanning 시스템에 관한 연구

A Study on the Intelligent 3D Foot Scanning System

김영탁*, 박주원*, 탁한호**, 이상배*

* 한국해양대학교 전자통신공학과 대학원

** 진주산업대학교 전자공학과

Young-Tak Kim*, Ju-Won Park*, Han-Ho Tack**, Sang-Bae Lee*

Dept. of Electronic & Communication Engineering, Korea Maritime University

Dept. of Electronic Engineering, Jinju National University

E-mail : yt_kim@bada.hhu.ac.kr

요 약

본 논문은 맞춤형 신발제작을 위하여 맞춤형 신발에 필요한 화형제작용 데이터를 위한 3차원 측정 장치를 통해 획득한 발의 형상을 인공지능 기법을 기반으로 하는 최적화된 형상을 복원하는 방법을 제시하고자 한다.

본 연구를 위해 개발된 시스템은 PC를 기반으로 하는 기존의 3차원측정 방식을 이용하여 상, 하, 좌, 우로 각각 장착된 8대의 CCD 카메라와 4대의 레이저를 통해 화형 및 발의 형상 데이터를 획득한다. 획득된 데이터들은 인공지능 기법을 이용한 영상처리 알고리즘으로 처리되며, 처리 결과는 기존의 지능 기법을 도입하지 않은 시스템에 비해 노이즈제거 특성이 향상되었고, 후처리과정을 간소화 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 3차원 측정을 위해 기구적인 부분과 하드웨어적인 부분의 시스템을 구성하고, 데이터 처리용 소프트웨어에서 입력영상의 전처리 과정 중 영상의 이진화 단계에서 임계값을 결정하기 위하여 간단한 신경망을 사용하였으며, 이에 대한 결과를 제시하고자 한다.

1. 서론

현재의 신발산업은 대부분 업체들이 서로 비슷한 수준의 디자인과 제작 기술을 바탕으로 시장을 점유하고 있다. 이런 여러 기업들 중에서 이제는 기술력이나 디자인보다도 메이커(브랜드), 즉 유명세에 따라서 소비자의 선호도를 집중시키는 추세이다. 이제 현대의 신발산업은 디자인뿐만 아니라 착용감이 좋은 신발을 제작하는 것이 안건이다. 또한 소비자 역시 자신의 신체와 꼭 맞는 제품을 선호하고 있는 실정이다.

발의 모양은 사람마다 제각기 다르고, 또 사람의 발은 좌·우의 크기가 서로 달라서 기존의 시스템은 두 발 중 큰 발에 맞춰서, 혹은 일반화된 틀을 바탕으로 구두나 신발을 제작했다. 현재

에는 여러 방면에서 다양한 도구를 사용해서 각종 사물의 크기나 외형 등을 3차원적으로 측정하는 기술이 고도로 발달되어 있고, 다양한 응용분야를 가지고 있다. 따라서 이러한 기술들을 신발업계에 적용한다면 소비자 측면에서 만족감과 신뢰성을 더 할 수 있으리라 기대된다.

예를 들어 의학계에서는 초음파, CCD 카메라 등, 여러 전자장비를 사용한 측정장비가 많이 보유되어 있고, 계속 그 성능을 향상시키고 있다. 또 환자의 신체 일부를 검진하거나 측정하는데 사용되고 있어서 정확도 또한 우수하다. 하지만 수요가 적고 정밀 장비라서 고가이므로, 일반 신발업체나 영세 구두 제작업체에서는 장비를 구비하기가 불가능한 실정이며, 개발자도 부족한 현

실이다. 현재 이런 장비의 보급은 장비의 고가로 인하여 제한적으로 우량기업을 중심으로 보유하고 있어서 보급률도 적은 편이며 사용자층도 아주 작은 편이라 아직은 맞춤형 신발을 만들기에 그 비용의 부담이 큰 편이다. 또한 국내에는 이런 장비의 개발이 없는 실정이라 고가의 장비를 수입에 의존하여 사용하고 있다. 그러므로 의료 장비를 적절히 응용하고 최근의 이론과 신기술을 바탕으로 이런 장비를 국산화한다면 저렴한 가격으로 장비를 구입할 수 있다. 또한 제품 개발에서 종종 발생하는 기계적, 전자적인 문제점을 개선하기 위해서 퍼지나 신경망 등의 인공지능 기법이 필요하고, 이로 인해 더욱더 인체 공학적인 구두를 설계 및 제작할 수 있다.

본 논문에서는 인공지능형 삼차원 발스캐닝 시스템의 기구학적 구성과 소프트웨어적 구성인 획득된 화형정보 즉 각각의 화형의 데이터의 파라미터를 획득하는 과정을 소개할 것이다.

2. Scanning System의 전체 구조

본 논문에서 제안한 삼차원 발스캐닝 시스템은 하드웨어시스템과 소프트웨어시스템으로 나뉘어진다. 하드웨어 시스템은 8대의 CCD (Charge-Coupled Device) 카메라와 4 개의 슬릿 빔 laser (slit-beam laser)를 이용해 화형 데이터를 획득하는데 각각의 CCD 카메라는 카메라 보정(Camera Calibration)작업을 거치므로 획득한 화형데이터를 소프트웨어적으로 복원하는 과정을 간소화 하였다.

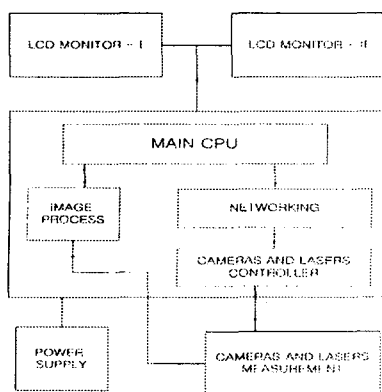


그림 1. 삼차원 발스캐닝 시스템의 전체 구성도

그림 1은 본 논문에서 구현한 삼차원 발스캐닝 시스템의 전체 구성도를 개략적으로 나타낸 것이다. 소프트웨어 시스템에서는 사람들마다 각기 다른 발의 길이, 높이, 폭과 곡면등의 수치데이터를 3차원적으로 합성하여 형상을 복원한다. 본 과정에서 발의 형상을 측정시 laser나 다른 광원

으로부터 발생하는 산란이나 굴절 또는 외부의 충격으로 인한 카메라의 흔들림과 같은 잡음을 제거 하고 최적화된 형상 복원을 위하여 인공지능 기법을 기반으로 하는 필터링 프로그램으로 구현하였다.

2.1 프레임 이송부

본 논문에서는 3차원 비전(3D Vision)을 이용한 형상복원 기술에 의하여 생성된 데이터를 기반으로 하는데 본 논문에서는 8대의 CCD (Charge-Coupled Device) 카메라와 4 개의 laser를 이용해 사람들마다 각기 다른 발의 길이, 높이, 폭과 곡면등의 수치데이터를 3차원적으로 합성하여 형상을 복원한다.

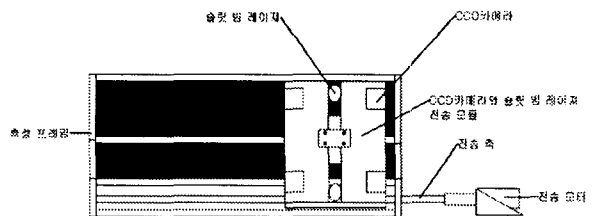


그림 2. 삼차원 발스캐닝 시스템의 측정프레임

본 논문에서 구현한 측정 프레임의 작동은 먼저 전송 모터에서 동력을 전송 축에 공급게 된다. 동력을 전달 받은 전송 축은 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈을 대상 측정 방향으로 이송시키며 측정 대상물을 측정하게 된다. 측정을 완료한 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈은 다시 처음의 위치로 복귀 하게 된다. 그림 2는 삼차원 발스캐닝 시스템의 측정프레임의 기구학적 구성을 보여주고 있다. 그림 2에서와 같이 한 면에는 4개의 카메라 모듈과 두 개의 laser로 구성되어있다.

2.2 laser 및 이송 모터 제어 시스템

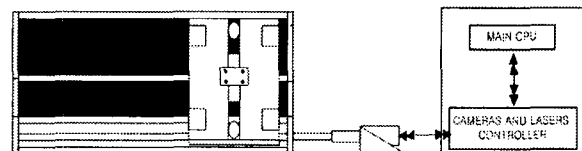


그림 3. CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈 제어기의 구성도

본 논문에서는 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈을 제어하기 위해 카메라와 laser 제어기를 구현하였다. 본 논문에서 구현한 카메라와 laser 제어기의 동작 주기는 다음과 같다. 먼저 제어기는 측정 대상물 측정하기 위해 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈이 대상 진행방향

으로 이송시 카메라와 laser 제어기에서 카메라와 laser의 상태를 활성화 시켜 상하좌우 기하학적 구조로 장착된 laser를 통해 투영되는 측정 대상물의 이미지를 각각의 8대의 CCD 카메라가 획득하게 된다. CCD카메라가 측정 대상물의 이미지 획득을 완료하게 되면 카메라와 laser 제어기에서는 카메라와 laser의 상태를 비활성화한 후 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈을 본래의 위치로 복귀시킨뒤 다음 명령을 대기한다. 그림 5는 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈 제어기의 구성도 나타내었고, 그림 4는 본 논문에서 실제로 구현한 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈 제어기를 나타 내고 있다.

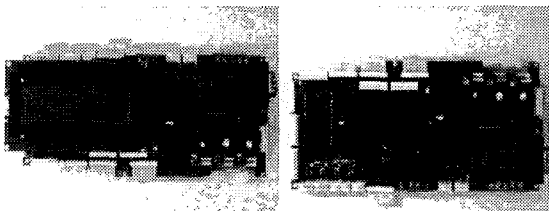


그림 4. 본 논문에서 구현한 CCD 카메라와 슬릿 빔 laser 전송 모듈 제어기

2.3 영상획득 시스템

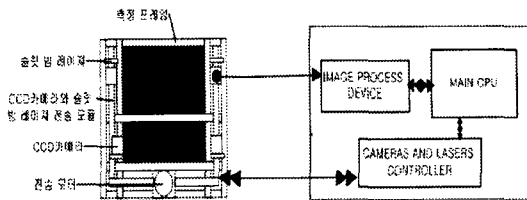


그림 5. 영상획득 시스템의 구성도

상하좌우 기하학적인 형태로 각각 장착된 8대의 CCD 카메라로부터 획득되는 이미지 데이터를 획득하기 위해 본 논문에서는 이미지 처리장치를 구현하였다. 본 논문에서 구현된 이미지 처리장치는 두 개의 이미지 처리장치를 사용 각각의 CCD 카메라를 4대씩 수용 할 수 있게 구성 하였다. 이미지 처리장치의 구현을 위해 사용된 칩은 TV 방송을 수신할 수 있는 튜너를 비롯해, NTSC/PAL/SECAM 방식의 아날로그 비디오 입력을 받아 고화질의 영상을 출력할 수 있는 CONEXANT사의 Fusion 878A 디코더 칩을 사용하였다. 구현된 이미지 처리장치는 TV수신 카드에서 TV튜너만 떼어 놓은 형태로 오버레이 기능을 하드웨어적으로 수행하고 소프트웨어를 이용해 캡처하는 방식을 사용했다. 그림 5는 영상 획득 시스템의 개략적인 구성을 나타내고 있으며, 그림 6은 본 논문에서 직접 제작한 이미지 처리장치 이다. 그림 7은 구현된 이미지 처리장

치로부터 획득된 이미지와 이진화 처리된 영상을 보여주고 있다. 각 각의 채널은 스위칭 방식으로 이미지 데이터를 획득하고 있으며 스캔과정 중 4 채널로 나누어 측정 되어진다.

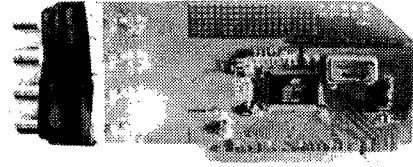


그림 6. 영상획득용 캡처 Board



그림 7. 구현된 이미지 처리장치로부터 획득된 8Channel 이미지와 처리된 영상

3. 영상 향상

본 논문은 구성된 시스템에서 실시간으로 획득 하는 영상의 기본적인 전처리 과정 중 이진화 영상을 얻기 위한 임계값결정을 신경망으로 처리하였다.

3.1 임계값 결정을 위한 신경망 구조

본 논문에서는 히스토그램 분석을 통한 몇 가지의 특징과 외부 환경 변화와 입력되는 대상물의 차이에 따라 가변되는 히스토그램 정보를 이용하여 신경망으로 학습을 시켜 외부 요인에 따른 적당한 임계값을 추출하도록 하였다. 본 논문에서 구성된 신경망의 개략적인 구성은 아래의 그림 8과 같다.

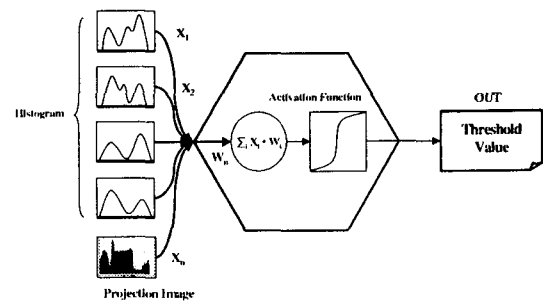


그림 8. 입력 패턴에 따른 신경망의 구성도

위의 그림 8에서와 같이 신경망의 입력층은 CCD 카메라와 이미지 그레이 보드로부터 실시간으로 획득

하는 입력 영상의 히스토그램의 분석과 이진영상의 투영이미지 조사를 통하여 추출된 특징이 입력된다. 따라서 실시간으로 입력되는 영상에 대하여 히스토그램과 투영이미지 분석을 통하여 입력된 특징에 따라서 신경망의 출력층에서는 학습된 웨이트(weight) 값과 목적함수(목표값)에 해당되는 임계값을 출력하게 된다. 여기서 본 논문에서는 처리 속도를 고려하여 히스토그램과 투영이미지 정보 전체를 사용하지 않고 입력 되는 데이터가 어느정도 일정한 형태와 분포를 가지므로 제한된 특징을 분석하여 사용하였다. 따라서 본 논문에서는 몇 가지의 제한된 특징을 추출하여 하나의 출력을 구하지만, 신경망의 함수 근사화 능력을 이용하여 영상의 히스토그램과 이진 투영이미지의 비선형적, 확률적인 분포에서 원하는 값을 얻는다. 여기서 신경망 입력 값은 입력 영상의 히스토그램 분석에서 9개, 투영 이미지를 통하여 2개의 특징을 추출하였다. 아래의 그림 9는 본 논문에서 설계한 신경회로망의 구조이다.

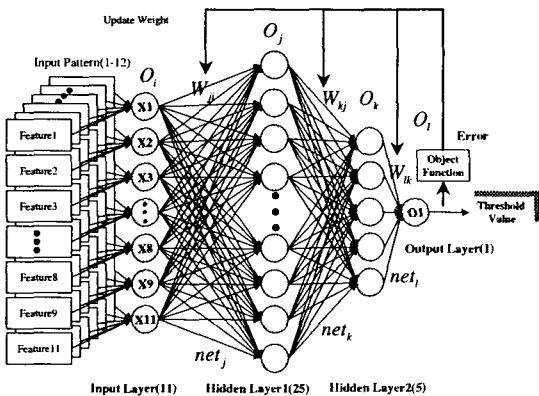


그림 9. 임계값 결정을 위한 신경망의 전체 구조

3.2 카메라 캘리브레이션

3차원비전에서 카메라에 의한 영상은 중심사영 또는 투시사영(projective projection)이라고 불리는데, 카메라는 영상중심과 초점거리등의 내부변수(intrinsic parameters)를 갖고 있다. 또한, 카메라 좌표계(camera coordinate system)와 세계 좌표계(world coordinate system)의 상호간에 변환으로는 회전(rotation)과 병진(translation)이 있으며 이러한 것은 외부 변수(extrinsic parameters)라고 한다. 즉 카메라의 교정은 카메라의 내부변수와 외부변수를 구하는 과정을 말한다. 영상으로부터 3차원 형상 등의 복원을 위해서는 카메라의 보정은 필수적이라 할 수 있다.

3.2.1 카메라모델과 중심사영

영상 평면 I로부터 거리 f만큼 떨어진 곳에 I에 평행한 F를 두고, 그 위의 점 C에 핀홀(pinhole)

을 뚫었다. 물체로부터 들어오는 빛은 핀홀, 즉 점 C를 통해서 영상 평면에 상을 맺는다. 물체의 점과 핀홀, 영상평면위의 상은 일직선상에 있다. 이와 같은 상영을 중심사영(perspective projection)이라고 부른다. 점 C를 렌즈중심(focal point), 또는 초점(focus)이라고 하고, 면 F를 초점면(focus plane), 렌즈중심으로부터 영상 평면까지의 거리 f를 초점거리(focal length)라고 한다. 점 C를 지나고 영상평면에 수직인 선을 광축(optical axis)이라고 부르며, 이것과 영상평면과의 교점 c를 영상중심(principal point)이라고 한다. 또한, 광축은 초점면에서도 직교하며 이와 같은 모델은 CCD카메라를 정확히 기술하고 있다. 그림 10은 핀홀 카메라의 모델을 나타내고 있다.

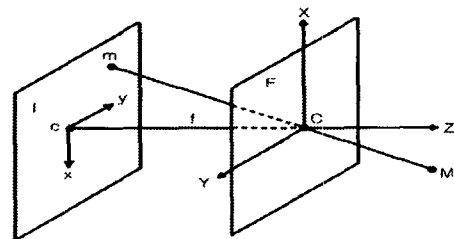


그림 10. 핀홀 카메라 모델

중심 사영의 방정식을 기술하는 좌표계를 정의하면, 영상좌표계는 영상중심 c를 원점으로 하고, x축과 y축은 각각 카메라의 소자의 배치축에 맞춘다. 광축을 제3의 축이라고 할 때, 오른손 좌표계와 같은 순서를 정한다. 그리고, 3차원 공간의 좌표계는 초점 C를 원점으로하고, 광축을 Z축으로 하여, X축과 Y축은 각각 x축과 y축의 반대방향으로 놓는다. 이와 같이하면, ‘오른손 좌표계’가 유지되며, 오른손 좌표계(camera coordinate systems)라고 한다. 이상의 좌표계를 이용하면, 3차원 좌표와 그 2차원 영상간에는 식 (1.1)의 관계가 성립한다.

$$x = f \frac{X}{Z}, \quad y = f \frac{Y}{Z} \quad (1.1)$$

3.2.4 보정 방법

본 논문에서는 간편하고 효과적인 카메라 보정법인 Tsia의 단일 평면 보정법(coplanar calibration method)을 이용하여 불확실한 보정계수를 제외한 보정 파라미터 값을 획득하였다. 카메라의 보정과정은 먼저, 보정점을 추출하고, 각 보정점에 대해 영상좌표계상의 좌표와 세계좌표계 상의 좌표를 얻은 후 보정점을 정의한다. 보정점을 정의한후 Tsia의 단일 평면 보정법을 이

용하여 보정파라미터 값을 추출, 보정 계수의 최적화를 통해 모든 보정 파라미터값을 최적화 (optimization)한다. 본 논문에서는 8대의 카메라를 같은 세계 좌표계에 대해 보정하므로 별도의 병합과정(registration)이 불필요하다.

대하여 점 데이터들을 획득후 3절에서 제시한 캘리브레이션을 통하여 3차원 좌표를 형성한다. 그리고 8채널의 데이터를 바탕으로 3차원 형상을 구성후 그림13의 특징 데이터를 획득한다.

4. 실험 및 결과

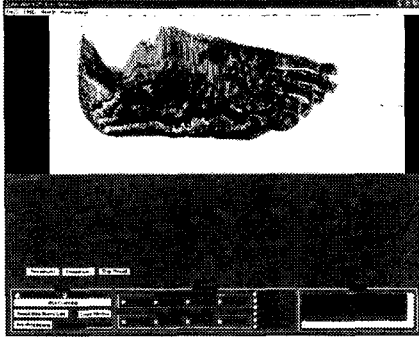


그림 11. 신경망을 적용한 이진화 처리 결과

그림 11은 8채널 중 하나의 채널에 대한 2차원 이진화 영상을 표시한 것이다. 이 그림은 대상 물체에 laser 슬릿광을 주사하여 카메라 프레임의 이동 속도와 이미지 그레버 보드의 캡처 속도를 동기화하여 획득되는 RGB칼라영상에서 필요한 부분을 분할 후 그레이 영상으로 변환후 제안한 신경망을 이용한 적응 이진화를 통하여 획득된 결과이다.

그림 12는 3차원 형상 복원을 통해 구현된 발의 형상을 이용하여 화형을 제작하는데 필요한 발의 특징적인 치수를 나타내는 것으로 본 시스템에서 정의한 신골을 제작하기에 필요한 발의 특징을 제시한 것이다. 전체 15개의 파라미터로 구성되며, 이는 사용자가 필요한 부분에 대하여 추가가 가능하다.

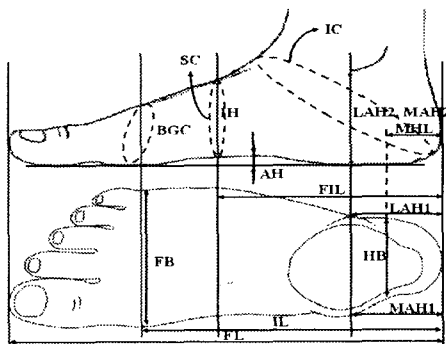


그림 12. 15개의 발 파라미터

그림 13은 위에서 구한 파라미터를 바탕으로 좌측과 우측의 발의 실제 수치 데이터를 획득한 예를 보여주고 있다. 그림 11에서와 같이 8채널에

	Left Foot Data	Right Foot Data
1) FL → Foot Length (Kor: 전족 길이)	254.5 (mm)	259.0 (mm)
2) L → Instep Length (Kor: 인척 발의 길이)	188.0 (mm)	182.8 (mm)
3) FB → Fibular Instep Length (Kor: 인척 발의 길이)	165.3 (mm)	165.9 (mm)
4) FB → Foot Breadth (Kor: 발 넓이)	102.5 (mm)	114.1 (mm)
5) HB → Heel Breadth (Kor: 발 넓이)	81.3 (mm)	81.5 (mm)
6) MAHL → Maximum Heel Length (Kor: 발뒤꿈치 길이)	45.0 (mm)	44.4 (mm)
7) H → Instep Height (Kor: 발등 높이)	73.0 (mm)	72.3 (mm)
8) LAH1 → Lateral Ankle to Heel (Kor: 인척상안골 거리)	56.7 (mm)	58.0 (mm)
9) LAH2 → Lateral Ankle to Height (Kor: 인척상안골 높이)	73.0 (mm)	72.8 (mm)
10) MAH1 → Median Ankle to Heel (Kor: 인척상안골 거리)	59.9 (mm)	56.5 (mm)
11) MAH2 → Median Ankle to Height (Kor: 인척상안골 높이)	82.1 (mm)	80.5 (mm)
12) BGC → Ball Girth Circumference (Kor: 볼 둘레)	248.7 (mm)	251.8 (mm)
13) IC → Instep Circumference (Kor: 발허리 윗단 둘레)	236.5 (mm)	235.5 (mm)
14) SC → Span Circumference (Kor: 발등 둘레)	246.7 (mm)	248.1 (mm)
15) AH → Arch Height (Kor: 아치 높이)	18.1 (mm)	25.5 (mm)

그림 13. 좌측과 우측발의 실제 수치 데이터

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서 제시한 시스템은 기존의 3차원 측정의 단점을 개선하여 측정 데이터와 파라미터를 획득하여 3차원 형상복원 시스템을 개발하였다. 본 논문에서 제작한 영상획득용 캡처 Board는 8채널을 동시에 고속으로 사용할 경우 이미지 처리상에 약간의 노이즈를 발생 시킨다. 향후 영상 데이터의 고속처리를 위해서 새로운 캡처 Board의 개발이 필요할 것이다.

6. 참고문헌

[1] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.3, pp.323-334, August 1987
 [2] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, pp.490-494, 1993
 [3] Eduardo Bayro-Corrochano, Bodo Rosenhahn, "A geometric approach for the analysis and computation of the intrinsic camera parameters", Pattern Recognition 35, pp. 169-186, 2002