



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

와이드 베이스라인 스테레오 비전을  
이용한 증강현실 특징점 기반 마커 추정

濟州大學校 大學院

컴퓨터工學科

梁棟湖

2018년 8월

와이드 베이스라인 스테레오 비전을  
이용한 증강현실 특징점 기반 마커 추정

指導教授 金 壯 亨

梁 棟 湖

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2018年 6月

梁棟湖의 工學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_

委 員 \_\_\_\_\_

委 員 \_\_\_\_\_

委 員 \_\_\_\_\_

委 員 \_\_\_\_\_

濟州大學校 大學院

2018 年 6月

# A Feature Based Augmented Reality Marker Localization Using Wide Baseline Stereo Vision

Dong-Ho Yang

(Supervised by professor Jang-hyung Kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of Doctor of Engineering

2018. 6

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, \_\_\_\_\_

Thesis director, \_\_\_\_\_

Thesis director, \_\_\_\_\_

Thesis director, \_\_\_\_\_

Thesis director, \_\_\_\_\_

June 2018

Department of Computer Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

## 감사의 글

짧지 않은 시간동안 부족한 저에게 도움을 주신 많은 분들에게 직접 찾아 뵙고 인사를 드리기 전에 지면을 통해 감사의 인사를 먼저 드리고자 합니다.

인생의 오랜 시간동안 지도와 격려를 아낌없이 해주신 지도교수 김장형 교수님께 감사드립니다. 본 논문 심사와 지도를 위해 열정을 아끼지 않으신 이상준 교수님, 곽호영 교수님, 김도현 교수님, 김근형 교수님과 이봉규 교수님께도 감사의 말씀을 올립니다. 또한 학위 과정 내내 많은 가르침을 주신 안기중 교수님, 변상용 교수님, 송왕철 교수님, 변영철 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

같은 연구실에서 생활하면서 힘이 되어준 변태보, 강영도, 김남식, 부문수 선생에게도 감사의 말을 전합니다. 또한 휴먼인터페이스 미디어센터에서 같이 연구를 진행한 오산수민 박사, 부창민, 양근탁, 이민형, 고경환 에게도 감사의 마음을 전합니다.

대학원 수료 이후에도 행정 지원을 아끼지 않으셨던 오은희, 문숙희 선생님께도 감사의 말을 전합니다.

삶의 오랜 시간동안 걱정해주신 아버지, 어머니를 비롯한 형님, 형수님, 그리고 장인어른, 장모님께도 모두 감사의 말을 전합니다.

끝으로 자신을 희생하며 서연, 재우, 재혁을 아낌없이 돌보고, 항상 옆에서 믿고 지켜준 반려자 윤경에게 사랑하고 감사한 마음을 글로써 대신합니다.

2018년 공대3호관 D106

양 동 호

# 목 차

|  |     |
|--|-----|
| 표목차 .....                              | iii |
| 그림목차 .....                             | iv  |
| 국문 초록 .....                            | vi  |
| Abstract .....                         | vii |
| I. 서론 .....                            | 1   |
| 1. 연구배경 .....                          | 1   |
| 2. 연구 목적 및 내용 .....                    | 10  |
| II. 증강현실 비전시스템 .....                   | 13  |
| 1. 스테레오 비전 시스템 .....                   | 13  |
| 2. 마커의 설계 .....                        | 17  |
| 3. 마커의 인식 .....                        | 21  |
| 4. 특징점 기반 스테레오 매칭 및 마커추정 .....         | 24  |
| III. 와이드 베이스라인 특징점 추정 .....            | 27  |
| 1. 와이드 베이스라인을 통한 추정 목적 .....           | 27  |
| 2. 와이드 베이스라인 특징점 추정 .....              | 29  |
| 3. 스테레오 영상의 획득 .....                   | 32  |
| 4. 마커 인식 .....                         | 36  |
| 5. 특징점 추정 .....                        | 40  |
| 6. 기존 방법과의 차별성 .....                   | 43  |
| IV. 실험 및 결과 분석 .....                   | 45  |
| 1. 실험환경 .....                          | 45  |
| 2. 싱글 비전의 마커 인식 결과 .....               | 46  |
| 3. 스테레오 비전의 마커 검출 결과 .....             | 49  |
| 4. 싱글 비전 시스템과 스테레오 비전 시스템의 성능 비교 ..... | 53  |

|       |    |
|-------|----|
| V. 결론 | 56 |
| 참고문헌  | 58 |

## 표 목 차

|  |    |
|--|----|
| Table 1. Marker plan .....                                   | 18 |
| Table 2. Simulation environment .....                        | 45 |
| Table 3. Analysis Data(Single vision) .....                  | 46 |
| Table 4. Analysis data(Stereo vision) .....                  | 49 |
| Table 5. Analysis data(Stereo vision vs Single vision) ..... | 53 |



## 그림 목 차

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1 Mixed reality                                  | 1  |
| Fig. 2 AR platform                                    | 3  |
| Fig. 3 Wearable computing service                     | 4  |
| Fig. 4 Handheld ar service                            | 5  |
| Fig. 5 Image-based AR service                         | 6  |
| Fig. 6 Goggles AR service                             | 7  |
| Fig. 7 Marker based AR service                        | 8  |
| Fig. 8 Marker based AR service                        | 8  |
| Fig. 9 Microsoft KINECT                               | 10 |
| Fig. 10 Parallel stereo camera geometry               | 14 |
| Fig. 11 Convergent stereo camera geometry             | 14 |
| Fig. 12 Stereo camera geometry                        | 15 |
| Fig. 13 ARToolkit marker                              | 17 |
| Fig. 14 2Byte marker sample                           | 19 |
| Fig. 15 Test marker size 4×4                          | 20 |
| Fig. 16 Marker image cell                             | 20 |
| Fig. 17 Color image(R,G,B level)                      | 22 |
| Fig. 18 Gray level image                              | 22 |
| Fig. 19 Monochrome image(threshold=128)               | 22 |
| Fig. 20 Marker tracking                               | 23 |
| Fig. 21 Marker matching                               | 23 |
| Fig. 22. Stereo camera geometry                       | 24 |
| Fig. 23. Ideal stereo camera geometry                 | 28 |
| Fig. 24 Relation of baseline B, forcal length f and Z | 29 |
| Fig. 25 Relation of disparity and baseline            | 31 |
| Fig. 26 Stereo vision environment                     | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. 27 Wide baseline stereo design (baseline =1,000mm) ..... | 33 |
| Fig. 28 Marker angle variation .....                          | 34 |
| Fig. 29 CAM2(Marker angle variation = 90°) .....              | 35 |
| Fig. 30 CAM1(Marker angle variation = 90°) .....              | 35 |
| Fig. 31 Marker recognition process .....                      | 36 |
| Fig. 32 Feature matching flowchart .....                      | 41 |
| Fig. 33 Edge region detection process .....                   | 42 |
| Fig. 34 Stereo vision analysis chart .....                    | 46 |
| Fig. 35 Marker detectability .....                            | 47 |
| Fig. 36 Stereo vision analysis chart .....                    | 50 |
| Fig. 37 Average of detection time(Stereo vision) .....        | 52 |
| Fig. 38 Detection time(Stereo vision vs Single vision) .....  | 53 |
| Fig. 39 Average of detection time(Baseline) .....             | 54 |

## 국문초록

# 와이드 베이스라인 스테레오 비전을 이용한 증강현실 특징점 기반 마커 추정

컴퓨터공학과 양동호  
지도교수 김장형

본 논문에서는 와이드 베이스라인(wide baseline) 스테레오 비전 시스템을 이용한 증강현실(augmented reality) 구현 방법에 대하여 제안하였다.

일반적인 증강현실 시스템은 웨어러블(wearable)기반 증강현실, 핸드헬드(handheld)기반 증강현실과 마커(marker)기반 증강현실로 구분할 수 있다.

싱글(single) 카메라를 이용한 마커기반의 증강현실은 그 구성이 단순하고, 시스템의 부하를 줄일 수 있는 이점이 있으나, 싱글 카메라의 사선 방향과 수평인 마커의 검출이 불가능한 문제점을 가지고 있다.

기존의 증강현실 시스템의 마커인식 오류는 사용자의 몰입감을 감소시키는 주된 원인 중에 하나이며, 또한 사용자의 마커 상하 회전에 매우 취약한 문제를 가지고 있다.

본 논문에서는 와이드 베이스라인을 갖는 스테레오 카메라를 이용한 특징점 기반 스테레오 매칭과 마커추정에 대해 실험하였다.

본 연구에서 제안된 와이드 베이스라인(Baseline : 100mm ~ 1,000mm) 구간의 스테레오 카메라 시스템에서 인식 능력은 마커의 각도 변이가 70° 이상일 경우에도 마커를 인식하고 있음을 확인하였다.

본 연구에서 확인한 것과 같이 와이드 베이스라인 스테레오 비전에서의 증강현실 마커 인식은 마커의 각도 변이에 강인한 마커인식 성능을 보여주고 있어 스테레오 비전을 통한 증강현실 시스템에서 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

# ABSTRACT

## A Feature Based Augmented Reality Marker Localization Using Wide Baseline Stereo Vision

DONG-HO, YANG

Department of Computer Engineering

Graduate School

Jeju National University

In this paper, we propose a method of implementing augmented reality with the use of wide baseline stereo cameras.

Typical augmented reality techniques can be classified into wearable augmented reality, handheld augmented reality, and marker based augmented reality.

Constructing marker-based augmented reality using a single camera can be simple with no significant loads, but it is impossible to detect markers horizontal to the radial line of the camera.

In order to address this issue, the camera is positioned higher in front of the user, which diminishes the user's immersion. Also, the adjusted position of the camera makes this method vulnerable to the marker's vertical rotation.

Based on the experiment results from the augmented reality system using wide baseline stereo cameras, we have identified the wide baseline stereo camera technique is significantly effective in matching algorithms and movement in the augmented reality.

Under the stereo camera system in the wide baseline correspondences (100 mm ~ 1,000 mm) proposed in this study, the system was able to track the

markers shifted over 70 degrees.

With strong marker-tracking ability of the wide baseline stereo vision as identified in this study, this technique is expected to be implemented effectively in creating an augmented reality system.

# I. 서론

## 1. 연구배경

증강현실(Augmented Reality)이란 사용자가 획득하는 정보의 현실감 및 가치를 증대시키기 위하여 현실의 이미지와 컴퓨터로 생성된 가상 가상이미지 정보를 융합하여 사용자에게 더욱 많은 정보를 제공하는 신 개념의 기술이다[1].

증강현실은 가상현실(Virtual Reality)분야에서 파생된 연구 분야로서 가상현실과 실제 환경의 중간단계로서 현실감은 가상현실 보다 높다고 평가되고 있다. 이는 보잉사에서 1990년경 제품의 조립과정에 가상의 이미지 정보를 첨부하면서 증강현실 기술이 가시화되기 시작했다[1].

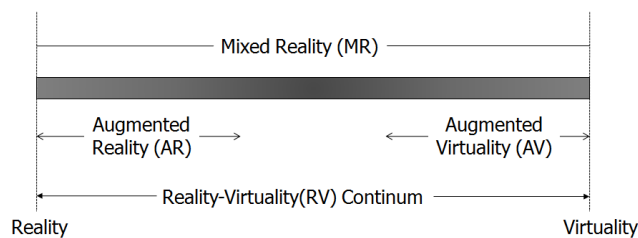


Fig. 1 Mixed reality

증강현실을 구현하는 기법에는 획득된 현실 이미지에 미리 정의된 마커를 이용하여 촬영된 해당영상속의 마커에 구현하고자 하는 영상, 이미지 또는 정보를 촬영 영상에 중첩하여 사용자에게 촬영영상 이외의 정보를 제공할 뿐만 아니라 사용자와 증강현실 시스템간의 인터페이스를 제공하는 역할을 한다.

이러한 인터페이스 기술을 통해 현재의 기계적 인터페이스에서 인간 중심의 인터페이스 기반으로 컴퓨팅 환경 및 자원을 이용하는 추세로 발전할 것이며, 이러한 환경변화는 새로운 컴퓨터 인터페이스의 패러다임을 제공하고 있다.

증강현실의 서비스 방법에는 크게 웹기반 증강현실(Web-based AR), 키오스크 기반 증강현실(Kiosk-based AR), 모바일 증강현실(Mobile AR)로 둘 수 있다 [10].

웹기반 증강현실은 PC를 기반으로 하며 웹캠을 사용하여 마커(Marker), 이미지 또는 움직임(Motion) 감지를 통해 사용자에게 향상된 경험을 제공하는 것으로서, 복잡한 그래픽처리가 가능하고, 콘텐츠 구성이 용이하며 대부분 웹을 기반으로 하기 때문에 쉽게 구현이 가능하고, SNS(Social Network Service)와 쉽게 연동해 사용할 수 있는 장점이 있다.

대표적인 활용 예로는 기존에는, 의류나 장신구 등을 인터넷 쇼핑물을 통해 증강현실 기술을 활용하면, 가상으로 옷이나 장신구 등을 착용해 볼 수 있는 효과를 가져오기 때문에, 이는 추후 인터넷 비즈니스(e-commerce)의 경쟁력을 획기적으로 높일 수 있는 기술이라 평가 받고 있다.

키오스크 기반 증강현실(Kiosk-based AR)은 웹 기반 증강현실과 비슷하지만 증강현실을 위해 별도의 하드웨어(키오스크)를 사용 함으로서, 더 강력하고 전문화된 기능들을 가질 수 있을 뿐 아니라, 3D, 얼굴인식(Face recognition)등의 기술을 통해서 보다 다양한 경험을 제공할 수 있다. 일례로, 세계적인 장난감 제작사인 레고 그룹의 경우 시범적으로 일부 자사 매장에 증강현실이 구현된 키오스크를 설치하여, 레고 제품을 키오스크 앞에 가져올 경우, 해당 레고 제품의 실제 조립된 3D이미지를 보여 줌으로서 사용자로 하여금 제품을 선택하는데 많은 도움을 줄 수 있게 하였다.

이러한 키오스크 기반의 증강현실은 웹 기반 보다는 비용이 많이 들고, 고정적인 장소(주로 매장)에 배치되어야 된다는 단점들이 존재하지만, 특화된 서비스를 강력한 하드웨어 상에서 구현할 수 있는 장점이 있다.

모바일 증강현실(Mobile AR)은 모바일 증강현실은 주로 스마트폰과 같은 모바일 기기를 대상으로 하기 때문에, 초기 제한된 입력장치 및 연산 능력으로 인해 많이 활용되지 못하였다.

그러나 활발한 네트워크의 보급 및 애플의 아이폰, 삼성의 갤럭시 같은 강력한

계산능력을 갖는 스마트폰의 보급으로 인해 모바일기기에서도 점차 다양한 증강 현실 응용들이 개발/보급되기 시작하면서 그 규모가 급속히 성장하기 시작하였다.

모바일 증강현실의 장점은 항상 사용자가 휴대하면서 사용하기 때문에 다양한 분야에서 활용 될 수 있을 뿐 아니라, 스마트폰 내에 장착된 GPS등을 활용하면 위치 기반의 서비스가 가능한 장점들이 있다.

대체적으로 최근 판매되고 있는 대부분의 스마트폰은 카메라, GPS, 중력센서(Gyroscope), 가속센서(Accelerometer), 전자 나침반(Compass) 등의 다양한 입력 센서가 탑재되어, 개인 사용자에게 다양한 기능을 제공한다.

이러한 센싱 기술을 증강현실에 활용할 수 있는데, 스마트폰에 장착된 카메라로 주변을 비추면, 카메라를 통해 사용자가 보고 있는 주변 상점에 대한 정보, 전화번호 등에 대한 정보가 입체 영상으로 표기되어 사용자가 보다 편리하게 주위를 식별하고, 원하는 정보를 얻을 수 있다. 이외에도 모바일을 중심으로 하는 증강현실 기술은 다양한 게임, 관광, 교육, 의료 등의 다양한 분야에 활용될 수 있다.

이러한 증강현실 시스템에 필요한 핵심 기술인 강인한 마커의 설계와 영상에서의 마커의 추출과 추적에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 마커의 추적 기법은 출입통제, 무인감시 시스템, 탐사로봇 시스템, 지능형 교통망 시스템과 같이 여러 산업분야에서 이용되고 있다[10].



Fig. 2 AR platform[10]



본 연구에서는 이와 같은 증강현실의 응용분야 중 키오스크 기반 증강현실 (Kiosk-based AR)에 상당한 관련성이 있다. 키오스크 기반의 증강현실은 사용자의 몰입도를 증가시키고, 이를 통한 기업의 고객 서비스 제공을 위해 많은 기업들이 관심을 가지고 있는 분야이기도 하다.

증강현실 관련 기술로는 크게 웨어러블 증강현실 (Wearable Augmented Reality), 핸드헬드 증강현실 (Handheld Augmented Reality), 마커기반 핸드헬드 증강현실(Marker based Augmented Reality)로 구분 할 수 있다.

웨어러블 증강현실 시스템은 웨어러블 컴퓨팅(Wearable Computing)의 일환으로 연구되는 분야이다. 콜롬비아 대학교의 MARS시스템은 Fig. 3 에서 볼 수 있듯이 사용자는 HMD(Head Mounted Display)를 착용하고 있고, 앞쪽을 향한 카메라가 있다. 카메라에서 찍힌 영상과 컴퓨터로 생성한 영상을 합해 HMD로 투사해 주는 방식을 취한다.

이런 방식을 비디오 투과 디스플레이 방식 (Video See-Through Display)라 하는데, 사용자의 위치 및 자세는 GPS와 자세를 감지할수 있는 센서(Inertial Sensor 등)를 사용해 추정한다. 사용자 위치에서 보여주어야 할 영상을 사용자에게 보여주게 된다. 또한 사용자가 시스템과 인터랙션을 하는 방법으로는 가운데 아래의 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 마커가 인쇄된 터치패드 등을 사용할 수도 있고, Tinmith 시스템처럼 손에 마커가 인쇄된 장갑을 착용한 채로 인터랙션을 할 수도 있다.



Fig. 3 Wearable computing service[11]

핸드헬드 증강현실(Handheld Augmented Reality)은 들고 다닐 수 있는 증강현실을 의미한다. 주로 PDA나 스마트폰 등과 같은 장비를 이용하여 증강현실을 구현한다. 1997년 필립 칸(Philip Kahn)이 최초의 카메라 폰을 만든 이후에 1999년 샤프에서 J-SH04라는 최초의 상업용 카메라 폰이 출시되면서, 증강현실 연구자들의 주요 관심분야가 기존의 크고 무거운 웨어러블 증강현실 방식에서 핸드헬드 방식의 증강현실 방식으로 전환되었다.

서비스 초반에는 주로 PDA를 이용한 증강현실 시스템이 주로 사용 되었으나 최근에는 스마트폰 사용방식이 주로 이용되고 있다.

초기의 영상기반 핸드헬드 증강현실은 2003년 Gausemeier 연구팀은 PDA에서 모델기반 추적기술을 발표했다. 이 연구에서는 Thin-Client 방식을 사용해 서버에서 영상처리 하는 방식을 채택했으나 실시간으로 추적되지는 않았다. 이후 Paelke가 2004년 Kick Real을 연구하는데, 이는 모바일 단말기에서 발로 축구 등을 하는 방식이었다. 여기서는 실제 발의 돌레를 인식하는 방식을 채택하였다.

위치 기반 핸드헬드 증강현실 최근 스마트폰에 GPS나 가속도센서, 디지털나침반 등의 다양한 센서들이 내장 되면서 위치기반 핸드헬드 증강현실이 일반화되고 있다. Wikitude 서비스는 World Browser라는 개념으로 주위의 정보를 보여주는 위치기반 증강현실 서비스를 상용화하였다.

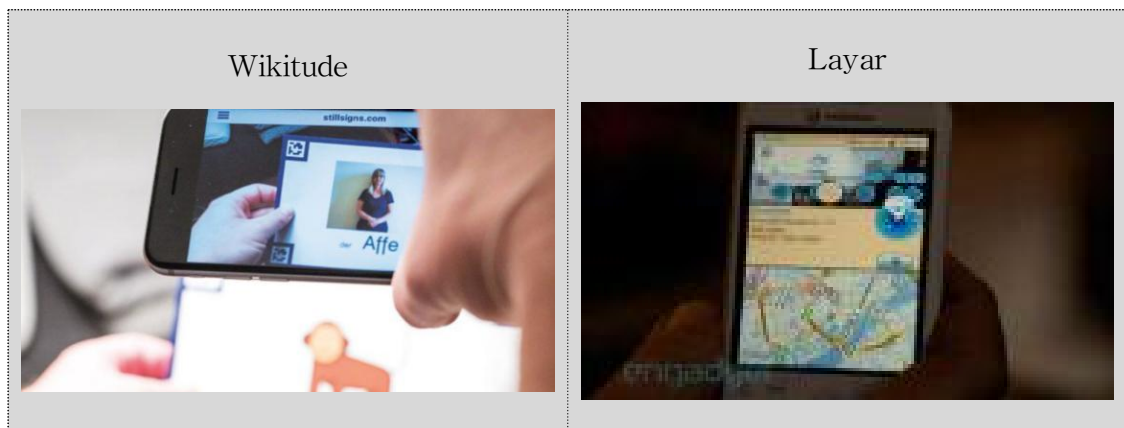


Fig. 4 Handheld AR service[11]

자연특징 기반 핸드헬드 증강현실은 카메라에 들어오는 영상에서 추출할 수 있는 구분이 쉬운 점들을 특징점으로 카메라의 움직임 및 자세를 추정해 증강현실을 구현하는 방식이다.

아래의 Fig. 5에서 보듯이 특정한 객체의 특징점을 영상에서 추출해 저장을 하고 카메라가 이동하면 저장된 특징점과 현재 보는 영상의 특징점을 비교하여 물체의 3차원 정보를 얻는다. 이렇게 검출된 특징점을 이용해 대상 객체의 자세를 계산 할 수 있다.

검출된 대상객체에 정합을 하려고 하는 가상의 객체를 정합시키면 증강현실로 표현이 된다. 이러한 자연특징점 방식으로 증강현실을 할 수 있는 엔진이 여러 업체 등에서 개발되고 있는데 대표적인 것이 퀄컴(Qualcomm)의 AR SDK이다. 퀄컴의 AR SDK는 안드로이드 단말기에서 증강현실 어플리케이션을 개발할 수 있는 API를 제공하고 있다.

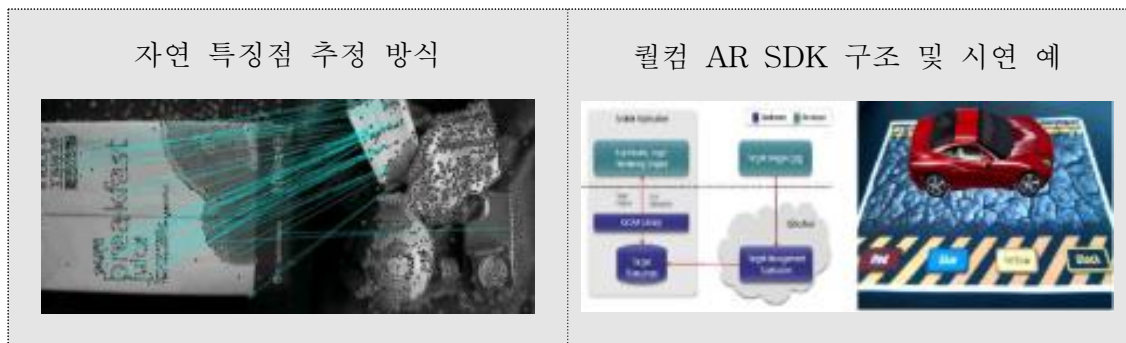


Fig. 5 Image-based AR service[11]

환경 특징점 기반 증강현실은 주위 환경의 특징들을 지도형태로 만들어 추적하는 방식이다. 이러한 방식은 원래 로봇 비전에서 로봇의 주행을 도와주기 위해 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 분야로 연구하고 있는 기술을 증강현실 쪽에서 사용하게 되었다.

이 분야는 옥스퍼드 대학의 Georg Klein이 연구를 많이 하였는데 PTAM(Parallel Tracking and Mapping)이라는 이름으로 공개되어 있다.

아직 상용화하기에는 안정성이 떨어지는 단점이 있고, 기술적으로 가장 난이도가 높고 오차가능성이 높지만 표현 범위가 광범위하다. 이러한 방식은 가장 활용도가 높고 범용적으로 사용될 수 있는 사용자 관점의 기술이기 때문에 발전가능성은 매우 높다고 할 수 있다.

최근에는 영상을 인식해서 대상 물체를 구분하거나 글자를 인식해 번역해주는 서비스들이 등장하고 있다. 흔히 Visual Search라 불리는 서비스들은 이전에 노키아의 Point and Find같은 서비스로 출시되기도 하였으나 최근 Google에서 자사 서비스들과 연계하여 대상 인식 및 문자 번역으로 Goggles라는 서비스를 출시하기도 하였다. 국내에서도 Daum 및 Olaworks 의 회사에서 유사한 서비스를 출시하고 있다.



Fig. 6 Goggles AR service[11]

마커기반 핸드헬드 증강현실은 1997년 Kato & Billinghurst가 ARToolKit을 개발해 발표한 후 데스크탑에서 ARToolKit이 대중적으로 많이 사용되었다.

이는 간단히 OpenGL 프로그래밍만 추가하는 형태로 증강현실 프로그램을 개발할 수 있었기 때문이다. 이에 모바일 단말기에 ARToolKit을 옮기려는 시도가 있었고, 실제로 Wagner가 2003년 PDA에 동작하도록 구현하였다.

이후 2004년에는 Möhring이 기존 ARToolKit 마커 형태가 아닌 3차원 마커 형태로 개발하였고, 2005년에는 심비안 플랫폼으로도 개발이 이루어지게 된다.



Fig. 7 Marker based AR service[11]

한편 다양한 형태의 마커를 인식하고 추적하는 기술들이 개발되었는데, QRCode와 비슷한 형태로 마커에 코드를 넣고 인식, 추적하는 기술도 개발되었다.

2005년 Rohs가 Visual Codes를, 2006년 Wagner는 Studierstube에 프레임마커 등의 새로운 방식의 마커를 구현하기도 한다. 또 공간상의 점과 점사이의 거리를 분석하여 카메라의 위치 및 형태를 추적하는 점 추적방식의 기술도 있다.



Fig. 8 Marker based AR service [11]

마커기반 증강현실에서는 입력 비디오를 일정한 값을 기준으로 잡고 이진화를 시킨다. 그 이후에 마커의 테두리를 추출하고 그로부터 마커와 카메라의 상대적인 자세를 표현하는 Transformation Matrix를 추출해낸다.

본 연구에서는 이와 같은 증강현실의 기술 분야 중 마커기반 증강현실의 마커 인식 향상에 목적을 두고 있다.

이러한 마커 기반의 증강현실 시스템에서 영상의 마커의 추출, 추적하는 기술은 다양화 되고 있지만, 다중 카메라를 이용한 증강현실 구현은 미비한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 다중카메라의 베이스 라인 거리 이격을 통한 스테레오 영상에서의 마커의 인식 및 추정 하는 방법을 제안한다.

이러한 스테레오 영상의 마커의 인식, 추정은 카메라의 시선과 평행한 마커를 검출할 수 있으며, 이로 인해 사용자의 증강현실의 몰입도를 증가시키고, 마커의 이동과 상하회전에 강인한 증강현실 시스템을 기대할 수 있을 것이다.



## 2. 연구 목적 및 내용

본 논문에서는 스테레오 카메라를 통한 증강현실 시스템을 구현하고, 스테레오 카메라의 위치 및 방향에 따른 증강현실 공간에서의 강인한 마커 추적 방법에 대하여 연구한다.

일반적인 증강현실 시스템은 마커의 추적을 위해 싱글 카메라 시스템을 통하여 마커를 추적한다. 이러한 싱글 비전의 객체 추적 기술은 기존에 선행 연구된 분야로 이를 통한 얼굴 및 객체 인식을 통한 다양한 응용 범위를 가지고 있다.

싱글 비전의 객체 추적기술은 촬영한 영상의 초점거리를 통한 영상의 크기 정보를 인식할 수 있으나, 2차원으로 표현된 영상을 통해서만 물체와의 거리정보를 획득하기에는 많은 어려움이 따른다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 선행된 비전 연구는 인간의 눈이 거리정보를 획득하는 방법과 동일한 스테레오비전 시스템을 이용하여 2차원 영상에서의 3차원정보를 획득하는 노력을 진행하고 있다.

마이크로소프트사에서 2010년 발매를 시작한 XBox 주변기기인 키넥트 비전시스템은 이러한 스테레오카메라를 통한 영상의 3차원 정보인식시스템의 한 예이다.

이러한 스테레오 카메라를 통한 증강현실 구현을 위해 키넥트 센서를 통한 증강현실 구현 시스템을 구현한 사례도 나타나고 있다.



Fig. 9 Microsoft KINECT

그러나 키넥트 센서의 비전 카메라의 방향은 두 카메라의 방향이 동일하고, 비교적 짧은 베이스 라인을 갖는 정보와 렌즈의 초점정보를 통해 비교적 근접한 공간의 물체의 이동 정보를 구축하는데 목표가 있다. 실제 이 센서의 활용범위는 XBOX 게임용 콘솔의 인터페이스이다. 이러한 짧은 베이스 라인을 갖는 스테레오 비전은 증강현실 시스템과 같이 마커의 방향을 인식하고 추적하는 시스템에서는 바람직하지 않다.

일반적인 증강현실 시스템은 정밀한 객체의 3차원 깊이 정보를 인식 하기보다는 마커를 인식, 방향의 검출, 마커의 이동을 추적하기 위해 다양한 각도에서 보이는 2차원 영상의 조합으로 물체를 인식하는 것이 가장 바람직하다.

또한 입력되는 영상에서 증강현실의 목적 지향적인 작업을 수행하기 위해 특정한 객체를 추적하면서 동시에 인식해야 한다. 이러한 작업은 증강현실 시스템이 마커의 이동, 회전, 크기변화 및 마커의 각도 변화에 강인하게 설계를 해야 한다.

따라서 본 논문에서는 기존의 싱글비전 증강현실의 문제를 살펴보고, 스테레오 비전에서의 특징점 검출과 스테레오 비전에서의 강인한 마커 인식을 위해 스테레오 카메라와의 거리(Baseline)를 조정하여 증강현실 시스템에서 마커의 이동, 회전, 크기 변화 및 마커의 각도 변화에 강인한 시스템을 제안하고자 한다.

이를 위해 본 논문에서는 다음과 같은 연구를 수행하였다.

첫째, 스테레오 비전을 이용한 증강현실 시스템을 구현하여 싱글 비전 카메라에서 인식하지 못하는 마커를 인식할 수 있도록 구현한다.

둘째, 스테레오 비전 시스템의 각 카메라의 거리(Base line)에 따른 마커의 인식 속도를 비교하여 기존의 스테레오 비전에서 인식하지 못하는 마커인식 여부를 확인한다.

셋째, 좁은 베이스라인을 갖는 스테레오 비전 시스템과 넓은 베이스 라인을 갖는 스테레오 시스템을 비교하여 증강현실 공간에서 강인한 마커인식을 위한 비전 시스템을 제안한다.



본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 증강현실 시스템 구성을 위한 비전 시스템, 증강현실을 위한 마커의 설계, 증강현실 시스템을 위한 마커의 인식 및 스테레오 비전을 통한 영상의 3차원 구성에 대하여 살펴보고, III장에서는 본 연구에 사용되는 스테레오 비전에 특징점 추정 기법과 본 연구에서 제안한 와이드 베이스라인을 통한 특징점 추정에 대하여 살펴 볼 것이다. IV장에서는 증강현실 시스템을 구현하는 환경 및 실험 결과를 분석한다. V장에서는 본 연구의 의의 및 향후 연구방향을 제시한다.

## II. 증강현실 비전 시스템

### 1. 스테레오 비전 시스템

통상적인 스테레오 영상획득 시스템은 2개의 영상을 얻기 위하여 서로 다른 공간에 위치한 두 대의 카메라로 이루어져 있다[2].

스테레오 비전 시스템은 카메라 센서의 광축과 평행한 카메라 광축을 갖는 두 대의 카메라를 이용한다. 이러한 평행 카메라 방식에서 획득한 두 개의 영상에서 공통으로 보여지는 영역은 두 카메라 광축 사이의 거리에 따라서 특정한 차이값을 가지게 되고, 이러한 두 영상의 차영상 통해 영상에서 추출하고자 하는 객체의 3차원 정보를 얻을 수 있다.

이러한 평행 카메라 방식은 영상의 코너 부근의 영역 신호들에 대하여는 인식이 불가능 하지만, 이러한 평행 카메라 구성법은 시차 계산을 위한 수학적 시차 방정식이 매우 간단하여 비교적 손쉽게 영상의 3차원 정보를 획득할 수 있다는 주요한 장점을 갖고 있다.

반면, 교차식 카메라 방식은 두 카메라 축과 렌즈 축이 서로 교차하도록 회전된 카메라 시스템을 가지고 있다. 이 방법은 평행 카메라 방식에 비해 영상의 코너 부근의 영역에서도 3차원 정보 획득이 가능 하지만, 인식하고 하는 3차원 객체의 거리가 두 카메라의 광축에서 벗어나는 경우 두 영상의 차영상 획득에 어려움을 가지고 있다[2][3].

뿐만 아니라 이러한 교차식 카메라 기법은 수학적 구현이 복잡하고, 시차에 따른 객체의 인식이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. Fig. 10와 Fig. 11은 인간의 시각 시스템을 카메라로 구성한 두 가지 스테레오 비전 시스템을 보여주고 있다 [2][3].

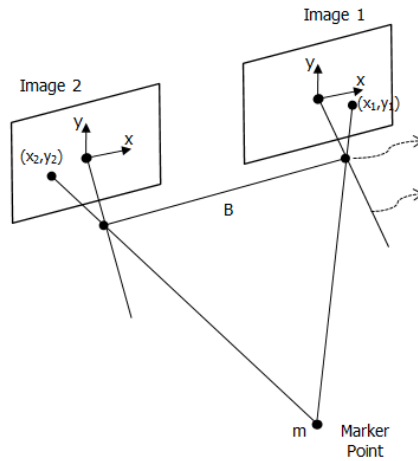


Fig. 10 Parallel stereo camera geometry

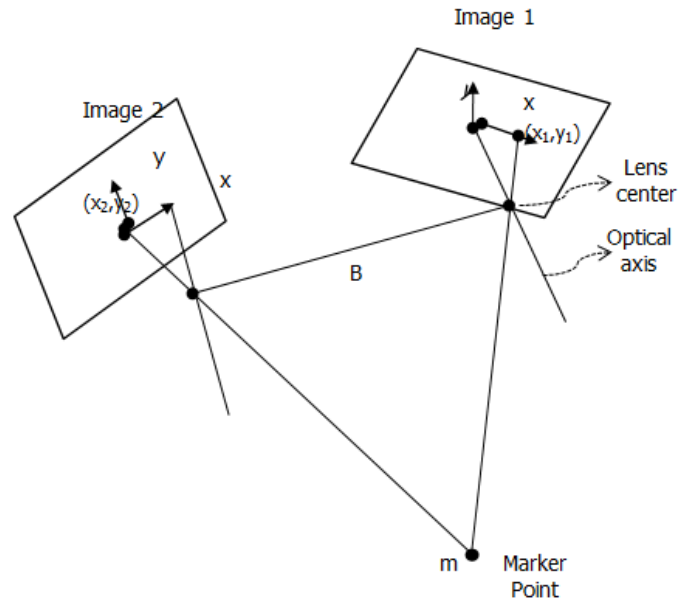


Fig. 11 Convergent stereo camera geometry

스테레오 비전 시스템은 인간이 시각 정보를 통해 3차원 공간을 인지하는 방법을 모방한 기술로 두 카메라에서 얻은 매우 유사한 영상정보에서 두 카메라의 시차에 의한 차영상 정보를 이용한 방법이다[17].

스테레오 비전 시스템의 카메라 모델에서 두 카메라 좌표계에서 획득한 두 개의 영상에서 공통으로 보여지는 영역의 차영상은 두 카메라 광축 사이의 거리에 따라서 특정한 차이값을 가지고 중첩된다. 이러한 차영상의 픽셀정보와 렌즈의

초점거리 및 렌즈와의 거리(Base Line)를 통해, 추출하고자 하는 객체의 3차원 정보를 얻을 수 있다.

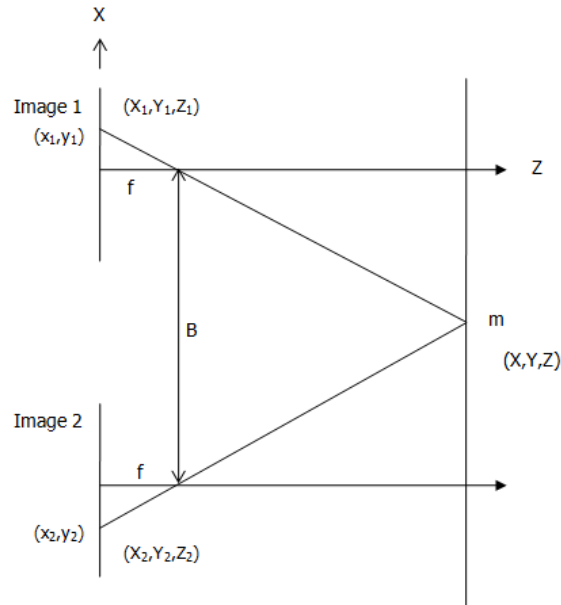
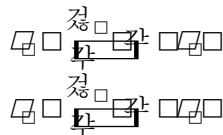
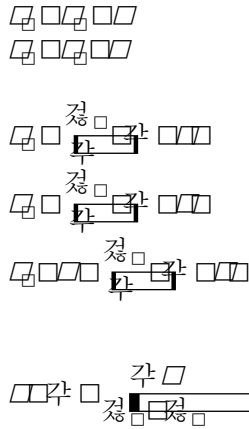


Fig 12. Stereo camera geometry

Fig. 12의 B는 두 카메라의 베이스라인으로 두 카메라의 거리를 의미하며, f는 초점거리, Z는 마커(m)와의 거리에 대한 정보이다. 이와 같은 스테레오비전 시스템의 3차원 정보인 마커(m) 과의 거리는 다음과 같은 좌표를 갖는 선상에 존재하게 된다.



두 카메라는 위치가 B만큼 떨어져 있고, m의 Z 좌표가 두 카메라의 좌표계와 일치하기 때문에 다음 수식을 통해 Z 값을 추출 할 수 있다.



따라서  $Z$ 는 두 렌즈의 시차에 반비례함을 알 수 있다. 이러한 이유로 영상에서의 3차원 정보는 가까이 있는 물체의 3차원 정보는 비교적 정확히 측정할 수 있지만, 원거리의 물체에 대해서는 정확한 측정이 어려울 수 있다.

뿐만 아니라 도출된 식에서는 두 카메라 시스템의 사이의 거리  $B$ 에 따라 시차가 증가함을 알 수 있으므로, 비교적 원거리에 대한 정확한 위치정보를 획득하기 위해서는 두 카메라 시스템 사이의 거리인 베이스라인( $B$ )를 증가시킬 필요가 있을 것이다.

그러나 베이스라인( $B$ )를 증가시키는 것은 두 카메라에서 얻은 영상이 유사성이 떨어지기 때문에 차영상 획득에 어려움이 있을 수 있을 것이다.

## 2. 마커의 설계

증강현실 구현을 위해 현실 세계와 가상 객체를 정확히 원하는 위치에 증강을 시키기 위해서는 마커의 3차원 좌표 값을 추정하고, 정합하는 기술이 필요하다.

마커 기반의 증강현실 시스템에서의 가장 큰 문제점은 마커의 불안정한 인식에 있다. 이는 마커가 영상의 다른 장애물이나 사용자의 마커 회전등에 의해 영상에서 불명확한 마커가 인식하게 되면, 시스템에서 이를 증강할 수 없는 문제점을 내포하고 있기 때문이다. 이러한 문제점은 마커의 탐지기법이 입력된 영상에서 마커의 후보영역들과 등록된 마커와의 정합 방법을 이용하기 때문에 지정된 마커와 유사한 마커 패턴을 등록하게 되면, 서로 다른 마커가 하나의 마커로 인식해 정합도가 낮아지기 때문이다.

Fig. 13 는 ARToolkit에서 사용되는 증강현실 마커의 한 예이다.



Fig. 13 ARToolkit marker

증강현실의 시스템에서의 사용자는 마커와 정합된 영상의 시각적인 어긋남에 매우 민감하게 반응한다. 이것은 영상의 몰입감을 저해하는 중요 요소로 이러한 문제로 인하여 증강현실 구현을 위해서는 마커의 인식률을 높이기 위한 마커 설

계가 매우 중요하다고 볼 수 있다.

기존이 싱글 비전 카메라로 구성된 증강현실 시스템에서 영상의 3차원의 정보를 파악하는 것은 불명확한 마커인식과, 마커의 회전으로 인한 인식 오차 발생으로 인하여 증강현실 체험 사용자가 몰입감이 떨어지는 문제를 가지고 있다.

싱글비전 카메라 시스템에서의 3차원 정보의 인식은 현실세계의 어떤 지점의 3차원 좌표를 이용하여 이 좌표가 카메라 시스템의 좌표와 일치시키는 방법을 구현할 수 있다. 촬영된 영상에서 마커의 인식과 추적을 위해 대부분의 증강현실 구현 시스템에서는 마커 추출이 쉬운 영상특징들로 구성된 검출 마커를 사용하여 해결하고 있다. [4]

이러한 3차원 마커 인식 문제 해결을 위한 원론적인 해결 방법은 인간의 두 눈을 통해 물체의 거리를 인식하는 것과 같이 시차가 다른 2개의 카메라를 이용하여 증강현실 시스템을 구현하는 것이다.

증강현실 시스템에서의 마커 인식률은 마커의 패턴과 높은 연관성을 가지고 있다. 또한 마커의 패턴은 증강현실 시스템에서 정합하고자 하는 객체의 갯수와 밀접한 관계가 있다. 마커의 패턴이 단순할 경우에는 인식률이 높지만 정합할 수 있는 객체의 수가 줄어들게 되지만, 패턴이 복잡할 경우 지정된 마커와 유사한 마커를 정합시키는 문제가 많이 발생할 수도 있다.

표1 은 2차원 마커의 설계에 필요한 예시이다.

Table 1. Marker plan

| 조건   | 단위        | 값           |
|------|-----------|-------------|
| 정보용량 | 바이트       | $\leq 2$    |
| 정보종류 | 유형        | ID          |
| 부호방법 | 오류정정 및 판단 | 순환중복검사, CRC |

표1 과 같은 2Byte의 용량을 갖는 마커를 구현할 경우 65,536개의 마커를 생성할 수 있다. Fig. 14은 표1의 제시한 마커의 설계를 바탕으로 구현된 마커의 한 예이다.



Fig. 14 2Byte Marker sample

증강현실 시스템에서의 마커인식은 등록된 마커의 패턴과 정합하는 과정을 통해 구현이 되므로 비교적 강인한 인식이 가능한 패턴으로 설계하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

뿐만 아니라 증강현실 시스템에서 사용되는 마커의 물리적 크기도 인식에 크게 좌우하게 된다.

본 논문에서 실험한 마커는 OpenCV 공개 라이브러리에서 손쉽게 생성하고 이용할 수 있는 마커를 활용하였다. 이 마커는 이미 증강현실 시스템을 구현하는데 많이 사용되어지고 있는 마커로 관련 라이브러리를 쉽게 찾을 수 있다.

본 논문에서는 싱글 비전에서 인식하지 못하는 마커의 인식을 위해 스테레오 비전 시스템에서의 인식률에 중점을 두어 연구되어 있어 비교적 단순 하면서 강인한 마커를 활용하고자 하였다.

실험에 사용된 마커의 패턴은 Fig. 15와 같으며 가로, 세로 길이가 100mm 인 규격의 마커를 제작 사용하였다. 이 마커의 내부 ID 패턴이 4×4이고 테두리를 포함하여 6×6의 형태로 마커 셀을 사용할 수 있다.

이와 같은 마커는 마커의 테두리가 가려지거나, 영상의 다른 장애물에 의해 마커가 가려지는 등의 문제에도 강인한 인식률을 가지고 있다. 다만 이와 같은 단순한 패턴의 마커들도 카메라의 시차에 어긋나는 마커의 각도 변이에 따른 인식률은 여전히 낮은 수준이다.[7]



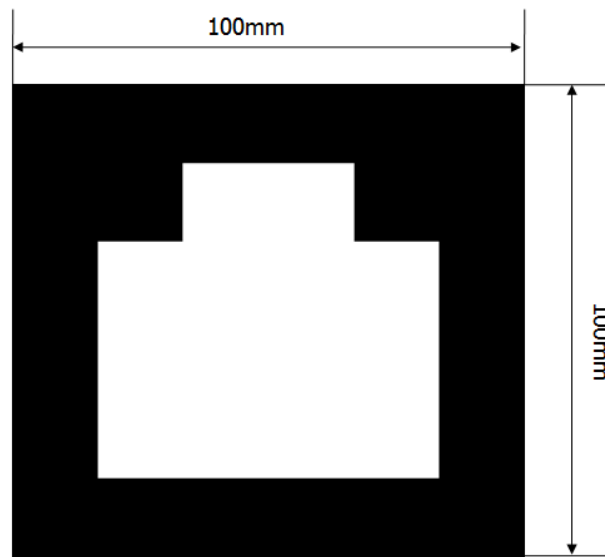


Fig. 15 Test marker(Size 4×4)

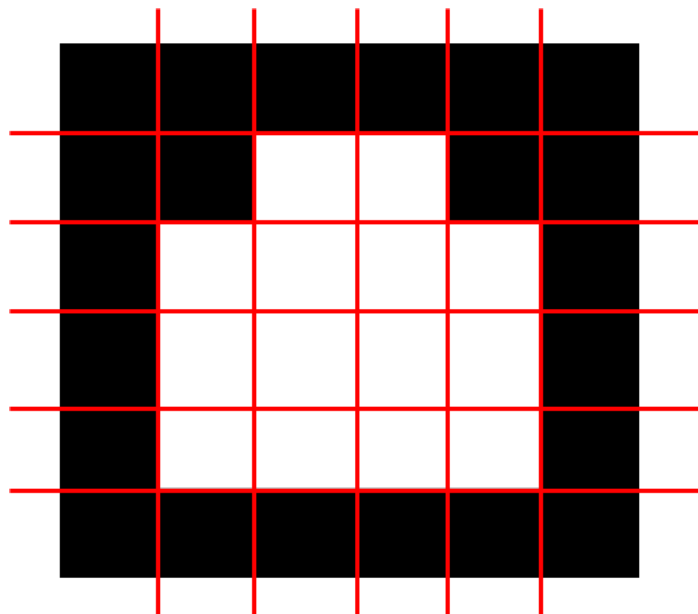


Fig. 16 Marker image cell

### 3. 마커의 인식

카메라 시스템에서 획득한 영상에서 마커를 추출하는 방법은 크게 이미지 변환, 외곽선 및 마커후보군 추출, 마커 정의 과정을 거치게 된다.

영상의 이진화는 획득한 영상에서 특정 마커를 추출하기 위한 전처리 과정으로 많이 사용되고 있다.[5] 카메라 시스템에서 촬영된 영상은 빛의 3원색(R, G, B)을 조합하여 색이 표현된다. 이러한 컬러영상을 이진화 하는 경우 3개 채널(R, G, B)를 별도로 이진화하기 때문에 실제의 영상과 다른 영상을 얻을 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 영상을 먼저 흑백 이미지로 이진화를 먼저 수행한다. RGB 컬러 모델을 갖는 영상을 그레이 레벨의 흑백 이미지로 바꾸기 위해서는 다음 방식으로 변환할 수 있다[6].

$$Graylevel = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$$

이와 같은 그레이레벨 변환은 컬러영상의 R, G, B 색의 조합(각 0~255)을 Gray level에서의 새로운 값(0~255)을 갖게 된다. 이러한 Gray level의 흑백톤의 이미지는 지정된 특정 임계값(threshold)을 기준으로 이진화 과정을 거치고, 이미지의 모든 원소의 Graylevel과 비교하여 임계값(threshold) 보다 작은 값은 0의 값이 되어 검정색으로, 큰 값은 1이 되어 흰색으로 표시되어 이진화 파일을 생성할 수 있게 된다.

이진화 과정에서 임계값이 너무 낮게 설정할 경우 영상이 너무 밝게 변환되고, 너무 높은 값으로 설정할 경우 밝은 부분이 모두 제거되어 어두운 영상을 얻게 된다. 정상적인 이진화 변환 단계의 임계값은 128이다.[6] 이러한 이진화 단계를 거치고 획득된 영상에서 마커를 인식하고 이를 통해 마커와 배경을 구분하는 작업이 수행된다.

이와 같은 일련의 흐름은 다음 Fig. 17과 같은 영상의 변환 과정을 거치게 된다.

Fig. 17은 영상의 카메라로 획득된 컬러 영상 이미지 이다.

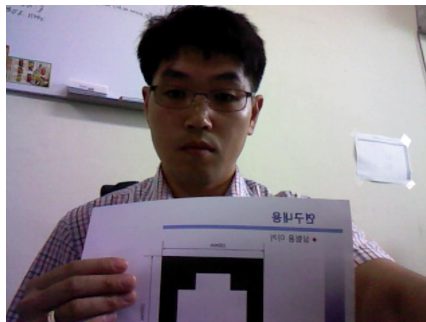


Fig. 17 Color image(R,G,B level)

Fig. 17 영상을 Gray Level 변환한 후 영상은 Fig. 18과 같다.



Fig. 18 Gray level image

Fig. 19는 Fig. 18 영상을 이진화 변환 후 영상이다.



Fig. 19 Monochrome image(threshold=128)

이진화된 영상에 존재하는 마커의 좌표를 인식하기 위해서는 이진 영상에서 외곽선을 추출하고 마커의 형태가 될 수 있을 만한 후보영역을 검출해야 한다.

변환된 이진화 영상은 0 또는 1의 값을 가진 행렬의 형태로 저장되어 있으며, 행렬의 원소값이 0과 1로 변하는 연속된 픽셀이 객체의 외곽선으로 표시된다.

이러한 영상은 트리구조로 되어 있으며, 이러한 트리구조를 탐색하면 영상의 행렬 값이 1이 되는 연속된 점으로 근사화 할 수 있다. 이를 통해 꼭지점의 수가 4개인 형태의 마커를 추출할 수 있다[5][6].

이와 같은 마커의 영역을 인식할 경우 Fig. 20과 같은 단계별 영상을 획득하여 영상에서 마커를 인식할 수 있다.

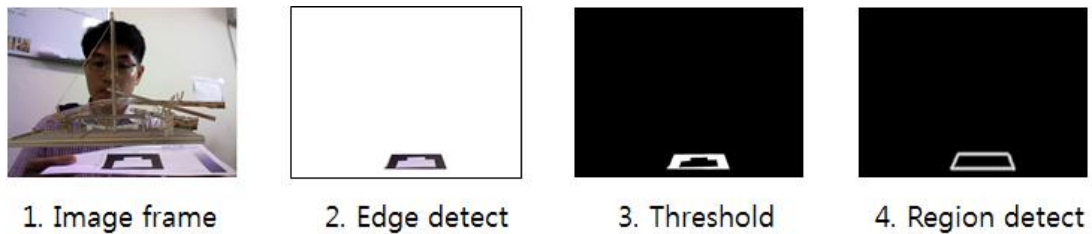


Fig. 20 Marker tracking

획득된 영상에 대한 기하학적인 구성을 측정 하는 영상처리에서는 실수형 좌표계 사용해야 하며 따라서 추출된 마커 행렬의 사각형 코너 부분이 곡선 형태로 분포되어 있는 픽셀들 사이에서 경계지점을 찾아낸다.

이것은 코너의 자료를 정사각형에 투영변환 시켜 마커의 이미지를 정렬 할 수 있다. 이러한 정렬은 Fig. 21에서와 같은 형태로 설계된 마커에 정합된다.

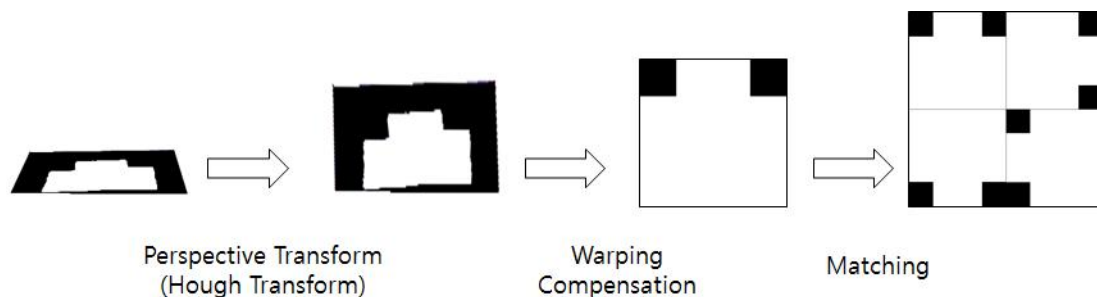


Fig. 21 Marker matching

#### 4. 특징점 기반 스테레오 매칭 및 마커추정

스테레오 영상의 특징점 정합을 통한 3차원 구성을 위해서는 먼저 영상의 특징점을 추출하는 전처리 과정이 필요하다.

이상적인 스테레오 시스템은 앞서도 살펴보았 듯이 아래 Fig. 22와 같다.

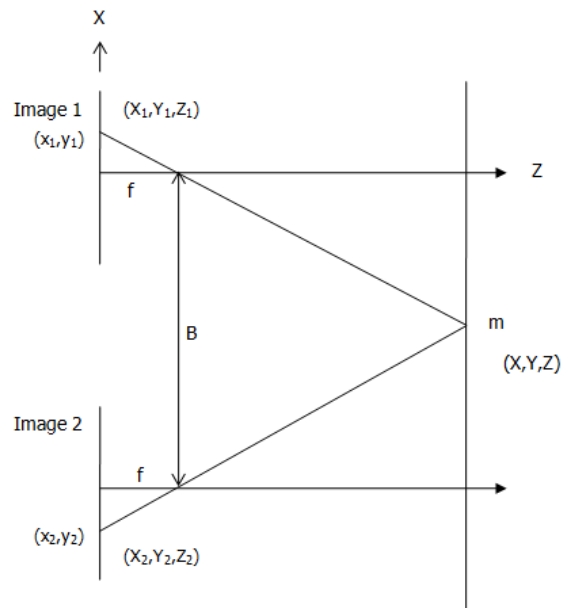


Fig 22. Stereo camera geometry

Fig. 22에서의 마커  $m$ 이 좌우 영상의 평면에  $(x_1, y_1)$ 과  $(x_2, y_2)$ 로 각각 투영되며 이때의 두 카메라 시스템의 초점거리는  $f$ 로 같다. 이때의 카메라 광축은 영상의 중심에 있으며, 두 카메라 사이의 거리인 베이스라인은  $B$ 이다.

II장 1절에서 도출된 아래 수식과 같이  $Z$ 는 두 렌즈의 시차에 반비례함을 알 수 있다. 이러한 이유로 영상에서의 3차원 정보는 가까이 있는 물체의 3차원 정보는 비교적 정확히 측정할 수 있지만, 원거리의 물체에 대해서는 정확한 측정이 어려울 수 있다.



뿐만 아니라 도출된 식에서는 두 카메라 시스템의 사이의 거리 B에 따라 시차가 증가함을 알 수 있으므로, 비교적 원거리에 대한 정확한 위치정보를 획득하기 위해서는 두 카메라 시스템 사이의 거리인 베이스라인(B)를 증가시킬 필요가 있을 것이다.

그러나 베이스라인(B)를 증가시키는 것은 두 카메라에서 얻은 영상이 유사성이 떨어지기 때문에 차영상 획득에 어려움이 있을 수 있을 것이다.

특정된 초점거리  $f$  와 베이스라인  $B$ 를 같은 증강현실 시스템에서 두 영상의 차영상( $x_2-x_1$ )을 검출하기 위해서는 두 영상의 특징점을 검출하여 알고리즘이 필요하다.

스테레오 매칭 기법에 따른 특징과 대표적 알고리즘은 크게 Local Stereo Matching Algorithm과 Global Stereo Matching Algorithm으로 구분할 수 있으며, Local Stereo Matching Algorithm은 블록매칭(Block Matching) 기법과 특징 기반 스테레오 매칭(Feature-based Matching)으로 기법으로 구분 할 수 있다.

Global Stereo Matching Algorithm에는 최적화된 경로인 스캔라인을 따라 변이 결정하는 Dynamic Programming 기법, Maximum flow 에 의해 계산된 minimum cut 을 사용하여 변이 측정을 이용한 Graph-cuts 기법, 신뢰 네트워크에서 메시지 전달 방법을 이용하여 변이 결정하는 BP(Belief Propagation) 기법등이 대표적인 매칭 기법이다[6][8].

Local Stereo Matching Algorithm의 블록매칭(Block Matching) 기법은 영역 상관도 측정 후 비교할 수 있으며, 전체 영상의 대응점 제공하는 보편적 알고리즘이다. 하지만 두 영상의 차가 큰 경우 많은 검출 시간 많이 소요된다.

특징 기반 매칭(Feature-based Matching) 기법은 영상의 포인트나 외곽선(Edge) 특징점을 이용한 매칭 기법으로 노이즈에 강인한 매칭 기법이다. 이러한 특징점을 추출하는 알고리즘은 Harris[13], SIFT[14], SURF[15], FAST[16] 등이 있으며, 이와 같은 매칭 알고리즘을 통해 영상의 특징점(corner feature)을 이용

하는 방법이 일반적인 스테레오 매칭 기법의 하나이다[9][12].

Harris방법은 윈도우 내의 픽셀 값의 밝기 변화에 따라 특징점을 선택하는 방법으로 일반적인 스테레오 비전 시스템에서 많이 이용되고 있는 방법이다.

SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 방법은 DoG(Difference of Gaussian)을 생성하고 생성된 값이 최소 혹은 최대가 되는 영역을 특징점으로 선택하는 방법으로 영상에서의 신뢰성 있는 특징점을 추출할 수 있지만, 추출 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

SURF(Speeded Up Robust Features) 방법은 헤이시안 행렬식의 중첩(convolution)을 통해 영상의 특징점을 추출하는 알고리즘으로 SIFT보다는 성능이 낮지만 영상에서 특징점을 추출하는 시간을 감소시킬 수 있다.

FAST(Features from Accelerated Segment Test)방법은 특정 지점의 픽셀의 밝기 값을 주변 픽셀과 비교하여 그 변위가 경우 이를 특징점으로 결정하는 방법이다.

이러한 스테레오 비전 시스템에서 3차원 정보를 획득하기 위해 다양한 매칭 알고리즘이 발표되고 있으며, 또한 연구되어 지고 있다.

마커기반의 증강현실 분야에서는 마커의 포인트와 주변의 경로로 마커를 손쉽게 표현할 수 있으므로 Local Stereo Matching Algorithm 중에서, SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)가, 마커의 변형에서도 강인한 특성을 보이기 때문에 널리 사용되고 있다[18][19].

### III. 와이드 베이스라인 특징점 추정

#### 1. 와이드 베이스라인을 통한 추정 목적

본 논문에서는 와이드 베이스라인 스테레오 비전 시스템을 이용하여 증강현실 환경에서의 마커의 각도 변이가 큰 마커의 인식 성능을 높이고자 한다.

증강현실 구현을 위해서는 현실 세계와 가상 객체를 정확히 원하는 위치에 증강을 시키기 위해서는 마커의 3차원 좌표 값을 추정하고, 정합하는 기술이 필요하다.

또한 마커 기반의 증강현실 시스템에서의 가장 큰 문제점은 마커의 불안정한 인식에 있다. 이는 마커가 영상의 다른 장애물이나 사용자의 마커 회전등에 의해 영상에서 불명확한 마커가 인식하게 되면, 시스템에서 이를 증강할 수 없는 문제점을 내포하고 있기 때문이다.

기존의 스테레오 비전 시스템을 이용한 증강현실 시스템은 비교적 적은 값을 갖는 나로우 베이스라인 비전시스템으로 구성되어 있다.. 이는 두 영상간의 특징점 변이 작게 하여 특징점을 추정하는 것으로 영상의 노이즈에 강인한 기법이라고 할 수있다.

그러나 증강현실 시스템의 마커는 매우 단순한 구조로 싱글 비전 시스템에서도 쉽게 마커를 검출할 수 있다. 이러한 환경을 고려할 때 증강현실 시스템의 스테레오 비전에서는 두 카메라의 베이스라인을 크게 두어 정밀한 깊이정보 획득 보다는 마커의 검출에 강인한 와이드 베이스라인 스테레오 카메라를 이용한 증강현실 설계가 필요할 것이다.

다만 증강현실 시스템에서의 최적화된 베이스라인을 갖는 스테레오 비전일 경우 분명 한계점이 있을 것이다.



이상적인 스테레오 비전시스템인 Fig. 23에서 특징점 검출에 연관된 파라메타는 렌즈의 초점거리  $f$ 와 두 카메라의 베이스라인  $B$ 이다.

베이스라인이 길어질수록 두 영상간의 특징점을 찾는 어려움은 가중될 것이며, 이로 인한 깊이 측정오차가 상대적으로 많이 발생할 것이다.

일반적인 증강현실을 위한 카메라 렌즈시스템의 초점거리는 FOV(Field Of View)를 고려해 짧고 마커와의 거리는 상대적으로 길기 때문에 마커 검출에 강인한 스테레오비전 시스템 설계를 위해서는 최적화된 베이스라인에 대한 연구가 필요한 실정이다.

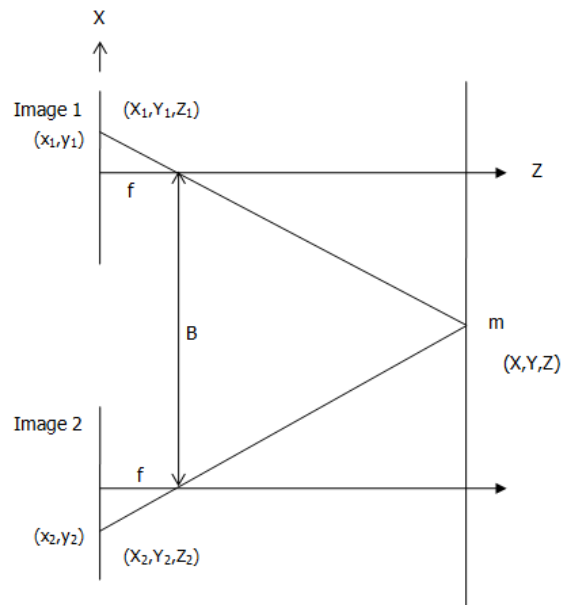


Fig 23. Ideal stereo camera geometry

## 2. 와이드 베이스라인 특징점 추정

스테레오 비전에서 베이스라인과 객체의 깊이 인식은 상당한 밀접관계를 가진다. 카메라의 광축과 평행한 스테레오 비전시스템에서 두 영상의 특징점 추출을 통해 차영상을 얻을 수 있으며, 추출한 차영상은 객체의 거리정보를 계산하는데 중요한 요소이다.

Fig. 24는 스테레오 카메라 시스템의 초점거리  $f$ , 베이스라인( $B$ ) 그리고 차영상과( $x_2-x_1$ )의 거리를 나타내는 그림이다. 이때 두 카메라 시스템의 시차가 일치한다고 가정하면 마커의 위치  $m$ 은 이미지의 위치 정보를 가질 수 있다.

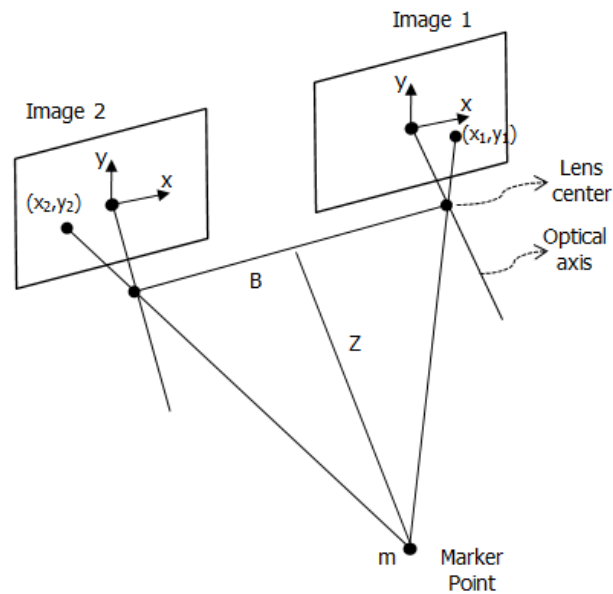


Fig. 24 Relation of baseline  $B$ , focal length  $f$  and  $Z$

두 카메라의 초점길이는  $f$ 로 동일하고, 이때 베이스라인은 두 카메라의  $B$ 일 경우 차영상 값을 좌우 영상의 마커의 위치차이  $x_2-x_1$  이다.

그러므로 증강현실에서 마커  $m$ 과의 거리  $Z$ 의 정보를 계산하면 다음 식과 같다.



위 수식은 알 수 있듯이 베이스라인의 길이는 두 영상의 특징점의 정밀도를 결정하는 주요 요소가 된다. 즉 두 카메라 시스템의 베이스라인이 길어질 경우 두 영상의 차영상을 정확히 추출해 낼 수 있고 이를 통해 정확한 3차원 정보 추출이 가능하지만, 베이스 라인이 길어진다면 특징점 차영상의 범위가 커져 3차원 정보의 신뢰성이 떨어질 수 있다. 이와 같은 문제는 매칭에 우선순위를 두고 베이스 라인을 잡을 것인지, 거리 측정을 정확히 하기 위한 베이스라인을 결정할 것인지의 선택이 필요하다[20].

대부분의 스테레오 비전 시스템은 거리정보의 정확한 측정을 목표로 연구되고 있다.

본 논문에서는 3차원 공간에서 각도 변이가 큰 마커의 검출하는데 있어 스테레오 카메라간의 베이스라인의 변화를 통해 마커의 3차원 깊이 추정하는 방법을 연구하였다.

Fig. 25는 베이스라인의 길이가 각각 B1, B2, B3인 스테레오 비전 시스템의 도해이다. 각각의 카메라의 광축이 모두 평행하고 베이스라인의 간격이 다른 경우의 환경에서 스테레오 영상에서 마커의 특징점을 추출하고 추정 할 유사 픽셀의 매칭이 이루어 질 경우 베이스라인이 가장 큰 B3인 경우 마커의 차 영상도 커지게 된다.

이와 같은 환경에서 초점거리의 변화에 따른 차영상의 변화가 발생할 수 있으나, 본 실험에서는 마커와의 거리에 비해 충분히 짧은 초점거리를 가지는 비전 시스템을 고려하여 설계하였다.

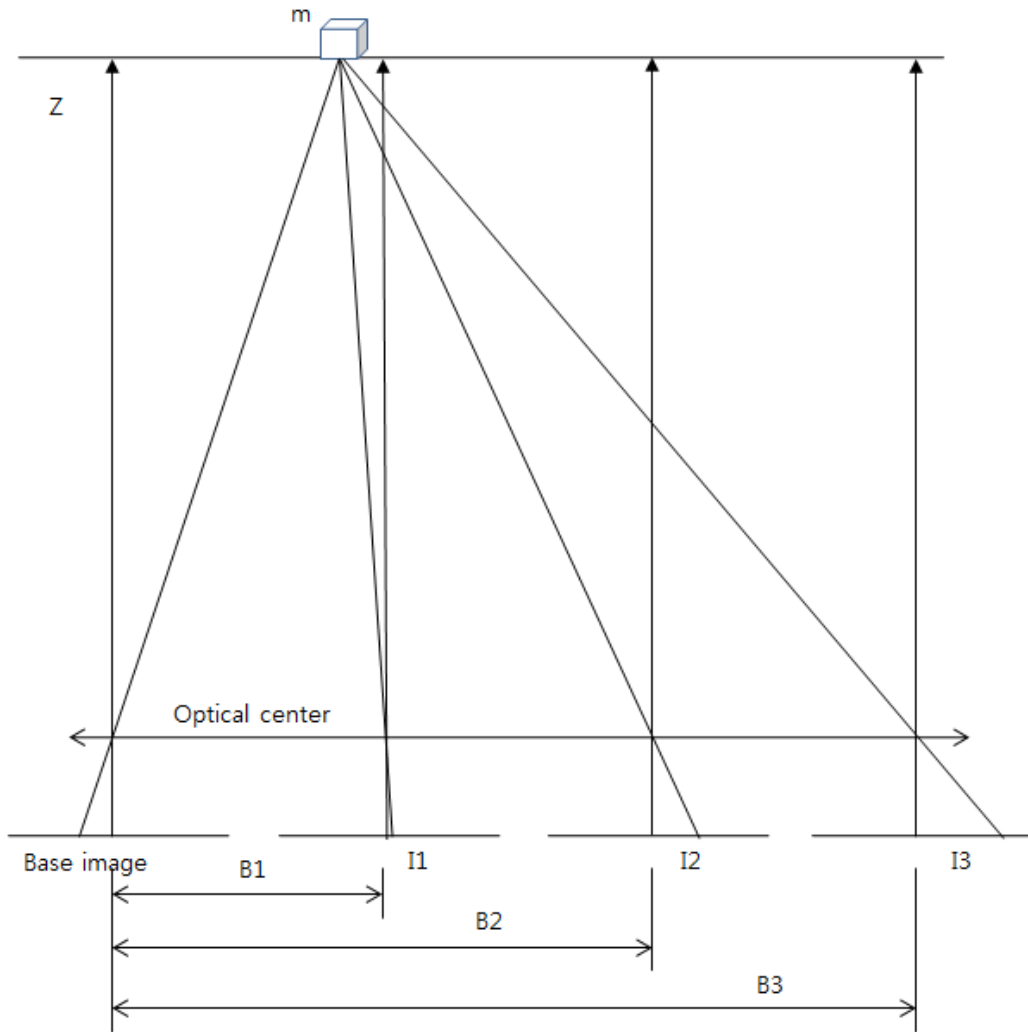


Fig. 25 Relation of disparity and baseline

스테레오 비전시스템을 이용한 증강현실 시스템을 위해서는 각도 변이가 큰 마커의 검출에 있어 카메라간의 간격(Baseline)이 마커의 인식에 있어 주요한 요소이며, 마커 인식과 추적에 높은 중요도를 갖는다. 이를 이용하면 증강현실 공간에서 마커의 3차원 구성에 있어서, 마커 검출에 강인한 증강현실 시스템 구현이 가능할 것이다.

이러한 연구를 바탕으로 기존 증강현실 시스템 환경에서 마커의 검출이 힘든 각도 변이가 심한 마커 검출이 가능함을 사용자의 증강현실 몰입도를 증가시키고자 한다.

### 3. 스테레오 영상의 획득

본 논문에서는 스테레오 영상 생성을 위한 촬영을 위해 Microsoft LifeCam HD 카메라 2대를 이용하여 얻어진  $1280 \times 720$  해상도의 영상을 사용하였다.

촬영시간에 따른 노출차이를 제거하기 위해 동일 장소에서 동일한 조명하에서 실험을 하였다.

제안하는 시스템의 구성은 다음과 같다.

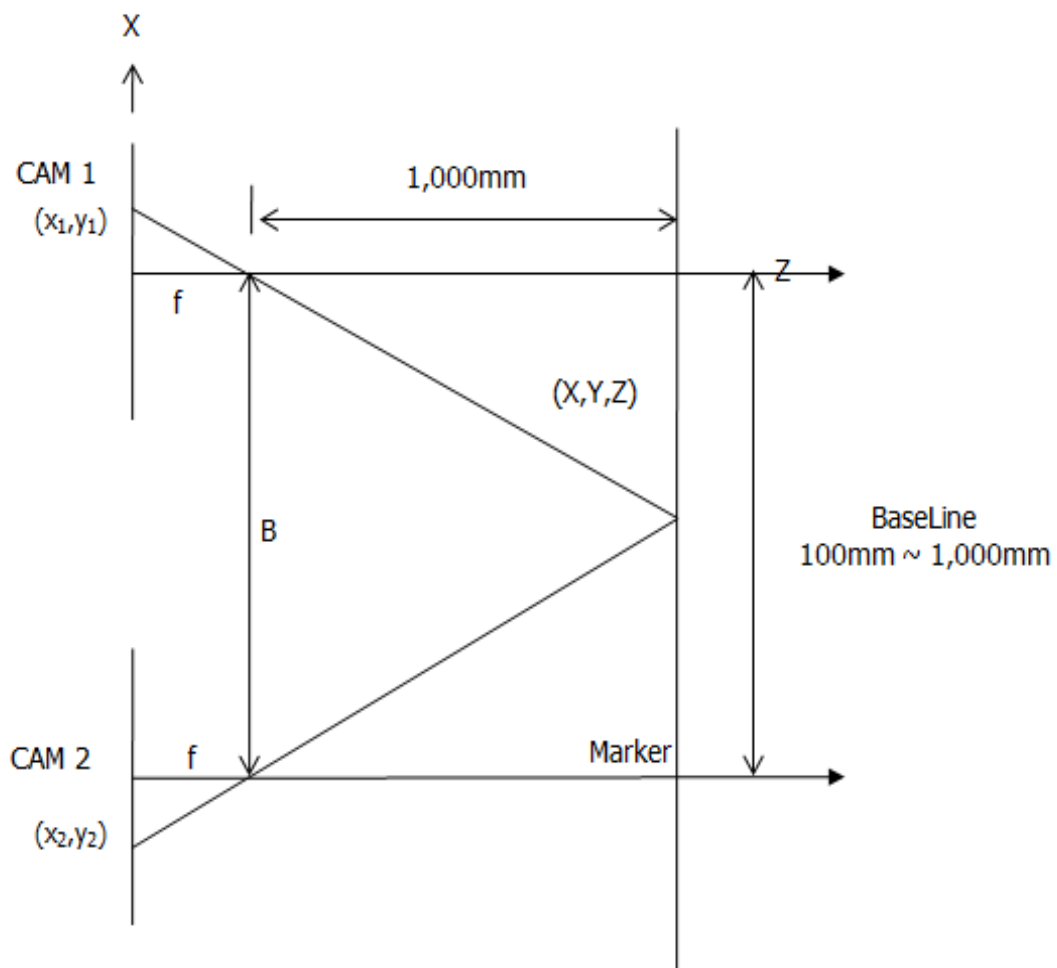


Fig. 26 Stereo vision environment

본 연구를 위한 실험환경 제안과 같이 카메라와 베이스라인과의 거리는 1,000mm로 고정된 상태에서 실험 환경을 구축 하였다. 이러한 구성에서 마커의 위치는 두 카메라의 시선의 중심지점에 설치하여 구현할 경우 마커의 인식 불가 상황을 거의 발생시킬 수 없으므로, CAM1 과 CAM2의 영상의 중첩되는 범위 안에서 마커를 설치하였다. 이와 같은 제안 시스템의 실제 환경구성은 Fig. 27 과 같다.

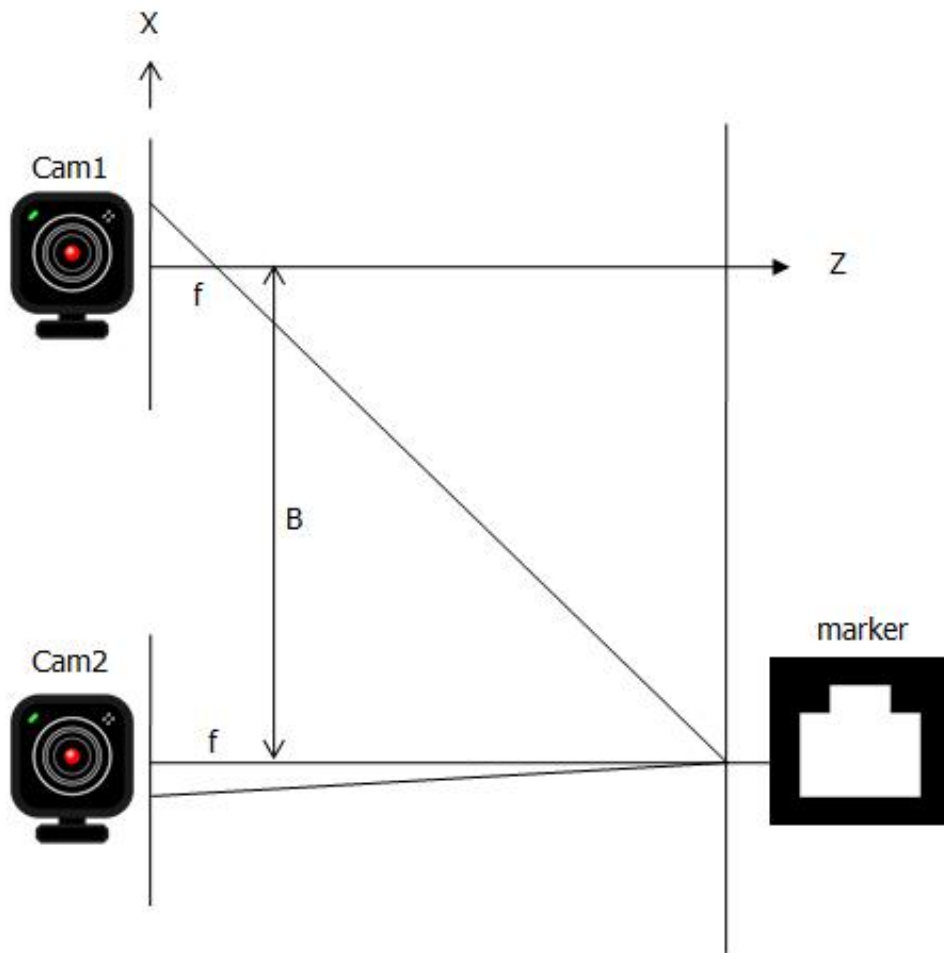


Fig. 27 Wide baseline stereo design (baseline =1,000mm)

마커의 각도 변이를 구현하기 위해서는 마커의 위치를 CAM2 의 위치에 맞게 높이를 조정 한 후 마커가 부착된 플레이트의 각도를 조정하는 방식으로 실험 환경을 조성하였다.

Fig. 28은 플레이트 각도 변화를 표시한 예이다.



Fig. 28 Marker angle variation

또한 본 연구에서 제안한 와이드 베이스라인에서의 마커 검출 실험에 사용된 파라메타 변동값은 다음과 같다.

첫째, 마커와 카메라 베이스라인과의 거리를 1,000mm로 고정된 상태에서 두 카메라와의 베이스라인을 100mm에서 1,000mm까지 100mm 단위로 10회의 베이스라인 변이를 두어 마커의 검출 여부를 실험하였다. 이는 일반적인 스테레오 카메라의 베이스라인과 비교하여 매우 높은 수치로 본 논문에서는 이러한 환경에서의 강인한 마커 인식을 실험하고자 한다.

둘째, 첫째 환경의 베이스라인 각 환경에서 마커의 각도변이를 0° ~ 90°까지 10°단위의 변이를 두어 각각 마커의 검출 여부를 실험하였다.

셋째, 싱글 카메라를 이용하여, 마커와 카메라와의 거리가 1000mm가 되는 지점에서 마커의 각도 변이를 0° ~ 90°까지 10°단위의 변이를 두어 마커의 검출 여부를 실험하였다.

이와 같은 실험 환경에서 마커와 사선방향에 있는 CAM2 영상은 마커의 각도 변이가 90°인 경우 Fig. 29과 같이 마커 영역이 촬영된다..



Fig. 29 CAM2(Marker angle variation = 90°)

마커의 각도 변이가 90° 인 경우 CAM1의 영상은 Fig. 30와 같은 영역이 촬영된다.

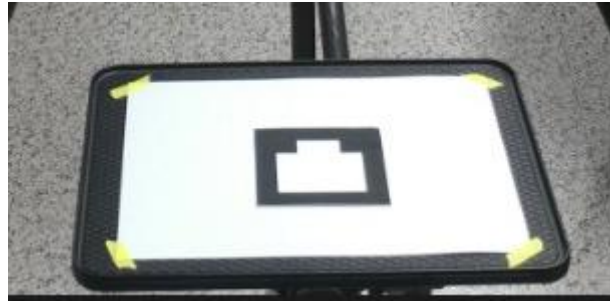


Fig. 30 CAM1(Marker angle variation = 90°)

CAM2 싱글 비전 시스템으로 인한 증강현실 시스템 구현에서는 Fig. 38과 같은 상황에서의 증강현실 객체 인식이 불가능 해진다. 물론 마커의 각도 변이가 극단적으로 변동될 가능성은 많지 않으나, 이러한 각도 변이는 시스템의 마커 인식에 오류로 인해 증강현실 시스템을 사용하는 사용자의 몰입감을 떨어트리는 주된 요소이다.

본 논문에서는 CAM1 과 CAM2에서 얻어지는 스테레오 영상을 이용하여 증강현실 시스템을 실험하고자 한다.



#### 4. 마커인식

제안한 스테레오 비전 증강현실 시스템은 카메라의 이미지 교정, 카메라 자세 추정, 3차원 객체표현의 과정을 거친다. 이와 같은 방법은 영상 프레임을 입력받아 패턴을 찾고 마커 패턴의 상대적인 위치좌표를 계산하여 가상의 객체를 정합시켜 미리 정해놓은 객체를 오버레이하는 것이다.

다음 Fig. 31은 이와같은 마커 인식의 흐름을 표시한 것이다.

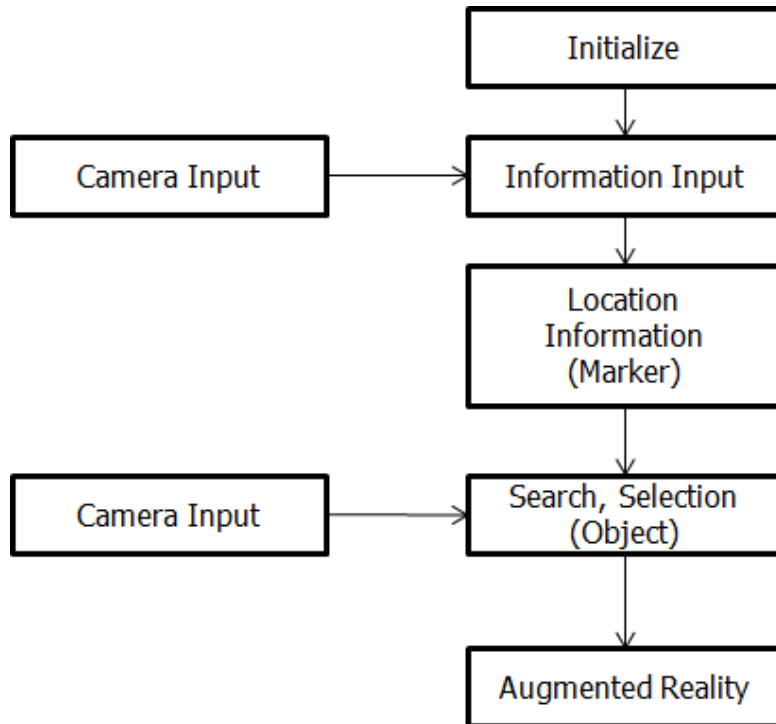


Fig. 31 Marker recognition process

마커인식에 대한 세부 프로그램 구성은 다음과 같다.

① 비전 시스템에서 영상을 초기화 한다.

```
glutInit(&argc, argv);
if(!setupCamera(cparam_name, vconf, &gARTCparam)){
    fprintf(stderr, "main(): Unable to set up AR camera. \n");
}
```

② 입력된 영상의 프레임에서 정의된 마커의 패턴을 찾는다..

```
if(arDetectMarker(gARTImage, gARTThreshold, &marker_info, &marker_num)<0){
    exit(-1);
}
for(i=0; i<gObjectdataCount; I++){
    k=-1;
    for(j=0; j<marker_num; j++){
        if(k== -1) k=j;
        else if(marker_info[k].cf < marker_info[j].cf) k=j;
    }
    if(k!= -1){
        if(gObjectdata[i].visible==0){
            argetTransMate(&marker_info[k],
                gObjectData[i].marker_center,
                gObjectdata[i].marker_width,
                gObjectdata[i].trans);
        }
        else {
            argetTransCont(&marker_info[k], gObjectData[i].trans,
                gObjectData[i].marker_center,
                gObjectdata[i].marker_width,
                gObjectdata[i].trans);
        }
        gObjectData[i].visible=1;
        g Patt_found = TRUE;
    }
    else {
        gObjectData[i].visual=0;
    }
}
```

③ 사전에 정의된 패턴을 호출 한다.

```
get_buff(buf, 256, fp);
if(sscanf(buf, "%s", buf1) != 1){
    fclose(fp); free(object); return(0);
}
if((object[i].id = arLoadPatt(buf10) <0) {
    fclose(fp); free(object); return(0);
}
get_buff(buf, 256, fp);
if(sscanf(buf, "%lf", &object[i].marker_width) != 1){
    fclose(fp); free(object); return(0);
}
get_buff(buf, 256, fp);
if(sscanf(buf, "%lf%lf", &object[i].marker_center[0],
            &object[i].marker_center[1]) !=2{
    fclose(fp); free(object); return(0);
}
```

④ 카메라의 회전값을 계산한다.

```
if(gObjectData[i].visible == 0){
    arGetTransMat(&marker_info[k]
                 gObjectdata[i].marker_center,
                 gObjectdata[i].marker_width,
                 gObjectdata[i].marker_trans);
}
else{
    arGetTransCont(&marker_info[k], gObjectData[i].trans,
                  gObjectdata[i].marker_center,
                  gObjectdata[i].marker_width,
                  gObjectdata[i].marker_trans);
}
```

⑤ 영상 프레임에 객체를 정합한다.

```
if(gPatt_found){
    arglCameraFrustumRH(&gARTCparam, VIEW_DISTANCE_MIN,
                        VIEW_DISTANCE_MAX, p);

    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadMatrixd(p);
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);

    glLoadIdentity();

    for(i=0; i<gObjectDataCount; i++){
        if((gObjectData[i].visible == 0)&&(gObjectData[i].vrmL_id >=0)){
            arglCameraViewRH(gObjectData[i].trans, m, VIEW_SCALEFACTOR_4);
            glLoadMatrixd(m);
            arVrmLDraw(gObjectData[i].vrmL_id);
        }
    }
}
```

## 5. 특징점 추정

본 논문에서는 영상 특징점 추정을 통한 스테레오 매칭(stereo matching)을 통해, 마커의 3차원 정보를 추정하는 방법으로 마커를 검출하였다.

실험 환경은 일반적 실내 조명환경으로 환경의 밝기변화가 급격하지 않은 일반적 환경으로 2대의 USB Web Camera 를 통해 입력된 1280 × 720 픽셀의 영상을 초당 30프레임을 얻어 마커를 추출하였다.

실험에 사용된 특징점 블록의 매칭 기법은 스테레오 비전의 영역 상관도 측정 후 비교할 수 있으며, 전체 영상의 대응점 제공하는 보편적 알고리즘으로 두 영상의 차가 발생할 경우 많은 시간 소요될 것이나, 실험에 사용된 마커는 매우 단순한 형태의 마커를 설계하였고, 두영상의 차가 많이 발생할 경우에도 마커 검출에는 강인함을 보일 것이다.

이러한 특징점 추정기법은 영상의 포인트나 외곽선(Edge)의 특징점을 이용한 추정기법으로 노이즈에 강인한 추정기법이다.

이러한 특징점 기반의 블록 매칭 방법은 영상에서 매칭을 일정 범위 내 점들로서 블록 형태의 패턴을 정의하고 각각의 매칭점을 이동하면서 블록내 픽셀의 밝기차이의 합을 이용하여 위상의 차이를 계산하고, 범위내 위상의 최소인 점을 찾아 판별한다.

특징점 추정 방법은 영상에서 촬영된 픽셀의 밝기변화(gray level)가 적은 영상인 경우 영상에서의 특징점 추출이 매우 어려운 상황에 처하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 본 논문에서는 밝기변화에 강한 마커를 사용한 증강 현실 시스템을 구현하여, 해당 문제점을 극복하고자 한다.

본 논문에서 제안한 각 카메라의 마커 검출 시스템의 흐름도는 Fig. 32와 같다.

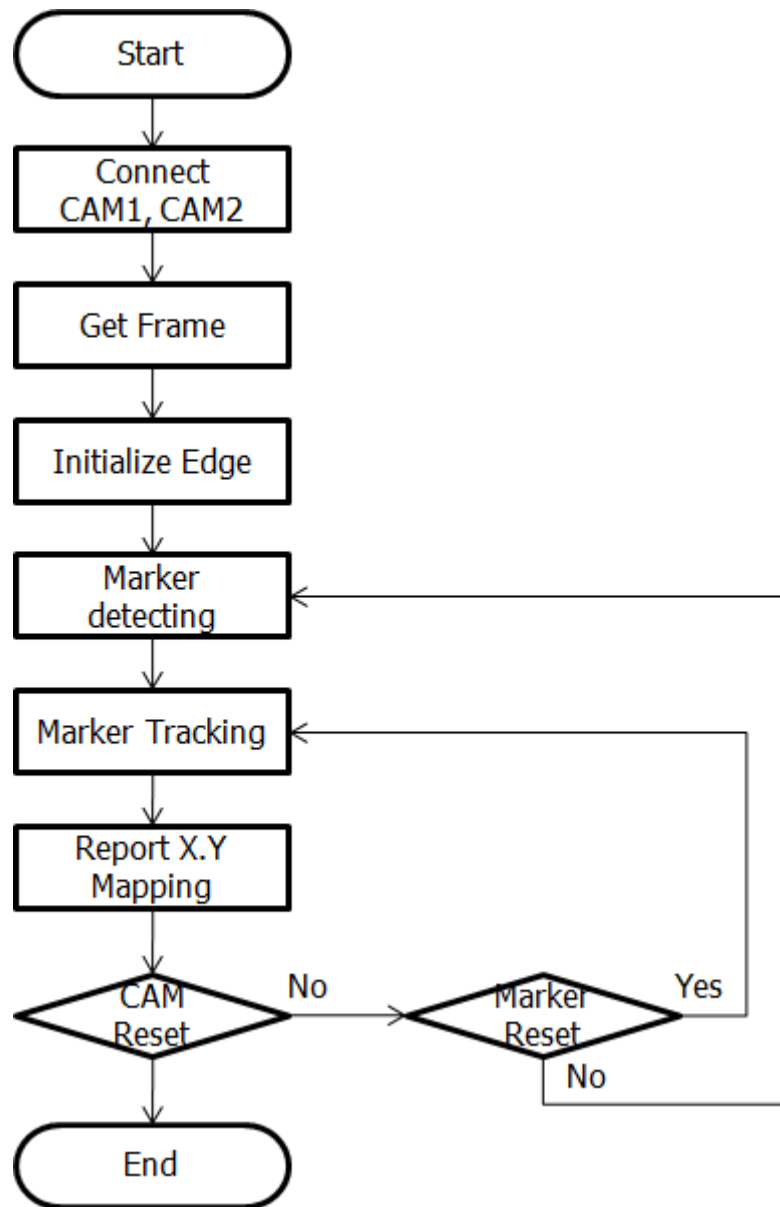


Fig 32 Feature matching flowchart

두 대의 카메라에서 얻어지는 영상에서 3차원 정보를 얻기 위해서는 각 영상의 이진화를 통하여 에지영역(edge region)을 검출이 먼저 필요하게 된다.

이러한 영상의 이진화는 획득한 영상에서 특정 마커의 특징점을 추출하기 위한 전처리 과정으로 많이 사용되고 있고 이러한 이진화 과정을 통해 영상을 흑백의 이미지로 변경할 필요가 있다.

이진화 과정을 위한 그레이레벨 임계값이 너무 낮게 설정할 경우 영상이 너무 밝게 변환되고, 너무 높은 값으로 설정할 경우 밝은 부분이 모두 제거되어 어두운 영상을 얻게 되며, 이런 경우에는 두 영상의 특징점을 인식 하는데 어려움이 발생할 수 있어 이진화 단계를 위한 임계값 기준 제시가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 이진화 단계를 위한 임계값을 정상적인 그레이레벨 변환폭인 0~255까지의 중간값이 128을 기준으로 실험을 진행 하였다.

이는 인식에 강인한 설계를 바탕으로 고려되었으며, 본 실험에서 임계값의 변화에 따른 마커 인식이 차이는 크지 않을 것으로 판단된다.

이와 같은 이진화 단계를 거친 영상을 통해 엣지 영역 검출이 필요하고, 이는 영상의 각 픽셀에 대하여, 각 방향 별 색상 차이가 큰 픽셀들의 위치로 엣지 영역을 검출하고 각 방향 별로, 밝기 변화가 일정 수준 이상인 점들에 대하여 엣지 영역으로 그룹화하는 과정을 수행하였다.

이와 같은 과정을 통해 일정 수준 이상의 밝기 변화율을 가지는 픽셀이 존재하는 영역인 에지 영역(edge region)을 검출할 수 있다.

이진화된 영상에 존재하는 마커의 좌표를 인식하기 위해서는 이진 영상에서 외곽선을 추출하고 마커의 형태가 될 수 있을 만한 후보영역을 검출하고, 변환된 이진화 영상은 0 또는 1의 값을 가진 행렬의 형태로 저장되어 있으며, 행렬의 원소값이 0과 1로 변하는 연속된 픽셀이 객체의 외곽선으로 표시된다.

이와 같은 마커의 영역을 인식할 경우 Fig. 41과 같은 단계별 영상을 획득하여 영상에서 특징점 기반의 마커를 인식할 수 있다.



Fig. 33 Edge region detection process

## 6. 기존 방법과의 차별성

본 논문에서는 와이드베이스라인 스테레오 비전을 통한 강인한 마커검출 방법을 제안한다. 마커 기반의 증강현실 시스템은 마커 인식의 오류가 증가할 경우 시스템에서 이를 증강할 수 없는 기본적인 문제점을 가지고 있다.

이는 증강현실 공간상의 마커가 영상의 다른 장애물이나 사용자의 마커 회전, 특히 마커의 각도변이에 따른 불명확한 마커가 인식 오류로 인한 사용자의 몰입감을 저해하는 주요 저해 요소이다.

이러한 문제점은 해결하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 본 논문에서는 와이드 베이스라인을 갖는 스테레오 비전을 통하여 이러한 마커 인식 오류를 해결하고자 한다.

이를 통해 기존의 싱글 비전 증강현실 시스템 및 나로우(Narrow) 베이스라인 스테레오 카메라에서 검출하지 못한 마커를 검출하여 마커 검출이 강인한 증강현실 시스템을 구현 할 수 있을 것이다.

기존의 방법은 스테레오 비전을 통해 획득한 두 영상의 픽셀 단위 특징점의 대응 관계를 정의한다.

일반적인 나로우 스테레오 비전의 특징점 정합은 각 영상의 특징점 차이에 따른 차영상 검출을 통해 정합하므로 영상의 영역 기반 방법보다 기본적으로 높은 정확성을 가진다.

일반적인 증강현실 시스템에서의 카메라와 마커와의 거리를 고려할 때 베이스라인이 짧은 두 카메라 영상의 특징점 검출은 용이할 뿐만 아니라 정밀한 3차원 정보 추출이 가능하다. 그러나 두 카메라의 시점 변화가 적어 싱글 카메라 시스템으로 검출하지 못하는 각도변이가 큰 마커인 경우 스테레오 비전 시스템의 두 카메라도 모두 마커를 검출하지 못할 개연성이 크다.

이러한 문제를 해결하기 위해 스테레오 카메라의 시점변화를 크게 하기 위해



두 카메라의 베이스라인의 거리를 크게 둘 필요가 있다. 이와 같은 와이드 베이스라인 스테레오 비전 시스템에서는 마커와의 거리 추출에는 다소 정확성이 떨어지나, 증강현실 시스템에서는 마커와의 거리 정보를 추출하는 3차원 구성 보다 마커의 회전과, 방향정보가 더 중요하기 때문에 이는 큰 의미가 있을 것으로 판단된다.

기존의 스테레오 비전을 통한 증강현실 방법과의 차별성은 다음과 같다.

첫째 강인한 마커의 인식능력에 있다.

일반적인 스테레오 비전은 정밀한 3차원 깊이 정보를 획득하기 위해 설계되어 있어 두 카메라의 베이스라인이 짧고 이로 인해 두 영상의 시점변화의 차이가 거의 없다. 그러나 제안하는 와이드 베이스라인 스테레오 비전인 경우 두 카메라의 시점변화가 커 마커의 검출에 용이할 수 있다.

둘째 각도 변이가 큰 마커를 검출 할 수 있다.

현재의 싱글카메라를 이용한 증강현실 구현에서도 마커의 검출능력은 매우 높다고 할 수 있다. 그러나 싱글 카메라 시스템으로 증강현실을 구현할 경우 마커의 각도변이가 카메라의 시선범위를 벗어날 경우 마커검출이 매우 어려운 실정이다.

현재 이러한 문제는 마커검출이 불가능 할 경우 기존 검출된 마커영역에 증강현실 객체를 보여주는 방식으로 해결하고 있다. 그러나 이와 같은 방법은 사용자의 몰입감을 떨어트리는 주요 원인이 되고 있다.

본 논문에서 제안하는 와이드 베이스라인 스테레오 비전 기법은 각도 변이가 큰 증강현실 마커 검출 능력을 향상시켜, 증강현실 시스템에서의 사용자의 몰입도를 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## IV. 실험 및 결과 분석

### 1. 실험환경

제안된 와이드 베이스라인 스테레오 비전을 이용한 증강현실 시스템은 마커의 특징점 기반 스테레오 매칭을 통해 두 영상의 차영상을 검출하고 마커의 3차원 정보를 추정하는 방법에 대하여 연구하였다. 이를 통해 마커의 각도 변이에 따른 인식여부 와 인식속도에 대하여 실험하고자 한다.

다만 이와 같은 비전 시스템에서 스테레오 카메라와 마커의 거리가 상당할 경우 영상의 이진 패턴의 픽셀 개수가 작아 마커의 특징점 검출에 어려움이 있어 특정 거리에서의 마커 검출에 대한 기준 제안이 필요하다.

본 논문에서는 마커와 카메라 시스템상의 거리를 1,000mm로 고정하여 실험하였다. 마커와 카메라의 거리에 따른 인식 여부와 인식시간에 변화를 줄 수 있으나 본 논문에서는 마커의 각도변이에 중점을 두어 실험을 인식여부를 관찰하였다. 또한 마커의 인식은 카메라의 해상도, 마커의 크기, 주변 환경에 따른 조도변화에 민감하므로 특정된 공간에서의 실험 환경이 필요하다.

본 논문에서의 마커 검출 실험 환경은 다음과 같다.

Table 2. Simulation environments

| 구분        | 조건             | 유효오차        |
|-----------|----------------|-------------|
| 카메라 해상도   | 1280 × 720 2EA | N/A         |
| 카메라와 마커거리 | 1,000mm        | 40mm        |
| 기준마커 크기   | 100mm × 100mm  | 순환중복검사, CRC |
| 마커의 각도 변이 | 0° ~ 90°       | 10°         |
| 베이스라인 변이  | 100mm ~ 1000mm | 50mm        |

## 2. 싱글 비전의 마커 검출 결과

싱글 비전 시스템에서의 각도 변이에 따른 실험 결과는 표3과 같다.

Table 3. Analysis Data(Single vision)

단위 : ms

| 각도변이 | 0도 | 10도 | 20도 | 30도 | 40도 | 50도 | 60도 | 70도 | 80도 | 90도 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 인식시간 | 14 | 16  | 14  | 25  | 35  | 90  | 150 | 불가  | 불가  | 불가  |

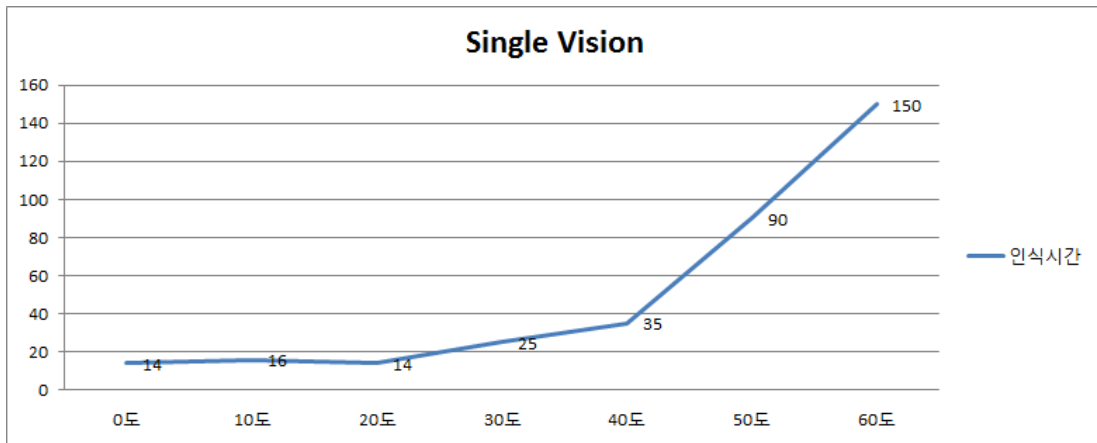


Fig. 34 Single Vision analysis chart

싱글비전 시스템을 통한 증강현실 환경에서의 마커인식 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- (1) 싱글비전 시스템에서의 각도변이는 약 50°까지는 90ms 이하의 검출 능력을 보여 주고 있으며, 마커의 인식과 추적에 큰 문제가 발생하지 않는다.
- (2) 각도변이가 60° 일 경우 마커인식이 간헐적으로 불가능한 경우가 발생하고 있으며, 조명과 카메라의 해상력에 의한 원인으로 판단된다.

(3) 각도변이가 70도 이상일 경우 실험 환경 안에서는 마커 인식이 불가능함을 실험을 통해 확인하였다.

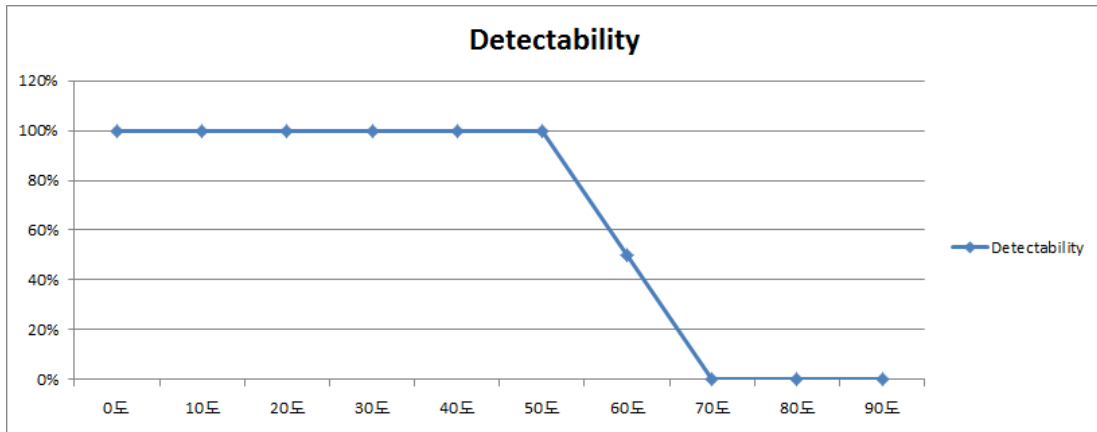


Fig. 35 Marker detectability

본 연구에서의 싱글비전 시스템의 마커 인식 실험 결과는 다음 사항을 고려하여 판단해야 한다.

- (1) 실험에서 얻은 증강현실 공간의 마커 인식시간은 구현된 알고리즘과 시스템 환경에 따라 달라질 수 있다.
- (2) 마커 인식 불가 시점의 각도변이는 마커의 크기, 마커와의 거리, 실험 환경의 조도상태, 그리고 카메라 시스템의 해상력에 따라 달라질 수 있다.
- (3) 각도변이가 90° 인 경우 이론적인 카메라의 비전 모델에서 마커를 인식할 수 없다.

싱글 비전 시스템을 이용한 본 실험에서 확인한 것과 같이 싱글 비전에서의 증강현실 마커 인식은 마커의 각도 변이가 특정한 변이점에서 마커의 인식이 불가능하게 됨을 알 수 있다.

본 실험에서는 60° 각도 변이에서 인식불가가 간헐적으로 발생하였고, 이는 사용자의 몰입도를 떨어트리는 주요 원인이 되고 있으므로 이와 같은 간헐적 마커 인식 현상은 마커기반 증강현실 시스템 구현에 가장 고려되어야 할 사항이다.

본 실험에서 각도 변이가 70°에서는 마커의 인식에 실패하였다.

각도 변이에 따른 인식 성공률 변화는 촬영 환경에 많은 영향을 받는 수치이나 본 실험한 환경에서는 50° 이후의 각도 변이 환경에서는 증강현실 시스템의 마커 인식 실패가 높아 몰입감이 상당히 떨어지고 있다.

이러한 싱글 비전에서의 마커 인식 실패는 기존 증강현실 시스템에서 자주 보고 되어지고 있으며, 싱글 비전을 통한 증강현실 시스템을 구축할 경우 반듯이 고려해야할 사항이다.

### 3. 스테레오 비전의 마커 검출 결과

스테레오 카메라의 베이스라인 변화와 각도 변이에 따른 실험 결과는 표4 같다. 본 실험에서의 인식시간 측정은 총 10회의 인식시간에 대한 평균 측정치로 동일한 환경에서의 측정시 그 오차범위는 5%이내의 구간으로 작은 오차 범위를 가지고 있다.

Table 4. Analysis data(Stereo vision)

단위 : ms, 70°이상은 싱글비전 측정값

| 각도변이   | 0도   | 10도  | 20도  | 30도  | 40도  | 50도  | 60도  | 70도  | 80도  | 90도  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 베이스라인  | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 |
| 100mm  | 14   | 14   | 15   | 14   | 14   | 15   | 97   | 52   | 44   | 46   |
| 200mm  | 14   | 14   | 15   | 14   | 15   | 15   | 102  | 57   | 48   | 42   |
| 300mm  | 14   | 14   | 14   | 15   | 15   | 16   | 92   | 55   | 51   | 52   |
| 400mm  | 14   | 15   | 14   | 15   | 16   | 29   | 75   | 65   | 59   | 58   |
| 500mm  | 14   | 16   | 16   | 14   | 21   | 31   | 82   | 55   | 61   | 59   |
| 600mm  | 14   | 18   | 14   | 15   | 21   | 33   | 55   | 41   | 48   | 48   |
| 700mm  | 15   | 18   | 15   | 16   | 24   | 39   | 52   | 48   | 44   | 45   |
| 800mm  | 16   | 15   | 19   | 20   | 25   | 38   | 52   | 51   | 42   | 43   |
| 900mm  | 18   | 19   | 19   | 20   | 25   | 35   | 55   | 49   | 48   | 44   |
| 1000mm | 21   | 19   | 20   | 25   | 25   | 35   | 53   | 49   | 41   | 39   |

실험에 사용된 스테레오 카메라 시스템에서 마커의 각도변이가 70° 이상일 경우 싱글 카메라만 마커를 인식하고 있음을 확인 하였다. 이때의 마커의 인식 시간은 싱글비전 카메라로 인식이 되지만, 카메라의 특징점을 탐색하는 시간이 추가되어 측정되었다.

이러한 실험 결과는 마커의 각도변이 기준점이 실험 환경의 카메라 시스템과 하단 카메라와 시선이 일치하고 있는 공간에 설치되어 발생하는 문제이나 마커의 검출에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

스테레오 카메라의 베이스라인 변화와 각도 변이에 따른 실험 결과 도식 Fig. 34와 같다.

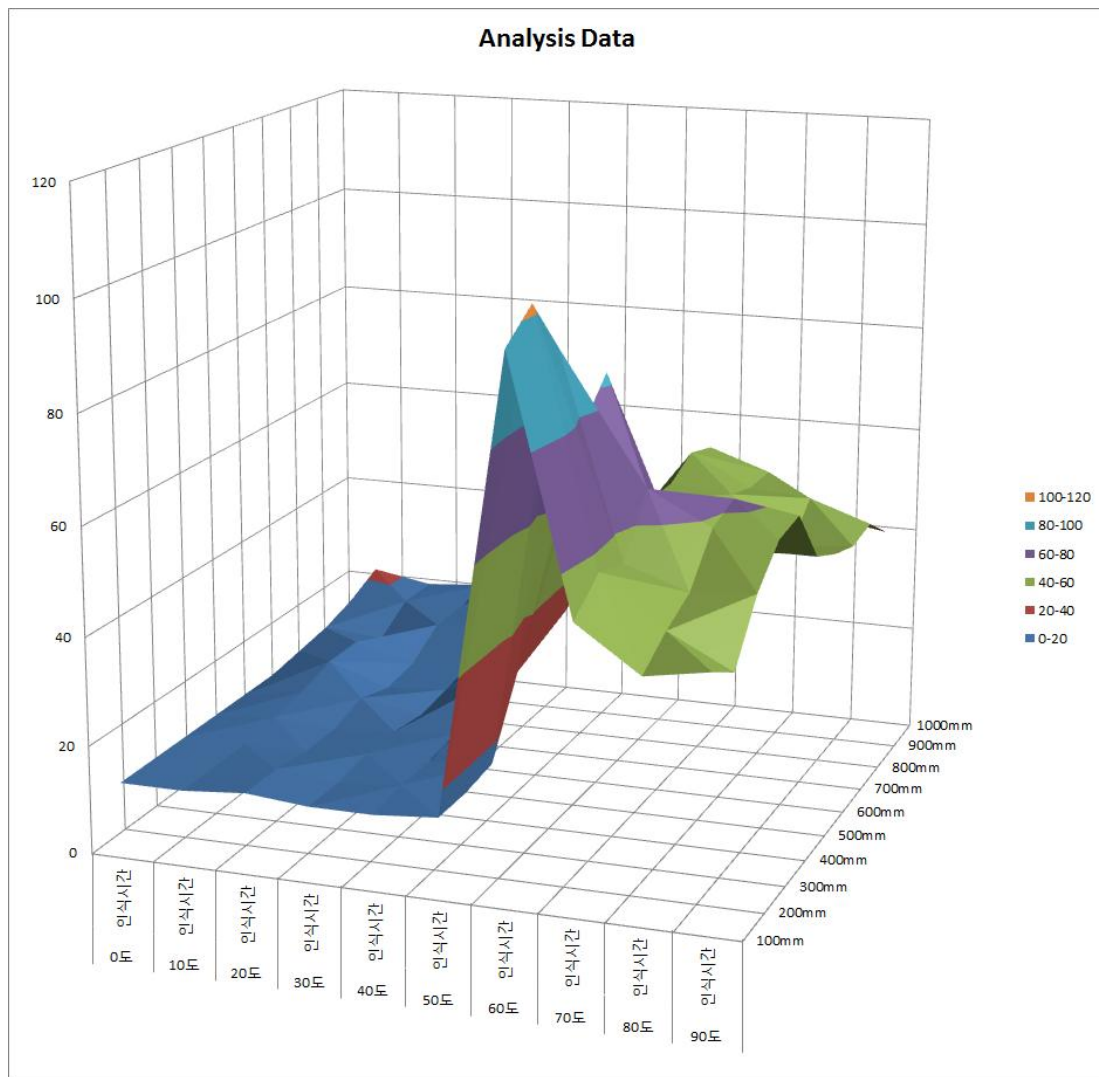


Fig. 36 Stereo vision analysis chart

스테레오 비전 시스템을 통한 증강현실 환경에서의 마커인식 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- (1) 스테레오 비전 시스템을 이용한 마커의 인식은 마커의 다양한 각도 변이에도 강인한 인식 성능을 보여준다.
- (2) 마커의 각도 변이가  $70^\circ$  이상인 경우 싱글 비전으로 마커를 인식 할 수 있다.
- (3) 스테레오 카메라의 베이스라인 변화와 마커의 인식에는 상관관계를 찾을 수 있다.
- (4) 증강현실 공간에서 마커의 각도 변이가  $30^\circ$  이내일 경우 싱글 비전 시스템을 이용한 마커인식과 인식시간을 비교했을 때 큰 차이가 발생하지 않는다.

본 연구에서의 스테레오 비전 시스템의 마커 인식 실험 결과는 다음 사항을 고려하여 판단해야 한다.

- (1) 실험에서 얻은 증강현실 공간의 마커 인식시간은 구현된 알고리즘과 시스템 환경에 따라 달라질 수 있다.
- (2) 싱글 비전으로 마커를 인식하는 시점의 각도변이는 마커의 크기, 마커와의 거리, 실험환경의 조도상태, 그리고 카메라 시스템의 해상력에 따라 달라질 수 있다.
- (3) 베이스라인의 변화에 따른 인식시간은 스테레오 비전 시스템과 마커의 거리에 상관관계를 찾을 수 있으며, 본 실험에서는 마커와의 거리를 1000mm로 한정하여 실험하였다.

스테레오 비전 시스템을 이용한 본 실험에서 확인한 것과 같이 스테레오 비전에서의 증강현실 마커 인식은 마커의 각도 변이에 강인한 마커인식 성능을 보여



주고 있음을 알 수 있다.

스테레오 비전 시스템에서 마커의 각도 변이에 따른 전체 베이스 라인의 인식 시간 평균은 다음 결과 같은 결과를 다음과 같다.

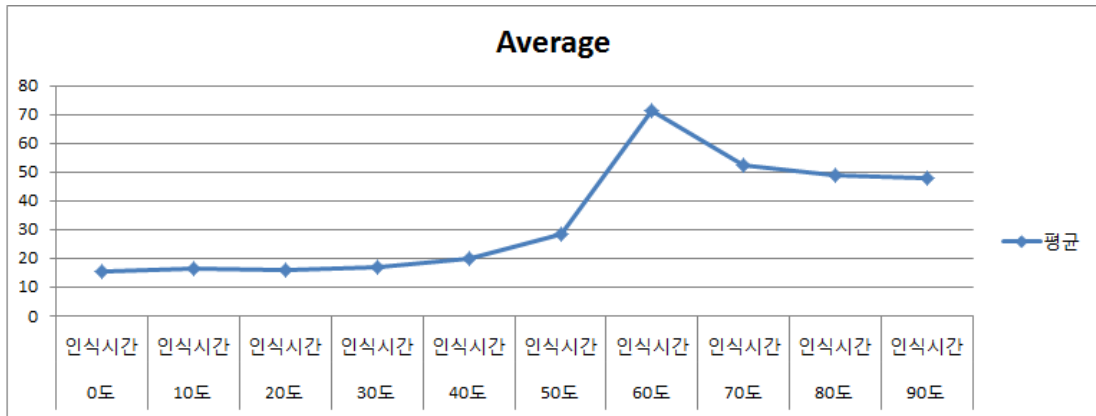


Fig. 37 Average of detection time(Stereo vision)

마커의 각도 변이에 따른 베이스 라인의 인식시간의 평균을 통해 알 수 있듯이 마커의 각도가 0°에서 40°까지는 인식시간에 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

다만 마커의 각도 변이가 60°에서는 마커의 각도 변이가 90°일 때 보다 인식 시간이 늦음을 알 수 있다.

이와 같은 인식 결과는 본 논문에서 제안한 와이드 베이스 라인 스테레오 매칭기법 상황에서 특이점이라 할 수 있다.

본 결과에서 도출될 수 있는 부분은 스테레오 비전 시스템을 활용한 마커의 인식, 추적 상황에서 두 카메라 중 한 개의 카메라에 마커의 영역 검출이 간헐적으로 발생할 경우 전혀 감지하지 못하는 변이각도 90°보다 낮은 의외의 성능수치를 보이고 있다.

이와 같은 결과에 대한 해결책에 대하여서는 향후 연구를 통해 문제를 해결할 필요성이 있을 것이다.

#### 4. 싱글 비전 시스템과 스테레오 비전 시스템의 성능 비교

스테레오 비전 시스템의 인식률 평균과 싱글비전 시스템의 인식률을 비교하면 다음과 같다.

Table 5. Analysis data(Stereo vision vs Single vision)

단위 : ms, 70°이상은 싱글비전 측정값

|        | 0도   | 10도  | 20도  | 30도  | 40도  | 50도  | 60도  | 70도  | 80도  | 90도  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 | 인식시간 |
| Stereo | 15.4 | 16.2 | 16.1 | 16.8 | 20.1 | 28.6 | 71.5 | 52.2 | 48.6 | 47.6 |
| Single | 14   | 16   | 14   | 25   | 35   | 90   | 150  | N/A  | N/A  | N/A  |

싱글 비전 시스템에서는 70도 이상의 각도 변이시 마커의 검출이 불가능하므로 각도 변이 60°까지의 인식 시간에 대한 자료를 분석하면 다음 차트와 같은 결과를 얻는다.

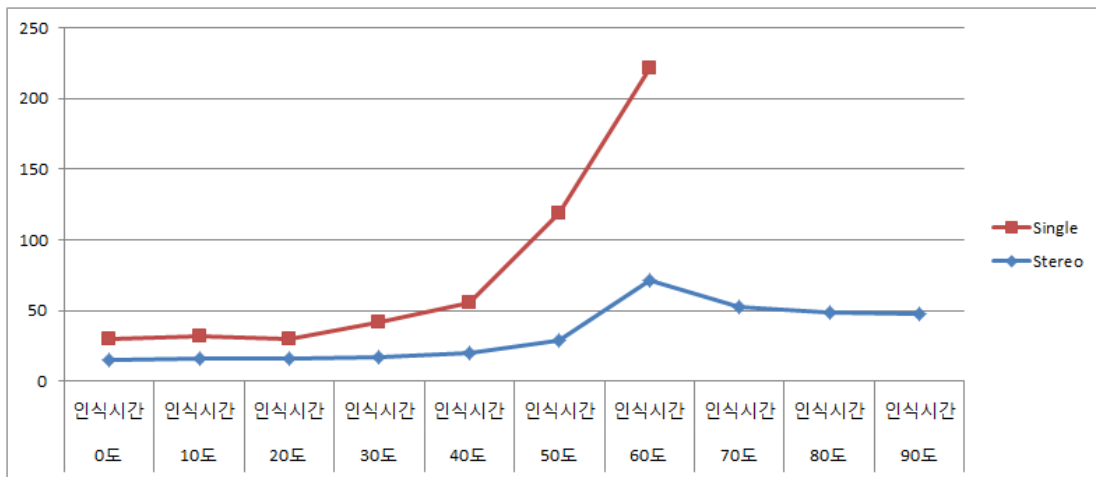


Fig. 38 Detection time(Stereo vision vs Single vision)

본 결과에서 도출될 수 있는 부분은 마커의 각도 변이가 약 40° 부근 까지는

싱글 시스템과 스테레오 시스템과의 성능차이가 많이 발생하지 않으나 각도 변이가 50° 이후 부분부터 마커의 인식시간의 차이가 발생하고 있는 점이다.

또한 스테레오 비전 시스템에서 베이스 라인의 변화에 따른 전체 마커의 각도 변의 인식시간 평균은 다음 결과 같은 결과를 다음과 같다.

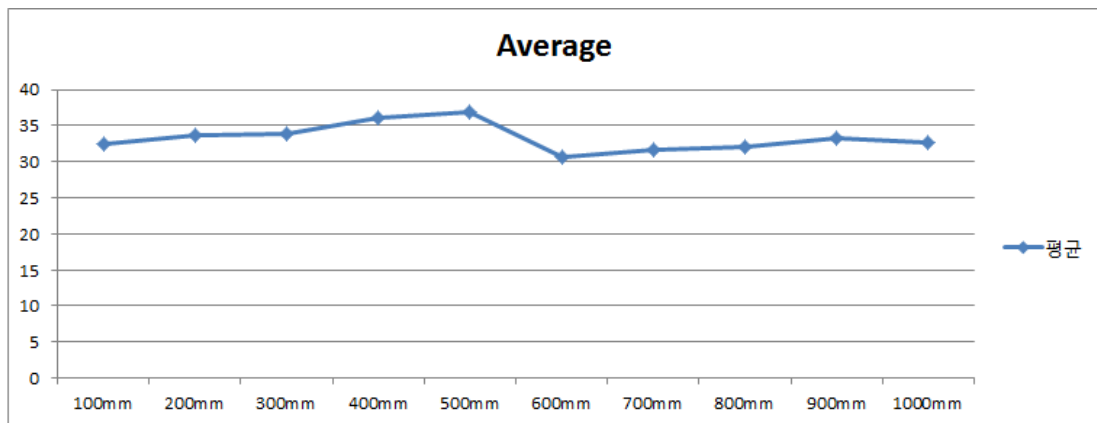


Fig. 39 Average of detection time(Baseline)

스테레오 비전 시스템의 베이스 라인의 변화에 따른 전체 마커의 각도 변의 인식시간의 평균을 통해 알 수 있듯이 전체적으로 유사한 성능을 보여주고 있다.

다만 베이스 라인의 길이가 600mm 일 경우 가장 높은 성능 수치를 보이고 있다. 이와 관련된 수치는 싱글비전 시스템의 인식시간의 수치와 비교해 보았을 때 비교적 높은 인식 시간이 필요함을 알 수 있다.

이와 같은 인식 결과는 본 논문에서 제안한 와이드 베이스 라인 스테레오 매칭기법 상황에서 특이점이라 할 수 있다.

본 결과에서 도출될 수 있는 부분은 스테레오 비전 시스템을 활용한 마커의 인식, 추적 상황에서 두 카메라 중 한 개의 카메라에 마커의 영역 검출이 간헐적으로 발생할 경우 전혀 감지하지 못하는 변이각도 90°보다 낮은 의외의 성능수치를 보이고 있다.

이와 같은 결과에 대한 해결책에 대하여서는 향후 연구를 통해 문제를 해결할 필요성이 있을 것이다.

본 실험 결과에서도 알 수 있듯이 마커의 각도 변이가 작을 경우 스테레오 비전을 통한 마커의 인식시간은 싱글비전을 통한 마커인식 시간과 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

그러나 본 연구의 배경은 증강현실 공간에서의 마커의 인식시간 개선에 초점을 두지 않고 있으며, 마커의 각도 변이에 강인한 인식 시스템 구현에 연구배경이 있다고 할 수 있다.

각도 변이가 다양한 증강현실 공간에서의 강인한 마커 인식을 위해서는 마커의 설계 개선, 카메라의 해상력 개선등을 들 수 있으나, 본 연구에서는 스테레오 비전이 베이스 라인을 조정을 통해 마커의 각도 변이에 강인한 시스템을 제안하였다.

이러한 싱글 비전에서의 마커 인식 실패는 기존 증강현실 시스템에서 자주 보고 되어지고 있으며, 싱글 비전을 통한 증강현실 시스템을 구축할 경우 반드시 고려해야할 사항이다.

이러한 연구 결과는 마커의 각도변이 기준점이 실험 환경의 카메라 시스템과 하단 카메라와 시선이 일치하고 있는 공간에 설치되어 발생하는 문제이나 마커의 검출에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

## IV. 결론

본 논문에서는 스테레오 카메라를 통한 증강현실 시스템을 구현하고, 스테레오 카메라의 위치 및 방향에 따른 증강현실 공간에서의 강인한 마커 추적 방법에 대하여 제안하였다. 또한 증강현실과 스테레오카메라에 관련한 개념과 증강현실 공간에서 강인한 마커추적을 위해 스테레오 카메라의 베이스라인과 마커의 각도 변이에 초점둔 증강현실을 제안하는데 연구에 중점을 두었다.

싱글 비전을 통한 증강현실 시스템의 마커 추적은 싱글 비전의 객체 추적 기술에 대한 많은 연구가 선행되었고, 이와 같은 연구는 얼굴 및 객체 인식을 통한 다양한 응용 범위를 가지고 있다.

싱글 비전의 객체 추적기술은 촬영한 영상의 초점거리를 통한 영상의 크기 정보를 인식할 수 있으나, 2차원으로 표현된 영상을 통해서서는 물체와의 거리정보를 획득하기에는 많은 어려움이 따른다.

싱글 비전 시스템의 실험 결과와 같이 싱글 비전에서의 증강현실 마커 인식은 마커의 각도 변이가 특정한 변이점에서 마커의 인식이 불가능하게 됨을 알 수 있고, 본 연구에서는  $60^\circ$  각도 변이에서 인식불가가 간헐적으로 발생하였고, 각도 변이가  $70^\circ$ 에서는 마커의 인식에 실패함을 확인 하였다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 와이드 베이스라인 스테레오 카메라를 통한 증강현실 마커를 인식하고, 추출하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서 제안된 와이드 베이스라인(Baseline : 100mm ~ 1,000mm) 구간의 스테레오 카메라 시스템에서 인식 능력은 마커의 각도 변이가  $70^\circ$  이상일 경우에도 마커를 인식하고 있음을 확인하였다.

와이드 베이스라인 스테레오 비전 시스템을 이용한 본 연구에서 확인한 것과 같이 스테레오 비전에서의 증강현실 마커 인식은 마커의 각도 변이에 강인한 마커인식 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다.

그러나 사용자의 증강현실 구현환경에서 마커의 각도 변이가 작을 경우 스테레오 비전을 통한 마커의 인식시간은 싱글비전을 통한 마커인식 시간과 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.

향후 연구 과제로는

첫째, 와이드 베이스 라인 상황에서 다양한 스테레오 매칭 알고리즘 인식 성능에 대한 연구가 필요할 것이다. 이와 같은 연구는 스테레오 매칭 알고리즘과 베이스 라인이 상관관계를 파악하고, 이를 통한 최적의 베이스 라인을 찾을 수 있어, 신뢰도가 높은 3차원 모델을 획득하는데 도움이 될 것이다.

둘째, 스테레오 시스템의 베이스라인과 마커와의 거리에 따른 상관관계를 연구할 필요성이 있다. 인간의 눈의 깊이 정보를 취득할 수 있는 구간은 동공거리(두 눈의 베이스라인)에 상당한 상관관계가 있으나, 증강현실을 구현하는 시스템에서는 마커를 인식하고, 추적하는 깊이정보가 매우 한정된 상황이다.

이러한 점을 종합하여 고려할 때 스테레오 비전시스템에서 객체의 인식과 추적의 신뢰도를 높이기 위해서는 시스템 환경과 인식 하고자 하는 객체의 특수성을 고려한 베이스라인 설계가 필요하다. 이러한 연구를 통해 다양한 형태의 스테레오 비전 환경구성을 설계할 수 있으며, 신뢰성 있는 3차원 정보의 획득이 가능 할 것으로 전망한다.

## 참고문헌

1. 박화진 조세홍 “몰입형 가상현실 시스템을 위한 기술 및 사례에 대한 연구”, 정보처리학회지, Vol.10 No.1, 2003
2. 김화영 “스테레오 카메라 기반의 적응공간좌표 검출 기법을 이용한 자율 이동 로봇 시스템” 광운대학교 2006
3. Anthony Mancini, "Disparity estimation and intermediate view reconstruction for noble applications in stereoscopic video", Master thesis, McGill University, February 1998
4. 전수진 “마커 추적 기반의 효과적인 증강현실인터페이스 구현에 관한 연구” 단국대학교, 2011
5. 전형환 “마커 추출 알고리즘을 이용한 두경부 자세 추적시스템 개발” 홍익대학교 2013
6. Rafael C. Gonzalez, “Digital Image Processing”
7. <http://docs.opencv.org/3.1.0/>
8. 이주영 “다중 스테레오 카메라를 이용한 3차원 장면 정보의 실시간 생성” 건국대학교 2018
9. Dominik Sibbing “SIFT-Realistic Rendering, International Conference on 3D Vision” : 3DV 2013
10. “증강현실 기술 및 응용사례 분석 연구” 한국산업기술 진흥원, 2011
11. “증강현실(AR) 최신기술과 서비스 동향 및 전망” 한국방송통신전파진흥원, 2013
12. 김창일 “특징링크와 특징창을 이용한 스테레오 특징점 정합 ” 경북대학교 2012
13. R.Hartley and A.Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, 2ndEdition, CambridgeUniversityPress,2004.
14. K.Pearson, “On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space,” Philosophical Magazine, Vol.2, pp.559-572, 1901.
15. X.Sun, X.Mei, S.Jiao, M.Zhou, H.Wang, “Stereo Matching with Reliable

- Disparity Propagation,” Proceedings of 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization, and Modeling.2011.
16. J. Canny, “A Computational Approach to Edge Detection,” IEEE Transaction of Pattern Analysis and Machine Intelligence, “Vol.8, pp.679-698, 1986.
  17. 정재철 ”스테레오 비전에 기반한 사람 위치 추적 시스템의 구현“ 전남대학교 2004
  18. 전정희 ”다중카메라를 이용한 강건한 스테레오 매칭 기법에 관한 연구“ 조선대학교 2001
  19. 증강현실에서 가려진 마커를 위한 Affine-SIFT정합 점들을 이용한 마커검출 기법” 한양대학교 2010
  20. Takeo Kanade, “Development of a Video-Rate Stereo Machine” Proceeding of 94 ARPA Image Understanding Workshop, Nov 14~16, 1994
  21. M.Hizer(2008), “Marker Detection for Augmented Reality Applications,” Seminar/Project Image Analysis Graz
  22. D.Scharstein and R.Szeliski, “A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-frame Stereo Correspondence Algorithms”, International Journal of Computer Vision, 47(1/2/3): pp7-42, April-June, 2002.
  23. JY,Ohta and T.Kanade, “Stereo by intra-and inter-scanline search using dynamic Programming,” IEEE Transaction, Pattern Analysis and Machine Intelligence, Mar.1985.
  24. H.Sadeghi, P.Moallem, and S.A.Monadjemi, “Feature Based Dense Stereo Matching using Dynamic Programming and Color,” International Journal of Computational Intelligence, Vol.4, No.3, pp.179-186, July 2008.
  25. S.D.Sharghi and F.A.Kamangar, “Geometric Feature-Based Matching in Stereo Images,” Proceeding of Information, Decision and Control, Feb.1999.