

운동분석 및 측정을 위한 실시간 마커 인식 알고리즘

이 승 민[†] · 이 주 연[†] · 황 준[†] · 김 문 화^{††}

요 약

본 논문에서는 영상처리기(image processor)가 내장되어 있지 않은 영상획득기(frame grabber) CCD 카메라만을 가지고 2차원 및 3차원 운동 측정과 분석을 위한 실시간 마커 인식 알고리즘을 개발하였다. 검색 범위의 축소를 통해 마커 출현 예상 위치를 추정하는 추적 알고리즘을 제시하며, 예상 범위 내에서 실제 마커를 탐색하는 알고리즘으로서 전화면 검색 기법, 회오리 검색 기법, 사방팔방 기법을 제시하며, 인식된 마커의 중점을 찾는 알고리즘을 제시한다. 본 연구에서 제시한 알고리즘들은 실시간 마커 인식을 위해 검색 대상의 범위를 축소하는데 그 목적을 두었다. 인식된 마커의 중점을 찾는 알고리즘은 기존의 외곽선 추출 방법보다 빠른 중점 추출 알고리즘이다.

Real Time Marker Detection Algorithm for Motion Analysis

Lee Seung-Min[†] · Lee Ju-Yeon[†] · Hwang Jun[†] · Kim Mun-Hwa^{††}

ABSTRACT

In this paper we propose an real time marker detection algorithm for motion analysis both in 2 dimensions and 3 dimensions with CCD camera and frame grabber only which has no image processor. The main algorithm consists of the following 3 algorithms; 1) the tracing algorithm that makes it possible to predict the expected marker location by narrowing the searching boundary, 2) the searching algorithm that detects the marker in the expected boundary using Ad-hoc previous screen search technique, tornado search method ,rotate diagonal search method search technique, 3) the algorithm that finds the central point of the detected marker. We try to narrow the searching boundary for real time processing. Also, it is able to find the central point of the detected marker much faster than typical contour tracing algorithm.

1. 서 론

운동 분석 연구는 이전부터 여러 가지 방법으로 시도되어 왔으며 최근 들어, 기존의 운동 분석 시스템들이 동영상 처리 기술 등과 같은 컴퓨터 과학 기술과 접목되면서 임상에 직접 사용될 수 있을 만큼 그 기능이 향상되었다. 이들 시스템의 전형적인 분석들로서는 운동 속도 측정, 관절의 각 변화도(angle changes) 및

각 가속도(angular velocities)량을 들 수 있으며, 더 나아가 보행 분석(gait analysis), 척추 운동(spinal movement), 턱 운동 추적(jaw movement tracking) 및 자동차 충돌시 탑승자 분석, 운동역학(biomechanics), 운동학(kinematics)등 의학뿐만 아니라 산업 전반에 걸친 인간 공학 연구에 사용되고 있다. 그러므로 이러한 시스템들은 높은 비용에도 불구하고, 국내외 여러 종합 병원 및 기업, 스포츠 연구 센터, 대학에서 앞다투어 도입하고 있으며, 각 스포츠 관련 연구소 및 병원의 정형 외과, 재활 의학과, 신경 의과

[†]정 회 원 : 서울여자대학교 컴퓨터학과

^{††}준 회 원 : 한국체육과학연구원 정보자료실

논문접수 : 1997년 8월 8일, 심사완료 : 1998년 3월 2일

등에서는 필수 장비로 인식되고 있으며, 이러한 요구는 더욱 늘어날 전망이다.

〈그림 1〉은 운동학적 관점에서 필요한 인체 관절정보를 제공하는 영상 처리 기반 기술의 계층적 구조를 나타내고 있다. 가장 윗 단계의 운동 분석 모듈은 그 아래 단계인 동화상 측정/분석, 정지 영상 측정/분석 기술을 기반으로 하여 정보를 제공할 수 있다. 그리고 동영상 측정/분석은 아래 단계인 실시간 마커 인식 기술의 영향을 받는다. 기존의 운동 분석 S/W는 고가의 영상 처리 H/W를 요구하고 있으며, 영상을 저장하였다가 1프레임(frame)씩 재생하면서 마커를 인식하고 처리하는 구조를 가지고 있음으로 해서 H/W의 성능에 종속된다. 현재에 나와 있는 실시간 운동 분석 S/W의 이러한 경향은 운동 분석 시스템의 확산과 응용을 저해하는 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 적외선 출력기와 해당 입력장치등 고가의 특수 장비를 사용하지 않고, 우리 주위에서 값싸고 쉽게 구할 수 있는 광소자(CCD) 카메라와 영상처리기(image processor)가 내장되어 있지 않은 영상 획득 장치(image grabber)만을 사용하여 하드웨어 비종속적이며 다양한 2차원 및 3차원 운동 측정 과 분석을 지원하는 실시간 마커 인식 시스템을 제안한다.

팔 운동 분석	다리 운동 분석	턱 운동 분석	기타 동영상 분석	팔 올리기 각도	허리 굽히기	기타 경직성 측정
동영상 측정/분석				정지 영상 측정/분석		
실시간 마커 인식 기술						
Hardware (Main Computer, Video Capture Board, CCD Camera, Marker)						

(그림 1)시스템 구조
(Fig. 1) System layer

2. 시스템 개요

2.1 HW 구성

본 연구의 기본적인 동기는 장비의 간소화에 있다. 원하는 결과물이 나오기 위해서는 컴퓨터, 비디오 캡처 보드, CCD 카메라, 마커 이외에는 그 어떤 추가 장비

도 요구하지 않는다. 고주파 조명 기구 및 적외선 출력 장치 등을 별도로 구비해야 할 경우 운동 영역 제한 및 가격 면에서 운영상의 어려움이 예상되므로 이들 장비가 없이도 움직임을 포착할 수 있는 특수 마커 및 마커 인식 소프트웨어를 본 논문에서는 개발하였다. 본 연구에서 필요한 장비의 종류는 다음과 같다.

1) 마커

마커는 부착, 제거가 쉬워야 하며, 운동 중 방향이 달라져도 어느 정도의 일정한 명암 또는 색상의 구별이 가능해야 할뿐만 아니라 측정 대상자의 몸에 직접 붙이므로 운동 또는 측정에 방해가 될 정도로 무겁거나 조임 등의 부담을 주어서도 안된다. 대중적으로 많이 쓰이는 마커로는 주로 형광 반사 마커 또는 적외선 반사 마커가 많이 쓰이나, 이는 고주파 조명 및 적외선 발생 장치 및 센서 등이 추가적으로 필요하며, 조명 내에서만 운동이 진행되므로 운동 범위도 좁을 뿐만 아니라 조명 장치를 설치할 공간도 항상 확보되어야 하고, 조명 역시 전문가가 조작해 주어야 한다. 반면에 본 연구에서는 작고, 가벼우면서도 별도의 조명 장치 없이 일상 조도에서 활용이 가능한 특수 마커를 제작하였다.

2) 영상 획득 장치

본 연구의 목표는 동화상의 운동 정보를싼 가격에 실시간 측정, 분석하는데 있다. 일반적으로 비디오 캡처 보드가 자체 처리 기능이 있을 경우 영상처리기(image processor) 내장 비디오 캡처 보드가 영상 처리를 행하고, 서버에서는 응용 처리만 행해 주면 되므로 실시간 처리가 용이하다. 그러나 자체 처리 기능이 하드웨어로 내장된 비디오 캡처 보드의 경우 최소 수천만원의 고가이므로 경제성 면에서 문제가 있다. 본 연구에서는 자체 처리 기능은 없이 단순히 비디오 보드 기능만을 가진 비디오 캡처 보드를 대상으로 다룬다. 이러한 영상 획득 장치(image grabber)를 택한 또 하나의 이유는 만약 영상처리기(image processor) 내장 비디오 캡처 보드로 시스템을 개발하였을 경우에는 영상을 시스템의 주기억장치로 가져올 필요 없이 빠른 시간 내에 자체 처리가 가능하지만, 그 비디오 캡처 보드에 종속적인 시스템이 되는 반면, 영상 획득 장치(image grabber)를 사용하고 영상 처리는 서버에서 S/W적으로 행하는 경우에는 비디오 캡처 보드 종속적 이 아닌 시스템이 구현이 가능하기 때문이다.

3) 전자 서터식 CCD 카메라

일반적인 카메라는 1/30초 동안의 영상을 CCD센서

가 디지털화하여 그 신호를 생성하므로 움직이는 영상일 경우 흐름 영상이 획득되어 정확한 윤곽이 나타나지 않는다. 이는 영상처리를 어렵게 하는 주원인 중의 하나이다. 이러한 문제를 해결하는 가장 좋은 방법은 전자 셔터를 사용하여 노출 시간을 1/1000초로 조절함으로써 순간 영상만을 획득하는 방법이 있다. 전자 셔터는 기능을 아날로그 버퍼(analog buffer)를 사용함으로써 디지털화할 영상의 신호를 일정 시간 동안 저장하도록 한 후 흘러 보내기 원하는 시간만큼의 영상만을 디지털화하도록 되어 있다. 이 카메라를 사용하여 얻는 최대의 효과는 동영상 획득시 일반적으로 나타나는 블러링(blurring) 현상을 제거함으로써 영상처리를 단순화할 수 있다는 점이다.

4) 주처리기

주처리기로는 IBM 586을 사용하여 Visual C++ 4.2 언어로 프로그래밍 하였다.

2.2 SW 구성

1) 영상획득부

영상획득부에서는 프레임 획득장치(frame grabber)를 일정 시간 간격으로 제어한다. 주사방식에는 interlaced 방식과 noninterlaced 방식이 있는데, interlaced는 주사선을 하나씩 건너뛰어서 주사하는 방법으로 홀수 주사선과 짝수 주사선 디지털화 시점이 다르게 된다. 짝수 주사선의 영상 획득 시간과 홀수 주사선간에는 1/60초의 시간 간격이 발생하게 된다. non-Interlaced 방식은 홀짝수 주사선의 구별 없이 주사하는 방법이다. 본 연구에서는 이미지의 정밀도를 높이는 것이 아니라 많은 장면을 잡기 위해서 interlaced방식을 선택하였다.

2) 전처리부

전처리부에서는 노이즈의 제거와 데이터 처리를 용이하게 하기 위한 이치화(digitized)과정을 수행한다. 노이즈의 제거 방법에는 로우-패스 공간 필터링(low-pass spatial filters), 하이-패스 공간 필터링(high-pass spatial filters), 모서리 강조(edge enhancement), 중앙 필터링(median filtering)이 있는데, 본 연구 특성상 중앙필터링 방식을 사용하였다. 노이즈가 제거된 영상을 단순화하기 위해 이치화(digitized)된 영상으로 변환하기 위해서 탐색표(LUT: look-up table)를 사용한다. LUT의 초기값 선정은 노이즈가 제거된 영상을 스펙트럼 분석(spectrum analysis)를 통하여

사동적으로 스레시홀드(threshold)를 찾아 LUT를 생성하는 방법을 사용하였다.

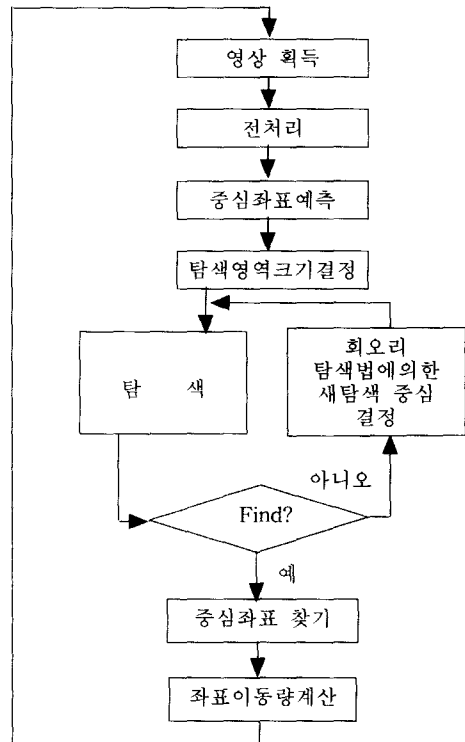
3) 마커 인식부

마커 인식부는 2단계 추출 방식을 사용하였다.

1단계에서는 마커의 위치를 검색하며 2단계에서는 검색된 마커의 중심좌표를 찾는다. 마커의 위치 검색 단계는 마커의 효과적 검출을 위해 일차적으로 마커의 출현 예상 위치를 추정하는 알고리즘을 사용해 검색 범위를 설정하고 다음으로 검색 범위 내에서 실제 마커를 탐색하는 방법을 사용하였다.

2단계에서는 1단계에서 인식된 마커의 중심좌표를 찾기 위해서 외곽선상의 임의의 두 점을 이용한 중심좌표 추출 알고리즘을 사용한다.

개발된 마커인식 알고리즘은 실행시간이 마커당 1ms 이하가 되므로 실시간 마커 인식을 하도록 지원해 준다.



(그림 2) 마커 탐색 알고리즘
(Fig. 2) Algorithm of marker detecting

3. 마커 인식 알고리즘

$r =$ 원의 반지름

$$r \leq x - x_0 \leq 3r$$

$$r \leq y - y_0 \leq 3r$$

3.1 탐색영역 제한법

마커의 위치를 검색하기 위해 입력된 영상 전체를 탐색하여 분석하는 방법은 너무 오랜 시간이 소요되어 비효율적이며 실시간의 조건을 만족시킬 수 없다. 본 연구의 주된 적용대상인 관절의 움직임은 시간의 변화에 대한 공간좌표의 변화가 일정한 곡선형태를 나타내고 관성의 법칙에 의해 급격한 방향변화가 없다. 위치의 변화는 시간의 변화에 대한 공간좌표의 변화량으로 표시되며 어느 한 시점의 공간변화율은 바로 전 시점의 공간 변화율에 종속적이다. 이러한 특성을 이용하여 과거의 마커 위치 정보를 바탕으로 다음 시점에 마커가 위치할 만한 영역을 예상하는 탐색영역 제한법(boundary forecast algorithm)을 개발하였다. 이 알고리즘은 탐색 범위를 축소시켜 마커의 인식의 속도를 개선시킬 뿐만 아니라 예상 영역 밖의 유사 마커들을 무시함으로 노이즈 등으로 인한 마커 오인 확률을 줄일 수 있다.

탐색영역 제한법은 현재와 과거와 그 과거의 마커 중심 좌표들의 변화율을 이용하여 다음 마커가 위치할 영역의 기준 좌표를 결정하고 영역의 크기는 공간변화율에 따라 변화하는 가변 영역을 사용한다. 즉, 과거의 마커 움직임이 크면 다음 시점의 마커가 위치할 예상 탐색영역을 크게 하며, 반대로 과거 마커 움직임이 적으면 다음 시점의 마커가 위치할 예상 탐색영역을 작게 함으로써 탐색 공간을 줄인다. 또한 예상되어진 영역의 중심 위치에 마커를 위치시켜 탐색영역 내에 마커가 존재할 확률을 높인다.

3.1.1 탐색영역 중심 결정

탐색영역 제한법에서 탐색영역의 중심 좌표를 예상하는 식은 다음과 같다.

$$N_{t+1} = \alpha P_t + (1 - \alpha)N_t \quad \text{〈식 1〉}$$

$N_t =$ 시점 t 에서의 예측 위치

$P_t =$ 시점 t 에서의 실제 위치

R : 검색 영역

$(x, y) \in R$

매개변수 α 는 최근의 값과 예측했던 이전 값의 상대적인 가중치를 제어하며 $0 \leq \alpha \leq 1$ 범위에 있다. 만약 $\alpha = 0$ 이라면 $N_{t+1} = N_t$ 이고 최근의 값은 아무런 영향을 주지 않는다. $\alpha = 1$ 이라면 $N_{t+1} = P_t$ 이고, 과거의 정보는 아무 관계가 없는 것으로 간주된다.

〈식 1〉의 예측 정도를 파악하기 위해 x 는 3씩 증가, α 는 0.6, 0.7, 0.8로 가정 하에 모의 실험을 한 결과는 〈표 1〉이다. 이때 변화율의 크기에 상관없이 탐색영역도 한계성을 가져야 한다.

〈식 1〉에서 α 를 0.6, 0.7, 0.8로 실험한 결과는 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 모의 실험 결과
(table 1) Simulation results

$\alpha \backslash y$	12	15	19	23
0.6	7.706575	10.28263	13.11305	16.64522
0.7	8.153106	10.84593	13.75377	17.42613
0.8	8.501762	11.30035	14.26007	18.05201

〈표 1〉의 y 값을 예상하기 위해 〈식 1〉을 사용했을 경우 y 에 근사한 수치가 나타나는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 〈식 1〉을 사용하여 예상된 정보를 가지고 마커의 다음 영역을 예상 할 수 있다.

만약 탐색된 영역내에 마커가 존재 하지 않을 경우에는 탐색 영역을 최외곽 탐색법에 의한 새탐색 영역 중심을 결정하도록 하였다.

3.1.2 탐색영역의 크기 결정

예측된 탐색영역의 중심으로부터 어느 정도의 범위 안에 마커가 있게 될 것인가를 결정하기 위해서는 과거 시점의 마커 중심좌표들의 변화율로 탐색영역의 크기를 조절하는 가변 영역 결정법을 사용한다.

〈식 2〉는 탐색영역의 크기가 과거의 변화율과 비례의 관계에 있게 된다. 과거의 변화율이 커지면 예상 영역의 범위도 커지고 변화율이 작으면 영역은 적어진다.

가변 영역의 변화율 식과 영역의 범위는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{t-1} - P_{t-2} &< \text{식 2}> \\ \Delta C &= P_t - P_{t-1} \\ \Delta R &= \Delta C * \gamma / \Delta F &< \text{탐색 순서}> \end{aligned}$$

P_{t-2}, P_{t-1} : 2개의 선 과거 마커의 중심 값
 P_t : 가장 최신의 마커 중심 값
 γ : 영역의 크기가 작아 지는 것을 방지하는 상수
 ΔP : 과거 변화율
 ΔC : 최신의 변화율

이 가변 영역 내의 마커의 위치가 중심 부분에 존재하지 않을 경우 다음 예상 영역 내에 마커가 포함될 확률을 높이기 위해서는 영역 중심으로부터 마커 중심점의 편중 정도를 추출하여 다음 예상 영역 추정에 적용한다.

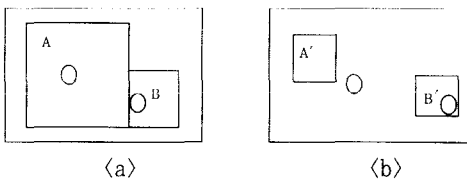
영역 중심으로부터의 편중도는 <식 3>으로 계산된다.

$$D = P_t - N_t \quad < \text{식 3} >$$

<식 3>은 예상 중심과 실제 중심간의 거리로 편중도를 나타내고 있다.

상기 <식 1>, <식 2>, <식 3> 을 이용한 탐색영역 제한법의 모의 실험 결과는 다음의 <그림 3>와 같다.

<그림 3>의 a는 가변 영역을 설정한 경우이다. 과거와 현재의 값의 차이가 클 경우에 예상 영역을 확대하여 마커가 예상 영역에 존재할 가능성을 크게 하지만, 탐색할 공간이 증대된다. <그림 3>의 b는 고정 영역을 사용한 경우로서 과거와 현재의 값의 차이가 많을 경우에도 고정적으로 영역을 예상하므로 마커가 예상 영역에 존재하지 않을 가능성이 크다.



(그림 3) 가변 영역 탐색법과 고정 영역탐색법의 비교
 (Fig. 3) Compare between variable and fixed search method

3.2 마커 탐색 기법

제한된 탐색영역 내부에 존재하는 마커를 탐색하는

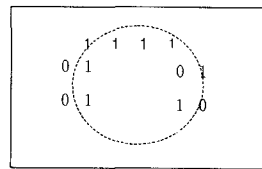
방법은 마커와 배경의 픽셀 값이 이치화되어 있다는 가정하에 시작된다.

탐색영역내의 어떤 픽셀이 마커 내의 픽셀인지를 탐색하기 위해서 방법은 첫째 대상 픽셀의 위치를 결정하고, 둘째 대상 픽셀이 기존의 탐색된 마커 내부에 속하는지를 판정해서 셋째 새로운 마커 내부의 픽셀인 경우에 속한 마커의 중심좌표와 크기를 계산한다.

이치화에 의한 마커와 배경의 분리는 마커 탐색 기준을 단순화시키나 마커와 유사한 배경이나 노이즈에 민감한 단점을 지니고 있다. 이러한 단점은 마커로 판정된 픽셀의 위치와 마커의 중점간의 거리가 마커의 반경보다 작을 경우 하나의 마커로 인식하는 마커 인식과정에서 제거된다. 그리고 하나의 새로운 마커내부 픽셀이 탐색된 경우 연속된 검출 픽셀의 x, y방향의 크기가 일정 크기보다 작을 경우 이를 무시하는 기준에 의해 노이즈에 의한 마커 오인식 방지가 가능하다.

본 논문에서의 마커탐색법은 첫째 단계인 탐색 픽셀의 위치결정 방법이 따라 전화면 검색법, Ad-hoc 전화면 검색법, 회오리 검색법 그리고 사방팔방 검색법으로 나누어진다. 각 탐색법간의 성능 비교는 4장에 분석되어 있다.

3.2.1 전화면 검색법



(그림 4) 전화면 검색에서 노이즈 제거의 예
 (Fig. 4) Noise filtering full screen search

<그림 4>에서와 같이 화면의 x축 방향은 1이 점점 늘어나다가 점점 줄어드는 경향에서 0이 n개 이상 나오지 않고 1이 최고로 많은 곳이면 계속 마커 내라고 인식한다. 연속된 1사이의 0들은 노이즈이므로 1이라고 인식한다. 화면의 y축 방향은 일단 마커 내에 들어가는는 연속해서 계속 0이 m줄 이상 나오지 않는 한 이것은 노이즈 행이기 때문에, 계속 1의 연속이라고 가정을 해야 한다.

1이 n줄 이상 연속되면서 m행 이상 계속되면 마커를 찾았다고 판단을 하며, 1이 n줄 이상 연속되지 못하

면서, 이러한 상태의 줄이 m행 이상 계속되면 마커 탐색은 끝이 났다고 판단한다.

3.2.2 ad-hoc전 화면 검색법

주어진 영역 내를 좌에서 우로, 위에서 아래로 선형 검색을 행하되, 주어진 영역을 마커 반지름이하의 거리로 건너뛰면서 일정 픽셀 영역씩 검색한다. 마커 내에 들어 왔다는 확신이 들 경우 검색을 중단하고 중심 좌표 찾기 알고리즘을 수행한다.

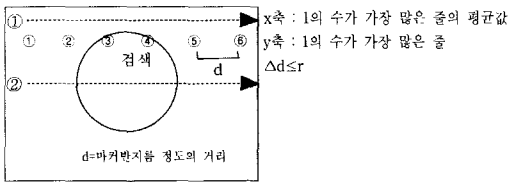
AS : 일정 픽셀 영역의 평균

DS : Distance of scanning scale

r : 마커 반지름

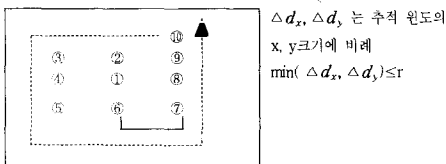
$0 < DS < 2r$ 추천 $DS = r$

$0.5 < AS \leq 1$ 추천 $AS < 0.7$



(그림 5) Ad-hoc 검색법의 탐색 순서
(Fig. 5) Navigation sequence in ad-hoc search method

3.2.3 회오리 검색법



(그림 6) 회오리 검색 기법의 탐색 순서
(Fig. 6) Tornado search method

회오리 검색법은 검색 범위 축소 기법의 추적 성능에 영향을 받는다. 검색 범위 중심 부근에 마커가 있을 확률이 높다는 가설 하에 중심부터 Ad-hoc 전화면 검색을 한다.

주어진 영역을 회오리 방향으로 중심에서 바깥으로 검색하되, 3×3 픽셀씩 마커 반지름이하로 건너뛰면서 검색하고, AS가 0.7이면 검색을 중단하고 중심 좌표 찾기 알고리즘을 수행한다.

3.2.4 사방팔방 검색법

29 30 26 42 12 14 10	level 1: 1~2
32 4 33 6 16 2 17	level 2: 2~9
27 31 28 43 11 15 13	level 3: 10~49
46 8 47 1 48 9 49	level 4: 50이상
20 22 18 44 36 38 34	
24 3 25 7 40 5 41	
19 23 21 45 35 39 37	$\min(\Delta d_x, \Delta d_y) \leq r$

(그림 7) 사방 팔방 기법의 탐색 순서
(Fig. 7) Navigation sequence in rotated diagonal search method

주어진 영역의 중점을 중심으로 동, 서, 남, 북, 동남, 남서, 동북 순으로 재귀적으로 이진 탐색을 행한다. 검색시 3×3 픽셀씩 검색을 행하고 AS가 0.7이면 검색을 중단하고 중심 좌표 찾기 알고리즘을 수행한다.

재귀적으로 탐색을 행할 때 방문한 곳의 위치 정보가 기록된 배열인 visit배열들을 통하여 이미 방문한 위치는 재방문하지 않고, 탐색 영역간의 거리가 마커의 지름보다도 적어지는 정도의 임의 레벨까지도 탐색이 성공하지 못하면 그 영역 내에는 마커가 없다고 간주한다.

3.3 중심 좌표 찾기

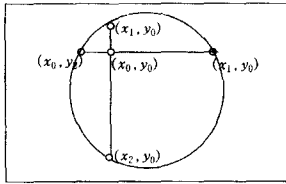
마커의 중심 좌표를 찾는 방법은 마커의 형태가 원형이라는 제한 사항에 착안하여 마커 외곽상의 두점을 찾아 그로부터 원형 마커의 중심 좌표를 계산하는 방법을 사용한다. 이 방법은 마커 영상이 원형에서 많이 왜곡되었을 때이다. 이를 계수 보정법을 통하여 해결하였다.

3.3.1 마커 외곽의 두점 찾기

마커 내의 한 3×3 픽셀을 찾아 이의 중심 좌표 (x_0, y_0) 를 구하고 <그림8>과 같이 이 점을 지나는 x축과 y축에 평행한 직선과 구하면 원 둘레를 지나가는 점을 4개를 얻을 수 있다. 이중 두점과 원에 대한 방정식을 이용하면 원형 마커의 중심 좌표를 구하게 된다. 얻을 수 있는 좌표의 수는 4개인 경우와 3개 이하인 경우가 있다.

3.3.2 원주상의 두 점과 원의 중심

원주상의 두점 (x_0, y_1) (x_1, y_0) 으로부터 역으로 원의 중심을 구하는 것은 <식 4>의 방정식의 해를 구하는 것과 같다.



(그림 8) 내부의 대응되는 원주상의 4점
(Fig. 8) 4 points on circumference derived from on inner point

$$(x_0 - x_1)^2 + (y_1 - y_0)^2 = r^2 \quad \text{〈식 4〉}$$

〈식4〉를 풀면 원의 중심 좌표는 두 개가 얻어진다. 이 두점 중 하나는 실중심이고, 다른 하나는 허중심이다. 이를 판정하는 판정법은 다음과 같다.

〈그림 9〉에서 실중심을 (x_r, y_r) , 허중심을 (x_v, y_v) 라 하자. 그리고 (x_1, y_0) 와 (x_0, y_1) 을 지나는 직선의 방정식을 $y = ax + b$ 라 하면,

$y_0 > y_1$ 인 경우

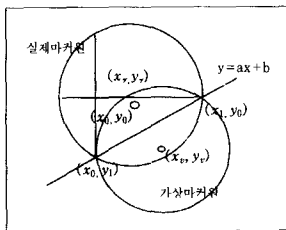
$$y_r \geq ax_r + b,$$

$$y_v < ax_v + b \text{ 를 만족시킨다.}$$

$y_1 > y_0$ 인 경우

$$y_v \geq ax_v + b$$

$$y_r < ax_r + b \text{ 를 만족한다.}$$

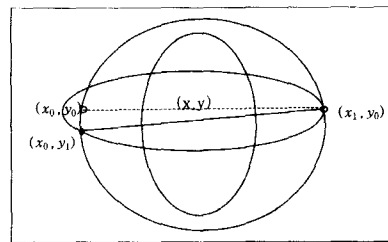


(그림 9) 원의 실중심과 허중심
(Fig. 9) Real and virtual center point

3.3.3 왜곡된 마커의 보정

카메라는 렌즈에 의해 피사체를 CCD센서에 투사하기 때문에 렌즈에 의한 광학적 왜곡, 조명에 의한 왜곡된 영상이 나타나는 경우가 있다. 이러한 경우 실제 마커는 구의 형상을 가짐에도 불구하고 획득된 영상에는 타원, 일그러진 원의 형태, 초생달 등의 형태로 나타나

는 경우가 있다. 이러한 경우 원의 중점찾기법을 그대로 적용하면 식의 해가 존재하지 않는다. 왜곡된 마커의 경우는 두점의 크기가 마커의 크기보다 작은 경우와 두점의 거리가 마커의 크기보다 큰 경우 모두 두가지로 구분할 수 있다. 두점의 거리가 마커의 크기보다 작은 경우에는 중심좌표 찾기 알고리즘을 통하여 찾을 수 있는데 두점의 거리가 마커의 크기보다 클 경우에는 파라미터의 조절을 통해 쉽게 해결된다.

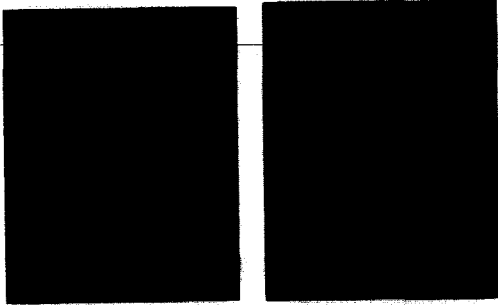


(그림 10) 왜곡된 마커 보정의 예
(Fig. 10) Example of defected marker adjusting irregular

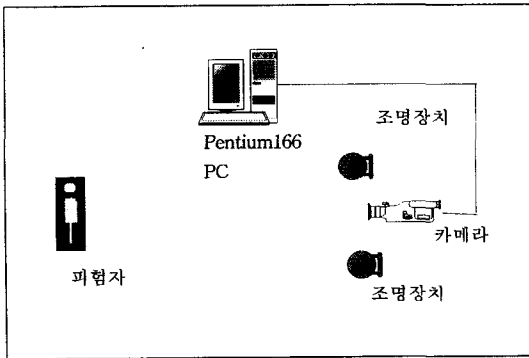
두점의 거리가 마커의 크기보다 큰 경우 원의 중점 찾기법을 적용하기 전에 원 둘레의 두 점 (x_1, y_0) , (x_0, y_1) 간의 거리 D 가 $2r$ 보다 큰가를 반드시 체크해야 한다. 만약 카메라로 캡처된 마커의 왜곡률이 커서 $D > 2r$ 인 경우, 즉 $\sqrt{(y_1 - y_0)^2 + (x_1 - x_0)^2} > 2r$ 인 경우에는 원을 만들 수 없다. 따라서 실제로는 존재하지 않지만 그 프레임에 한해서 마커의 반지름을 늘려 준다. 즉, r 을 늘림으로써 (x_0, y_0) , (x_1, y_0) 을 지나가는 가상 원이 만들어 질 수 있다. 여기서 생성된 가상원은 실제원과 비교해 면적만 커졌지 얻어진 중점의 좌표값에는 큰 차이를 나타내지 않는다.

4 평가 및 결론

본 연구는 CCD 카메라와 영상처리가 내장되어 있지 않은 영상획득기만을 가지고 2차원 및 3차원 운동분석 및 측정을 위한 실시간 마커 인식 알고리즘을 제안하였다. 중심좌표의 오차 분석으로는 원주상의 두점으로부터 역으로 원의 중심을 구하여 실중심과 허중심의 좌표값을 얻어 후 두 점을 지나는 직선의 방정식을 통하여 원의 중심을 찾아내는 기법을 소개하였다.



(그림 11) 256 수준의 영상 (그림 12) 이치화된 영상
(Fig. 11) 256 gray level image (Fig. 12) binarized image



(그림 13) 영상획득 시스템
(Fig. 13) Image acquisition system

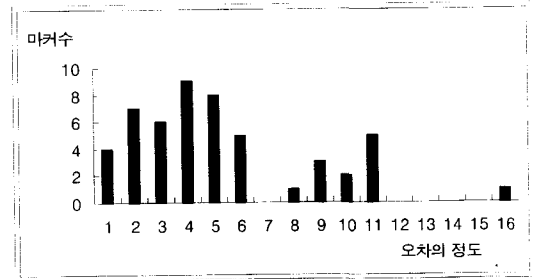
영상획득 시스템은 <그림 13>과 같다. 이 시스템에서 사용된 카메라는 초당 30프레임을 획득하여 전자셔터를 이용해 1/1000초의 순간 영상을 잡아 낸다. 또한 사용된 PC는 펜티엄 166, 메인 메모리 32MB 환경이다.

<그림 11>상의 흰점은 마커에 조명이 반사되어 나타난 것으로 마커는 반구 형태이며 그 표면에 특수 반사체를 부착하여 제작하였다. 그리고 카메라가 인체동작의 움직임을 1/1000초단위로 측정하므로 블러링 현상이 최소화 된다. <그림 12>는 <그림 11>의 영상을 이치화 한 영상이다. 성능평가를 위해 이치화된 영상을 사용하였다.

<그림 12>의 영상을 100번 측정된 결과 전화면 검색 기법의 경우 평균 1/10초, 회오리 검색 기법의 경우 평균 1/15초, 사방 팔방 검색 기법의 경우 평균 1/20로 나타났다. 그리고, Ad-hoc 전화면 검색 기법, 회오리 검색법, 사방팔방 검색법의 마커 탐색 알고리즘을

모의 실험한 결과 이 세 알고리즘 모두 마커의 크기가 커질수록 마커 탐색 시간이 빨라지는 현상을 공통적으로 띠고 있다. 마커가 넓은 영역에 걸쳐서 존재할 경우는 Ad-hoc 전화면 검색 기법이 마커탐색 시간면에서 가장 빠른 것으로 나타났다. 마커가 비교적 좁은 영역에 걸쳐 있을 경우에는 사방 팔방 검색법과 회오리 검색법이 Ad-hoc 전화면 검색기법에 비해서 마커의 인식이 빠름을 나타냈다.

마커 중심 추출 알고리즘의 정확도를 평가하기 위해 마커 탐색 시간을 측정함과 동일한 컴퓨터에서 지름이 30픽셀인 51개의 손상 또는 왜곡된 마커영상에 대해 알고리즘에 의한 중심과 실제 중심과의 거리차를 계산 분석하였다. 그 결과 중심의 오차는 평균이 4.39픽셀이며 분산은 8.50픽셀로 나타났으며 그 분포는 <그림 13>과 같다. 또 오차의 분포는 최소 1 최대 16픽셀로 나타났다. 정상적인 마커의 경우에는 오차가 평균 0.5 픽셀로 나타났다.



(그림 14) 중심 추정 오차의 분포
(Fig. 14) Distribution of estimation error for center point

본 연구의 알고리즘은 마커의 크기와 노이즈의 크기가 거의 같은 경우에는 노이즈를 마커로 인식하는 단점을 가지고 있다.

참고 문헌

- [1] D. A. Huffman, "Impossible Object as Non-senses", Machine Intelligence, Vol.6, pp.29 5~323, 1971.
- [2] D. h. Ballard and M. Brown, "Computer Vision", Prentice Hall, 1982.
- [3] Kathrsn. T. Spoehr, Stephen W. Lehmkuhle, "Visual Information Processing", W. h. Free

- man and Company, 1982.
- [4] A. Berson, "Client/Server Architecture", McGraw-Hill, 1995.
- [5] Andrew S. Tanenbaum, "Distributed Operating Systems", McGraw-Hill, 1995.
- [6] S. T. Bornard. and W. B. Thampson, "Disparity Analysis of Images", IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence, Vol.2, No.4, pp.333-340, July, 1980.
- [7] M.Ferrarin, J. Stallard, R.Palmieri and A.Pedotti, "Estimation of Deformation in a Walking Orthosis for Paraplegic Patients", Clinical Biomechanics, No.8, pp.255~261, 1993.
- [8] M.D'amico and G.Ferrigno, "Technique for the Evaluation of Derivatives form Noisy Biomechanical Displacement Data Using a Model-Based Bandwidth-Selection Procedure", Medical & Biological Engineering & Computing, no.28, 1990.
- [9] N.A.Borghese and G.Ferrigono, "An Algorithm for 3-D Automatic Movement Detection by Engineering, vol.37, no.12, December, 1990.
- [10] A. E. Minetti and F.Saibene, "Mechanical Work Rate Minimization and Natural Stride Frequency of Human Walking: a Mathematical Model", Journal of Experimental Biology, No.170, pp19~34, 1992.
- [11] P. Crenna and C. Frigo, "Monitoring Gait by a Vector Diagram Technique in Spastic Patients", Clinical Neurophysiology in Spasticity, P. J. Delwaide & R. R. Yong(Eds) Elseviser Science ,1985.
- [12] C. Frigo, V. Licari and A. Ferrari. "Assesment of Gait in Muscular Dystrophy Based on a Biomechanical Analysis", Biomechanics X-A, Vol. 6A, 1987.
- [13] C. T. Leonard, T. Moritani, H. Hirschfeld and H. Forssberg, "Deficits in reciprocal Inhibition of Children with Cerebral Palsy as Revealed by H Reflex Testing", Develpo. Medicine & Child Necrology, Vol.32, pp.974~984, 1990.
- [14] A. Pedotti and C.Frigo, "Quantitative Analysis of Lomotion for Basic Research and Clinical Application", Functional Neurology Suppl. No.4, 1992.
- [15] A. Pedotti and C. Frigo "Quantitative Analysis of Lomotion for Basic Research and Clinical Application", Functional Neurology Suppl. No.4, pp.47~56, 1992.
- [16] S. boccardi, "Multifactorial Gait Analysis in Rehabilitation Medicine", Functional Necrology, Sulp. No4, pp.63~37, 1992.
- [17] Dwayne Phillips, "Image Processing on C", R & D Publications Inc, 1994.

이 승 민

1996년 서울여자대학교 컴퓨터학과 졸업 (학사)
 1997년~현재 서울여자대학교 대학원 전산과학과 재학중
 관심분야 : 분산처리, 객체지향 소프트웨어공학



이 주 연

1997년 서울여자대학교 컴퓨터학과 졸업 (학사)
 1997년~현재 서울여자대학교 대학원 전산과학과 재학중
 관심분야 : 분산처리, 객체지향 프로그래밍





황 준

1979년 중앙대학교 컴퓨터 공학
과(학사)

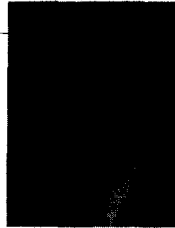
1985~1987 중앙대학교 대학원
컴퓨터 공학과 석사

1988~1991 중앙대학교 대학원
컴퓨터 공학과 박사

1992~1996 서울여자대학교 컴퓨터 학과 조교수

1997~현재 서울여자대학교 컴퓨터 학과 부교수

관심분야 : 분산처리, 컴퓨터 시스템 소프트웨어



김 문 화

1982년 고려대학교 산업공학과
졸업(학사)

1984년 고려대학교 대학원 산업
공학과 석사

1992년~현재 고려대학교 대학원
산업공학과 박사과정 과
정중

관심분야 : 이미지 처리, 팡료, 3차원 운동분석, 초고속
통신상에서의 가상현실