



마커 자동 인식 향상 방법에 관한 연구

이 현 섭(고려대학교)

ABSTRACT

The study for improve a method of Marker auto- identification

Lee, Hyun-Seob(Korea University)

Lee, H-S. The study for improve a method of Marker auto-identification. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 13, No. 1, pp. ???_???. The purpose of this study is to develop an improved marker auto-identification algorithm for reduce of data processing time through improve the efficiency of noise elimination and marker separation. The maker auto-identification algorithm was programming named KUMAS used Delphi language.

For the study, various experiments were conducted for the verification of KUMAS. and compared two systems of established with the KUMAS. Four different motions - cycling, gait, rotation, and pendulum - were selected and tested. Motions were filmed 30Hz frames rate per second. χ^2 -test used for statistical analysis. Significant level were $\alpha = .05$. The test results were as follow.

1. Increased the success ratio of marker auto-identification.
2. The efficiency of marker auto-identification was remarkably improved through marker separation, noise elimination.
3. The marker auto-identification ability was improved in 2D-image plane include the 3D motion.
4. Significant different were found between KUMAS and B-SYS(established system) with non-input the artificial noise frames, input the artificial noise frames and total frames.

Keywords : auto-identification, marker

2003년 3월 20일(목) 접수

* Corresponding author, 136-701, 서울시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 체육교육과 대학원
연락처 : saintdhs@hanafos.com, Tel : 016-343-2109

I. 서 론

Dinn, Winter, & Trenholm(1970)이 컴퓨터와 TV의 인터페이스를 완성시켜 실시간 분석의 가능성을 제시한 후 동작분석 시스템(motion analysis system)은 생체역학 분야에서 중요 실험 장비가 되었다. 이 후 데이터 추출 시간(data processing time)의 단점을 보완하기 위한 시스템들이 개발되어졌으며 현재 많이 사용되고 있는 것은 video-based 방식과 memory-based 방식이다. 자동화 동작분석 시스템은 외국의 여러 회사에서 개발되어 판매되고 있으며, 보다 향상된 동작분석 시스템을 개발하기 위해서 많은 연구자들이 여러 방면으로 연구를 수행하고 있다. 그러나 국내에서는 자동화 동작분석 시스템에 대한 연구들이 활발히 이루어지고 있지 않으며, 이로 인하여 중요 실험 장비임에도 불구하고 관련된 정보가 미비하다. 최근에 들어 자동화 동작분석 시스템에 대한 연구가 몇몇 연구자들(김민기, 김성호, 이성희, 양승환, 1995; 김성호, 1996; 김형수, 1998)에 의해 보고되고 있다. 특히, 이들의 연구는 기존 방식들에 비해 영상 획득 시간을 크게 단축 시켰다는 장점을 가지고 있다. Video-based 방식 이후에 개발된 memory-based 방식은 CCD와 image data acquisition board를 인터페이스 시켜 영상을 PC 메모리에 직접 저장한 다음 위치좌표를 추출하는 방식의 동작분석 시스템이다. Memory-based 방식은 영상을 입력·획득하는 시간이 실시간 분석이 가능할 만큼 빠르지만 영상으로부터 마커의 좌표를 추출하는 데이터 추출 알고리즘은 video-based 방식에 비해 크게 개선되지 않았다. 그러므로 실시간으로 영상을 획득하는 장비를 사용함에도 불구하고 실시간 분석은 제한적으로만 가능하다. 이것은 하드웨어의 성능만 크게 개선이 되었을 뿐 영상으로부터 좌표를 자동으로 추출하는 자동마커인식(auto marker identification) 알고리즘은 개선되지 않았기 때문이다. 대부분의 동작분석 시스템은 이러한 문제를 해결하기 위해서 다중 카메라 방식을 사용하고 있으나 이 같은 방법은 마커인식 문제를 완벽하게 해결하지 못할 뿐만 아니라 가격을 크게 증가시키며 실험 환경 설정을 어렵게 하고 다양한 현장분야에서의 사용이 불가능하다는 단점이 있다. 자동마커인식 과정에서 자주 발생하는 문제 상황은 영상에 노이즈(noise)가 개입되었거나 서로 다른 마커들이 근접되었을 경우 마커인식율이 급격히 낮아진다는 것이다. 이러한 문제점들을 해결하고자 많은 연구자들(Keemink, Hoek van Dijke, Snijders, 1991; Shapiro, Blow, & Rash, 1987; Safae-Rad, Shwedyk, 1990)이 다각도로 연구를 진행하였으나 크게 두드러진 결과를 얻지 못하였으며, 국내에서도 마커인식에 대한 연구가 보고된 바 있다(김민기, 안상식, 김성호, 안혜정, 김진현, 1995; 김형수, 김기형, 이현섭, 한정수, 1998). 마커인식 기능은 하드웨어에서 생성된 영상을 처리하여 위치좌표 데이터를 만들어주는 기능을 담당하고 있기 때문에 자동화 동작분석 시스템의 가장 핵심적인 부분으로서 동작분석 시스템의 성능을 결정하는 중요 요소이다.

위에서 논의한바와 같이 소프트웨어 부분, 특히 자동마커인식 알고리즘 부분이 동작분석 시스템의 성능과 실시간 동작분석 시스템으로의 발전에 있어 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 이에 관한 연구가 활발히 진행되어야 한다. 특히, 입력된 노이즈나 마커들이 서로 근접되어 있는 상황에서도 수

동적인 좌표 추출 경우의 수를 최소화할 수 있는 자동마커인식 알고리즘의 개발이 선행되어야 한다. 이것이 실험의 효율성 및 실시간 분석 장비로의 발전과 활용 분야의 증대, 그리고 스포츠 과학화에 있어 필수적인 부분이다. 따라서 본 연구의 목적은 수동으로 좌표를 추출하는 경우를 최소화 할 수 있는 자동마커인식 알고리즘을 구현하는데 있으며, 이를 통해 동작분석 시스템의 향상을 모색하고, 관련 정보를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법 및 내용

1. 연구기자재 및 구성

본 연구에서는 Delphi를 이용하여 자동마커인식 알고리즘을 구현하였으며, 구현된 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위해서 사용된 두 대의 동작분석 시스템의 구성은 <표 1>과 같다. 자동마커인식 알고리즘을 구현하기 위해서 KUMAS란 이름으로 개발된 프로그램의 메인 화면은 <그림 1>과 같다.

표 10. 동작분석 시스템 구성

System	Hardware	Model	Specification	Manufacture
기존 분석기1 (A-SYS)	Camera	CS8320B CCD	½" Black/White NTSC 방식	Teli Co.
	Frame grabber	Meteor-II Multi-Channel	Monochrome · RGBinput, 30Hz	Matrox
	Power supply	CA130B		Teli Co.
	Cable	CPC3440-03	12 pin	Teli Co.
	Computer		CPU : 300MHz Pentium, 256MB	
기존 분석기 2 (B-SYS)	Camera	CCD	Black/White NTSC 방식	TOSHIBA
	Frame grabber	VIDACOM	motion-JPEG	SPECOM
	Computer		CPU : 486	
기타 장비	reference frame		길이 1m의 정육면체	자체 제작
	Cycle	ergomedic 818		MONARK

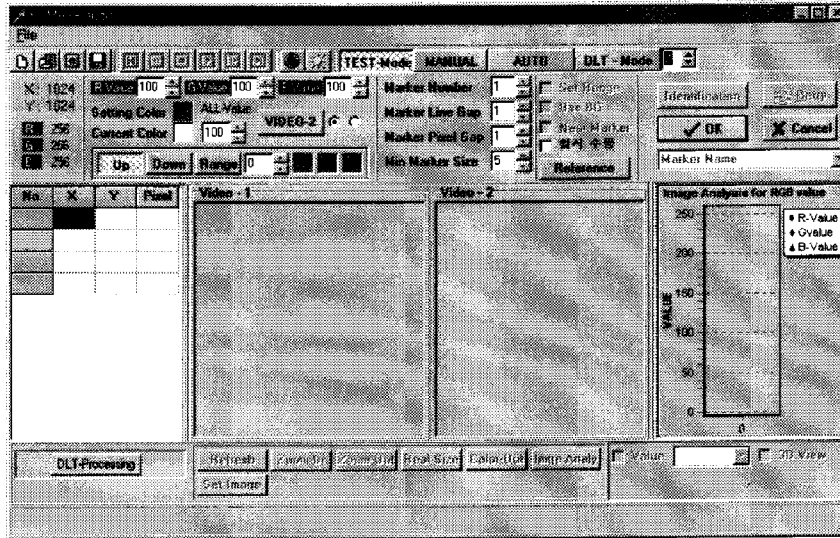


그림 1. 개발된 프로그램의 메인 화면

2. 실험 및 검증방법

3차원 촬영을 위해서 기준 프레임(reference frame)을 이용하여 공간 검증을 하였으며, 클럭신호(clock signal)를 이용하여 카메라를 동기화(synchronization)하였다. 피험자는 검증된 공간에서만 동작을 수행하도록 하였다. 3차원 촬영에서 얻어진 영상은 두 대의 시스템과 본 연구에서 구현된 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 사용되었다. 각 시스템의 영상 처리(image processing) 방식이 다르고, 조명에 의한 노이즈의 입력을 최소화함으로써 각 시스템별로 최적의 영상을 획득할 수 있도록 하였다. 각 시스템에서 생성된 영상은 각 시스템별로 자동마커인식이 수행되었고, 본 연구에서 개발된 프로그램을 이용하여 자동마커인식 과정을 수행하였다(사용자 설정 값인 α , β 는 2로 고정하였다). 본 실험에서 촬영대상으로 선정한 운동동작은 3가지 종류로 사이클링(cycling)과 보행(gait), 단진자(실로 연결된 구체)의 운동이다. Gait 동작은 2차원 동작을 피하기 위하여 검증된 공간에서 대각선 방향으로 진행하도록 하였다. 실로 연결된 구체의 운동은 2차원 평면에서 3차원적 변화가 심한 동작의 마커추적 수행 능력 여부를 관찰하기 위해서 선정되었다. 본 연구에서 수행된 운동 동작들은 인위적(사람이 직접)으로 노이즈를 입력한 상태와 인위적인 노이즈를 입력하지 않은 상태로 촬영이 되었다. 본 연구에서 촬영된 동작들에 대한 내용은 <표 2>와 같다.

표 2. 촬영된 동작들과 촬영 내용

System	동 작	노이즈 여부
기존 분석기 1	사이클-30RPM, 45RPM, 60RPM	
	사이클-노이즈-30RPM, 45RPM, 60RPM	○
기존 분석기 2	게이트(gait)	
	게이트(gait)-노이즈	○
구체의 회전운동1 & 구체의 회전운동2		

사이클 동작에서 스킨 마커(skin marker)는 고관절(hip joint), 슬관절(knee joint), 발목관절(ankle joint), 종골(calcaneus), 중족골 관절(metatarsal joint), 발끝(toe)에 부착되었으며, 인위적인 노이즈는 <그림 2>, <그림 3>과 같이 두가지 형태로 입력되었다.

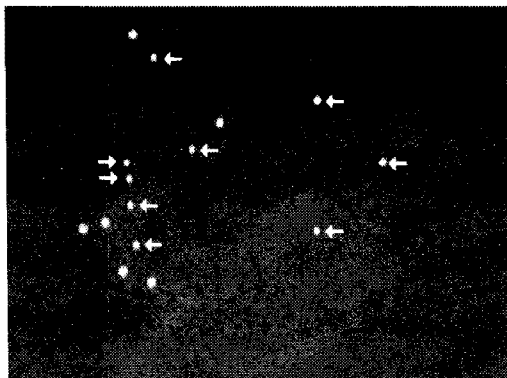


그림 2. 사이클-노이즈 입력 형태1



그림 3. 사이클-노이즈 입력 형태2

게이트 동작에서 스킨 마커는 hip joint, knee joint, ankle joint, calcaneus, metatarsal joint, toe에 부착되었다. 게이트 동작시 입력된 노이즈 형태는 <그림 4>와 같다.

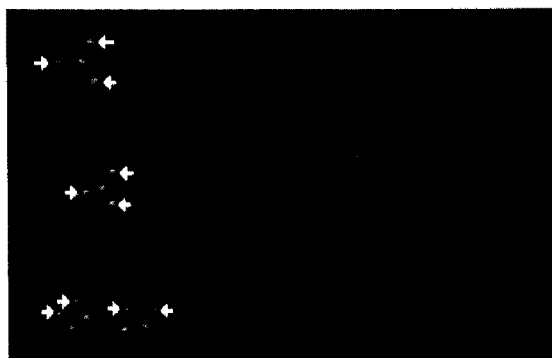


그림 4. 게이트-노이즈 입력 형태

실로 연결된 구체의 회전운동은 두 가지 방식으로 수행되었다. 첫 번째 방식은 4개의 구체가 실로 연결되어 있는 것을 수직축을 중심으로 회전운동을 시켰다<그림 5 참조>. 두 번째 방식은 전후축(anteroposterior axis)상에 막대기를 두었으며, 4개의 구체를 실로 연결하여 한쪽 끝은 손으로 잡고 반대쪽을 자유낙하 시켰다. 자유낙하 되는 구체들은 전후축상에 놓여 있는 막대기에 실이 걸려서 갑작스런 궤적의 변화가 발생하도록 하였다<그림 6 참조>.

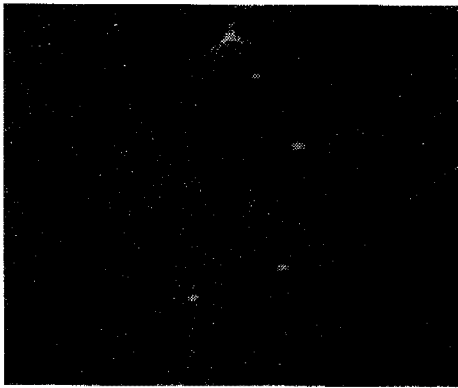


그림 5. 구체 회전운동 1



그림 6. 구체 회전운동 2

<그림 7>과 <그림 8>은 구체 회전운동 형태 각각을 그래프로 나타낸 것이다.

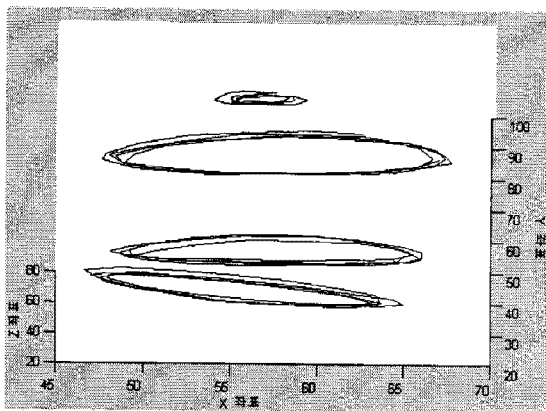


그림 7. 구체 회전운동 1의 형태

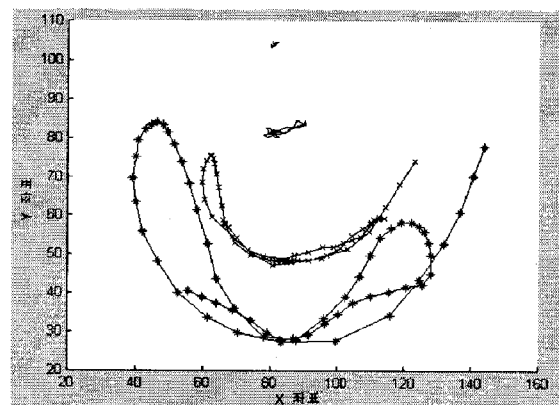


그림 8. 구체 회전운동 2의 형태

자동마커인식은 이전 프레임의 정보를 이용하여 현재 프레임의 마커를 인식하는 방법을 사용한다. 이러한 방법은 매우 효과적이기는 하지만 에러가 발생하면 그 이후부터는 정상적인 마커인식을 수행할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 자동마커인식을 평가하기 위해서는 최초 에러가 몇 번째 프레임에서 발생하는가를 조사하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 각 시스템별로 최초 에러가 발생하는 프레임수를 조사하여 전체 프레임수에 대한 마커인식 성공 프레임 수를 제시하는 방법을 사용하였다. 각 시

스텝간의 비교 분석을 위한 통계 분석 방법으로는 χ^2 검증 방법을 사용하였으며, 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 하였다.

3. 구현된 자동마커인식 알고리즘 내용

자동마커인식은 인위적으로 마커 추적을 하지 않고, 컴퓨터로 하여금 자동으로 추적을 하도록 하는 방식이다. 본 연구에서는 자동마커인식을 위해서 목적 프레임의 직전 3개 프레임 정보를 사용하였으며, 각 마커에 신체부위의 이름과 분절 형성 여부를 알고리즘에 정보로써 부여하기 위하여 <그림 9>와 같은 인체모델을 사용하였다. 각 목적 프레임의 마커탐지 결과는 Temp에 저장하였다. 자동마커인식에서 사용되는 모든 정보를 사용하기 위해서는 초기 세 프레임의 마커추적을 성공적으로 수행해야 한다.

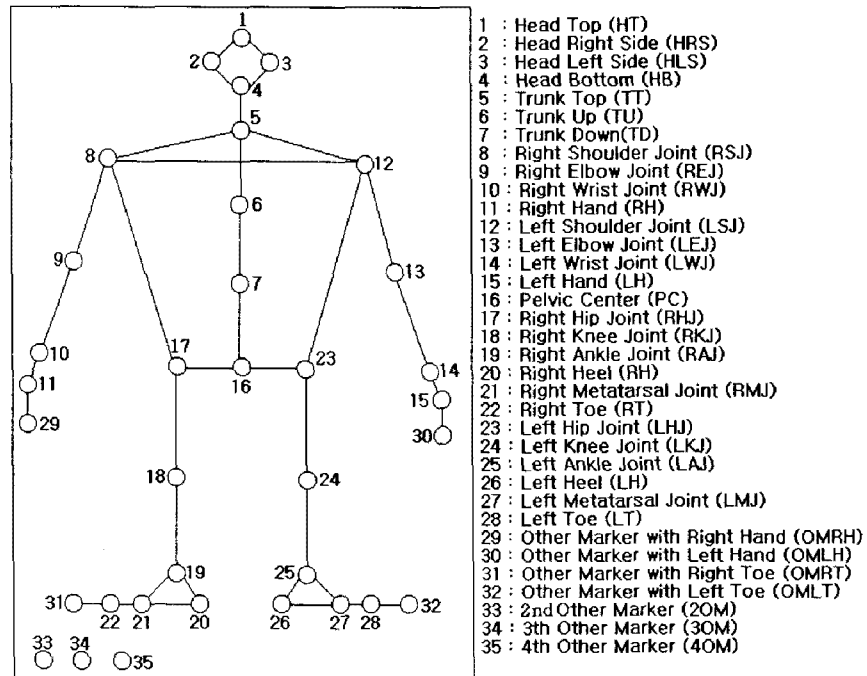


그림 9. 인체모델

1) 첫 번째 프레임의 마커 추적

첫 번째 프레임에서는 사용자가 마우스를 이용하여 각 마커와 마커의 이름을 지정하고 이를 저장하였다. 저장된 데이터를 이용하여 어떤 마커들이 인체 분절(body segment)을 형성하는지를 마커 이름과 인체 모델을 이용하여 컴퓨터가 결정, 저장하도록 하였다.

2) 두 번째 프레임의 마커 추적

두 번째 프레임의 마커추적을 위해서 사용되는 정보는 첫 번째 프레임에서의 마커들의 위치와 분절 길이(body segment length)이다. 두 번째 프레임의 첫 번째 마커(M_{2f-1})는 두 번째 프레임의 마커탐지 결과를 저장하고 있는 $Temp_{2f}$ 에서 첫 번째 프레임의 첫 번째 마커(M_{1f-1})와 가장 가까운 거리에 있는 마커를 선택하였다. 거리는 식(1)을 이용하여 구했다.

$$\sqrt{(M_{1f-1}(x) - Temp_{2f-i}(x))^2 + (M_{1f-1}(y) - Temp_{2f-i}(y))^2} \quad \dots\dots(1)$$

두 번째 프레임의 나머지 마커는 각각의 마커들이 분절을 형성하는 마커들인지를 판별한 다음, 분절을 형성하는 마커가 아니면 첫 번째 마커와 같은 방법을 사용하여 선택하고, 분절을 형성하는 마커이면, M_{1f-i} 와 가장 가까운 3개의 마커를 $Temp_{2f}$ 내에서 찾는다. 찾아진 3개의 마커들 중에서 첫 번째 프레임에서의 분절 길이(S_{1f})에 일정한 범위를 주어 그 범위안에 포함되는 마커들을 찾아낸다. 분절 범위에 포함되는 마커들 중에서 다시 M_{1f-i} 와 가장 가까운 마커를 동일 마커로 인식한다.

3) 세 번째 프레임의 마커추적

첫 번째 마커를 위해서 이용할 수 있는 정보는 M_{1f-1} 가 M_{2f-1} 로 이동했을 때의 x, y 변화 값이다. 이는 M_{3f-1} 의 좌표값을 예측하는 것으로 프레임간에서는 운동방향이 급격하게 변하는 일이 드물다는 것에 근거를 두고 있다. x, y 의 변화 값을 X_{ratio}, Y_{ratio} 라 하면, 식(2)에 의해 구해진다.

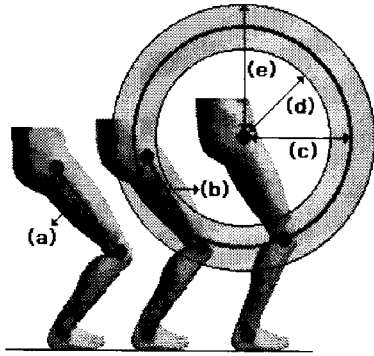
$$\begin{aligned} X_{ratio} &= M_{2f-1}(x) + (M_{2f-1}(x) - M_{1f-1}(x)) \\ Y_{ratio} &= M_{2f-1}(y) + (M_{2f-1}(y) - M_{1f-1}(y)) \end{aligned} \quad \dots\dots(2)$$

여기서 구해진 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 는 예측된 M_{3f-1} 의 위치좌표가 된다. 이 예측된 위치좌표와 $Temp_{3f}$ 의 마커중 가장 가까운 거리에 있는 마커를 3번째 프레임의 첫 번째 마커로 채택한다. 두 번째 마커부터는 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 와 분절의 길이 변화율(segment length ratio)을 정보로 사용한다. 이미지 평면에서 2차원 동작은 분절의 길이 변화가 매우 미세하게 일어나지만 3차원 동작은 분절의 길이 변화가 보다 크게 일어난다. 따라서 분절의 길이 변화율을 사용하여 다음 프레임의 분절 길이를 예측하는 것이다. 그러나 예측된 분절 길이는 정확할 수 없기 때문에 예측된 분절 길이를 특정 값으로 처리하지 않고 범위값으로 처리하여 마커가 존재할 수 있는 영역을 설정하는 방식을 택하였다. S_{ratio} 를 두 번째 마커가 형성하는 분절의 가능 길이라 하면, 식(3)에 의해 구해진다.

$$S_{ratio} = \left(\frac{S_{2f}}{S_{1f}} \right) \times S_{2f} \pm \left(S_{2f} \times \left| 1 - \frac{S_{2f}}{S_{1f}} \right| \times \alpha \right) \quad \dots\dots(3)$$

여기서 α 는 사용자 설정 값이다. 위 식에 의해 분절의 가능 길이는 <그림 10>과 같이 범위값이 된다. 범위값은 α 에 의해 그 폭을 변경할 수 있다.

두 번째 마커를 찾는 순서는 다음과 같다.



$$(a). S_{1f} \quad (b). S_{2f} \quad (c). S_{ratio} = \left(\frac{S_{2f}}{S_{1f}}\right) \times S_{2f}$$

$$(d). S_{ratio} = \left(\frac{S_{2f}}{S_{1f}}\right) \times S_{2f} - \left(S_{2f} \times \left|1 - \frac{S_{2f}}{S_{1f}}\right| \times a\right)$$

$$(e). S_{ratio} = \left(\frac{S_{2f}}{S_{1f}}\right) \times S_{2f} + \left(S_{2f} \times \left|1 - \frac{S_{2f}}{S_{1f}}\right| \times a\right)$$

그림 10. 신체 분절의 변화율

- ① (X_{ratio}, Y_{ratio}) 를 구한다.
- ② $Temp_{3f}$ 으로부터 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 와 가장 가까운 3개의 마커를 구한다.
- ③ S_{ratio} 를 구한 다음, 위 ②에서 구해진 3개의 마커를 대상으로 S_{ratio} 에 포함 되는 모든 마커를 찾는다.
- ④ ③에서 구해진 마커를 대상으로 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 와 가장 가까운 마커를 최종 마커로 인식한다.

4) 세 번째 이후 프레임의 마커추적

3개 프레임의 마커추적이 완료되면, 네 번째 프레임부터 마지막 프레임까지는 목적 프레임의 직전 3개 프레임의 정보를 이용하여 마커추적을 수행한다. 그러나 어느 프레임이든 첫 번째 마커는 다른 마커에 비해 제한된 정보를 사용할 수밖에 없다. 본 연구에서는 프레임간 거리 변화율(distance ratio) 정보와 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 정보를 이용하여 첫 번째 마커를 추적하고, 나머지 마커추적은 거리 변화율 정보, (X_{ratio}, Y_{ratio}) , 분절 길이 변화율 정보를 이용하였다. 목적프레임(4번째 프레임)의 i 번째 마커를 M_{1f-i} 라하고, M_{1f-i} 와 M_{2f-i} 사이의 거리를 $D_{f(1-2)}$, M_{2f-i} 와 M_{3f-i} 사이의 거리를 $D_{f(2-3)}$ 이라 하면, 거리 변화율 D_{ratio} 는 식(4)에 의해 구해지며, <그림 11>과 같다.

$$D_{ratio} = \left(\frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}}\right) \times D_{f(2-3)} \pm \left(D_{f(2-3)} \times \left|1 - \frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}}\right| \times \beta\right) \quad \dots\dots(4)$$

D_{ratio} 는 S_{ratio} 와 같이 범위값이 되며, 범위는 사용자 설정 값인 β 에 의해 정해진다. 네 번째 프레임부터는 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 를 구하는 식이 식(2)와는 다르며, 식(5)에 의해 구해진다. 여기서 구해진 X_{ratio} 와 Y_{ratio} 는 방향과 크기를 갖는 벡터 값이 된다.

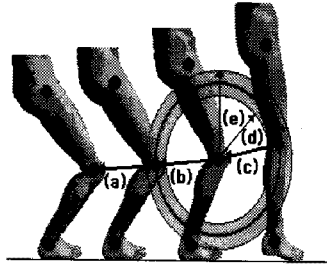
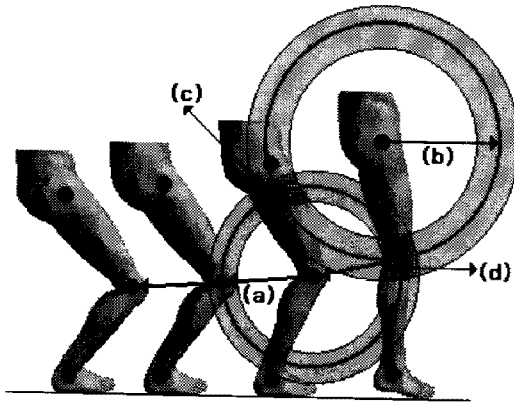


그림 11. 거리 변화율

$$\begin{aligned}
 & \text{(a). } D_{f(2-3)} \quad \text{(b). } D_{f(1-2)} \quad \text{(c). } \frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}} \times D_{f(2-3)} \\
 & \text{(d). } D_{ratio} = \left(\frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}} \right) \times D_{f(2-3)} - \left(D_{f(2-3)} \times \left| 1 - \frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}} \right| \times \beta \right) \\
 & \text{(e). } D_{ratio} = \left(\frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}} \right) \times D_{f(2-3)} + \left(D_{f(2-3)} \times \left| 1 - \frac{D_{f(2-3)}}{D_{f(1-2)}} \right| \times \beta \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{ratio} &= M_{3f-i}(x) + \left| \frac{M_{3f-i}(x) - M_{2f-i}(x)}{M_{2f-i}(x) - M_{1f-i}(x)} \right| \times (M_{3f-i}(x) - M_{2f-i}(x)) \\
 Y_{ratio} &= M_{3f-i}(y) + \left| \frac{M_{3f-i}(y) - M_{2f-i}(y)}{M_{2f-i}(y) - M_{1f-i}(y)} \right| \times (M_{3f-i}(y) - M_{2f-i}(y)) \quad \dots\dots(5)
 \end{aligned}$$



- (a). 거리 변화 영역
- (b). 분절길이 변화 영역
- (c),(d) 마커 존재 가능 영역

그림 12. 마커 존재 가능 영역

첫 번째 마커를 제외한 다른 마커는 분절 길이 변화율을 함께 사용하여 추적을 수행하였다. 거리 변화율과 분절 길이 변화율을 함께 사용하여 마커가 존재할 수 있는 영역을 예측하여 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 와 가장 가까운 마커를 인식하였다. 마커가 존재할 수 있는 영역은 거리 변화 영역과 분절 길이 변화 영역이 서로 교차하는 지역인데, <그림 12>와 같이 교차 지역은 최대 2곳에서 나타난다. 교차 지역에 포함되는 마커들중에서 (X_{ratio}, Y_{ratio}) 와 가장 가까운 마커를 실제 마커로 인식한다.

III. 결과 및 논의

자동마커인식은 카메라의 각도에 따라 그 수행 결과가 다르게 나타나기 때문에 A-SYS와 B-SYS는 상호간에 비교 분석하지 않았으며, 본 연구에서 개발된 프로그램과 각각 비교하는 방법을 사용하였다.

1. 사이클 동작에 대한 자동마커인식 수행 결과 및 분석

A-SYS의 경우 촬영상에서 조명에 의한 노이즈와 입력된 노이즈로 인해 수행이 불가능하였으며, 본 연구에서 개발된 프로그램은 A-SYS 영상에서의 30RPM과 45RPM에 비해 60RPM에서 수행 능력이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 60RPM에서 마커가 잔상에 의해 크기가 커져 마커 겹침 현상이 나타났기 때문이다. RPM의 변화에 따른 수행 결과를 보면 B-SYS 경우 30RPM과 45RPM에서는 큰 차이를 보이고 있지 않으나 60RPM에서는 낮은 수치를 보이고 있다. 반면에, KUMAS는 60RPM에서도 정상적으로 수행하였음을 보이고 있다<그림 13 참조>. 이러한 결과들을 볼 때, 노이즈에 상관없이 마커가 정상적으로 인식될 경우 KUMAS는 RPM에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

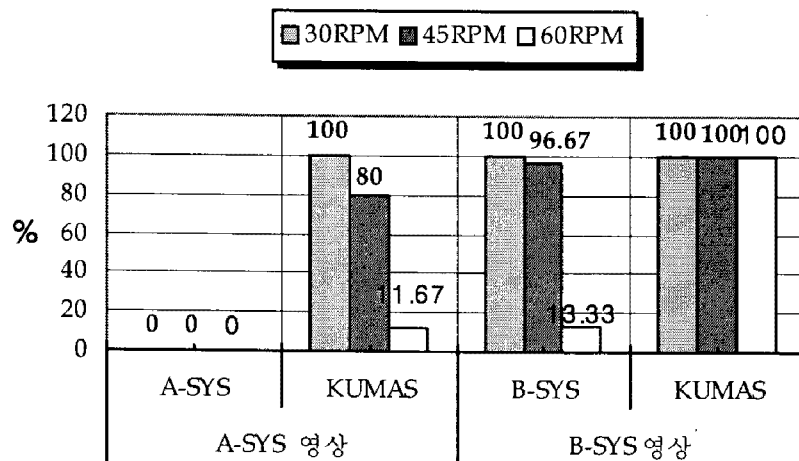


그림 13. 사이클 동작에서의 RPM에 따른 결과

노이즈의 인위적인 입력 여부에 따른 수행 결과는 <그림 14>와 같다.

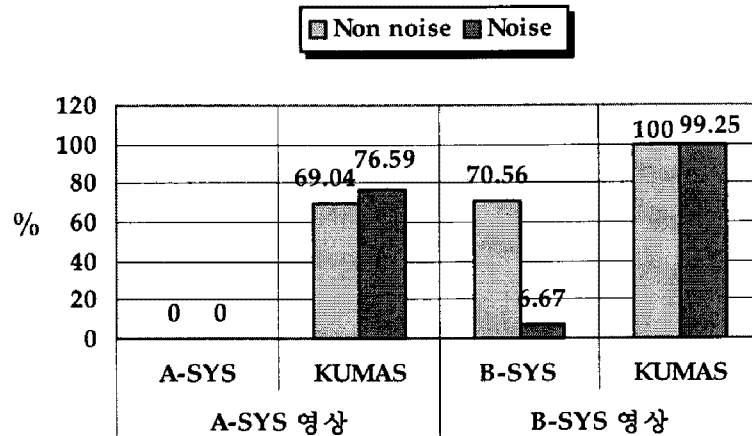


그림 14. 노이즈 입력 여부에 따른 수행 결과

A-SYS는 사이클 동작 촬영시 입력된 노이즈로 인하여 수행이 불가능하였다. B-SYS는 노이즈가 입력되지 않았을 때는 약 70%의 수행 능력을 보이고 있으나 노이즈를 입력하였을 때는 수행 결과가 현저히 낮아지는 현상을 보이고 있다. 이러한 결과는 B-SYS가 노이즈나 마커 근접 현상에 대한 대처 능력이 약함을 나타내는 것이다. KUMAS는 A-SYS로 촬영한 영상에서와 B-SYS에서 촬영한 영상 모두에서 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이는 KUMAS가 노이즈에 대한 대처 능력과 마커 근접 현상에 대한 대처 능력이 뛰어난 것을 나타내는 것이다. KUMAS의 경우 B-SYS에서 보다 A-SYS의 영상에서 낮은 수행 결과를 보이는 것은 60RPM에서 속도의 증가에 의한 마커의 밝기 값 감소와 마커의 크기 변화에 의해 정상적인 영상을 얻을 수 없었기 때문이다. 이러한 문제는 시스템의 하드웨어 영향에 의한 것으로 판단된다.

2. Gait 동작에 대한 자동마커인식 수행 결과 및 분석

Gait 동작은 인위적으로 노이즈를 입력한 상태와 노이즈를 입력하지 않은 상태로 구분하여 자동마커인식을 수행, 분석하였다. 노이즈의 입력 여부에 따른 수행 결과는 <그림 15>와 같다.

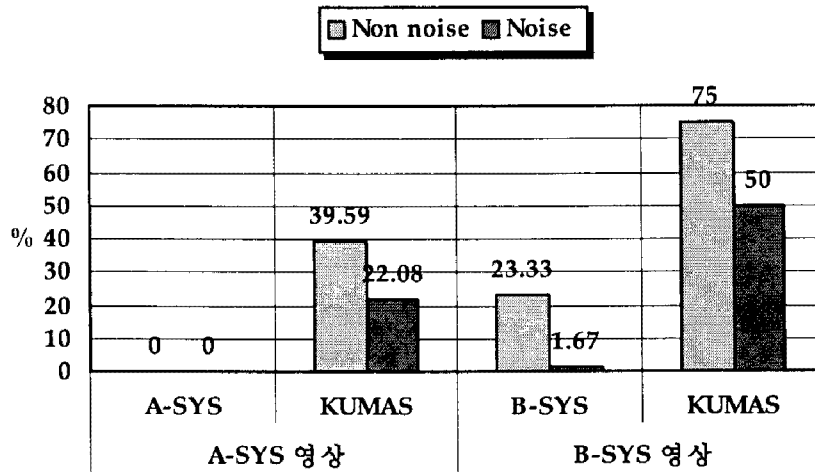


그림 15. Gait 동작시 노이즈 입력 여부에 따른 수행 결과

A-SYS는 사이클 동작에서와 같이 촬영상의 노이즈 입력으로 인해서 수행이 불가능하였다. KUMAS는 A-SYS 영상에서 낮은 수행 결과를 나타내었는데 이는 이지(take-off) 구간과 스윙(swing) 구간에서 마커 겹침 현상이 발생하였기 때문이다. B-SYS 영상에서 B-SYS는 모든 상황에서 낮은 수행 결과를 보이고 있으며, 특히 노이즈가 입력된 상황에서 매우 낮은 수행 결과를 보이고 있다. 노이즈가 입력되지 않은 영상에서 낮은 수행 결과를 보인 것은 take-off 구간의 초기에서 갑작스런 속도의 증가에 의해 에러가 발생하였기 때문이다. KUMAS는 B-SYS 영상에서 B-SYS 보다 높은 수행 결과를 나타내고 있으나, 그 유형은 B-SYS와 유사한 형태로 노이즈가 입력된 영상에서 보다 낮은 수행 능력을 보여주고 있다. 동일 영상을 사용하여 분석하였음을 고려해볼 때 KUMAS가 다른 두 시스템에 비하여 마커 인식 능력이 뛰어나다고 할 수 있으며, 이는 노이즈 및 마커 근접 현상에 대한 대처 능력이 뛰어남을 나타낸다.

3. 구체 회전운동에 대한 자동마커인식 수행 결과 및 분석

구체 회전운동에 대한 자동마커인식 수행 결과 B-SYS 영상의 경우 구체회전운동 1과 구체회전운동 2 모두에서 B-SYS와 KUMAS는 100% 성공하였으나, A-SYS 영상의 경우, A-SYS는 다른 동작에서와 같이 자동마커인식을 수행해 내지 못했고, KUMAS는 구체회전운동 1에서 100%, 구체회전운동 2에서 47.5%의 수행 능력을 보여줬다.

4. 시스템간 통계 분석 결과

A-SYS와 B-SYS에서 촬영한 영상은 서로 다른 영상으로 상호간에 비교할 수 없기 때문에 각 시스템 별로 KUMAS와 비교하는 방법을 사용하였다. 연구 수행 결과 A-SYS는 노이즈가 개입된 영상에 대해서는 정상적인 자동마커인식을 수행해 내지 못하였기 때문에 통계적 분석을 수행하지 않았으며, B-SYS와 KUMAS 간의 χ^2 분석을 수행하였다. 전체 영상에 대한 B-SYS와 KUMAS의 χ^2 분석 결과는 표 3과 같다.

표 3. 전체영상에 대한 B-SYS와 KUMAS간의 χ^2 분석 결과

System	df	N	백분율(%)	value	P-value
B-SYS	1	1184	27.20	880.151	.001
KUMAS			87.50		

두 시스템간의 χ^2 분석 결과는 $\chi^2(1, N = 1184) = 880.151$ 로 나타났으며, 유의 확률은 .001로 유의 수준 .05하에서 두 시스템간에 차이가 있는 것으로 나타났다.

노이즈가 인위적으로 입력되지 않은 영상에서 두 시스템간의 χ^2 분석 결과는 표 4와 같다.

표 4. Non-noise에서의 B-SYS와 KUMAS간의 χ^2 분석 결과

System	df	N	백분율(%)	value	P-value
B-SYS	1	704	44.89	436.071	.001
KUMAS			95.74		

노이즈가 인위적으로 입력되지 않은 영상에서 두 시스템간의 χ^2 분석 결과는 $\chi^2(1, N = 704) = 436.071$ 로 나타났으며, 유의 확률은 .001로 유의 수준 .05하에서 두 시스템간에 차이가 있는 것으로 나타났다.

노이즈를 인위적으로 입력한 영상에서 두 시스템간의 χ^2 분석 결과는 표 5와 같다.

표 5. Noise에서의 B-SYS와 KUMAS간의 χ^2 분석 결과

System	<i>df</i>	N	백분율(%)	value	P-value
B-SYS	1	480	1.25	558.472	.001
KUMAS			75.42		

노이즈를 인위적으로 입력한 영상에서 두 시스템간의 χ^2 분석 결과는 $\chi^2(1, N = 480) = 558.472$ 로 나타났으며, 유의 확률은 .001로 유의 수준 .05하에서 두 시스템간에 차이가 있는 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 인체 모델(human model)에 기초한 분절 길이 변화율과 마커의 움직인 거리 변화율, 그리고 마커의 벡터 값을 이용한 자동마커인식 알고리즘을 구현하였다. 알고리즘을 프로그램화한 KUMAS의 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자동마커인식 수행의 성공률을 향상시킬 수 있었다.
2. 영상에 입력된 노이즈에 대한 대처 능력을 향상시킬 수 있었다.
3. 마커 근접 현상에 대한 대처 능력을 향상시킬 수 있었다.
4. 운동 동작의 속도에 상관없이 자동마커인식 수행 능력을 향상시킬 수 있었다.
5. 2차원 영상으로 얻어진 3차원 운동에서도 자동마커인식 수행 능력을 향상시킬 수 있었다.
6. 자동마커 인식 능력은 하드웨어 성능에 영향을 받는다.

위의 연구결과들을 통해서 raw data(마커의 좌표 데이터)를 보다 빨리 추출할 수 있으며, 이는 data processing time을 단축함으로써 보다 빨리 운동 수행 결과를 제시할 수 있음을 의미한다. 이러한 결과들은 동작분석기의 응용 분야 확대 및 스포츠의 과학화에 기여할 수 있음을 나타낸다.

본 연구를 통해서 자동마커인식 알고리즘의 개발을 통해서 동작분석 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 여전히 하드웨어의 성능에 의해 자동마커인식의 수행능력이 영향을 받음을 확인하였다. 특히 운동 속도가 증가되어 마커의 크기와 형태의 변형이 심할 경우 자동마커인식 기능의 수행 능력이 떨어지는 현상을 보였다. 이러한 현상은 마커의 잔상이 영상에 입력되어 마커가 겹치기 때문이며 마커의 밝기 값이 배경의 밝기 값과 비슷해져 마커의 존재 여부를 시스템에서 확인할 수 없었기 때문이다. 본 연구에서 개발한 알고리즘은 마커가 비정상적으로 겹쳐 있을 때 마커를 정상적으로 인식하지 못한다. 이러한 비정상적인 마커 겹침 현상에 대한 해결책은 알고리즘으로 해결하는 것보다는 하드웨어적인 성능 향상으로 해결하는 것이 보다 근본적인 해결책이 될 것으로 생각한다.

기존 시스템들의 자동마커인식 알고리즘은 대부분 직전 프레임 마커의 위치와 가장 가까운 거리에 있는 마커를 동일 마커로 인식하거나 또는 외삽법(extrapolation) 등을 이용하고 있다. 이러한 단일 정보를 이용하는 알고리즘은 운동동작의 유형이 매우 다양한 인간의 움직임에는 적용하기에 한계가 있으며, 보다 다양하고 많은 정보를 이용하여야 할 것으로 생각된다. 특히 3차원에서 이루어지는 인간의 운동 동작을 2차원의 영상에서 마커를 추적하기 위해서는 각 마커의 상대적인 움직임과 유형을 예측할 수 있어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 김민기, 김성호, 이성희, & 양승한 (1995). 인체동작 분석기의 개발. *대한 의용생체공학회*, 16(2), pp.217-222.
- 김민기, 안상식, 김성호, 안혜정, 김진현 (1995). 인체 동작 분석기 개발을 위한 마커 추적 알고리즘. *Journal of Institute of Science and Technology*, 3, pp.219-224.
- 김성호 (1996). *인체동작 분석기 개발*. 석사학위논문, 고려대학교, 조치원.
- 김형수 (1998). 3차원 동작분석을 위한 camera-computer direct interfaced 방식의 시스템 구현. 박사학위논문, 고려대학교, 서울.
- 김형수, 김기형, 이현섭, & 한정수 (1998). 마커탐색 및 중심계산 알고리즘의 구현. *한국운동역학회지*, 8(1), pp.81-97.
- Dinn, D. F., Winter, D. A., & Trenholm, B. G. (1970). CINTEL : Computer interface for television. *IEEE Transactions on Computers*, 19, pp.75-79.
- Keemink, C. J., Hoek van Dijke, G. A., & Snijders, C. J. (1991). Upgrading of efficiency in the tracking of body markers with video techniques. *Med. & Biol. & Comput.*, 29, pp.70-74.
- Safae-Rad, R. & Shwedyk, E. (1990). Three-dimensional measurement system for functional arm motion study. *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, 28, pp.569-573.
- Shapiro, R., Blow, C., & Rash, G. (1987). Video digitizing analysis system. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3, pp.80-86.