퍼지로직 기반의 거대 4족 보행 시스템을 위한 실감형 패턴 발생기

Lifelike Pattern Generator for a Giant Quadrupedal Walking System Based on Fuzzy Logic

이 상 원, 임 경 화*, 권 오 흥
(Sangwon Lee¹, Kyung-Hwa Rim², and Ohung Kwon¹)

¹Korea Institute of Industrial Technology

²Korea University of Technology and Education

Abstract: In this paper, we suggest a lifelike pattern generator for a quadrupedal walking system with a head, a tail, four legs and a torso. The system looks like a giant dinosaur which stands over 7 meters tall with its legs over 2 meters long. We focus on its lifelike naturalness. Thus, generating logical patterns in harmony with head-body-tail patterns and quadrupedal locomotion patterns makes you feel that the quadrupedal walking system is alive. The basic patterns of four legs and a body are obtained from a 3D graphic animation, which is made and captured from various motions of similar species in existence since the giant dinosaurs are exterminated. The dinosaur-like mechanism also is designed from bone and joint structures of quadrupedal animals. The lifelike pattern generator based on fuzzy logic could generate lifelike motions according to the dinosaur-like mechanism and the basic patterns. A series of computer simulations and experimental implements show that the pattern generator makes the quadrupedal walking system lifelike.

Keywords: entertainment, quadruped, giant dinosaur, naturalness, fuzzy logic

I. 서론

오늘날 대부분의 이동로봇은 그 이동방식에 따라 차륜형과 족형으로 구분된다. 차륜형에 대한 연구는 오래 전부터 시작되어 최근까지도 활발하게 진행되고 있다[1,2]. 엔터테인먼트 분야에서는 상대적으로 차륜형 로봇에 비해 족형 로봇의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 족형 로봇은 다리의 수에 따라 2족, 4족, 다족으로 분류된다. 일반적으로 2족 보행 로봇은 인간의 외형이나 동작이 흡사하게 구현된 휴머노이드/안드로이드 로봇이다. 이러한 로봇은 보행 및 특정 행동이 가능하다. 특정행동이라 함은 대화를 하고, 악수를 하고, 춤을 추고, 악기를 연주하는 등의 행동을 말한다. 반면 4족 보행 로봇의 경우는 다양한 지면 환경에서 안정성을 유지하며 다양한 보행 패턴을 적용하여 이동하는 데에만 많은 관심을 가지고 있다. 이렇듯 2족, 4족 로봇은 생체 모방형 로봇이라는 공통분모를 가지고 있으나 구현의 초점은 다르다. 쉽게 설명한다면 인간형 로봇은 인간의 행위 동작에 많은 초점을 가지고 연구되고 있으며, 동물형 로봇은 안정성 기반의 보행에만 많은 초점이 맞추어져 있다. 이러한 연구 초점의 차이로 인해 활용분야

는 달라진다. 인간형 2족 보행 로봇은 서비스, 엔터테인먼트 로봇으로 다양한 모션이 존재해야 하며, 동물형 4족 로봇은 군사용, 산업용 로봇으로 어떠한 특정 동작 구현만 가능하도록 활용되고 있다. 이렇듯 활용 면에서의 차이점으로 인하여 두 종류의 로봇은 데이터를 수집하는 방법에서도 차이를 보인다.

인간형 로봇에 대해서는 인간의 목, 허리, 어깨, 팔, 다리에 대한 모션 데이터를 추출한 후 이를 적용하는 반면, 동물형 4족 보행 로봇의 경우에는 다리 동작에 대한 분석 자료를 기반으로 보행 패턴을 만들어 이를 적용한다. 따라서 본 논문에서는 4족 보행 로봇을 제작하는데 있어 단순히 안정성에 초점을 맞추어 제작하는 것이 아니라, 자연스러운 보행 및 신체 전체 동작에 초점을 두어 움직임을 구현해보고자 한다. 제작된 4족 보행 시스템은 물건을 안전하게 이동하는 목적보다는 공연/전시에 활용되는 엔터테인먼트 로봇에 가깝다고 할 수 있다. 엔터테인먼트 로봇을 관람하고 반응하는 대상은 사람이다. 따라서 사람들에게 관심과 친근함, 호기심을 유발하기 위해서는 외형이나 동작이 살아있는 것 같은 느낌을 전달해야 한다. 따라서 본 논문은 엔터테인먼트 로봇이 거대 공룡처럼 살아있는 것 같은 느낌 전달이 극대화될 수 있는 공룡 구조 메커니즘과 퍼지 로직 기반의 실감형 패턴 재생 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 전개는 다음과 같다. 제 II 장에서는 보행 시 다리와 연동된 다른 신체부위의 모션 데이터 추출 방법에 대하여 언급할 것이며, 제 III 장에서는 추출된 모션 데이터를 구현하기 위한 생체 모방 기반의 기계 메커니즘을 소개

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 11. 15., 수정: 2011. 12. 5., 채택확정: 2011. 12. 20.

이상원, 권오흥: 한국생산기술연구원

(last879@kitech.re.kr/ohung@kitech.re.kr)

임경화: 한국기술교육대학교(rim@kut.ac.kr)

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원에서 시행한 '2009년도 문화기술개발사업'의 연구결과로 수행되었음.

할 것이다. 마지막 장에서는 추출된 모션 데이터를 기계적인 메커니즘 적용하기 위한 알고리즘 및 시뮬레이션 결과에 대하여 논의할 것이다.

II. 모션 데이터 추출

본 논문에서 제시하는 엔터테인먼트 4족 보행 로봇은 그림 1과 같이 개 크기의 로봇이 아닌 길이 7 m 높이 3 m 이상의 거대한 공룡 크기의 다리와 머리 몸통, 꼬리가 존재하는 형상을 가진다. 따라서 유사한 가상 캐릭터 모델로부터 모션 캡처 카메라를 이용하는 방법으로는 불가능 하다

그림 1. 거대 4족 보행 시스템.

Fig. 1. Giant quadruped walking system.

그림 2. 거대 공룡 3D 디자인.

Fig. 2. Giant 3D design.

그림 3. 신체 각 부위 모션 데이터 추출.

Fig. 3. Motion data extraction from each part of a giant dinosaur.

[3,4]. 그러나 비디오로 캡처하는 방법은 모션 캡처 카메라를 이용한 데이터 추출 방법의 보완책으로서 누구나 쉽게 응용할 수 있다[5]. 이러한 모션의 데이터 추출 방법은 앞서 언급하였듯이 누구나 쉽게 접근할 수 있는 반면, 데이터의 정밀도는 많이 떨어진다. 언급한 두 가지 방법은 실제 살아있는 대상에 대하여 적용한 사례이다. 따라서 실제 존재하지 않는 가상의 동물이나 과거에만 존재했던 동물의 경우에는 그 모션에 대한 데이터를 분석할 수 없다. 이러한 경우에는 대부분 가상의 모델을 3D 그래픽 툴을 이용하여 디자인한 후 골격계/물리적인 상사성을 고려하여 모션을 구현한다[6]. 이러한 방법은 공룡, 캐릭터 애니메이션 제작에 많이 적용되고 있다. 본 연구를 통해 제작할 7 m 급의 거대 동물의 모션을 분석하는 방법은 3D 그래픽 디자인 기반의 모션 분석이 적합하다. 3D max 그래픽 데이터를 통하여 얻어내고자 하는 데이터는 4다리의 보행 패턴을 기반으로 머리, 꼬리, 허리의 연관 관계이다. 이러한 데이터를 추출하기 위해서 그림 2와 같이 거대 동물을 디자인하고, 측정부위를 정의한 후 자체 개발한 3D 맥스 스크립터를 사용하여 신체 각부위의 모션 데이터를 추출하였다(그림 3).

각다리의 명칭은 LH (Left Hindleg), LF (Left Foreleg), RH (Right Hindleg), RF (Right Foreleg) 이며, 보행 순서는 LH → LF → RH → RF 순서이다.

III. 생체 모방형 메커니즘

보행을 하면서 몸의 안정성을 확보한다는 것은 균형을 잘 잡는다는 것과 같은 말이다. 몸의 균형을 잡기 어려운 이유는 결국 다리에 있다. 보행을 하기 위해서는 다리가 스윙을 하여야 하며 결국 무게 중심이 이동하여 균형감이 깨지게 되는 것이다. 이렇듯 몸의 전체 무게를 다리가 모두 지탱하며 보행과 다른 동작을 구현 한다는 것은 많은 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전체무게를 지탱하면서 보행형태를 가능하게 하는 이동카트를 제작하였다(그림 4). 이동카트는 거대 공룡의 전체 무게를 지탱하며 더불어 전원 공급원, 유압 공급 시스템 및 다리 모듈을 부착하게 된다. 이렇게 함으로서 보행시 가장 문제가 되었던 안정성을 확보하고 또한 다른 신체부위의 움직임에 의한 균형이 달라지는 문제도 해결하게 되었다.

1. 다리 메커니즘

동물의 다리는 2~3개의 링크로 대부분 제작되어지며, 발

그림 4. 이동 카트 기반의 다리 보행 개념도.

Fig. 4. A mobile cart with swinging legs.

그림 5. 다리 메커니즘 및 발끝 궤적.

Fig. 5. Foot trajectory and leg mechanism.

끝의 패턴은 그림 5와 같이 구현된다. 이러한 패턴을 구현하기 위해서는 최소 2개의 구동기가 필요하다. 이동카트에 부착되는 다리는 스윙을 위한 회전 타입과 발을 들고 내리기 위한 직선 타입으로 각각의 요소는 DC 모터/감속기, 동력을 전달하는 타이밍 벨트, 유압 실린더, 유압 밸브, 위치 센서로 구성된다. 두 가지 타입의 조합이 이루어 질 때 사실적인 다리의 모션이 가능하다.

실제 알고리즘에 작성하여 다리에 적용하기 위해서는 기구학이 동반되어야 한다. 다리에 대한 기구학 모델은 그림 6과 같이 표현하였다. 실질적으로 구해야 할 해는 회전 모터에 의한 수평방향 이동거리 d_1 , 실린더 길이 변화 d_2 의 직선운동에 의한 발바닥(torque arm) 수평 및 수직 이동거리 x_f, z_f 를 구해 내는 것이다.

$$\theta = 2\pi - \alpha_1 - \beta \quad (1)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{r_1^2 + a^2 - d_2^2}{2ar_1} \right) \quad (2)$$

실린더 길이 변화에 따른 각도 변화 θ, β 는 식 (1), (2)와 같으며 최종 θ 는 식 (3)과 같다.

$$\theta = 2\pi - \alpha_1 - \cos^{-1} \left(\frac{r_1^2 + a^2 - d_2^2}{2ar_1} \right) \quad (3)$$

θ 는 식 (4)와 같이 이동 좌표 z_f 로 나타낼 수 있다

$$\theta = \sin^{-1}((z_f - h)/r_2) \quad (4)$$

여기서 h 는 지면으로부터 토크암의 회전축까지의 높이이며, r_2 는 실린더 끝지점에서 토크암의 끝 지점까지의 거리이다. l_{aa} 는 다리의 보폭길이 이다. 최종 x_f, z_f, d_1, d_2 에 대한 식은 다음식과 같다.

$$x_f = l_{aa} - d_1 - b + r_2 \cos \theta \quad (5)$$

$$z_f = h - r_2 \sin \theta \quad (6)$$

$$d_1 = l_{aa} - x_f - b + r_2 \cos \theta \quad (7)$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \sqrt{r_1^2 + a^2 - 2ar_1 \cos \beta} \\ &= \sqrt{r_1^2 + a^2 - 2ar_1 \cos(2\pi - \theta - \alpha_1)} \end{aligned} \quad (8)$$

그림 6. 이동카트 기반의 다리 기구학 모델.

Fig. 6. Kinematic model of a cart and a leg.

그림 7. 다리와 발바닥 메커니즘 시뮬레이션 결과.

Fig. 7. Trajectories of leg and foot.

이와 같이 길이와 각도의 변화를 구할 수 있었다. 최종 다리는 최대 2 m 보폭과 0.5 m 높이만큼 다리를 들어서 이동가능하게 설계하였다. 그림 6은 기구학적 모델과 실제 제작된 그림이며, 그림 7은 다리하나에 대한 시뮬레이션 한 결과이다.

2. 목 메커니즘

거대 공룡의 목 구조는 그림 8과 같으며, 2개의 실린더와 3개의 유니버설 조인트를 이용하여 2자유도 동작을 구현하도록 설계하였다[7]. 실린더 #1,2 조합을 통해 피치와 요(pitch, yaw)동작이 구현되는 병렬형 구조이다. 목의 회전 각도는 구동기의 길이로 부터 결정되고, 이를 위해 역기구학 해석이 필요하다. 회전과 직선에 대한 문제를 풀기 위해 식 (9)와 같이 동차 행렬을 적용하였다.

$$\begin{aligned} A_{B_1} &= \begin{bmatrix} c\alpha & -s\alpha & 0 & 0 \\ s\alpha & c\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\beta & 0 & s\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\beta & 0 & c\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_{B0} \\ 0 & 1 & 0 & y_{B0} \\ 0 & 0 & 1 & z_{B0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{B1} \\ y_{B1} \\ z_{B1} \\ 1 \end{bmatrix} \\ A_{B_2} &= \begin{bmatrix} c\alpha & -s\alpha & 0 & 0 \\ s\alpha & c\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\beta & 0 & s\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\beta & 0 & c\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_{B0} \\ 0 & 1 & 0 & y_{B0} \\ 0 & 0 & 1 & z_{B0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{B2} \\ y_{B2} \\ z_{B2} \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

그림 8. 목 메커니즘 개념도.

Fig. 8. Neck mechanism concept.

그림 9. 2개의 실린더를 이용한 목 메커니즘 시뮬레이션 결과.

Fig. 9. 2 DOF neck motion.

위의 관계로부터 각 구동기의 길이 d_i 는 ${}^A B_i$ ($i=1,2$)의 크기이므로 식 (10)과 같이 표현된다.

$$d_i = |{}^A B_i| = \sqrt{({}^A B_{ix})^2 + ({}^A B_{iy})^2 + ({}^A B_{iz})^2} \quad (10)$$

그림 9는 상기 식을 이용하여 길이 변위에 따른 각도 변화량을 시뮬레이션 한 결과이다.

3. 꼬리 메커니즘

꼬리의 어원은 빠꾸기 부리의 굽은 모양이다[8]. 그림 10에서와 같이 꼬리뼈 3~5개에 각각의 구동기를 직렬형으로 부착하여 부리의 모양을 만드는 것보다 구동기 1개를 이용하여 굽은 형상을 만드는 것에 초점을 두고 메커니즘을 설

그림 10. 꼬리 메커니즘.

Fig. 10. Tail structure.

그림 11. 꼬리 기구학 모델링.

Fig. 11. Kinematic model of tail.

계 제작하였다. 그림 11은 한 개의 구동기를 이용한 꼬리 메커니즘으로서, 네 개의 꼬리 프레임은 꼬리뼈 역할을 하며 각각의 프레임은 세 개의 회전축에 연결되어 있다. 각각의 프레임은 링크로 구축하여 각도의 변화가 가능하게 설계하였다. 각각의 관절은 그림 11에서 볼 수 있듯이 두 개의 4절 링크 구조로서 페루프 방정식을 이용하여 각 링크의 전달각($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)을 구할 수 있다. 4절 링크의 벡터 루프 방정식은 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \vec{R}_1 &= R_1 (\cos \theta_1 + i \sin \theta_1) \\ \vec{R}_2 &= R_2 (\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) \\ \vec{R}_3 &= i R_3 \\ \vec{R}_4 &= R_4 (\cos \theta_4 + i \sin \theta_4) \\ \vec{R}_1 + \vec{R}_2 &= \vec{R}_3 + \vec{R}_4 \end{aligned} \quad (11)$$

X, Y 좌표에 관한 관계식을 나타내면 식 (12)와 같고, l_1, l_2, l_3 는 각 링크의 길이이다.

$$\begin{aligned} X &= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ Y &= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{aligned} \quad (12)$$

그림 12는 길이 변위에 따른 각 링크의 전달각 변화량을 시뮬레이션 한 결과이다.

그림 12. 꼬리 시뮬레이션 결과.

Fig. 12. Tail motion.

IV. 보행 및 신체 각부위 제어

1. 보행 알고리즘

실질적으로 전진을 하는 것은 다리의 동작에 의해서가 아니라 이동카트의 의해 전진을 하게 되며 다리는 단순히 보행하고 있는 듯한 느낌만 전달한다. 따라서 자연스러운 보행을 구현하기 위해서는 이동카트의 전진 속도와 다리의 속도가 연동되어야 한다. 이러한 동작은 마치 런닝 머신의 제자리 걸음을 생각하면 쉽게 이해가 될 것이다. 런닝 머신을 통해 보행 할 때 사람은 앞다리를 내딛고 순차적으로 뒷다리가 전진할 때 먼저 내딛은 앞다리는 자연스럽게 뒷걸음질을 하는 원리이다. 이와 같은 원리를 4족 보행 동물에 적용할 경우 고려해야 할 사항은 네 개의 다리의 내딛는 속도와 더불어 뒷걸음질 할 때의 속도 관계이다. 그림 13에서 볼 수 있듯이 각각의 다리는 네 단계로서 한 번의 내딛음과 세 번의 뒷걸음질이다.

이동카트 기반의 보행 제어 블록 다이어그램은 그림 14와 같다. 거대 공룡의 다리 동작은 이동카트의 바퀴 회전으로부터 시작하며, 이에 따라 네 가지 위상(Phase #1~#4)으로 보행한다. 이러한 내용을 바탕으로 이동카트 기반의 보행 알고리즘을 작성한다.

그림 13. 이동카트기반의 보행 패턴.

Fig. 13. Gait diagram.

그림 14. 보행 알고리즘 블록도.

Fig. 14. Walking algorithm block diagram.

거대 공룡이 다리는 앞서 언급한 바와 같이 한 개의 DC 모터와 유압 실린더를 사용한다. 각각의 구동기는 다리를 내딛고, 발바닥을 들어 올리는 역할을 담당한다. 구동기의 부착된 엔코더와 포텐셜미터는 PID 제어를 통해 제어된다.

2. 퍼지 알고리즘

애니메이션 기반으로 추출한 동작 정보는 보행에 따른 다른 신체 부위의 동작을 나타낸 것으로 실제 살아있는 듯한 느낌을 전달하는 로봇의 경우 이러한 동작 패턴을 구현하는 일은 매우 중요하다. 하지만 이러한 추출된 데이터를 기계적 데이터로 변환하기에는 상당한 어려움이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 신체 각 부위의 추출된 동작 데이터를 기계적 데이터로 변환하기 위한 모션 생성기를 설계하여야 한다. 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 퍼지 제어기(fuzzy controller)를 제시한다[9]. 추출된 모션 데이터는 수식적으로 표현하기는 어려우나 전체 동작에 대한 모션 그래프를 언어적으로 표현이 가능하다는 점에서 퍼지제어기를 도입하게 되었다. 그림 15는 퍼지 제어기를 이용한 제어 블록도이다.

그림 16은 입력에 대한 소속함수로서, 다리 보폭의 변화를 나타낸 것이다. 앞서 다리의 진행은 세 번의 뒷걸음질과 한 번의 내딛음, 그리고 멈춘 영역이 존재한다. 이점을 고려하여 소속함수도 5개의 영역으로 나누었다. 다리가 뒷걸음질 하는 구간은 Large Back, Middle Back, Small Back이고, 내딛는 구간은 Large Forward며, 마지막으로 멈춘 동작은 Zero로 정의 한다. 다리 입력에 대한 소속함수는 길이 단위(mm)이다. 그림 17은 목, 몸통, 꼬리의 출력에 대한 소속함수이다. 목의 최대 가동 영역은 $\pm 20^\circ$ 로서 각 구간에 따

그림 15. 퍼지 제어 기반의 블록도.

Fig. 15. Fuzzy control block diagram.

그림 16. 퍼지 제어기 입력.

Fig. 16. Fuzzy controller input.

그림 17. 퍼지 제어기 출력.

Fig. 17. Fuzzy controller output.

라 LNR (Large Neck Right), MNR (Middle Neck Right), Zero, LNL (Large Neck Left), MNL (Middle Neck Left), 5개의 퍼지 집합으로 구성된다. 목에 대한 소속함수는 역기구학을 통해 구해진 각도값이다. 꼬리와 몸통은 각각 1개의 실린더가 사용되며 꼬리는 좌우 동작, 몸통은 상하 동작을

표 1. 퍼지 제어 규칙부.

Table 1. Fuzzy rule base.

if	LH	&	LF	&	RH	&	RF	then	Neck	Body	Tail
1	Zero		Zero		Zero		Zero		Ze	Ze	Ze
2	Large_F		Large_B		Middle_B		Small_B		MNR	MU	MTR
3	Small_B		Large_F		Large_B		Middle_B		LNR	LU	LTR
4	Middle_B		Small_B		Large_F		Large_B		MNL	MD	MTL
5	Large_B		Middle_B		Small_B		Large_F		LNL	LD	LTL

그림 18. 애니메이션 데이터와 퍼지 데이터 비교.

Fig. 18. Comparison of animation data and fuzzy logic data.

한다. 꼬리와 몸통은 각각 5개의 퍼지집합으로 이루어지는데, 꼬리의 경우는 LTR (Large Tail Right), MTR (Middle Tail Right), Zero, LTL (Large Tail Left), MTL (Middle Tail Left), 몸통은 LU (Large Up), MU (Middle Up), Zero, LD (Large Down), MD (Middle Down)로 구성된다.

표 1은 애니메이션 모션 데이터를 분석한 결과를 기반으로 입력과 출력에 대한 제어 규칙부를 정의한 것이다. 시뮬레이션 결과는 그림 18과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 그래픽 기반의 모션 캡처 데이터와 퍼지제어기를 통한 데이터는 매우 유사한 패턴을 확인 할 수 있다. 만약 두 데이터의 완벽한 일치만을 위해서는 소속함수의 소속정도와 제어규칙을 여러 차례에 걸쳐 수정할 경우 가능할 것이다. 그러나 본 논문에서는 최소의 제어 규칙을 통하여 추출된 모션 데이터를 완벽하게 추종하기 보다는 유사한 패턴 형상에 초점을 맞추었다.

V. 실험

실제 제작된 거대 공룡은 그림 19와 같다. 본 논문에서 근본적으로 중요하게 여기는 부분은 다리, 머리, 몸통 그리고 꼬리 전체의 움직임이 잘 조화된 자연스러운 동작에 관한 데이터 결과이다. 이러한 데이터를 추출해 내기 위한 하나의 방법으로 거대 시스템 모든 신체 부위에 다수의 센서를 부착하여 데이터를 분석하는 것을 생각해 볼 수 있다. 이러한 추출 방법이 모션 캡처 카메라(motion capture camera)를 적용하는 것이다. 그러나 모션 캡처 장비의 수급이 어려울 뿐더러 장비가 확보된다 하더라도 거대한 피사

그림 19. 4족 보행 시스템.

Fig. 19. A quadruped walking system.

그림 20. 순차적 다리 동작에 따른 목, 꼬리 동작 결과.

Fig. 20. Neck and tail motions based on leg motions.

체의 동작 데이터를 추출하는 일에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 보다 효율적인 분석을 위해 비디오 캡처(capture from video) 방법을 적용하였다. 그리하여 전체 구동된 동영상상을 기반으로 각각의 신체 부위가 움직이는 순간을 캡처하여 그림 20과 같이 표현하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 다리, 몸통, 꼬리, 머리가 존재하는 엔터테인먼트 4족 보행 시스템의 생체모방 메커니즘과 실감형 패턴 재생기를 제안하였다. 먼저 거대 4족 시스템은 제작에 앞서 거대 공룡의 애니메이션 분석을 통해서 다리를 포함한 신체 각 부위 동작 패턴의 분석 데이터를 추출하였다. 또한, 거대 공룡과 유사한 골격구조를 가지고 있는 매머드나 코끼리의 생체 구조를 모방하여 신체 동작 메커니즘을 설계 제작하였다. 이러한 각 신체 부위의 동작 메커니즘을 기구학적인 분석을 통하여 검증하였다. 다음으로 애니메이션을 통하여 추출된 모션 데이터를 생체모방 메커니즘에 적용시키기 위해서 중간 변환 알고리즘을 제안하였다. 이 중간 변환 알고리즘은 보행 패턴을 기반으로 몸통, 꼬리, 그리고 머리의 궤적을 생성하기 위해서 퍼지 로직을 사용하였고, 제작된 거대 4족 보행 시스템에 적용 및 검증하였다. 제안된 퍼지 로직 제어기는 추출된 애니메이션 데이터를 잘 추종하며, 거대 공룡과 동일한 모션을 구현함을 확인하였다. 보행에 따른 신체 각 부위의 동작은 현재 시각적으로만 확인하였으나, 추후 모션 데이터 측정 장비 수급 및 구축이 가능하다면 알고리즘 검증 및 데이터 비교 분석 작업이 추가로 수행되어야 할 것이다.

향후 이러한 데이터와 알고리즘은 자연스러운 동작 요소(lifelike motion factor)를 도출하는데 있어 중요한 방법론으로 기능할 것이며, 로봇 기술의 새로운 응용분야로서 활성화될 것이다.

참고문헌

- [1] D. J. Tood, "Walking machines: an Introduction to legged robot," Kogan Page Ltd, 1985.
- [2] H. Cruse, "A quantitative model of walking incorporating central and peripheral influences: 1. The control of individual leg," *Biological Cybernetics*, vol. 37, pp. 131-136.
- [3] J. A. Vilensky and J. A. Cook, "Do quadrupeds require a change in trunk posture to walk backward," *Journal of Biomechanics*, vol. 33, no. 8, pp. 911-916, 2000.
- [4] M. Tokuriki, "Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion III. Gallop," *Jap. J. vet. Sci.*, vol. 36, pp. 121-132, 1974.
- [5] L. Favreau, L. Reveret, C. Depraz, and M.-P. Cani, "Animal gaits from video. In SCA '04: Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation (Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2004), Eurographics Association, pp. 277-286, 2004.

- [6] E. G. Conklin, Embryology and evolution; in: Mason, F., Creation by Evolution, Macmillan, New York, pp. 72-74, 1928.
- [7] S. W. Lee, J. Y. Kim, O. H. Kwon, D. H. Won, K. Y. Joung, "Development of the neck mechanism using parallel structure" *KSPE 2011 Spring Conference (in Korean)*, pp. 377-378, 2011.
- [8] Sugar, Oscar, "Historical Perspective Coccyx: The Bone Named for a Bird," *Spine* 20 (3): pp. 379-383, Feb. 1995.
- [9] L. A. Zadeh, "A rationale for fuzzy control," in *J. Dynamic Syst. Meas. Control*, vol. 94, pp. 3-4, 1972.

이 상 원

2002년 한국과학기술대학교 기계설계학과 졸업. 2004년 성균관대학교 공학석사졸업. 2012년 한국기술교육대학교 박사졸업. 2004년~현재 한국생산기술연구원 연구원. 관심분야는 병렬 메커니즘, 동역학 제어, 애니메이션.

임 경 화

1985년 한국과학기술원 기계공학과 공학석사졸업. 1992년 동 대학 박사졸업. 1995년~현재 한국기술교육대학교 교수. 관심분야는 진동제어, 신호처리.

권 오 흥

2001년 한양대 정밀기계공학과 공학석사졸업. 2009년 동 대학 기계공학과 박사졸업. 2007년~현재 한국생산기술연구원 선임연구원. 관심분야는 족형 로봇, 동역학 제어, 가상현실, 햅틱.