

LMA를 기반으로 한 캐릭터 동작의 긴장도 측정 (Measuring Tensions of Character Motions based on LMA)

곽 창 섭 [†] 권 지 용 [†]
(Changsub Kwak) (Jiyong Kwon)

이 인 권 ^{**}
(Inkwon Lee)

요 약 본 연구는 Laban이 제시한 모션 분석 기법을 이용하여 모션의 긴장도를 측정하는 방법을 제안한다. 이러한 긴장도값을 이용하면 캐릭터 모션과 배경음악간의 자동적 동기화를 위한 기준값으로 사용할 수 있다. Laban의 모션 분석 기법, 즉 LMA는 모션을 Effort라고 명명된 4개의 시공간적 요소로 나누고 각 4개의 Effort마다 2가지 상반된 기준을 제시함으로써 모션을 분석하도록 하였다. 이러한 기준을 양적으로 측정하기 위해 우리는 운동학, 역학에 기초한 수식을 제안하고 이를 통해서 계산된 실제 긴장도 값을 실험데이터에 근거하여 조정하였다. 실험을 통해 제안한 긴장도 측정 결과는 어느 정도 사람의 반응과 비슷한 정도의 순위 판별 능력을 보였다.

키워드 : LMA(라반 동작 분석법), 모션의 긴장도, 모션과 배경음악의 자동적 동기화

Abstract In this paper, we propose the method to measure tensions of character motions, using LMA (Laban Movement Analysis). Using tension values, we can take advantage of them as a standard for synch-

· 본 연구는 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소(CT) 육성사업의 연구결과로 수행되었습니다.

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 'LMA를 기반으로 한 캐릭터 동작의 긴장도 측정'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과
paradise7@empal.com
mage@cs.yonsei.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
iklee@yonsei.ac.kr

논문접수 : 2008년 1월 3일
심사완료 : 2008년 4월 24일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제5호(2008.7)

ronization of motion and BGM(Back Ground Music). In LMA, a motion is divided into 4 space-time factors which are called Efforts, and each Effort has two bases opposed to each other. We can analyze the motion by justifying which basis is stronger than the other in each Effort of motion. To measure quantitatively tension values, we propose some equations based on kinematics and dynamics. Then we can measure the tension value by the weighted sum of values calculated from those equations. Each weight can be determined by the optimization process which tries to minimize the difference between the calculated tension value and human's decision. The experimental result shows that the increasing order of the motion tension value is similar to that of the tension score given by human.

Key words : LMA(Laban Movement Analysis), Motion Tension, Automatic Synchronization of Motion

1. 서 론

인간은 어떠한 영상이나 음악 등을 감상할 때 주어지는 자극을 통해 긴장의 정도가 변하게 되며, 음악이나 예술, 영상 등의 공연은 이러한 긴장 정도의 변화를 시간의 흐름에 따라 적절히 활용한 것으로 볼 수 있다(그림 1). 음악 학문의 한 분야인 화성악에서는 음악의 화성으로부터 듣는 이의 긴장감을 예측하는 긴장도(Tension)라는 개념을 도입하여 널리 활용해왔다.

영상이나 애니메이션에 대하여 이러한 긴장도에 대한 정의를 내리고 이를 측정한다면, 주어진 영상이나 애니메이션의 내용 분석이나 동기화 문제 등에 포괄적으로 적용할 수 있을 것이다. 우리는 캐릭터 모션의 긴장도를 정의하고 이를 계산하는 방법에 대하여 제안한다.

우리가 제안하는 캐릭터 모션의 긴장도에 대한 기본적인 아이디어는 헝가리의 현대 무용 이론가 Laban이 제시하였던 LMA(Laban Movement Analysis)에 기초한다[1].이 이론은 현대 무용 이론에서 널리 알려진 인

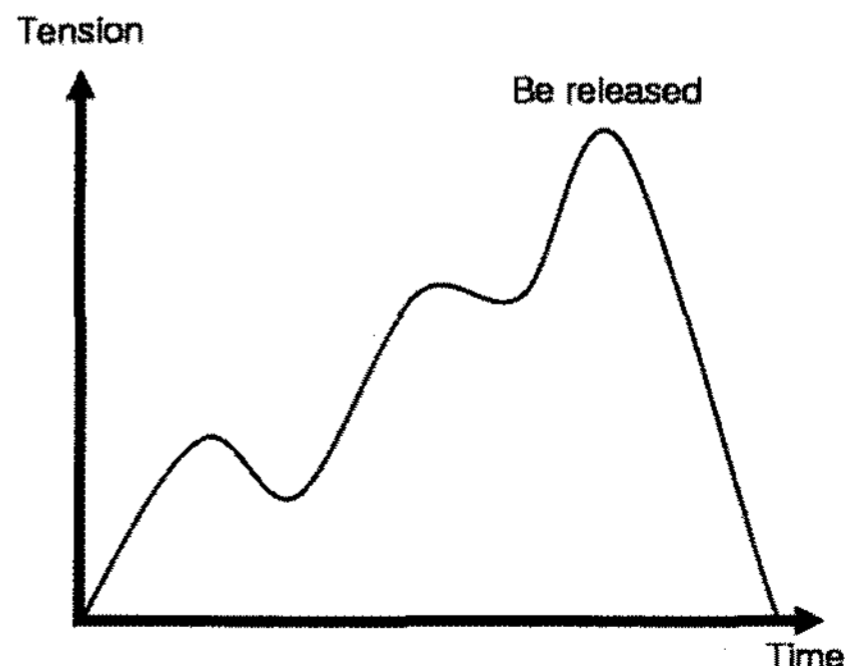


그림 1 음악, 예술, 영상의 시간에 따른 긴장도

간의 동작에 대한 분석 기법으로서, 인간의 동작을 몇 가지 운동학적인 기준과 기하학적인 기준에 근거하여 분석하는 방법이다. 이 이론의 핵심은 인간의 신체 움직임과 정신을 하나로 묶으로써, 움직이는 대상의 심리 및 내적 사고를 이해할 수 있다는 것이다. 이미 몇몇 연구들이 컴퓨터 애니메이션에 대해 LMA를 적용한 사례가 있다[2,3]. 또한 무용은 음악과 매우 밀접한 관계가 있는 공연 예술이므로, 음악이론에서 사용되고 있는 긴장도 이론과 유사한 방식으로 캐릭터 모션의 긴장도를 정의하고 이를 계산하기 위해서 무용 이론에 근거한 접근법을 사용한 것은 타당하다고 볼 수 있을 것이다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 2절에서는 우리가 제안하는 방법과 관련된 기존의 연구를 살펴보고, 3절에서는 우리가 제안하는 긴장도에 대한 정의와 긴장도 측정 방법에 대해 설명하겠다. 4절에서는 제안한 기법으로 계산한 긴장도 값을 분석하고 5절에서 결론을 맺겠다.

2. 관련연구

우리의 연구는 Yoo[4]가 제안한 주어진 음악에 대한 긴장도를 측정하는 방법에서 동기를 얻었다. 이 방법의 기본적인 아이디어는 주어진 미디 데이터에 대하여 화성 분석을 하고, 여러 이론에서 제시한 바 있는 각 화성의 음악적 긴장도의 수치적 데이터를 이용하여 음악의 긴장의 흐름을 곡선으로 표현하는 것이다. 이 방법은 음악의 긴장도의 흐름을 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 음악의 특정 부분의 긴장도를 제어하는 데에 효과적으로 사용할 수 있다.

몇몇 연구들은 캐릭터 모션으로부터 캐릭터의 감정상태를 파악하고 이를 통해 새로운 모션을 만드는데 이용하였다. 이러한 캐릭터 모션의 감정을 파악하는 연구는 우리가 정의하려는 모션의 긴장도와 관련될 수 있다. Amaya[5]는 신호처리를 이용하여 구한 중립적인 모션과 감정이 들어간 모션사이의 차이값을 이용하여, 또 다른 중립모션에 그 차이를 적용하여 새롭게 감정이 들어간 모션을 생성하였다. Unuma[6]는 걷기와 달리기 모션 사이를 퓨리에 원리를 이용하여 보간, 외삽(extrapolation)하거나 활발한 걸음과 평범한 걸음에서 “활발함”의 수치를 얻어서 다른 모션에 적용하는 방법을 제시하였다. 이러한 연구들의 핵심적인 아이디어는 감정이 들어간 모션과 일반적인 모션을 비교 분석하고 이 둘을 보간하여 중간 정도의 감정이 들어간 모션을 생성하는 것이다.

몇몇 연구들은 LMA 기법을 이용하여 캐릭터 모션을 분석하고 이를 적용하였다. Chi[2]는 인간의 몸통과 팔에 대하여 LMA의 구성요소인 Effort를 적용한 3D 애니메이션을 생성하는 EMOTE 시스템을 제시하였다. Shih-

Pin[5]은 LMA의 각 Effort에 대하여 기하학적으로 분석하여 Zordan과 Hodgins가 제시한 PD-controller를 응용, 분석한 Effort값을 웨이트 계수값으로 삼입하여 독자적인 식을 구축하고, 기존 모션에 적용하여 새로운 모션을 생성하였다. 이러한 연구들은 대체적으로 LMA 기법을 통해 주어진 모션을 분석하고 이를 통해 모션의 스타일을 변형하는 데에 이용하고 있다. 우리는 LMA 기법을 이용하여 모션의 긴장도를 정의하고 이 값을 계산하는 방법에 대해 기존에 소개된 LMA 기법을 캐릭터 모션에 적용한 여러 연구들을 통합, 재구성하여 제안하고자 한다.

3. 모션의 긴장도에 대한 정의와 계산 방법

우리가 제시하는 모션의 긴장도는 LMA 기법에서 설명하고 있는 4가지 Effort를 통해서 정의된다. [2]에서 정리한 LMA 기법에서 설명하고 있는 4가지 Effort는 Space, Weight, Time, Flow며, 각각에 대한 설명은 다음과 같다.

- Space : 공간이란 몸이 공간을 어떻게 사용하는가를 말한다. 몸의 각 부분이 여러 방향(앞, 뒤, 옆)으로 여러 궤도로 움직일 수 있다.
 - Indirect : 유연한, 방황하는, 떠도는
 - Direct : 한 곳을 향하는, 편향적인
- Weight : 무게란 몸의 움직임에 있어서 위치의 변화나 평형 상태를 유지할 때 근육의 수축 정도를 말한다. 움직임은 강하게 또는 약하게 움직일 수 있다.
 - Light : 부력을 가진, 미세한,
 - Strong : 힘이 있는, 충격을 가지는
- Time : 시간이란 인간의 움직임이 여러 가지 속도로 움직일 수 있는 능력을 말한다. 빨리 혹은 천천히 움직이거나 가속 또는 감속될 수 있음.
 - Sustain : 느긋한, 여유있는
 - Sudden : 바쁜, 긴급한
- Flow : 흐름이란 움직임의 연속적 특징을 말한다. 쉽게 멈출 수 있는 움직임, 연속적인 움직임
 - Free : 통제받지 않는, 내키는 대로
 - Bound : 통제받는, 제한된, 멈출 수 있는

본 논문에서는 총 9가지 측정방법을 제시하였으며, 긴장도 E_{total} 은 다음과 같이 정의되며 수치가 크면 클수록 긴장도가 높다고 하였다.

$$E_{total} = w_1 E_{space1} + w_2 E_{space2} + w_3 E_{space3} + w_4 E_{weight1} + w_5 E_{weight2} + w_6 E_{weight3} + w_7 E_{time1} + w_8 E_{time2} + w_9 E_{flow}$$

각각의 측정값 ($E_{space1}, E_{space2}, \dots, E_{flow}$)은 -1과 1사이이며, 긴장도가 높을 수록 1에 가깝도록 계산하였다.

E_{space1} 는 Space Effort를 기준으로 한 첫번째 측정값이다. 각 측정값 앞에 붙는 값인 가중치, $w_1 \sim w_9$ 는 전부 더하면 1이 되며, 각각은 0과 1사이 값을 가진다. 우리는 기존의 [2,3]에서 제시한 Effort 분석 방법을 종합적으로 이용하기 위해서, 각각의 Effort를 분석하는데 있어서 운동학적인 계산 방법과 역학적인 계산방법으로 나누었다.

3.1 Space 측정 기법

LMA의 Space Effort를 표현하기 위해서 고려해야할 운동학적인 아이디어는 사지(End-Effector)의 움직이는 궤적의 곡률값(Curvature)과 사지와 골반[Pelvis(Root)]의 YZ평면까지의 거리를 측정하였다.

먼저, 골반 조인트 지점에서 YZ평면에서 사지까지의 거리는 몸의 중심으로 부터 사지들이 얼마나 퍼져 있느냐 또는 오그라들어 있느냐를 나타낸다. 또한, 왼손이 오른쪽방향으로 이동 할 수록 이동범위가 제한되므로 텐션값은 높게 계산된다. 식은 다음과 같다.

$$f = \sum_{k \in EE(i)} |(P_k - P_{pelvis}) \cdot \vec{n}_{YZ \text{ plane of pelvis}}|$$

$$E_{space1} = N(f)$$

$$N(x) = \frac{2p^x}{1+p^x} - 1 (p > 1)$$

이 식은 YZ평면의 법선벡터에 사지의 점의 위치를 사영한 뒤의 거리값을 말한다. P_k 는 사지의 위치 포인트를, P_{pelvis} 는 골반의 위치를, $\vec{n}_{YZ \text{ plane of pelvis}}$ 는 골반의 YZ평면의 법선벡터를, $EE(i)$ 는 사지점의 인덱스 집합을 말한다. 함수 N 은 들어오는 입력값을 -1과 1사이의 값으로 바꾸어준다. 이 함수는 모든 측정값에 대하여 쓰이게 될 것이다.

다음 사지들의 일정한 범위 내의 궤적에 대하여 생각해 볼 수 있다. Zhao[7, 8]는 모션의 궤적을 Path와 Corner로 구분하였다. 어떤 점이 Path 또는 Corner 가까운 지를 알기 위해서는 포인트 하나가 아닌 그 포인트 주위의 점이 어떻게 형성되었는지를 보고 판단해야 한다. 그러기 위해서 일정한 범위 단위로 계산하였다.

Path한 부분에서의 곡률값을 Path-Curvature, Corner한 부분에서의 곡률값을 Corner-Curvature라 하였다. Path-Curvature가 높을수록 Indirect 하고, Corner-Curvature가 높을수록 Direct의 성질을 잘 나타낸다고 Zhao는 언급하였다.

어떤 곡선의 한 포인트에서 Path-Curvature와 Corner-Curvature의 구분 방법은 다음과 같다. 먼저, 해당 조인

트의 궤적에 Gaussian-Filtering을 적용한다. 이 곡선 궤적의 곡률값이 미리 정해진 범위를 벗어나게 되면 그 포인트는 Path 또는 Corner, 둘 중 하나의 성질만 가지게 될 것이다. 그렇지 않을 경우 Path와 Corner의 성질을 그 점의 곡률값의 크기에 따라 비율적으로 가지게 될 것이다. path에 해당하는 부분의 곡률값을 토대로 세운 식은 다음과 같다.

$$E_{space2} = N(C * \alpha) (0 \leq \alpha \leq 1)$$

α 는 사지의 조인트 궤적에 low-pass filtering을 적용한 곡률값이 path에 가까우면 0에 가까우며, corner에 가까우면 1에 가깝도록 하였다. C 는 low-pass filtering을 적용하기 전의 Original 곡률값이다. 역학적 아이디어는 사지의 선가속도(Linear Acceleration)값을 이용하여 그것들이 얼마나 같은 방향을 향하는 지를 측정하였다. 먼저 사지의 선가속도의 평균값을 계산하여 사지의 움직임 변화량을 측정한다. Shih-Pin[3]에 의하면 사지가 같은 방향을 향할수록 Direct하다고 보았다. 이것을 측정하기 위해서 우리는 사지의 선가속도 값을 PCA방법을 이용하여, 공분산과 고유치를 구하였다.

여기서 고유치는 사지가 향하는 방향의 분산된 정도를 나타내므로 값이 작다면 한 곳에 몰려있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서, 3개의 고유치를 전부 더한 값이 작으면 Direct하다고 생각하였다. 식은 다음과 같다.

$$E_{space3} = N\left(\frac{1}{n(EE(i))} \sum_{k \in EE(i)} |a_k| \ln(c \sum_{i=1}^3 e_i)\right)$$

a_k 는 사지의 가속도를 말한다. e_i 는 사지의 선가속도 값을 PCA방법을 이용하여 나오는 고유치값이다. 이 고유치 값의 합이 (0,1)에서 극한의 음수값을 (1,∞)에서 양수값을 가지도록 하기 위해서, 자연로그 ln을 선택하였으며, 변수값의 결과가 잘 나타나도록 c 값을 조정하였다. 자연로그 함수를 대입한 이유는 e_i 가 크면 커지게 하고, 작아지면 작아지도록 하되, 사지의 움직임 방향이 모여 있을 때 값을 극소화하기 위해서 ln함수로 정하였다.

3.2 Weight 측정 기법

Weight Effort를 표현하기 위해서 고려해야 할 운동학적 아이디어는 Zhao, Badler[8]는 Corner-Curvature 값은 Light한 모션보다 Strong한 모션에서 잘 나타난다고 하였다.

$$E_{weight1} = N(C * (1 - \alpha)) (0 \leq \alpha \leq 1)$$

Path-Curvature값과 Corner-Curvature값은 서로 상대적이므로 위와 같이 쓸 수 있다. 역학적 아이디어로 Laban이론에서 Weight는 위치의 변화에 따른 근육의 수축정도를 이야기 하므로 수직으로 움직임에 따라 중력에 의해 근육에 힘을 받게 된다. 위로 움직이면 중력에 반하므로 더 많은 힘을 주어야 할 것이고 반대로 아

래로 움직이면 힘을 덜 주어도 많이 움직이게 될 것이다. 이 수치는 수직선속도의 값을 측정하면 알 수 있다. 수직선속도 값은 프레임간의 y좌표간의 차이값을 계산하면 알 수 있다. 단, 여기서는 모든 조인트가 중력을 받는다고 가정하고 모두 계산하였다.

$$E_{weight2} = N\left(\sum_{k \in A} (v_{current\ frame})_k - (v_{previous\ frame})_k\right)$$

여기서 A는, 모든 조인트의 인덱스 집합을 말한다. 다음으로, 각 조인트의 각가속도(Angular acceleration)를 구하였다. 각가속도는 중력에 의하여 회전하는데 영향을 받는다고 가정하고, 현재 조인트의 자식조인트에 대하여 중력가속도가 적용될 때의 현재 조인트가 필요로 하는 각가속도를 측정하였다.

β 는 해당 조인트의 각가속도값이다. 각가속도값을 해당 조인트의 자식이 중력을 받는다고 가정하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\beta' = \beta - I^{-1}(\vec{r} \times \vec{g})$$

I^{-1} 는 관성텐서의 역행렬, \vec{r} 은 부모조인트에서 자식조인트로 향하는 벡터이며, \vec{g} 는 y축 방향으로 향하는 중력가속도 벡터이다. 여기서 중력이 적용된 각속도를 구할 수 있다. 다음 여기서 상대 각가속도($\beta_{referential} = \beta_{child} - \beta_{parent}$)를 이용하면 해당 부모조인트 자체만의 각가속도를 구할 수 있다. 식은 다음과 같다.

$$E_{weight3} = N\left(\sum_{k \in A} (\beta_{referential})_k\right)$$

3.3 Time 측정 기법

Time Effort를 표현하기 위해서 고려해야 할 운동학적 아이디어로 사지와 골반(pelvis), 가슴(chest) 조인트의 평균 속도값을 구하였다. 여기서 가정한 것은 사지와 골반, 가슴이 가장 속도에 영향을 많이 준다고 생각했다. 그래서 그 부분들에 대하여 전체 평균속도값을 구하였다.

$$E_{time1} = N\left(\frac{1}{n(B)} \sum_{k \in B} v_k\right)$$

여기서 B는 사지, 골반, 가슴의 인덱스 집합을 말한다. 역학적 아이디어는 Shih-Pin[3]의 실험 결과 Time의 가속도의 미분값(Acceleration Derivative)과 관련이 있으며 Sudden속성을 잘 표현하고 있다고 언급하고 있다. 이 값을 측정하기 위해서 이전 방법과 마찬가지로 사지와 골반, 가슴의 가속도를 미분한 수치의 평균값을 사용하기로 했다.

$$E_{time2} = N\left(\frac{1}{n(B)} \sum_{k \in B} \frac{d}{dt} a_k\right)$$

3.4 Flow 측정 기법

마지막으로 Flow Effort를 표현하기 위해서 고려해야 할 운동학적 아이디어는 Shih-Pin[3]이 Percentage of

Acceleration and Deceleration에 따라 Damping Force의 차이를 언급하였다. 이것을 위해서 사지와 머리 부분을 제외한 조인트의 각가속도와 각감속도의 비율을 측정하였다.

$$E_{flow} = N\left(\frac{\sum_{i \in AC} a_i}{\sum_{i \in AC} a_i + \sum_{i \in DEC} |a_i|}\right)$$

여기서 AC와 DEC는 사지를 제외한 조인트 중 각가속된 조인트의 인덱스 집합을 AC, 각감속된 조인트의 집합을 DEC로 하였다.

3.5 가중치 결정 방법

$w_1 \sim w_9$ 을 결정하기 위해서, 다음과 같은 Optimization Objective Function을 세웠다.

$$\min\left(\sum_{j=1}^M \left|v_j f_j - \sum_{k=1}^9 w_k f_{jk}\right|^2\right)$$

M은 모션의 개수, v_j 은 해당 모션의 긴장도 순위, w_k 는 긴장도 측정방법의 최적화된 가중치로 사용될 미지수이다. 우리는 긴장도에 관하여 설문조사를 통해서 수치를 알아내었다. 측정방법은 모션 6개에 대하여 모든 모션쌍, 15개를 구성한 뒤, 각각의 모션쌍에 대해서 어느 쪽이 긴장도가 높아 보이는지를 택하는 조사를 하였다.

f_j 는 설문조사를 통해서 나온 긴장도값이며, f_{jk} 는 9가지 측정방법의 결과값이다. 이렇게 하면 최적화된 가중치값, $w_1 \sim w_9$ 를 구할 수 있다.

4. 결과

설문조사는 발레모션 6개 대해서 실시하였으며, 설문조사된 항목 중 <튀는정도>의 수치값을 이용하여 최적화된 가중치값, $w_1 \sim w_9$ 를 구해서, E_{total} 을 구한 결과 대체로 설문조사 결과와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 프로그램을 통하여 측정된 <튀는 정도> 값은 0과 1사이의 값으로 조정하였다(표 1).

설문을 통한 모션의 측정 순위와 측정을 통한 측정순위가 2위~4위까지는 틀린 모습을 볼 수 있다. 이는 <튀는 정도>의 설문조사 수치값을 보면 2위~4위까지

표 1 설문조사 순위와 E_{total} 측정에 따른 순위

	발레1	발레2	발레3	발레4	발레5	발레6
튀는정도 (설문)	18	25	29	28	11	39
튀는정도 (측정)	0.557	0.586	0.577	0.580	0.535	0.623
순위 (설문)	5	4	2	3	6	1
순위 (측정)	5	2	4	3	6	1

는 거의 차이가 없다. 또한, 설문대상자가 10명인 점을 감안하면 비슷한 수치라고 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

우리는 모션의 긴장도를 측정하기 위해서 라반이 제시한 운동 분석법을 토대로 9개의 측정방법을 정하고 긴장도를 계산하였다. 결과는 대체로 설문조사 결과와 비슷한 모습을 보여주고 있다. 단, 정확한 데이터를 위해서 본 연구에서 실시한 설문조사 인원과 실험에 동원된 모션의 숫자를 보다 늘려야 할 것이다.

본 논문에서는 운동학, 역학적인 방법에 근거하여 긴장도를 측정하였다. 하지만 이외에도 신호(signal)처리방법도 생각해 볼 수 있으며, 응용프로그램의 구현도 생각해 볼 수 있겠다.

응용프로그램의 용도로 게임에서 캐릭터들의 모션에 따라 배경음악을 자동으로 변경하는 데 사용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 군중캐릭터들이 급하게 도망치고 있는 모습일 경우에는 기존의 조용한 음악에서, 템포가 빠른 음악으로 변경하는데 사용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Jean Newlove, John Dalby, 신상미 역, "움직임·표현·기하학", 대한미디어, 2006.
- [2] Diane Chi, Monica Costa, Liwei Zhao, Norman Badler, "The EMOTE Model for Effort and Shape," Proceeding of SIGGRAPH 2000, ACM Computer Graphics Annual Conference, New Orleans, Louisiana, 173-182, 2000.
- [3] Shih-Pin Chao, Shi-Nine Yang and Tsang-Gang Lin, "An LMA-Effort simulator with dynamics parameters for motion capture animation," COMPUTER ANIMATION AND VIRTUAL WORLDS, 17, 167-177, 2006.
- [4] Min-Joon Yoo, In-Kwon Lee, "Musical Tension Curves and its Applications," Proceeding of ICMC (International Computer Music Conference), 482-486, 2006.
- [5] Kenji Amaya, Armin Bruderlin, Tom Calvert, "Emotion from motion," Proceedings of the conference on Graphics interface '96, 222-229, 1996.
- [6] Munetoshi Unuma, Ken Anjyo, Ryozo Takeuchi, "Fourier principles for emotion-based human figure animation," Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 91-96, 1995.
- [7] Zhao L. "In Synthesis and Acquisition of Laban Movement Analysis Qualitative Movement Parameters for Communicative Gestures," Ph.D. Dissertation, Computer and Information Department, University of Pennsylvania, 2001.
- [8] Zhao L, Badler N, "Acquiring and validating motion

qualities from live limb gestures," Graphical Models 2005, 67(1), 1-16, 2005.