

가상시뮬레이터를 위한 표면변형의 퍼지디스플레이 방법

Fuzzy Display of a surface Deformation for Virtual Simulator

박민기, 서승원

서울산업대학교 전자정보공학과

Min-Kee Park, Seung-Won Seo

Dept. of Electronic and Information Engineering, Seoul National University of Technology

E-mail : mkpark@snut.ac.kr

요 약

본 연구에서는 기존의 표면변형 디스플레이 방법의 단점을 해결하기 위한 새로운 방식의 퍼지 디스플레이 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법에서 표면 변형을 디스플레이하기 위해서는 원래의 퍼지 모델에 단지 하나의 퍼지규칙을 추가함으로써 쉽고 간단하게 구현 할 수 있다. 제안된 퍼지 디스플레이 알고리즘은 Matlab과 OpenGL을 통한 시뮬레이션으로 물체의 표면변형을 디스플레이하기에 충분함을 검증할 수 있었다.

1. 서론

퍼지모델링은 기존의 이론에서 사용되던 선형모델에 비해 묘사력이 뛰어나며 if-then형식을 사용하여 직관적인 설득력이 있다는 점에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 현재, 이러한 연구들은 대부분 비선형 모델의 모델링에 제한되어 있으나 퍼지 모델이 비선형모델을 잘 표현할 수 있고, 여러 규칙으로 이루어진 병렬구조라는 장점을 이용하면 그래픽 디스플레이에 적용될 수 있다. 이러한 그래픽 디스플레이 기술은 가상시뮬레이터 분야에 적용 될 수 있으며, 가상 시뮬레이터에 대한 응용범위가 방대한 만큼 국내에서도 이에 관한 깊은 연구가 필요하다고 생각된다. 가상 시뮬레이터의 유용성과 현실감은 정확한 모델링과 디스플레이 기술에 의해 증가될 수 있으며, 가상 시뮬레이터에 있어서 충분한 현장감을 제공하기 위해서는 디스플레이를 위한 모델링 방법을 자세히 고찰할 필요가 있다. 이러한 연구의 일환으로 본 연구에서는 이러한 여러 가지 물리적 모델링의 요소들 중 물체의 표면 변형(surface deformation)을 가해지는 힘과 관련하여 모델링하고, 디스플레이하는 방법에 초점을 둔다. 제안하고자 하는 연구에서는 기존의 수학적 모델대신 퍼지 모델을 이용한다. 실제로 대부분의 물체의 표면은 변형

가능하며, 사용자가 잡고 있는 물체는 사용자가 가하는 힘에 따라서 모양이 변형된다. 따라서, 가상 시뮬레이터 분야에 있어 표면 변형의 디스플레이에 관한 기술은 기본적인, 필수적인 기술이 될 것이다.

2. 표면변형을 위한 퍼지모델

퍼지모델은 기존의 선형 모델에 비해 묘사력이 우수하며, 복잡한 비선형 시스템을 잘 묘사할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 퍼지모델을 복잡한 표면 디스플레이에도 응용할 수 있음을 의미한다. 따라서, 본 연구에서는 표면변형을 디스플레이 하기 위해 Takagi 와 Sugeno의 퍼지 모델을 사용한다.

이러한 퍼지모델은 식 (1)과 같이 if-then형식으로 기술된다.

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } \dots \text{ and } x_m \text{ is } A_m^i, \\ \text{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m \quad (1)$$

여기서, $R^i (i=1, 2, \dots, n)$ 는 i 번째의 퍼지 규칙, $x_j (j=1, 2, \dots, m)$ 는 입력변수, y^i 는 i 번째 퍼지 규칙의 출력이다. 또한, a_j^i 는 후건부 파라미터이며 $A_1^i, A_2^i, \dots, A_m^i$ 는 멤버쉽 함수로 종형, 사다리꼴형,

삼각형꼴 등 여러 가지 형태를 취할 수 있다. 퍼지 모델의 전체 출력은 다음 식으로 주어진다.

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega^i y^i}{\sum_{i=1}^n \omega^i}, \quad \omega^i = \prod_{j=1}^m A_j^i(x_j) \quad (2)$$

여기서, \hat{y} 는 퍼지모델의 추론 결과이고, ω^i 는 i 번째 퍼지 규칙의 적합도이며, \prod 는 최소 연산을 나타낸다. 식 (1)과 (2)에 보이고 있는 바와 같이, 퍼지 모델은 비선형 입출력관계를 입력공간의 퍼지 분할에 대하여 부분 선형식으로 묘사하는 것이다. 이러한 퍼지모델은 if-then 규칙으로 되어있기 때문에 인간에게 직관적인 설득력이 있으며, 이것은 설계자가 모양을 원하는 대로 변형시키기 위해서 어떤 파라미터를 얼마나 변경해야하는지 쉽게 결정할 수 있음을 의미한다.

3. 퍼지디스플레이 알고리즘

표면 변형을 디스플레이하기 위한 알고리즘은 다음과 같다:

Step1: 다음과 같은 형태의 퍼지모델을 이용하여 원래의 표면을 디스플레이 한다.

$$R^i : \text{If } x \text{ is } A_x^i \text{ and } y \text{ is } A_y^i, \\ \text{then } z^i = a_0^i + a_1^i x + a_2^i y \quad (3)$$

Step2: 힘이 표면에 가해지면, 표면 변형에 대한 새로운 규칙 집합 R^{new} 를 구한다. 이 새로운 규칙 집합은 다음 식과 같은 일반적인 형태를 갖는다.

$$R^{new} : \text{If } x \text{ is } A_x^{new} \text{ and } y \text{ is } A_y^{new}, \\ \text{then } z = z_0 - b_0 \quad (4)$$

새로운 퍼지 규칙에 대한 파라미터들은 다음과 같이 결정된다:

1) z_0 값은 표면변형이 없을 경우의 표면의 z 좌표값이다. b_0 값은 가해지는 힘과 물체의 강성에 의존한다. 본 연구에서는 b_0 를 $\alpha \frac{f}{k}$ 로 정의한다. 여기서 f 는 표면에 가해지는 힘이고, k 는 물체의 강성이며, α 는 캘리브레이션(calibration) 요소로서 실제 물체의 크기와 가상 물체의 크기의 비로 정의된다. 힘이 표면에 가해지면, 퍼지모델에서 b_0 값은 힘의 크기에 비례해서 변경된다.

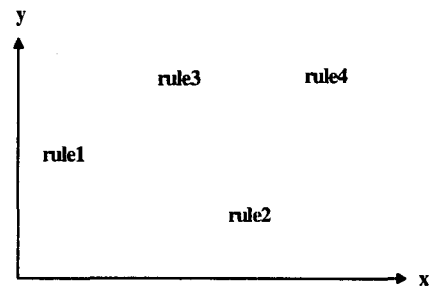
2) A_x^{new} 과 A_y^{new} 는 멤버십 함수이다. 본 연구에서는 모든 멤버십 함수는 가우시안 형태(Gaussian-like)를 사용하고 평균 p_x , p_y 와 분산 q_x , q_y 에 의해 다음 식으로 기술된다:

$$A_x^{new} = \exp\left\{-\left(\frac{x-p_x}{q_x}\right)^2\right\} \quad \text{그리고}$$

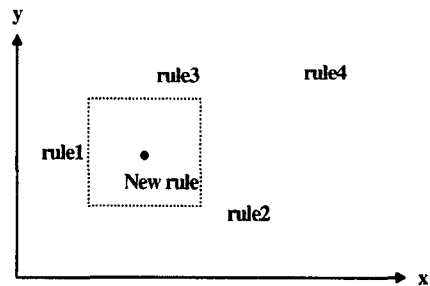
$$A_y^{new} = \exp\left\{-\left(\frac{y-p_y}{q_y}\right)^2\right\} \quad (5)$$

여기서 멤버십 함수의 평균값 p_x 와 p_y 는 물체의 표면에서 힘이 가해지는 점에 대응하고, 분산 q_x 와 q_y 는 변형되는 모양을 결정한다. q_x 와 q_y 의 큰 값은 넓은 영역의 변형을 일으킨다.

Step3: 그림 1과 같이 원래의 퍼지모델에 표면 변형을 디스플레이하기 위해 새로이 생성된 퍼지 규칙 집합 R^{new} 를 추가한다.



(a) 표면변형이 없는 경우



(b) 표면변형이 있는 경우

그림 1. 입력 공간의 퍼지 분할

Step4: 만일 또 다른 힘이 표면에 가해지면, 단계 1, 2와 3을 반복 수행한다.

위의 알고리즘을 통하여 사용자는 멤버십 함수의 파라미터에 의해 변형되는 영역과 모양을 제어할 수 있다. 따라서, 사용자는 새로운 퍼지 규칙에 의해 표면의 어느 위치에서도 변형되는 모양과 깊이를 조정할 수 있다.

4. 시뮬레이션

제안된 알고리즘의 이해를 돕기 위해 먼저 간단한 2차원 모델에 대해 시뮬레이션을 행한다. 물론 제안된 알고리즘은 쉽게 3차원 모델에도 적용될 수 있다.

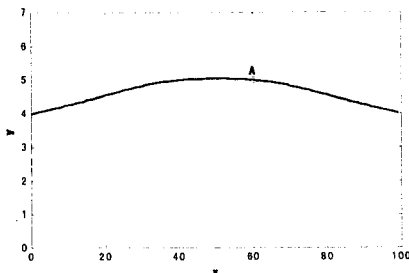
표면을 디스플레이 하기 위해 다음 식으로 정의되는 3개의 규칙을 가진 퍼지모델을 고려한다:

$$R^1 : \text{If } x \text{ is } A_x(20, 20), \\ \text{then } y = f_1(x) = 0.25x + 4 \\ R^2 : \text{If } x \text{ is } A_x(50, 20), \\ \text{then } y = f_2(x) = 5$$

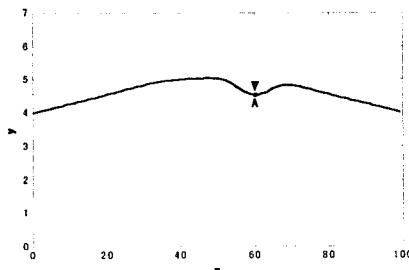
R^3 : If x is $A_x(80, 20)$,
 then $y = f_3(x) = -0.25x + 6.5$ (6)

여기서, $A_x(p, q) = \exp\left\{-\left(\frac{x-p}{q}\right)^2\right\}$

이 퍼지 모델에 의한 표면의 그래픽 디스플레이를 그림 2(a)에 보이고 있다.



(a) 표면변형이 없는 경우



(b) 표면변형이 있는 경우

그림 2. 표면의 그래픽 표현

표면 변형을 디스플레이하기 위해 표면의 점 A에 힘이 가해지고 A의 x 좌표값이 60이라 가정한다. 제안된 방법에 따라 알고리즘을 수행하면 식 (7)과 같은 일반적인 형태의 퍼지 규칙을 얻을 수 있다.

R^{new} : If x is A_x^{new} ,
 then $y = c_0 = y_0 - b_0$ (7)

힘이 가해지는 점은 가우시안 함수의 평균값 p 가 되며, 따라서 60이 된다. 물체의 특성과 가해진 힘에 따라 멤버쉽 함수 파라미터 q 와 퍼지 모델의 후건부 파라미터 b_0 가 변경되며, 표면 변형이 달라진다. 여기서, q 는 5라고 가정한다. 물체의 강성과 가해진 힘의 크기에 의해 퍼지 모델의 후건부 파라미터가 결정된다. 가해진 힘은 5(lb), 물체의 강성은 1(lb/in.)이고 α 는 0.2이라면 식

$b_0 = \alpha \frac{f}{k}$ 에서 b_0 는 1이 된다. 표면 변형이 없을 경우 표면의 y좌표가 5이라면 y_0 는 5가 된다.

따라서 표면변형에 대한 새로운 퍼지 규칙 R^{new} 는 다음과 같다:

R^{new} : If x is $A_x(60, 5)$,
 then $y = f_{new}(x) = 5 - 1 = 4$ (8)

위에서 얻은 새로운 규칙을 원래의 퍼지모델에 추가함으로써 4개의 규칙을 가진 새로운 퍼지모델을 얻는다. 원래의 퍼지모델과 새로이 추가된 퍼지 규칙과의 상호작용이 그림 2(b)에 보이고 있는 것과 같이 표면변형을 디스플레이 한다. 수정된 새로운 퍼지모델이 그림 3에 나타나 있다. 위의 간단한 시뮬레이션을 통해 퍼지모델을 이용하여 어떻게 표면변형을 디스플레이 할 수 있는지 보이고 있다. 퍼지모델의 파라미터 변화에 따른 표면 변형의 변화를 알아보기 위해 2차원 모델에 대해 파라미터를 변화시키며 OpenGL을 이용한 시뮬레이션을 행한다.

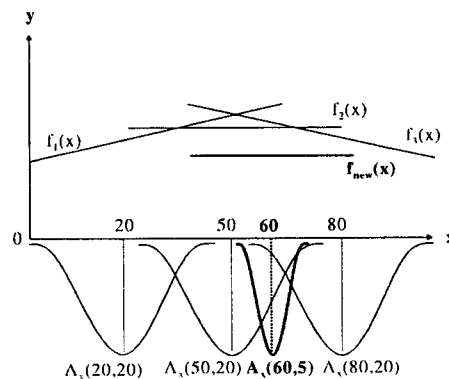


그림 3. 표면 변형이 있는 경우 퍼지모델의 그래픽 표현

1) 물체에 가해지는 힘의 변화에 따른 표면 변형 앞에서 행한 2차원 모델에 대하여 각각의 파라미터 변화에 따른 물체의 표면 변형을 시뮬레이션 한다. 우선, 모든 조건은 앞에서 가정한 것과 같고, 식 (7)에서 제시된 새로운 퍼지규칙 R^{new} 에서 물체의 강성과 α 의 값은 동일하나 가해지는 힘 f 의 값이 5(lb)에서 10(lb), 15(lb), 20(lb)으로 증가하게 되면 물체의 표면에 어떠한 변형이 일어나게 되는지 시뮬레이션을 수행한다. 수행 결과가 그림 4에 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 힘이 물체의 표면에 가해지면, 물체의 표면에 변형이 일어나고, 이때 가해지는 힘의 양에 따라

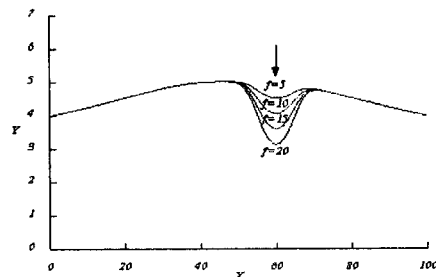


그림 4. 물체에 가해지는 힘의 변화에 따른 퍼지 모델의 그래픽 표현

깊이가 변하게 됨을 알 수 있다. 즉, 물체에 가해지는 힘을 표현하기 위해서는 새로운 퍼지 규칙 R^{new} 의 b_0 값을 변화시키면 이를 표현할 수 있다.

2) 물체의 표면에 힘이 가해지는 위치의 변화

식 (5)에서 가정한 멤버쉽 함수에서 분산 q_x 의 값은 5로 하고, 물체에 가해지는 힘 f 는 5로 일정하게 유지한 상태에서 멤버쉽 함수의 평균 p_x 의 값을 20에서 40, 60, 80으로 증가시키며 물체의 표면에 힘이 가해지는 위치의 변화에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과가 그림 5에 나타나 있다. 그림을 통하여 알 수 있듯이 물체 표면에 가해지는 힘의 위치를 디스플레이 하기 위해서는 멤버쉽 함수의 파라미터인 평균 p_x 을 변화시키므로 이를 디스플레이 할 수 있다.

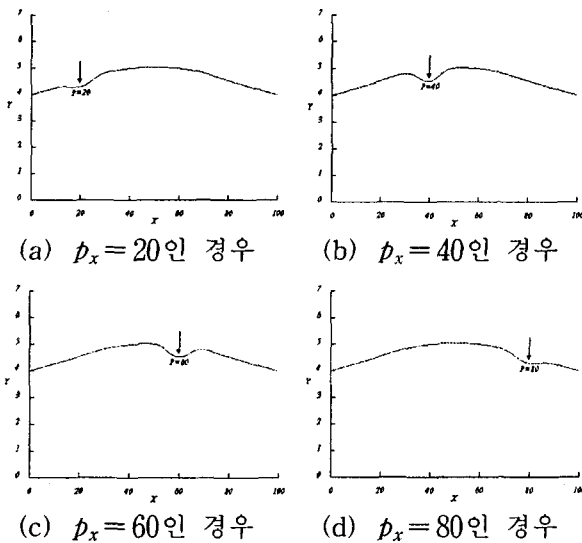
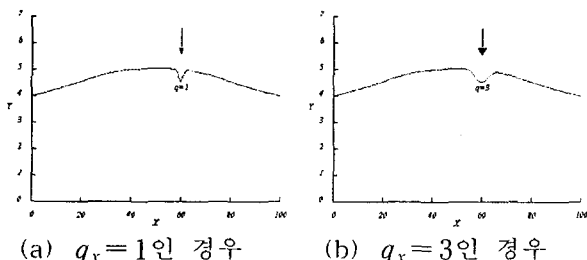


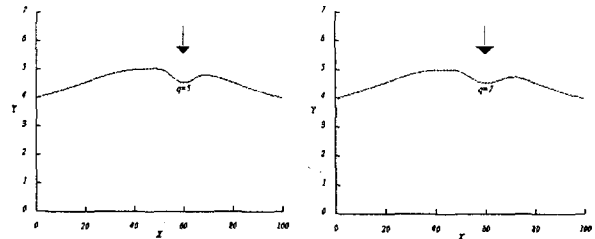
그림 5. 물체의 표면에 힘이 가해지는 위치변화에 따른 퍼지모델의 그래픽 표현

3) 물체 표면이 변형되는 모양의 변화

식 (5)에서 가정한 멤버쉽 함수에서 평균 p_x 의 값은 60으로 일정하게 유지하고, 물체에 가해지는 힘 f 는 5로 한다. 이러한 조건을 만족시키고 분산 q_x 의 값을 1에서 3, 5, 7로 증가시키며 물체 표면이 변형되는 모양의 변화를 시뮬레이션 한 결과가 그림 6에 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 물체 표면에 가해지는 힘은 일정하고 힘을 가하는 물체의 종류와 가하는 힘의 분포에 따라 물체의 표면 변형을 나타내기 위해서는 멤버쉽 함수의 파라미터인 분산 q_x 를 변화시키므로 디스플레이 할 수 있음을 알 수 있다.



(a) $q_x=1$ 인 경우 (b) $q_x=3$ 인 경우



(c) $q_x=5$ 인 경우 (d) $q_x=7$ 인 경우

그림 6. 물체 표면이 변형되는 모양의 변화에 따른 퍼지모델의 그래픽 표현

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 기존의 표면변형 디스플레이 방법의 단점을 해결하기 위한 새로운 방식의 퍼지 디스플레이 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 입력공간의 필요한 위치에 새로운 퍼지규칙을 추가함으로써 물체의 표면변형을 쉽고 간편하게 디스플레이 할 수 있으며, 여러 곳의 표면변형을 동시에 디스플레이 할 수 있다. 기존의 어떤 제어점을 조정해야만 원하는 변형을 얻을 수 있는지 결정하기가 어려운 표면변형 디스플레이 방법의 문제점을 퍼지모델의 파라미터 조작을 통하여 쉽게 해결할 수 있었다.

앞으로 실용화 소프트웨어를 통한 좀더 정밀한 구현과 실질적 가상 시뮬레이터 응용분야를 통한 시스템구현의 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글 : 본 연구는 정보통신부지원 대학 기초 연구지원사업으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사 드립니다.

6. 참고문헌

[1] Grigore C. Burdea, Force and touch feedback for virtual reality, Wiley-Interscience. 1996.
 [2] J. Yamashita and Y. Fukumi, "Direct deformation method of free forms for CAD interface", Proc. of the IEEE virtual reality annual international symposium, pp97-104, New York, 1993.
 [3] H. Yokoi, J. Yamashita, Y. Fukui and M. Shimojo, "Development of the virtual shape manipulating system", Proc. of the fourth international conference on artificial reality and tele-existence, pp43-48, Tokyo, 1994.
 [4] K. Tanaka and M. Segeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," IEEE Trans. systems Man Cybernet. vol. 15, pp.116-132, Jan. 1985.
 [5] H.Hellendoorn, D.Driankov, Fuzzy model identification, Springer, 1997.
 [6] M. Park, S. Ji, E. Kim, and M. Park, "A new approach to the identification of a fuzzy model," Fuzzy sets and systems, vol. 104, pp.169-181, 1999.