

가상 환경에서 자유 낙하에 따른 충돌 반응 양상 모델링

김병주^o 권정우 김태한 지세진 박종희
경북대학교 전자공학과

{kbj113^o, zen98, hanilove, husty}@palgong.knu.or.kr, jhpark@ee.knu.ac.kr

Modelling of Downward Collision in Virtual Environment

Byung-Joo Kim^o Jung-Woo Kwon Tae-Han Kim Se-Jin Ji Jong-Hee Park
Dept. of Electronic Engineering, Kyungpook National University

요약

본 논문에서는 Base를 향해 낙하하는 물체의 충돌 현상에 대해 모델링한다. 충돌 현상에 관한 연구는 '충돌 감지', '충돌 반응 양상' 라는 두 부분으로 나눌 수 있다. 현재까지의 많은 논문들은 '충돌 감지'에 중점을 두고 설계하였다. 따라서 본 논문은 이미 많은 연구 결과가 드러난 '충돌 감지' 부분은 갖추어졌다고 가정하고, '충돌 반응 양상'을 위주로 설계의 초점을 둘 것이다. 여기서 설계할 모델의 궁극적인 목적은 복잡한 실세계와 완벽하게 일치하도록 구현하는 것이 아니라, 사람이 보기에 자연스럽다고 느낄 수 있도록 하는 것에 초점을 두는 것이다. 이를 통해, 적은 연산량으로 몰입감있는 가상 환경을 구축할 수 있다.

1. 서론

충돌 현상에 관한 연구는 아래의 두 부분으로 나눌 수 있다.

- 충돌 감지
- 충돌 반응 양상

현재까지의 많은 논문들은 '충돌 감지'에 중점을 두고 설계하였다. 따라서 본 논문은 이미 많은 연구 결과가 드러난 '충돌 감지' 부분은 갖추어졌다고 가정하고, '충돌 반응 양상'을 위주로 설계의 초점을 둘 것이다.[1][2]

몰입감 있는 가상 환경 구축을 위해, 환경 내에 산재해 있는 자연 현상들은 사람들에게 자연스러움을 줄 수 있어야 한다.[3][4] 이렇게 구현된 가상 환경은 쉽게 사용자의 흥미를 유발할 수 있다. 이전에도 가상 환경에서 발생하는 현상들에 대해 모델링하는 많은 논문들이 있었다. 하지만 그들 대부분은 시각적인 측면에 중점을 두었고, 또한 높은 연산량을 요구하게 되었다. 본 논문에서는 가상 환경에서 발생하는 여러 현상들 중에서 가장 기본이 되는 자유 낙하 충돌 현상에 대해 기술하고자 한다. 여기서 설계할 모델의 궁극적인 목적은 복잡한 실세계와 완벽하게 일치하도록 구현하는 것이 아니라, 사람이 보기에 자연스럽다고 느낄 수 있도록 하는 것에 초점을 두는 것이다. 이를 통해, 적은 연산량으로 몰입감있는 가상 환경을 구축할 수 있다. 이를 충족시키기 위해, 우선 Falling Object(자유 낙하 물체)와 Base(지표면)에 대한 모델링을 설계할 것이고, 충돌 현상에서 중점이 될 'dominant force'에 대한 논의할 것이며, Base뿐만 아니라 다른 물체와의 충돌에 대해서도

고려할 수 있도록 'peer object'에 대한 개념도 추가할 것이다. 충돌 현상의 반응 양상에 대한 formulation을 구축함에 있어서 초점은 정성적인 측면에 두고, 정량적인 측면도 염두에 둘 것이다.

앞에서도 언급했듯이, 이 모델은 몇 가지 장점이 있다. 먼저, 물리 법칙을 바탕으로 한 모델링을 통해 사람들에게 자연스러움을 제공하여 사용자의 흥미를 유발하는 밑바탕이 될 수 있다. 다음으로, 등장하는 각각의 object들이 갖는 특성을 명확하게 정의된 domain에 맞게 조합하여 상당한 량의 연산량을 줄일 수 있을 것이다. 게다가 위에서 제시한 모델을 조금만 수정하면 가상 환경에서 발생하는 여러 다른 현상들을 구현할 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 등장하는 object들을 모델링할 것이며, 그것들의 domain을 적절히 설정할 것이다. 다음으로 충돌 반응 양상을 정성적인 측면에 초점을 두어서 formulation할 것이다. 마지막으로 제시한 모델을 요약하고, 향후 과제에 대해 언급할 것이다.

2. 충돌 반응 양상 모델링

2.1 Falling Object와 Base의 모델링

Falling Object의 행동을 formulation하기 위해선, 먼저 그 물체를 구성하고 있는 속성들의 규명이 필요하다. 이 물체의 overall positioning은 '질량'과 '모양'과 같은 절대적인 인자와 '속도'등과 같은 상대적인 인자의 함수로 이루어진 값에 영향을 받는다. 여기서 상대적인 인자는 Base(혹은 peer object)와의

관계로부터 표현된다.[5]

overall positioning = f(O.mass, O.shape, velocity(O,B), Fc(O,B))
 단, mass > 0
 [shape]={sphere | polyhedron | prism | pyramid}
 velocity=f(gravity, buoyance, extra forces (e.g., wind))
 composite factor Fc = f(elasticity, adhesivity, solidity)

각각의 물체는 위에서 나타낸 'shape'의 결합으로 모델링할 수 있다.[6] 예를 들어, 의자는 polyhedron, prism등의 조합으로 구성할 수 있다. 모양의 형태가 어떤 것이며, 어느 부위와 충돌하는냐에 따라서 충돌 후의 반응 양상은 달라진다. Base와 충돌하게되는 부위가 pyramid 형태의 윗부분이나 아랫부분이냐에 따라서 Base가 받는 압력의 차이가 크다는 것은 쉽게 알 수 있다.

낙하하는 물체가 충돌 후에 보이는 반응 양상은 'shape'과 'movement' 면에서 크게 달라진다.

{shape : break | deform | sustain}
 {movement : bounce | pileup (not merged) | stick | merge | land (with no bounce or stick)}

'shape'의 변화는 충돌시에 받게 되는 '압력'에 따라 결정된다.

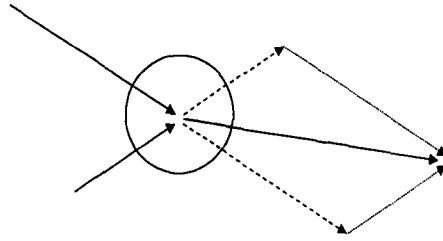
break	<-	cohesivity <	F/A
deform	<-	flexibility <	F/A < cohesivity
sustain	<-	F/A <	flexibility
단, F : 힘			
A : 힘이 미치는 면적			

<그림 1>

Base에 대해 특히 고려해야 할 요소로는 '마찰력'과 '기울기'이다. 경사가 있는 Base에 object가 놓일 경우, object는 중력의 영향을 받아서 낮은 지점으로 이동하게 될 것이고, Base가 지닌 마찰력은 이러한 object의 움직임을 방해할 것이다. 2.2절에 제시할 내용처럼 object에 작용할 모든 힘이 균형을 이룰 때까지 object의 움직임은 계속된다.

2.2 force의 모델링

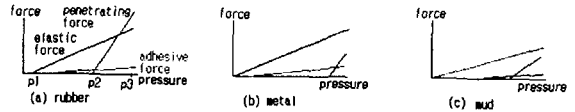
object들간의 충돌현상을 다루기 위해선 그들의 반응 양상에 근간이 되는 'force'에 대한 정립이 필요하다. 이를 위해 우선적으로 force의 속성에 대해 논의한다. force는 '세기'와 '방향'을 가질 때 비로소 의미를 갖게 된다. 따라서 이에 대한 표현은 벡터로 하는 것이 가장 적절하다. 그림 2에서처럼 한 object(여기선, 공에 해당)에 작용하는 모든 힘(중력, 마찰력, 바람, ...)을 벡터로 표현하여, 최종적으로 계산된 '방향'과 '세기'로 이동하게 되는 것이다. 또한, '작용점'에 대한 고려도 필요한데, 이는 3절에서 기술할 것이다.



- 공에 인가된 힘들의 방향과 세기
- 공이 움직일 방향과 세기

<그림 2 >

두 고체 물질(여기선, Falling Entity와 Base)이 충돌할 때, Base가 받는 압력의 세기에 따라 우세를 점하게 될 세 가지 종류의 force를 기술할 필요가 있다.



<그림 3>

그림 3에서 보는 바와 같이 Base의 종류와 인가된 압력에 따라 가장 우세를 점하게 되는 힘을 결정할 수 있다. 즉, 'rubber'라는 Base에 p1과 p2사이의 압력이 인가된다면 'elastic force'가 dominant force가 되고, 충돌한 물체는 공처럼 될 준비를 하게 되는 것이다. 마찬가지로 dominant force가 'penetrating force'나 'adhesive force'가 된다면, 'rubber'성질을 지닌 Base에 박히거나 달라붙게 된다.

다른 두 힘과는 달리 'elastic force'는 얼마간의 지연 후 발생된다. 이를 바탕으로 각각의 힘은 $F_{ela}(p(t+\Delta t))$, $F_{adh}(p(t))$, $F_{pen}(p(t))$ 으로 표현될 수 있다.[5]

위에서 나타낸 세 가지 힘은 충돌하는 물체의 성질에 따라서 formulation할 수 있다.

$$F_{ela}(x) \propto \max[Ac(x)] \cdot O.velocity \cdot (O.elasticity/B.elasticity)$$

$$F_{pen}(x) \propto 1/\max[Ac(x)]$$

$$F_{adh}(x) \propto Acon(x) \cdot O.adhesivity \cdot B.adhesivity$$

단, x : 높고 들어간 깊이

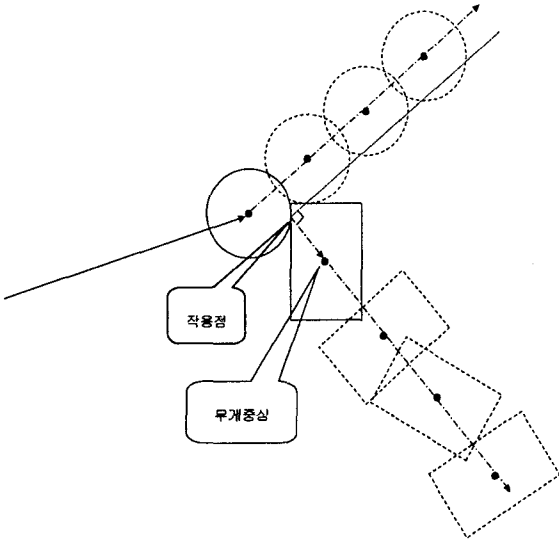
$\max[Ac(x)]$: 충돌하는 두 물체가 접하고 있는 최대 cross-section

$Acon(x)$: 충돌하는 두 물체가 접하는 표면적

3. peer object와의 충돌

충돌 현상을 다룸에 있어 Base와의 충돌뿐만 아니라, peer object들간의 충돌에 대한 고려도 필요하다. 앞에서 논의한 내용들은 충돌이 발생했을 경우 '힘을 받는 object'는 이동이 없다는 가정을 전제로 하였다. 즉, 'supporting force'(object의

움직임을 방해하는 힘)는 무한대로 가정하고, '힘을 가한 object'의 반응 양상에 대해서만 기술했던 것이다. '힘을 가한 object'의 힘이 '힘을 받는 object'의 'supporting force'보다 크나, 작으냐에 따른 구분이 필요하다. 이에 대한 세부적인 내용은 4절에서 논의한다.



<그림 4 >

그림 4에서 보듯이 '작용점'과 '무게중심'에 대한 고려가 필요하다. 힘을 구성하는 속성으로서 '작용점'은 힘이 미치게 되는 지점을 말하며, 본 논문에서는 힘을 구성하는 속성으로서 '세기', '방향', '작용점' 모두가 정의되어야 비로소 의미를 갖게 되는 것이다.

'무게중심'은 그림 4와 같은 충돌 현상뿐만 아니라, 충돌 직후 튀는 방향(또는 기우는 방향)의 예측을 위해서도 필요하다. 충돌 지점이 '무게중심'보다 왼쪽에 있다면 오른쪽으로 튈(기울) 것이고, 오른쪽에 있다면 왼쪽으로 튈(기울) 것이다. 이러한 무게중심의 측정은 '형·중축에서 면적의 반이 되는 직선을 잇는 교차점'으로 산출한다.

4. 전체적인 procedure

(1) '힘을 가한 object'의 힘이 '힘을 받는 object'의 supporting force보다 작다면?

- a. '힘을 가한 object'의 adhesivity가 클 경우 dominant force에 관계없이 들려붙는다.
- b. dominant force 결정
 - elastic force일 경우
 - 두 object의 'elasticity'($0 \leq \text{elasticity} \leq 1$)에 따라 유동적
 - '힘을 가한 object'가 되려 받을 힘 =>
 - $A.\text{force} * A.\text{elasticity} * (1 - P.\text{elasticity})$
 - 단, A = '힘을 가한 object'
 - P = '힘을 받는 object'

·adhesive force일 경우
'힘을 받는 object'는 그림 1의 형태를 따르게 되고, '힘을 받는 object'에 들려붙게 된다.

·penetrating force일 경우
'힘을 가하는 object'가 지닌 힘을 '힘을 받는 object'가 고스란히 흡수한다

(2) '힘을 가한 object'의 힘이 '힘을 받는 object'의 supporting force보다 크다면?

(1)의 내용을 따르고 두 object가 충돌 후 힘을 나누게 되는데, 이는 dominant force의 종류에 따라 다르다.

전체적인 움직임의 궤적은 그림 4를 따른다.

5. 결론 및 향후 과제

몰입감있는 가상 환경을 구축하기 위해서는 환경내에서 발생할 수 있는 여러 현상들을 정교하게 모델링할 필요가 있다. 본 논문에서는 연구의 첫 단계로, 자유 낙하 충돌 현상에 대한 모델을 제안한다. 정성적인 면을 강조함으로써, 사람들에게 자연스러움을 줄 수 있다. 이러한 요소는 사용자에게 흥미와 집중을 유발시키는 좋은 원천이 된다. 게다가 명확하게 정의된 domain을 가진 요소들의 조합을 기반으로 간단한 공식으로 표현했으므로 상대적으로 적은 연산량을 요구한다. 제시한 모델은 몰입감있는 컴퓨터기반 application에 기본 배경으로서 훌륭한 역할을 할 수 있을 것이다.

향후 과제는 다음과 같다. 먼저, 정성적인 면에 치중해서 제시한 내용들을 좀 더 세밀하게 다듬어야 한다. 다음으로 object들을 구성할 material의 속성들에 대한 규명이 필요하다.

참고 문헌

- [1] C.A.Avizzano, *Interactive Collision Detection for Deformable Objects in Virtual Environments*, Proceedings of the 1999 IEEE
- [2] Matthew Moore, *Collision Detection and Response for Computer Animation*, Computer Graphics, Volume 22, Number 4, August 1988
- [3] S.J. Ji, et al., *A Structured Causal Graph Based Model for Event Development*, Computer and Advanced Technology in Education 2001, Banff, Canada, 2001
- [4] Il-kon Kim, and Jong-Hee Park, *Logical Simulation Platform of Discretionary Events in Spatio-Temporal Context*, Journal of KISS, Vol. 29, No.5-6, June 2002
- [5] Jong H. Park, *Spatial Positioning of physical entities*, Technical report, Kyungpook Natl univ., AIMM Lab., 2002
- [6] Jong H. Park, *Modeling physical entities and their associated relationships in the cyber world*, Technical report, Kyungpook Natl univ., AIMM Lab., 2002