

웹 기반의 3D 컨테이너 크레인 시뮬레이터

박경미, 윤요섭, 김영봉 (부경대학교)

차 례

1. 서론
2. 시스템 개요
3. 스웨이 움직임의 단순화
4. 웹기반 크레인 시뮬레이터 개발
5. 실험결과
6. 결론

1. 서론

컨테이너 크레인은 항만 물류분야에서 꼭 필요한 장비로써 컨테이너의 빠른 적재 및 하역은 매우 중요한 작업이다[1]. 최근에 크레인 시뮬레이터와 연관된 연구들은 크레인의 조작에 초점을 맞추어 오고 있다. 예를 들어 빠른 적재 및 하역, 운전 조작의 자동화, 강건한 조작 시스템 등의 분야이다[2-4]. 이 모든 기능들이 매우 중요한 연구임에도 불구하고 아직까지 현장에 적용하기에는 무리가 있는 실정이다. 그것은 예측이 불가능한 작업 환경, 수많은 환경 변수의 영향, 무거운 기계장치의 움직임 등이 완벽히 적용되지 못하고 있기 때문이다.

이런 요소들은 컨테이너 크레인의 조작에서 많은 문제를 야기하여 빠른 시일 내에 극복하기가 쉽지 않다. 그리하여 빠르게 컨테이너들을 이송하여 작업의 효율을 높여 주는 숙련된 운전자들을 양성하는 것은 매우 중요하다. 훈련을 위한 가장 좋은 방법은 직접 크레인에 올라가 운전을 실습하는 것이지만 현실적으로 비용이 많이 드는 작업이라 쉽지 않다. 대안 방법이 컨테이너 크레인의 시뮬레이터를 만들어 모의 운전을 통해 운전자를 훈련시키는 방법이다.

최근에 개발된 가상현실 시스템관련 기술들에는 크레인에 적용이 가능한 시뮬레이션 기법들이 있다. 그 기술들은 산업계, 교육계, 군사, 그리고 오락 등의 다양한 분야에 적용되고 있다[5]. 기 개발된 여러 가상 현실 시스템들을 목적에 따라 분류하면 3개의 영역으로 나눌 수 있다 [6]. 첫째가 R&D 시뮬레이터이고, 둘째가 게임 시뮬레이터, 그리고 마지막이 훈련 시뮬레이터이다. 예를 들어 R&D 시뮬레이터로는 자동차 운전 시뮬레이터나 자전거

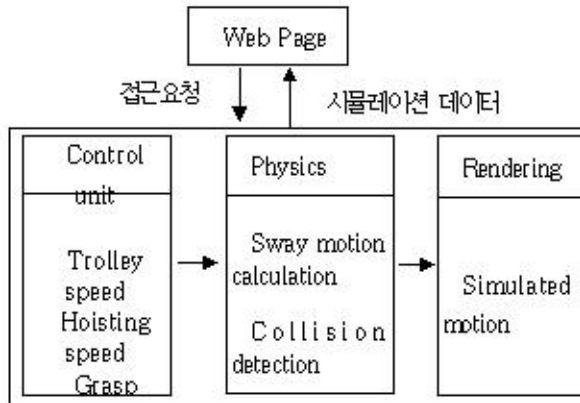
운전 시뮬레이터 등이 있다. 이 시뮬레이터에서는 설계된 자동차를 운전하는데 문제가 있는 부분이 어는 부분인지를 점검하고, 자동차의 형태에 따른 운전 편의성 등을 조사하게 된다. 두 번째 시뮬레이터의 예제는 놀이동산이나 오락실 등에 가면 많이 볼 수 있다. 간단한 예로는 오락실에 있는 오토바이 운전 시뮬레이터가 있고 좀 더 복잡한 장치로는 IMAX 영화 등과 같은 것을 들 수 있다. 세 번째 예로는 비행기 조종사를 양성하기 위해 개발된 비행 시뮬레이터가 있다.

이 시뮬레이터는 항공학 및 우주항공학에서의 선진 기술을 활용하여 개발이 되었다. 교육 분야에서의 이런 놀라운 발전에도 불구하고 크레인 훈련 시뮬레이터 분야에서는 부족한 점이 많이 존재한다. 최근에 개발된 여러 컨테이너 시뮬레이터들은 실제의 모습을 구현하기 위해 물리 법칙을 많이 내포하고 있다. 크레인의 시뮬레이션에 대한 물리적인 특징을 구현하기 위해서는 매우 복잡한 계산과 프레임웍이 필요하게 된다[7-9]. 또한 크레인 시뮬레이터를 웹 기반으로 개발하게 되면 원격 교육에도 활용될 수 있는 아주 좋은 시스템이 될 것이다.

우리는 웹에서 작동하는 3차원 컨테이너 크레인 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 이를 위해 호이스트의 움직임과 스프레더의 움직임을 선형 단순화 시켜야 하여 계산시간을 단축시킬 것이다. 또한 장면 관리, 동역학 법칙, 그리고 충돌 검사 등과 같은 기능의 품질을 높일 수 있도록 설계한다. 또한 물리적 법칙에 따른 정확한 움직임을 제공하여 사실적인 느낌을 줄 것이며, 이를 ActiveX 기능을 이용하여 웹에서 동작이 가능하도록 설계할 것이다.

2. 시스템 개요

제안하는 웹기반 크레인 시뮬레이터는 그림1 에서 보는 바와 같다. 웹에서 처음 접근을 하게 되면 시뮬레이션에 필요한 다양한 데이터들이 클라이언트 컴퓨터로 전송된다. 전송된 데이터와 실행 함수를 바탕으로 시뮬레이션이 이루어진다. 시뮬레이션은 웹페이지를 통해 입력을 받은 데이터를 넘겨받아 다양한 물리 법칙으로 스프레더의 스웨이 운동과 객체들 사이의 충돌을 검사하게 된다. 그 계산된 결과는 렌더링 엔진이 자연스러운 시뮬레이션 동작을 제공한다.



▶▶ 그림 1. 시스템 개념도

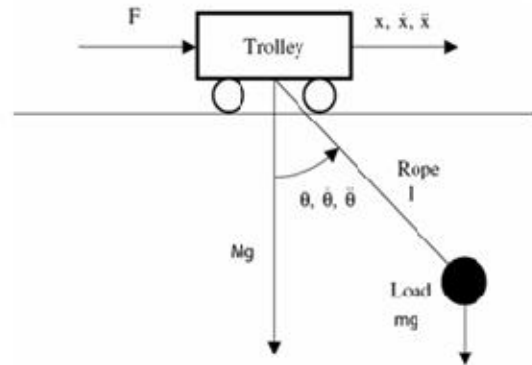
현재 각종 응용 프로그램은 웹에서 연동하기 위해서는 가장 많이 사용하는 기법이 ActiveX 기능을 사용하는 것이다. ActiveX는 COM 기술에 기반한 것으로 과거의 기술에 해당하는 OLE 기능의 확장판이라고 할 수 있다. ActiveX는 다른 애플리케이션의 코드를 재사용할 수 있도록 하기 때문에 컨테이너 크레인 시뮬레이터를 웹에서 연동시키기 가장 적합한 기법이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 ActiveX 기능으로 웹에서 작동하는 시뮬레이터를 개발하고자 한다.

3. 스웨이 움직임의 단순화

컨테이너 크레인은 문전석, 트롤리, 스프레더와 다양한 고정 장치들로 구성되어 있다. 트롤리와 스프레더 사이에는 강력한 와이어로 연결이 되어 있다. 컨테이너의 움직임에서 가장 중요한 것이 와이어와 스프레더의 움직임은 어떻게 묘사하는가 하는 점이다. 이 연결을 그림으로 나

타낸 것이 그림 2에 잘 나타나 있다.

스프레더와 트롤리 사이에 연결된 와이어에 의해 스프레더의 움직임은 스웨이 현상을 보이게 된다. 이 모션을 간단한 수식으로 표현하여야 시스템에서의 계산 시간을 많이 줄일 수 있게 된다.



▶▶ 그림 2. 컨테이너 크레인 모델의 구조

스프레더의 스웨이 움직임을 묘사하기 위해 우리는 먼저 트롤리의 변위를 x , 와이어로프의 길이를 l , sway 각도를 θ , 트롤리의 무게를 m_t , 스프레더에 컨테이너가 적재되었을 때의 무게를 m_p 라고 하자. 이때 모션의 방정식은 라그랑지의 방정식을 따르게 된다. 이 방정식을 풀기 위해서는 먼저 운동에너지, 위치에너지 그리고 제어 힘을 정의하여야 한다. 제어 힘은 두 개의 힘으로 분리된다. 하나는 트롤리를 움직이는 힘 F_t 이고 다른 하나는 스프레더를 잡아올리는 힘인 F_p 이다.

$$T = \frac{1}{2} m_t \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_p (\dot{x} + l \sin \theta + l \cos \theta \dot{\theta})^2 + (l \cos \theta + l \sin \theta \dot{\theta})^2 \quad (1)$$

$$V = -m_p g l \cos \theta \quad (2)$$

여기서 T 는 운동에너지이고, V 는 위치 에너지를 나타낸다. 라그랑지 방법을 적용하기 위해 x, l, θ 로 이루어진 방정식을 힘에 대한 방정식으로 변환하면 다음과 같다.

$$(m_t + m_p) \ddot{x} + m_p (l \sin \theta + 2l \cos \theta - l \sin \theta \dot{\theta} + l \cos \theta \ddot{\theta}) = F_t \quad (3)$$

$$m_p l \ddot{\theta} + m_p \dot{x} \sin \theta - m_p \dot{\theta}^2 - m_p g l \cos \theta = F_p \quad (4)$$

$$m_p l^2 \ddot{\theta} + m_p \dot{l} \dot{\theta} + m_p \ddot{l} \cos \theta + m_p g l \sin \theta = 0 \quad (5)$$

트롤리의 변위는 x , 와이어로프의 길이는 l , sway 각도는 θ 가 된다. 위에 주어진 3개의 미분 방정식은 컨테이너 크레인의 동역학적인 특징들을 표현하고 있다. 방정식 (3)~(5)는 몇 개의 가정을 통해 단순화된 것임에도 불구하고 여전히 매우 복잡한 비선형 미분 방정식이다. 그리하여 와이어 로프의 길이를 고정시켜 보았다.

와이어 로프의 길이를 고정하였기 때문에 그 미분값 들은 $\dot{l}=0, \ddot{l}=0$ 이 된다. 이를 방정식 (3)~(5)에 대입하여 새로운 방정식을 만들어 낸다. 방정식(4)는 와이어 로프의 장력(tension)에 대한 것이다. 트롤리가 움직임에 따라 sway모션에 관련된 방정식은 다음과 같다.

$$(m_t + m_p) \ddot{x} + m_p (l \cos \theta \ddot{\theta} - l \dot{\theta}^2 \sin \theta) = F_t \quad (6)$$

$$m_p l^2 \ddot{\theta} + m_p g l \sin \theta = 0 \quad (7)$$

위에 주어진 두 방정식은 비선형 방정식이다. Sway 각도를 매우 작다고 가정을 하게 되면 $\cos \theta \approx 1, \sin \theta \approx \theta, \dot{\theta}^2 \approx \theta$ 이 된다. 그리하여 방정식은 다음과 같이 바뀌게 된다.

$$(m_t + m_p) \ddot{x} + m_p \dot{\theta} = F_t \quad (8)$$

$$m_p l^2 \ddot{\theta} + m_p g l \theta = 0 \quad (9)$$

위 방정식 (8)~(9)는 선형 방정식이므로 이것이 최종적인 움직임을 나타내는 방정식이 된다.

4. 웹 기반의 크레인 시뮬레이터 개발

서로 다른 응용 프로그램 객체 간 통신 수행을 가능하게 하는 ActiveX 기술을 이용하면 웹상에서 컨테이너 크레인 시뮬레이터의 개발이 가능하게 된다. 이 기능을 통해 컨테이너 크레인 시뮬레이터 기능을 웹상에서 제어하게 된다.

ActiveX 콘트롤은 ActiveX에서 가장 일반적으로 사용되는 기술로서 이는 ActiveX 컨테이너에 위치한 임베디드 컴포넌트에 해당한다. ActiveX 컨테이너로 동작하는 시뮬레이터 응용 프로그램에 이와 통신할 ActiveX 콘

트롤을 삽입하여 시뮬레이터에 대한 제어를 수행한다. 본 연구에서는 웹브라우저와 시뮬레이터를 ActiveX 콘트롤로 활용하여 Java Script 언어로 구현하였다.

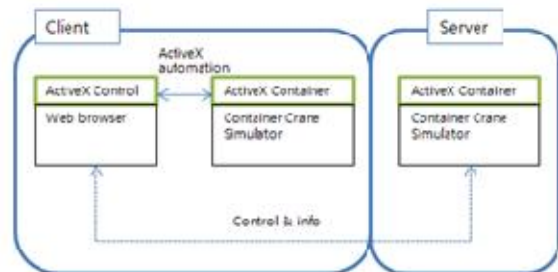


▶▶ 그림 3. ActiveX 컨테이너와 콘트롤

본 연구에서 사용한 웹브라우저를 ActiveX 콘트롤로 하고, 컨테이너 크레인 시뮬레이터를 ActiveX container로 하여 구현하였다. 이 관계는 그림 3에 잘 나타나 있다.

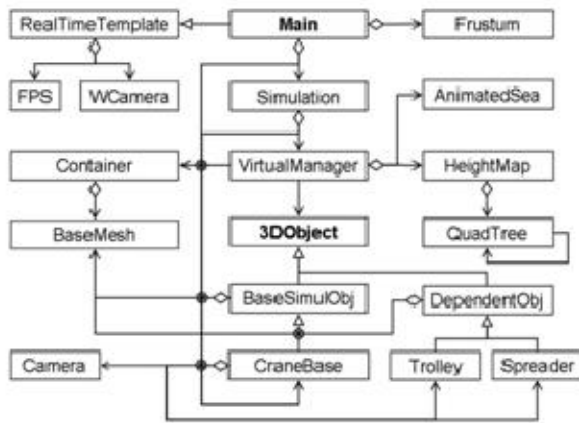
ActiveX 컨테이너와 ActiveX 콘트롤은 각각 네트워크에서의 클라이언트와 서버에 해당하며 각 객체는 속성과 메소드를 통하여 통신이 가능하다. 이렇게 둘 사이의 통신을 통해 원격에서 제어가 가능한 시뮬레이터가 된다.

이와 같이 통신을 통해 서로 정보를 주고 받을 수 있는 환경에서 지원 가능한 컨테이너 크레인 시뮬레이터를 구현하여야 한다. 시뮬레이터는 처음 클라이언트가 서버에 접속을 시도하였을 때 시뮬레이터 실행에 필요한 모든 파일 및 정보들을 클라이언트에 전송한다. 전송된 정보를 바탕으로 웹에서 실행을 시키면 시뮬레이터가 작동이 되는 방식을 사용하고 있다. 그 방식은 아래 그림 4에 나타나 있다.



▶▶ 그림 4. ActiveX 기반 동작 메커니즘

본 연구에서 개발한 시뮬레이터는 객체지향 프로그램에 기반한 Unified Modeling Language (UML)을 사용하여 개발하였다.



▶▶ 그림 5. 클래스 다이어그램

그림 5는 본 시스템의 클래스 다이어그램을 보여주고 있다. 메인 클래스는 시뮬레이션을 위한 시스템의 엔트리 점이다. Main 클래스는 프로그램 셋업과 그래픽 윈도우의 초기화를 정의한 RealTimeTemplate를 상속 받는다. Template클래스는 singleton pattern을 갖는 하나의 인스턴스를 만들기 위해 디자인 되었다. Singleton은 제어된 객체에 대한 참조로 만들어 진다. 대부분의 클래스들은 이것을 상속 받아 이루어 진다.

3DObject 클래스는 실질적인 3차원 객체의 실시간시뮬레이션 부분을 담당한다. 중요한 부분에 해당하는 3차원 객체는 두개의 클래스 BaseSimuObj와 DependentObj로부터 상속받아 구성된다. 이때 충돌 검사를 위해 각 객체의 BaseMesh클래스에 기록된 한정사각형(bounding box)을 만들어 낸다. 3DObject 객체가 크레인의 시뮬레이션 부분을 담당하게 된다.

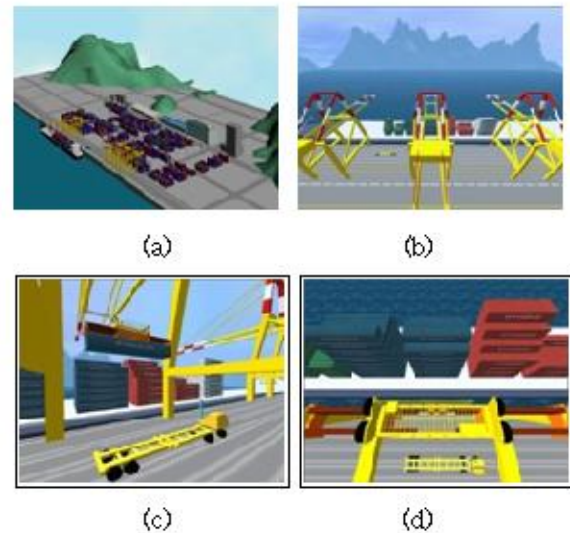
컨테이너 크레인의 시뮬레이션과 크게 상관없이 움직여야 하는 부분으로는 트럭, 배 그리고 주변 환경들이 있다. 트럭과 배는 각자에 주어진 Finite State Machine (FSM)에 따라 움직임이 주어지고, 주변환경에 해당하는 바다와 부두 등은 움직임 없이 고정된다.

부두와 부두 주변에 존재하는 산의 모습은 높이맵(height map)을 사용하여 설계하였다. 거리에 따른 정밀도를 다르게 주기 위하여 Quadtree 기법을 사용하여 3차원화 하였다.

5. 실험결과

웹기반의 컨테이너 크레인 시뮬레이터를 구현한 결과

가 아래 그림 6에 보여주고 있다. 첫 번째 그림은 먼 곳에서 부두 전경을 한번에 보여주는 장면으로 배, 부두, 컨테이너, 트럭 등이 배치된 조화로운 모습을 보여주고 있다. 그림 6(b)는 배에 실려 있는 전체 컨테이너들의 상태를 관측하기 용이하도록 시점은 컨테이너 크레인 위쪽으로 한 모습이다. 그림 6(c)는 컨테이너를 실으러 오거나 실고 떠나는 트럭의 모습을 보여주는 그림이고, 6(d)는 크레인 시뮬레이터의 가장 중요한 부분으로 조이스틱 조작이나 키보드 조작을 통해 스프레더를 움직여 컨테이너를 잡고, 그것을 원하는 위치로 이동하는 시뮬레이션 모습을 보여주고 있다.



▶▶ 그림 6. 시뮬레이터 결과 화면들

6. 결론

이 논문에서 우리는 대화형의 컨테이너 크레인 시뮬레이션을 개발하였다. 여기에는 물리엔진을 사용하여 실제의 모습과 비슷한 작동 상황을 만들어 냈으며, 계산 시간을 줄일 수 있도록 수식을 단순화 시켰다. 또한 이 시뮬레이터가 웹상에서도 작동할 수 있도록 ActiveX를 사용하여 서버와 클라이언트간의 통신을 가능하게 하였고, 일반적으로 시뮬레이션에 필요한 자료를 처음 접속시 모두 보내는 방식을 택하고 있다. 이런 대화형의 컨테이너 크레인 시뮬레이터는 크레인 운전자의 훈련에 효과적으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 일반인들이 게임을 즐기듯이 작동 원리도 확인해 볼 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

[1] H. Park, "Boundary Control of Container Cranes from the Perspective of Controlling an Axially Moving String System," *The 5th Samsung Humantech Thesis*, 2005

[2] J. Y. Choi, K. S. Hong, and K. J. Yang, "Exponential Stabilization of an Axially Moving Tensioned Strip by Passive Damping and Boundary Control," *Journal of Vibration and Control*, Vol.10, No.5, pp.661-682, May 2004

[3] Y. S. Kim, K. S. Hong, and S. K. Sul, "Anti-Sway Control of Container Cranes: Inclinomater, Observer, and State Feedback," *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol.2, No.4, pp.435-449, December 2004

[4] S. J. Lee, and K. S. Hong, "Design criteria of a future container crane for mega ships," *Journal of Navigation and Port Research* (in Korean with English abstract), Vol.18, No.6, 2004.

[5] H. L. Bo, "Some Focusing Points in Development of Modern Modeling and Simulation Technology," *International Simulation Multi-conference*, pp.15-26, 2004

[6] S. J. Yoon, "Simulation and Simulator," Sunhaksa, 2003

[7] <http://www.shipanalytics.com/>

[8] <http://www.abb.com/>

[9] <http://www.globalsim.com/>

[10] A. Witkin, D. Baraff, M. Kass, "Physically Based Modeling," *ACM SIGGRAPH Course Notes*, 2001

[11] K. Akeley, "Reality Engine graphics," -ACM Press, New York, 109-116, 1993

[12] D. Baraff, "Linear-time Dynamics Using Lagrange Multipliers," *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pp. 137 -146, 1996.

[13] Kacic-Alesic, Zoran, N. Marcus, and B. David, "A Practical Dynamics System," *In Proceedings of ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation*, 2003

[14] S. H. Ahn, K. B. Kang, E. J. Kim, S. J. Kim, J. W. Lee, and C. G. Song, "Interactive 3D Golf Simulator," *ICHIT-AMTA*, 2006

[15] Bourg, D. "Physics for Game Developers," *O'Reilly Media*, 2001

[16] G. Palmer, "Physics for game programmers," *Apress*, 2005

[17] A. K. Tomas, H. Eric, "Real-Time Rendering," *AK Peters*, 2002

[18] S. Lefebvre, H. Hoppe, "Appearance-space texture

synthesis," *ACM SIGGRAPH*, Vol.25, Issue.3, pp.541-548, 2006

[19] V. Kwatra, A. Schödl, I. Essa, G. Turk, A. Bobick, "Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts," *ACM SIGGRAPH*, Vol. 22, Issue. 3, pp. 277-286, 2003

[20] M. F. Cohen, J. Shade, S. Hiller, O. Deussen, "Wang Tiles for image and texture generation," *ACM SIGGRAPH*, Vol.22, Issue.3, pp.287-294, 2003

[21] S. Lefebvre, H. Hoppe, "Perfect spatial hashing," *ACM SIGGRAPH*, Vol.25, Issue.3, pp.579-588, 2006

[22] S. Lefebvre, H. Hoppe, "Parallel Controllable Texture Synthesis," *ACM SIGGRAPH*, Vol.24, Issue.3, pp.777-786, 2005

저자 소개

● 박 경 미 (GyeongMi Park)



• 1998년 3월 ~ 2000년 2월 한국방송통신대학교 컴퓨터학과 (공학사)
 • 2001년 3월 ~ 2003년 8월 무경대학교 정보전산학과 (공학석사)
 • 2004년 3월 ~ 현재 무경대학교 전자계산학과 박사과정 수료

<관심분야> 컴퓨터그래픽스, 3D 애니메이션, 영상처리

● 윤 요 섭 (Joseph Yoon)



• 1999년 3월 ~ 2003년 2월 무경대학교 전자계산학과(이학사)
 • 2003년 3월 ~ 2005년 2월 무경대학교 전자계산학과(공학석사)
 • 2005년 3월 ~ 현재 무경대학교 정보공학과 박사과정 수료

<관심분야> 컴퓨터그래픽스, 3D 애니메이션, 영상처리

● 김 영 봉 (Young-Bong Kim) 정회원



• 1987년 서울대학교계산통계학과(이학사)
 • 1989년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
 • 1994년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
 • 1994년 ~ 1995년 삼성전자 정보기술연구소 선임연구원
 • 1995년 ~ 현재 무경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 정교수

<관심분야> 컴퓨터 그래픽스, 3D 컴퓨터 시뮬레이션