

크레인의 진동 저감을 위한 제어기 개발용 시뮬레이터

*정경재, 배진호, 이달해, 이석규, 이해영

영남대학교 전기공학과

A simulator for development of controller for reducing vibration in crane

Kyung-Chae Jeong, Jin-Ho Bae, Dal-Hae Lee, Suck-Gyu Lee, Hai-Young Lee

Dept. of Electrical Eng, Yeungnam Univ

Abstract

In this paper, a simulator is designed along with S/W package for crane controllers. Due to trolley's acceleration or deceleration, cranes inherently cause swing motion of the objects in transporting heavy objects. This swing not only deteriorates the crane handling safety but also increases the processing time. To overcome these drawbacks, the fuzzy rule-based simulator is developed with inhibitory swing at final action. The computer simulation shows that the swing at initial and final positions is removed fast with small position error. The proposed simulator can be used for handling object stably and the study of effectiveness in unmanned operation of cranes.

1. 서 론

제철 공장 등에서와 같이 무거운 물체를 크레인을 사용하여 물체를 이송시키는 경우 가장 크게 대두되는 문제점은 와이어 로프에 의한 물체의 진동현상 때문에 크레인을 원하는 목표에 정위치시키기가 어렵고, 정위치시킨 후에도 진동현상 때문에 물체를 내려놓거나 다른 물체를 집어 올리는 등의 작업에 어려움이 많다.

본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위해서 크레인 모델에 퍼지이론을 도입하여 퍼지 변수를 모든구간에서 4개의 변수(거리오차와 속도 그리고 진동각과 각속도)를 적용하여 외란에 즉각 대응 할 수 있고, 화물의 진동은 최소화되며, 빠르고, 안정한 퍼지 규칙을 만든다. 이와같은 퍼지규칙을 효과적으로 찾기위해 실시간 모의실험이 가능한 Simulator를 만들어 실제 Crane 운전 이전에 컴퓨터 화면상에서 운반물체의 무게, 로프길이, 이동거리등과 같은 Parameter에 따른 적절한 Fuzzy 규칙을 찾고 현장에 투입시켜 안정하고 정밀한 제어가 이루어지도록 한다. 이 Simulator는 PC-386이상에서 동작하며, 사용된 언어는 Watcom-c이다. 또한 GUI(Graphic User Interface) 개념에 근거를 둔 메뉴 구동 시스템으로 개발 되었다.

2. 대상 크레인의 모델링

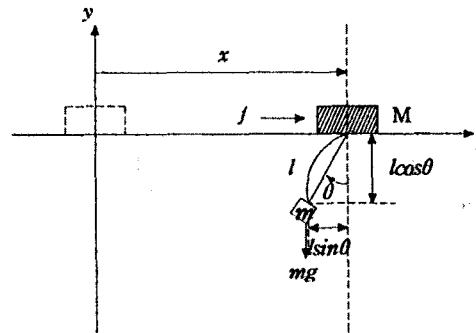
2.1 크레인의 수학적 모델링

본 논문에서 다루고자하는 크레인의 구조는 그림 1에 보여진것과 같다. 제어입력이 크레인에 작용할 때 시스템의 수학적 모델을 구하면 다음과 같다.

$$(M + m)\ddot{x} + ml(\sin\theta)\ddot{\theta}^2 - ml(\cos\theta)\ddot{\theta} = f \quad (1)$$

$$m\ddot{x}\cos\theta = mg\sin\theta + ml\ddot{\theta} \quad (2)$$

식(1)과 (2)는 대상 크레인의 로프길이 변화가 없는 상태에서의 수학적 모델을 나타낸다.



x : 목표점까지의 거리 f : 트롤리의 구동력
 M : 트롤리의 질량 m : 화물의 질량
 l : 와이어 로프의 길이 θ : 화물의 진동각

그림. 1 대상 크레인의 구조

3. 제어 Algorithm의 설계

3.1 제어 문제

II장에서 다룬 크레인 시스템의 각운동은 트롤리에 가해지는 힘(f)을 입력으로 하고, 진동각도(θ)를 출력으로 하는 비감쇠 2차계임을 알 수 있다. 이와 같은 계는 고하중의 이송시 트롤리의 가속도에 의해 필연적으로 진동을 동반하며, 또한 강풍등과 같은 외란의 영향에 의해 진동이 생길수 도있다. 제어 목표는 초기위치에서 지정된 목표위치로 이동 시키는 것이다. 다시 말해서 원하는 위치까지 가능한 빠른 시간에, 그리고 진동없이 화물을 이송시키고자 한다. 본 논문에서 설계하고자 하는 제어기의 사양은 목표점 정지오차가 60mm 이내로 하고, 허용 잔류진동이 0.5° 이내로 한다.

3.2 로프의 궤적 계획

그림2에 나타낸 바와 같이 출발시에는 운반 물체의 진동을 줄이기 위하여 로프를 적당히 감아 올린후 sec-1구간에서는 로프를 감아올리면서 트롤리를 가속 시킨다. 또한 sec-2구간에서는 로프길이를 고정후 트롤리를 이동시키며, sec-3구간에서는 감속과 진동 및 위치를 제어하는 구간으로 트롤리가 목표지점에 정확히 그리고 빠르게

도달하게 하기 위하여 트롤리의 이동과 동시에 로프를 이느정도 감아내린다. 마지막으로 목표사양 이내로 도달하게 되면 원하는 위치까지 로프를 내려서 운반 물체를 내려 놓는다.

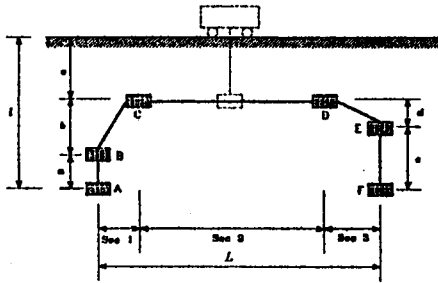


그림 2 로프 길이 제어 패턴

3.3 전체 시스템의 구성도

본 논문에서는 크레인 시스템으로 부터 목표점까지의 거리와 화물의 진동각을 감지하여 전문가의 제어 경험 지식에 바탕을 둔 퍼지알고리즘을 통하여 진동을 제거한다. 그러므로 모의실험을 위한 시스템 구성은 그림 3에서와 같이 퍼지추론을 통하여 물체 이송에 필요한 트롤리의 구동력을 계산해 내는 제이그 부분과 실제의 크레인 시스템의 모델부분으로 구성되어 있다.

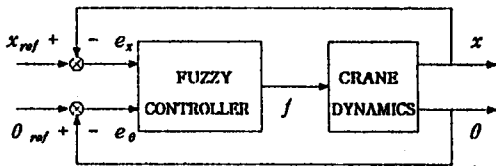
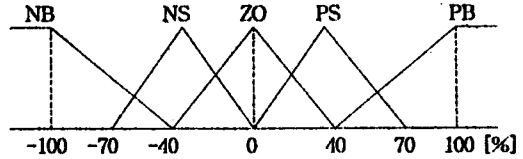


그림 3 전체 시스템의 블록도

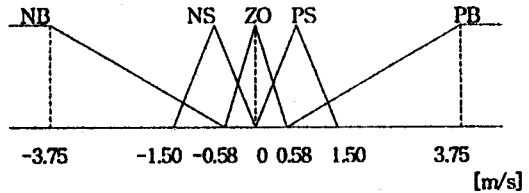
3.4 크레인의 퍼지 제어기 설계

본 논문에서 주 목표는 크레인이 움직임에 따라 물체의 진동각도는 변화하는데 크레인의 속도를 제어함으로써 진동각도를 작게 유지하면서 목표위치까지 최대한 빨리 이동 시키고자 하는것이다. 크레인의 진동은 크레인의 가속도에 의해서 영향을 받기 때문에 첫째 진동각과 트롤리의 속도와의 관계 둘째 현재 위치와 트롤리의 속도와의 관계를 고려 하여, 퍼지제어기에 사용될 언어변수들은 조건부에 거리오차와 그 미분 (e_x, \dot{e}_x)값과 진동각과 각속도 ($\theta, \dot{\theta}$)로 잡았으며, 결론부에 트롤리의 구동력(f)으로 잡았다. 언어변수의 Term set은 모두 동일 하며 다음과 같다. Term set = { NB, NS, ZO, PS, PB } 각 언어 변수에 대한 Term set의 각 요소의 소속도 함수는 그림 4에서 그림 6에 보여져 있다. 먼저 그림 4는 목표위치의 거리 오차와 오차의 미분에 대한 소속도 함수를 나타내고, 그림 5는 진동각과 진동 각속도에 대한 소속도 함수를 보여주며 그림 6은 출력으로서 모터의 구동력에 대한 소속도 함수를 보여준다. 소속도 함수들의 값은 여러가지 경우에 대한 시뮬레이션과 기술적 상식을 통하여 본 논문의 연구목적에 적합한 값으로 선택하였다. 마지막으로 트롤리에 가해지는 구동력을 계산하기 위한

Fuzzy 규칙은 위에서 언급한 언어 변수들을 사용하여 설계했으며, 트롤리의 평행 가속도가 모터의 구동력에 의해 조정된다는 사실과 보편적인 경험적 지식에 기초하여 설계하였다. 설계된 규칙들은 조건부에 4개의 언어 변수를 동시에 사용하였고, 결론부에는 트롤리의 구동력이 나오

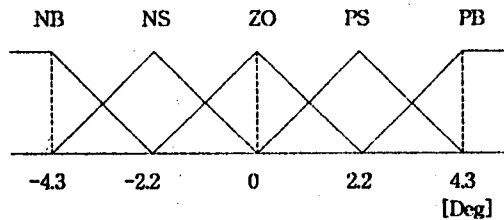


(a) e_x 의 각 요소에 대한 소속도 함수

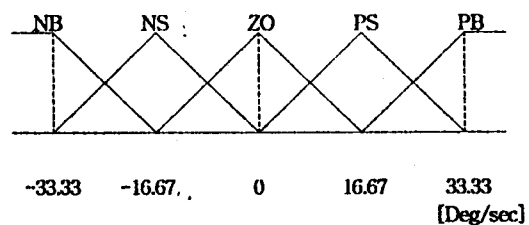


(b) \dot{e}_x 의 각 요소에 대한 소속도 함수

그림 4 e_x, \dot{e}_x 의 각 요소에 대한 소속도 함수



(a) θ 의 각 요소에 대한 소속도 함수



(b) $\dot{\theta}$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수

그림 5 $\theta, \dot{\theta}$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수

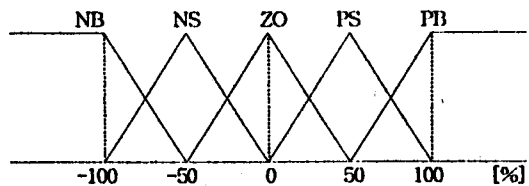


그림 6 f 의 소속도 함수

게 하였다. Fuzzy규칙 설계의 기본 관점은 다음과 같다. 목표 위치와의 오차가 클 경우 목표위치에 빨리 도착하기 위하여 트롤리의 구동력을 많이 준다. 진동각이 음 일 경우 진동각을 줄이기 위하여 트롤리의 구동력을 음으로 준다. 진동각이 양 일 경우 트롤리의 구동력은 양으로 준다. 또한 위치오차 미분값 (e_r)는 트롤리의 속도를 나타내는 값 이므로 트롤리의 속도 조절량으로 이용한다. 한편 진동각의 미분값 ($\dot{\theta}$)은 운반물체의 진동 각속도를 나타내는 값이므로 이 값이 음이면 음, 양이면 양으로 트롤리의 구동력을 준다. 조건부에 4개의 변수를 동시에 비교하였기 때문에 2개의 변수 (e_r 와 $\dot{\theta}$ 또는 θ 와 $\dot{\theta}$)를 비교하였을 때보다 초기진동이 많이 줄어 들었다. 이렇게 인은 Fuzzy규칙은 눈에 보이는 구체적인 사항을 통하여 무엇을 하면 좋겠는가하는 알고리즘으로 이루어져 있기 때문에 퍼지제어의 능력을 개선하기가 쉽고, 여러개의 제어규칙들의 집합으로 구성되어 있기 때문에 섬세한 제어가 가능하게 된다. Fuzzy 추론 방법으로는 잘 알려져 있는 Mamdani의 Min-Max-Gravity방법을 사용하였다.

4. 시뮬레이터

본 시뮬레이터는 실제 크레인이 산업현장에서 발생할 수 있는 다양한 문제(진동억제, 강풍등과 같은 외란, 로프 길이제어등)들에 대한 해결능력을 가지도록 설계하였다. 또한 시시각각의 각종Data(거리, 속도, 각도, 각속도, 로프 길이, 입력)의값을 Graph로 동시에 나타나게 하였으며, 각종Data의 수치정보를 한눈에 알아볼 수 있게 하였다. 그리고 System Parameter, Fuzzy rule, 로프길이들을 변경 및 저장도 할 수 있도록 하여 목표사양에 적합한 rule을 만드는데 도움을 주도록 설계하였다. 뿐만아니라 시각적인 효과를 높이기 위하여 여러가지 색깔로 graphic기능을 강화하였다. 시뮬레이터의 기능을 살펴보면 다음과 같다.

5. 시뮬레이션

IV장에서 설명한 Simulator의 기능을 보이기 위하여 본장에서는 시뮬레이션을 하고 그 결과에 대해 설명하고자 한다. 시뮬레이션 조건은 목표점 정지오차 60mm이내, 허용 잔류진동이 0.5° 이내로하였다. Parameter의 값은 System마다 각기 다르다. 따라서 최적의 Fuzzy rule도 달라진다. 본 실험의 목표는 이송시간을 최대한 단축하고, 운반물의 진동을 최대한 억제하는 것이며, 결정된 Parameter의 값에 따라 최적의 Fuzzy rule을 구할 수 있었으며, 그 결과는 양호함을 알 수 있다. 또한 현장 운전 이전에 최적의 Fuzzy rule을 찾음으로서 공정의 안정성 및 생산성을 높일 수 있을 것이다. Parameter의 값이 M:10Kg, L:10m, m:10Kg, E:1m일때의 결과는 출발시 최대 흔들림 각도는 2.3° 정도 있었으며, 정지시 최대 흔들림 각도는 3.7° 정도가위를 보여 준다. 또한 제어기의 사양인 목표점 정지오차 60mm이내, 허용 잔류진동이 0.5° 이내로 되는데 걸리는 시간은14.6초정도이다. 그림7은 시간대 거리에 관한 곡선이다. 그림8은 시간대 각도에 관한 곡선이다.

6. 결 론

본 논문에서는 크레인 제어기 개발에 활용할 수 있는

Simulator를 설계 하였고 S/W package를 만들었다. 이것을 이용하여 하나의 주어진 크레인 모델에 적용하여 진동억제 기능을 가진 Fuzzy제어규칙을 설계하였으며 결과 화면상에서 확인하여 본 결과 계획한 대로 동작함을 볼 수 있었다. 한편 크레인의 모델이 달라지면 그때마다 본 Simulator를 이용하여 해당 크레인의 상황에 적절한 Fuzzy제어기를 용이하게 개발할 수 있다.

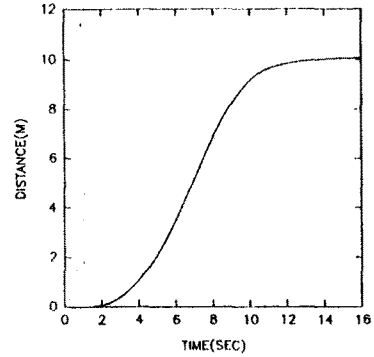


그림. 7 시간 대 거리곡선

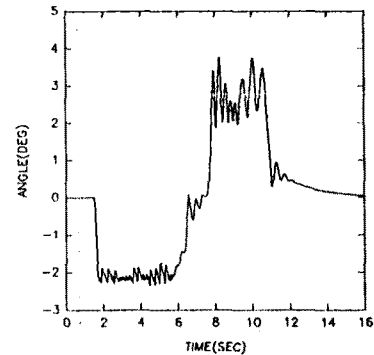


그림. 8 시간 대 각도 곡선

참 고 문 헌

- [1] Y.Sakawa, Y.Shindo, "Optimal Control of Container Cranes", AUTOMATICA, Vol.18, No.3, pp.257-266, 1982.
- [2] J.W.Auernig, H.Troger, "Time Optimal Control of Overhead Cranes with Hoisting of the Load", AUTOMATICA, Vol.23, No.4, pp.437-447, 1987.
- [3] Arto Marttinen, "Pole-Placement control of a Pilot Gantry", ACC'89, pp263-269, 1989.
- [4] Alan J. Ridot, " Variably Damping swing control of the overhead crane", IECON'89, pp263-269, 1989.
- [5] 廣田 薫, "フアジイ 活用事例集", pp.116-126, 1990, 工業調査會
- [6] S.Yasunobu, "豫見 Fuzzy 制御方式による コンテナ・クレーン自動運転", 計測自動制御學會 論文集, Vol.22, No.10, pp1066-1073, 1986.