

신경회로망 예측제어를 이용한 ATC 제어기 설계에 관한 연구

손동섭¹, 이진우², 이영진³, 이장명⁴, 이권순⁵

¹동아대학교 전기공학부, ²항공기능대학 전기예측제어과, ³부산대학교 전기공학부, ⁴동아대학교 전기전자컴퓨터공학부

A Study on Design of Controller for ATC using Neural Network Predictive Control

Dong Seop Sohn¹, Jin Woo Lee², Jin Young Lee³, Jang Myung Lee⁴, Kwon Soon Lee⁵

¹Department of Electrical Engineering, Dong-A University

²Department of Electrical Instrument and Control, Korea Aviation Polytechnic College

³Department of Electronics Engineering, Pusan National University

⁴Division of Electrical Electronic & Computer Engineering, Dong-A University

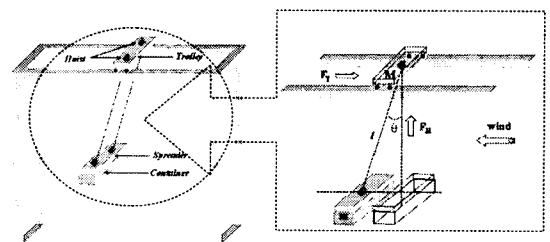
Abstract - Recently, an automatic crane control system is required with high speed and rapid transportation. Therefore, when container is transferred from the initial coordinate to the final coordinate, the container paths should be built in terms of the least time and without sway. Therefore, we calculated the anti-collision path for avoiding collision in its movement to the final coordinate in this paper. And we constructed the neural network predictive two degree of freedom PID (NNPPID) controller to control the precise navigation. The proposed predictive control system is composed of the neural network predictor, two degree of freedom PID(TDOFPID) controller, neural network self-tuner which yields parameters of TDOFPID. We analyzed crane system through simulation, and proved excellency of control performance over the conventional controllers.

설계하고자 한다. 그리고, 제한한 제어기의 성능을 평가하고 기존의 제어기와 비교·분석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1. Crane의 수학적 모델링

Transfer crane 시스템 제어는 Fig. 1에서 보여주는 것과 같이 x축 방향의 트롤리 횡행속도 조작과 y축 방향의 호이스트에 의한 로프 조작으로 나눌 수 있다.^[2]



(a) Transfer crane (b) Crane system modeling
Fig. 1. The structure of transfer crane system

Fig. 1과 같은 크레인 시스템에 있어서 제어되어야 할 변수로는 트롤리의 위치 x, 와이어로프의 길이 l, 컨테이너의 진동각 theta 이고, 제어입력으로는 트롤리와 호이스트에 인가되는 각각의 입력 F_T와 F_H가 있다. 컨테이너 하중은 하나의 질점으로 고려될 수 있으며, 토크전달 메커니즘에서 발생하는 마찰력은 무시될 수 있다. 크레인 시스템의 수학적 방정식은 Lagrange방정식을 이용하여 다음의 3개의 비선형 운동방정식으로 나타낼 수 있다.

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

$$F_H = \frac{1}{2}m\ddot{x}\sin\theta + \frac{1}{2}m\dot{l} - \frac{1}{2}ml\dot{\theta}^2 - \frac{1}{2}mg\cos\theta \quad (2)$$

$$0 = l\ddot{\theta} + 2\dot{l}\dot{\theta} + g\sin\theta + \dot{x}\cos\theta \quad (3)$$

여기서, 와이어 로프에 매달린 컨테이너의 흔들림 각도 theta는 작다고 가정할 수 있으므로 theta^alpha * theta^beta (alpha >= 0, beta >= 0, alpha + beta >= 2)의 형태로 표시되는 모든 항들은 선형화 시 사라지게 되며, 또한, cos theta = 1, sin theta = theta로 근사화하는 것이 가능하므로 위의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_T = (M+m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta} + 2m\dot{l}\dot{\theta} + m\dot{l}\theta \quad (4)$$

$$F_H = \frac{1}{2}m\ddot{x} + 2(M + \frac{1}{4}m)\dot{l} - \frac{1}{2}mg \quad (5)$$

$$0 = \ddot{x} + l\ddot{\theta} + g\theta + 2\dot{l}\dot{\theta} \quad (6)$$

1. 서 론

최근 초대형 컨테이너선의 출현에 따른 해상 물동량의 증가 예상으로 터미널 운영 효율의 향상과 해상수송 물류비용을 절감하기 위해 컨테이너 부두시설의 자동화의 필요성이 대두되고 있다. 물동량이 2020년에는 지금의 두 배에서 크게는 3배의 규모로 성장할 것으로 예상되며 이에 따라 초대형 컨테이너선 (Super Post-Panamax Vessel)의 출현에 따른 재항시간(Turnaround Time)의 최소화는 동북아 메가 허브포트(Mega Hub-Port)의 최대 관건이며, 이를 위해 국가 전략사업으로 추진 중에 있다. 외국의 경우 Indented Berth, Speedport, Octopus, 및 High Quay Solution 등과 같은 시간당 300~400 moves 처리능력의 하역시스템 도입을 고려하고 있다. 현재, ECT 컨테이너 터미널에서는 무인자동으로 운전되는 stacking crane을 설치 운영해 오고 있으며, 최근에 싱가포르의 PSA의 신규 컨테이너 터미널에는 무인으로 자동 운전되고 있는 OHBC(Overhead Bridge Crane)을 개발·적용하여 항만 운영효율을 극대화시키고 있다.^{[1], [2]}

따라서, 본 논문에서는 초대형 컨테이너선을 대비한 항만 하역 시스템의 연구로 crane의 자동화 개발을 통해 생산성 및 경제성등의 향상을 도모하고자 한다. ATC(Automated Transfer Crane)는 작업장내에서 적재된 컨테이너를 작업에 따라 이동차량에 실거나 그 반대의 작업을 수행하며 적재위치의 필요에 따라 변경하는 작업을 수행한다. 이러한 컨테이너 적재 이동에 대하여 최적이동 경로 알고리즘을 제안하여 작업의 효율성을 향상시키고자 한다. 그리고, ATC의 효과적인 제어가 될 수 있도록 위치오차와 진동각의 두가지 제어 변수와 와이어 로프의 길이 변화까지 고려하여 세 가지 제어 변수를 동시에 제어 할 수 있는 신경회로망 예측 제어기를

2.2 컨테이너 이동 경로 탐색 알고리즘

본 논문에서는 여러 가지 탐색법 중에서 경험적 지식을 바탕으로 하여 목표점을 찾아갈 수 있는 최적 우선방법을 채택하였다. 목표점을 효율적으로 찾기 위해서 다 음 식 (7)과 같이 평가함수를 선정하였다.

$$f = a_1 \cdot d_1 + a_2 \cdot d_2 + a_3 \cdot d_3 \quad (7)$$

식(7)에서 표시된 가중치 a_1, a_2, a_3 는 야드 상태에 따라 함수 d_1, d_2, d_3 값의 중요도가 변화하게 되므로, 이를 고려하여 설정하고, 이동 대상 컨테이너가 위치한 장소(출발노드)의 좌표값 (x_s, y_s), 컨테이너를 적재하기 위한 장소의 좌표값 (x_G, y_G)으로 표시하고, 현재노드의 기준점 좌표값 (x_n, y_n), 인접노드가 위치한 격자의 기준점 (x_t, y_t), 기준점 (x_p, y_p)라 하면 계수 d_1, d_2, d_3 값을 다음과 같이 정의된다.

① d_1 : 이동 가능한 인접노드 t에서 목표 노드 G까지의 거리를 XY-평면상에 투영한 값으로 정의한다.

$$d_1 = \sqrt{(x_G - x_t)^2 + (y_G - y_t)^2} \quad (8)$$

② d_2 : 출발노드(S)와 목표노드(G)를 연결하는 XY평면에서의 직선방정식은 (9)와 같으며, d_2 값은 식 (10)과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} a \cdot x + b \cdot y + c &= 0 \\ a &= y_G - y_s, b = x_s - x_G \\ c &= (x_G - x_s) \cdot y_s - (y_G - y_s) \cdot x_s \end{aligned} \quad (9)$$

$$d_2 = \frac{|a \cdot x_t + b \cdot y_t + c|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (10)$$

③ d_3 : 직선 L_1 과 L_2 의 방정식은 식 (11)과 같이 표현되며, 각도 d_3 값은 식 (13)으로 표현된다.

$$L_1: \frac{x - x_p}{l_1} = \frac{y - y_p}{m_1} = \frac{z - z_p}{n_1} = t_1 \quad (11)$$

$$L_2: \frac{x - x_n}{l_2} = \frac{y - y_n}{m_2} = \frac{z - z_n}{n_2} = t_2$$

$$L_2: \frac{x - x_n}{l_2} = \frac{y - y_n}{m_2} = \frac{z - z_n}{n_2} = t_2$$

$$l_1 = x_n - x_p, l_2 = x_t - x_n$$

$$m_1 = y_n - y_p, m_2 = y_t - y_n \quad (12)$$

$$n_1 = z_n - z_p, n_2 = z_t - z_n$$

$$\cos(d_3) = \frac{l_1 \cdot l_2 + m_1 \cdot m_2 + n_1 \cdot n_2}{\sqrt{l_1^2 + m_1^2 + n_1^2} \cdot \sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2}} \quad (13)$$

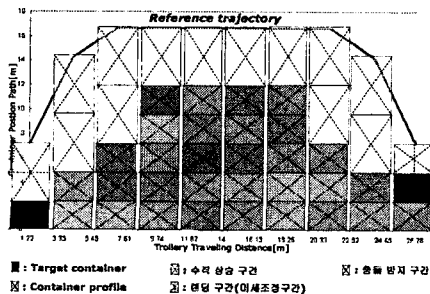


Fig. 2. The imaginary path and container profile

순간적인 흔들림과 이동시 발생하는 흔들림 그리고 빠른 시간에 이동할 수 있도록 고려한 충돌방지구간의 설정으로 보다 효율적인 컨테이너의 이동경로에 관한 최적 경로 탐색 알고리즘을 개발하였다.

2.3 신경회로망 예측 제어기 설계

본 논문에서는 설정치 추종 성능뿐만 아니라 외란 제거 능력도 매우 우수한 2자유도PID(TDOFPID)제어기를 피드백형으로 구성하여 크레인의 위치 및 운반물의 흔들림 제어에 적용하여 문제를 연구하였다.^[4]

본 논문에서는 TDOFPID제어기 설계에 필요한 파라미터 K_p, K_i, K_d 및 α, β 를 NN으로 자동동조 하였으며, 위치오차, rope의 길이오차 및 흔들림 오차에 대한 제어기를 각각 구성하여 15개의 파라미터를 추정하였다. 예측제어기가 어떤 비선형 동적 시스템을 예측하기 위해서는 그 시스템의 입·출력 관계를 잘 동정하여야 한다. 본 논문에서는 신경회로망을 이용한 동적 시스템의 동정을 위해서 다음과 같은 방법을 선택하였다. 첫번째로 비선형 동적 시스템에 대한 학습신호는 제어되는 시스템의 모든 동 특성에 관한 정보를 포함하여야 한다. 두 번째로 신경회로망 예측기는 학습하려는 플랜트의 입출력 데이터를 이용하여 off-line으로 학습한다. 제한한 다단 신경회로망 예측제어기의 구조는 그림3과 같으며, 다단 신경회로망 예측기를 통한 자코비안은 신경회로망의 학습을 위해서 쓰인다. 여기서, 신경회로망 학습을 위하여 모델링 오차 역전파 학습 알고리즘을 사용하였다.

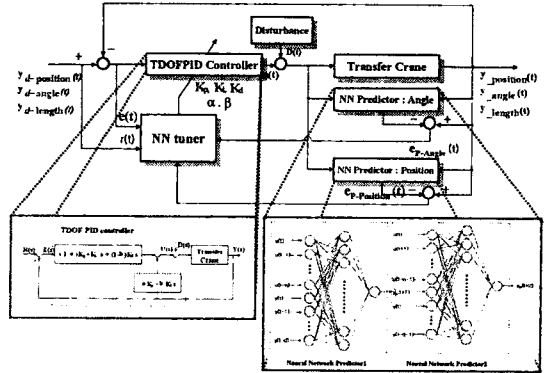


Fig. 3. A block diagram of NNPPID controller

신경회로망 예측기는 크레인에 대한 모델링 학습이 이루어진 후 학습된 동정기에 플랜트의 현재 입·출력을 입력신호로 하여 예측제어기를 구성하였으며, 2단으로 구성하여 각각 trolley position과 angle에 대해 예측제어기를 구성하였다. NNPPID 제어기의 블록선도는 그림 3과 같이 설계하였다. 그림 4와 같이 TDOFPID 제어기의 파라미터를 동조하기 위하여 신경회로망 자기동조기를 사용하였다. 신경회로망 동조기의 학습을 위하여 모델링 오차 역전파 학습 알고리즘을 사용하였다. 또한, 외란 D(s)는 바람으로 주기적인 강약의 바람에 일정한 방향을 가지도록 설정하였다.

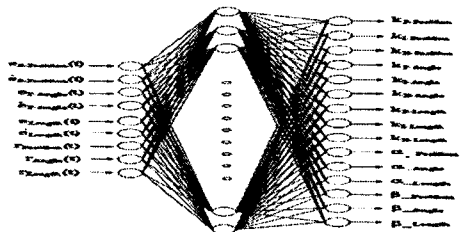


Fig. 4. Structure of neural network self-tuner

2.4 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 그림3과 같이 제안한 신경회로망 예측 PID(NNPPID) 제어기의 성능을 평가하기 위하여 신경회로망 PID(NNPPID) 제어기 그리고, 진화전략 PID(ES-tuned PID) 제어기를 trolley의 위치이동시 wire rope에 매달린 컨테이너의 흔들림에 대하여 외란을 적용하였을 때 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

Table 1. Parameters of transfer crane & ES algorithm

Transfer Crane system	Parameters	Values
	트롤리의 질량	15[kg]
(컨테이너+스프레더) 질량	10[kg]	
중력 가속도	9.8[m/sec ²]	
Parameters of ES Algorithm	Population size	10
	Generation No.	10012
	Mutation rate	50%

Table 2. Parameters of the NN modeling

Pattern No.	Trolley Position parts		Swing Angle parts	
	600 개	600 개	600 개	600 개
Node No.	Input	4	4	4
	Hidden	6	6	6
	Output	1	1	1
Learning ratio	0.09	0.09		
Momentum factor	0.03	0.03		
Input parameter	$u(t), u(t-1), \hat{x}(t), \hat{x}(t-1)$		$u(t), u(t-1), \hat{x}(t), \hat{x}(t-1)$	

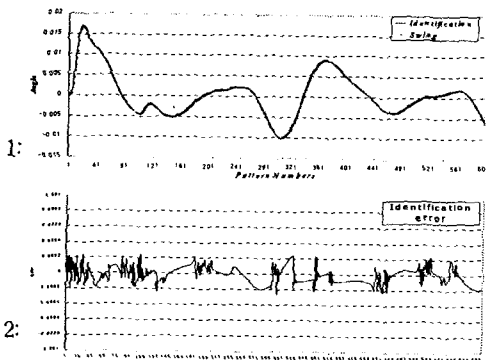


Fig. 5. Identification crane system

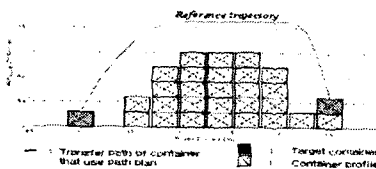
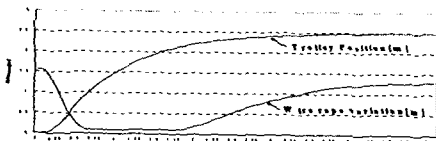
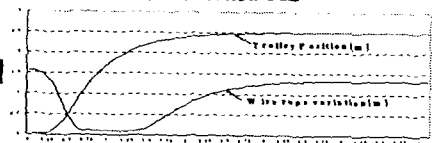


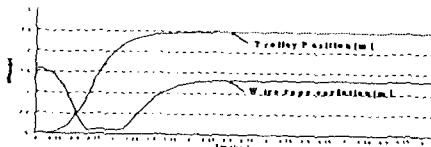
Fig. 6. The reference trajectory of container



(a) ES-tuned PID



(b) NNPPID



(c) NNPPID

Fig. 7. Response characteristics of trolley position and wire rope variation

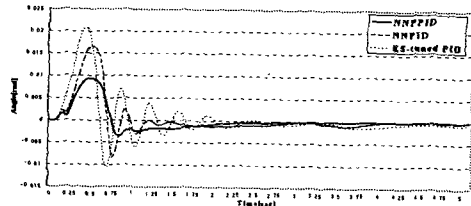


Fig. 8. Response characteristics of angle

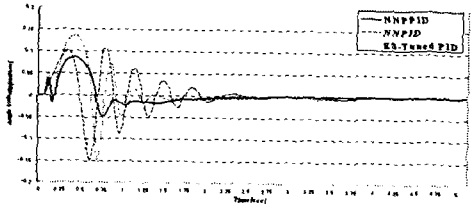


Fig. 9. Response characteristics of angle velocity

3. 결 론

본 논문에서는 transfer crane의 무인 자동화를 위한 컨테이너 이동의 최적 경로를 설정 및 컨테이너 입·출장소와 적재장소를 연결하는 충돌회피 경로를 효율적으로 검색할 수 있는 알고리즘 개발과 설정된 충돌회피 경로를 추종함으로써 최단 시간내에 컨테이너 이송작업을 완료하기 위한 최적제어기를 구성하였다. transfer crane의 최적제어기를 설계하여 기존에 적용된 제어기와 비교하여 우수함을 보였다.

제안한 제어기의 성능이 우수성을 검증하였으므로 향후 항만의 무인 transfer crane의 자동 주행 제어시스템(ATCS) 개발을 함에 있어서 핵심 기술되는 trolley 위치 제어와 컨테이너의 sway 제어 그리고, 컨테이너의 최적 이동경로에 대한 최적제어기로 NNPPID 제어기의 적용 가능성을 확인하였다.

This work was supported by the KOSEF through the CIIPMS at Dong-A University

(참 고 문 헌)

- [1] Hyundai Heavy Industries Co., Control Modeling of Anti-Sway System, Final Report, 1995-1996.
- [2] 해양수산부, 과학기술부, 자동 트랜스퍼 크레인 설계 및 제어기술 개발 4차년도 보고서, 2002
- [3] Y. Sakawa and Y. Shindo(1982), "Optimal control container Crane," IFAC, Vol. 18, No. 3, pp. 257-266.
- [4] Takaji Umeno and Yoichi Hori, "Robust Speed Control of DC Servomotors Using Modern Two Degree of Freedom Controller Design," IEEE Transactions on Industrial Electronic, Vol. 38, No. 5, October 1991.
- [5] Percy P. C. yip and Yoh-Han Pao(1994), "A Recurrent Neural Net Approach to One-Step Ahead Control Problems," IEEE Transaction on System, MAN, AND Cybernetic, Vol. 24, No. 4, pp. 678-683.