

Iterative Learning Control을 이용한 3-wheel Omni-directional Mobile Robot의 제어

*김지수, 한경룡, 이진수
포항공과대학교 전자전기공학과
e-mail : {hybridjs, sidabari, jsoo}@postech.ac.kr

The Control of 3-wheel Omni-directional Mobile Robot Using Iterative Learning Control

*Jeesu Kim, Kyung L. Han, Jin S. Lee
Department of Electronic and Electrical Engineering
Pohang University of Science and Technology

Abstract

This paper introduces control methods of 3-wheel Omni-directional mobile robot using Iterative Learning Control (ILC). Two types of ILC methods and kinematics of 3-wheel Omni-directional mobile robot (3-wheel Omni Robot) are introduced in section II. These methods are applied to 3-wheel Omni Robot and the results are obtained through MATLAB simulations.

I. 서론

ILC는 정해진 경로를 유한한 시간동안 정확히 이동하는 동작을 수행해야 하는 산업 프로세스에서 많이 사용된다. 다양한 조립 또는 생산 라인, 도장 작업, IC 납땜작업 등을 그 예로 들 수 있다. 특히 정해진 경로를 이동하며 정해진 곳에서 화물을 적재하는 mobile robot 같은 경우 ILC의 중요성이 더욱 강조되며 이 경우 본 논문에서 다루고자하는 3-wheel Omni Robot의 가용가치가 더욱 높아지게 된다.

본 논문에서는 두 가지의 ILC 방법을 소개하고 이를 3-wheel Omni Robot에 적용해 시뮬레이션을 통해 결과를 확인한다.

II. 본론

2.1 ILC Update Law

시변 Discrete Time 비선형 시스템은 다음과 같다.

$$x_i(k+1) = f(x_i(k), k) + B(x_i(k), k)u_i(k) + w_i(k), \quad (1)$$

$$y_i(k) = C(k)x_i(k) + v_i(k). \quad (2)$$

위의 식에서 i 는 반복되는 작업의 iteration 수이고 k 는 discrete time index이다. [1], [2]에서 설명하는 ILC update law는 각각 다음과 같다.

$$[1] : u_{i+1}(k) = u_i(k) + L_1(k)e_i(k+1), \quad (3)$$

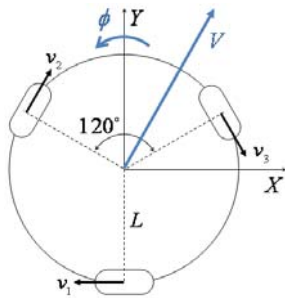
$$[2] : u_{i+1}(k) = u_i(k) + L_1(k)e_i(k+1) + L_2(k)e_{i+1}(k). \quad (4)$$

Theorem. ILC update law (3), (4)를 가지는 시스템 (1), (2)가 [1], [2]에서의 assumption들을 만족하고 아래의 inequality (5)를 만족하면, iteration이 증가함에 따라 ($i \rightarrow \infty$), disturbance $w_i(k)$, measurement noise $v_i(k)$ 가 0일 경우 $u_i(k)$, $x_i(k)$, $y_i(k)$ 가 $u_d(k)$, $x_d(k)$, $y_d(k)$ 로 수렴한다. disturbance와 measurement noise가 존재할 경우에는 $\|u_d(k) - u_i(k)\|$, $\|x_d(k) - x_i(k)\|$, $\|y_d(k) - y_i(k)\|$ 가 유한한 bound에 ultimately bound 된다.

$$\|I - L_1(k)C(k+1)B(x, k)\| \leq \rho < 1. \quad (5)$$

Proof. See [1] and [2].

2.2 3-wheel Omni Robot의 Kinematics



<그림 1> 3-wheel Omni Robot의 구조.

3-wheel Omni Robot은 <그림1>과 같은 구조를 하고 있다. 이를 통해 다음과 같은 dynamic equation을 얻을 수 있다[3].

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ y(k+1) \\ \theta(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ \theta(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\theta(k)) & -\sin(\theta(k)) & 0 \\ \sin(\theta(k)) & \cos(\theta(k)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

where

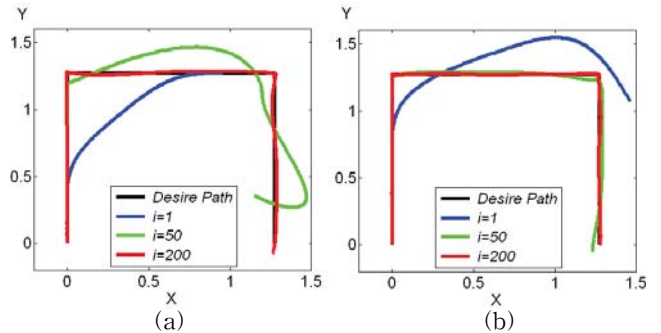
$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -L \\ 1 & -\sqrt{3} & -L \\ 1 & \sqrt{3} & -L \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

Ⅲ. 시뮬레이션

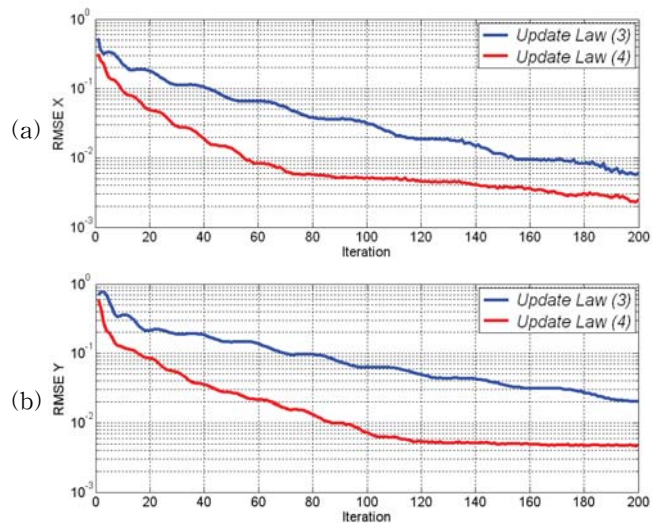
(6)을 이용해 MATLAB으로 (3)과 (4)의 update law를 적용시켜 desire path에 대해 시뮬레이션 해보면 <그림 2>와 같다. (4)의 update law가 더 빠르게 수렴하는 것을 확인 할 수 있다. <그림 3>은 두 방법의 x좌표와 y좌표의 RMSE 값을 비교한 것이다. 역시 (4)의 update law가 수렴 속도도 빠르고 에러도 더 작은 것을 확인 할 수 있다.

Ⅳ. 결론 및 향후 연구방향

두 가지 방식의 ILC update law를 3-wheel Omni Robot에 적용하였다. Omni-directional의 특성을 살릴 수 있도록 경로의 직각변화가 있는 desire path에 대해 시뮬레이션 해본 결과 이전 iteration의 predict term만을 이용한 update law (3)보다 현재 iteration의 current term을 추가로 이용한 update law (4)가 더 적은 iteration후에 desire path에 수렴하는 것을 알 수 있다. 앞으로는 실제 3-wheel Omni Robot에 update law를 적용하여 desire path를 따라 가도록 실험해 볼 것이다.



<그림 2> (a) update law (3)을 이용한 시뮬레이션. (b) update law (4)를 이용한 시뮬레이션.



<그림 3> (a) iteration에 따른 x좌표의 RMSE. (b) iteration에 따른 y좌표의 RMSE.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2010-(C-1090-1021-0006))

참고문헌

[1] D. Wang, "Convergence and robustness of discrete time nonlinear systems with iterative learning control," Automatica, 1998.
 [2] Min K. Kang, Jin S. Lee and Kyung L. Han, "Kinematic path-tracking control of mobile robot using iterative learning controller" Journal of Robotics Systems, Feb, 2005.
 [3] Min Sik Hong, "Velocity Control for Omni-directional Mobile Robot," Pohang University of Science and Technology, Master thesis, Feb. 2007.