

임베디드 시스템을 이용한 자율이동로봇의 제어성능 개선

이창영, 현교환, *이현관, **정성부, 엄기환

동국대학교, *호남대학교, **서일대학교

Improvement of Control Performance for Autonomous Mobile Robot using the Embedded System

Chang-Young Lee, Kyo-Hwan Hyun, *Hyun-Kwan Lee, **Sung-Boo Jung, Ki-Hwan Eom
Dept. of Electronic Eng., Dongguk University, **Dept. of Internet Programming, Honam
University, **Dept. of Electronic Eng., Seoil College
E-mail : imirror@paran.com

요약

본 논문에서는 임베디드 시스템을 이용한 자율이동로봇의 제어성능을 개선하는 방식을 제안한다. 제안한 방식은 자율이동로봇의 핵심기술이라 할 수 있는 액추에이터 제어방법을 위해 연산량이 적은 임베디드 시스템으로 구성할 수 있는 개선된 PID 제어방식이다. 제안한 방식은 오차가 감소하는 구간에서는 기존의 방법과 마찬가지로 오차를 누적하고 오차가 증가하는 구간에서는 누적이 아닌 차감을 함으로써 기존의 일반적인 PID 제어방식에 비하여 오버슈트(overshoot)를 감소시키고, 정착시간(settling time)을 빠르게 하여 성능을 향상한다.

제안한 PID 방식의 유용성을 확인하기 위하여 DC 모터에 대한 위치제어 시뮬레이션 및 직접 임베디드 시스템(ATmega 128)을 이용해 제작한 자율이동로봇의 자세제어실험 등을 통하여 기존의 일반적인 PID(GPID) 제어방식, 변형된 PID(MPID) 제어방식등과 비교 검토한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a improved control performance for autonomous mobile robot using the embeded system. The proposed PID(PPID) control method removes steady state error, and has good performance in transient response. The integral term in the proposed method accumulates errors in increment section, inverses errors in decrement section, and increases the effect of integral coefficient around target. Therefore, the PPID control method decreases the overshoot, and makes settling time faster than general PID(GPID) control method.

In order to verify the effectiveness of the proposed method(PPID), we simulated the position control of DC motor, and experimented the velocity control of autonomous mobile robot. The PPID control method demonstrated good control performance that decrease overshoot and settling time in simulation and experiments.

키워드

자율이동로봇, 임베디드, 개선된 PID

1. 서론

자율이동로봇이란 자신의 위치, 거리 등의 주변상황을 스스로 인식 및 판단하여 움직이는 지능형로봇이다. 이것의 구성요소 중 동역학적 해

심인 액추에이터에는 모터가 주종을 이루며, 이러한 모터의 제어 방식으로는 PID 제어방식이나 이를 응용한 제어방식이 상용제어방식으로 널리 사용되고 있으나 일반 적인 PID 제어방식에서 적분항은 정상상태오차를 없애는 장점이

있으나 오차의 누적으로 인한 과도응답특성의 불안정성을 야기하는 구조적인 단점이 있다 [1-4].

최근에는 프로세서, 집적 회로, 통신 및 신호처리 기술의 발전에 힘입어서 하드웨어와 소프트웨어가 조합된 시스템 혹은 전용하드웨어와 프로세서를 구동하여 특정한 기능을 수행하도록 프로그램이 내장되어 있는 시스템, 즉 임베디드 시스템(Embedded System)이 부각되고 있다. 그러나 이러한 임베디드 시스템은 하드웨어나 소프트웨어 면에서 제한을 받고 있다[5-8].

본 논문에서는 임베디드 시스템을 이용한 자율이동로봇의 제어성능을 개선하는 방식을 제안한다. 제안한 방식은 자율이동로봇의 핵심기술이라 할 수 있는 액추에이터 제어방법을 위해 연산량이 적어 임베디드 시스템으로 구성할 수 있는 개선된 PID 제어방식이다. 제안한 방식은 오차가 감소하는 구간에서는 기존의 방법과 마찬가지로 오차를 누적하고 오차가 증가하는 구간에서는 누적이 아닌 차감을 함으로써 기존의 일반적인 PID 제어방식에 비하여 오버슈트(overshoot)를 감소시키고, 정착시간(settling time)을 빠르게 하여 성능을 향상한다.

제안한 PID 방식의 유용성을 확인하기 위하여 DC 모터에 대한 위치제어 시뮬레이션 및 직접 임베디드 시스템(ATmega 128)을 이용해 제작한 자율이동로봇의 자체제어실험 등을 통하여 기존의 일반적인 PID(GPID) 제어방식, 변형된 PID(MPID) 제어방식등과 비교 검토한다.

II. 제안한 PID 제어방식

2-1. 일반적인 PID(GPID : General PID) 제어방식

일반적인 PID 제어방식의 구성은 그림 2-1과 같다[1].

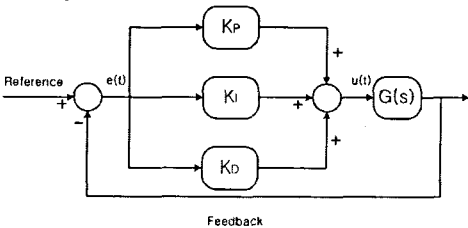


그림 2-1. 일반적인 PID(GPID) 제어방식의 블록선도
Fig. 2-1. Block diagram of general PID control method.

시간영역에서 PID 제어신호를 표시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2-1)$$

여기서 K_p, K_i, K_d 는 PID 제어방식의 비례, 적분, 미분의 파라미터를 나타낸 것으로 모두

조절 가능하다.

2-2. 변형된 PID(MPID : Modified PID) 제어방식

그림 2-2의 블록선도는 [3]에서 제안한 방식으로 플랜트에 MPID 제어방식을 연결한 피드백 제어시스템을 보여주고 있다.

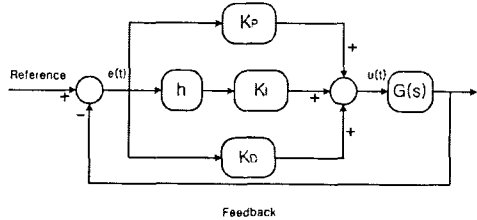


그림 2-2. 변형된 PID(MPID) 제어방식의 블록선도
Fig. 2-2. Block diagram of modified PID control method.

MPID 방식을 시간영역에서 PID 제어신호를 표시하면 다음 식 (4-4) 와 같이 나타낼 수 있다 [3].

$$u(t) = K_p e(t) + (h \cdot K_i) \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2-2)$$

$$h = \begin{cases} 1, & \text{sgn}(e) \cdot e'(t) \leq 0 \\ 0, & \text{sgn}(e) \cdot e'(t) > 0 \end{cases}$$

2-3. 제안한 PID 제어방식

그림 2-3의 블록선도는 플랜트에 제안한 PID(PPID : Proposed PID) 제어방식을 연결한 전체적인 제어시스템을 보여주고 있다.

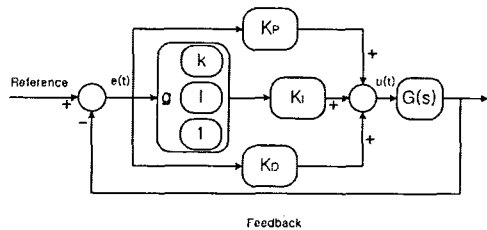


그림 2-3. 제안한 PID(PPID) 제어방식의 블록선도
Fig. 2-3. Block diagram of proposed PID control method.

제안한 PPID 방식을 시간영역에서 PID 제어신호를 표시하면 다음 식 (4-7) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(t) = K_p e(t) + (g \cdot K_i) \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2-3)$$

$$g = \begin{cases} k, e(n) \leq \delta \\ l, e(n) > \delta \text{ and } \text{sgn}(e) \cdot e'(t) \leq 0 \\ 1, e(n) > \delta \text{ and } \text{sgn}(e) \cdot e'(t) > 0 \end{cases}$$

제안한 PPID 제어방식은 구간을 δ 이상과 이하, 오차의 증가, 감소로 나누어 적분 계수의 크기를 조정하여 적분제어를 함으로써 불필요한 오차의 누적을 막고 정착시간을 단축시킴으로써 PID 제어방식 중 적분항의 단점인 오버슈트를 줄이고 장점인 정상상태오차 소멸을 부각시켜 시스템의 오버슈트를 줄이고 응답속도를 개선시킨다.

III. 시뮬레이션 및 실험

3-1. DC모터의 위치제어 시뮬레이션

DC 모터의 스텝응답 시뮬레이션을 위하여 DC 서보모터를 모델링 하였으며, 모델링 한 모터의 상태변수 방정식은 다음과 같다[10].

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{K_t} \\ \frac{1}{T} \end{bmatrix} u(t) \quad (3-1)$$

여기서, x_1 은 거리 x_2 는 속도, T 는 시간상수로 $T = 30 \times 10^{-3} [\text{sec}]$ 이며 K_t 는 회전 속도 상수로 $K_t = 262 \times 2 \times \pi / 60 [\text{rad/V} - \text{sec}]$ 이다.

설정된 PID 제어방식의 파라미터 값은 퍼센트 오버슈트 60%, 정착시간 0.5초의 설계사양에 맞춰진 $K_p = 2, K_i = 0.06, K_d = 2$ 이다.

DC 모터의 위치 제어에 대하여 GPID 제어방식, MPID 제어방식과 PPID 제어방식의 시뮬레이션 결과는 그림 3-1과 같다.

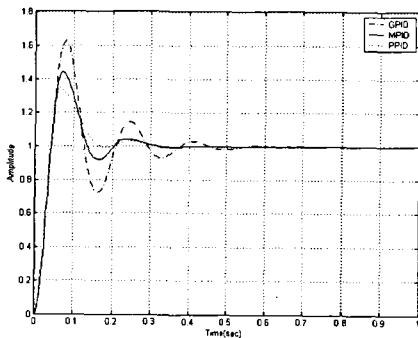


그림 3-1. DC 모터 시뮬레이션 결과
Fig. 3-1. Result of DC motor simulation.

그림 3-1의 그래프에서 가로축은 시간영역이고 세로축은 위치이다. 표 3-1은 그림 3-1의 응답 곡선에 대한 결과이다.

표 3-1. DC 모터 시뮬레이션 결과

Table 3-1. Result of DC motor simulation

	GPID	MPID	PPID
Overshoot(%)	63	45	35
Settling Time	0.45[sec]	0.29[sec]	0.27[sec]

3-2. 자율이동로봇의 속도 제어 실험

전체적인 실험 시스템의 시스템 블록선도는 그림 5-2와 같다.

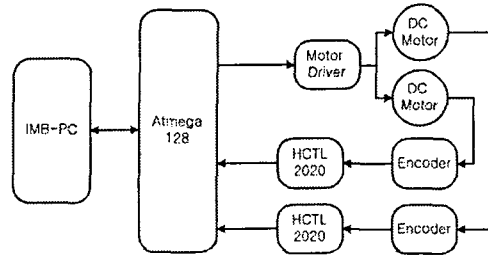


그림 3-2. 전체 실험 장치의 블록선도

Fig. 3-2. Block diagram of experimental setup.

그림 3-2의 구성도와 같이 제작한 자율이동로봇은 그림 3-3과 같다.

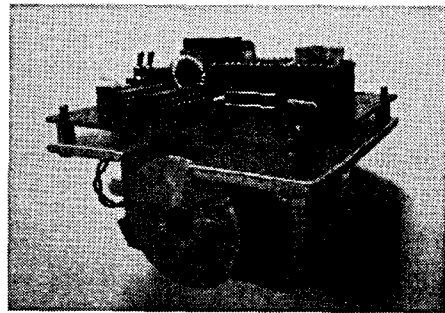


그림 3-3. DC 모터를 이용한 자율이동로봇 사진
Fig. 3-3. Pictures of autonomous mobile robot with DC motor.

PID 제어방식의 파라미터는 왼쪽 오른쪽 모두 $K_p = 2, K_i = 0.06, K_d = 2$ 로 설정하였다.

실험 조건은 로봇이 정지상태에서 각속도가 4 rad/sec 가 될 때까지의 응답실험과 가속이 완료된 후 다시 로봇이 정지할 때까지의 응답실험에 대해 이루어 졌다.

DC 모터 자율이동로봇의 가속제어에 대한 실험 결과는 그림 3-4이며, 감속제어에 대한 실험 결과는 그림 3-5와 같다.

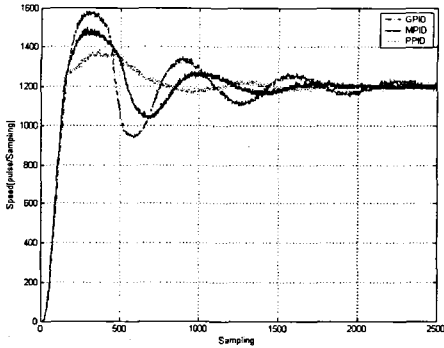


그림 3-4. 가속제어 실험에 대한 응답곡선
Fig. 3-4. Response curve for acceleration.

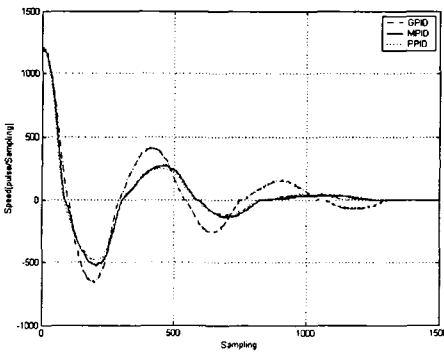


그림 3-5. 감속제어 실험에 대한 응답곡선
Fig. 3-5. Response curve for deceleration.

표 3-2. 가속제어 실험 결과
Table 3-2. Result of acceleration

	GPID	MPID	PPID
Overshoot(%)	30	21.6	12.5
Settling Time	2400	1850	1350

표 3-3. 감속제어 실험 결과
Table 3-3. Result of deceleration

	GPID	MPID	PPID
Overshoot(%)	55	44.1	40.8
Settling Time	1300	1200	1100

IV. 결론

본 논문에서는 임베디드 시스템을 이용한 자율이동로봇의 제어성능 개선 방식을 제안하였다.

제안한 방식은 오차 크기와 장·단점에 따라 범위를 구별하여 오차가 점점 증가하여 적분항의 동작이 제어방식의 성능에 도움이 되지 않는 구간에서는 적분항을 역으로 동작 시키고, 오차가 줄어드는 구간에서는 적분계수를 변화하지 않고 일반적으로 동작을 시키며, 정상상태 부분에서는 적분 계수의 값을 증가시켜 적분항의 영향을 크게 하여 오버슈트를 줄이고 정착시간을 단축시킴으로써 시스템의 상호대립적인 응답속도와 오버슈트를 모두 개선시킨다.

제안한 제어방식의 유용성을 확인하기 위하여 컴퓨터를 이용한 위치제어 시뮬레이션과 임베디드 시스템(ATmega128)에 적용한 자율이동로봇의 속도 제어 실험을 수행한 결과 GPID방식, MPID보다 우수한 성능이 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Jack Golten, Andy Verwer, "Control system Design and Simulation," McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1992.
Richard C. Dorf & Robert H. Bishop,
- [2] "Modern Control System," Ninth-edition, Prentice Hall, 2002.
- [3] Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering," Third-edition, Prentice Hall, 1996.
- [4] 이정훈, 강성호, "변형된 적분 파라미터를 가진 PID 제어방식," 대한전자공학회논문지 SC, 1229-6392, 제41권6호, pp.11-16, 2004.
- [5] 김영춘, 김정훈, "Embedded system을 적용한 Rotary Inverted Pendulum 설계 및 PID에 의한 구현," 대한전자공학회, 하계종합학술대회 논문집(5), pp.5-8, 2002
- [6] 이주원, "디지털 제어를 이용한 Pendulum 제어"
- [7] 김종환 외, "로봇 축구 공학," KAIST Press, 2002.
- [8] "Getting the best out of PID in machine control," in Proc. Dig. Inst. Elect. Eng. PG16 Colloquium(96/287), London, U.K., Oct. 24, 1996.