

무인탐사차량의 위치제어를 위한 복합제어 시스템의 제어기 전이관리

Controller Transition Management of Hybrid Position Control System for Unmanned Expedition Vehicles

양 철 관, 심 덕 선*
(Cheol-Kwan Yang and Duk-Sun Shim)

Abstract : A position control problem is studied for UEV(Unmanned Expedition Vehicles), which is to follow pre-determined paths via fixed way-points. Hybrid control systems are used for position control of UEV depending on the operating condition. Speed control consists of three controllers: PID control, adaptive PI control, and neural network. Heading control consists of two controllers, PID and adaptive PID control. The controllers are selected based on the changes of road conditions. We suggest an adaptive PI control algorithm for speed control and an transition management algorithm among the controllers. The algorithm adapts the road conditions and variation of vehicle dynamical characteristics and selects a suitable controller.

Keywords : hybrid control, position control, adaptive PI control, unmanned expedition vehicles, transition management

I. 서론

복잡한 제어시스템은 종종 하나의 플랜트에 대해 여러 개의 제어기를 갖고 있으며 주어진 플랜트의 동작 조건에 따라 임의의 주어진 시간에 하나의 제어기만 동작한다[1]. 예를 들어 보통 조건에서 동작하는 시스템이 고장이 발생하거나 시스템의 파라미터가 바뀌면 다른 제어기를 사용해야 한다. 무인탐사차량의 경우 운전자가 없으므로 노면의 상태나 날씨 변화에 따른 플랜트의 특성 변화에 잘 적응해야 한다.

지상차량에서는 위치제어를 위해 속도제어와 방향제어의 두 개의 폐회로를 형성하게 된다. 또 각 위치에서 기준 속력과 방향을 정해야하므로 차량의 위치 제어는 다중루프를 형성하게 된다. [2]에서는 차량의 속도제어에 PID 제어기와 신경망 제어기를 사용하였고 [3]에서는 차량의 차선 유지를 위한 제어기에 H_∞ 제어, 적응제어, PID 제어와 퍼지제어의 성능을 비교하는 연구를 하였다. [3]에서는 차선유지를 위한 제어기의 성능을 단순 비교하였으며 어떤 조건에서 어떤 제어기를 사용하는지에 대한 언급은 없다. [2]에서는 PID 제어기를 사용하다가 시스템의 파라미터가 바뀌면 신경망 제어기를 사용하는 전이관리를 하고 있다. 그러나 신경망제어기는 정상상태 오차를 유발한다.

본 논문에서는 무인탐사차량의 위치제어를 다룬다. 위치제어의 목적은 탐사차량이 고정된 경로점을 통과하여 미리 정해진 경로를 수행하는 것이다. 경로의 노면 상태는 지역적으로 다르며 기상 상태에 따라서 같은 장소에서도 달라진다. 따라서 무인탐사차량의 위치제어를 위해 PID 제어,

적응 PI 제어, 적응 PID 제어, 신경망제어로 구성되는 복합 제어 시스템을 사용한다. 각각의 제어기는 차량의 특성을 나타내는 파라미터나 도로 조건의 변화에 의해 결정된다. 이 논문에서는 속도제어에 사용되는 적응 PI 제어기를 제안한다. 즉 플랜트의 파라미터가 바뀔 때 시스템의 안정도와 특정 성능을 보장하는 PI 제어기의 파라미터를 구하는 법칙(rule)을 제안한다. 또 제어기 중에서 어느 것을 사용할지를 결정하는 전이관리 알고리즘을 제안한다. [2]에서는 차량의 방향과 관계없이 무인탐사차량의 속력이 일정할 때 일반적으로 방향의 전환이 클 때에는 속력이 줄어야 한다. 이 논문에서는 이 점을 고려하여 차량의 속력을 방향의 함수로 사용하였다.

II장에서는 무인탐사차량의 경로제어를 다룬다. 차량의 모델과 매 위치에서의 차량의 속력과 방향을 정하는 외부 루프(loop)에 대한 내용을 다룬다. III장에서는 속도제어 및 방향제어를 수행하는 내부 루프에 대한 제어 알고리즘을 다룬다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를, V장에서는 속도제어에 대한 제어기의 전이관리를 다루고 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 무인탐사차량의 경로(path) 제어

이 장에서는 무인탐사차량의 경로제어를 기술한다. 그림 1에서 경로제어기는 각 위치에서의 차량의 속력과 방향을 정한다. 매 순간마다 차량의 항법시스템으로부터 현재의 위치를 측정하고 다음 경로점과의 관계로부터 차량의 속력과 방향을 정하며 이 값이 차량의 속도제어와 방위각 제어의 기준 입력값으로 사용하게 된다.

1. 무인탐사차량의 경로 제어

본 논문에서는 자율적으로 이동하는 무인탐사차량의 속도 제어와 방위각 제어를 통하여 탐사차량의 위치를 제어한다. GPS와 INS같은 항법시스템을 사용하여 무인탐사차량의 위치를 얻는다고 가정하고 이런 정보로부터 무인탐사차

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 12. 6., 채택확정 : 2008. 6. 18.

양철관, 심덕선 : 중앙대학교 전자전기공학부

(ckyang92@empal.com/dshim@cau.ac.kr)

※ 본 논문은 2007년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비)에서 지원하여 연구하였음.

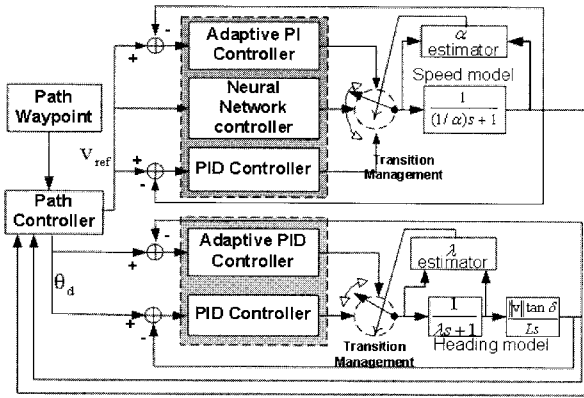


그림 1. 무인탐사차량의 위치제어 시스템.
Fig. 1. Position control system of UEV.

량의 위치를 결정한 후 원하는 목표 지점(다음 경로점)에 도달하도록 속력과 방위각을 제어하는 구조이다. 즉, 속력 제어기와 방위각 제어기의 입력 값을 경로 제어기에서 결정한다.

경로를 따라 위치 정보가 주어지면 동작 조건에 맞게 PID 제어, 적응 PI 제어, 신경망 제어, 적응 PID 제어중 하나가 사용된다. 속력이나 방향에 대해 피드백 제어를 이루기 위해 다중 루프가 구현된다.

2. 무인탐사차량 모델

탐사차량의 방위각 모델은 Ellis 자전거 모델을 사용하였다. Ellis 자전거 모델은 2륜 차량에 적합한 모델로서 바퀴의 미끄러짐과 같은 매개변수 값들을 고려하지 않은 모델이다. 본 논문에서 고려하고 있는 무인탐사차량은 4륜 차량으로서 차량의 운행 속력이 저속이고 크기가 작으며 바퀴의 미끄러짐과 같은 현상은 거의 무시할 수 있으므로 Ellis 자전거 모델을 탐사차량의 방위각 모델로 이용하였다. 차량의 방위각은 전륜구동에 의해 제어된다.

그림 2로부터 차량의 방향 변화율은 (1)과 같다[4].

$$\dot{\theta}_k = \frac{\|V\|}{L} \tan \delta \tag{1}$$

여기서, L 은 차량의 앞뒤 바퀴 축을 기준으로 한 길이이며, δ 는 차량의 앞바퀴 회전각이며 액튜에이터 회전 한계는 $\pm 20[\text{degree}]$ 로 가정하였다. 이러한 δ 의 한계에 대한 가정은 (1)의 비선형 모델식을 선형 모델식으로 근사화할 수 있어

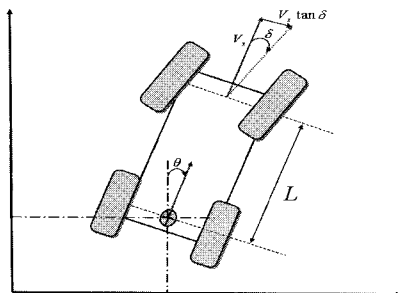


그림 2. Ellis 자전거 모델.
Fig. 2. Ellis bicycle model.

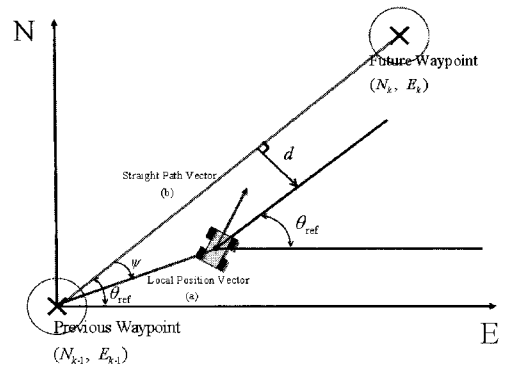


그림 3. 무인탐사차량의 경로제어.
Fig. 3. Path control of UEV.

선형 제어기를 사용하는 것을 가능하게 하지만 (1)의 속력 항인 $\|V\|$ 는 시변이므로 일반적인 선형 제어기를 사용하는 것이 어려워진다. 본 논문에서는 여러 $\|V\|$ 값들에 대해 다양한 시뮬레이션을 수행하여 어느 정도의 성능을 유지하는 선형 제어기를 설계하는 방법을 사용하였다.

3. 무인탐사차량의 속력과 방위각

무인탐사차량이 경로 추적을 원활히 수행하기 위해서는 무엇보다도 탐사차량의 방위각 설정이 매우 중요하다. 이러한 방위각 설정은 과거의 목표 지점과 미래의 목표 지점을 이용하여 구할 수 있는데 그림 3에서 횡방향 거리(lateral distance) d 가 최소화 되도록 방위각을 계획해야 한다. 이를 만족하는 방위각 제어 입력은 (2)와 같다[4].

그림 3에서 벡터 a 는 전경로점에서 차량까지의 벡터이고 벡터 b 는 전경로점에서 다음 경로점까지의 벡터이다. 그 사이각이 ψ 이며 양, 음의 부호를 갖는다.

$$\psi = \frac{\det[a,b]}{\|\det[a,b]\|} \arccos \left(\frac{a \cdot b}{\|a\| \|b\|} \right)$$

현재의 차량위치에서 경로점으로 향하는 새로운 heading은 다음과 같다[4].

$$\theta_d = \theta_{ref} + \frac{\|a\| \sin(\psi)}{\tau \|v_{ref}\|} \tag{2}$$

여기서 $d = \|a\| \sin(\psi)$ 이다. d 는 차량이 벡터 b 의 우측에 있으면 양수이고 좌측에 있으면 음수값을 갖는다. (2)는 거리 d 를 줄이기 위한 방위각을 제공하며 τ 는 약 1.1-2.0초 사이의 값을 가진다[4]. V_{ref} 는 속력제어기에 대한 기준 입력이며 ψ 의 함수로 주어진다.

$$V_{ref}(\psi) = \frac{V_{max}}{2} (1 + \cos(\psi)) \tag{3}$$

(3)은 차량의 현재 방향이 다음 경로점과 멀어서 회전을 많이 해야 될 때 속력을 줄이기 위한 것이다.

III 복합제어시스템: PID, 적응 PI와 신경망제어기

그림 1은 PID 제어(속력, 방위각), 적응 PI 제어(속력), 신경망제어기(속력)와 적응 PID 제어(방위각)를 포함한 복합

제어기와 이들 사이의 전이관리를 포함한 전체 제어시스템의 블록도이다. 이 제어시스템은 내외부 두 개의 폐루프를 구성하고 있다. 내부의 루프는 경로제어기에서 속력과 방향 (V_d, θ_d) 이 정해지면 이 값을 추종하는 낮은 단계의 제어이고 경로제어기는 매순간의 위치와 방향으로부터 새로운 속력과 방향 (V_d, θ_d) 을 정한다. V_d 는 (3)의 V_{ref} 이다.

차량의 속력은 1차 시스템으로 모델링하였고 기본적으로 PID 제어기가 사용된다. 측정치는 이산시간에서 얻어지며 제어기는 디지털 제어기에 100[Hz] 샘플링의 zero-order hold를 사용한다.

(1)과 같이 방위각 모델은 비선형 시변이므로 일반적인 PID 제어기를 해석적으로 설계하는 것이 어렵다. 그러므로 본 논문에서는 방위각 제어를 위한 PID 제어기의 계수 값들을 결정하기 위하여 시변 항인 $\|V\|$ 값들을 여러 값으로 변화 시켜가면서 다양한 시뮬레이션을 수행하여 어느 정도의 성능을 유지하는 계수 값들을 구하는 방법을 사용하였다.

1. PID 제어기

사용한 연속 PID 제어기는 다음과 같은 전달함수를 갖는다[5].

$$K^c(s) = k_p \left[1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{1 + T_D s/N} \right]$$

여기서 k_p 는 비례이득이고, $T_I = \frac{k_p}{k_f}$ 는 적분상수이고, T_D 는 미분상수이다. 미분제어의 경우 순수미분대신 극점 $s = -N/T_D$ 가 s-평면의 왼쪽 멀리에 있는 "필터링된 미분"이 사용되었다. N값은 대개 3-10정도의 범위를 갖으며 제어기 사용자에게 의해 고정된다. 본 논문에서는 여러 번의 시뮬레이션을 수행하여 성능을 분석한 결과 N=5의 값을 사용하는 경우가 적절함을 알 수 있었다. 위의 미분 방정식은 쉽게 다음과 같은 차분방정식으로 구현될 수 있다[5].

$$K(z^{-1}) = k_p \left[1 + \frac{k_f}{k_p} \Delta t \frac{z^{-1}}{1-z^{-1}} + N \frac{1-z^{-1}}{1-\zeta z^{-1}} \right]$$

여기서 z^{-1} 는 시간영역에서의 단위시간지연이고, Δt 는 샘플링 시간 간격이다.

위 제어기의 입력이 추적오차(tracking error) e_k 이면 제어 입력 u_k 는 다음과 같다: $u_k = K(z^{-1})e_k$.

제어입력 u_k 는 다음과 같이 시간영역으로 표시된다.

$$\begin{aligned} v_k^I &= v_{k-1}^I + (\Delta t/T_I) e_{k-1} \\ v_k^D &= \zeta v_{k-1}^D + N(e_k - e_{k-1}) \\ u_k &= k_p(e_k + v_k^I + v_k^D) \end{aligned}$$

여기서 $\zeta = e^{-N\Delta t/T_D}$ 이고 변수 v_k^I 와 v_k^D 는 각각 PID 제어기의 적분과 미분항을 의미한다.

2. 신경망 제어기

본 논문에서는 탐사차량의 속력 제어에 있어서 신경망 제어기를 사용하였다. 본 논문에서 사용한 신경망 제어기는

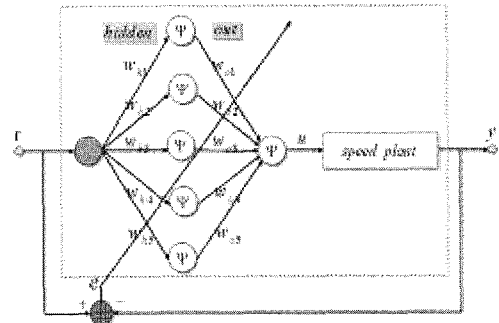


그림 4. 신경망 제어기의 학습구조(역전파).

Fig. 4. Training structure of neural network controller(back-propagation).

비동적 신경망(non-dynamic neural network) 제어기로 동적 시스템과는 달리 상태변수가 없다[6]. 또한 제어 입력 신호가 순방향으로만 전달되는 개루프(open-loop) 제어로서 정밀한 제어가 되지 않는 단점이 있으나 폐루프 제어에서 발생할 수 있는 불안정성이 발생하지 않는다는 특징이 있다. 따라서, 본 논문에서는 주 제어기로서 PID, 또는 적응 제어기를 사용하다 탐사 차량 시스템의 특성이 크게 변화하여 이 두 제어기를 사용할 수 없을 경우에 성능을 희생하더라도 시스템의 안정성을 확보하기 위해서 신경망 제어기를 사용하도록 하였다. 본 논문에서 설계한 신경망 제어기는 그림 4와 같이 입력층, 은닉층 그리고 출력층의 유닛 개수가 각각 1개, 5개, 1개로 설계하였고 역전파 알고리즘을 이용하여 신경망 제어기를 학습시켰다.

3. 적응 PI 제어기(속력)

본 논문에서는 적응 PI 방법을 새롭게 제안한다. 도로 상태의 변화나 차량 부품의 고장 등의 이유로 차량 운행 중에 플랜트의 파라미터가 변할 수 있으며 이 때 변한 파라미터를 식별(identify)해야 할 필요가 있다. 적응 PI 제어기를 설계하기 전에 속력모델의 안정도를 생각해 본다.

그림 5에서 속력제어시스템은 3개의 부분으로 구성된다. 각 모델은 다음과 같이 표현된다.

플랜트 모델: $G_1(s) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} s + 1}$

DAC 모델: $\frac{1 - e^{-Ts}}{s}$

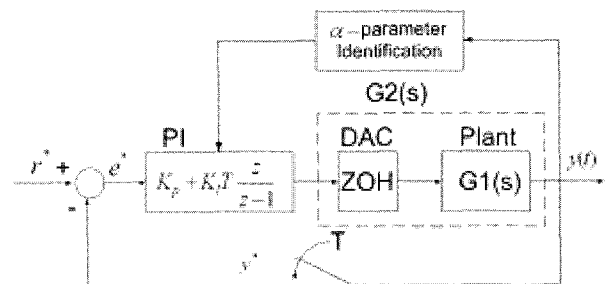


그림 5. 속력 모델에 대한 적응 PI 제어기.

Fig. 5. Adaptive PI controller of speed model.

이산시간 적응 PI 제어기: $G^C(z) = K_p + K_I T \frac{z}{z-1}$

위 모델에서 T 는 샘플링 간격이고 $\frac{1}{\alpha}$ 은 1차 시스템의 시상수이다. 전달함수 $G_2(s)$ 는 다음과 같이 얻어진다.

$$G_2(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} G_1(s)$$

연속모델 $G_2(s)$ 에 대한 이산모델은 다음과 같다.

$$G_2(z) = \left(\frac{z}{z-1} - \frac{z}{z - e^{-\alpha T}} \right) (1 - z^{-1})$$

그림 5에서 PI 제어기와 윗식 $G_2(s)$ 로부터 아래와 같은 피드백시스템의 특성식을 얻을 수 있다.

$$z^2 + (K_p - K_p\beta - K_I T\beta + K_I T - 1 - \beta)z + K_p\beta - K_p + \beta = 0 \tag{4}$$

(4)에 대한 Jury의 안정도 판별식을 적용하면 피드백 시스템의 안정을 위한 필요충분조건은 다음과 같다.

$$0 < K_p < \frac{1+\beta}{1-\beta} \quad \text{and} \quad 0 < 2K_p + TK_I < 2\frac{1+\beta}{1-\beta}$$

여기서 $\beta \equiv e^{-\alpha T} (0 < \beta < 1)$.

그림 6은 위의 두 조건으로부터 PI 제어기의 두 파라미터 K_p, K_I 를 변수로 하는 안정도 영역을 나타낸다.

도로상황의 변화나 플랜트의 고장은 플랜트 $G_1(s)$ 에서 α (속력모델의 파라미터)의 변화를 의미하며 α 가 변할 때, 새로운 PI이득 K_p, K_I 를 찾아야 한다. β 는 α 의 함수이므로 α 가 변하면 안정도 영역도 변하게 된다. 따라서 플랜트가 변할 때 이에 따라 안정도와 성능을 보장하는 K_p, K_I 를 β 의 함수로(즉 α 의 함수로) 찾으려고 한다. 이를 위해 (4)가 $(z - \bar{z})^2 = 0$ 와 같이 중근을 갖도록 하면 K_p, K_I 를 (5)와 같이 얻을 수 있다.

$$K_p = \frac{\beta - \bar{z}^2}{1 - \beta}, \quad K_I T = \frac{(\bar{z} - 1)^2}{1 - \beta} \tag{5}$$

여기서 중근은 $\bar{z} = e^{T\bar{s}}$ 이며 s-평면상에 실근 $\bar{s} = \frac{1}{T} \ln \bar{z} = -\sigma_D$

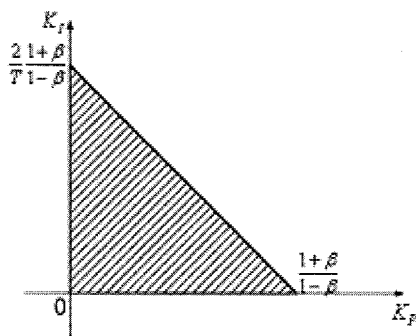


그림 6. K_p, K_I 이득에 대한 안정도 영역.
Fig. 6. Stability region for K_p, K_I .

을 갖으며 settling time은 $T_s \approx \frac{4}{\sigma_D}$ 로 주어진다. 따라서 제어 이득 K_p 와 K_I 는 settling time T_s 로부터 얻을 수 있다. 예를 들어 속력 모델의 시정수 $\frac{1}{\alpha}$ 가 5초이면 settling time T_s 이 1초이고 K_p 와 K_I 는 각각 37.48과 76.95이다.

4. 적응 PID 제어기(방위각)

무인탐사차량은 도로 표면의 재질, 굴곡, 마찰력 등과 같은 여러 원인들에 의해 앞바퀴의 방향 전환에 소요 되는 시간이 변화하므로 속력 모델과 마찬가지로 방위각 모델의 시상수(time-constant) λ 값(그림 1참조)을 보상하는 제어기를 고려하여야 한다. 하지만, 시불변 선형인 속력 모델과는 다르게 방위각 모델은 시변 비선형항 ($\frac{\|V\|}{L} \tan \delta$)을 포함하고 있기 때문에 이를 고려한 제어기를 설계해야 한다. 본 논문에서는 먼저 방향 제어기의 안정도를 보장하기 위해서 비선형 항을 고려한 안정도 판별 기법인 circle criterion 판별법을 이용하여 이를 만족하는 PID 제어기의 계수 값들을 구한 후 이러한 값들 중 방위각 제어 성능이 우수한 계수 값들을 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 시뮬레이션 분석 결과 PID 제어기의 계수 값들 중 특히 시스템의 응답 속력을 개선하는 효과가 큰 미분 제어기의 계수 값에 성능이 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서는 여러 번의 시뮬레이션을 수행하여 성능을 분석한 결과 실험적으로 아래와 같은 (6)의 미분 제어기의 계수값 K_d 를 구할 수 있었다.

$$K_d = (\lambda - 0.5) * 10 \tag{6}$$

본 논문에서는 무인탐사차량의 방위각 제어를 위한 적응 PID 제어기의 계수 값들을 다음과 같이 구성하였다. 먼저, 비례 제어기의 계수값 K_p 와 적분 제어기의 계수값 K_I 는 일반적인 PID 제어기에서 구한 값들을 사용하였고 단지 미분 제어기의 계수값 K_d 는 (6)과 같이 설정하였다. (6)은 실제 시스템의 경우 플랜트의 특성에 맞게 새로 구해서 사용해야 한다.

5. 속력 및 방위각 제어기들에 대한 전이관리

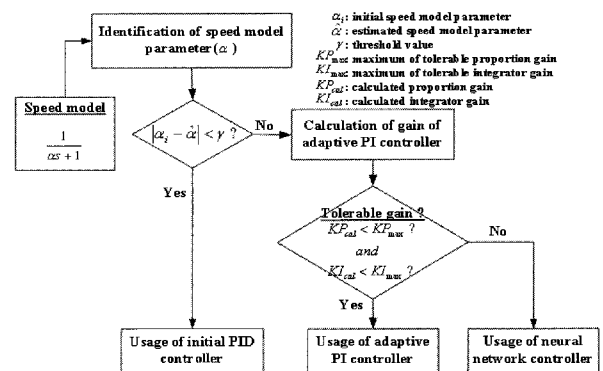


그림 7. 속력 제어기에 대한 전이관리 알고리즘.
Fig. 7. Transition management algorithm for speed controller.

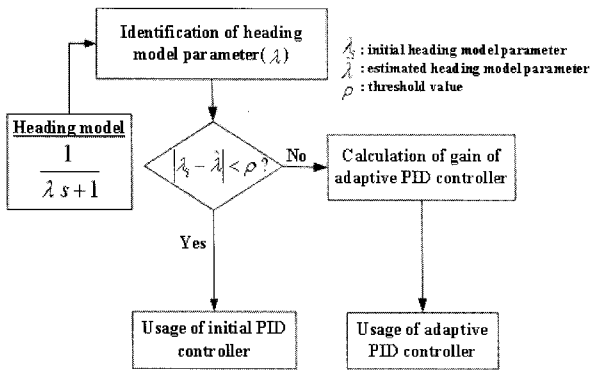


그림 8. 방위각 제어기에 대한 전이관리 알고리즘.
Fig. 8. Transition management algorithm for heading controller.

그림 7은 본 논문에서 설계한 세 가지 속도 제어기에 대한 전이관리 알고리즘을 나타낸 것으로 알고리즘의 실행 순서는 다음과 같다. 먼저 속도 모델의 시상수 값인 α 를 순환 최소자승법(recursive least-square method)을 이용하여 추정한다. 시상수 추정값 $\hat{\alpha}$ 와 초기의 시상수 값 α 의 차가 경계값 이상으로 크게 발생하면 PID 제어기를 계속하여 사용할 때 전체 시스템이 발산할 수 있으므로 적응 PI 제어기나 신경망 제어기로 대체한다. 일반적으로 궤환 제어기가 비궤환 제어기보다 성능이 우수하므로 적응 PI 제어기를 먼저 적용한다. 하지만 추정된 $\hat{\alpha}$ 값이 매우 커서 적응 PI 제어기의 게수 값들이 한계값을 넘으면 비궤환 제어기인 신경망 제어기를 사용한다.

그림 8은 방위각 제어기에 대한 전이관리 알고리즘이며 속도 제어기에 대한 전이관리 알고리즘과 유사하게 동작한다. 여기서 방위각 모델의 시상수 λ 를 추정하기 위해서 본 논문에서는 앞바퀴의 회전 각도를 측정하는 각도 센서를 사용한다. 이 각도 센서와 순환 최소자승법을 이용하여 방위각 모델의 시상수 추정값 $\hat{\lambda}$ 을 구할 수 있다. 속도 제어기의 전이관리 알고리즘과 마찬가지로 방위각 모델의 시상수의 추정값 $\hat{\lambda}$ 를 초기 시상수 λ 값과 비교하여 두 값의 차이가 경계값보다 크면 PID 제어기를 적응 PID 제어기로 대체한다.

IV. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 조건

시뮬레이션은 다음과 같이 시행한다. 차량의 파라미터 중 속도 모델의 시상수와 방위각 모델의 시상수를 각각 1초와 0.5초로 놓고 시간이 12초 지난 후에 속력의 경우는 2초 혹은 0.1초로 바꾸고 방위각의 경우는 2초로 바꾼다. 이것은 시간이 지난 후에 시스템에 고장이 발생하거나 주변 환경 등의 변화로 시스템의 파라미터가 변한 것을 의미한다. 이와 같은 상황에서 속도제어의 경우 세 가지의 시뮬레이션을 실행한다: (1) 12초 후에 파라미터가 변하더라도 설계된 PID 제어기를 계속 사용함. (2) PID 제어기를 12초간 사용하다가 적응 PI 제어기를 사용함. (3) PID 제어기를 12초간 사용하다가 신경망제어기를 사용함. 방위각 제어의 경우도 이와 같다. 시뮬레이션에서 사용한 경로점은 다음과 같다.

(동[m], 북[m]) : (0, 0), (5, 20), (20, 35), (40, 20), (30, 8), (6, 5). 탐사차량에 대해 다음과 같은 가정을 한다. 그림 2에서 앞뒤 바퀴사이의 거리 $L = 0.75[m]$, 차체에 대한 앞바퀴의 최대 회전각도는 $30[degree]$, (3)에서의 차량최대속력은 $V_{max} = 3[m/sec]$, 샘플링 시간 $\Delta t = 0.01[sec]$, 제어기의 동작 주파수는 $100[Hz]$ 이다. 그리고 속도 및 방위각에 대한 PID 제어기의 이득 값은 여러 번의 시뮬레이션을 수행하여 알맞은 값을 결정하였다. 시뮬레이션에 사용된 비례제어기, 미분제어기 그리고 적분제어기의 각각의 이득 값은 $K_p = 100, K_d = 1, K_f = 10$ 이다.

2. 시뮬레이션 결과

그림 9는 일정한 속도 입력에 대한 세 가지 속도 제어기의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 즉 차량의 파라미터가 변하지 않을 때의 결과이다. 세 제어기의 성능을 보면 PID 제어기의 성능이 가장 우수함을 볼 수 있다. PID 제어기는 기준입력을 가장 잘 따라가는 반면 신경망제어기는 기준입력과의 정상상태 오차가 크고 적응 PI 제어기는 정상상태 오차는 없지만 느린 응답을 보여준다. 신경망제어기가 정상상태 오차가 큰 이유는 비궤환 제어구조를 가지고 있기 때문이다.

그림 10은 PID 제어기의 방향(heading) 제어의 성능을 보여준다. 그림에서 무선탐사차량이 기준 방향을 잘 따라감을

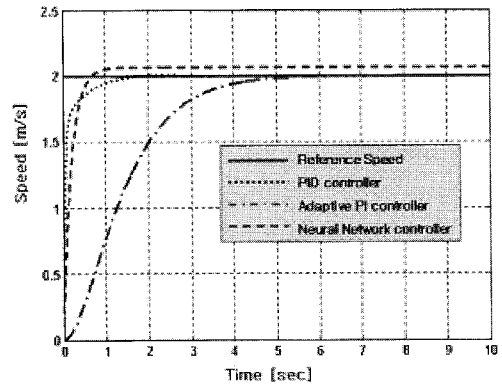


그림 9. 세 속도 제어기의 성능.
Fig. 9. Performance of three speed controllers.

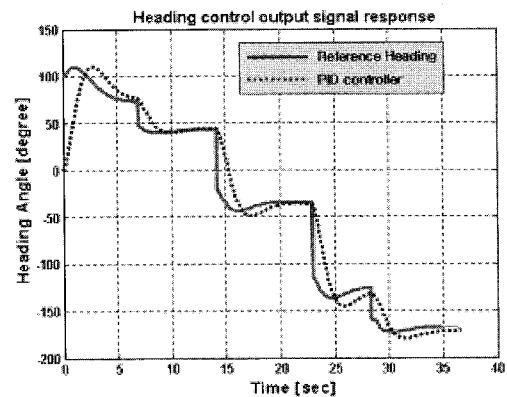


그림 10. PID 제어기의 방향제어 성능.
Fig. 10. Performance of PID controller for heading control.

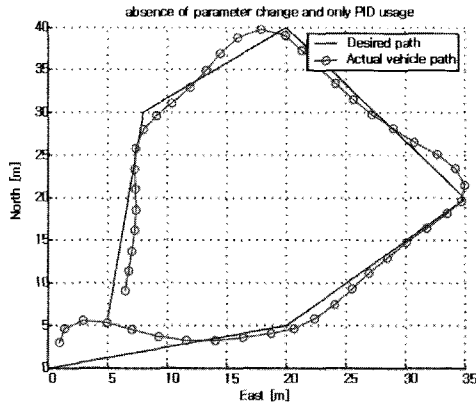


그림 11. PID 제어기의 위치제어 성능.
Fig. 11. Performance of PID controller for position control.

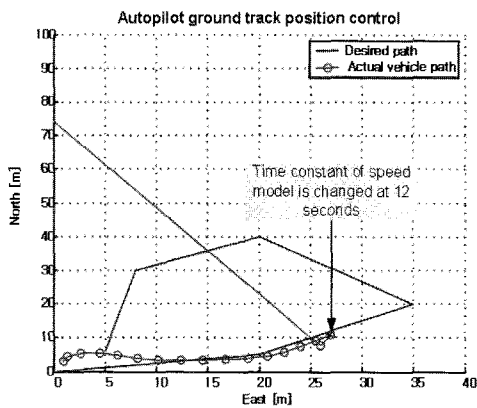


그림 12. 속도 파라미터 변화시 경로 추종 성능(12초 때에 속도 모델의 시상수 값이 1초에서 0.1초로 변경되었으나 PID 속도 제어기를 계속하여 사용한 경우).
Fig. 12. Path following performance for speed parameter change (time constant of speed model is changed from 1 to 0.1 at 12sec, but PID controller is still used).

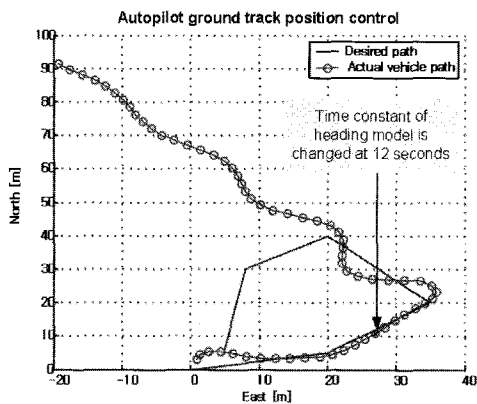
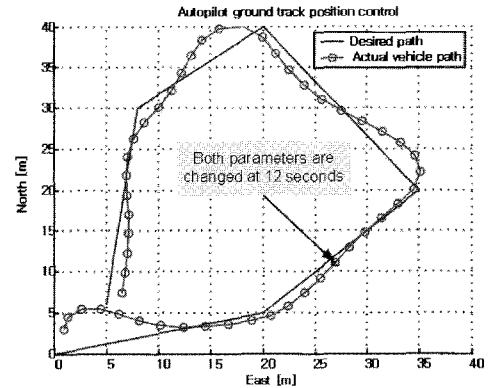
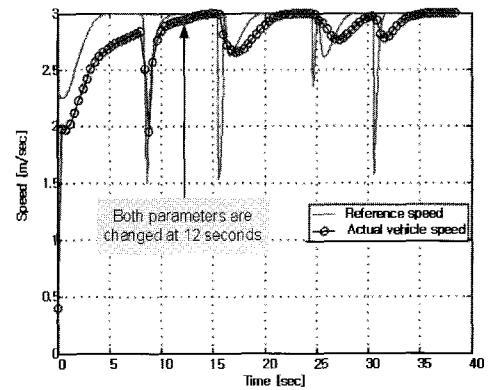


그림 13. 방향 파라미터 변화시 경로 추종 성능(12초 때에 방위 각 모델의 시상수 값이 0.5초에서 2초로 변경되었으나 PID 방위 각 제어기를 계속하여 사용한 경우).
Fig. 13. Path following performance for heading parameter change (time constant of heading model is changed from 0.5 to 2 at 12sec, but PID controller is still used).

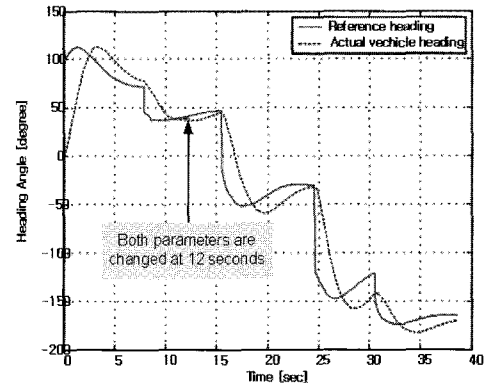
알 수 있고 1초 정도의 시간 지연이 있음을 볼 수 있다. 그림 11은 차량의 파라미터의 변화가 없을 경우 다섯 개의 경로점들에 대한 차량의 경로 추종 성능을 나타낸 것으로 추종이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.



(a) Path following performance



(b) Speed control performance



(c) Heading control performance

그림 14. 경로 속도 및 방위 각 제어 성능(12초 때에 파라미터 변화가 있고, 전이 관리 알고리즘에 따라 속도, 방위 각 PID 제어기가 적응 PI 속도 제어기, 적응 PID 방위 각 제어기로 각각 대체되었을 경우).

Fig. 14. Control performance of path, speed, and heading (Parameter changes at 12 sec, and speed and heading controllers are changed into adaptive PI controller and adaptive PID controller respectively according to transition management algorithm).

그림 12, 13은 12초 때에 속도 모델과 방위각 모델의 시상수 값이 각각 1초에서 0.1초, 0.5초에서 2초로 변화하였으나 PID 제어를 계속하여 사용하였을 경우 차량의 경로 추종 성능을 나타낸 것으로 두 경우 모두 경로를 추종하지 못하고 있음을 알 수 있다. 따라서 PID 제어를 다른 제어로 대체해야 함을 알 수 있다.

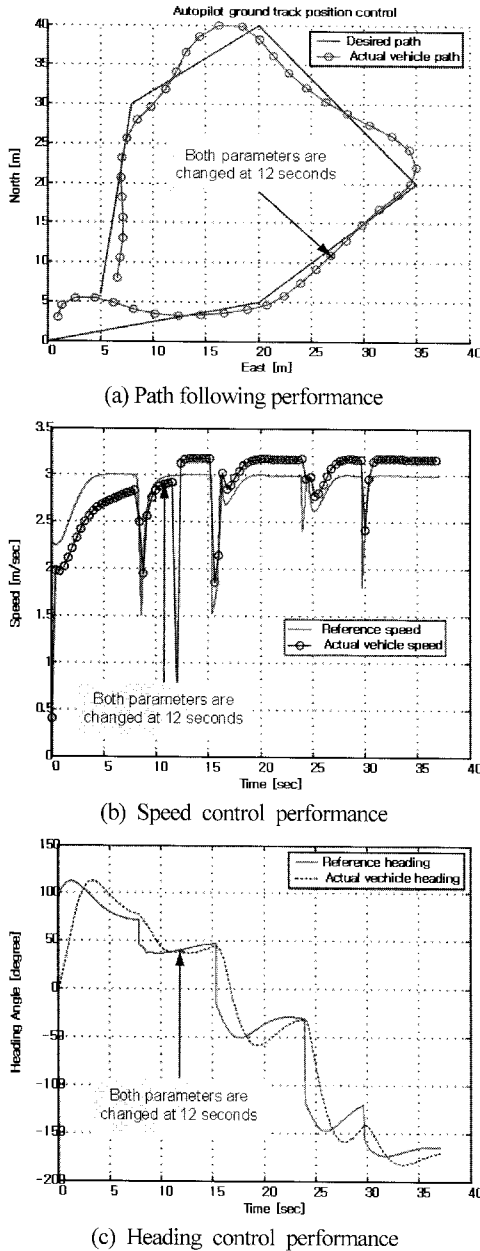


그림 15. 경로, 속도 및 방위각 제어 성능(12초 때에 파라미터 변화가 있고, 전이 관리 알고리즘에 따라 속도, 방위각 PID 제어가 신경망 속도 제어기, 적응 PID 방위각 제어기로 각각 대체되었을 경우).

Fig. 15. Control performance of path, speed, and heading (Parameter changes at 12 sec, and speed and heading controllers are changed into neural network controller and adaptive PID controller respectively according to transition management algorithm).

그림 14, 15는 그림 1의 전이관리 알고리즘을 고려할 경우의 위치 제어 성능을 나타낸 것이다. 먼저 그림 14는 12초 때에 속도 모델과 방위각 모델의 시상수 값이 각각 1초에서 2초, 0.5초에서 2초로 변화했을 경우 전이 관리 알고리즘에 따라 속력과 방위각 제어가 PID 제어기에서 각각 적용 PI 속력 제어기와 적용 PID 방위각 제어기로 전이가 이루어 졌을 경우의 위치 제어 성능 결과이고 그림 15는 12초 때에 속도 모델과 방위각 모델의 시상수 값이 각각 1초에서 0.1초, 0.5초에서 2초로 변화했을 경우 속력과 방위각 제어가 각각 신경망 속도 제어기와 적응 PID 방위각 제어기로 전이가 이루어 졌을 경우의 위치 제어 성능 결과이다.

그림 14(a), 15(a)는 다섯 개의 경로점들에 대한 차량의 경로 추종 성능을 나타낸 것으로 차량의 파라미터 값이 변하더라도 전이 관리가 적절히 이루어 지면 추종 성능이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 14(b), 15(b)는 각각 적용 PI 속력 제어기와 신경망 속도 제어기의 성능을 나타낸 것으로 신경망 속도 제어를 사용하였을 경우에 정상 상태 오차가 어느 정도 있음을 알 수 있는데 반면에 적용 PI 제어기는 응답 속력이 느린 반면에 정상 상태 오차가 거의 없음을 알 수 있다.

이는 적용 PI 제어기는 궤환 구조를 갖기 때문에 모델 파라미터가 변할 경우 이를 추정하여 PI 제어기의 계수 값에 반영이 되지만 신경망 제어기는 비 궤환 구조를 갖기 때문에 모델 파라미터의 변화를 반영하지 못하기 때문이다. 두 그림에서 속력이 아래 방향으로 peak가 생기는 이유는 (3)을 반영한 것으로 경로점에서 회전시 속력을 줄이기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 차량의 위치 제어를 하기 위해 필요한 속도 제어기와 방위각 제어기에 대해서 전이 관리 알고리즘을 고려하여 설계하였다. 속도 제어기에 대해서는 세 가지의 제어기(PID, 적용 PI, 신경망)를 설계하였고 방위각 제어기는 두 가지의 제어기(PID, 적용 PID)를 설계하였다. 이는 차량의 플랜트의 파라미터 변화나 도로상태의 변화 등의 주행여건의 변화에 대해 다른 제어를 사용하도록 한 것이다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 전이관리 기법이 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

참고문헌

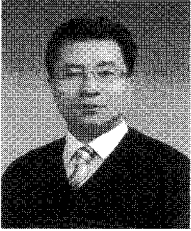
[1] M. Guler, S. Clements, L. M. Wills, B. S. Heck, and G. J. Vachtsevanos, "Transition management for reconfigurable hybrid control systems," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 36-49, February 2003.
 [2] 심덕선, 양철관, 안규섭, 이준학, "유비쿼터스 환경에서 개방형 제어 플랫폼에 기반한 무인탐사차량의 재형상 가능 위치제어," *제어·자동화·시스템공학회 논문지*, vol. 11, no. 12, pp. 1002-1010, 2005. 12.
 [3] S. Chaib, M. S. Netto, S. Mammari, " H_{∞} , Adaptive, PID and fuzzy control: a comparison of controllers for vehicle lane keeping," *Proceedings of 2004 IEEE*

Intelligent Vehicles Symposium, pp. 139-144, 2004. 6.

- [4] N. A. Pohlman, "Estimation and control of a multi-vehicle testbed using GPS doppler sensing," Master's thesis, MIT, September 2002.

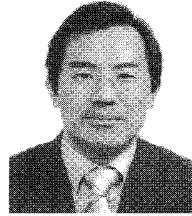
[5] F. L. Lewis, *Applied Optimal Control and Estimation*, Prentice-Hall, Inc., pp. 251-297, 1992.

[6] L. H. Tsoukalas, R. E. Uhrig, *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.



양철관

1996년 중앙대 제어계측공학 공학사.
1998년 동 대학원 전자전기공학 공학석사.
2003년 동 대학원 전자전기공학 공학박사.
현재 유한대 전기정보과 교수. 관심분야는 고장검출, 항법알고리즘, GPS, 강인필터.



심덕선

1984년 서울대 제어계측공학 공학사.
1986년 동 대학원 제어계측공학 공학석사.
1993년 미시간대 항공우주공학과 공학박사.
1994년 1월~1995년 1월 미시간대 전기공학과 포스트닥.
1995년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.
관심분야는 제어, GPS, 관성항법시스템, 필터링, 고장검출.