논문 2011-06-20

무인잠수정 제어시스템을 위한 네트워크 전송지연 및 패킷분실 보상기법

(Compensating Transmission Delay and Packet Loss in Networked Control System for Unmanned Underwater Vehicle)

양 인 석*, 강 선 영, 이 동 익
(Inseok Yang, Sun-Young Kang, Dongik Lee)

Abstract : Transmission delay and packet loss induced by a communication network can degrade the control performance and, even make the system unstable. This paper presents a method for compensating transmission delay and packet loss in a networked control system for unmanned underwater vehicle. The proposed method is based on Lagrange interpolation in order to satisfy the requirements of simplicity and model-independency. In this work, the lost/delayed data are estimated in real time by only using the past data without requiring any mathematical model of the controlled system. Consequently, the proposed method can be implemented independent of the controlled system, and also it can achieve fast and accurate compensation performance. The performance of the proposed technique is evaluated by numerical simulations with an unmanned underwater vehicle.

Keywords : Networked control system, Lagrange interpolation, Transmission delay, Packet loss, Unmanned underwater vehicle

1. 서 론

네트워크 기반 제어 시스템(networked control system, NCS)이란 기계적으로 연결되어 있던 제어기, 구동기 그리고 센서를 필드버스(fieldbus) 네트워크로 대체한 시스템을 의미한다 (그림 1). 이러한 NCS는 최근의 통신 네트워크 및 지능형 센서/액추에이터 기술의 비약적인 발전에 힘입어 가능하게된 새로운 제어 시스템 구현 기술이다. NCS는 기존의 기계적인 요소를 제거함으로서 시스템의 부피 및 무게 감소, 설치비용 절감 등의 효과를 얻을 수 있으며 시스템의 수정 또는 확장이 용이하다는 장점이 있다 [2]. 이로 인하여 지난 2000년대 초반부터 다양한 산업계 및 학계를 중심으로 NCS에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1-4]. 특히 NCS는 무인잠수정(unmanned underwater vehicle, UUV), 무인항공기(unmanned aerial vehicle, UAV) 등과 같이 중량과 부피 제약이 큰 시스템에 매우 효과적으로 적용될 수 있다.

그러나 NCS에 적용된 네트워크로 인해 제어기-구동기 및 센서-제어기 사이의 데이터 교환 시 전송지연(transmission delay) 또는 패킷분실(packet loss)과 같은 문제가 발생한다 (그림 1). 이러한 문제들은 폐루프로 구성된 제어 시스템의 성능을 저하시킬 수 있으며, 시스템의 안정성을 보장할 수 없게 만드는 요인이 되기도 한다. 따라서 전송지연 및 패킷분실 문제는 NCS 기술을 실제 시스템에 적용하기에 앞서 반드시 해결되어야 한다. 이를 위하여 확률제어(stochastic control) [5-6], 예측제어(predictive control) [7-8], 견실제어(robust

* 양인석(Corresponding Author)
논문접수 : 2011. 04. 15., 수정일 : 2011. 05. 12.,
채택확정 : 2011. 05. 25.
양인석 : 경북대학교 산업응용수학과
강선영 : LG전자
이동익 : 경북대학교 IT대학
※ 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-D00181)

control) [9] 등 다양한 보상 기법이 제안되고 있다. 하지만 대부분의 기존 방법들은 정확한 제어를 위하여 지연 특성에 대한 분석 및 시스템의 수학적 모델을 필요로 하기 때문에 제어기 내의 처리 시간이 증가할 가능성이 매우 높다. 더욱이 지연 시간의 최대 크기가 한 샘플링 주기를 넘지 않아야 된다는 제약조건이 요구되는 경우가 많으므로 실제 시스템에 적용하기엔 어려움이 따른다. 예를 들면, 견실제어기 [9]를 이용하여 전송지연을 보상하는 기법은 지연으로 인해 발생한 오차를 외란으로 처리하여 일정 수준의 시간 지연에 대해 허용치를 두는 방법이다. 따라서 이 방법은 제어기가 허용할 수 있는 최대 지연 시간을 미리 계산하여 허용범위 내의 시간 지연에 대해 보상을 수행하는 소극적 지연보상 기법으로 분류할 수 있다.

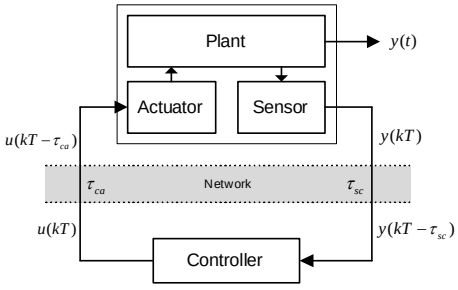


그림 1. 네트워크 제어 시스템의 구조
Fig. 1. The Structure of networked control systems

본 논문에서는 전송지연 및 패킷분실에 대해 적극적으로 대처 가능하면서 전송지연 특성에 대한 사전 분석이나 제어대상 시스템의 모델을 필요로 하지 않는 보상 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안된 기법은 Lagrange 보간법(Lagrange interpolation)을 수정한 방법으로 다항식 보간법의 특성을 이용한 방법이다. 그림 2에 제시한 것과 같이 제안된 기법은 제어기와 분리된 독립적 모듈로서, 입력신호 특성만을 이용하여 손실된 패킷정보를 추정한다. 즉 수정된 Lagrange 보간법을 이용한 시간지연 보상 모듈(time delay compensator module, TDC)을 독립적인 모듈로 설계하고 제어기와 구동기 입력의 전처리 단계로 구현하여 NCS를 구성한다. 센서출력에 포함된 지연 및 패킷손실은 제어기에 입력되기 전단계의 TDC에서 보상하며, 제어기 출력신호가 구동부로 전송될 때 발생하는 지연 및 패킷손실은 구동부의 입력단에 구현된 TDC 모듈에 의해서 보상된다. 따라서 제안된 기법은 제어대상 플랜트가 변경되어도 동일한 알고리즘 적용이 가능하며, 시스템의 수학모델을 필요로 하지 않으므로 빠른 추정 성능을 가지는 장점이 있다. 제안된 기법은 한국해양연구원에서 개발한 무인잠수정 '이심이(integrated submersible intelligent mission implementation, ISIMI)'[10]의 심도 및 방향제어에 적용하여 전송지연 및 패킷분실 보상성능을 분석하였다.

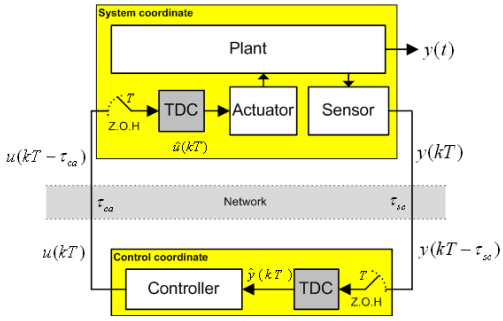


그림 2. 제안된 네트워크 기반 제어시스템 구조
Fig. 2. The proposed architecture for networked control system

Ⅱ. 시간지연 및 패킷보상 알고리즘 설계

1. Lagrange 보간법

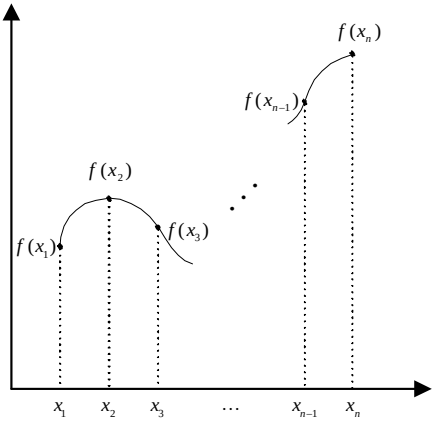


그림 3. Lagrange 보간법
Fig. 3. Lagrange interpolation

Lagrange 보간법은 다항식 보간법(polynomial

interpolation)의 한 방법으로서 n개의 데이터를 이용하여 유일한 $(n-1)$차 다항식을 결정하는 방법이다 (그림 3). 일반적인 다항식 보간법의 형태는 다음과 같다 [11].

$$f_{n-1}(x) = p_1 x^{n-1} + p_2 x^{n-2} + \cdots + p_{n-1} x + p_n. \quad (1)$$

식 (1)에서, $(x_1, f(x_1))$, $(x_2, f(x_2))$, ... , $(x_n, f(x_n))$의 n개의 점을 지나는 $(n-1)$차 다항식을 Lagrange 보간법을 이용하여 표현하면 다음과 같게 된다 [11].

$$f_{n-1}(x) = \sum_{i=1}^{n} L_i(x) f(x_i), \quad (2)$$

여기서, L_i는 가중평균으로 다음과 같이 정의된다.

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \frac{x - x_j}{x_i - x_j}. \quad (3)$$

따라서 점 $(x_i, f(x_i))$, $(i=1, 2, \cdots, n)$에 대하여,

$$f_{n-1}(x_k) = f(x_k) \quad (4)$$

를 만족하게 되며, 결과적으로 식 (2)는 n개의 데이터를 지나는 유일한 $(n-1)$차 다항식이 된다.

2. 제안된 보상 기법

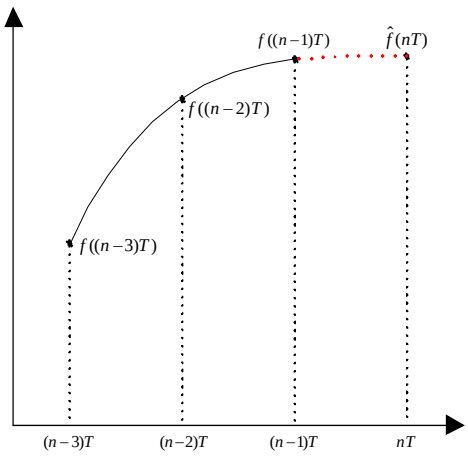


그림 4. 제안된 추정 기법
Fig. 4. The proposed estimation method

본 절에서는 Lagrange 보간법을 수정하여, NCS에서 발생하는 전송지연 및 패킷손실을 보상할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 식 (2)로부터, 만약 $(n-3)T$, $(n-2)T$, $(n-1)T$ 시간에 발생한 3개의 데이터 값을 이용할 수 있다고 가정하면, 이 데이터 값을 지나는 유일한 2차 다항식은 다음과 같이 표현될 수 있다 (그림 4).

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^{3} \left[L_i(x) f((n-i)T) \right], \quad (5)$$

여기서, T는 샘플링 시간을 의미하며, 가중평균 L_i는 다음과 같이 표현된다.

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3} \frac{x - (n-j)T}{(n-i)T - (n-j)T}. \quad (6)$$

따라서 nT 시간의 데이터 값은 다음과 같이 추정 가능하다 (그림 4).

$$\hat{f}_2(x) = \sum_{i=1}^{3} \left[L_i(nT) f((n-i)T) \right] = [1, -3, 3] \begin{bmatrix} f((n-3)T) \\ f((n-2)T) \\ f((n-1)T) \end{bmatrix} \equiv a^T v_n, \quad (7)$$

여기서,

$$L_i(nT) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{3} \frac{nT - (n-j)T}{(n-i)T - (n-j)T}. \quad (8)$$

식 (7)로부터, 전송 지연 및 패킷 분실로 인해 발생한 부족한 데이터 값은 실시간으로 v_n을 업데이트 하여 추정할 수 있게 된다. 특히 v_n은 입력 신호의 함수로 되어 있으므로, 제안된 알고리즘은 입력 신호만을 이용하여 손실된 정보를 보상한다. 한편, 본 논문에서 제시한 식 (7)의 보상기법은 분실된 데이터 뿐 아니라 주기 T보다 큰 전송지연도 패킷손실로 처리함을 언급할 필요가 있다. 즉 n번째 샘플링 시간에 수신되어야할 데이터의 경우, $nT \leq t < (n+1)T$ 동안에 수신되면 지연이 발생하지 않은 것으로 판단한다. 반면에, 지연시간이 샘플링 주기 T보다 큰 경우, 즉 $t = (n+1)T$ 이후에 수신되는 데이터는 지연된 데이터로 처리하는 것이 아니라 분실된 것으로 가정한다. 늦게 수신된 해당 데이터는 연산에 이용되지 않으며, TDC 모듈에서 추정한 값으로

대치된다. 따라서 본 논문에서 제시한 보상 기법은 샘플링 주기 T를 초과하는 전송지연에 대해 별도로 고려할 필요가 없으며, 오직 패킷손실이 발생한 데이터에 대한 보상만 수행한다. 따라서 제안된 기법은 적용시스템의 지연특성으로부터 독립적으로 설계가 가능하며, 그림 2에 나타낸 것처럼 독립적인 모듈로 구현하는 것이 가능하게 된다.

Ⅲ. 시뮬레이션 결과

1. 무인잠수정 모델링

본 논문에서 제안된 전송지연 및 패킷 분실 보상 기법의 성능을 평가하기 위하여, 이심이 UUV의 심도제어 및 방향제어에 적용하였다. 고려한 UUV의 모델링은 다음과 같으며, 유차항 계수 및 유체 계수는 표1과 표2에 제시하였다 [10].

$$\begin{bmatrix}\dot{r}\\ \dot{\psi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dfrac{\frac{\rho}{2}l^4N_{\dot{r}}}{I_z-\frac{\rho}{2}l^5N_{\dot{r}}} & 0\\ 1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}r\\ \psi\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\dfrac{\frac{\rho}{2}l^3u^2N_{\delta_R}}{I_z-\frac{\rho}{2}l^5N_{\dot{r}}}\\ 0\end{bmatrix}\delta_R \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix}\dot{q}\\ \dot{\theta}\\ \dot{z}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dfrac{\frac{\rho}{2}l^4M_{\dot{q}}}{I_y-\frac{\rho}{2}l^5M_{\dot{q}}} & -z_GW_0 & 0\\ 1 & 0 & 0\\ 0 & -u & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}q\\ \theta\\ z\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\dfrac{\frac{\rho}{2}l^3u^2M_{\delta_S}}{I_y-\frac{\rho}{2}l^5M_{\dot{q}}}\\ 0\\ 0\end{bmatrix}\delta_S \quad (10)$$

표 1. 유차항 계수
Table 1. Coefficient values

계수	값	계수	값
ρ	1000	m	21.8
g	9.806	W_0	$m\times g$
u	1	z_G	0.3
I_y	1.8207	I_z	1.8207

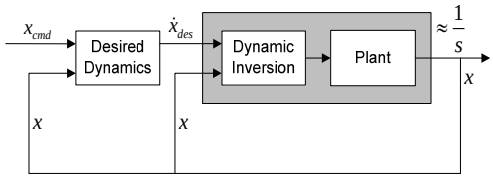


그림 5. Dynamic inversion 제어기 구조
Fig. 5. The ctructure of dynamic inversion control.

표 2. 유체 계수
Table 2. Hydrodynamic coefficients

계수	값	계수	값
$N_{\dot{r}}$	-0.007543	N_r	-0.001502
N_{δ_R}	-0.018192	M_q	-0.007543
$M_{\dot{q}}$	-0.001502	M_{δ_S}	-0.018192

2. 무인잠수정 제어기 설계

시뮬레이션에 사용된 UUV의 제어기는 dynamic inversion (DI) 기법을 적용하여 설계하였다. DI 제어기는 제어 대상 시스템의 동특성을 원하는 상태변수로 대체하여 기준 입력을 추종하도록 하는 방법이다. 따라서 잠수함, 항공기와 같은 비선형 시스템에서, DI 제어기는 각 평형점에 따른 게인스케줄링을 필요로 하지 않고, 시스템의 동특성을 원하는 동특성으로 대체 가능한 장점이 있다. 이와 같은 장점으로 인하여, DI 제어기는 항공기와 같이 시스템 구동 환경에 따라 동특성이 변화되는 시스템에서 구동 환경에 구속되지 않고 직접 적용 가능하게 된다. 따라서 항공기 제어 시스템을 중심으로 DI 제어기에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다 [12-13]. 본 논문에서는 DI 제어기를 이심이 UUV의 메인 제어기로 설계하여 적용하였다. DI 제어기의 기본적인 개념은 다음과 같다.

다음과 같은 시스템을 고려하자.

$$\dot{x}=f(x)+g(x)u, \quad (11)$$

여기서, x는 상태 변수, u는 입력이다. 만약 시스템이 affine이면, 일반적인 DI 제어기는 다음과 같이 표현 가능하다 [13].

$$u=g^{-1}(x)\left[\dot{x}_{des}-f(x)\right], \quad (12)$$

여기서, $\dot{x}_{des}$는 원하는 동특성(desired dynamics)으로 시스템의 요구 조건에 따라 설계된다 [13]. 식 (11)과 (12)로부터, 다음의 조건이 성립됨을 알 수 있다 (그림 5).

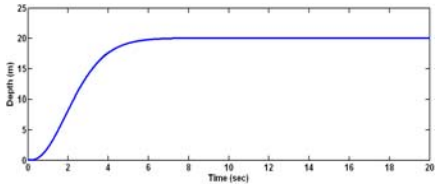
$$\dot{x}\left(\approx \frac{1}{s}x\right) = \dot{x}_{des}. \quad (13)$$

따라서 시스템 본래의 동특성이 설계 요구 조건에 따른 동특성으로 대체됨을 알 수 있다.

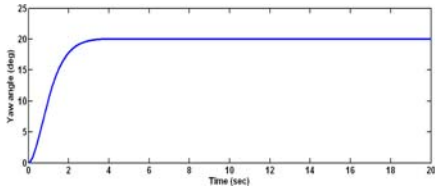
3. 전송지연 및 패킷분실 시나리오 설정

본 논문에서는 UUV의 제어기와 구동기 그리고 센서와 제어기 사이에 전송지연 및 패킷 분실이 임의적으로 발생함을 가정하였다. 네트워크 제어 시스템 상에 나타난 전송지연 및 패킷분실은 심도제어의 경우, 제어기와 선미수평타(stern plane)사이의 제어 입력 신호에 발생한 메시지 분실 (t=5.9~6.5초, 7.2~7.7초 구간)을 가정하였으며, 피치각 센서와 제어기 사이의 피드백 정보에서 t=2.7~3.0초, 4.5~4.8초, 8.1~8.4초 동안 발생한 전송지연 및 분실을 다루었다. 또한 방향제어의 경우, 제어기와 선미수직타(rudder plane)사이의 제어 입력의 t=0.5~0.9초, 2.1~2.4초, 3.3~3.6초에 발생한 분실을 가정하였으며, 제어기로 들어오는 요각(yaw angle) 정보의 전송 지연 및 패킷 분실(t=1.2~1.5초, 2.5~2.8초 동안 발생)을 가정하였다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰



a) Results of depth control



b) Results of directional control

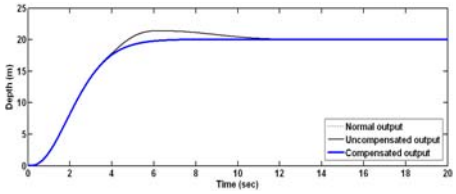
그림 6. NDI를 이용한 심도 및 방향 제어 결과

Fig. 6. Simulation results of depth control and directional control using NDI.

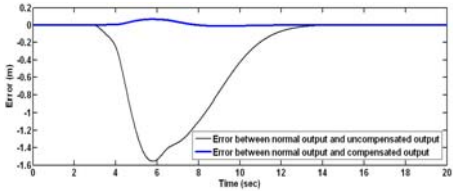
먼저 전송지연 또는 패킷분실이 발생하지 않는다는 가정하에서 이심이 UUV에 적용한 DI 제어기의 성능을 평가하고, 이어서 제안된 전송지연 및 패킷분실 보상 기법의 성능을 평가하도록 한다. 그림 6은 DI 제어기를 이용한 이심이 UUV의 심도 및 방향제어 성능 결과를 보여준다. 그림 6(a)로부터, DI 제어기를 탑재한 UUV의 심도제어는 7초 만에 원하는 기준 입력에 수렴하고 있음을 볼 수 있다. 또한 그림 6(b)의 방향제어 결과로부터, UUV는 4초안에 정상상태에 도달하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 고려한 제어기는 이심이 UUV에 대하여 양호한 제어 성능을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

4.1 심도제어 결과

그림 7은 전송지연 및 패킷분실이 발생을 가정한 심도제어 결과를 보여준다.



a) Results of depth control



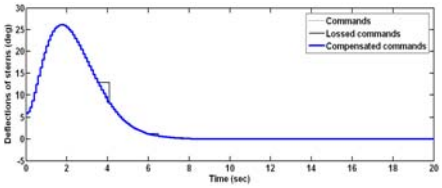
b) Errors

그림 7. 심도제어 결과

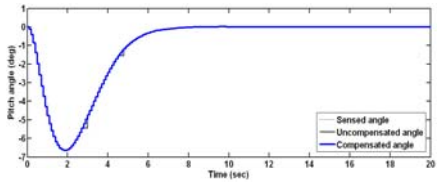
Fig. 7. Simulation results of depth control

여기서 그림 7(a)는 전송지연 및 패킷 분실이 일어나지 않은 이상적인 출력(normal output)과 보상을 수행하지 않은 경우의 응답(uncompensated output), 보상을 수행한 경우의 응답(compensated output)을 함께 비교한 결과이다. 여기서 이상적인 출력은 그림 6(a)의 NDI를 이용하여 심도제어를 수행한 결과를 의미한다. 그림 7(a)에서, 전송지연 및 패킷 분실에 대한 보상을 수행한 결과, 이상적인 출력을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 그러나 보상을 수행하지 않은 경우, 성능이 저하되고 있다. 각각의 결과를 이상적인 모델과 비교한 오차는 그림

7(b)에 나타나 있다. 그림 7(b)로부터, 보상을 수행하지 않은 경우, UUV는 최대 약 1.6m의 오차가 발생하게 된다. 그러나 보상을 수행한 경우, 오차는 0.1m 이내로 이상적인 모델을 잘 추종함을 알 수 있다.



a) Between controller and sterns



b) Between pitch angle sensor and controller

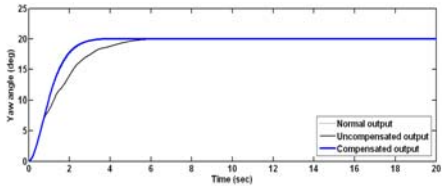
그림 8. 전송지연/패킷 손실에 대한 보상 결과

Fig. 8. The results of compensating transmission delay/packet loss

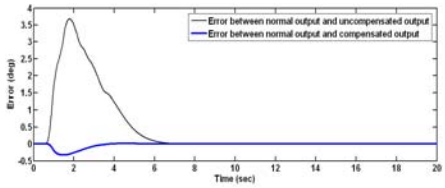
그림 8(a)는 선미수평타 출력을 보여준다. 보상을 수행하지 않은 경우, 제어기와 선미수평타 사이의 전송지연으로 인하여 명령값을 잘 추종하지 못함을 볼 수 있다. 그러나 보상을 수행한 경우, 명령값을 잘 추종하게 된다. 또한 그림 8(b)에서, 전송지연으로 발생한 정보 손실은 제안한 보상 기법을 통하여 효과적으로 보상됨을 볼 수 있다.

4.2 방향제어 결과

그림 9는 전송지연 및 패킷분실이 발생한 경우의 방향제어 결과를 보여준다. 심도제어와 같이 그림 9(a)은 전송지연 및 패킷 분실이 일어나지 않은 이상적인 모델과 보상을 수행하지 않은 응답 및 보상을 수행한 응답을 비교한 결과를 보여준다. 여기서 이상적인 모델은 그림 6(b)와 같이 NDI를 이용한 방향제어 결과를 의미한다. 그림 9(a)에서, 전송지연 및 패킷 분실은 제어 성능을 저하시키게 됨을 볼 수 있다. 그러나 제안한 보상 기법을 이용하여 보상을 수행한 결과, 이상적인 모델을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 그림 9(b)로부터, 각각의 결과를 이상적인 모델과 비교한 오차는 보상을 수행하지 않은 경우, 약 3.7도의 오차가 발생하게 되며, 보상을 수행한 경우의 오차는 0.5도 이내가 된다. 따라서 보상을 수행한 경우, 전송지연 및 패킷 분실이 발생하지 않은 경우와 비슷한 성능이 나타남을 알 수 있다.



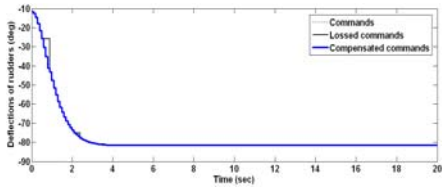
a) Results of directional control



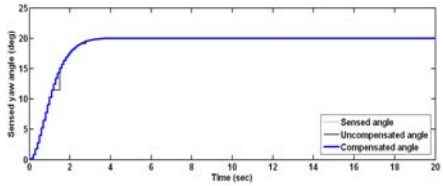
b) Errors

그림 9. 방향제어 결과

Fig. 9. simulation results of directional control



a) Between controller and rudders



b) Between yaw angle sensor and controller

그림 10. 전송지연/패킷 손실에 대한 보상 결과

Fig. 10. The results of compensating transmission delay/packet loss

그림 10(a)는 러더 출력의 보상 전후 결과를 보여주며, 그림 10(b)는 측정된 요각의 보상 전후 결과를 보여준다. 그림 10(a)와 (b)로부터, 제안한 기법은 지연되어 손실된 데이터를 잘 추정하고 있음

을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Lagrange 보간법을 수정하여 네트워크 제어 시스템에서 발생하는 전송 지연 및 패킷 분실을 보상하는 방법을 제안하였다. 제안된 기법은 이전에 입력된 데이터만을 이용하여 보상을 수행하는 방법으로 지연시간 특성에 대한 사전 분석이나 제어대상 시스템의 수학적 모델을 이용하지 않고 손실된 정보를 추정할 수 있는 기법이다. 따라서 제안된 기법은 적용대상 시스템에 종속되지 않고 독립적으로 설계 가능하여, 저비용의 임베디드 프로세서로 구현 가능하다. 제안된 기법을 적용하여 무인잠수정 이심이를 위한 심도 및 방향제어기를 설계하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 성능과 효용성을 분석하였다.

참고문헌

[1] W. Zhang, M. S. Branicky, and S. N. Phillips, "Stability of netwoked control systems", IEEE Cont. Syst. Mag., Vol.21, No.1, pp. 84-99, Feb. 2001.

[2] Y. Halevi and A. Ray, "Integrated communication and control systems: Part I-analysis", J. Dyna. Syst., Meas. Cont., Vol. 110, pp. 367-373, Dec. 1988.

[3] J. Nilsson, "Real-time control systems with delays", Ph.D. Dissertation, Dept. Automatic Control, Lund Institute of Technology., Lund, Sweden, Jan. 1998.

[4] G. C. Walsh, H. Ye, and L. Bushnell, "Stability analysis of networked control systems", Proc. Amer. Cont. Conf., San Diego, CA, pp. 2876-2880, Jun. 1999.

[5] J. Nilsson, B. Bernhardsson, and B. Wittenmark, "Stochastic analysis and control of real-time systems with random time delays", Automatica, Vol.34, No.5, pp. 57-64, 1998.

[6] H. Shousong and Z. Qixin, "Stochastic optimal control and analysis of stability of networked control systems with long delay", Automatica, Vol.39, No.11, pp. 1877-1884, 2003.

[7] G. P. Liu, J. X. Mu, D. Rees, and S. C. Chai, "Design and stability analysis of networked control systems with random communication time delay using the modified MPC", Int. J. Cont., Vol.79, No.4, pp. 288-297, 2006.

[8] Y. L. Wang and G. H. Yang, "Control of networked control systems with time delay and packet disordering", IET Control Theory, Vol.1, No.5, pp. 1344-1354, 2007.

[9] D. Yue, Q. L. Han, and J. Lam, "Network-based robust control of systems with uncertainty", Automatica, Vol.41, No.6, pp. 999-1007, 2005.

[10] 박랑은, 황은주, 이희진, 박민용, "퍼지 게인 스케줄링을 이용한 자율 무인잠수정의 자세 제어", 제어.로봇.시스템학회 논문지, Vol.16, No.6, pp. 592-600, 2010.

[11] S. C. Chapra and R. P. Canale, Numerical Methods for Engineers, McGrawHill, 2006.

[12] D. Enns, D. Bugajski, R. Hendrick, and G. Stein, "Dynamic inversion: an evolving methodology for flight control design", Int. J. Cont., Vol.59, No.1, pp. 71-91, 1994.

[13] J. Georgie, and J. Valasek, "Evaluation of longitudinal desired dynamics for dynamic-inversion controlled generic reentry vehicles", J. Guid. Cont. Dyna, Vol.26, No.5, pp. 811-819, 2003.

저 자 소 개

양 인 석 (Inseok Yang)

2001년 : 경북대학교 수학과 학사.
2005년 : 경북대학교 산업응용수학과 석사.
현재, 경북대학교 산업응용수학과 박사과정.

관심분야 : 네트워크 기반 제어시스템, 지능형 액추에이터, 고장 대처 제어, 항공기 제어 시스템.
Email : hllover@knu.ac.kr

강 선 영 (Sun-Young Kang)

2009년 : 경상대학교 제어계측공학과 학사.
2011년 : 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사.
현재, LG전자 연구원.

관심분야 : 임베디드 소프트웨어, 네트워크 기반 제어시스템.
Email : bassjeni@hanmail.net

이 동 익 (Dongik Lee)

1987년 : 경북대학교 전자공학과 학사.
1990년 : 경북대학교 전자공학과 석사.
2002년 : 영국 셰필드대학교 자동제어시스템공학과 박사.
1990~1997년 : 국방과학연구소 연구원.
2002~2005년 : 영국 DRTS Ltd 공동설립 및 CTO.
2005년~현재, 경북대학교 IT대학 조교수.
관심분야 : 지능형 액추에이터, 고장진단 및 고장대처 제어.
Email : dilee@ee.knu.ac.kr