韓國精密工學會 '95年度 春季學術大會論文集 pp.515~519

VTR Deck 주행계 자동조정에 관한 연구

조 덕제*(한국과학기술원), 권 대갑(한국과학기술원)

1. 서론

VTR 은 전형적으로 대량생산방식을 채택하는 제품으로서 설계뿐만 아니라 제조공정에 의해 경쟁력이 크게 좌우된다. VTR 의 기구부분으로서의 데크 메카니즘에 대한 연구는 새로운 데크의 설계에 관한 연구와[1] 데크에서의 테이프 주행에 관한 수치해석적 연구[2,3,4]등이 수행되고 있으나 제조공정에서의 자동화, 합리화에 관한 연구는 드물다.

데크 메카니즘의 제조공정중 최종공정인 주행계 조정공정은 데크의 조립이 끝난 후 데크의 각종 조정요소를 이용하여 테이프의 주행을 원하는 사양내에 들도록 하는 공정으로서 VTR 의 품질을 결정하는 중요한 공정이다. 그러나 그 중요성에도 불구하고 시스템이 비선형적이고, 측정이 어려우며, 조정요소들 간의 상호 연관성이 존재하여 자동화하기 어렵다. 뿐만 아니라 제품의 모델 변화가 자주 일어나 유연한 자동화 시스템이 구축되어야 한다는 점 때문에 주행계는 아직도 숙련된 작업자의 수작업에 의해서 조정이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 이러한 주행계 조정공정의 자동화를 위하여 주행계를 구성하는 요소중 Audio/Control head assembly를 조정하는 장치가 개발되었으며 시스템에 대한 실험적인 모델링과 각종 조정요소들 간의 상호 연관을 상쇄시키는 제어기법에 관하여 연구가 수행되었다. 본 연구에서는 LG전자의 데크모델, D-17을 조정대상으로 하였다.

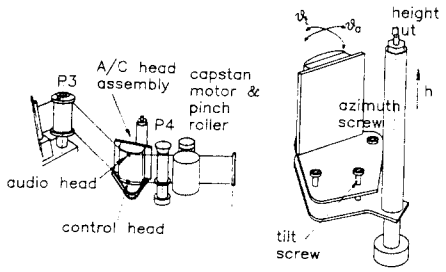


그림. 1 A/C head assembly 개략도

2. Hardware 설계

A/C head assembly 는 P3, P4 포스트 사이에서 테이프를 안내하면서 테이프 내의 음성및 제어 신호를 기록, 재생하는 음성, 제어 헤드와 헤드의 기구적 위치를 조정하는 요소들로 구성된 조립물로서 조정요소로는 높이조정너트, azimuth 나사, tilt 나사가 있다(그림.1 참조).

조정에 사용되는 테스트 테이프의 음성트랙에는 7KHz 의 정현파가 기록되며 제어트랙에는 30Hz 의 펄스신호가 실려있어서 capstan motor 에 의한 테이프 주행제어에 사용된다. 이때 테이프는 capstan motor 와 pinch roller 사이에 밀착되어 주행하게 된다. A/C head assembly 의 높이조정너트는 헤드전체의 수직방향 높이(h) 를 조정하는 요소로서 이를 이용하여 헤드, 트랙간 수직방향 상대위치를 맞출 수 있도록 한다. tilt 나사는 헤드에 수직한 방향으로의 각도(θ_t) 를 조정하는 요소로서 p3, p4 포스트간 테이프의 상하 장력을 조절하는 역할을 한다. 상하 장력의 변화는 결과적으로 테이프의 주행높이를 변화시키게 되는데 상하 장력이 같을 경우 p4 포스트의 하단 안내판에서 정확히 테이프를 안내하도록 설계되어 있다. azimuth 나사는 테이프 주행방향으로의 헤드각도(θ_a)를 조정하는 요소로서 음성헤드와 음성트랙의 각도차이를 조절하는 역할을 한다. 헤드와 트랙간 수직방향 상대거리가 맞더라도 헤드와 트랙의 각도가 어긋나면 음성신호는 급격하게 미약해지므로 음성신호를 관찰하면서 그 진폭이 최대가 되도록 azimuth 나사를 조정하게 된다.

조정을 위해서 필요한 측정값으로는 위의 설명에서 알 수 있듯이 헤드와 트랙간의 상대거리와 상하장력, 그리고 음성신호의 진폭을 들 수 있다. 헤드와 트랙간 상대거리는 그림.2 에서 보는 바와 같이 제어헤드와 테이프하단사이의 거리(d_H)를 측정하므로서 구할 수 있다.

$$d_H = h_t - h \qquad (1)$$

여기서 h_t 는 테이프의 높이이다. 그러나 테이프의 상하장력은 측정하기 어려우므로 본 연구에서는 p4 포스트 하단에서의 안내판과 테이프사이의 상대거리(d_T)를 측정하므로서 이를 대신하였다.

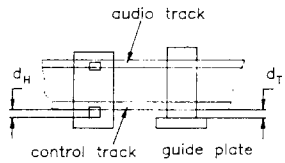


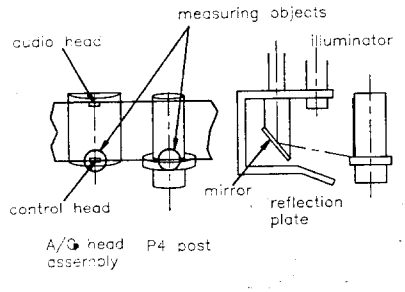
그림. 2 카메라를 이용한 기구적 측정값

$$d_T = h_t \quad (2)$$

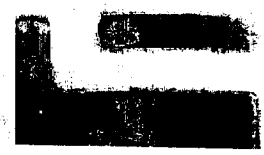
즉 테이프의 상측 장력이 크면 테이프가 아래로 내려와 안내판에서 테이프 접힘현상이 발생하고 하측 장력이 크면 반대로 테이프가 안내판보다 위에서 주행하게 된다.

위에서 설명한 d_H, d_T 의 측정을 위해서 CCD 카메라 를 이용한 광학계와 획득된 영상의 처리를 위한 영상처리기가 개발되었다. 광학계에는 측정대상물과 상 사이의 확대비를 크게 하기 위해 촛점거리 90mm 의 확대렌즈가 장착되었으며 수평으로 측정하기 위한 거울, 조명을 위한 광섬유 조명장치와 빛을 물체에 투사하기 위한 반사판이 설치되며 카메라에 의해 영상을 획득하게 된다. 광학계에 의해 측정되는 위치는 제어헤드근처와 p4 포스트의 하단부인데 광학 시스템에 의해 얻어지는 해상도는 각각 7, 25μm/pixel 이다. 영상처리기에는 카메라로부터의 영상신호를 이산화하는 영상획득부와 이를 처리하여 원하는 결과를 도출하는 신호처리부로 나뉘며 신호처리부에는 다양한 형태의 처리방법과 빠른 적용이 가능하도록 DSP 칩(TMS320C30) 이 이용되었다. 두가지의 병렬 측정(d_H, d_T)을 위하여 영상처리기는 2 모듈이 사용되었다. 그림.3은 각 광학 시스템으로 부터 구한 영상을 나타낸다. 처리방법은 적절한 threshold 값을 이용하여 테이프, 헤드, 안내판등의 휘도가 변하는 점을 찾아 이들의 차이를 이용하였다.

음성신호의 진폭을 구하기 위해서 정현파에 대한 실효치를 제공하는 RMS-TO-DC 변환기가 사용되었으며 이는 다시 A/D 변환에 의해 이산화 된다. 각 조정요소의 제어를 위하여 스테핑 모터가 사용되며 나사조정기로 동력이 전달된다. 모터 제어기는 주 제어기로 부터 속도지령을 받고 모터를 속도제어하는 역할을 수행한다. 주 제어기는 각종 측정단위에서 부터 전달받은 측정값들로 부터 적절한 제어명령을 생성하는 역할및 각종 주변장치의 순차제어를 담당한다(그림.4 참조). 개발된 장치의 샘플링 주기는 약 200msec/sample 이다.



(a) 광학계의 구성



(b) 제어 헤드의 영상

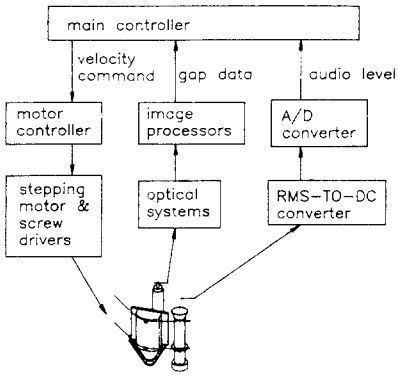
(c) p4 포스트 하단부 영상

그림. 3 광학계의 구성과 측정된 영상신호

3. 시스템 모델링

A/C head assembly 에서의 테이프및 헤드의 기구적 위치 변화는 엄밀히 말해서 비선형적이고 해석적인 모델을 구하기도 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실험을 통한 각 변수들의 상호관계를 규명하고 이를 적절히 선형화하여 선형제어기법을 적용할 수 있도록 하고자 한다. 먼저 각 조정요소들은 모터제어기에 의한 속도지령에 의해 조정되므로 다음과 같이 모델링된다.

$$\begin{aligned} h(k+1) &= h(k) + v_h(k) \\ \theta_a(k+1) &= \theta_a(k) + v_a(k) \\ \theta_t(k+1) &= \theta_t(k) + v_t(k) \end{aligned} \quad (3)$$



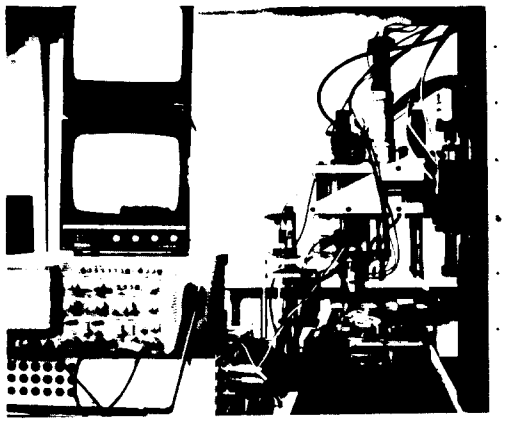


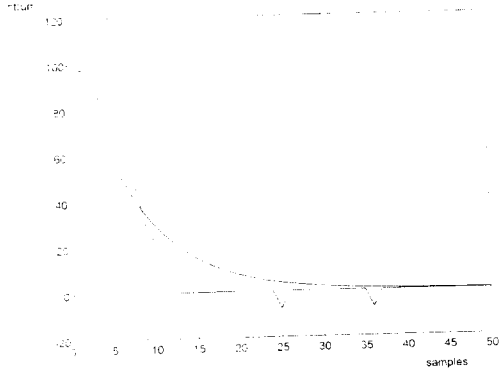
그림. 4 전체 시스템 구성도및 사진

여기서 $v_h(k)$, $v_a(k)$, $v_t(k)$ 는 각각 h, θ_a, θ_t 에 대하여 매 샘플링 마다 가산되는 값으로서 속도지령에 따라 결정된다.

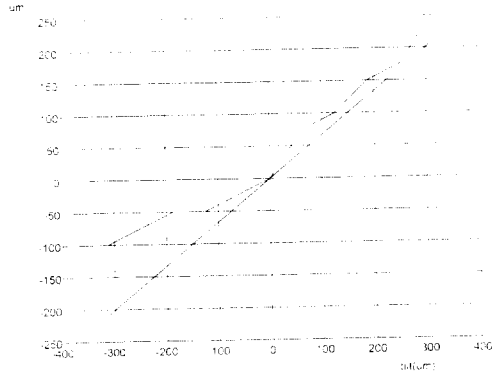
A/C head assembly 의 조정에 중요한 상태변수로서는 테이프의 주행높이(h_t) 가 있다. h_t 는 tilt 나사의 조정에 의한 테이프 상하 장력의 차이에 의해 변화되는데 테이프가 capstan motor 와 pinch roller 사이에 밀착되어 주행하므로 그 반응이 매우 느리다. 그림.5는 θ_t 의 h_t 에 대한 영향을 정적, 동적으로 실험한 결과이며 이로부터 다음과 같은 모델식이 구해진다.

$$h_t(k+1) = \alpha\, h_t(k) + \beta\, \theta_t(k) \qquad (4)$$

여기서 α=0.8700, β=0.0867 로 모델링된다.



(a) 동적 특성



(b) 정적 특성

그림. 5 tilt 나사에 의한 테이프 높이의 정적, 동적 특성

식 (1), (2), (3), (4) 로 부터 상태방정식을 구하면 다음과 같다.

$$x(k+1) = A\,x(k) + B\,u(k) \qquad (5)$$
$$y(k) = C\,x(k)$$

where

$x(k)=[\, h(k),\ \theta_t(k),\ h_t(k)\,]^T$

$u(k)=[\, v_h(k),\ v_t(k)\,]^T$

$y(k)=[\, d_H,\ d_T\,]^T$

$$A=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & \beta & \alpha\end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

식 (5) 에서는 azimuth 나사는 음성 실효치 정보가 θ_a 값에 대하여 선형화 할 수 없어 부득이 다른 방법으로 제어하여야 하므로 삭제되었다. azimuth 나사의 조정에 대해서는 다음 장에서 다루기로 한다.

4. 제어기의 설계

본 논문에서는 위 시스템에 대한 제어기법으로서 출력 변수 피드백 기법을 이용하였다.

$$u(k) = G\,y(k) \tag{6}$$

where

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$$

식 (5), (6) 에 의해 얻어지는 시스템의 closed loop system matrix, A_c 를 구하면 다음과 같다.

$$A_c = \begin{bmatrix} 1-g_{11} & 0 & g_{11}+g_{12} \\ -g_{21} & 1 & g_{21}+g_{22} \\ 0 & \beta & \alpha \end{bmatrix} \tag{7}$$

식 (5) 에서 볼 수 있듯이 h(k) 상태변수는 open loop 상태에서 다른 상태변수와 연관되어 있지 않지만(decoupled) close loop 의 경우 다른 변수들과 연관되므로(coupled) 제어이득을 정할 때 closed loop 의 경우에도 h(k) 가 다른 변수들과 연관되지 않도록 정한다. 따라서

$$\begin{aligned} g_{12} &= -g_{11} \\ g_{21} &= 0 \end{aligned} \tag{8}$$

과 같은 식이 성립되고 g_{11}, g_{22} 를 독립적으로 정하므로서 모든 제어이득을 구할 수 있게 된다.

식 (8) 을 만족할 때 시스템의 극점은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} z_h &= g_{11} - 1 \\ z_{t1,2} &= \frac{\alpha+1}{2} \pm \sqrt{\beta\, g_{22} - \alpha} \end{aligned} \tag{9}$$

본 연구에서 제안한 제어법칙은 식 (9) 에서 볼 수 있듯이 tilt 나사와 관련한 극점을 복소수 평면의 임의의 위치로 보낼 수 없다는 단점이 있지만 제어법칙이 간단하고 비선형성이 강한 시스템의 모델링 오차의 영향을 가급적 줄일 수 있다는 장점이 있다. 그림.6 은 g_{11}=1.900, $g_{22}=\alpha/\beta$=.2171 에서의 조정결과를 나타낸다.

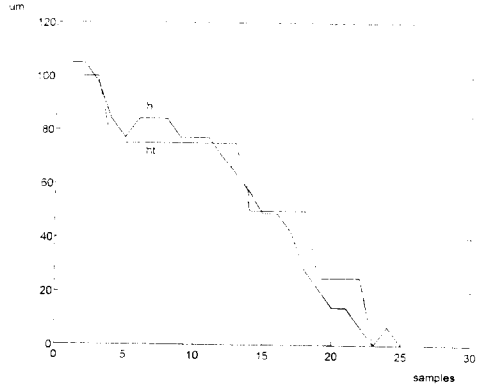


그림. 6 높이 조정너트 , tilt 나사의 조정결과

azimuth 나사의 조정목표는 헤드와 트랙간 높이차가 없을 때 음성 실효치가 최대가 되도록 하는 것이며 그림.7 에서 보는 바와 같이 음성 실효치는 θ_a 에 대해 종형함수로 모델링될 수 있다. 따라서 azimuth 나사의 조정은 먼저 높이조정너트및 tilt 나사를 조정한 후에 수행하여야 하며 일반적인 hill climbing 방법에 의해 조정될 수 있다.

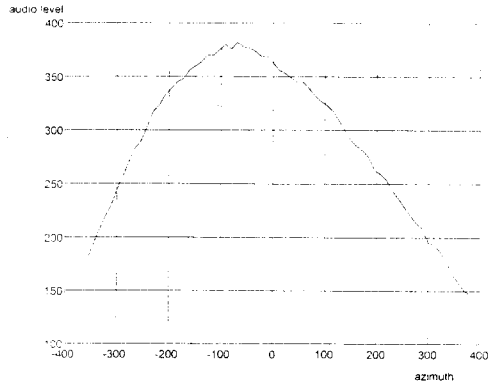


그림. 7 azimuth 나사조정에 대한 음성 실효치

5. 결론

본 논문에서는 VTR 데크 메카니즘의 주행계 조정의 일부로서 A/C head assembly 와 관련한 조정작업을 자동화 하는 장치를 개발하였으며 테이프 변형에 대한 실험적인 모델링과 함께 선형제어기의 설계를 행하였다. 시스템의 특성이 비선형적이고 구동부에서의 백래쉬등의 영향과 측정노이즈, 외란에 의해 시스템이 불안정해지기 쉬우므로 조정시간의 단축보다는 시스템이 안정하도록 각 상태변수들의 상호 연관성을 배제하여 조정하는 방법을 취하였다. 또한 높이조정너트와 tilt 나사의 조정이 끝난 후 azimuth 나사를 조정하므로 평균 조정시간이 매우 길어진다(약 15초). 앞으로의 연구 과제로는 비선형 시스템에 강인한 제어기법을 이용하여 조정시간을 단축하고 측정 시스템의 보완을 통한 신뢰성을 향상시키는 것등이 행해져야 한다.

참고문헌

[1] K. Mori, M. Tomita, T. Shige-eda, K. Kokubo, K. Nakagawa, M. Nakagawa, E. Yokoyama, "Digital VCR deck mechanism using new precision actuators for high density recording", IEEE transactions on Consumer Electonics v39 Aug 1993, p304-312

[2] M. Ychiyama, Y Ueda, K. Noguchi, M. Fukuta, "Study on stability of VCR tape transport", IEEE transactions on Consumer Electronics v39 Aug 1993, p313-319

[3] T. Okuwary, T. Kawakita, N. Nakahane, K. Kusumoto, "Investigation on tape-head contact in VTR", IEEE transactions on Magentics v29 Nov 1993, p3954-3956

[4] J. Kim, S. Lee, K. Lee, J. Park, "Linearization control of VCR servo system by using a neural network based feedforward compensator", Proceedings of the International Joint Conference of Neural Networks v3 1993, p2753-2756