

## 신경회로망을 이용한 VTR RF 신호 직선성 조정

조 덕제\*(한국과학기술원), 권 대갑(한국과학기술원)

### 1. 서론

VTR 은 생산체제에 있어서 대량생산방식을 채택하는 전형적인 제품으로서 그 기구부와 회로부의 설계 및 해석에 관하여 많은 연구가 수행되어왔다.<sup>1)</sup> 대량생산체제에서는 생산공정이 설계와 더불어 제품 경쟁력에 큰 영향을 미치므로 효율적이고 신뢰성있는 공정으로의 개선과 자동화가 부단히 추진되고 있다. VTR의 기구부인 테크 메카니즘은 부품 조립 공정과 조정, 검사 공정을 통해 생산되는데 요구되는 제품사양을 만족하도록 하는 조정공정에서 품질이 결정된다. 그러나 주행계에 대한 수학적 해석이 매우 어려우며, 조정요소들이 많고 서로 연관되어 있어서 아직까지 숙련된 작업자에 의한 수작업으로 조정이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 이러한 조정공정의 자동화를 위하여 헤드드럼에서의 테이프 변형을 결정하는 요소 p2, p3 포스트의 조정에 관한 연구가 수행되었다. 테이프의 변형을 측정하기 위해서 먼저 테이프 변형의 단순화된 모델이 제안되었으며 영상헤드에 의해 일러지는 RF 신호로부터 테이프의 변형을 측정하는 방법과 테이프 변형으로부터 p2, p3 포스트의 오조정량을 찾는 신경회로망을 이용한 역모델이 개발되었다.

### 2. Hardware 설계

p2, p3 포스트는 그림 1에서 보는 바와 같이 헤드 드럼의 입구, 출구측에서 테이프의 주행을 안내하는 요소로서 높이방향으로 조정할 수 있도록 설계되어 있다. 테이프에 기록되어있는 신호는 3개의 트랙(영상, 음성, 제어신호)으로 구성되며 영상신호는 헤드 드럼에 180도 위상으로 장착된 2개의 영상헤드(A, B 헤드)에 의해 일러진다. RF 신호로 불리워지는 영상신호는 각각 반송주파수 4 Mhz, 3.58 KHz로 주파수 변조된 휘도신호와 색상신호로 구성되며 이를 빠른 속도로 읽어내기 위해서 헤드 드럼은 base 면에 대해 경사지게 장착되어 고속으로 회전한다. 이때 A, B 헤드는 드럼의 1/2 회전마다 절환되어 RF 신호를 기록,

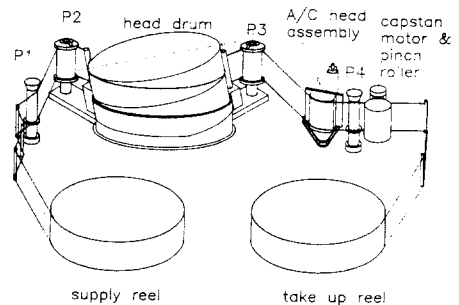
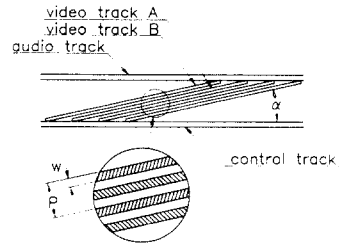


그림 1 테크 주행계와 테이프 패턴

재생하게 된다. 테이프의 주행은 VTR의 서보제어회로부에 의해서 일정속도를 유지하게 되며 주행위상은 조절할 수 있도록 되어 있다. RF 신호는 주파수 변조된 신호이므로 일정한 진폭을 가진다. 그러나 p2, p3 포스트가 오조정되었다면 헤드와 트랙간의 상대거리가 발생하여 일정 영역에서 진폭이 줄어들게 된다. RF 신호 직선성조정이란 헤드, 트랙간 상대거리가 0이 되도록 RF 신호의 진폭(엔빌로프 파형)을 관찰하여 p2, p3 포스트를 조정하는 작업이다.

본 연구에서 개발된 조정장치의 구성은 그림 2와 같다. RF 신호는 엔빌로프 검출기에 의해 그 진폭만 남게되며 VTR 신호처리기에 의해 샘플된다. VTR 신호처리기는 테이프 주행위상을 조절하는 작업과 측정된 엔빌로프로 부터의 테이프 변형 추출, 역모델에 의한 p2, p3 오조정량 계산작업을 수행한다. 호스트 컴퓨터와 모터 콘트롤러, 나사 드라이버는 VTR 신호처리기로 부터 유추된 p2, p3 포스트 오조정량을 이용하여 각 포스트를 조정하는 역할을 한다.

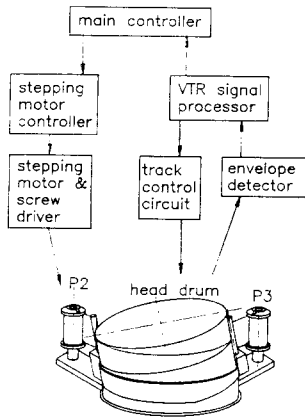


그림 2 시스템 구성도

### 3. 테이프 변형모델

그림.3은 헤드 드럼에서의 테이프 변형에 관한 설명도이다. 헤드 드럼에 접하는 테이프 부분을 평면으로 펼치면 평행사변형 모양을 이루며 테이프가 드럼면을 반이상 감고 있으므로 헤드에 의해 입혀지는 테이프 부분은 이보다 작은 면적을 차지한다. 테이프 상에서 헤드궤적은 스캔축, u 로 변환되며 이에 수직인 축, v 는 드럼의 축방향과 일치한다. p2, p3 포스트의 최적점에 대한 높이차를 각각 e2, e3 라고 하면 e2, e3 의 값에 따라 다양한 형태의 변형이 발생한다. 본 논문에서는 테이프 변형을 e2=0, e3=0 에서의 테이프에 대한 상대변위로 기술하며 미소변형에 있어서 다음과 같은 가정을 도입하였다.

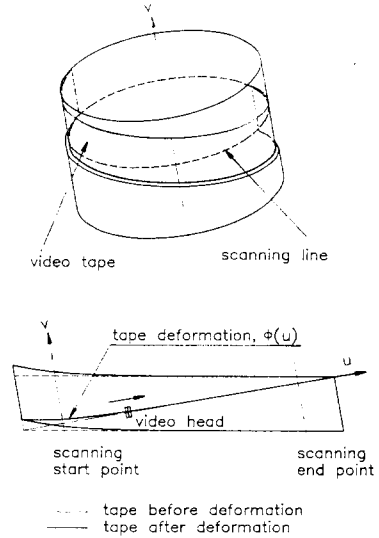


그림 3 테이프의 변형

1. 테이프는 드럼의 원주상에 접하여 주행한다.
2. 테이프의 미소 element 는 드럼의 축과 원주방향으로 길이변화가 없다.
3. 드럼 입, 출구측에서 u 방향으로의 변위는 없다.

e2=e3=0 에서의 테이프상의 좌표 (u, v) 는 가정 1 에 의해서 e2, e3 의 변화에 의해 (u', v') 로 변화되며 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\begin{aligned} u' &= u + \delta_u(u, v) \\ v' &= v + \delta_v(u, v) \end{aligned} \quad (1)$$

가정 2 로 부터

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta_u}{\partial t} &= 0, \quad \delta_u = \phi(v) \\ \frac{\partial \delta_v}{\partial v} &= 0, \quad \delta_v = \phi(u) \end{aligned} \quad (2)$$

경계조건인 가정 3 으로부터

$$\delta_u(0, v) = \varphi(v) = 0 \quad (3)$$

따라서 테이프 변형은  $u$  방향으로만 일어나지 않고 오직  $\phi(u)$  에 따라  $v$  방향으로만 변형되는 것으로 단순화되었다. 위의 가정은 엄밀히 말해서 정확한 모델링이라고 볼 수 없으나 다음 장에서 설명할 테이프 변형의 측정과정에서 유용하게 사용되며 정성적으로 테이프의 변형을 분석할 수 있는 토대를 제공한다.

#### 4. RF 신호분석

RF 신호의 진폭(엔빌로프)은 헤드와 트랙간의 상대거리,  $t(u)$  에 의해 결정되며 다음 식과 같이  $t(u)$  의 절대값에 비례하는 것으로 근사화 될 수 있다.

$$E(t(u)) = \begin{cases} 1 - \frac{|t(u)|}{w} & , \quad |t(u)| \leq w \\ 0 & , \quad |t(u)| \geq w \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $E$  는 엔빌로프,  $w$  는 헤드와 트랙의 폭이다. 헤드와 트랙의 상대거리에 영향을 주는 요소로는 테이프 변형,  $\phi(u)$  와 테이프 주행위상변화에 의해 발생하는 track shift,  $s$  가 있다. 그림 4 의 (a) 는  $\phi(u)=0, s=0$  인 경우로서 헤드래직은  $u$  의 모든 영역에서 트랙 중심선과 일치하며  $t(u)=0$  따라서  $E$  또한 최대값  $E_{max}$  를 유지한다. (b) 는 (a) 의 상태에서 주행위상의 변화에 의해  $v$  방향으로 track shift 가 발생한 경우로서  $t(u)$  는 모든  $u$  영역에서 상수값을 가진다( $t(u)=-s$ ). 이때  $E$  는 적선을 유지하며 그 값은  $E_{max}$  보다는 작다. (c) 는 (a) 의 상태에서 track shift 없이( $s=0$ ) 테이프 변형만 발생한 경우로서 이 때의  $t(u)$  는  $\phi(u)$  이 된다. (d) 는 track shift 와 테이프 변형이 동시에 존재하는 경우이다. 이 경우의  $t(u)$  는 테이프 상의 적선,  $v=-s$  에 대한 변형이므로 다음과 같다.

$$t(u) = \phi(u) - s \quad (5)$$

식 으로부터 알 수 있듯이 일반적으로  $t(u)$  는  $\phi(u)$  를  $s$  만큼  $-v$  방향으로 이동시킨 것이 된다. 임의의 한 점  $u$  에 대해서  $t(u)=0$  이 되게 하는 track shift 를  $s^*(u)$  라 하면

$$\phi(u) = s^*(u) \quad (6)$$

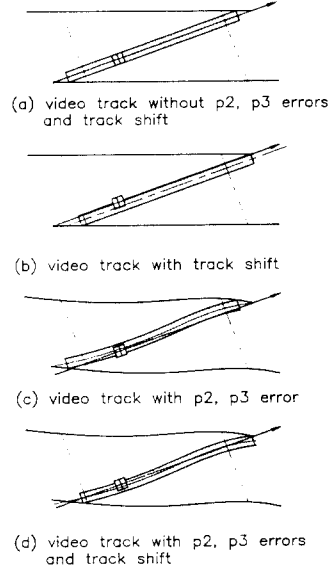


그림 4 헤드와 트랙간의 상대거리

이 되므로 테이프 변형을 기술하는  $f(u)$  는  $s^*(u)$  를 구하므로써 알 수 있게 된다.  $s^*(u)$  는  $s$  의 모든 영역에 대하여 엔빌로프를 구한 후 각각의  $u$  에 대해서 엔빌로프를 최대가 되게 하는  $s$  값을 구한 것으로  $e2, e3$  를 유추하는 중요한 측정값이다. 그림 5 는 임의의  $e2, e3$  에 의해 결정된 엔빌로프와  $s^*(u)$  의 한 예를 보여준다. 그림 6 은 다양한  $e2, e3$  값에 대한  $s^*(u)$  를 나타내는데 특징적인 것은  $e2$  의 변화는 입구측,  $e3$  의 변화는 출구측의  $s^*(u)$  의 기울기와 관계있음을 알 수 있다.

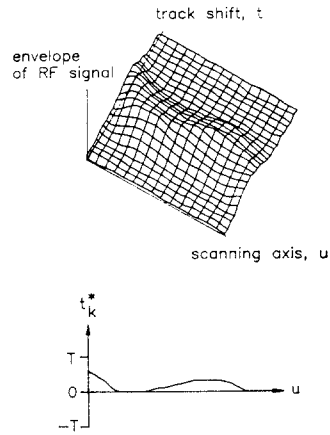


그림 5 엔빌로프 파형과  $s^*(u)$ 의 측정

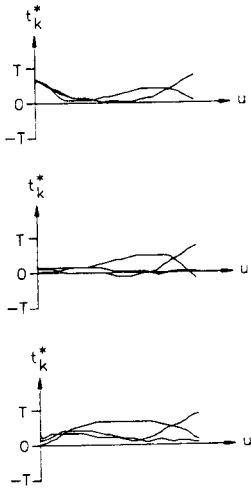


그림 6 다양한 e2, e3 조합에 대한 s\*(u)

5. 신경회로망을 이용한 역 모델의 개발

앞장에서 구한 s\*(u)로 부터 e2, e3 를 유추하는 역 모델을 구축하기 위해서 본 연구에서는 입출력 관계의 매핑에 자주 쓰이는 backpropagation network<sup>[5]</sup>을 사용하였다. backpropagation network은 저장되는 입출력 패턴들 사이의 보간값으로 학습이 되므로 비교적 적은 량의 저장패턴으로도 역모델의 역할을 수행할 수 있다. s\*(u)로 부터 특징값을 추출하기 위해서 본 연구에서는 s\*(u)를 4차 함수로 fitting 하고 그 처음과 끝에서의 기울기 s2, s3 를 구하여 학습에 이용하였다. 보다 효율적인 학습을 위하여 그림 7에서 보는 바와 같이 e2, e3 는 서로 독립적으로 학습되도록 하였으며 각각 20, 10 개의 node 를 가지는 2 개의 hidden layer 를 사용하였다. 임의의 layer 에서의 node 값, out<sub>i</sub> 는 한 단계 앞의 layer 의 node 값, out, 와 layer 간 weight, w<sub>ji</sub> 에 대해 다음 식으로 계산된다.

$$out_j = S(\sum_i w_{ji} out_i)$$

$$S(x) = \frac{1 - e^{-\beta x}}{1 + e^{-\beta x}} \quad (7)$$

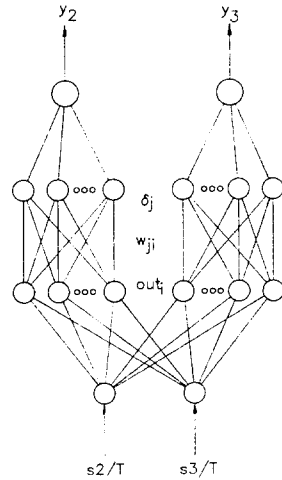


그림 7 신경회로망의 구조

network 의 학습을 위하여 e2 11개, e3 11개의 조정량의 조합에 대한 s2, s3 가 측정되었다. 따라서 학습을 위하여 준비된 저장패턴 (s2<sup>p</sup>, s3<sup>p</sup>), (e2<sup>p</sup>, e3<sup>p</sup>) 은 121(11\*11) 개이며 각각의 패턴은 |e2|, |e3|, |s2|, |s3|의 가장 큰 값 |e2|<sub>max</sub>, |e3|<sub>max</sub>, |s2|<sub>max</sub>, |s3|<sub>max</sub>로 나누어져서 학습에 이용된다. 따라서 e2, e3 에 대한 출력 layer 의 node 값을 각각 y2, y3 라 하면 e2, e3 추정값은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{e}_2 = |e_2|_{\max} y_2$$

$$\hat{e}_3 = |e_3|_{\max} y_3 \quad (8)$$

임의의 저장패턴에 대한 weight 의 학습방법은 generalised delta rule 에 의해 이루어진다.

$$\Delta_p w_{ji} = \eta out_i^p \delta_j^p$$

$$\delta_i^p = S'(out_i^p) \sum_j w_{ji} \delta_j^p \quad (9)$$

여기서 인덱스 i, j 는 각각 인접 layer 의 입력, 출력층 layer 를 나타낸다. 그림 8 은 β=1, η=0.1 일 때의 학습결과를 나타낸다. 학습후의 평균오차는 약 10% 이다. 테크

메카니즘은 실제로  $e_2, e_3$  의 변화없이도 시간에 따라서 테이프의 변형이 변화하는 stochastic 시스템으로 볼 수 있다. 따라서  $s_2, s_3$  는  $e_2, e_3$  에 따라서 변화하는 평균, 분산을 가지는 확률변수이다. 학습에 이용된 측정값들은 이러한 확률분포에 따르고 신경회로망은  $s_2, s_3$  의 평균값과  $e_2, e_3$  와의 관계를 학습하게 되어 비교적 높은 오차를 갖게 된다.

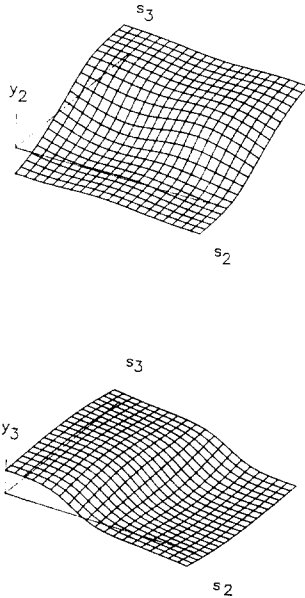


그림 8 신경회로망 학습결과

## 6. 결론

본 연구에서는 헤드 드럼에서의 테이프 변형을 RF 신호의 분석을 유추할 수 있는 방법을 개발하였으며, 테이프 변형 상태에서 얻은 특징값으로부터 조정값을 유추하는 신경회로망을 이용한 역모델을 구축함으로써 RF 신호의 직선성 조정이 open loop 로 수행될 수 있도록 하였다. 그러나 테이프 변형 특성이 데크에 따라 변화하고, 확률적인 분포를 가지므로 완벽한 조정이 불가능하였다. 테이프 변형 형태를 구하기 위해서 모든 track shift 값에 대한 엔벌로프 신호를 측정하여야 하기 때문에 많은 시간이 걸려 실시간 처리방법을 이용한 조정 알고리즘에 적용하기는 곤란하지만

심한 오조정 상태의 데크 메카니즘에 대한 coarse 조정 방법으로 유용하게 사용될 수 있다.

## 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 Electronics 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
- [5] D. Rumelhart, J. L. McClelland, Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition(Vols. 1 & 2). MIT press, 1986