

로봇손 모델을 위한 커널회귀와 SVM 모델링의 비교

A Comparison between Kernel Regression and SVM for Robot Hand Model

*양학진¹, #김성근²

*H. J. Yang¹, #S. K. Kim(kimskun@hoseo.edu)²

¹호서대학교 대학원, ²호서대학교 자동차공학과

Key words : Kernel Regression, Support Vector Machine, Robot Hand

1. 서론

인간형 로봇 손은 비교적 강력한 파지와 정밀 조작이 가능하며, 외형상 사람의 손과 유사한 점에서 거부감이 적다. 이러한 인간형 로봇 손에 대한 연구는 인간의 손동작을 파악하여 메커니즘을 분석하고, 로봇 손에 적용시키는 연구가 진행되고 있으며, 손가락 표면을 이용하는 물체의 파지 및 조작에 관한 운동학 및 형상 물체와 손가락 표면의 접촉 문제를 해석하는 연구도 진행되고 있다. 본 연구에서는 지난 연구⁽¹⁾를 바탕으로 손 동작에 대한 확장된 실험 데이터를 추출하였다. 이러한 실험 데이터를 표본 데이터로 선정하고 커널 회귀와 SVM 모델링을 이용하여 비선형 모델을 도출하였으며, 실험 데이터, 커널 회귀 모델 그리고 SVM 회귀 모델을 비교·검증함으로써 손 동작에 대하여 실용적 적용이 가능한 상관 모델을 구성하였다.

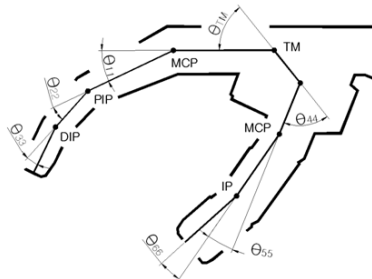


Fig. 1 Geometry of a human hand : $\theta_{TM}, \theta_{11} - \theta_{66}$ are the joints of metacarpophalangeal(MCP), proximal interphalangeal(PIP), distal interphalangeal (DIP) and interphalangeal(IP), respectively.

2. 손 동작의 특성 추출

사람의 손가락은 Fig. 1과 같이 일반 손가락의 구성은 기절골(MCP), 중절골(PIP) 그리고 말절골

(DIP)로 되어 있으나, 엄지 손가락은 중절골이 없이 2개로 되어 있다. 중절골과 말절골은 1 자유도로 경첩 관절이며, 기절골은 3 자유도로 경첩 관절과 절구 관절을 형성하고 있다. 위와 같이 구성된 손의 움직임을 고찰하고, 동작 패턴을 설정하여 관절간의 관계를 파악함으로써 관절간의 상관관계를 기반으로 하는 수학적 모델을 확립하고 로봇 손에 적용시킬 수 있다고 판단하였다.

3. 커널 회귀

커널 회귀에 기초를 둔 로봇손 모델을 설계하기 위해서는 선정된 관절 각도에 대한 표본 데이터 쌍($\theta_{11}, \theta_{22}, \theta_{55}, \theta_{66}, \theta_{33}$)을 갖고, 함수의 근사치를 구하고자 할 때, 입력 데이터와의 유클리디안 거리를 계산하여 최소 에러를 찾는다.

이러한 근사치 함수는 식 1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{y}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi h^2}} e^{-\sqrt{x_i - x}/2h^2} y_i \right]}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi h^2}} e^{-\sqrt{x_i - x}/2h^2}} \quad (1)$$

여기서, x, y 는 표본 데이터의 입력층, x 는 검증 데이터의 입력층, h 는 커널의 폭이다. 그리고 유클리디안 거리(d)를 대표적인 커널 함수인 $d, 1/d, 1/d^2, 1/(d+1)$ 로 설정하고, 가우시안 커브에서 예측값을 도출하였다(Fig. 2). RMS의 평균은 d 일 때 2.87, $1/d$ 일 때 2.33, $1/(d^2)$ 일 때 6.33 그리고 $1/(d+1)$ 일 때 4.95로 나타났다.

4. 서포트 벡터머신

서포트 벡터 머신 회귀 모델(SVM Regression)에

기초를 둔 로봇손 설계를 위해서는 선정된 관절 각도에 대한 표본 데이터 쌍을 사용하여 회귀 모델을 구성하였다.

최적 회귀 모델 $\hat{f}(\bar{x}) = \bar{w}^* \cdot \bar{x} - b^*$ 을 구하기 위한 최적화 모델은 다음과 같이 구성된다.

$$\min_{\bar{w}, b, \bar{\xi}, \bar{\xi}'} \Phi(\bar{w}, b, \bar{\xi}, \bar{\xi}') = \tag{2}$$

$$\min_{\bar{w}, b, \bar{\xi}, \bar{\xi}'} \frac{1}{2} \bar{w} \cdot \bar{w} + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi'_i)$$

$$\begin{aligned} y_i - \hat{f}(\bar{X}_i) &\leq \xi_i + \epsilon \\ \hat{f}(\bar{X}_i) - y_i &\leq \xi'_i + \epsilon \\ 0 &\leq \xi_i, \xi'_i \end{aligned} \tag{3}$$

$$\text{for } i = 1, \dots, l \quad \hat{f}(\bar{x}) = \bar{w} \cdot \bar{x} - b$$

또한, Dual 최적화 모델은 식 4)과 같고, 최적 SVM 회귀 모델은 식 5)을 사용하여 구성된다.

$$\max_{\alpha, \alpha'} \Phi'(\bar{\alpha}, \bar{\alpha}') = \tag{4}$$

$$\max_{\alpha, \alpha'} \left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l (\alpha_i - \alpha'_i)(\alpha_j - \alpha'_j) \bar{x}_i \cdot \bar{x}_j \right.$$

$$\left. + \sum_{i=1}^l y_i (\alpha_i - \alpha'_i) - \epsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i + \alpha'_i) \right)$$

$$\hat{f}(\bar{x}) = \bar{w}^* \cdot \bar{x} - b^* \tag{5}$$

$$= \sum_{i=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i'^*) \bar{x}_i \cdot \bar{x}$$

$$- \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l (\alpha_i^* - \alpha_i'^*) \bar{x}_i \cdot \bar{x}_j - y_j$$

서포트 벡터 머신 회귀 모델에서의 커널 함수는 RBF와 선형 함수를 사용하였으며(Fig. 3), RMS의 평균은 RBF 함수에서 3.70, 선형함수에서 6.46으로 나타났다.

5. 결론

자유도를 줄이고 로봇 손 파지 모델을 구하고자, 본 논문에서는 고속카메라를 이용하여 취득한 실험 데이터와 커널 회귀 모델 그리고 SVM 회귀 모델을 사용하여 로봇 손 파지 모델을 구하였다. 커널 회귀 모델과 SVM 회귀 모델을 이용하여 취득한 결과값을 비교하였으며(Table 1), 전반적으로 RMS의 크기가 다소 큰 이유는 실험 데이터의 취득 과정에서 실험자의 개인별 성향에 의하여 손 동작의 변동 궤적의 변화가 심하기 때문에 구간별 취득 데이터의 편차가 크게 발생하는 것으로 판단되며, 모델의 일반성을 증대시키기 위하여 입력 변수의 상호 관계 및 변동 궤적에 의한 개인 손동작의 특성을 파악하여 예측 모델에 적용할 수 있는 후속 연구가 필요한 것으로 판단된다.

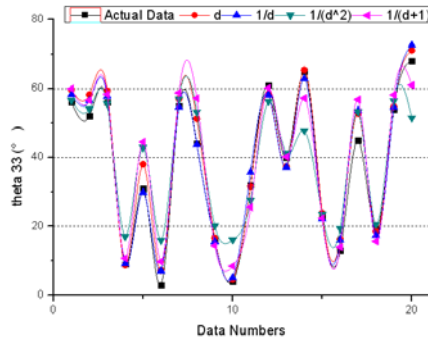


Fig. 2 comparison between actual data and kernels with kernel regression.

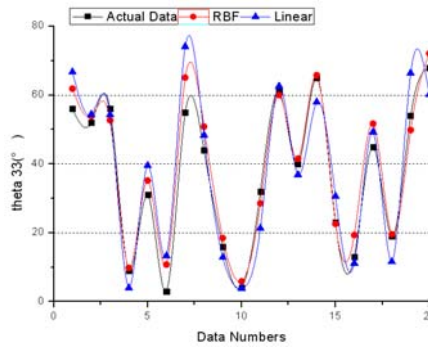


Fig. 3 comparison between actual data and kernels with SVM.

Table 1 Comparison with actual data, kernel regression data and support vector machines data

No.	measured data (-)	kernel regression (1/d)	support vector machines (RBF)
1	56.00 °	57.75 °	52.70 °
2	9.00 °	9.17 °	9.81 °
3	16.00 °	15.57 °	18.47 °
4	4.00 °	5.15 °	5.91 °
5	61.00 °	58.19 °	60.01 °
6	40.00 °	37.21 °	41.49 °
7	23.00 °	22.22 °	22.60 °
8	19.00 °	17.39 °	19.55 °
9	54.00 °	54.61 °	49.84 °

참고문헌

1. Yang, H. C., Kim H. T. and Kim S. K., 2010, "Comparative Study of Modeling of Hand Motion by Neural Network and Kernel Regression", KSME(A), Vol. 34, No. 4, pp.399-405.