

感性評価における熟練者の内省を支援するシステム

石見 太郎[†] 伊藤 英明[†] 齊藤 ゆみ[†]

An introspection support system for a sensory-assessment expert

TARO IWAMI,[†] HIDEAKI ITO[†] and YUMI SAITO[†]

1. はじめに

近年、車のハンドル操作（以下、操舵）をアシストするパワーステアリングは、車の軽量化や低燃費化を理由に油圧式から電動モータに置き換わりつつある。電動モータの制御コントローラ（ECU:Electronic Control Unit）は、熟練者が操舵したときの感性評価に基づいて、油圧式と同等の操舵感覚となるように調整される。しかし、人の感覚は気分や状況によって変化するものであり、熟練者であっても感性評価の基準が揺れる場合がある。そのため、感性評価に基づいたパラメタの調整は簡単でない。そこで我々は、人の感覚による評価の揺らぎを考慮したサポートマップ（以下、調整マップ）と、考慮していない調整マップを並べて表示するインターフェースの開発を行った。これにより、熟練者に対して評価基準が大幅に揺らいでいるか否かの内省を支援しながら、ECUのパラメタの調整が行える。本稿では、本インターフェースを用いて電気自動車の電動パワーステアリングの調整を行った結果について述べる。

2. インターフェースの概要

ECUのパラメタの調整を、図1に示す2次元の調整マップを用いて行う。左右の図は、それぞれ人の感覚による評価の揺らぎを考慮した調整マップと、考慮していない調整マップをあらわす。図中の調整マップのX,Y軸はECUのパラメタを表し、この軸のパラメタを切り替えることで、様々なパラメタの組み合わせで調整できる。調整マップ中の は、実際に熟練者が評価した点（以下、評価点）を表し、大きな評

価点は、X,Y軸で選択された2つのパラメタの調整に必要である。評価点の円内部の色は、熟練者が操舵したときの評価値（-2,-1,0,1,2）をあらわし、青 緑 黄 赤の順で評価が高くなる。また、評価点間の評価値はAkimaの補間方法¹⁾を用いて内挿補間した。

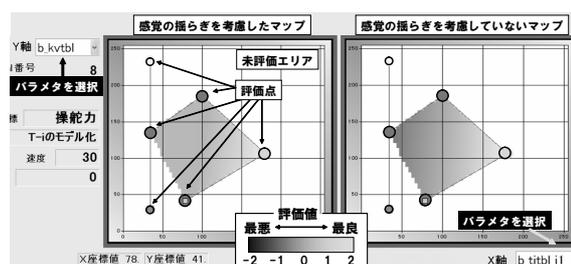


図1 インターフェースの調整マップ例

調整マップ上をクリックする事でECUにパラメタが書き込まれ、熟練者は新しいパラメタの設定状態の車を操舵し、感性評価値をインターフェースに入力する。右の調整マップには、入力された評価値がそのまま反映される。左の調整マップは、人の感覚による評価は正規分布的な誤差を持っていると仮定し、新しい評価値が入力されたときの事後評価値をベイズの定理を用いて推定する。このとき、新しい評価点からある閾値以内に存在する評価点の評価値を更新する。この評価値の更新方法について、次の章で詳しく述べる。

3. 評価値の更新方法

ECUの n 個の制御パラメタを n 次元ベクトル p （評価点）とし、ある評価点に対する評価値を h とする。評価値の更新は n 次元空間にて行い、そのイメージ図を図2に示す。新しい評価点 p_m （新評価点）から、ある閾値（ L_{thr} ）以内（図2の灰色の円内）の評価点（例

[†] オムロン株式会社 センシング&コントロール研究所

として p_i は, p_m の影響を受けるとする. この時, 評価点間の距離が離れるほど影響は小さくなると考えられるので, 評価点間の距離に反して小さくなる重み ω を持つ式 (1) から, p_m から見たとき p_i の評価値 h_{mi} を求める. ただし, 重みは距離 L_{thr} を $3\sigma_L$ としたガウス関数 (式 (2)) とした.

$$h_{mi} = \omega(h_m - h_i) + h_i \quad (1)$$

$$\omega = \exp(-L_i^2/2\sigma_L^2), 3\sigma_L = L_{thr} \quad (2)$$

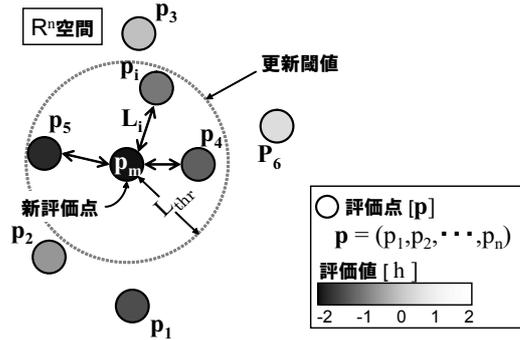


図2 評価値の更新イメージ

推定した h_{mi} を, p_i の新しい評価値とし, 既存の評価値 h_i に与える影響をベイズの定理²⁾より導出する. まず, 人の感覚による評価は揺らぐとし, 評価値 h_i の揺らぎを正規分布 $N(\mu_i, \sigma^2)$ に従うと仮定する. この時, μ_i が与えられた時の h_{mi} の条件付確立密度関数 $f(h_{mi}|\mu_i)$ は式 (3) で表される. また, μ_i の事前分布を正規分布 $N(h_i, \sigma_i^2)$ に従うと仮定とすると, μ_i の事前確率密度関数は式 (4) と表される.

$$f(h_{mi}|\mu_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(h_{mi} - \mu_i)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

$$\pi(\mu_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(\mu_i - h_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (4)$$

h_{mi} が与えられたときの μ_i の条件付確率密度関数をベイズの定理より式 (3)(4) を用いて導出した (式 (5)).

$$\pi(\mu_i|h_{mi}) \propto \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i'}(\mu_i - h_i')^2\right) \quad (5)$$

$$h_i' = \sigma_i'^{-2}(h_{mi}\sigma^{-2} + \mu_i\sigma_i^{-2}) \quad (6)$$

$$\sigma_i' = \sigma^{-2} + \sigma_i^{-2} \quad (7)$$

式 (5) より新評価値 h_i によって μ_i の分布は更新されて, $N(h_i', \sigma_i'^2)$ に従う事が証明された. よって式 (6) の評価値 h_i' は h_i の更新であることが解る. ただし, 評価値は (-2~2) であるため人の感性評価値の揺れを ± 1 とし, 評価値の揺れを表す σ と σ_i の初期値を 1 とした. また h_i の初期値は, 評価点 p_i が初めて評価されたときの評価値とした.

4. ECU の調整実施例

電気自動車の電動パワーステアリングの調整実験にて, 本インタフェースを利用した. 今回の実験で使用した電気自動車と, システム構成を図3に示す. 本実験では, 主に人の感覚による評価の揺らぎを考慮した調整マップを用いて, 熟練者の目指す操舵感覚へパラメタの調整を行った. その結果, 熟練者が目指す操舵感覚に ECU のパラメタを調整でき, 本インタフェースを用いて調整を支援することができた.



図3 システム構成

5. おわりに

今回, 人の感覚による評価の揺らぎを考慮した評価値の更新方法について提案した. 実車による ECU の調整実験に本インタフェースを利用して, 熟練者の目指す操舵感覚へパラメタを調整できることが確認できた. 今後, 熟練者に内省を促す2つの調整マップの効果について, より詳細な実験を行う予定である.

参考文献

- 1) Akima, H., A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points, ACM Transactions on Mathematical Software, Vol.4, No.2, pp.148-159, 1978.
- 2) 山田昭男, 統計学のフロンティア 12 計算統計学 II, pp.153-163, 2005.