

カテゴリー境界成長方程式に基づくユーザーの関心度推定

User interest estimation based on a category boundary growth equation

今基織*1
Motohri Kon

越膳孝方*2
Takamasa Koshizen

辻野広司*2
Hiroshi Tsujino

合原一幸*1*3
Kazuyuki Aihara

*1 東京大学
University of Tokyo

*2 Honda Research Institute Japan Co Ltd., Japan
Honda Research Institute Japan Co Ltd., Japan

*3 ERATO 合原複雑数理モデルプロジェクト
Erato Aihara Complexity Modelling Project, JST

Previously, cross-modal computation estimated human interest robustly with eye gaze data and skin potential level data. This estimation can be treated as a pattern categorization problem of sensory models. In this study, we especially categorize the eye gaze data into “interest” or “no-interest” category. However, it is difficult for weighted regression methods, such as a support vector machine (SVM), for overlapped category boundary. To avoid this problem, we propose a boundary growth method based on Allen-Cahn type equation. The equation evolves a boundary regarding each data point.

In addition, our previous study suggests the correlation between user interest level and a set of eye gaze models. We quantify the relation between the two considering a category boundary.

1. はじめに

少子高齢化に伴い、ユーザーの負担の少ないインターフェースが今後必要になってくる。そうしたシステムの構築においては、システムによる人の状態推定を用いた双方向のインタラクティブシステムが望まれる。そのために我々は、[Koshizen ss]において、人の関心度を推定するシステムの構築のための実験を行った。これは、関心度を推定することにより、ユーザーへの情報提供など、適応的な行動選択を可能にすると考えたためである。この実験では、行動指標と生理指標を用い、それらを統合するクロスモーダルコンピューテーションを実現することによって、人の心的な隠れ状態を推定する目的関数を近似することを目的とする。そのために、被験者に画像を見せた時の状態を計測して得られたデータから関心状態についてのモデルを構築することによって、刺激画像への関心度を推定した。実験では、行動指標として視線データを、生理指標としては皮膚電気活動を計測して推定を行ったが、本発表では特に視線モデルからの推定ができないかを検証する。

この推定は、得られたセンサーデータを“関心あり”と“関心無し”のどちらのカテゴリーに属するかを判定するカテゴリー分類問題として捉える事が出来る。カテゴリー分類問題の従来手法としてはサポートベクターマシン (SVM) [Cortes 95]などが考えられるが、それぞれのカテゴリーのデータ分布がオーバーラップしている場合は、重みの最適化がうまくいかないために適切な境界が形成されないことがある。しかし、実際の問題においては分布が重なり合っている状況は多くあり、人の状態推定においても同様の問題のために SVM では適切な境界が形成されない。よって、重みを用いた最適化以外の手法が必要となる。つまり、全体の分布から境界を作るのではなく、各点から領域を広げていくことによってあるべき境界を形成する方法を考える。これにより、分布が重なっている場合においても境界が形成され、過学習を回避することができる。

そこで本発表では、各データポイントからローカルな相互

作用によって境界を形成するように、Allen-Cahn 型の反応拡散方程式によってカテゴリー分類を行うことを提案する。これにより、データの分布の仕方から重みを計算せずに境界を形成できるため、重なり合ったカテゴリーの分類も可能になると考えたためである。本論文では、まずその基礎としてカテゴリー分類のための境界形成に焦点を絞り議論する。

2. クロスモーダルコンピューテーション

我々は視線データと皮膚電気活動のデータを基に、クロスモーダルデータによる関心度推定のためのシステムを構築した [Koshizen ss]。その概略を図 1 に示す。画像提示時のユー

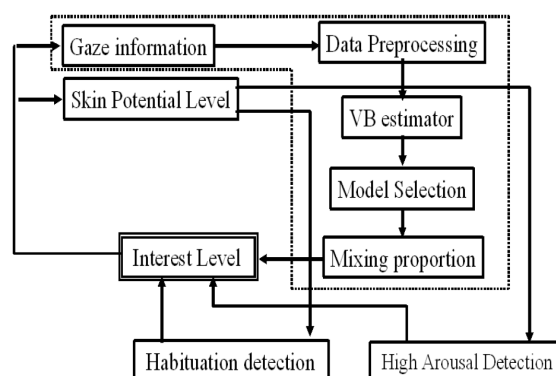


図 1: クロスモーダルコンピューテーションの概要

ザーの視線データから、注視している対象の抽出を自動化するために変分ベイズ法を用い、その中で混合比率が最も高いものを視線モデルとした。しかし、関心がない場合に漫然と対象を見る場合と関心を持って注視する場合の区別が難しいなど問題がある。そこで、生理指標である皮膚電気活動を同期して計測し、画像注視時における有意な変化の頻度を計算した。

以上の視線モデルと皮膚電気活動の活動頻度に対して、アンケート結果から手でカテゴリー分けを行った。そこで本研究

ではカテゴリー分類を自動化するために、以下の Allen-Cahn 型方程式による分類を行う。

3. 視線モデル

本発表では、視線データに対してカテゴリー分類することを考える。視線データから状態を推定するために、まず視線モデルを構築する必要がある。そこで我々は [Suzuki 05] において、変分ベイズを用いて混合比率が最も大きいものの混合比率とそのコンポーネントにおける連続注視時間を、一つの刺激画像に対する視線モデルとした。なお、連続注視時間は、画像提示時間が 1 となるように正規化されている。この実験においては、各被験者に対して 27 の刺激画像を提示したので、27 の視線モデルを得る。また、各刺激画像に対する関心度は 1 から 5 までの五段階評価のアンケートによって確認した。なお、このアンケート結果が 3 以下ならば“関心なし”、4 以上ならば“関心あり”とした。

4. Allen-Cahn 型方程式

反応拡散方程式の一つである Allen-Cahn 方程式は、元々合金中の粒界の動きの解析のために作られたものである [Allen 79]。結晶の成長の他にも、イメージプロセッシングの分野など、幅広く用いられている [Benes 04]。本発表では、Allen-Cahn 型方程式として以下の式を用いた：

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \Delta u + \frac{1}{\epsilon^2} f'(u), \quad (1)$$

$$f(u) = \frac{1}{2}(1 - u^2)^2. \quad (2)$$

ここで、 α と ϵ は定数である。また、自由エネルギーを

$$F[u] = \int \left\{ \frac{|\nabla u|^2}{2} + f(u) \right\} \quad (3)$$

で与える。本発表においては、[Carrier 76] の方法を元に、格子力学系によって離散化してラプラシアンを 5 点近似によって計算した。ここで、 $f(u)$ は $u = \pm 1$ で安定である。つまり、各格子点を ± 1 のどちらかの状態に分離していくことになり、これによってカテゴリー分類を行う。

4.1 Allen-Cahn 方程式によるカテゴリー分類

図 2 に、Allen-Cahn 方程式を用いた結果を示す。

図の赤い点は“関心なし”カテゴリー、青い点は“関心あり”カテゴリーに属する。緑色の曲線が、二つのカテゴリーの境界を示している。ここで、 ϵ は 0.001 とし、 α は 0.5 とした。また、一辺 200 の離散格子空間においてシミュレーションを行った。初期値は、“関心なし”カテゴリーのデータは $u = -1$ 、“関心あり”カテゴリーは $u = 1$ とし、その他はすべて 0 とした。また、このときの自由エネルギーの変化を図 3 に示す。本実験では、自由エネルギーの値変化が 10^5 以下になった時点で計算を終了させている。

4.2 自由エネルギーと関心度

自由エネルギーの変化は、データの分布の仕方に依存する。いま、データの分布の指標として、データ間の平均距離を用いることにする。このとき、縦軸に初期状態から最終の状態までの自由エネルギーを積分した値をとり、横軸に視線モデルの平均距離をとると、相関が見られる(図 4 参照)。相関係数は約 -0.74 であった。ただし、適用した被験者は 15 人である。

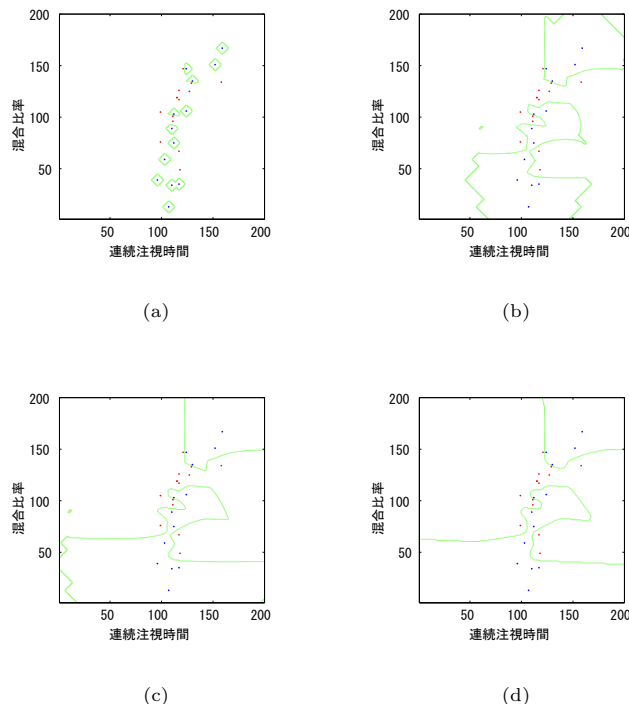


図 2: Allen-Cahn 方程式による境界形成。(a) から (d) までそれぞれ 5、50、100、最終ステップでの境界の状態。連続注視時間は、刺激画像が提示されている時間を 1 として、最大の混合比率のコンポーネントに連続して視線が留まっていた時間を正規化したものであり、離散格子空間で表現するため 200 分割した。

境界形成に費やされる自由エネルギーは、定性的な視線モデルの凝集性を定量化することができると考えられる。そこで、関心度と視線モデルの凝集性の関係を図 5 に示す。

以上のことから、自由エネルギーの変化と関心度の平均の間にも相関があると考えられる。両者の相関係数は約 -0.63 であり、ある程度の相関がみられる(図 6)。

5. 考察

本研究では、関心度推定における視線モデルのカテゴリー分類を目的としていた。しかし、二つのカテゴリーが重なる場合では重みの最適化が行えずに適切な境界が形成できない。実際、図 2 に示した例は、SVM では境界形成が適切に成されない。本発表ではこの問題を回避するために、各点からの境界形成を行うために Allen-Cahn 型方程式を用いた。Allen-Cahn 型方程式を用いる場合、各格子点での状態によってどちらのカテゴリーに属するかが決定される。この状態は、格子点の状態とその近傍の状態のみによって遷移するため、全体の分布の形状にはそれほど影響されずに境界形成が可能である。この性質を基に、本研究では、視線モデルの凝集性と関心度との定性的関係性について境界形成時の自由エネルギーの変化に基づいて定量化を行った。

また、関心度推定における重要な問題として、関心状態の時間的な非定常性がある。すなわち、時間変化する分布を追従する必要があり、SVM でそれを行うと変化のたびに境界を初めから計算しなおさなければならない。Allen-Cahn 型方程式は各点を基に境界を形成させる仕組みがあるので、変化に対しても適応的に追従が可能となり、精度の高い関心度推定が恒常的

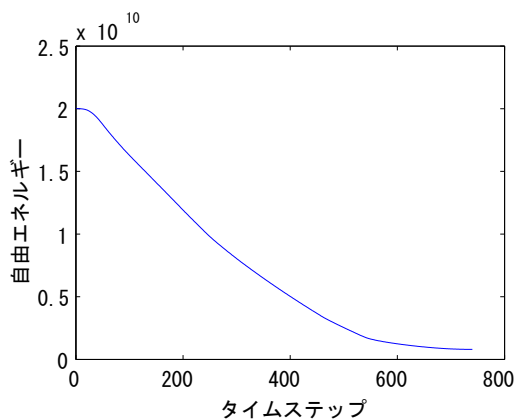


図 3: 自由エネルギーの時間変化

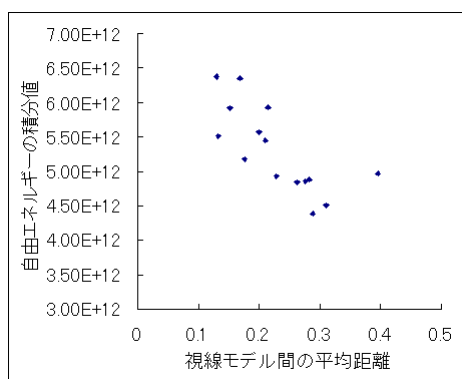


図 4: 自由エネルギーの時間積分と視線モデルの平均距離の関係

に維持できると考える。今後、こうした追従性の問題を解決することにより、人の状態についての数理モデル化を目指す予定である。

参考文献

- [Allen 79] Allen, S. M. and Cahn, J. W.: A microscopic theory for antiphase boundary motion and its application to antiphase domain coarsening, *Acta Metallurgica et Materialica*, Vol. 27, pp. 1085–1095 (1979)
- [Benes 04] Benes, M., Chalupecky, V., and Mikula, K.: Geometrical image segmentation by the Allen-Cahn equation, *Applied Numerical Mathematics*, Vol. 51, No. 2-3, pp. 187–205 (2004)
- [Carrier 76] Carrier, G. F. and Pearson, C. E.: *Paritial Differential Equations: Theory and Technique*, Academic Press, New York (1976)
- [Cortes 95] Cortes, C. and Vapnik, V.: Support-Vector Networks, *Machine Learning*, Vol. 20, pp. 273–297 (1995)
- [Koshizen ss] Koshizen, T., Kon, M., Prendinger, H., Hasegawa, Y., Aihara, K., and Tsujino, H.: User Interest Estimation Using Cross-modal Computation, *Inter-*

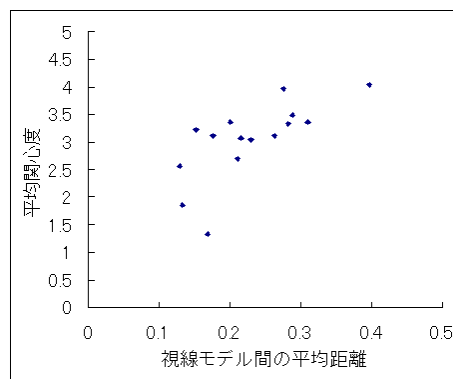


図 5: 平均関心度と視線モデルの平均距離の関係

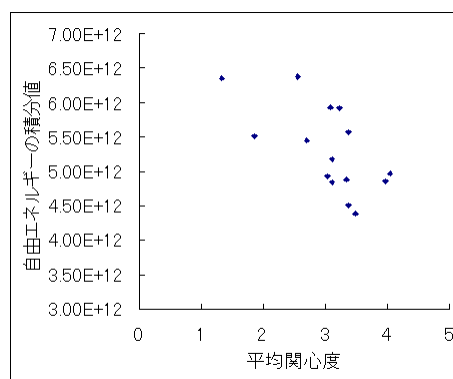


図 6: 自由エネルギーの時間積分と関心度の関係

national Journal of Computational Intelligence Research
(In press)

- [Suzuki 05] Suzuki, T., Koshizen, T., Aihara, K., and Tsujino, H.: Learning to estimate user interest utilizing the variational Bayes estimator., in *ISDA '05: Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, pp. 94–99 (2005)