

統計的機械学習理論とボルツマン機械学習

安田 宗樹

山形大学大学院理工学研究科

n 個のデータ要素 x_i をもったデータ $x = \{x_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ が複数個あるとする．そして，データの背景にある確率分布 $P_{\text{gen}}(x)$ あって，データはその分布から確率的に生成されたものであると考える． $P_{\text{gen}}(x)$ はデータを生成する源であり，生成モデル (generative model) と呼ばれる．もちろん，一般に生成モデルは未知の分布である．生成モデルがデータを作り出しているのだから，そこにはデータの根源的なメカニズムが記述されていると考えられる．したがって，生成モデルを把握したいという欲求が生まれるのである．生成モデルは未知分布であるため，我々は生成モデルに対する直接的な情報をもっていない．我々が持っているのは手元にあるデータのみであるが，この手元のデータは生成モデルを通して作られているわけだから生成モデルに対する何らかの情報をもっているはずである．データに潜在する間接的な情報を活用して生成モデルへアプローチするための理論が統計的機械学習理論 (statistical machine learning theory) である．

統計的機械学習をはじめめるために，まず，チューニング可能なパラメータ θ をもった学習モデル $P_{\text{train}}(x \mid \theta)$ を定義する．我々はデータを利用してこの学習モデル (のパラメータ θ) をチューニングし，学習モデルを $P_{\text{gen}}(x)$ に近づけて未知の生成モデルの近似分布を得る．生成モデルを確率分布と仮定しているのだから，もちろん，定義する学習モデルも確率分布を表現する数理モデルとなる．より良い生成モデルの再現を得るためにはより良い学習モデルを利用する必要があるため，どのような学習モデルを用いるかが非常に重要なポイントとなる．グラフィカルモデル (graphical model) が良質な学習モデルの有力候補として知られる．グラフィカルモデルは確率変数間の関連性をグラフ $G(V, E)$ で表現する確率モデルである．本講演では，グラフィカルモデルの中でも特に，変数間の関連性が無向グラフで表現されるマルコフ確率場 (Markov random field) に注目する．マルコフ確率場は長い歴史をもち，様々な課題に応用されている．本講演のメインテーマの一つであるボルツマン機械 (Boltzmann machine) [1] はマルコフ確率場の一種である．

本講演では，統計的機械学習理論の基礎から出発し，ボルツマン機械を用いた統計的機械学習の理論と応用へと至る．応用例としては画像処理 (ノイズ修復，画像補修) [2, 3]，道路交通ネットワークのナウ・キャスト推定 [4]，グラフマイニング等を取り上げる予定である．時間があれば，ボルツマン機械学習に関する最新の話 [5, 6] も取り上げたい．

- [1] D. H. Ackley, G. E. Hinton and T. J. Sejnowski: A Learning Algorithm for Boltzmann Machines, Cognitive Science, Vol.9, No.1, pp.147–169, 1985.
- [2] K. Tanaka: Statistical-mechanical approach to image processing, Journal of Physics A: Mathematical and General, Vol.35, No.37, pp.R81–R150, 2002.
- [3] M. Yasuda, J. Ohkubo and K. Tanaka: Digital Image Inpainting based on Markov Random Field, Proceeding in CIMCA-IAWTIC'05, pp.747–752, 2005.
- [4] S. Kataoka, M. Yasuda, C. Furtlehner and K. Tanaka: Traffic data reconstruction based on Markov random field modeling, Inverse Problems, Vol.30, pp.025003, 2014.
- [5] M. Yasuda: Monte Carlo Integration Using Spatial Structure of Markov Random Field, Journal of the Physical Society of Japan, Vol.84, No.3, pp.034001, 2015.
- [6] C. Takahashi and M. Yasuda: Mean-Field Inference in Gaussian Restricted Boltzmann Machine, Journal of the Physical Society of Japan, Vol.85, No.3, pp.034001, 2016.