

## ベイズ推定に基づく画像の修復と領域分割

三次元世界が網膜というセンサを経て二次元画像に変換される時、その奥行き方向の情報は失われる。この二次元画像から三次元世界を再構成することは画像処理工学と視覚脳科学の共通の目的の一つである。三次元世界が二次元画像に変換される時、物体はその前方の物体によってしばしば遮蔽されるが、失われた奥行き方向の前後関係をこの遮蔽から推定することができる。画像内の遮蔽を見つける有力な手掛かりとなるのが、画像をある一定の特徴を持つ小領域に分割する問題、「領域分割」である。

ところで、通常私たちが入手できる観測画像は大なり小なり原画像にノイズが重畳したものである。画像を正しく領域分割するためには、ノイズを除去した画像修復の結果が必要である。また、正しい画像修復のためには領域分割の結果が必要である。このように画像の修復と領域分割は、鶏と卵の問題、すなわち片方が決まらなければもう片方も決まらない難しい問題である。

多数の確率変数から構成され、各変数が他の変数と無向性の相互作用を持つような系はマルコフ確率場 (MRF) と呼ばれる。各変数が二次元の格子状に規則正しく配置されていると考えると、画像はまさしく MRF からのサンプルであると言える。MRF に基づく画像処理においてはしばしばベイズ推定が用いられる。ベイズ推定とはベイズの定理で計算される事後確率分布に基づく推定のことである。この場合、ふだん目にする画像に対する我々の知識を事前確率分布として定式化してやる必要がある。ここで、事後確率分布が観測画像を入手した後に計算される原画像の確率分布であるのに対し、事前確率分布は観測画像を入手する前に計算される原画像の確率分布である。原画像の確率分布を観測画像の入手前に計算するというのは奇妙な感じがするかも知れない。しかし、ふだん目にする画像について我々は「ほとんどのエリアにおいて隣接する画素の値 (グレー画像で言えば、濃淡を表す数値) はそれほど変わらない。しかし、物体による遮蔽などがあると画素値が急激に変化する (エッジと呼ばれる)」というような事前知識を持っており、画像一般に対するこのような知識は個別の観測画像によらず確率分布の形で定式化することが可能である。ベイズ推定で用いる事前確率分布としてはこのような事前知識をうまく表現できるものを選ぶことが望ましく、そのためには隠れ変数の導入が有効である。

最近、関西大学と東京大学の研究グループは、隠れ変数を導入した MRF に基づくベイズ推定により画像の修復と領域分割を行う決定論的なアルゴリズムを導出した。このアルゴリズムは後に述べる変分ベイズ法と確率伝搬法を組み合わせることにより画像の修復と領域分割を行うもので、その際、原画像のスムーズネスを表すパラメータと原画像に重畳されたノイズの大きさを表すパラメータも一枚の観測画像から独立に推定することができる。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2011 年 9 月号に掲載された。

隠れ変数には境界ベースと領域ベースの二種類がある。境界ベースは図 1 (a) のように画素と画素の間に、そこがエッジであるかどうかを表す隠れ変数を置いてゆく方法であり、ラインプロセスとも呼ばれる。これに対して領域ベースは図 1 (b) のように各画素がどの領域に属するかを示す隠れ変数を画素ごとに貼り付けてゆく方法であり、ラベルプロセスとも呼

ばれる。二種類の隠れ変数には一長一短があるが、本研究ではラベルプロセスの長所に着目した。事前確率分布に隠れ変数を導入すると事後確率分布の式も複雑になり、その計算が解析的にも数值的にも困難となる。この困難を回避するための決定論的な近似解析手法に変分ベイズ法がある。変分ベイズ法は、事後確率分布の代理として試験確率分布を導入し、カルバック・ライブラー距離が最小という意味で事後確率分布に最も近い試験確率分布を求めるという興味深い手法である。しかし、最適試験確率分布を解析的に求めるために試験確率分布には一般的に因子化仮定という粗い近似をおく必要がある。本研究では確率伝搬法を用いて因子化仮定を緩和することにより性能を改善することに成功した。

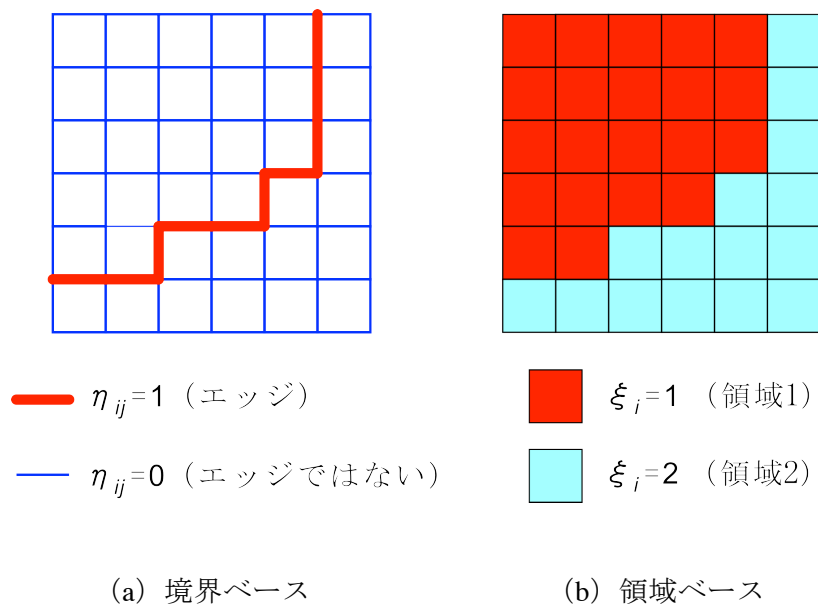


図1 二種類の隠れ変数

論文ではすべての領域が同一のスムーズネスを持つ人工画像を対象に提案アルゴリズムの有効性が示されている。今後、領域毎にスムーズネスを推定するよう拡張することにより自然画像への適用も可能になると考えられ、さらなる展開が期待される。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **80** (2011) No.9, p. 093802

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/80/093802> (8月22日公開済)

<情報提供：長谷川 亮太（関西大学大学院理工学研究科）

岡田 真人（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

三好 誠司（関西大学システム理工学部 教授）>