



Doctoral Thesis

Unsupervised segmentation and shape posterior estimation under Bayesian image models

Author(s):

Cardinale, Janick O.

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009920846> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 21026

UNSUPERVISED SEGMENTATION AND SHAPE
POSTERIOR ESTIMATION UNDER BAYESIAN IMAGE
MODELS

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
JANICK OLIVER CARDINALE
MSc ETH in Computer Science
born on April 21th, 1983
citizen of Berne, Switzerland

accepted on the recommendation of
PROF. DR. IVO F. SBALZARINI
PROF. DR. GÁBOR SZÉKELY
PROF. DR. BADRINATH ROYSAM

2013

Abstract

Automated image analysis is concerned with extracting quantitative information from images. In this process, image segmentation is a key step. Unsupervised image segmentation partitions an image into a priorly unknown number of “meaningful” regions that are usually intended to correspond to individual objects represented in the image. Because information is lost during image acquisition, multiple solutions are usually possible. Image segmentation hence constitutes an ill-posed problem that requires regularization. Bayesian image models regularize the segmentation problem by including prior knowledge and assigning posterior probabilities to segmentations. In addition, the probability density function of the posterior provides information about the uncertainty or robustness of a particular segmentation.

In this thesis we consider Bayesian image segmentation and uncertainty quantification and provide novel optimization and sampling algorithms for it. We first present a discrete multi-region algorithm to locally optimize the posterior with respect to possible segmentations. In order to jointly estimate the number of regions, we constrain foreground regions to be connected components, amounting to an intuitive topological prior. We present a multi-region competition optimizer over discrete contours for which the posterior is a black-box function. We apply the algorithm to various image models with a focus on images acquired by fluorescence microscopy. We present local and global shape priors to regularize the geometric estimation problem. We consider piecewise smooth and piecewise constant image models with Gaussian and Poisson noise. Furthermore, we jointly segment and deconvolve images by including a blurring kernel in the image-formation model. Due to the local character of the topological prior, the algorithm is competitive, especially for large numbers of regions and in 3D images.

In order to assess and improve the segmentation robustness, we also introduce a novel algorithm to sample from the posterior probability in time and space. This provides a measure of segmentation uncertainty or, more specifically, solution robustness. We present two Markov chain Monte Carlo methods for both discrete and continuous contour representations. The resulting methods approximate the posterior probability density over the high-dimensional space of segmentations. This allows extracting sub-pixel segmentations at specified confidence levels. The present sampling approaches can

also improve solution quality, as they may overcome local optima in the posterior.

Zusammenfassung

Automatisierte Bildanalyse befasst sich mit der Extraktion von quantitativen Informationen aus Bildern. Dabei spielt Bildsegmentierung eine Schlüsselrolle. Bildsegmentierung partitioniert ein Bild in eine vorher unbekannte Anzahl “sinvolle” Regionen, welche mit Objekten im Bild übereinstimmen sollen. Weil während der Bildgebung Information verloren geht, sind oft mehrere Partitionierungen möglich. Bildsegmentierung ist deshalb ein schlecht gestelltes Problem und bedarf Regularisierung. Bayessche Bildmodelle regularisieren das Problem mit einer A-priori-Wahrscheinlichkeit. Zudem ordnen sie Segmentierungen eine A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit zu. Diese kann zur Abschätzung der Unsicherheit oder Robustheit einer Lösung verwendet werden.

Diese Arbeit befasst sich mit Segmentierungen und deren Unsicherheitsschätzungen unter Verwendung Bayesscher Bildmodelle. Dazu werden neue Wahrscheinlichkeitsoptimierungs- und Abtastverfahren vorgestellt. Ein neuartiger Optimierungsalgorithmus findet Segmentierungen so, dass die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit lokal maximiert wird. Um gleichzeitig die Anzahl der Regionen der Partitionierung zu ermitteln, werden Regionen an die Bedingung gebunden, dass sie zusammenhängend sind. Dies entspricht einer intuitiven topologischen Annahme. Das Optimierungsverfahren ist gradientenfrei. So können beliebige A-Priori-Wahrscheinlichkeiten, wie zum Beispiel Annahmen über die lokale und globale Gestalt der zu segmentierenden Objekte, als Regularisierung miteinbezogen werden.

Wir betrachten Bildmodelle für stückweise konstante und stückweise glatte Bildsignale sowie Gaussches- und Poissonrauschen. Desweiteren werden Bildfaltungsprozesse in der Bildgebung im Bildmodell berücksichtigt. Der vorgestellte Algorithmus ist insbesondere leistungsstark, wenn das Bild eine grosse Anzahl Regionen enthält. Wir benutzen diese Multiregionssegmentierung vor allem für zwei- und dreidimensionale Bilder aus der Fluoreszenzmikroskopie.

Um die Robustheit einer Segmentierung abzuschätzen und zu verbessern, werden zwei Algorithmen vorgestellt, welche die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeit mit Segmentierungsvorschlägen in Raum und Zeit derart abtastet, dass zumindest lokal die Wahrscheinlichkeitsfunktion beschreiben und charakterisiert werden kann. Wir stellen zwei *Markov-chain Monte Carlo* Algorithmen vor, um einerseits kontinuierlich und andererseits diskret repräsentierte Objekte im hochdimensionalen Segmentierungsraum abzutasten. Weil mit solchen

stochastischen Methoden, im Vergleich zu lokalen Optimierungen, lokale Maxima überwunden werden können, kann zusätzlich die Segmentierungsgüte im Sinne von höheren A-Posteriori-Wahrscheinlichkeiten verbessert werden.