

情報認識 「ベイズ推定法(第9章)」

- 担当教員： 杉山 将（計算工学専攻）
- 居室： W8E-505
- 電子メール： sugi@cs.titech.ac.jp

■ 最大事後確率則:

$$\arg \max_y p(y | x)$$

■ ベイズの定理より

$$p(y | x) \propto p(x | y) p(y)$$

条件付き確率 事前確率

■ 事前確率は各カテゴリの標本の割合で推定

$$\hat{p}(y) = n_y / n$$

■ 本講義の主題: 条件付き確率をうまく推定したい

■ 簡単のため, 条件付きでない確率密度関数 $p(x)$ を $\{x_i\}_{i=1}^n$ から推定する問題を考える.

- **パラメトリック法**: モデルのパラメータを推定
 - 最尤推定法, EMアルゴリズム, 赤池の情報量規準
 - ベイズ推定法, 最大事後確率法, 経験ベイズ法
- **ノンパラメトリック法**: モデルを使わず直接確率密度関数を推定
 - カーネル密度推定法
 - 最近傍密度推定法

- θ : パラメータ
- Θ : パラメータの定義域
- **パラメトリックモデル** $q(x; \theta)$: 有限次元のパラメータで記述された確率密度関数の族
- **パラメトリック法**: パラメトリックモデルを用いて確率密度関数を推定する方法

- **尤度**: 訓練標本 $\{x_i\}_{i=1}^n$ がモデル $q(x; \theta)$ から生起する確率を θ の関数とみたもの:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n q(x_i; \theta)$$

- **最尤推定法**: 尤度を最大, 即ち, 手元にある訓練標本が最も生起しやすいようにパラメータ値を決める方法

$$\hat{\theta}_{ML} = \arg \max_{\theta \in \Theta} L(\theta)$$

パラメータの確率的取り扱い 233

- 最尤推定の枠組みでは、モデル $q(x; \theta)$ のパラメータ θ を決定論的な変数として扱った.
- もし、パラメータも確率変数とみなせば、次のような確率が定義できる.

- 事前確率

$$p(\theta)$$

- 事後確率

$$p(\theta | X)$$

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

- 尤度

$$p(X | \theta)$$

- これまではモデルを $q(x; \theta)$ と表記してきたが、ベイズ推定の枠組みでは $q(x | \theta)$ と表す.

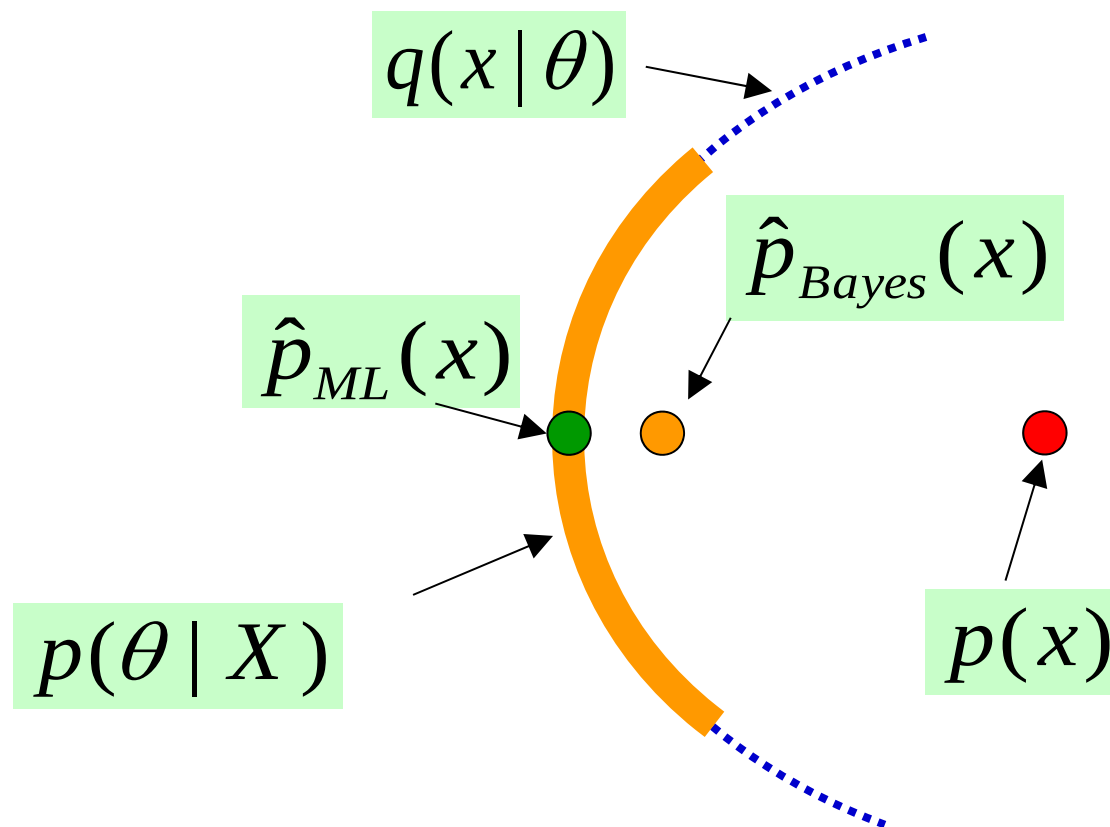
- **ベイズ推定法(Bayesian inference)**: モデルをパラメータの事後確率に関して平均することによって推定する方法

$$\hat{p}(x) = \int_{\Theta} q(x | \theta) p(\theta | X) d\theta$$

- **最尤推定**: 1つの代表パラメータで推定
- **ベイズ推定**: 無数の確率密度関数の平均で推定

$$\hat{p}_{Bayes}(x) = \int_{\Theta} q(x | \theta) p(\theta | X) d\theta$$

- 一般に $\hat{p}_{Bayes}(x)$ はモデルに含まれない.



■ 尤度は

$$p(X | \theta) = \prod_{i=1}^n q(x_i | \theta)$$

■ 事後確率は、ベイズの定理を用いれば

$$p(\theta | X) = \frac{p(X | \theta)p(\theta)}{p(X)}$$

$$= \frac{p(X | \theta)p(\theta)}{\int_{\Theta} p(X | \theta')p(\theta')d\theta'}$$

$$= \frac{\prod_{i=1}^n q(x_i | \theta)p(\theta)}{\int_{\Theta} \prod_{i=1}^n q(x_i | \theta')p(\theta')d\theta'}$$

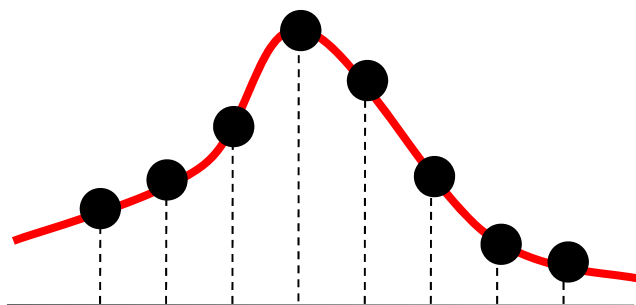
ベイズ推定法の計算(続き) 237

$$\hat{p}(x) = \int_{\Theta} q(x | \theta) \frac{\prod_{i=1}^n q(x_i | \theta) p(\theta)}{\int_{\Theta} \prod_{i=1}^n q(x_i | \theta') p(\theta') d\theta'} d\theta$$

- ベイズ推定法は、事前確率とモデルさえ与えられれば、原理的には計算できる.
- しかし、実際にはパラメータに関する積分を計算しなければならない.

ベイズ推定法の計算(続き) 238

- パラメータ空間 Θ の次元が低いとき, 格子上の値を使えば, (台形公式などにより) 簡単に近似計算できる.
- しかし, 格子点の数はパラメータ空間の次元に指数的に比例するため, 次元が高いとき, 計算効率が非常に悪い.



- 最大事後確率推定法 (maximum a posteriori probability estimation, MAP推定法): パラメータに関して積分するのをやめて, 事後確率を最大にするパラメータ1点を用いる

$$\hat{p}(x) = q(x | \hat{\theta}_{MAP})$$

$$\hat{\theta}_{MAP} = \arg \max_{\theta} p(\theta | X)$$

- ベイズの定理より

$$\hat{\theta}_{MAP} = \arg \max_{\theta} \left[\sum_{i=1}^n \log q(x_i | \theta) + \log p(\theta) \right]$$

最大事後確率推定法と最尤推定法²⁴⁰

- MAP推定法はベイズ推定の近似解法.
- しかし, 代表パラメータ $\hat{\theta}_{MAP}$ で分布を推定するため, ベイズ推定よりはむしろ最尤推定に近い.
- MAP推定法は, 対数尤度に対数事前確率を加えたものを最大にする.
- そのためMAP法は, 罰則付き最尤推定法 (penalized MLE)とも呼ばれる.

$$\hat{\theta}_{MAP} = \arg \max_{\theta} \left(\underbrace{\sum_{i=1}^n \log q(x_i | \theta)}_{\text{対数尤度}} + \underbrace{\log p(\theta)}_{\text{対数事前確率}} \right)$$

■ 以下の設定でMAP推定量と最尤推定量を求めよ.

- モデル: 分散1のガウスモデル

$$q(x | \mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2}\right)$$

- 標本: $\{x_i\}_{i=1}^n, x_i \in R$

- 事前確率: ガウス分布

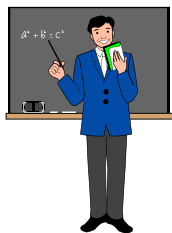
$$p(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta^2}} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2\beta^2}\right)$$

$$\beta > 0$$

(小さい $|\mu|$ の方が出やすい)

■ MAP推定量と最尤推定量の関係を調べよ.

- 最尤推定法は訓練標本が少ないとき精度がよくないことがある.
- MAP推定法では事前確率の大きい方に解が引っ張られるので, 訓練標本が少ない場合でも精度がよいことがある.



まとめ

243

- **ベイズ推定法**: パラメータも確率変数とみなして, パラメータの事後分布に関してモデルを平均する
- パラメータに関する積分の計算が大変
- **最大事後確率推定法(MAP法)**: ベイズ推定法の積分を最大の点で近似する
- MAP法はベイズ推定よりもむしろ最尤推定に近い (罰則付き最尤推定法とも呼ばれる)

■ Octaveなどを用いた実験:

- 平均0.5, 分散1の正規分布から n 個標本を生成せよ.
- 演習で用いたモデル, 事前分布に対して, MAP推定法を用いて分布の平均を推定せよ.

$$\hat{\mu}_{MAP} = \frac{1}{n + \beta^{-2}} \sum_{i=1}^n x_i$$

- 事前分布の β の値を変化させ, 推定結果がどのように変化するかを調べよ. また, 最尤推定法 ($\beta = \infty$) とも比較せよ.
- 真の平均, 標本数などを変化させたとき, 実験結果がどのように変化するかを考察せよ.

■ 1月23日は計算機実習(出席は取らない).

■ レポートを1月30日の講義開始時に提出すること.

Octaveのサンプルプログラム 245

ex8.m

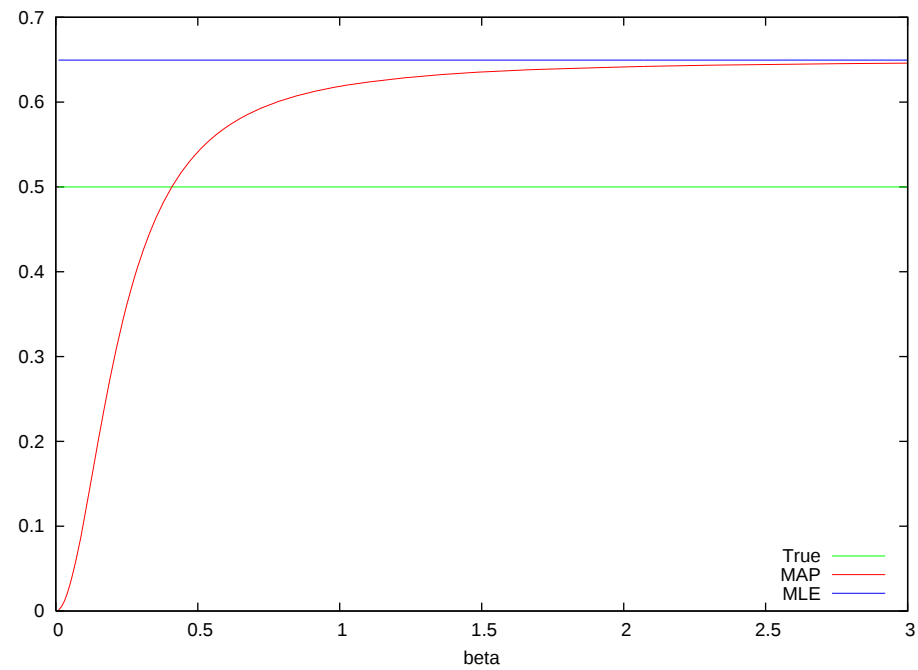
```
clear all
n=20; mu=0.5; sigma=1;
xx=sigma*randn(n,1)+mu;
betas=[0.01:0.01:3];

mu_MLE=mean(xx); sigma_MLE=std(xx,1);
for i=1: length(betas);
    mu_MAP(i)=sum(xx)/(n+betas(i).^(-2));
end

figure(1); clf; hold on;
plot(betas,mu*ones(size(betas)),'g-')
plot(betas,mu_MAP,'r-')
plot(betas,mu_MLE*ones(size(betas)),'b-')
xlabel('beta'); legend('True','MAP','MLE',4)
print -deps MAP.eps
```

実行例

246



試験について

247

- 2月13日(月)10時40分～12時10分
- S222講義室
- 試験内容:
 - 専門用語の英単語(日本語→英語)
 - 自由記述問題(以下より2問選択)
 - 識別関数のよさを測る規準について
 - 最尤推定法について
 - ノンパラメトリック法について
 - モデル選択について
 - 自分が考えたパターン認識の例について
- 教科書, ノートの持ち込みは不可.

レポート提出に関する注意 248

- これまで遅刻レポートを受け取ってきたが、遅刻レポート受け取りの最終期限は、1月30日の講義終了時とする。
- それ以降は一切受け付けないので注意すること。