

# 13. 系列データの識別

## 13.1 ラベル系列に対する識別

- ラベル系列に対する識別問題の分類
  - 入力の系列長と出力の系列長が等しい
    - 例) 形態素解析、固有表現抽出
    - 系列ラベリング問題  $\Rightarrow$  CRF
  - 入力の系列長に関わらず出力の系列長が 1
    - 例) 動画像の分類、話者認識
    - 系列識別問題  $\Rightarrow$  HMM
  - 入力の系列長と出力の系列長に対応関係がない
    - 例) 連続音声認識
    - 系列変換問題  $\Rightarrow$  RNN

## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

- 系列ラベリング問題とは
  - 入力系列の個々の要素に対してラベルを付与する
  - 系列の要素の出現確率は前後の要素に依存
    - 1 入力 1 出力の識別器を連続的に適用する方法では性能が上がらない
      - ⇒ 入力や出力の系列としての特徴を使う
  - 可能な出力系列の組合せは膨大な数になるので、単純な事後確率最大法は使えない
    - ⇒ 探索によって最適解を求める

## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

- 系列ラベリング問題の事例

- 形態素解析

入力	系列	で	入力	さ	れる	各	要素
出力	名詞	助詞	名詞	動詞	接尾辞	接頭辞	名詞

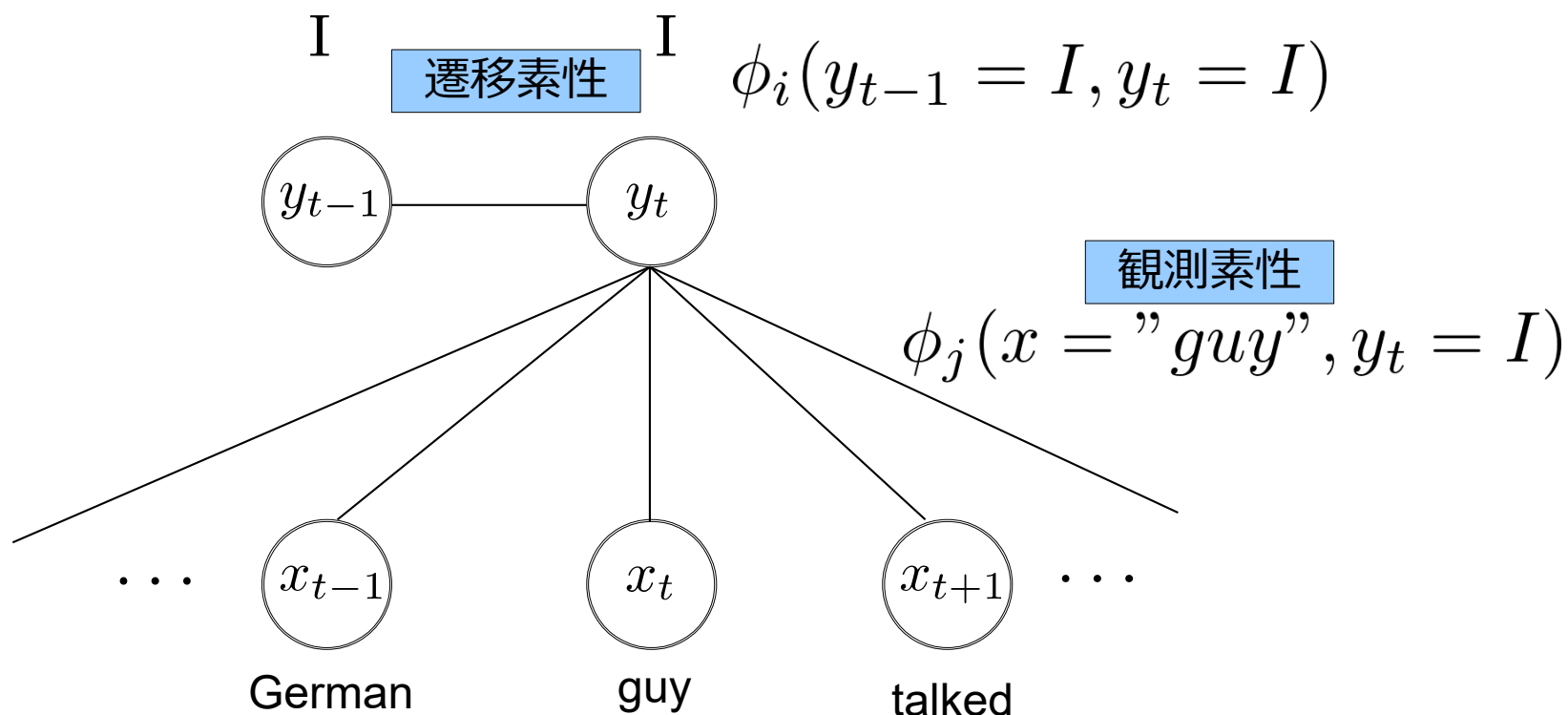
- 固有表現抽出（例：人を指す表現の抽出）

入力	Suddenly,	the	tall	German	guy	talked	to	me
出力	O	B	I	I	I	O	O	B

B: begin  
I: inside  
O: outside

## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

- 対数線型モデルによる系列ラベリング
  - 素性関数の導入



## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

- 対数線型モデル (softmax)

$$P(\mathbf{y}|\mathbf{x}) = \frac{1}{Z_{\mathbf{x},\mathbf{w}}} \exp(\mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}))$$

$$Z_{\mathbf{x},\mathbf{w}} = \sum_{\mathbf{y}} \exp(\mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}))$$

識別モデル

あるクラスの事後確率が上がれば、他のクラスは下がる

- 出力の決定

$$\mathbf{y}^* = \arg \max_{\mathbf{y}} P(\mathbf{y}|\mathbf{x})$$

$$= \arg \max_{\mathbf{y}} \frac{1}{Z_{\mathbf{x},\mathbf{w}}} \exp(\mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}))$$

$$= \arg \max_{\mathbf{y}} \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

- 素性関数の制限

$$\mathbf{y}^* = \arg \max_{\mathbf{y}} \sum_t \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, y_t, y_{t-1})$$

- ビタビアルゴリズムによって探索が可能

---

**Algorithm 12.1** ビタビアルゴリズム

---

for  $t = 2$  to  $|\mathbf{x}|$  do

  for all  $y_t$  do

$$\alpha(t, y_t) = \max_{y_{t-1}} \{ \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, y_t, y_{t-1}) + \alpha(t-1, y_{t-1}) \}$$

$$B(t, y_t) = \arg \max_{y_{t-1}} \{ \mathbf{w} \cdot \phi(\mathbf{x}, y_t, y_{t-1}) + \alpha(t-1, y_{t-1}) \}$$

  end for

end for

$\mathbf{y}^* = \alpha$  の最大値に対応する  $B$  を逆に辿る

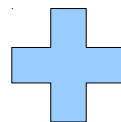
---

## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

### • CRF++ : CRF のツールキット

毎年 M1 名詞 - 副詞可能 B-DATE  
1 2月 T5-1 名詞 - 副詞可能 I-DATE  
中旬 M1 名詞 - 副詞可能 I-DATE  
に S9 助詞 - 格助詞 - 一般 O  
スピード M10 名詞 - 一般 O  
スケート M10 名詞 - 一般 O  
の S9 助詞 - 連体化 O  
浅間 M1 名詞 - 固有名詞 - 地域 - 一般 B-LOCATION  
選抜 M1 名詞 - サ変接続 O  
大会 M1 名詞 - 一般 O  
が S9 助詞 - 格助詞 - 一般 O  
開か T1-9 動詞 - 自立 O  
れる M9 動詞 - 接尾 O

学習データ



```
# Unigram
U00:%x[-2,0]
U01:%x[-1,0]
U02:%x[0,0]
U03:%x[1,0]
U04:%x[2,0]
U05:%x[-1,0]/%x[0,0]
U06:%x[0,0]/%x[1,0]

U10:%x[-2,1]
U11:%x[-1,1]
U12:%x[0,1]
U13:%x[1,1]
U14:%x[2,1]
...
```

X[-2,0]: 現在の単語から  
見て 2 単語前の第 0 列  
の値

テンプレート

crf\_learn コマンド

- a 正則化法
- c 正則化項の重み
- f 語彙のカットオフ

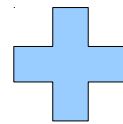
モデル

## 13.2 系列ラベリング問題— CRF—

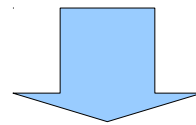
- CRF++ : CRF のツールキット

日本 M1 名詞 - 固有名詞 - 地域 - 国 B-LOCATION  
で S9 助動詞 O  
ラジオ M10 名詞 - 一般 O  
放送 M1 名詞 - サ変接続 O  
が S9 助詞 - 格助詞 - 一般 O  
開始 M1 名詞 - サ変接続 O  
され M9 動詞 - 自立 O  
た S9 助動詞 O  
の S9 助詞 - 連体化 O  
は S9 助詞 - 係助詞 O

評価データ



モデル



crf\_test コマンド  
-n N-best 出力

タグ付きデータ



## 13.3 系列識別問題— HMM—

- 例題

- PC 操作系列による熟練度の判定

- k: キーボード、 g: マウス、 e: エラー
- 初心者の入力系列例

k e k g k e k g g k g k k e g e e k e e e g e

- 熟練者の入力系列例

k k e k g k k k e k g k g g g e g k g

- 判定したい入力系列

k g e k g k k g e k g e k e e k e g e k

## 13.3 系列識別問題—HMM—

- 生成モデルによるアプローチ
  - 系列識別問題ではクラスの事前確率を得られることが多い

$$\begin{aligned} y^* &= \arg \max_y P(y|\mathbf{x}) \\ &= \arg \max_y \frac{P(\mathbf{x}, y)}{P(\mathbf{x})} \\ &= \arg \max_y \frac{P(\mathbf{x}|y)P(y)}{P(\mathbf{x})} \\ &= \arg \max_y P(\mathbf{x}|y)P(y) \end{aligned}$$

生成モデル

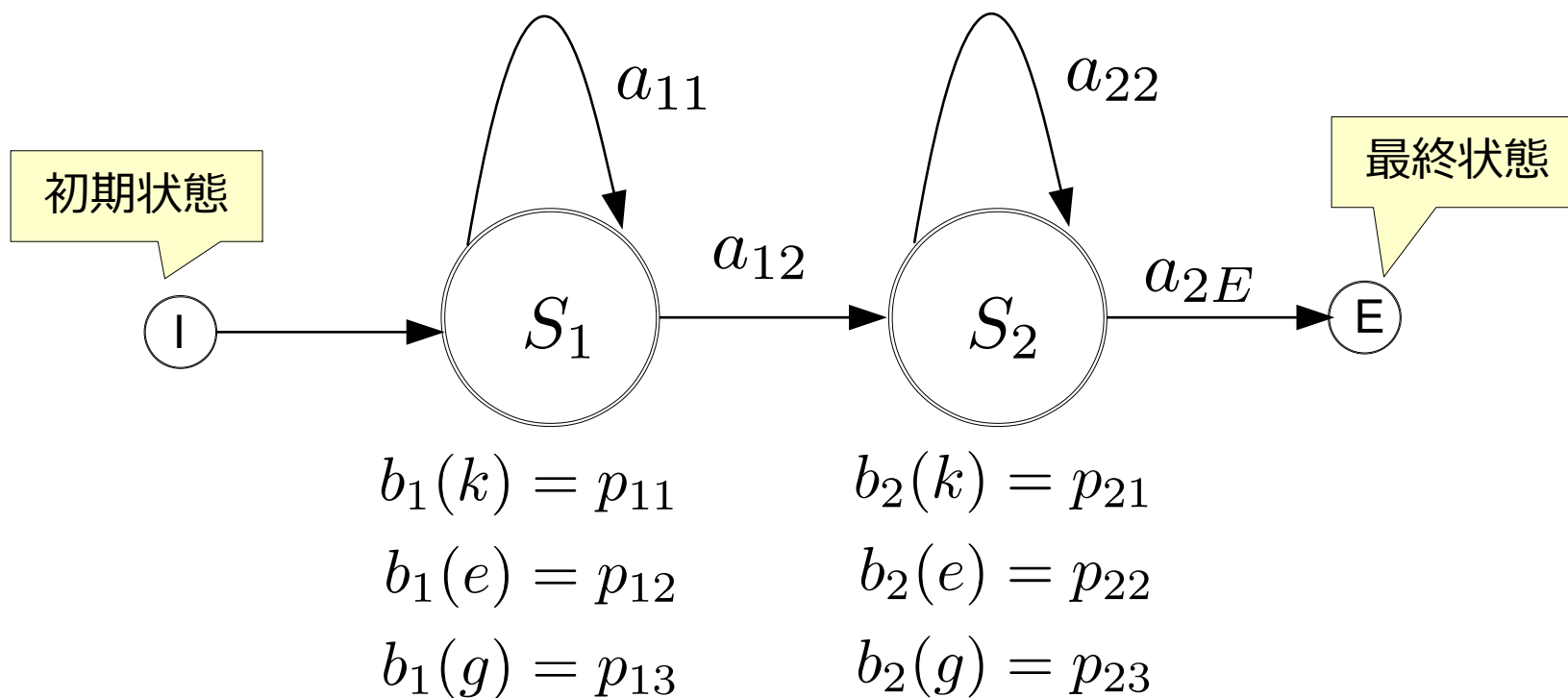
尤度は、あるクラスの確率モデルを、他のクラスとは無関係に求めている

尤度

事前確率

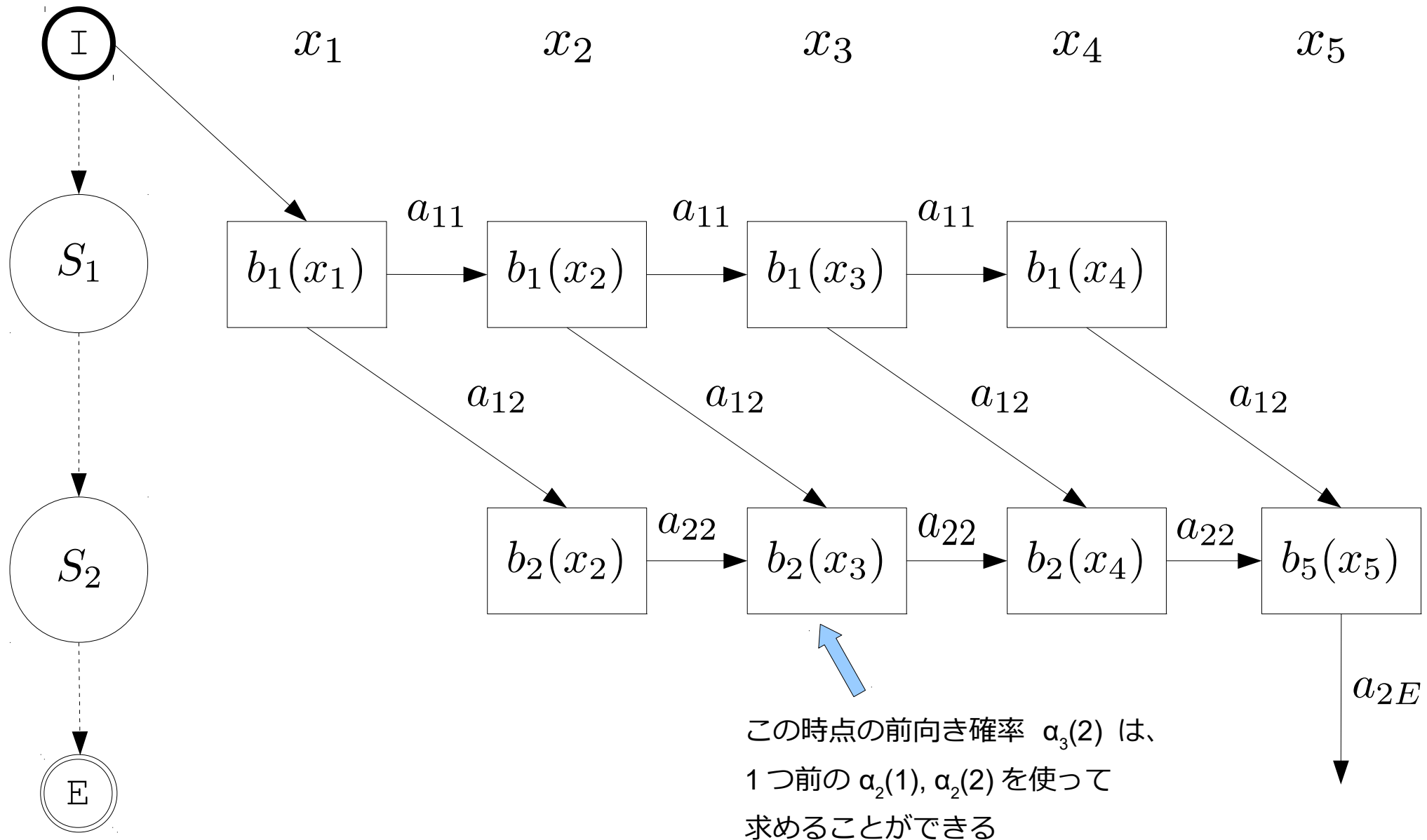
## 13.3 系列識別問題— HMM—

- 不定長入力に対する尤度計算法
  - 自己遷移を持つ確率オートマトンを用いる



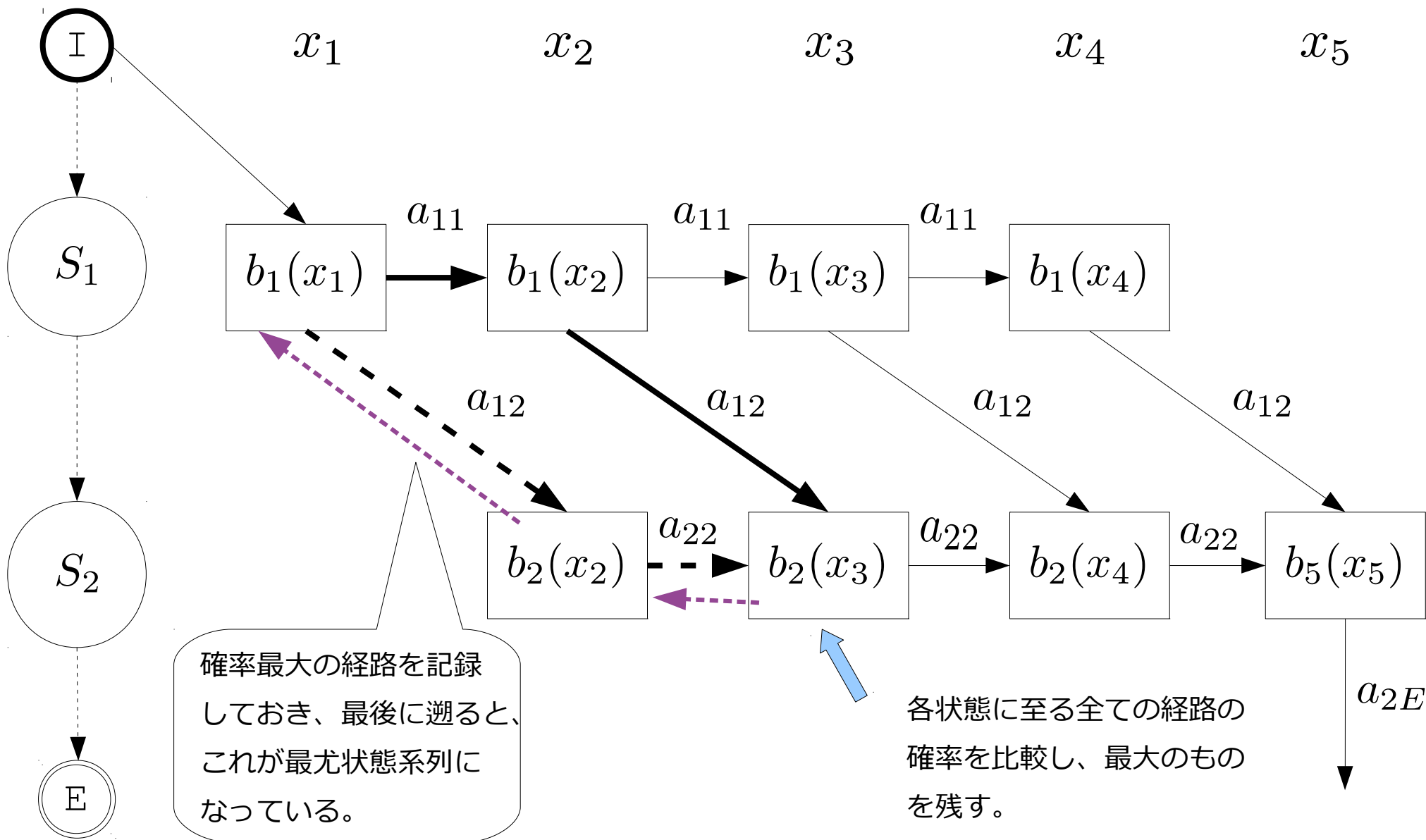
# 13.3 系列識別問題— HMM—

前向きアルゴリズム（正確な計算）



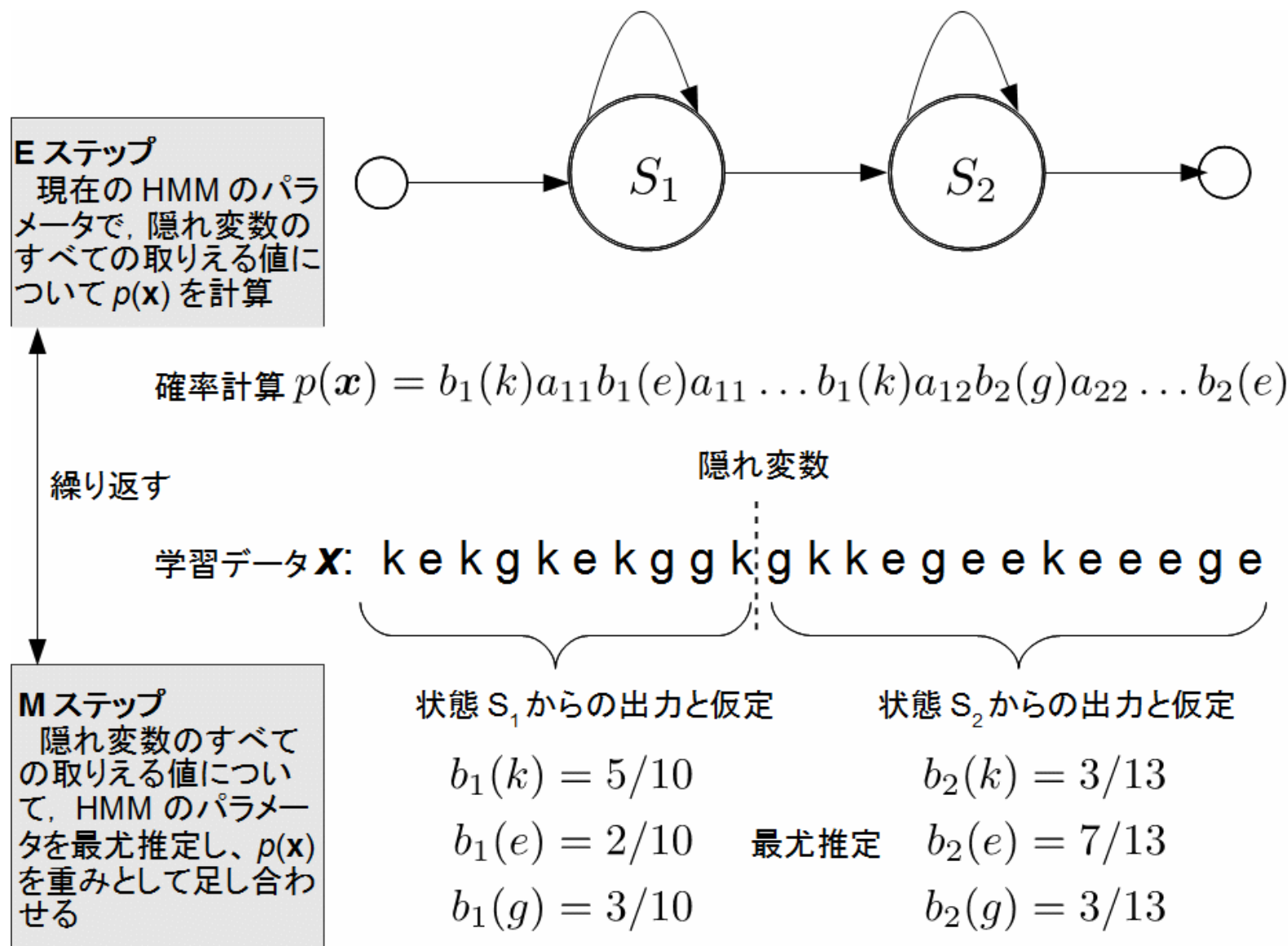
## 13.3 系列識別問題—HMM—

- ビタビアルゴリズムを用いた探索



## 13.3 系列識別問題— HMM—

### • HMM の学習 : EM アルゴリズム



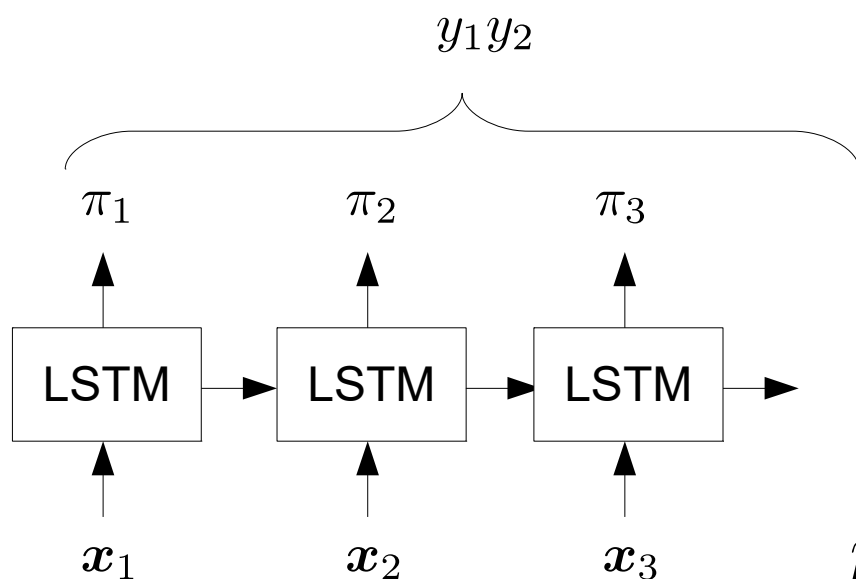
# 系列変換問題 — RNN—

- 系列変換問題の定式化
  - 入力系列  $\mathbf{x} = \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_T$
  - 出力系列  $\mathbf{y} = y_1, \dots, y_L$
  - 一般に  $T > L$
  - 系列識別と探索を組み合わせた複雑な処理が必要
- End-to-End アプローチ
  - 入力から出力への変換をニューラルネットワークで学習
    - Connectionist temporal classification
    - Attention モデル

# Connectionist temporal classification

- アイデア

- 出力記号に blank 記号 `_` を加えて、入力長と出力長を合わせる
- 正解系列に変換可能な出力系列の確率の和を求める



- $h_{ai}$  という正解系列に対して

`_h__a__i`

`hhh_aaaa_i`

`hh____ai__`

などの出力系列を正解とみなす

$$p(\mathbf{y}|\mathbf{x}) = \sum_{\boldsymbol{\pi} \rightarrow \mathbf{y}} p(\boldsymbol{\pi}|\mathbf{x}) = \sum_{\boldsymbol{\pi} \rightarrow \mathbf{y}} \prod_{i=1}^T p(\pi_i|\mathbf{x}_i)$$



# Attention モデル

- アイディア
  - 特徴ベクトルを分散表現に変換するエンコーダと、分散表現から出力を求めるデコーダの組み合わせ
  - 一定範囲の分散表現から出力を計算するために注意機構 (attention) を用いる

