12. 系列データの識別

12.1 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　⇒　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　⇒　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
    - 系列識別と探索を組み合わせた複雑な処理

12.2 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、ラベルを付与する問題
  - 系列の要素の出現確率は、前後の要素と独立ではないことが多いので、 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

12.2 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

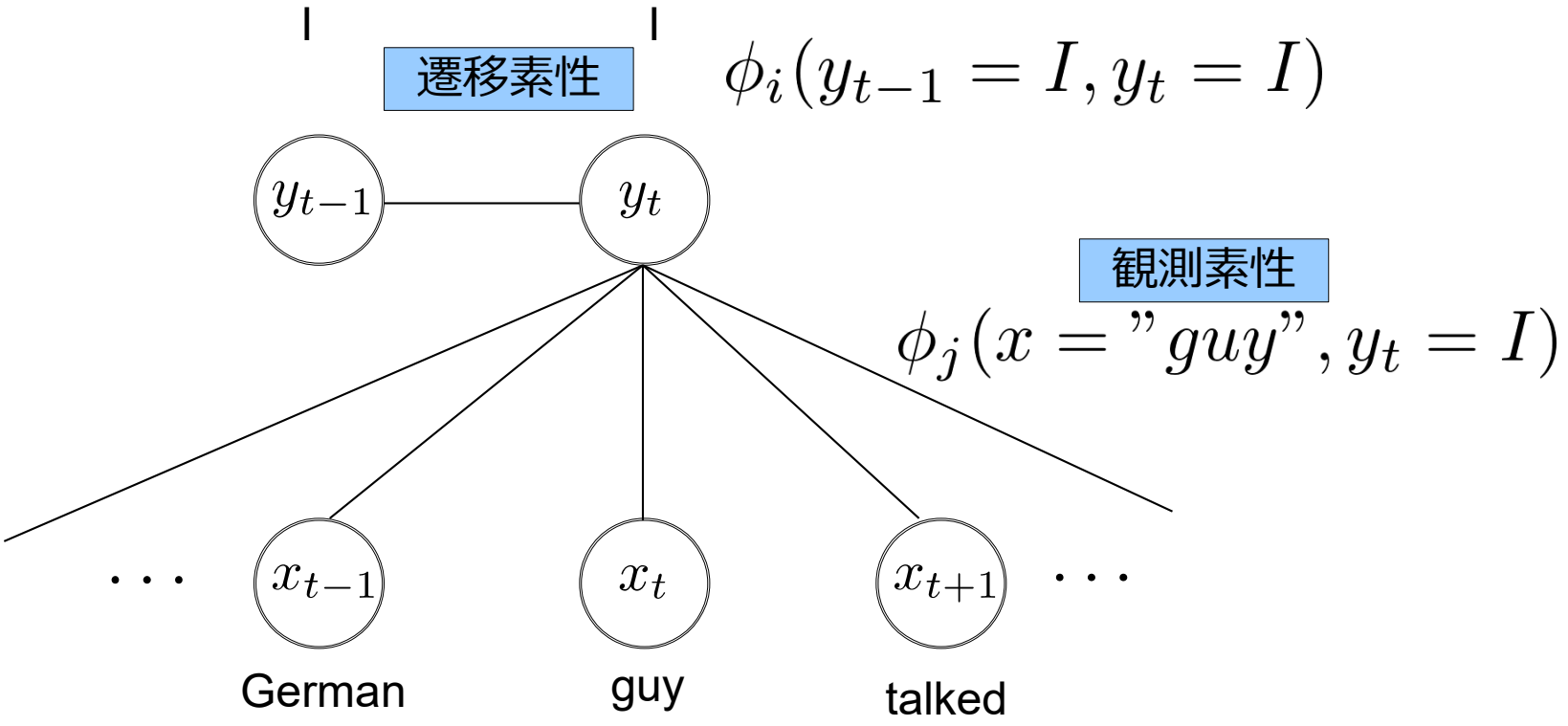
  - 固有表現抽出（例：人を指す表現の抽出）

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

12.2 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



12.2 系列ラベリング問題― CRF―

- 対数線型モデル

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

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

$$\begin{aligned} \boldsymbol{y}^* &= \arg\max_{\boldsymbol{y}} P(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{x}) \\ &= \arg\max_{\boldsymbol{y}} \frac{1}{Z_{\boldsymbol{x},\boldsymbol{w}}} exp(\boldsymbol{w} \cdot \boldsymbol{\phi}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})) \\ &= \arg\max_{\boldsymbol{y}} \boldsymbol{w} \cdot \boldsymbol{\phi}(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \end{aligned}$$

12.2 系列ラベリング問題― CRF―

- 素性関数の制限

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

  - 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* $|\boldsymbol{x}|$ **do**

  for all y_t **do**

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

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

  end for

end for

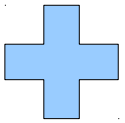
$\boldsymbol{y}^* = \alpha$の最大値に対応する B を逆に辿る

12.2 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
１２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

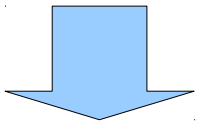


```
# Unigram
U00:%x[-2,0]
U01:%x[-1,0]
U02:%x[0,0]
U03:%x[1,0]
U04:%x[2,0]
U05:%x[-1,0]/%x[0,0]
U06:%x[0,0]/%x[1,0]

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



モデル

`crf_learn` コマンド

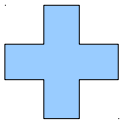
- `-a` 正則化法
- `-c` 正則化項の重み
- `-f` 語彙のカットオフ

12.2 系列ラベリング問題― CRF―

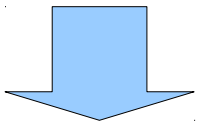
- CRF++ ：CRF のツールキット

```
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

12.3 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
```

12.3 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が得られることが多い

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

尤度

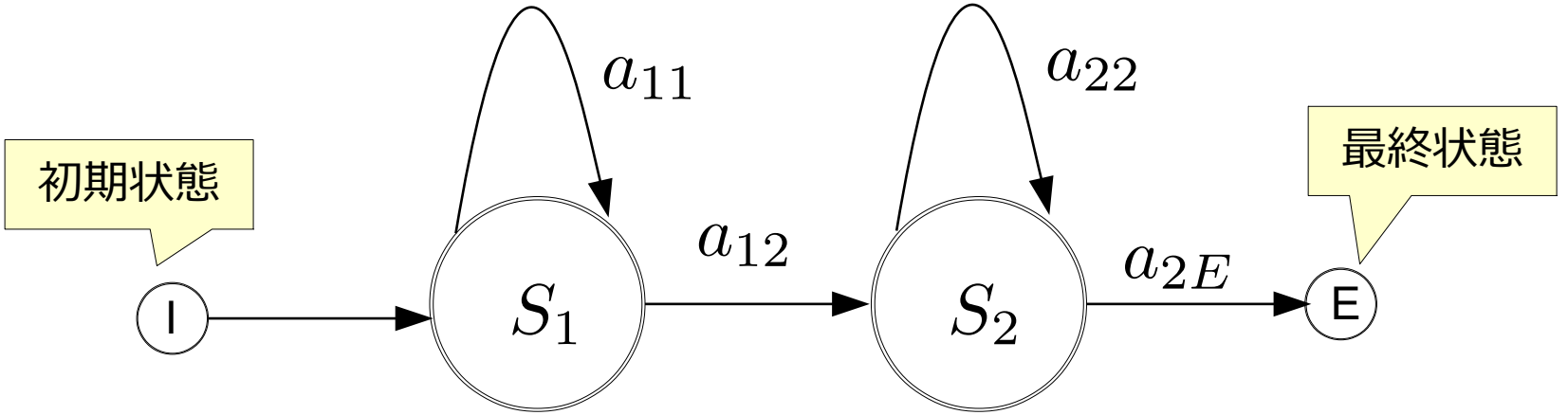
事前確率

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

12.3 系列識別問題― HMM―

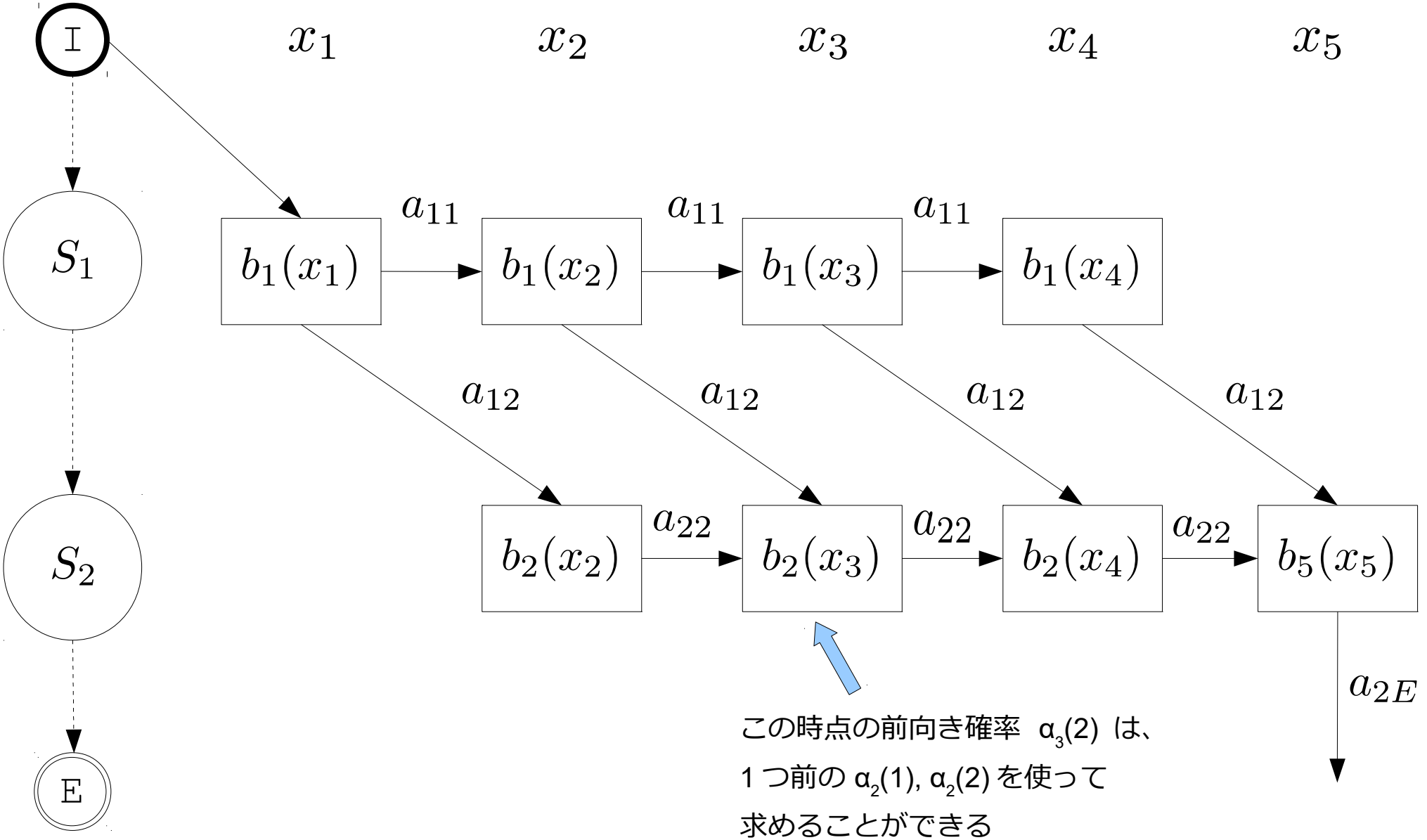
- 不定長入力に対する尤度計算法
  - 自己遷移を持つ確率オートマトンを用いる



$$b_1(k) = p_{11} \qquad b_2(k) = p_{21}$$
$$b_1(e) = p_{12} \qquad b_2(e) = p_{22}$$
$$b_1(g) = p_{13} \qquad b_2(g) = p_{23}$$

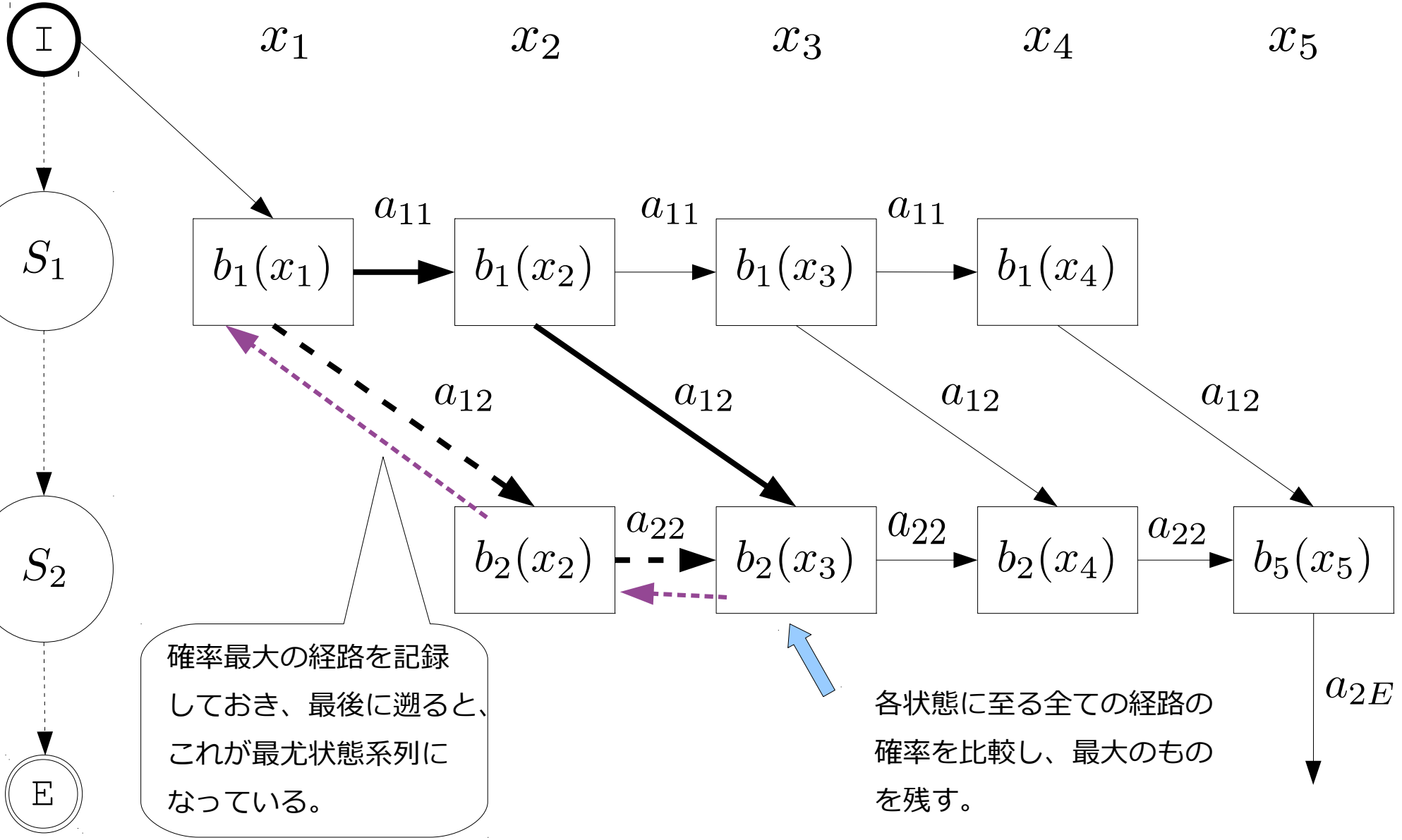
12.3 系列識別問題― HMM―

前向きアルゴリズム（正確な計算）



12.3 系列識別問題― HMM―

- ビタビアルゴリズムを用いた探索



12.3 系列識別問題― HMM―

- HMM の学習： EM アルゴリズム