

TR-I-0324

SSS-ToolKit (Ver1.0) ユーザーズ・マニュアル
SSS-ToolKit (Ver1.0) User's Manual

鷹見 淳一
Jun-ichi TAKAMI

1993.3

概要

逐次状態分割法 (Successive State Splitting: SSS) を用いた隠れマルコフ網 (Hidden Markov Network: HMnet) の自動生成、混合連続 HMM の生成、移動ベクトル場平滑化手法 (Vector Field Smoothing: VFS) 等、主要な技術のプログラムの他、それらを使用して研究を進めていく上で有用ないくつかのプログラムを含む SSS-ToolKit の使用方法について示す。

目次

1	はじめに	2
2	SSS-ToolKit の概要	3
3	モデルファイルのフォーマットについて	5
4	音声サンプルのフォーマットについて	7
5	各プログラムの使用法	8
5.1	HMnet の自動生成 : Exe.train_HMnet	8
5.2	HMnet の構造抽出 : Exe.topology_HMnet	10
5.3	HMnet の再学習 : Exe.retrain_HMnet	11
5.4	混合連続分布 HMM の作成 : Exe.train_HMM	11
5.5	HMnet のファイル合成 : Exe.compose_HMnet	12
5.6	HMnet の話者適応 : Exe.adapt_HMnet	13
5.7	HMnet の構造解析 : Exe.analysis_HMnet	14
5.8	HMnet の出力尤度評価 : Exe.evaluate_HMnet	15
5.9	HMnet の音素識別性能評価 : Exe.recognize_HMnet	16
6	SSS-ToolKit のインストール	18
6.1	プログラム、サンプルデータのロード	18
6.2	ソースプログラムのコンパイル	18
7	SSS-ToolKit の動作確認	20
7.1	Exe.train_HMnet の動作確認	21
7.2	Exe.topology_HMnet の動作確認	21
7.3	Exe.retrain_HMnet の動作確認	21
7.4	Exe.train_HMM の動作確認	21
7.5	Exe.compose_HMnet の動作確認	22
7.6	Exe.adapt_HMnet の動作確認	22
7.7	Exe.analysis_HMnet の動作確認	22
7.8	Exe.evaluate_HMnet の動作確認	23
7.9	Exe.recognize_HMnet の動作確認	23
8	おわりに	25
	付録 1 : SSS-ToolKit で使用されるモデルファイルの例	26
	付録 2 : HMnet 生成時のログファイルの例	29

1 はじめに

この SSS-ToolKit は、逐次状態分割法 (Successive State Splitting: SSS) や、それにより生成される隠れマルコフ網 (Hidden Markov Network: HMnet) について研究するためのソフトウェアです。

このライブラリによって、オリジナルの SSS の他、3 領域逐次状態分割法 (3D-SSS) や話者並列逐次状態分割法 (SP-SSS) の実行、通常の混合ガウス分布 HMM の作成、話者適応、モデル評価やその構造解析などを行なうことが可能です。

SSS や HMnet に関する技術的な詳細は以下の参考文献を御覧ください。

[参考文献]

- J. Takami, A. Nagai, S. Sagayama: "Speaker Adaptation of the SSS (Successive State Splitting)-Based Hidden Markov Network for Continuous Speech Recognition," Proc. of SST92 (Australia), pp. 437-442, (1992.12).
- 鷹見 淳一, 小坂 哲夫, 嵯峨山 茂樹: "話者方向を加えた逐次状態分割法 (SSS) による話者共通隠れマルコフ網の生成," 日本音響学会平成 4 年度秋季研究発表会講演論文集, 3-1-8, (1992.10).
- 鷹見 淳一: "音声認識における HMM とその精度向上のための手法," 電子情報通信学会技術研究報告, SP92-49, pp. 17-24 (1992.9).
- J. Takami, S. Sagayama: "A Successive State Splitting Algorithm for Efficient Allophone Modeling," Proc. of 1992 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processings, 66.6, (San Francisco)(1992.03).
- 鷹見 淳一, 嵯峨山 茂樹: "隠れマルコフ網 (HM-Net) を用いた話者適応," 日本音響学会平成 4 年度春季研究発表会講演論文集, 1-1-8, pp. 15-16, (1992.03).
- 鷹見 淳一, 嵯峨山 茂樹: "逐次状態分割法 (SSS) により自動生成した隠れマルコフ網の性能評価," 日本音響学会平成 4 年度春季研究発表会講演論文集, 2-1-8, pp. 65-66, (1992.03).
- 鷹見 淳一, 永井, 嵯峨山 茂樹: "aka(赤) と aki(秋) の /k/ は同じ音? - 前後の音素を考慮した高精度音声認識 -, " ATR ジャーナル, No. 12 (1992.11).
- 鷹見 淳一, 嵯峨山 茂樹: "音素コンテキストと時間に関する逐次状態分割による隠れマルコフ網の自動生成," 信学技報, SP91-88 (1991.12).
- 鷹見 淳一, 嵯峨山 茂樹: "逐次状態分割法 (SSS) による隠れマルコフネットワークの自動生成," 日本音響学会平成 3 年度秋季研究発表会講演論文集, 2-5-13, pp. 73-74 (1991.10).

2 SSS-ToolKit の概要

この SSS-ToolKit は、以下の処理を行なうためのプログラムを含んでいます (図 1 参照)。

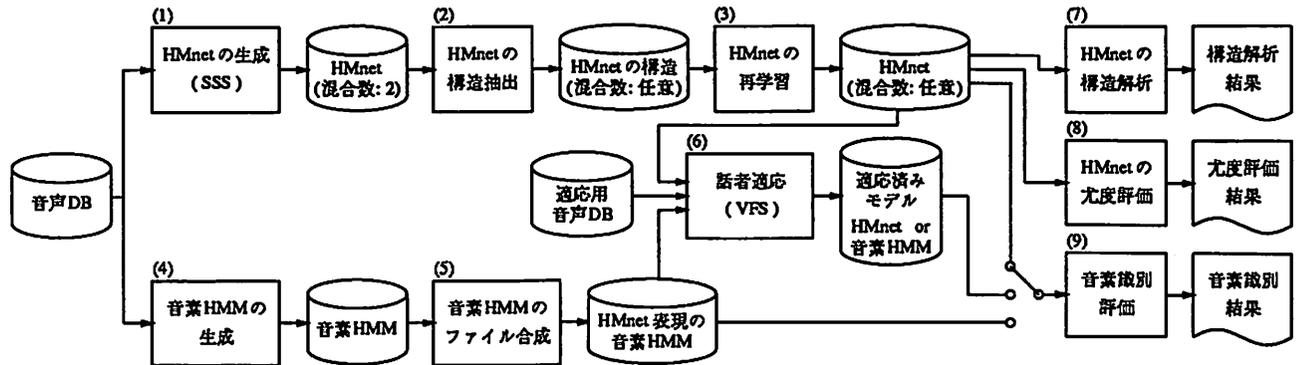


図 1: SSS-ToolKit の処理内容

1. HMnet の自動生成 : Exe.train_HMnet

逐次状態分割法 (SSS, 3D-SSS, SP-SSS のいずれか) により、混合数 2 の混合ガウス分布を出力確率分布として持つ HMnet(original) を作成します。

2. HMnet の構造抽出 : Exe.topology_HMnet

HMnet(original) からその構造を抽出して、出力分布の混合数を最終的に希望するものに変更した HMnet(topology) を作成します。

3. HMnet の再学習 : Exe.retrain_HMnet

HMnet(topology) を再学習し、最終的な HMnet(final) を作成します。

4. 混合連続分布 HMM の作成 : Exe.train_HMM

比較実験などに使用するための、通常の混合連続分布 HMM(ただし、モデルフォーマットは HMnet と共通であるため、他のプログラムでは HMnet と全く同様に扱うことができます) を作成します。

5. HMnet のファイル合成 : Exe.compose_HMnet

それぞれ独立して作成された HMnet を、一つの大きなモデルとして合成します。

6. HMnet の話者適応 : Exe.adapt_HMnet

移動ベクトル場平滑化法により、HMnet を話者適応を行ないます。

7. HMnet の構造解析 : Exe.analysis_HMnet

HMnet の構造上のスペックを解析します。

8. HMnet の出力尤度評価 : Exe.evaluate_HMnet

ある入力音声に対して得られる HMnet の出力尤度を計算します。

9. HMnet の音素識別性能評価 : Exe.recognize_HMnet

HMnet を用いた音素識別実験を行ないます。

このマニュアルでは、これらのツールの簡単な使い方を示します。

3 モデルファイルのフォーマットについて

この SSS-ToolKit では、HMnet や通常の HMM を、全て共通のファイルフォーマットとして表現することによって、話者適応や音素識別などのプログラムをどちらのタイプのモデルに対しても共通に使用することができるように考慮されています。

モデルフォーマットは、“#[キーワード]”で始まるブロックと、“;”で始まるコメント行(3タイプのコメントがあります)によって記述されています。コメント行以外の各ブロックは、必ず“#”で始まり空行で終わります。コメントのタイプと各キーワードの意味を以下に示します。

- ; (コメント type1)

一般的なコメント行を表します。主にファイル中で各キーワードの意味を示すために使用されています。

- ;; (コメント type2)

このコメント行は、主にファイルの処理に関わる条件等を保存するために使用されています。SSS-ToolKit 中のプログラムによって作成、あるいは変更されたファイルでは、そのときの生成、変更条件等を自動的にこのタイプのコメントとしてファイル中に保存します。このタイプのコメント行は、一つのファイルに対して複数の処理を行なった場合にその処理の順に累積されていきます。そのため、処理の履歴などを表すために便利なものとなっています。

- ;;; (コメント type3)

このコメント行は、主にヘッダとしての意味が強いものです。SSS-ToolKit 中のプログラムによって作成されたモデルファイルの先頭には必ず入ります。

- #type

モデルフォーマットのタイプを表すブロックです。現在は“HMnet”の指定のみ可能です。将来の拡張用です。

- #covariance”

共分散行列の表現法を表すブロックです。現在は“diag”の指定のみ可能です。将来の拡張用です。

- #dimension

音響パラメータの次元数を表すブロックです。

- #max_mix

このフォーマットでは、各出力分布毎に混合数を任意設定できます。これは、そのうちの最大の混合数を表すブロックです。

- **#total_dist**
モデル全体で使用されている多次元単一ガウス分布の総数を表すブロックです。
- **#total_outp**
モデル全体で使用されている出力確率分布の総数を表すブロックです。
- **#dist**
個々の多次元単一ガウス分布のパラメータを表すブロックです。
- **#outp**
個々の出力確率分布のパラメータを表すブロックです。一般に、出力確率分布は幾つかの多次元単一ガウス分布の重み付き加算によって構成されます。
- **#total_state**
モデル全体で使用されている隠れマルコフ状態の総数を表すブロックです。
- **#max_segment**
一つの HMM 当りに使用される隠れマルコフ状態の数の最大値を表すブロックです。
- **#factor_num**
音素環境要因数を表すブロックです。
- **#element**
各音素環境要因の全要素を表すブロックです。通常は、音素ラベルなどがこの要素となります。
- **#tied_element**
3 領域逐次状態分割法 (3D-SSS) や話者並列逐次状態分割法 (SP-SSS) を行なう際の、共通化すべき要因の全要素を表すブロックです。通常は話者名などがこの要素となります。この場合、話者適応を行なうとモデルの生成や話者適応に関わった話者名がここに列記されます。
- **#state**
個々の隠れマルコフ状態のパラメータを表すブロックです。ここには、その状態で受理される音素環境や、ここで使用される出力確率分布の番号、その状態の推定に使用されたサンプル数、状態遷移確率などの情報が記述されています。

付録 1 に、HMnet ファイルの例を示します。

4 音声サンプルのフォーマットについて

この SSS-ToolKit 中のプログラムでは、音声サンプルとして、音素サンプルフォーマットと単語サンプルフォーマットの2通りがその目的に合わせて使い分けられています。以下に、音声サンプルを必要とする各プログラムで使用されるフォーマットを示します。

- Exe.train_HMnet : 音素サンプルフォーマット
- Exe.retrain_HMnet : 音素サンプルフォーマット
- Exe.train_HMM : 音素サンプルフォーマット
- Exe.adapt_HMnet : 単語サンプルフォーマット
- Exe.evaluate_HMnet : 単語または音素サンプルフォーマット
- Exe.recognize_HMnet : 音素サンプルフォーマット

音素サンプルフォーマットは、各音素セグメントをサンプルの単位とするものであり、モデルの学習に関わるものや、音素識別性能を評価する場合に使用します。また、単語サンプルフォーマットは、幾つかの音素が連結されている区間を表すためのものであり、その特殊な場合として音素区間を表現することもできます。これは、話者適応や出力尤度の計算を行なう場合などに使用されます。

音素サンプルフォーマットと単語サンプルフォーマットの内容を図2に示します。

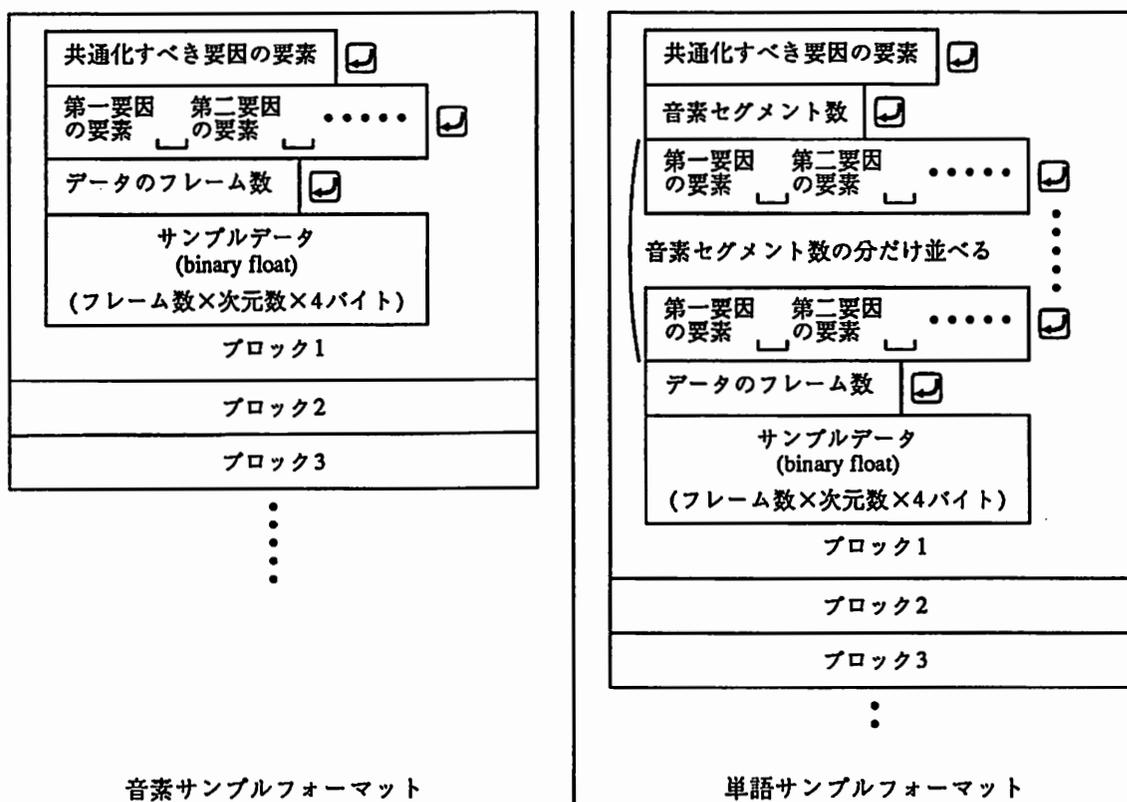


図2: 各サンプルのフォーマット

5 各プログラムの使用法

5.1 HMnet の自動生成 : Exe.train_HMnet

このプログラムは、SSS によって HMnet を作成するためのものです。

一話者の音素サンプルからその話者に専用 HMnet を作成するオリジナルの SSS の他、複数話者の音素サンプルから、話者に共通の HMnet の構造を作成するための 3D-SSS や SP-SSS など、オプションの切替えによって行なうことができます。

実行は、

Exe.train_HMnet [オプション] < “音素サンプルファイル”

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -cm (省略可能)

作成されるモデルファイル中に書き込んで保存したいコメントがある場合、このオプションに続けて “ ... ” の形で指定します。このオプションは、一回につき一行のみの記入が可能です。コメントが複数行に渡る場合には、このオプションを複数回指定して下さい。

- -cf (デフォルト: 0)

何らかの理由により計算の途中で中断してしまった学習を途中から再開したい場合、このオプションで 1 を指定します。直前の分割数のモデルから学習を続けることができます。途中のモデルはすべて ASCII ファイルとして保存しているため、精度が十分でなく、中断せずに行なった場合に作成されるモデルパラメータとの間に多少の誤差が出る場合がありますが、実用上は、ほとんど問題ありません。

- -di (デフォルト: 34)

音響パラメータの次元数を指定します。このプログラムに与える音素サンプルに依存します。

- -fn (デフォルト: 3)

音素環境の要因数を指定します。このプログラムに与える音素サンプルに依存します。

- -mf (デフォルト: 1)

音素環境の中で、中心となる要因のインデックスを指定します。このプログラムに与える音素サンプルに依存します。例えば、音素環境として先行音素、当該音素、後続音素の 3 要因をこの順で与えた場合には、先行音素がインデックス 0、当該音素がインデックス 1、後続

音素がインデックス2となり、中心となるインデックスは1となります。このプログラムに与える音素サンプルに依存します。

- -ms (デフォルト: 4)
一本の経路上の状態数の上限を指定します。これによってSSSにおける時間方向への状態分割数に制約を与えることができます。このモデルでは、状態間のヌル遷移を認めていないため、ある経路を構成する状態数より短いフレーム数を持つサンプルは、その経路上で評価することができません。そのため通常は、この数を与えられる音素サンプルの最小フレーム数以下に設定して下さい。
- -of (デフォルト: "out_file")
ここで作成されるモデルを出力するためのファイル名を指定します。実際には、ここで指定したファイル名の後に、何らかの拡張子を付けて使用されます。これについては、後で詳しく説明します。
- -pr (デフォルト: "")
音素環境を分割していく際の、各要因に対する分割の優先順位を指定します。要因のインデックスと"/" および"," の記号を含む文字列により指定します。[要因 A]/[要因 B] と指定した場合、要因 A は要因 B に優先して分割されます。複数の条件は"," をはさんで列記して下さい。(例えば、"1/0,1/2" とした場合、要因 (1) の分割が終了するまで要因 (0) および要因 (2) の分割は行なわれません。)
- -sn (デフォルト: 600)
最大の状態分割数を指定します。ここで指定した状態数に達するとプログラムは自動的に停止します。なお、一旦完成したHMnetの状態数をさらに増やしたい場合は、"-cf" オプションによって分割を再開することができます。
- -ss (デフォルト: 10)
状態分割の過程で、途中結果を保存する頻度を指定します。状態数をここで与えた数知で割った時の余り(剰余)が0の場合に、そのモデルを保存します。実際には、ここで指定される状態数のモデルの他、"-cf" オプションによる途中再開に備えて直前の分割数のモデルと、"-sn" で指定された最大状態数のモデルが保存されます。
- -ty (デフォルト: "SSS")
アルゴリズムのタイプを指定します。通常は、音声サンプルが一名の話者のものであれば"SSS"、複数の話者のものであれば"3D-SSS" または "SP-SSS" として下さい。

このプログラムによって、モデルファイルおよびログファイルが作られます。

モデルファイルには、test.600のように、"-of" で指定したファイル名の後に".状態数" という拡張子が付けられたファイル名に書き込まれます。また、HMnet 形成の途中再開に備えて分

割の度に書き込まれる一時ファイルには、ファイル名の後に “.current” という拡張子が付けられます。なお、ここで作成されているモデルの出力確率分布は、SSS のアルゴリズム上の制約により、すべて混合数 2 の混合ガウス分布となっています。

ログファイルには、“-of” で指定したファイル名の後に “.log” という拡張子が付けられます。このログファイルは、状態分割がどのように行なわれたかを示す貴重な情報が保存されています。“-cf” オプションにより HMnet 形成を途中再開する場合には、“ファイル名.current” の他にこのログファイルが必要です。学習再開直後にこのログファイルは一旦 “ファイル名. log.bak” というファイル名に書き換えられ、“ファイル名.log” には新たに学習再開後のログが書き込まれます。

付録 2 に、このプログラムから出力されるログファイルの例を示します。

5.2 HMnet の構造抽出 : Exe.topology_HMnet

このプログラムは、Exe.train_HMnet によって作成された混合数 2 の出力確率分布を持つ HMnet の混合数を最終的に使用したいものに変更するための前処理として、HMnet の構造を取り出し、その混合数の部分をオプションであたえた数のものに変更するためのものです。特に、3D-SSS や SP-SSS で作られた HMnet(original) に対しては、話者共通の HMnet の構造を抽出するために必要な処理です。

実行は、

Exe.topology_HMnet [オプション]

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -cm (省略可能)

Exe.train_HMnet と同じ。

- -if (デフォルト: “in_file”)

構造を抽出したいモデルのファイル名を指定します。通常は、Exe.train_HMnet で作成されたモデルファイルを指定します。

- -mn (デフォルト: 1)

各状態の出力確率分布の混合数を指定します。

- -of (デフォルト: “out_file”)

処理後のファイル名を指定します。ここで指定されたファイルに混合数変換後のファイルが書き込まれます。

このプログラムによって作成されるモデルは、まだパラメータ推定が行なわれていません。そのため、このモデルのパラメータにはダミーの数値が入れていますので、次の再学習の処理を終えるまで実際に使用することはできません。

5.3 HMnet の再学習 : Exe.retrain_HMnet

このプログラムは、Exe.topology_HMnet によって作成された HMnet のモデルパラメータを再学習するためのものです。

実行は、

Exe.retrain_HMnet [オプション] < “音素サンプルファイル”

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -cm (省略可能)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -di (デフォルト: 34)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -fn (デフォルト: 3)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -if (デフォルト: “in_file”)
パラメータを再学習したいモデルファイル名を指定します。通常は、Exe.topology_HMnet で作成されたモデルファイルを指定します。
- -of (デフォルト: “out_file”)
出力ファイル名を指定します。ここで指定されたファイルにモデルパラメータ再学習後のファイルが書き込まれます。

このプログラムによって最終的な HMnet が完成します。また、“-of” で指定したファイル名に “.log” という拡張子を付けた名前のログファイルが、このモデルファイルと同じディレクトリに書き込まれます。

5.4 混合連続分布 HMM の作成 : Exe.train_HMM

このプログラムは、通常の混合連続分布 HMM を作成するためのものです。

実行は、

Exe.train_HMM [オプション] <“(一カテゴリ分の) 音素サンプルファイル”

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -cm (省略可能)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -di (デフォルト: 34)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -fn (デフォルト: 3)
音素環境の要因数を指定します。このプログラムに与える音素サンプルに依存します。ただし、このタイプのモデルでは、音素環境情報は利用されません。ここでの指定は、音素サンプルを読み込む時にのみ使用されます。
- -mf (デフォルト: 1)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -mn (デフォルト: 1)
Exe.topology_HMnet と同じ。
- -of (デフォルト: “out_file”)
出力ファイル名を指定します。ここで指定されたファイルに学習後のモデルファイルが書き込まれます。
- -sn (デフォルト: 4)
このモデルの状態数を指定する。

このプログラムによってHMMが完成します。このHMMでは、与えられた音素サンプルを全て用いて一つのモデルを学習するため、一カテゴリ分の音素サンプルのみを与える必要があります。また、“-of”で指定したファイル名に“.log”という拡張子を付けた名前のログファイルが、このモデルファイルと同じディレクトリに書き込まれます。

5.5 HMnet のファイル合成 : Exe.compose_HMnet

このプログラムは、複数のモデルファイルを一つの大きなモデルに合成するためのものです。Exe.train_HMMによって作成されるHMMはカテゴリ毎に独立したモデルとなっています。そ

ここでこのプログラムによって全てのカテゴリの HMM を一つの大きなファイルとしてまとめることにより、HMnet と全く同様の扱いをすることが可能となります。さらに、HMnet と HMM を合成し、HMnet 上で異音経路が見つからなかった場合の処理を通常の HMM に自動的に切替えるようにすることも可能です。

実行は、

Exe.compose_HMnet [オプション]

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -cm (省略可能)

Exe.train_HMnet と同じ。

- -il (デフォルト: "list")

合成するモデルファイルのリストを指定します。このリストは、合成の対象となる改行を間に入れながら並べたものです。

- -of (デフォルト: "out_file")

出力ファイル名を指定します。ここで指定されたファイルに合成後のモデルファイルが書き込まれます。

このプログラムによって、複数のファイルが一つのモデルとして合成されます。なお、このモデルを使用する際の経路の探索は、“-il”で指定されるリストに記述されたモデルの順で行なわれます。そのため、HMnet と HMM を合成して、HMM を HMnet で経路が見つからなかった場合の控えとして使用したい場合などは、必ず HMnet のファイル名が HMM のファイル名よりも先に記述されたリストを作成してください。

5.6 HMnet の話者適応 : Exe.adapt_HMnet

このプログラムは、移動ベクトル場平滑化 (Vector Field Smoothing: VFS) 法によって少数の単語サンプルを用いてモデルを話者適応するためのものです。

実行は、

Exe.adapt_HMnet [オプション] < “単語サンプルファイル”

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -cm (省略可能)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -di (デフォルト: 34)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -fn (デフォルト: 3)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -if (デフォルト: "in_file")
話者適応したいモデルファイル名を指定します。
- -gl (デフォルト: "list")
"-if" で指定したモデルが HMnet である場合、適応用単語サンプル中の異音を表す経路が存在しない場合があります。そのような場合のガベージモデルとして、Exe.train_HMM で作成された通常の HMM を用いることができます。この場合は、このオプションでガベージモデルとして用いる HMM のリストを指定して下さい。なお、ここで指定されるモデルは処理の途中で一時的に用いられるだけで、パラメータの変更は一際行なわれません。
- -kn (デフォルト: 6)
移動ベクトル平滑化を行なう際に考慮する近傍数を指定します。
- -of (デフォルト: "out_file")
出力ファイル名を指定します。ここで指定されたファイルに話者適応後のモデルファイルが書き込まれます。
- -sr (デフォルト: 20.0) 移動ベクトル平滑化を行なう際の平滑化パラメータです。0 より大きい値を指定して下さい。この値が大きい程強い平滑化が行なわれます。適応用単語サンプルの数に応じて適当に決めて下さい。

このプログラムによって話者適応が実施されます。"-of" で指定したファイル名に ".log" という拡張子を付けた名前のログファイルが、このモデルファイルと同じディレクトリに書き込まれます。

5.7 HMnet の構造解析 : Exe.analysis_HMnet

このプログラムは、HMnet の構造を解析するためのものです。
実行は、

Exe.analysis_HMnet [オプション]

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -if (デフォルト: "in_file")

構造を解析したいモデルファイル名を指定します。

このプログラムによってモデルの構造が解析されます。結果は標準出力に書き込まれます。

これによって、以下のような結果が得られます。

```
;; Fri Mar 5 15:22:53 1993
;;
;; <<< Analysis HMnet >>>
;;
;; [HMnet]
;; Input Model File Name      : ../Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600
;;
;; # Model File : ../Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600
;; # Actual State Number : 600
;; # Allophone Model Number : 1378
;; # Accumulative State Number : 5482
;; # Modeling Efficiency : 9.136667
```

これらの結果は、上から順に、

- 解析したモデルファイル名、
- モデル中で使用されている全状態数、
- このモデルで表現されている異音カテゴリ数、
- 全異音モデルで使用されている延べ状態数、
- [延べ状態数]/[実際の状態数] で計算されるモデル化効率、

をそれぞれ表しています。

5.8 HMnet の出力尤度評価 : Exe.evaluate_HMnet

このプログラムは、与えられた単語サンプルに対する出力尤度を計算するためのものです。

実行は、

Exe.evaluate_HMnet [オプション] < “単語または音素サンプルファイル”

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -di (デフォルト: 34)

Exe.train_HMnet と同じ。

- -fn (デフォルト: 3)

Exe.train_HMnet と同じ。

- -if (デフォルト: "in_file")

出力尤度計算に使用するモデルファイル名を指定します。

- -st (デフォルト: 0)

このプログラムは、単語あるいは音素のどちらのサンプルのフォーマットにも対応できます。

サンプルのフォーマットタイプをこのオプションで指定して下さい。音素サンプルフォーマットの場合が0、単語サンプルフォーマットの場合が1です

これによって、以下のような結果が標準出力より出力されます。

```
;; Fri Mar 5 15:20:03 1993
;;
;; <<< Evaluate HMnet >>>
;;
;; [HMnet]
;; Input Model File Name      : ../Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600
;;
;; [Sample]
;; Sample Type                : Word
;; Parameter Dimension        : 34
;; Total Sample Number        : 25
;; Total Frame Length         : 4468
;; Min. Frame Length          : 240
;;
;; # Cut Sample Number : 0
;; # Total Probability : 1.573499e+05
```

この中で、“Cut Sample Number”とは、評価しようとしたサンプルの中で、その異音を表現する経路が見つからない、あるいはその経路を構成している状態数よりもサンプルのフレーム数の方が短くて評価することができない、などの理由により、無視されたサンプルの数を表しています。従って、実際の評価に使用されたサンプル数は、“Total Sample Number”で表示されている全入力サンプル数からこの“Cut Sample Number”の値を引いたものとなります。

5.9 HMnet の音素識別性能評価 : Exe.recognize_HMnet

このプログラムは、モデルの識別性能を評価するためのものです。

実行は、

Exe.recognize_HMnet [オプション] < “音素サンプルファイル”

によって行ないます。

オプションとしては、以下のものが許されています。

- -an (デフォルト: “”)
正解カテゴリを指定します。入力サンプルに依存します。
- -cn (デフォルト: 5)
累積認識率を計算する範囲を指定します。
- -di (デフォルト: 34)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -fn (デフォルト: 3)
Exe.train_HMnet と同じ。

- -if (デフォルト: "in_file")
識別実験に使用するモデルファイル名を指定します。
- -mf (デフォルト: 1)
Exe.train_HMnet と同じ。
- -ob (デフォルト: "object")
識別の対象となるカテゴリ名のリストを指定します。このリストには、識別の対象となるカテゴリ名を空白を入れながら列記してください。
- -re (デフォルト: "result")
識別実験結果を出力するファイル名を指定します。

このプログラムによって累積識別性能や、他のカテゴリとの間のコンフュージョンマトリクスが得られます。

これによって、以下のような結果ファイルが作られます。

```

;; Fri Mar 5 15:14:31 1993
;;
;; <<< Recognize HMnet >>>
;;
;; [HMnet]
;; Input Model File Name      : ../Test/HMnet.26phone/Adapt/mix.1/HMnet.600
;;
;; [Sample]
;; Parameter Dimension        : 34
;; Total Phone Sample Number  : 232
;; Total Frame Length        : 2838
;; Min. Frame Length         : 4
;;
;; [Condition]
;; Answer                     : b
;; Candidate Number           : 5
;; Object Category            : b d g p t k m n ng s sh h z ch ts zh r w j a i u e o q -
;;
# Sample Number :
232

# Performance :
185 210 224 227 229

# Confusion Matrix :
185 19 1 1 0 0 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 21 1 0 0 0 0 0 0 0 0

```

これらの結果は、上から順に、● 評価に使用された音素サンプル数、● 左から順に、第 n 位までに正解が含まれていたサンプルの数、● 各カテゴリ (順序は、“-ob” オプションで指定したリストに書かれているカテゴリの順で並んでおり、これはヘッダ部の “Recognition Object” の内容で確認することができます) に対するコンフュージョンマトリクス、をそれぞれ表しています。

この例の場合、音素 /b/ に対する第一位正解率は $185/232 = 0.7974(79.74\%)$ 、また第三位までの累積正解率は $224/232 = 0.9655(96.55\%)$ のようにして求めることができます。

また識別実験中は、標準エラーに識別状況をモニタリングするための表示が出力されます。

6 SSS-ToolKit のインストール

6.1 プログラム、サンプルデータのロード

SSS-ToolKit に関する一連のプログラム、および動作確認のためのサンプルプログラムは、SSS-ToolKit というディレクトリ名で、“tar” コマンドを使って記録されています。

これらをロードするためには、

```
tar xvf “DAT のデバイス名” SSS-ToolKit
```

と入力して下さい。

これによって、これを実行したディレクトリに “SSS-ToolKit” というディレクトリが作られます。さらにその下に、“Src”、“Exe.sample”、“Data.sample”、“Model.sample”、“Test.save”、“Test” という 6 通りのディレクトリが作成されます。

6.2 ソースプログラムのコンパイル

SSS-ToolKit では、ほとんどの配列はすべて malloc や realloc 関数を使用して、必要に応じてダイナミックに宣言されますが、ただ一つ、音素環境を格納するための配列のサイズはコンパイル時に予め宣言する必要があります。

この宣言は、“SSS-ToolKit/Src/H_typedef.h” の中の、

```
.... 省略....  
typedef struct {  
    char      c[4] ;  
} ELEMENT ;  
.... 省略....
```

の部分の配列サイズで行ないます (デフォルトでは 4 に設定)。このプログラムで使用される各音素環境要因の中での最大の要素数を N とした場合、この配列のサイズには $N/8$ (小数点以下切り上げ) で求められる値を設定して下さい。例えば、音素環境要因数を 3 とし、各要因の要素数をそれぞれ 10、30、20 とした場合、この配列サイズは $30/8 = 3.75 \Rightarrow 4$ となります。またこのような考え方は、通常の音素環境要因に対してだけではなく、3D-SSS や SP-SSS を行なう場合に考慮される共通化すべき要因に対しても同様に使用されています。そのため、話者数の増加などによりこの要素数が通常の音素環境要因の要素数を上回るような場合には、こちらの要素数を対象に配列サイズを決めて下さい。

なお、このサイズを余裕を持って大きめに設定することは可能ですが、その分、計算時に必要なメモリが増加します。

また、計算時間を測定するための関数“cpu_time.c”の中で使用している“CLK_TCK”という定数が、マシンによっては見つからないものがあります(設定しているヘッダファイル名が異なるため)。この場合は、“CLK_TCK”を定義しているヘッダファイル名を“cpu_time.c”の先頭に書き加えてください。

これらの設定が終わったら、“make” コマンドによりすべてのプログラムをコンパイルして下さい。これによって生成される“Exe.”で始まるファイルが実行形式のプログラムです。

7 SSS-ToolKit の動作確認

SSS-ToolKit には、実際の動作を確認するためのサンプルデータと、それを用いて事前に動作させてきたサンプルモデルが付録として付けられています。これらを用いて、各プログラムの動作チェックを行なうことができます。ここでは、その方法について説明します。

ここで使用する音声サンプルは、音素環境として先行音素、当該音素、後続音素の3要因を考慮したものとなっており、それらはすべて26通りの要素を持っています。そのため、6.2で述べた配列サイズは4としてソースプログラムをコンパイルしてください。

また、実行は、すべてディレクトリディレクトリ “SSS-ToolKit/Exe.sample” の下で行なって下さい。

以下に示す方法で作成されるモデルファイルやログファイルは、全て “SSS-ToolKit/Test” の下書き込まれるようにしてあります。そしてこのディレクトリの内容は、これと同じ操作を事前に行なって作成した “SSS-ToolKit/Test.save.HP” (HP:HP9000/750 で実行した場合のもの)、または “SSS-ToolKit/Test.save.DEC” (DEC:ALPHA で実行したもの) の下の対応するファイルの内容と一致、もしくは近い値となるはずですが (浮動小数点演算の結果が計算機によって微妙に異なる場合があります、全く同じ結果にはならないかもしれません。現実には、HP9000/750 と ALPHA では、若干違った結果となっている部分があります)。各項目について動作を確認する度に、そこで作られるファイルと内容を比較してみてください。大きな違いが見られないようなら動作は正常です。なおこれ以降、マニュアルの中で実行例として示している結果は、すべて HP9000/750 で得られたものです。

動作確認のために使用する音声サンプルデータは、一部にバイナリ形式の浮動小数表現を使用しているため、HP9000/750 用と ALPHA 用の2通りを用意しました。大抵の計算機では、このうちのどちらか一方が使用できるはずですが、動作確認試験を行なう前に、使用する計算機がどちらのタイプの浮動小数表現を使用しているかを確認した上、以下の操作を行なってください。

(float 表現が HP と同じ場合)

```
mv SSS-ToolKit/Data.sample.HP SSS-ToolKit/Data.sample
```

(float 表現が DEC と同じ場合)

```
mv SSS-ToolKit/Data.sample.DEC SSS-ToolKit/Data.sample
```

7.1 Exe.train_HMnet の動作確認

ここでは、学習用サンプルとして男性話者一名 (MHT) の /b/, /d/, /g/ の3音素のサンプル (“SSS-ToolKit/Data.sample/data1”) を用いて HMnet を実際に生成してみます。

“Train_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMnet.3cons/Original” というディレクトリの下に、“HMnet.状態数” や “HMnet.current”、“HMnet.log” などのファイルが作成されます。実行中は、この “HMnet.log” を、“tail -f HMnet.log” などの方法によって監視すると良いでしょう。

7.2 Exe.topology_HMnet の動作確認

ここでは、7.1によって作成された “SSS-ToolKit/Test/HMnet.3cons/Original/HMnet.20” から、その構造を取り出し、同時に混合数を1に変更してみます。

“Topology_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMnet.3cons/Topology/mix.1” というディレクトリの下に “HMnet.20” というファイルが作成されます。

7.3 Exe.retrain_HMnet の動作確認

ここでは、7.2で抽出した20状態のHMnetの構造に対して、HMnet生成時に用いたサンプルと同じ “SSS-ToolKit/Data.sample/data1” を用いてパラメータを再学習してみます。

“Retrain_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMnet.3cons/Final/mix.1” というディレクトリの下に “HMnet.20” というモデルファイルと、“HMnet.20.log” というログファイルが作成されます。

7.4 Exe.train_HMM の動作確認

ここでは、男性話者一名 (MHT) の音素 /b/ のサンプル (“SSS-ToolKit/Data.sample/data1”) を用いて混合数5の混合連続分布HMMを生成してみます。

“Train_HMM.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMM/mix.5” というディレクトリの下に、“HMM.b” というモデルファイルと、“HMnet.log” というログファイルが作成されます。

7.5 Exe.compose_HMnet の動作確認

ここでは、7.4で作成した音素 /b/ 用の HMM と、“SSS-ToolKit/Model.sample/HMM/mix.5” のディレクトリの下に予め用意した、他のカテゴリに対応する 25 通りの HMM とを、1 つの大きなモデルファイルとして合成してみます。

“Compose_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMM/mix.5” というディレクトリに、“HMM.26phone” というモデルファイルが作成されます。

7.6 Exe.adapt_HMnet の動作確認

ここでは、男性話者一名 (MAU) の 25 単語音声サンプル (“../Data.sample/data3”) を用いて、“SSS-ToolKit/Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1” のディレクトリの下に予め用意した 600 個の状態を持つ 26 音素用の HMnet (“HMnet.600”) を話者適応してみます。

“Adapt_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMnet.26phone/Adapt/mix.1” というディレクトリの下に、“HMnet.600” というモデルファイルが作成されます。

7.7 Exe.analysis_HMnet の動作確認

ここでは、“SSS-ToolKit/Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600” に対して、その構造解析を行なってみます。

“Analysis_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、以下のような結果が標準出力より出力されます。

```
;; Fri Mar 5 15:22:53 1993
;;;
;;; <<< Analysis HMnet >>>
;;; [HMnet]
;;; Input Model File Name      : ../Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600
;;;
;;; # Model File : ../Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600
;;; # Actual State Number : 600
;;; # Allophone Model Number : 1378
;;; # Accumulative State Number : 5482
;;; # Modeling Efficiency : 9.136667
```

7.8 Exe.evaluate_HMnet の動作確認

ここでは、7.6で使用した話者 MAU の 25 単語音声サンプル (“../Data.sample/data3”) に対して、“SSS-ToolKit/Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600” から得られる出力尤度の総和を求めてみます。

“Evaluate_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、以下のような結果が標準出力より出力されます。

```
;; Fri Mar 5 15:20:03 1993
;;;
;;; <<< Evaluate HMnet >>>
;;; [HMnet]
;;; Input Model File Name      : ../Model.sample/HMnet.26phone/Final/mix.1/HMnet.600
;;;
;;; [Sample]
;;; Sample Type                : Word
;;; Parameter Dimension         : 34
;;; Total Sample Number        : 25
;;; Total Frame Length         : 4468
;;; Min. Frame Length          : 240
;;;
;;; # Cut Sample Number : 0
;;; # Total Probability : 1.573499e+05
```

7.9 Exe.recognize_HMnet の動作確認

ここでは、話者 MAU の音素 /b/ のサンプル (“../Data.sample/data4”) に対して、7.6で作成した HMnet (“../Test/HMnet.26phone/Adapt/mix.1/HMnet.600”) の音素識別試験をしてみます。

“Recognize_HMnet.sh” を実行して下さい。

これによって、“SSS-ToolKit/Test/HMnet.26phone/Result/mix.1/HMnet.600” というディレ

8 おわりに

ここで紹介した SSS-ToolKit は、初版のものです。今後、バグの修正や新たな機能の追加などを考えています。

なおこれらのプログラムは、ATR 自動翻訳電話研究所にて開発されました。

付録 1 : SSS-ToolKit で使用されるモデル ファイルの例

MHT の音素サンプルより生成した 3 音素 (/b/, /d/, /g/) 用の HMnet (状態数: 5)

```

*****
* <<< SSS-ToolKit Version 1.1 >>> *
* Copyright(C) 1993 Jun-ichi TAKAMI *
* ATR Interpreting Telephony Research Laboratories *
* Speech Processing Department *
* 2-2 Hikaridai Seika-cho Soraku-gun Kyoto 619-02 *
* Tel : 07749-5-1311 *
* (Direct): 07749-5-1379 *
* Fax : 07749-5-1308 *
* E-mail : jun@atr-la.atr.co.jp *
*****
Fri Mar 5 14:45:19 1993

<<< Generate HMnet by SSS Algorithm >>>

[HMnet]
Algorithm Type : SSS
Max. State Number : 20
Max. Temporal Segment Number : 4
Factor Splitting Priority : 1/0,1/2
Tied Element : MHT
Factor Number : 3
Main Element : b d g
Output Model File Name : ../Test/HMnet.3cons/..
Model Save Step : 5

[Sample]
Parameter Dimension : 34
Total Phone Sample Number : 718
Total Frame Length : 9971
Min. Frame Length : 4

=====
#type [ model type ]
#covariance [ covariance type ]
#dimension [ param dimension ]
#max_mix [ max mixture num ]
#total_dist [ total dist num ]
#total_outp [ total outp num ]

#type HMnet
#covariance diag
#dimension 34
#max_mix 2
#total_dist 10
#total_outp 5

; ===== Distribution =====
; #dist [ dist label ]
; [ mean ] [ var ]
; .....

#dist 0
7.351478e+00 1.635113e+00
8.709205e-01 2.072252e-01
5.202672e-01 9.565689e-02
5.410694e-01 4.780597e-02
3.845736e-01 5.164913e-02
2.034372e-01 2.271132e-02
1.012255e-01 3.185006e-02
2.068921e-02 3.154672e-02
8.849380e-02 1.633895e-02
1.366482e-01 1.718811e-02
1.091170e-01 1.340043e-02
7.147626e-02 1.770189e-02
1.477007e-02 1.053255e-02
2.584874e-03 9.353654e-03
4.077945e-03 1.121537e-02
-2.273389e-02 7.471496e-03
-5.640417e-02 3.880573e-03
5.098661e-01 6.649591e-02
-1.058263e-01 5.231143e-03
-1.374788e-01 3.212413e-03
-6.175707e-02 1.627508e-03
-6.519719e-02 2.059468e-03
-4.903531e-02 1.980522e-03
1.614713e-02 1.305513e-03
-1.669843e-04 9.592058e-04
-9.472371e-03 8.661755e-04

-2.429615e-02 6.599581e-04
-1.323476e-02 5.034744e-04
2.977271e-04 6.529849e-04
-9.416124e-03 5.539983e-04
-1.455722e-02 4.053889e-04
-6.015037e-03 3.406637e-04
-3.026850e-03 2.954745e-04
-4.928318e-03 2.237556e-04

#dist 1
6.061192e+00 2.427888e+00
6.486772e-01 1.260016e-01
4.155353e-01 4.038300e-02
4.380011e-01 2.431800e-02
5.330098e-01 4.537464e-02
2.923737e-01 1.225634e-02
2.197267e-01 3.533151e-02
-1.242982e-01 5.398093e-02
2.074811e-01 1.736761e-02
2.333373e-01 1.324025e-02
1.021142e-01 1.068735e-02
-6.621736e-02 2.665633e-02
3.752724e-02 6.232034e-03
2.941694e-03 1.483902e-02
-1.121134e-02 8.312034e-03
-6.687394e-02 5.546016e-03
-5.108688e-02 4.420168e-03
5.989303e-01 1.344840e-01
1.557694e-01 6.154184e-03
4.291593e-02 1.922962e-03
3.970129e-02 8.889947e-04
3.612509e-02 1.961013e-03
1.207311e-02 5.467145e-04
-1.684773e-02 1.151795e-03
-2.261383e-02 1.929731e-03
-5.056001e-03 5.928706e-04
1.792733e-02 5.563542e-04
-1.729250e-03 3.788848e-04
-9.036483e-03 7.166104e-04
-4.446405e-03 2.952903e-04
-2.465952e-03 3.634918e-04
3.649604e-04 3.319961e-04
-6.726251e-03 2.394014e-04
-9.995342e-03 1.632404e-04

#dist 2
1.166466e+01 7.048019e-01
8.387960e-01 6.291160e-02
5.399176e-03 5.166300e-02
4.541070e-02 4.025550e-02
6.845394e-01 3.857017e-02
8.184287e-02 3.645372e-02
3.826041e-01 4.283066e-02
-2.900321e-01 2.283612e-02
-1.529118e-01 1.791395e-02
3.236137e-01 1.501297e-02
9.077739e-02 1.345348e-02
-1.807359e-01 1.111970e-02
-7.423924e-02 9.173725e-03
-1.078219e-02 6.708211e-03
-8.305219e-02 4.968730e-03
-8.048216e-03 5.297392e-03
-1.014063e-01 4.449475e-03
5.276684e-02 1.395087e-02
-5.281171e-03 1.687722e-03
-1.805323e-02 1.262396e-03
1.320475e-03 1.084452e-03
-1.323098e-02 1.389176e-03
-1.232079e-02 9.722435e-04
-6.378993e-03 7.440111e-04
8.933068e-03 7.062603e-04
-3.217680e-03 4.643954e-04
-7.393714e-03 5.202960e-04
-3.485392e-03 3.690014e-04
2.117160e-03 2.932470e-04
-4.552745e-03 2.337407e-04
2.195984e-05 2.107998e-04
-3.689968e-04 1.262407e-04
-5.833001e-04 1.357659e-04
2.324778e-03 1.316811e-04

#dist 3
1.149685e+01 8.513214e-01
7.674422e-01 1.116308e-01
-5.553686e-03 5.566374e-02

```

1.597185e-01 7.059721e-02
6.032630e-01 4.294950e-02
7.174493e-02 4.790794e-02
4.071989e-01 4.775394e-02
-2.989332e-01 5.683920e-02
-1.463988e-01 2.910622e-02
2.616296e-01 3.278371e-02
9.309480e-02 2.226277e-02
-1.446232e-01 1.669064e-02
-6.523021e-02 1.229691e-02
-3.964350e-02 1.032492e-02
-5.377256e-02 8.038281e-03
-7.088862e-03 5.524257e-03
-9.071681e-02 7.127052e-03
-1.116050e-01 1.892545e-02
2.032786e-02 3.537419e-03
1.803674e-02 2.303416e-03
-1.290953e-02 1.990831e-03
1.813747e-02 1.980926e-03
1.598955e-02 1.930629e-03
2.085249e-02 1.116135e-03
-1.663135e-02 1.370027e-03
7.010920e-03 8.609248e-04
1.529073e-02 9.046175e-04
5.309419e-03 5.197610e-04
-1.593341e-03 4.654203e-04
5.314969e-03 4.000647e-04
-4.594417e-04 3.824819e-04
-5.578217e-03 2.383064e-04
1.102602e-03 1.917265e-04
-4.695623e-03 2.559638e-04

#dist 4

7.441996e+00 8.862984e-01
1.147194e+00 6.259050e-02
6.634336e-01 4.417100e-02
6.292877e-01 2.261352e-02
5.713712e-01 3.556051e-02
2.449414e-01 1.998849e-02
-6.404934e-03 1.921648e-02
-1.184465e-01 2.842882e-02
1.286412e-02 1.126676e-02
1.426051e-01 1.621041e-02
1.257089e-01 1.378799e-02
8.084248e-02 1.976956e-02
5.053394e-02 6.420055e-03
1.542198e-02 1.576535e-02
4.237523e-02 1.306571e-02
3.778785e-03 7.209074e-03
-6.365488e-02 4.829636e-03
-3.259885e-02 1.665182e-02
-2.474681e-02 2.082024e-03
1.244969e-02 2.388372e-03
1.284374e-03 1.026414e-03
-7.813329e-03 1.036529e-03
6.925471e-03 8.603570e-04
-5.178513e-03 6.594622e-04
1.184373e-02 5.445556e-04
-2.223597e-03 3.117537e-04
-7.237847e-03 3.237717e-04
1.061539e-03 2.288718e-04
2.104719e-03 2.800943e-04
-1.160093e-03 1.950516e-04
5.556042e-03 2.628887e-04
-1.794918e-03 1.816852e-04
8.521313e-04 1.410199e-04
3.283493e-03 7.890370e-05

#dist 5

8.920904e+00 5.574213e+00
3.184048e-01 2.707828e-01
-6.091740e-02 2.111830e-01
3.996907e-01 9.720257e-02
1.819581e-01 2.369708e-01
5.919374e-02 1.007766e-01
1.909699e-01 3.540268e-02
-4.298474e-02 4.139184e-02
2.831225e-02 2.703526e-02
5.771231e-02 1.586826e-02
5.109846e-02 1.679743e-02
-1.433301e-02 1.412963e-02
-5.125650e-02 1.112091e-02
-1.999099e-02 6.803200e-03
-1.186034e-03 7.589750e-03
-1.940125e-02 6.027759e-03
-4.701600e-02 4.588152e-03
5.715675e-01 1.173232e-01
-5.247756e-02 8.588857e-03
-9.429611e-02 5.719263e-03
-1.312947e-02 4.193639e-03
-2.470088e-02 1.438446e-02
-5.667106e-02 3.368548e-03
-1.602311e-02 1.866978e-03
-4.926790e-03 1.474925e-03
-4.141042e-03 1.170607e-03
-2.401316e-02 5.313965e-04
-8.378218e-03 4.724440e-04
7.369981e-03 6.243632e-04
-2.534770e-03 5.475318e-04

-1.195882e-02 2.657290e-04
-5.441664e-04 3.316360e-04
5.684922e-06 2.373654e-04
2.778119e-03 2.780260e-04

#dist 6

8.843654e+00 1.084254e+00
1.272859e+00 1.074786e-01
3.266062e-01 1.334474e-01
4.744915e-01 7.188606e-02
4.303334e-01 4.460278e-02
1.701259e-03 7.609999e-02
1.267045e-01 5.178481e-02
-6.317106e-02 3.318860e-02
6.973946e-02 2.555093e-02
1.359616e-01 2.513241e-02
1.144509e-01 1.681988e-02
2.117864e-02 2.621167e-02
-1.726984e-02 1.794682e-02
-2.884269e-02 1.799889e-02
-3.405917e-03 1.226582e-02
-3.966555e-02 1.195872e-02
-8.367338e-02 5.190465e-03
-6.433900e-01 7.182203e-02
5.609998e-02 6.581354e-03
1.318546e-01 4.705863e-03
3.507437e-02 2.996110e-03
7.689267e-03 2.677078e-03
7.755768e-02 2.673995e-03
-2.605198e-02 1.729161e-03
2.594415e-02 1.380907e-03
7.944467e-03 9.291953e-04
1.802458e-02 8.429603e-04
1.179747e-02 6.941552e-04
1.820305e-02 8.803105e-04
1.487194e-02 7.646094e-04
1.699279e-02 5.380636e-04
5.304419e-03 5.917268e-04
3.683279e-03 3.400468e-04
6.883319e-03 3.247523e-04

#dist 7

6.091803e+00 7.816708e-01
6.172203e-01 5.094882e-02
4.382907e-01 3.219027e-02
5.829659e-01 2.745684e-02
6.204963e-01 1.924914e-02
4.645878e-01 1.422067e-02
2.462421e-01 1.563598e-02
-4.485972e-02 3.012159e-02
6.859704e-02 1.460173e-02
2.076711e-01 1.516342e-02
3.894061e-02 9.766716e-03
-1.165199e-01 8.139870e-03
-5.346632e-02 6.551816e-03
1.449138e-02 6.367718e-03
1.413454e-02 4.900174e-03
-5.878663e-02 5.045000e-03
-1.130099e-01 3.313334e-03
1.911919e-01 1.137001e-01
3.682801e-02 7.094031e-03
1.142231e-02 2.469319e-03
1.679886e-02 1.706262e-03
4.529810e-03 3.154555e-03
2.078918e-03 1.453975e-03
3.237045e-03 4.068527e-04
2.563411e-03 1.149966e-03
-8.788265e-03 3.863848e-04
-4.537321e-03 6.650811e-04
3.834688e-03 3.000135e-04
-2.163101e-03 5.249417e-04
-5.627725e-03 2.525743e-04
2.803829e-04 1.809138e-04
1.139179e-04 1.845074e-04
-3.163630e-04 1.957878e-04
-1.851176e-03 2.296439e-04

#dist 8

1.005954e+01 2.539112e+00
4.389464e-01 1.796631e-01
-1.170111e-01 6.745973e-02
2.294027e-01 5.426629e-02
7.728096e-02 4.386358e-02
-3.232501e-02 4.624293e-02
1.381446e-01 4.379093e-02
9.786445e-05 3.415179e-02
4.884301e-02 1.778012e-02
4.345350e-02 1.546054e-02
3.043819e-02 1.576603e-02
1.604339e-02 2.194553e-02
-5.349476e-02 1.400239e-02
-5.955709e-02 1.138534e-02
-2.668870e-02 7.933105e-03
-4.608196e-02 6.625697e-03
-7.636894e-02 6.529650e-03
9.890963e-01 5.739009e-02
-1.572475e-02 7.663406e-03
-1.263402e-01 6.842539e-03
-3.948657e-02 2.811046e-03

```

4.901678e-04 3.459620e-03
-8.862891e-02 2.922551e-03
-3.395424e-03 3.058117e-03
-4.349846e-02 1.254798e-03
-1.943580e-02 9.525873e-04
-2.319276e-02 7.729820e-04
-2.248026e-02 7.252822e-04
-2.913454e-02 8.594850e-04
-2.039939e-02 5.307304e-04
-1.556884e-02 5.117039e-04
-2.365826e-03 3.66652e-04
-7.276458e-03 4.000917e-04
-1.131821e-02 4.109821e-04

#dist 9
6.702360e+00 1.080441e+00
9.006189e-01 9.387335e-02
6.326790e-01 3.555729e-02
5.184745e-01 2.122362e-02
4.328576e-01 1.993609e-02
2.566331e-01 1.609126e-02
1.563300e-01 2.034960e-02
1.063132e-01 1.220400e-02
2.362370e-01 9.019425e-03
2.408388e-01 1.197634e-02
5.670900e-02 9.893341e-03
-1.239188e-01 1.250513e-02
-7.835049e-02 1.071714e-02
2.484792e-02 6.114315e-03
-4.391424e-03 9.330446e-03
-4.717431e-02 6.480179e-03
-4.924520e-02 2.294313e-03
-3.599771e-02 3.165454e-02
-4.144310e-02 5.537776e-03
-4.842755e-03 3.807480e-03
2.576761e-03 9.386519e-04
-3.088974e-02 1.122021e-03
-2.392570e-03 7.474842e-04
5.669811e-03 6.064857e-04
1.452986e-02 5.050367e-04
-5.104321e-03 5.071938e-04
-7.282589e-03 4.013768e-04
-3.706513e-03 3.651821e-04
1.515214e-02 3.985710e-04
-9.439203e-04 3.717391e-04
-7.597602e-03 2.026381e-04
4.001839e-03 2.095356e-04
7.388026e-03 1.551652e-04
1.929606e-03 8.941702e-05

; ===== Output Probability Density Distribution =====
; #outp [ outp label ]
; [ mix num ]
; [ dist label ] [ mix weight ]
; .....
#outp 0
2
0 4.864574e-01
8 5.135426e-01

#outp 1
2
1 3.662454e-01
6 6.337546e-01

#outp 2
2
2 7.355011e-01
5 2.644989e-01

#outp 3
2
3 5.034622e-01
7 4.965378e-01

#outp 4
2
4 5.610864e-01
9 4.389136e-01

; ===== HMnet Condition =====
; #total_state [ total state num ]
; #max_segment [ max segment num ]
; #factor_num [ factor num ]
; .....
#total_state 5
#max_segment 4
#factor_num 3

; ===== Factor Element =====
; #element
; [ element list ]
; .....
#element
u a o i n g e - q

#element
b d g

#element
i a u e o j

; ===== Tied Factor Element =====
; #tied_element
; [ tied element list ]
; .....
#tied_element
MHT

; ===== State Attribute =====
; #state [ state label ]
; [ element list ]
; .....
; [ preceding state list ]
; [ succeeding state list ]
; [ tied outp num ]
; [ outp label ] [ sample num ]
; [ tied element list ]
; .....
; [ self-loop prob ] [ transition prob ]
; .....
#state 0
u a o i n g e - q
b d
i a u e o j
4
-1
1
0 425
MHT
7.970145e-01 2.029855e-01

#state 1
u a o i n g e - q
b d
i a u e o j
-1
4
1
0 425
MHT
7.314703e-01 2.685297e-01

#state 2
u a o i n g e - q
g
i a u e o j
3
-1
1
2 293
MHT
8.804139e-01 1.195861e-01

#state 3
u a o i n g e - q
g
i a u e o j
-1
2
1
3 293
MHT
8.414395e-01 1.585605e-01

#state 4
u a o i n g e - q
b d
i a u e o j
1
0
1
4 425
MHT
7.871327e-01 2.128673e-01

```

付録 2 : HMnet 生成時のログファイルの例

3 音素 (/b/, /d/, /g/) 用の HMnet 作成時に得られたログファイル (HMnet.log)

```
*****
* <<< SSS-ToolKit Version 1.1 >>> *
* Copyright(C) 1993 Jun-ichi TAKAMI *
* ATR Interpreting Telephony Research Laboratories *
* Speech Processing Department *
* 2-2 Hikaridai Seika-cho Soraku-gun Kyoto 619-02 *
* Tel : 07749-5-1311 *
* (Direct): 07749-5-1379 *
* Fax : 07749-5-1308 *
* E-mail : jun@atr-la.atr.co.jp *
*****
Fri Mar 5 14:37:48 1993
<<< Generate HMnet by SSS Algorithm >>>
[HMnet]
Algorithm Type : SSS
Max. State Number : 20
Max. Temporal Segment Number : 4
Factor Splitting Priority : 1/0,1/2
Tied Element : MHT
Factor Number : 3
Main Element : b d g
Output Model File Name : ../Test/HMnet.3cons/..
Model Save Step : 5
[Sample]
Parameter Dimension : 34
Total Phone Sample Number : 718
Total Frame Length : 9971
Min. Frame Length : 4
# Total State : 1 / Total Outp : 1
# Date : Fri Mar 5 14:37:48 1993
# State : 0
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 718 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 100.000 %
0 3.450414e+05 0.000000e+00
1 3.545981e+05 2.695089e-02
2 3.556484e+05 2.953136e-03
3 3.557149e+05 1.868009e-04
4 3.557280e+05 3.706478e-05
5 3.557363e+05 2.307782e-05
6 3.557508e+05 4.091774e-05
7 3.557836e+05 9.214706e-05
8 3.558576e+05 2.079923e-04
9 3.560137e+05 4.383124e-04
10 3.562935e+05 7.852934e-04
11 3.566693e+05 1.053725e-03
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 3.566693e+05
# Allophone Model Number : 1
# Accumulative State Number : 1
# Modeling Efficiency : 1.000000
# CPU Time : 14.620 sec
# Total State : 2 / Total Outp : 2
# Date : Fri Mar 5 14:38:36 1993
# Splittee State : 0
# Split State : 1 - 0
# State : 0
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 718 )
[Element*] : MHT
# State : 1
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 718 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 100.000 %
0 3.657299e+05 0.000000e+00
1 3.749246e+05 2.452418e-02
2 3.771647e+05 5.939411e-03
3 3.783203e+05 3.054557e-03
4 3.789411e+05 1.638148e-03
5 3.790589e+05 3.109094e-04
6 3.790859e+05 7.114564e-05
7 3.790985e+05 3.316727e-05
8 3.791060e+05 1.992759e-05
9 3.791120e+05 1.583823e-05
10 3.791184e+05 1.672140e-05
11 3.791239e+05 1.454462e-05
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 3.791239e+05
# Allophone Model Number : 1
# Accumulative State Number : 2
# Modeling Efficiency : 1.000000
# CPU Time : 31.510 sec
# Total State : 3 / Total Outp : 3
# Date : Fri Mar 5 14:40:23 1993
# Splittee State : 0
# Split State : 0 / 2 ( Factor : 1 )
# State : 0
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 425 )
[Element*] : MHT
# State : 2
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 293 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 100.000 %
0 3.759599e+05 0.000000e+00
1 3.832626e+05 1.905420e-02
2 3.847943e+05 3.980453e-03
3 3.862757e+05 3.835033e-03
4 3.881013e+05 4.703933e-03
5 3.889307e+05 2.132706e-03
6 3.894095e+05 1.229520e-03
7 3.899909e+05 1.490734e-03
8 3.906999e+05 1.814619e-03
9 3.913001e+05 1.533814e-03
10 3.916404e+05 8.689140e-04
11 3.918015e+05 4.113912e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 3.918015e+05
# Allophone Model Number : 2
# Accumulative State Number : 4
# Modeling Efficiency : 1.333333
# CPU Time : 33.920 sec
# Total State : 4 / Total Outp : 4
# Date : Fri Mar 5 14:42:13 1993
# Splittee State : 1
# Split State : 1 / 3 ( Factor : 1 )
# State : 1
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 425 )
[Element*] : MHT
# State : 3
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 293 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 100.000 %
0 3.876204e+05 0.000000e+00
1 3.942262e+05 1.675624e-02
2 3.963582e+05 5.379064e-03
3 3.985838e+05 5.583759e-03
4 4.005871e+05 5.000759e-03
5 4.017926e+05 3.000440e-03
6 4.026555e+05 2.142986e-03
7 4.032473e+05 1.467471e-03
8 4.035864e+05 8.404198e-04
9 4.037677e+05 4.488822e-04
10 4.038596e+05 2.275951e-04
11 4.039120e+05 1.297173e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.039120e+05
# Allophone Model Number : 2
# Accumulative State Number : 4
# Modeling Efficiency : 1.000000
# CPU Time : 34.070 sec
# Total State : 5 / Total Outp : 5
# Date : Fri Mar 5 14:43:56 1993
# Splittee State : 0
# Split State : 4 - 0
# State : 0
[Element0] : u a o i n g e - q
```

```

[Element1] : b d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 425 )
[Element*] : MHT
# State : 4
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 425 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 59.192 %
0 4.025357e+05 0.000000e+00
1 4.076613e+05 1.257309e-02
2 4.087723e+05 2.718062e-03
3 4.102390e+05 3.575070e-03
4 4.112076e+05 2.355639e-03
5 4.117482e+05 1.312876e-03
6 4.123126e+05 1.368973e-03
7 4.130258e+05 1.726762e-03
8 4.135036e+05 1.155382e-03
9 4.137473e+05 5.88858e-04
10 4.138798e+05 3.202608e-04
11 4.139683e+05 2.138351e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.139683e+05
# Allophone Model Number : 2
# Accumulative State Number : 5
# Modeling Efficiency : 1.000000
# CPU Time : 27.260 sec

# Total State : 6 / Total Outp : 6
# Date : Fri Mar 5 14:45:27 1993
# Splittee State : 1
# Split State : 5 - 1
# State : 1
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 425 )
[Element*] : MHT
# State : 5
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 425 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 59.192 %
0 4.078932e+05 0.000000e+00
1 4.139286e+05 1.458075e-02
2 4.151872e+05 3.031558e-03
3 4.165906e+05 3.368775e-03
4 4.173623e+05 1.848902e-03
5 4.175823e+05 5.267992e-04
6 4.178052e+05 5.334093e-04
7 4.181006e+05 7.066034e-04
8 4.182783e+05 4.248357e-04
9 4.184312e+05 3.655376e-04
10 4.185943e+05 3.895275e-04
11 4.188020e+05 4.959320e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.188020e+05
# Allophone Model Number : 2
# Accumulative State Number : 6
# Modeling Efficiency : 1.000000
# CPU Time : 36.360 sec

# Total State : 7 / Total Outp : 7
# Date : Fri Mar 5 14:47:24 1993
# Splittee State : 5
# Split State : 5 / 6 ( Factor : 1 )
# State : 5
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 203 )
[Element*] : MHT
# State : 6
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 222 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 59.192 %
0 4.147136e+05 0.000000e+00
1 4.205157e+05 1.379743e-02
2 4.208289e+05 7.444505e-04
3 4.209462e+05 2.784594e-04
4 4.210312e+05 2.019571e-04
5 4.211060e+05 1.776656e-04
6 4.211800e+05 1.757068e-04
7 4.212672e+05 2.070335e-04
8 4.213830e+05 2.748133e-04
9 4.215195e+05 3.238211e-04
10 4.216683e+05 3.527649e-04
11 4.218677e+05 4.728014e-04
# Iteration Times : 11

# Total Probability : 4.218677e+05
# Allophone Model Number : 3
# Accumulative State Number : 10
# Modeling Efficiency : 1.428571
# CPU Time : 37.310 sec

# Total State : 8 / Total Outp : 8
# Date : Fri Mar 5 14:49:23 1993
# Splittee State : 0
# Split State : 0 / 7 ( Factor : 1 )
# State : 0
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 222 )
[Element*] : MHT
# State : 7
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 203 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 59.192 %
0 4.164410e+05 0.000000e+00
1 4.223954e+05 1.409678e-02
2 4.228964e+05 1.184482e-03
3 4.231335e+05 5.604143e-04
4 4.232939e+05 3.789648e-04
5 4.233858e+05 2.171180e-04
6 4.234332e+05 1.119120e-04
7 4.234628e+05 6.994163e-05
8 4.235042e+05 9.762578e-05
9 4.236023e+05 2.315638e-04
10 4.237609e+05 3.742687e-04
11 4.238936e+05 3.130874e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.238936e+05
# Allophone Model Number : 3
# Accumulative State Number : 10
# Modeling Efficiency : 1.250000
# CPU Time : 37.400 sec

# Total State : 9 / Total Outp : 9
# Date : Fri Mar 5 14:51:21 1993
# Splittee State : 4
# Split State : 4 / 8 ( Factor : 1 )
# State : 4
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 203 )
[Element*] : MHT
# State : 8
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 222 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 59.192 %
0 4.182995e+05 0.000000e+00
1 4.239493e+05 1.332680e-02
2 4.249404e+05 2.332136e-03
3 4.256211e+05 1.599338e-03
4 4.260759e+05 1.067360e-03
5 4.264147e+05 7.946890e-04
6 4.266518e+05 5.556903e-04
7 4.268028e+05 3.538243e-04
8 4.268995e+05 2.265382e-04
9 4.269853e+05 2.009055e-04
10 4.271117e+05 2.958065e-04
11 4.272618e+05 3.513388e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.272618e+05
# Allophone Model Number : 3
# Accumulative State Number : 10
# Modeling Efficiency : 1.111111
# CPU Time : 37.380 sec

# Total State : 10 / Total Outp : 10
# Date : Fri Mar 5 14:53:20 1993
# Splittee State : 1
# Split State : 1 / 9 ( Factor : 1 )
# State : 1
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 222 )
[Element*] : MHT
# State : 9
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 203 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 59.192 %

```

```

0 4.214651e+05 0.000000e+00
1 4.272781e+05 1.360463e-02
2 4.279616e+05 1.597178e-03
3 4.284385e+05 1.113105e-03
4 4.287998e+05 8.424766e-04
5 4.291338e+05 7.785317e-04
6 4.295155e+05 8.886243e-04
7 4.298206e+05 7.097390e-04
8 4.299837e+05 3.794559e-04
9 4.301049e+05 2.817102e-04
10 4.302211e+05 2.701863e-04
11 4.303505e+05 3.006789e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.303505e+05
# Allophone Model Number : 3
# Accumulative State Number : 10
# Modeling Efficiency : 1.000000
# CPU Time : 37.590 sec

# Total State : 11 / Total Outp : 11
# Date : Fri Mar 5 14:55:14 1993
# Splitee State : 6
# Split State : 6 / 10 ( Factor : 0 )
# State : 6
[Element0] : u a o i n g e
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 161 )
[Element*] : MHT
# State : 10
[Element0] : -
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 61 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 30.919 %
0 4.266604e+05 0.000000e+00
1 4.301743e+05 8.168443e-03
2 4.306701e+05 1.151244e-03
3 4.311724e+05 1.164876e-03
4 4.317097e+05 1.244646e-03
5 4.322973e+05 1.359281e-03
6 4.326470e+05 8.082489e-04
7 4.328639e+05 5.011339e-04
8 4.330005e+05 3.154088e-04
9 4.331213e+05 2.788406e-04
10 4.332434e+05 2.819524e-04
11 4.33352e+05 2.117744e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.333352e+05
# Allophone Model Number : 4
# Accumulative State Number : 14
# Modeling Efficiency : 1.272727
# CPU Time : 20.090 sec

# Total State : 12 / Total Outp : 12
# Date : Fri Mar 5 14:56:18 1993
# Splitee State : 3
# Split State : 3 / 11 ( Factor : 0 )
# State : 3
[Element0] : u a o i n g e
[Element1] : g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 220 )
[Element*] : MHT
# State : 11
[Element0] : -
[Element1] : g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 73 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 40.808 %
0 4.330550e+05 0.000000e+00
1 4.362964e+05 7.429381e-03
2 4.374052e+05 2.534959e-03
3 4.381269e+05 1.647273e-03
4 4.388237e+05 1.587835e-03
5 4.395170e+05 1.577346e-03
6 4.400059e+05 1.111226e-03
7 4.402614e+05 5.804305e-04
8 4.404195e+05 3.589550e-04
9 4.405350e+05 2.621849e-04
10 4.406109e+05 1.721734e-04
11 4.406617e+05 1.153775e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.406617e+05
# Allophone Model Number : 5
# Accumulative State Number : 16
# Modeling Efficiency : 1.333333
# CPU Time : 14.840 sec

# Total State : 13 / Total Outp : 13
# Date : Fri Mar 5 14:57:06 1993
# Splitee State : 2
# Split State : 2 / 12 ( Factor : 0 )
# State : 2
[Element0] : u a o i n g e

```

```

[Element1] : g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 220 )
[Element*] : MHT
# State : 12
[Element0] : -
[Element1] : g
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 73 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 40.808 %
0 4.366001e+05 0.000000e+00
1 4.401014e+05 7.955559e-03
2 4.413947e+05 2.930159e-03
3 4.423475e+05 2.154017e-03
4 4.432497e+05 2.035366e-03
5 4.437918e+05 1.221593e-03
6 4.440297e+05 5.357776e-04
7 4.441579e+05 2.884723e-04
8 4.442393e+05 1.832934e-04
9 4.442873e+05 1.081202e-04
10 4.443341e+05 1.052894e-04
11 4.443941e+05 1.348788e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.443941e+05
# Allophone Model Number : 5
# Accumulative State Number : 16
# Modeling Efficiency : 1.230769
# CPU Time : 14.900 sec

# Total State : 14 / Total Outp : 14
# Date : Fri Mar 5 14:57:54 1993
# Splitee State : 0
# Split State : 0 / 13 ( Factor : 2 )
# State : 0
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : i u e j
Outp : 0 ( Sample Number : 126 )
[Element*] : MHT
# State : 13
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : a o
Outp : 0 ( Sample Number : 96 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 30.919 %
0 4.389921e+05 0.000000e+00
1 4.431725e+05 9.432884e-03
2 4.443980e+05 2.757589e-03
3 4.448271e+05 9.647662e-04
4 4.451472e+05 7.190658e-04
5 4.455207e+05 8.383484e-04
6 4.460467e+05 1.179072e-03
7 4.464537e+05 9.117420e-04
8 4.466532e+05 4.466821e-04
9 4.467991e+05 3.266188e-04
10 4.469254e+05 2.824003e-04
11 4.470242e+05 2.212031e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.470242e+05
# Allophone Model Number : 7
# Accumulative State Number : 24
# Modeling Efficiency : 1.714286
# CPU Time : 20.070 sec

# Total State : 15 / Total Outp : 15
# Date : Fri Mar 5 14:58:58 1993
# Splitee State : 5
# Split State : 5 / 14 ( Factor : 0 )
# State : 5
[Element0] : u a o i n g e
[Element1] : d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 134 )
[Element*] : MHT
# State : 14
[Element0] : - q
[Element1] : d
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 69 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 28.273 %
0 4.440356e+05 0.000000e+00
1 4.468522e+05 6.303054e-03
2 4.472970e+05 9.944654e-04
3 4.475740e+05 6.189724e-04
4 4.477987e+05 5.016212e-04
5 4.479916e+05 4.307152e-04
6 4.481706e+05 3.993653e-04
7 4.484330e+05 5.852216e-04
8 4.488399e+05 9.065305e-04
9 4.491259e+05 6.368027e-04
10 4.492503e+05 2.769573e-04
11 4.493333e+05 1.845238e-04
# Iteration Times : 11

```

```

# Total Probability : 4.493333e+05
# Allophone Model Number : 8
# Accumulative State Number : 28
# Modeling Efficiency : 1.866667
# CPU Time : 17.680 sec

# Total State : 16 / Total Outp : 16
# Date : Fri Mar 5 14:59:56 1993
# Splittee State : 7
# Split State : 7 / 15 ( Factor : 2 )
# State : 7
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : d
[Element2] : i a o
Outp : 0 ( Sample Number : 175 )
[Element*] : MHT
# State : 15
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : d
[Element2] : e
Outp : 0 ( Sample Number : 28 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 28.273 %
0 4.447208e+05 0.000000e+00
1 4.475435e+05 6.307110e-03
2 4.479793e+05 9.727748e-04
3 4.482473e+05 5.979875e-04
4 4.484641e+05 4.833452e-04
5 4.486580e+05 4.322690e-04
6 4.488412e+05 4.079999e-04
7 4.491343e+05 6.527551e-04
8 4.495469e+05 9.177573e-04
9 4.498285e+05 6.259302e-04
10 4.499524e+05 2.755147e-04
11 4.500387e+05 1.915810e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.500387e+05
# Allophone Model Number : 10
# Accumulative State Number : 36
# Modeling Efficiency : 2.250000
# CPU Time : 17.660 sec

# Total State : 17 / Total Outp : 17
# Date : Fri Mar 5 15:00:52 1993
# Splittee State : 6
# Split State : 6 / 16 ( Factor : 0 )
# State : 6
[Element0] : u a o i e
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 149 )
[Element*] : MHT
# State : 16
[Element0] : n g
[Element1] : b
[Element2] : i a u e o j
Outp : 0 ( Sample Number : 12 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 30.919 %
0 4.429082e+05 0.000000e+00
1 4.472947e+05 9.806692e-03
2 4.486298e+05 2.975857e-03
3 4.491106e+05 1.070601e-03
4 4.494399e+05 7.327526e-04
5 4.497397e+05 6.666138e-04
6 4.500930e+05 7.848812e-04
7 4.503090e+05 4.797371e-04
8 4.504734e+05 3.648864e-04
9 4.505897e+05 2.581258e-04
10 4.506543e+05 1.433164e-04
11 4.506965e+05 9.372820e-05
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.506965e+05
# Allophone Model Number : 12
# Accumulative State Number : 44
# Modeling Efficiency : 2.588235
# CPU Time : 19.790 sec

# Total State : 18 / Total Outp : 18
# Date : Fri Mar 5 15:01:56 1993
# Splittee State : 7
# Split State : 7 / 17 ( Factor : 0 )
# State : 7
[Element0] : u a o n g - q
[Element1] : d
[Element2] : i a o
Outp : 0 ( Sample Number : 147 )
[Element*] : MHT
# State : 17
[Element0] : i e
[Element1] : d
[Element2] : i a o
Outp : 0 ( Sample Number : 28 )
[Element*] : MHT

```

```

# Used Sample : 28.273 %
0 4.459035e+05 0.000000e+00
1 4.487661e+05 6.378871e-03
2 4.492019e+05 9.703257e-04
3 4.494913e+05 6.436360e-04
4 4.497180e+05 5.041053e-04
5 4.499059e+05 4.178411e-04
6 4.500437e+05 3.061235e-04
7 4.502837e+05 5.328906e-04
8 4.506959e+05 9.146489e-04
9 4.510026e+05 6.800310e-04
10 4.511928e+05 4.214887e-04
11 4.513711e+05 3.950975e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.513711e+05
# Allophone Model Number : 13
# Accumulative State Number : 48
# Modeling Efficiency : 2.666667
# CPU Time : 17.520 sec

# Total State : 19 / Total Outp : 19
# Date : Fri Mar 5 15:02:54 1993
# Splittee State : 8
# Split State : 8 / 18 ( Factor : 2 )
# State : 8
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : i a e j
Outp : 0 ( Sample Number : 117 )
[Element*] : MHT
# State : 18
[Element0] : u a o i n g e - q
[Element1] : b
[Element2] : u o
Outp : 0 ( Sample Number : 105 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 30.919 %
0 4.460149e+05 0.000000e+00
1 4.505658e+05 1.010037e-02
2 4.519943e+05 3.160441e-03
3 4.525299e+05 1.183559e-03
4 4.527985e+05 5.932606e-04
5 4.529204e+05 2.691253e-04
6 4.530136e+05 2.057719e-04
7 4.530496e+05 7.943577e-05
8 4.530728e+05 5.128589e-05
9 4.530860e+05 2.899397e-05
10 4.530948e+05 1.960004e-05
11 4.531004e+05 1.223157e-05
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.531004e+05
# Allophone Model Number : 19
# Accumulative State Number : 72
# Modeling Efficiency : 3.789474
# CPU Time : 20.200 sec

# Total State : 20 / Total Outp : 20
# Date : Fri Mar 5 15:03:58 1993
# Splittee State : 2
# Split State : 2 / 19 ( Factor : 2 )
# State : 2
[Element0] : u a o i n g e
[Element1] : g
[Element2] : i u o j
Outp : 0 ( Sample Number : 96 )
[Element*] : MHT
# State : 19
[Element0] : u a o i n g e
[Element1] : g
[Element2] : a e
Outp : 0 ( Sample Number : 124 )
[Element*] : MHT
# Used Sample : 30.641 %
0 4.513163e+05 0.000000e+00
1 4.534413e+05 4.686322e-03
2 4.539700e+05 1.164760e-03
3 4.541695e+05 4.390748e-04
4 4.543019e+05 2.915417e-04
5 4.544927e+05 4.198686e-04
6 4.548461e+05 7.768048e-04
7 4.551949e+05 7.662957e-04
8 4.553983e+05 4.467028e-04
9 4.555255e+05 2.793365e-04
10 4.556035e+05 1.710111e-04
11 4.556508e+05 1.038771e-04
# Iteration Times : 11
# Total Probability : 4.556508e+05
# Allophone Model Number : 20
# Accumulative State Number : 74
# Modeling Efficiency : 3.700000
# CPU Time : 10.200 sec

```