

HMM と一般化 LR 構文解析を用いた実時間 大語彙連続音声認識装置の実現*

永井明人^{†1}・北 研二^{†2}・花沢利行^{†1}・川端 豪^{†3}
鹿野清宏^{†4}・森元 逞^{†5}・嵯峨山茂樹^{†6}・樽松 明^{†7,**}

(ATR 自動翻訳電話研究所)

鈴木 忠・岩崎知弘・中島邦男^{***}

(三菱電機情報システム研究所)

(平成 5 年 12 月 15 日受付)

内容梗概 本稿は、大語彙の連続音声認識を実時間で処理するための、HMM-LR 連続音声認識装置の設計、開発及び処理性能について述べる。HMM-LR 法は、一般化 LR 構文解析により入力音声データ中の音素を予測し、予測された音素の存在確率を HMM 音素照合により調べることで、音声認識と言語処理を同時進行させる方式であり、高精度で効率的な処理系を構成することができる。処理量が極めて大きな継続時間制御付きトリス計算を伴う HMM-LR 連続音声認識を実時間で実行するために、本装置は種々の高速化手法を 33 個の DSP を用いて実現した。その結果、連続文節発声の入力音声に対し、入力文の長さに依らずに、発声終了後から 2~3 秒ですべての認識処理を終了する処理速度を達成した。

キーワード 連続音声認識, 実時間処理, 隠れマルコフモデル, LR 構文解析

Continuous speech recognition, Realtime processing, Hidden Markov model, LR parser

1. はじめに

一般に、連続音声認識は処理量が極めて大きく、実時間処理を目指すためにはハードウェア化が有効である。従来から、数百語程度の比較的中語彙のタスクを扱う連続音声認識の専用装置化は試みられてきた。しかし、1,000 語以上の大語彙のタスクに対しては、認識

処理量の増加によって装置が大規模になるために専用装置化の例は少ない^{1),2)}。そこで我々は、このような大語彙タスクに対して、実時間処理を実現する専用装置のアーキテクチャを設計・開発することは意義あることと考えた。また、本装置の実時間処理の設計思想は、将来における連続音声認識の専用装置やワン・チップ型連続音声認識プロセッサの設計・開発の指針になると位置付けた。

我々は既に、高精度で効率的な連続音声認識を実現するために、音声認識と言語処理を統合した、HMM-LR 法³⁾を提案した。この手法は、一般化 LR 構文解析⁴⁾による音素の予測と、HMM による予測音素の存在確率計算とを同時に進行させるもので、音素ラティスなどの中間的データが不要となり、精度の高い認識が可能である。また我々は、セパレートベクトル量子化⁵⁾と継続時間制御手法を導入した高精度な HMM⁷⁾を用いた HMM-LR 連続音声認識システムを構築し、ファジィベクトル量子化⁶⁾に基づく話者適応化手法⁸⁾を用いた文節認識実験によってその高い認識性能を報告した⁹⁾。

本稿の目的は、HMM-LR 法の専用装置化を具体的

* Realization of realtime large vocabulary continuous speech recognition integrating hidden Markov models and generalized LR parser.

** Akito Nagai, Kenji Kita, Toshiyuki Hanazawa, Takeshi Kawabata, Kiyohiro Shikano, Tsuyoshi Morimoto, Shigeki Sagayama and Akira Kurematsu (ATR Interpreting Telephony Research Laboratories, Kyoto, 619-02)

*** Tadashi Suzuki, Tomohiro Iwasaki and Kunio Nakajima (Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura, 247)

^{†1} 現在, 三菱電機情報システム研究所

^{†2} 現在, 徳島大学工学部

^{†3} 現在, NTT 基礎研究所

^{†4} 現在, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

^{†5} 現在, ATR 音声翻訳通信研究所

^{†6} 現在, NTT ヒューマンインタフェース研究所

^{†7} 現在, 電気通信大学電子工学科

な実現例として、単語パープレキシティが 100 以上の大語彙連続音声認識の実時間処理の実現法について論じることにある。

本装置で採用した主要な高速化手法は、以下の三手法である。

1. 音響分析から、ファジィベクトル量子化を経て、HMM 出力確率計算までの処理におけるパイプライン処理。
2. 継続時間制御付きトレリス計算を行う、HMM 音素照合計算部における並列処理。
3. 入力された各文節発声に対し、それぞれ独立に HMM-LR による認識処理を割り当てて、処理時間遅れの蓄積を回避する分散処理。

本稿では、2 章で HMM-LR 法のアルゴリズムを概説し、3 章で HMM-LR 連続音声認識を実時間で計算するための高速化手法について述べ、4 章で本装置におけるアーキテクチャと認識処理の流れを説明し、5 章で本装置の処理能力を評価する。最後に、本装置を組み込んだ日英音声翻訳実験システム SL-TRANS 2 について述べる。

2. HMM-LR 法の概要

HMM-LR 法のアルゴリズムの詳細は文献⁹⁾に譲り、ここではその動作の概略と、ハードウェア化を行った HMM-LR 法の仕様を説明する。

2.1 動作原理

HMM-LR 法の動作原理を、Fig.1 に示す。HMM-LR 法において、一般化 LR 構文解析 (LR パーザ) は音素予測の言語モデルとして用いる。まず、LR パーザは、LR テーブルの初期状態で予測されたすべての音素に対して、その音素を出発点として成長する構文仮

説を生成する。それぞれの構文仮説について、予測音素に対する存在確率を HMM により計算し、計算された存在確率を各構文仮説の音響的尤度として用いる。次に、各構文仮説について、LR テーブルの各状態で指示された *shift*, *reduce* などの構文解析動作を行い、次の状態へと遷移する。このとき、すべての可能な部分解析木は、並行して成長させる。構文仮説が *accept* の状態に達したときに、その構文仮説に対する認識処理は終了する。

このように、HMM-LR 法では音声認識と言語処理を同時進行させて、音声認識と言語処理の間に音素ラティス等の中間的なデータを介さないで、効率的で高精度な処理を行える。本装置においては、認識性能を更に向上させるための手法として、HMM の状態に対する継続時間制御と、ファジィベクトル量子化を併用する。

2.2 仕様

Table 1 に、専用装置化した HMM-LR 連続音声認識方式の仕様を示す。入力音声をサンプリング周波数 12 kHz で AD 変換後、伝達関数 $(1 - 0.97z^{-1})$ による高域強調を行う。窓長 21.3 ms, 周期 9 ms のハミング窓で切り出した後に 14 次の LPC 分析を行い、(1)スペクトル (WLR), (2)差分ケプストラム, (3)差分パワーの 3 種類の特徴量を抽出する。これらの特徴量について、 k 近傍則に基づくファジィベクトル量子化 (近傍数 6, ファジネス 1.5) を行う。コードブックサイズは、スペクトル (WLR 距離尺度¹⁰⁾) と差分ケプストラムに対して 256, 差分パワーに対して 64 である。HMM は、セパレートベクトル量子化法で学習された離散型モデルを用いる。HMM の構造は、子音に対して 4 状態 3 ループモデルとし、母音、撥音及び無音モデルに対し

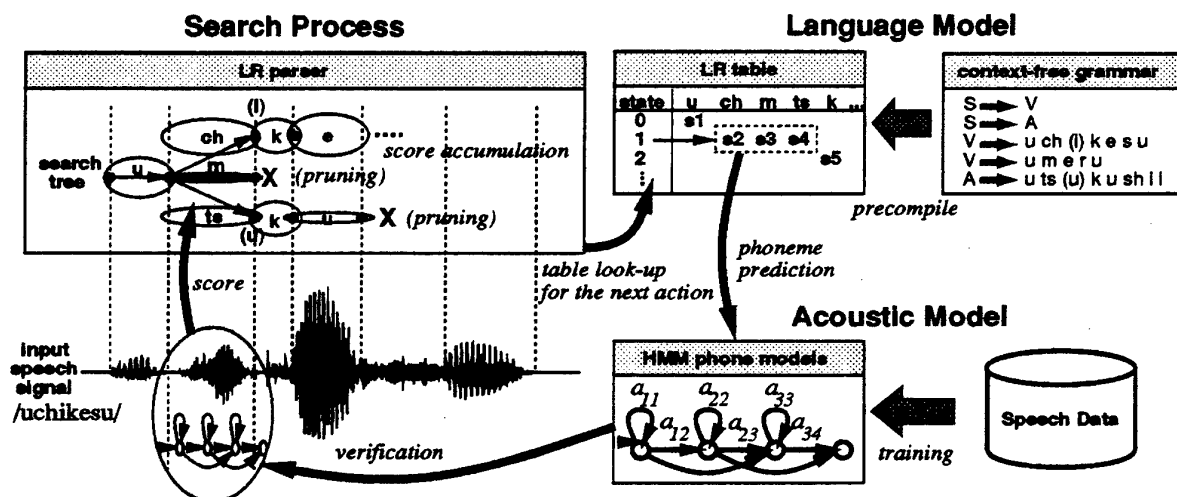


Fig.1 The HMM-LR continuous speech recognizer.

Table 1 The specification of the HMM-LR system.

A/D	16 bit, 12 kHz sampling
frame length (period)	21.3 ms (9.0 ms)
LPC analysis	14-order (Hamming window) 16-order auto-correlation 16-order LPC cepstrum
analysis parameter	power 16-order Δ cepstrum Δ power
codebook (size)	WLR(256), Δ cepstrum(256), Δ power(64)
fuzzy VQ	fuzziness 1.5, 6-nearest neighbor
# HMM algorithms	3-loop 38, 1-loop 56 trellis, state duration control
# rules	1500
# LR states	4500
max. of phrase length	256 frame
max. of beam width	256

Table 2 HMM-LR processing ratios(%)

trellis calculation	51.0
probability addition	14.2
cell copying	3.4
output probability calculation	2.8
beam search	2.1
LR parsing	0.5

ては2状態1ループモデルとする。文法の規模としては、規則数1,500程度、LRテーブルの状態数4,500程度を上限とし、探索空間削減のためにビームサーチを併用する。

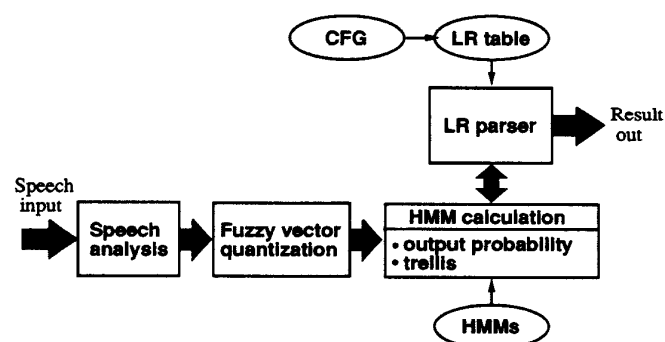
3. 認識処理高速化の手法

本章では、大語彙連続音声認識の実時間処理について論じる。一般に、特定のアルゴリズムを専用装置化する場合に、技術的に問題となるのは、認識精度、演算速度、及び装置規模の三つの設計観点である。本装置の設計にあたっては、装置規模は問わずに、シミュレーションと同等の認識精度を維持したまま、いかに高速に処理するかという思想に基づいた。

まず、HMM-LR法による連続音声認識を行う概念的な装置を考え、次に、上記の設計思想の観点から装置化上の問題点を明らかにして、認識精度を低下させずに処理の高速化を行う手法を以下で検討する。

3.1 演算速度の問題点

HMM-LR法における各機能ブロックの実際の計算量を推定するために、シミュレーションを行った。シミュレーションの条件としては、音声信号をファジィベクトル量子化した結果を入力とし、認識文節数10、ビーム幅250、計算機はVAX 8800 (6 MIPS相当)を使用した。パラメータの読み込みなど、直接演算に関係ない処理も含めた全認識時間は、約3,100秒であった。この結果より、ビーム幅が100の場合の1文節当たりの演算時間は、計算量がビーム幅に比例すると仮定して、約124秒と推定される。これを実時間内に収

**Fig. 2** Process flow of HMM-LR.

めるためには、VAX 8800の100倍以上の演算速度を実現する必要がある。**Table 2**は、本シミュレーションでの全認識処理時間に対する、各機能毎の処理時間の比率を示している。これより、log加算テーブルを用いた確率加算(例えば文献11)を伴うトレリス計算の処理時間が、全体の約65%を占めることが分かり、実時間処理を実現する上での大きな壁になっていることが分かった。このような極めて大きな処理量に対して、我々は以下に述べるような実時間処理方式を検討した。

3.2 認識処理の機能分割

HMM-LR法による認識処理の流れを、**Fig. 2**に示す。主要な処理は、音響分析(LPC分析)、ファジィベクトル量子化、HMM演算(出力確率、トレリス)、及びLR構文解析である。このような一連の処理を一つのプロセッサで実時間で処理することは、現時点では困難である。処理高速化のためには、複数のプロセッサを用いて、パイプライン化、並列化及び分散化をすることが処理速度向上の点で必要である。そこで、これらの基本的な高速化手法を取り入れるために、HMM-LR法の処理を分割可能な機能ブロックに分解して、各機能ブロックに専用のプロセッサを割り当てる。特に、HMM演算部はHMM出力確率計算とトレリス計算の異なる二つの機能を有し、両者を分割することで、HMM-LR法の主要な認識処理に先立って各音素HMMの出力確率を計算することが可能となる。

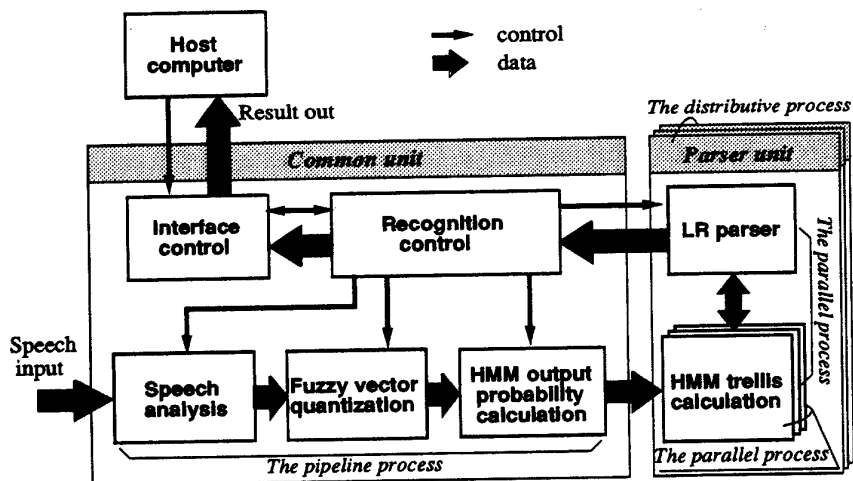


Fig. 3 The functional structure.

以上の検討に基づいた概念的な認識装置の機能ブロック構成を、Fig. 3 に示す。機能ブロックは、大きく分けて共通処理ユニット (common unit) と構文解析ユニット (parser unit) とで構成する。共通処理ユニットは、LR 構文解析の前処理部に相当する音響分析から HMM 出力確率計算までの処理を受け持ち、音響分析部、ベクトル量子化部、HMM 出力確率計算部、認識制御部により構成する。一方、構文解析ユニットは、LR 構文解析による主要な音声認識処理を受け持ち、HMM トレリス計算部と LR パーザ部により構成する。

3.3 構文解析ユニットにおける高速化手法

入力音声の一つの発話単位に対して、二種類の並列処理を行うことにより、処理高速化をすることができる。一つは、HMM トレリス計算部における並列処理であり、もう一つは、LR パーザ部と HMM トレリス計算部との間の制御機構に対する並列処理である。

まず、HMM トレリス計算は繰り返し計算が多いため、DSP を用いた処理に適する。また、この計算は、すべての HMM の各状態遷移における出力確率の情報と、log 加算テーブルの情報を共有することによって並列化が可能である。従って、HMM トレリス計算部においては、多数の DSP を用いた並列処理を採用した。

次に、LR パーザ部と HMM トレリス計算部との間の制御機構に対する並列処理について述べる。ここでの処理は、LR テーブルに従った条件分岐が極めて頻繁に生じ、DSP に不向きである。そこで、アルゴリズムの面から並列化や処理量の削減を行った。

HMM-LR 法のアルゴリズムでは、セル (cell) と呼ばれるデータ構造を用いる。セルは解析に必要な情報

を保持するためのデータ構造であり、入力音声に対する認識候補のそれぞれに対し、一つのセルが用いられる。セルには、LR 構文解析の状態スタック、及び認識候補の各フレームごとの尤度を格納する確率テーブルの二つの情報が記憶される。LR パーザは、LR テーブルを参照しながら、各セルの LR 状態スタックに対するプッシュ/ポップ操作を行うことで、(1) *shift* 動作、又は、(2) *reduce* 動作を行い、構文解析木を成長させる。*shift* 動作で予測された音素に対し、(3) HMM トレリス計算がなされ、構文仮説が一音素分だけ枝を伸ばすごとに、(4) ビームサーチが音素同期的に行われる。

これらの LR 構文解析動作と HMM トレリス計算を並列に処理するために、各構文仮説のデータについて、LR パーザの処理対象である状態スタックと HMM トレリス計算の処理対象である確率テーブルとを分割し、各機能ブロック内に格納・管理した。これにより、(2) と (3) の並列化を可能にした。また、ビームサーチ時のセルのデータ転送時間に *shift* 動作を行うことで、(1) と (4) の並列化を図った。

3.4 共通処理ユニットにおける高速化手法

既に述べたように、HMM 音素照合部は、セパレート・ファジィベクトル量子化のパラメータに対する各音素の出力確率を演算する部分と、演算された出力確率に対し、継続時間長制限付きのトレリス演算を行う部分とに機能分割した。分割された機能のうち、音響分析、ベクトル量子化、及び HMM 出力確率計算はフレーム単位演算のため、パイプライン方式による処理が可能である。そこで、各機能内での処理を、1 フレーム周期の時間内で終了させ、入力音声の終端を待たずに、音声入力に並行した実時間処理を実現した。

更に、音声信号が終端まで入力されるのを待たずに

HMM 演算の処理を行うために、音素継続時間が有限であることを積極的に活用し、HMM 演算が可能な音素仮説から処理を開始することで文節認識時間を短縮した。

3.5 複数構文解析ユニットによる分散処理

本装置への入力は、発声単位ごとに区切って発声された音声であり、本稿で扱う発声単位は文節である。ただし、文法の差し替えにより、発声単位を文節から文に変更することも可能である。どちらの場合でも、発声単位ごとの分散処理が可能である。連続文節発声の場合、文節当たりの認識処理時間が発声時間以上かかると、処理遅れの蓄積が生じる。そこで、文節単位で認識処理を行う構文解析ユニットを、複数個並列に動作させて処理遅れの蓄積を回避し、文全体の認識応答時間の高速化を図った。

4. 本ハードウェアのインプリメンテーション

上述の高速化手法を実現するために、以下で述べるようなハードウェア構成を設計し、HMM-LR法の装置化を行った。

4.1 アーキテクチャ

ハードウェア構成を Fig. 4 に示す。本装置は主として、一つの共通処理ユニットと複数の構文解析ユニットで構成される。ユニット内の各機能ブロックは VMEbus 仕様の基板からなる。

共通処理ユニットでは、FEPa は音声信号をアナロ

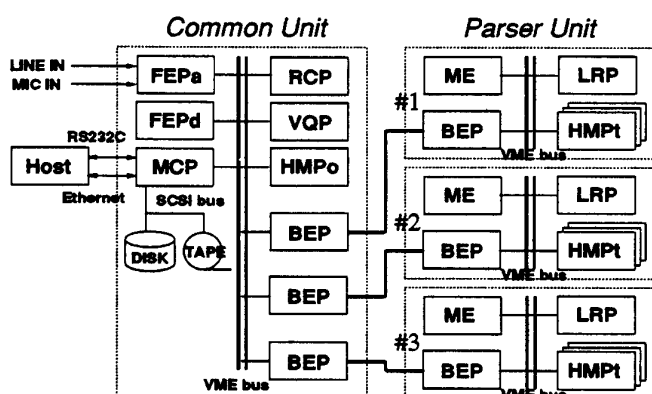
グ処理後 A/D 変換する基板であり、FEPd は A/D データに対して音響分析を行う基板である。MCP はインタフェース制御やプロセス全体の制御を行うための基板で UNIX (SystemV) が動作し、イーサネット、及び RS 232 C によりホスト計算機と通信できる。RCP は認識処理全体の制御を行い、FEPa, FEPd, ファジイベクトル量子化を行う VQP, HMM 出力確率計算を行う HMPo, 及び構文解析ユニットの動作を管理する。

構文解析ユニットでは、LRP 基板が LR 構文解析動作を受け持つと共に、HMM トレリス計算を行う複数の HMPt 基板の動作を制御する。ME は LRP と HMPt とのデータ交信用メモリであり、確率テーブルの情報を保持する。構文解析ユニットは最大 3 ユニットまで増設可能であり、各構文解析ユニットには最大 15 枚の HMPt 基板を挿入できる。

プロセッサは、FEPd で mSP 2 (DSP, 浮動小数点演算, マシンサイクル 75 ns, 三菱電機製) を 1 個用い、TMS 320 C 30 (DSP, 浮動小数点演算, マシンサイクル 60 ns, TI 社製) を、VQP に 1 個、HMPo に 1 個、HMPt に 30 個用いた。また、MC 68030 (MPU, クロック周波数 25 MHz, モトローラ社製) を MCP と RCP の両者に 1 個用い、MC 68030 (MPU, クロック周波数 32 MHz, モトローラ社製) を各 LRP に 1 個用いた。

共通処理ユニットと構文解析ユニットはそれぞれ独立に VMEバスを持ち、データ転送が必要な場合に、バス・エキスパンダ (BEP) を介して VMEバス同士を接続する。構文解析ユニットが認識処理を行っているときには BEP は切断されているため、複数の構文解析ユニットを用いた場合でも互いに影響を与えることはない。ここで、並列化に伴うプロセッサ間のデータ転送量増大を抑える必要がある。転送量が増大するものとして、(1) 構文解析ユニット内における各 HMPt と ME との間の生起確率の転送、(2) 共通処理ユニットと各構文解析ユニット間における、HMPo から各 HMPt に対する出力確率データの転送がある。(1) はプロセッサの数によらず一定の数値であり、(2) はプロセッサの数に比例して増加する。両転送量とも決して無視できる値ではなく、ハードウェア構成に以下のような機能を持たせることで高速なデータ転送を実現した。

- 各プロセッサをシステムバスに直結し、高速なパラレル転送を可能とする。
- 確率テーブルのアクセス速度を上げるために、



MCP	: Master Control Processor
RCP	: Recognition Control Processor
FEPa	: Front End Processor for Analog signal
FEPd	: Front End Processor for Digital signal
VQP	: Vector Quantization Processor
HMPo	: HMM Processor for Output probability
HMPt	: HMM Processor for trellis algorithm
LRP	: LR Parser
ME	: Message Exchanger
BEP	: Bus Expander/repeater

Fig. 4 Hardware architecture.

MEには大容量・高速のSRAMを用いる。

- まとまった単位でデータ転送することで、データバス獲得のためのオーバーヘッドを少なくする(連続転送)。
- 出力確率データの転送では、すべてのHMPtプロセッサに対し同一のデータが転送されるため、1回の転送で全HMPtプロセッサに同時に転送する(同時転送)。

4.2 認識処理の流れ

主要な確認処理の流れの概略を示したFig.3と、ハードウェア構成を示したFig.4を参照して、システムの動作を説明する。

装置立ち上げ終了後に、RCPはFEPa, FEPd, VQPをパイプライン制御し、音声信号を分析して音声区間検出を開始する。MCPがホストから認識命令を受けたとき、MCPはRCPに認識処理開始を伝える。RCPにおいて音声区間が検出されたとき、RCPは検出された音声区間のVQパラメータをHMPoへ転送すると共に、LRPに命令を伝えて、HMM-LR法による認識を開始させる。各構文解析ユニットは文節認識処理を独立に行い、LRPで得た認識結果はRCP, MCPを介してホストへ返される。

5. 処理性能

本装置の処理速度評価を行った。認識タスクは、国際会議への参加登録の申し込みに関するもので、文脈自由文法で記述されている。Table 3に示すように、語彙数1,035, 規則数1,407で、音素パープレキシティ5.9, 単語パープレキシティは100以上である。評価はTable 4の条件で行った。文節ごとに区切って発声されたテスト文は23文節から成り、文節間の無音区間を

含んだ長さが約30秒で、実音声長が16.6秒である。テスト文を以下に示す。

入力文: 「第一回/通訳/電話/国際/会議に/参加の/登録を/ご希望される/方は/所定の/申し込み/用紙に/住所/氏名と/発表/聴講の/別を/明記して/国際/会議/事務局まで/お申し込み/下さい。」

ビーム幅は100とし、15枚のHMPt基板を含む構文解析ユニットを二つ用いた。評価の結果、本装置は音声入力終了後、約2秒の応答時間ですべての認識を終了することを確認した。参考として、DECstation 5000 (24 MIPS)でのシミュレーションでは、同一実験条件においてVQ処理部が29.5秒、HMM-LR処理部が179.8秒の計209.3秒であった。

6. 本装置を用いた日英音声翻訳実験システム SL-TRANS 2 の構築

本装置を音声認識部として組み込んだ、日英音声翻

Table 3 Grammar.

vocabulary	1035
# rules	1407
phonetic perplexity	5.9
word perplexity	>100

Table 4 Conditions of testing processing time.

speaker	a male announcer
sentence length	30 s
total length of phrases	16.6 s
# phrases	23
input source	line input from a DAT
beam width	100
# parser unit	2

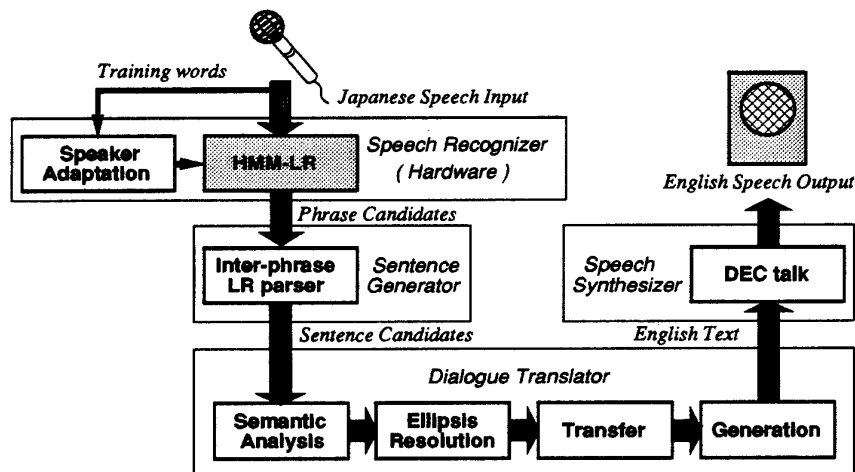


Fig. 5 SL-TRANS 2 speech translation system.

訳実験システム SL-TRANS 2¹²⁾を構築した。Fig. 5に、その全体の構成図を示す。本システムは日本語音声認識し、日英の翻訳を行って、英語合成音を出力する。主として四つのサブシステムで構成され、それぞれ話者適応型 HMM-LR 連続音声認識部、文生成用文節間 LR パーザ部、言語翻訳部、そして英語音声合成部 (DEctalk) である。これらのサブシステムは、ホスト計算機のシステム制御部により統合的に制御される。また本システムの話者適応部には、本装置と並行して開発された、ファジィ・コードブックマッピング方式に基づく話者適応装置¹³⁾を用いている。本 HMM-LR 連続音声認識装置を組み込んだことにより、日本語音声入力から翻訳結果の英語合成音声出力まで、10~20 秒程度の処理時間を達成した。

7. おわりに

大語彙の連続音声認識を実時間で行うための、種々の認識処理高速化手法について述べ、実際にそれらの手法を実現した HMM-LR 法に基づく専用装置を設計・開発した。その結果、パイプライン処理により音響分析から HMM 出力確率計算までを実時間で処理し、並列処理により継続時間長制御付きトレリス演算の処理時間を削減し、分散処理により文節ごとの認識処理遅れの蓄積を回避することができた。語彙が1,000語のタスクの認識実験で処理性能を評価した結果、23文節を含むテスト文の全認識応答時間が約2秒という高速の処理速度を達成した。

謝 辞

本研究には、著者以外の多くの方々の努力と貢献があった。

日本電気㈱の服部浩明氏、及び三洋電機㈱の大倉計美氏は、専用装置設計でのシミュレーションデータ作成に寄与された。記して深謝する。

文 献

- 1) R. Bisiani, T. Anantharaman and L. Butcher, "BEAM: An accelerator for speech recognition," Proc. ICASSP 89, 782-784 (1989).
- 2) H. Murveit, J. Mankoski, J. Rabaey, R. Brodersen, T. Stoelzle, D. Chen, S. Narayanaswamy, R. Yu, P. Schrupp, R. Schwarts and A. Santos, "A large-vocabulary real-time continuous-speech recognition system," Proc. ICASSP 89, 789-792 (1989).
- 3) 北 研二, 川端 豪, 斎藤博昭, "HMM 音韻認識と拡張 LR 構文解析法を用いた連続音声認識," 情報処理学会論文誌 31, 472-480 (1990).
- 4) M. Tomita, *Efficient Parsing for Natural Language: A Fast Algorithm for Practical Systems* (Kluwer Academic Publishers, Boston, 1986).
- 5) V. N. Gupta, M. Lennig and P. Mermelstein, "Integration of acoustic information in a large vocabulary word recognizer," ICASSP 87, 697-700 (1987).
- 6) H.-P. Tseng, M.J. Sabin and E.A. Lee, "Fuzzy vector quantization applied to hidden Markov modeling," ICASSP 87, 641-644 (1987).
- 7) 花沢利行, 川端 豪, 鹿野清宏, "HMM 音韻認識におけるセパレートベクトル量子化の検討," 音講論集 2-P-21, 243-244 (1988.10).
- 8) 中村 哲, 鹿野清宏, "ファジィベクトル量子化を用いたスペクトログラムの正規化の検討," 信学技報 SP 87-123, 7-12 (1988).
- 9) 花沢利行, 北 研二, 中村 哲, 川端 豪, 鹿野清宏, "HMM-LR 音声認識システムの性能評価," 信学技報 SP 89-94, 63-70 (1989).
- 10) 杉山雅英, 鹿野清宏, "ピークに重みをおいた LPC スペクトルマッチング尺度," 信学論 A J 64-A, 409-416 (1981).
- 11) K.-F. Lee, *Automatic Speech Recognition: The Development of the SPHINX System* (Kluwer Academic Publishers, Boston, 1989), pp. 28-29.
- 12) 竹澤寿幸, 大倉計美, 森元 逞, 嵯峨山茂樹, 樽松 明, "日英音声言語翻訳実験システム SL-TRANS 2," 音講論集 1-5-24, 47-48 (1991.10).
- 13) 中村 哲 濱口清治, 永井明人, 鹿野清宏, 田中厚夫, 嵯峨山茂樹, 樽松 明, "ベクトル量子化に基づく話者適応化装置の開発と性能評価," 音講論集 3-5-6, 101-102 (1991.10).