LSPベクトルVCV規則音声合成方式のための 合成単位素片数と素片選択法

正員 清水 忠 昭 (鳥取大学)
正員 吉 村 宏 紀 (大阪府立大学)
非会員 西 田 博 充 (鳥取大学)
非会員 井 須 尚 紀 (鳥取大学)
正員 菅 田 一 博 (鳥取大学)

Determination of Dictionary Size and Selection Rule for Speech Synthesis based on LSP Vector VCV Method

Tadaaki SHIMIZU (Tottori University), Hiroki YOSHIMURA (Osaka Prefecture University), Hiromitsu NISHIDA (Tottori University), Naoki ISU (Tottori University), Kazuhiro SUGATA (Tottori University)

This paper argued the number of VCV instances to be recorded in the synthesis unit dictionary as well as selection methods for small scale speech synthesis system. We proposed two selection methods, i) selection method by using phonemic environmental resemblance score (PER method), ii) selection method by searching minimal LSP distance path (MLD method). We evaluated synthesized speech generated by these methods. The followings were clarified, a) improvement in quality of synthesized speech was saturated with 14,000 VCV instances. b) There was scarcely any difference in quality of synthesized speech between PER method and MLD method through the subjective comparison test.

キーワード：規則合成，ベクトル量子化，LSP分析，VCV単位

1. ま え が き

日本語の規則音声合成では，子音と母音を組み合わせた音声素片を合成単位とする合成方式が各種提案されている。合成音声の高品質化をめざして，CV単位に基づく合成方式^{(1)~(3)}から，CV-VC単位を用いる方式⁽⁴⁾や，VCV単位⁽⁵⁾やCVC単位⁽⁶⁾を用いる方式へと，より長い合成単位を用いる方式が提案されてきた。さらに，CVCV単位にまで選択範囲を広げて合成単位のセットを検討する研究⁽⁷⁾や，様々な合成単位を選択的に用いる合成方式の研究⁽⁸⁾も行われている。一方，合成単位をVCVなどの比較的短い単位とし，同一の合成単位に対して様々な音韻環境を持つ複数の素片を保持することで，合成音声を高品質化する方法もとられている。⁽⁹⁾

これら合成音声の高品質化をめざす研究において，合成音声を生成するために合成システムが保持すべき合成単位辞書の記憶容量は増加してきた。特に，近年盛んに研究されている波形重畳方式では，合成単位を音声の分析パラメータではなく，時間波形の形で記憶するため合成単位辞書の記憶容量は非常に大きい。小山らによるVCVを基本単

位とする波形規則合成方式⁽⁹⁾では，合成単位辞書に60Mバイトの記憶容量を要することが報告されている。

少ない情報量で，高品質な音声合成を行うために，麻生らによって音声素片データを記録するパラメータにベクトル量子化を適用する手法が特許出願されている⁽¹⁰⁾。我々は，小規模な応用に対して高品質な合成音声を与えるために，音声を記録するパラメータとしてLSPパラメータを用い，LSPベクトルVCV規則音声合成方式の開発研究を続けてきた。LSPベクトルVCV規則音声合成方式では，合成単位辞書の記録方法にベクトル量子化⁽¹¹⁾を導入することで，様々な音韻環境から採取した多くのVCV素片を少ない記憶容量で記憶できる。これにより，小規模な音声合成システムでも合成音声の品質を向上できる可能性が高いのが特長である。^{(12)~(14)}

LSPベクトルVCV規則音声合成方式では，1Mバイトから4Mバイト程度の合成単位辞書で高品質な合成音声を生成することを目標にしている。本論文では，LSPベクトルVCV規則音声合成方式の実現に向けて，合成単位辞書に収録する合成単位素片の適正な数とその選択方法を実験的に検証

した。合成単位素片の選択法として、(i)本論文で定義した音韻環境類似度スコア(PERスコア)を用いて合成単位素片の音韻環境を最適化する方法と、(ii)合成単位素片接続部における接続歪みを最小化するMLD選択法について検討した。

ニュースの読み上げ音声から採取した様々な音韻環境におけるVCV素片を合成単位素片として用い、上記の2つの方法によって作成した合成音声の品質を主観評価実験により評価した。音声合成に用いるVCV素片の数を増加させると、どちらのVCV素片選択法を用いても合成音声の品質は向上するが、品質の向上はVCV素片の数が14,000個程度になると飽和することが判明した。また、どちらのVCV素片選択法を用いても合成音声の品質には差がなかった。また、本方式において、LSPパラメータに対してベクトル量子化を適用した場合、代表ベクトル数を27個以上とすれば、ベクトル量子化を行わない場合に比べて、合成音声の品質劣化が小さいことを予備実験により確かめている⁽¹⁴⁾。この結果に従えば、14,000個程度のVCV素片は、256Kバイト程度で合成単位辞書に格納でき、コードブックや駆動音源辞書を合わせても1Mバイト程度の記憶容量で記録できる。本方式でLSPパラメータに適用したベクトル量子化に関する実験の詳細については、すでに報告している⁽¹⁴⁾。合成単位素片の選択法に関しては、PERスコアによる選択法は処理速度は速いが合成単位素片の音韻環境を記憶しておく必要があるために合成単位辞書の記憶容量が増える。一方、MLD選択法は動的計画法(DP)の手法を使用するため速度は遅いが、合成単位辞書の記憶容量は小さい。実験により、両者の間に合成音声の品質に差がないことが判明したため、記憶容量の削減を重要視している本方式では、MLD選択法を用いてVCV素片の選択を行えば良いことが判った。

2. VCV合成単位

〈2・1〉 音韻の取り扱いとVCV素片 本論文で述べる実験では、音声資料に視察で音韻マーキングを施して使用した。日本語における音韻の種類や数には、諸説がある。本研究では、音韻の種類と表記に関しては原則的に斎藤⁽¹⁵⁾の分類に従い、外来語の音節表記(ウィ、ヴァ等)に対応する外

来語音韻は取り扱わなかった。また、VCV音声合成を簡便に行うため、半母音、拗音、はつ音については特に以下の取り扱いをした。半母音S(/j/,/w/)を子音Cとして扱い、拗音節を作るCS(/kj/,/sj/)等を一つの子音として扱った。このため子音数は26種である。標準的な日本語5母音の他、はつ音/N/を母音と同様に扱ったため、母音は6種類となる。また、はつ音/N/は、次に続く音韻によって様々に発音されることから、VCV規則音声合成システムでは4つ程度に分類して扱うことが多い。しかし、本研究の音声合成系では、同じVCV合成単位に属する素片を様々な音韻環境から複数切り出して使用するため、はつ音を複数に分類することはしなかった。これは、音声合成時の合成単位素片の選択において適切なはつ音を含む合成単位素片が選択されることを期待しているためである。

合成単位としては、母音で子音を挟む形のVCV型570種類、子音を挟まないVV型35種類、語頭用の#CV型95種類と#V型5種類、語尾用のV#型6種類がある。以後、これらの型の合成単位を総称してVCV合成単位(VCV unit)と呼び、それぞれのVCV合成単位の素片データをVCV素片(VCV instance)と呼ぶ。

〈2・2〉 合成単位辞書と合成単位の収集 本研究では、小型であることや安価であることが求められるカーナビゲーション等の音声合成や医療器具等での文書の読み上げなどを考慮して、標準的な日本語発話の合成を対象とした。このため、標準的な日本語と考えられるNHKアナウンサの発話を実験に用いた。また、実験では新聞の報道記事の読み上げを行うため、NHKのFMラジオ・ニュースをを合成単位の収集に用いた。合成単位辞書に収録するVCV素片は、NHKのFMラジオ・ニュースの男性アナウンサの発話部分に視察で音韻マーキングした資料を用いて、母音部の中間点で切り出す方法で自動的に生成した。VCV素片の収集に使用した音声資料は、1997年8月6日から9月25日までに放送された7日分のFMラジオ・ニュースから切り出した同一の男性アナウンサの発話部分である。男性アナウンサの発話部分は、FMラジオ・ニュース1日分で約10分間あり、合計70分間の音声資料となる。音声資料は、標準化周波数

表1 音声資料の長さで採取されたVCV単位の種類数、VCV素片の数
Table 1. The numbers of VCV units and VCV instances due to length of speech data

音声資料 の長さ	VCV型		VV型		#CV型		#V型		V#型		総種類	素片 総数
	種類	平均個数	種類	平均個数	種類	平均個数	種類	平均個数	種類	平均個数		
10	341	7.7	29	19.3	52	6.5	5	20.8	6	73.5	433	4,050
20	400	12.5	31	36.7	64	9.7	5	35.8	6	134.0	506	7,759
30	429	17.2	35	48.9	65	11.0	5	41.6	6	152.8	540	10,926
40	446	21.4	35	61.4	67	11.6	5	48.2	6	169.1	559	13,713
50	455	27.4	35	81.2	73	15.6	5	68.6	6	246.5	574	18,271
60	466	32.7	35	98.2	76	20.2	5	88.6	6	328.5	588	22,622
70	470	38.4	35	177.1	78	21.5	5	101.2	6	362.7	594	26,517
可能な種類	570		35		95		5		6		711	

注) #は無音を表しており、#CV型と#V型は発話開始点に、V#型は発話終了点に用いる。

11.025kHz, 量子化数16ビットでサンプリングした。採取したVCV素片は、フレーム長256点、インターバル64点、次数12次でLSP分析した。また、収集されたVCV素片には、子音開始点と後部母音の開始点を示す情報を付加した。

表1に、音声資料から採取したVCV合成単位の種類数と、各々のVCV合成単位に属するVCV素片の数の平均値を示す。音声資料に含まれるVCV素片が全てのVCV合成単位を網羅していないため、表1のVCV合成単位の種類数は、 $\langle 2 \cdot 1 \rangle$ で述べたVCV合成単位の種類数に達していない。音声合成時には、合成単位辞書に収録されていないVCV合成単位は、子音と後続母音の一致する他のVCV合成単位から先行母音の部分を除いて作成されるCV合成単位によって代用する。この際、先行母音部は補間によって作成する。

3. 音声合成システム

〈3・1〉 音声合成システムの概要 LSPベクトルVCV規則音声合成方式による音声合成システムのブロック図を図1に示す。音声合成システムは、入力された所望の文章の文字列を、音韻列を経てVCV合成単位の系列に変換する。VCV合成単位の系列に従って、合成単位辞書にベクトル量子化されたLSPパラメータの形で記録されているVCV素片を選択し接続することにより、代表ベクトルのインデックス系列を得る。得られた代表ベクトルのインデックス系列は、コードブックを参照することにより、所望の文章を合成するためのLSPパラメータ系列に変換される。一方、VCV合成単位の系列に従って、代表残差波形辞書を用いて駆動音源信号を生成する。生成されたLSPパラメータ系列と駆動音源信号を用いてLSP合成することで合成音声を得る。

合成単位辞書には同一のVCV合成単位に属するVCV素片が多数収録されており、同一の文章を作成する場合でも可能なVCV素片の組み合わせが多数存在する。高品質な合成音声を得るためには、十分な数のVCV素片データを合成単位辞書に収録するとともに、適切なVCV素片を選択し接続することが必要である。本論文では、LSPベクトルVCV規

図1 音声合成システムのブロック図
Fig.1. Block diagram of the speech synthesis system

則音声合成方式の実現に先立って、ベクトル量子化を行っていない合成単位辞書を用いて、合成単位辞書に収録するVCV素片数とその選択方法について実験的に検証した。VCV素片の選択法として、(i)VCV素片を収集した際の音韻環境と合成する文章中でのVCV素片の音韻環境の類似度を素片選択の基準にする方法と、(ii)VCV素片の接続部での接続歪みを素片選択の基準にする方法の2種類を検討した。

以下の実験は、全てベクトル量子化を行っていない合成単位辞書を用いて行ったが、(i)の選択法による素片選択はベクトル量子化の有無を問わず同じ選択結果となる。(ii)の選択法では、ベクトル量子化によって生じる量子化誤差により、ベクトル量子化の有無によって素片の選択結果に違いが出る可能性がある。しかし、先に述べたように、本方式において、LSPパラメータのベクトル量子化による合成音声の品質劣化が小さいことを予備実験により確かめている。これは、ベクトル量子化による誤差が、最適な接続の場合の素片の接続歪みに比べて十分小さいことを示唆しており、ベクトル量子化を適用することにより選択法に関する実験結果に大きな影響を及ぼさないと考えられる。ベクトル量子化を適用した場合の詳細な検討および選択法の改良に関しては、すでに報告している⁽¹⁴⁾。

〈3・2〉 音韻環境の類似度によるVCV素片の選択法 合成素片の選択の際に音韻環境を考慮する方法は多数提案されている⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。多くの場合、複雑な先験的知識によって音韻環境の適応度を算出する方法がとられているが、本研究では簡便性を考慮して、音韻環境の類似度を得点化する方法をとった。VCV素片を収集した際の音韻環境と所望の文章中でのVCV素片の音韻環境の類似度を評価するために、図2に示すようにVCV素片の前後5つずつの音韻を考慮し、式(1)の音韻環境類似度(Phonemic Environmental Resemblance Score: PERスコア)を定義した。

$$PER = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 \frac{1}{3} \{f(i) + r(i)\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $f(i)$ はVCV素片の先行する i 番目の音韻について、VCV素片を収集した際の音韻と合成する文章中での音韻の一致度を表す音韻得点である。 $f(i)$ には、音韻が一致す

図2 PERスコアによる音韻環境の得点化
Fig.2. Point rating of phonemic environment on PER score

れば2点、母音、摩擦子音、破裂子音等の音韻種別が一致すれば1点を与え、どちらも一致しない場合には0点を与える。 $r(i)$ はVCV素片の後続する*i*番目の音韻についての $f(i)$ と同様な得点である。 $f(i)$ と $r(i)$ をVCV素片の前後それぞれ5つの音韻について時間経過を考慮した重み付きで合計したものをPERスコアとしている。音韻得点の重みは、VCV素片により近い音韻得点の差が、より遠い音韻得点の差によって逆転されないように、3の指数の逆数としている。

PERスコアによるVCV素片の選択法では、合成単位辞書にはVCV素片のデータだけでなく、VCV素片の音韻環境の情報として素片の前後5つの音韻名を記憶しておく。音声合成時には、音韻環境の情報と所望の文章中でのVCV素片の音韻環境を用いて式(1)で定義したPERスコアを計算し、PERスコアが最大となるVCV素片を選択する。

〈3・3〉 接続歪みの最小化によるVCV素片の選択法
VCV素片の接続部における接続歪みを評価するために、LSPパラメータの距離を用いる。VCV素片の接続部における先行VCV素片の最終フレームのLSPパラメータが $\omega^f = (\omega_1^f, \omega_2^f, \dots, \omega_p^f)$ 、後続VCV素片の先頭フレームのLSPパラメータが $\omega^r = (\omega_1^r, \omega_2^r, \dots, \omega_p^r)$ であるとき、VCV素片の接続部におけるLSPパラメータの距離(LSP distance: LD)を式(2)で定義する。

$$LD(\omega^f, \omega^r) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (\omega_i^f - \omega_i^r)^2} \dots\dots\dots (2)$$

接続歪みは、様々なパラメータによる評価が可能であるが、本方式ではVCV素片をLSPパラメータの系列として扱うため、LSPパラメータの距離を用いることが実用的である。

式(2)で定義したLD(ω^f, ω^r)を用いてDPの手法により素片選択を行う手法を、LSP距離最小化選択法(minimal LSP distance method: MLD選択法)と呼ぶ。MLD選択法によるVCV素片の選択の様子を図3に示す。同一のVCV合成単位に属するVCV素片が複数存在するため、図中において破線で示すようなVCV素片の様々な接続が可能である。このよ

図3 MLD選択法によるVCV素片の選択
Fig.3. Selection rule of VCV instances based on minimal LSP distance method

うに、VCV素片の接続が可能であることを示す経路を接続可能経路と呼ぶ。MLD選択法は、接続可能経路に式(2)で定義したLD(ω^f, ω^r)をコストとして割り振り、合成音声の開始点から終了点までのコストの総和が最小となる経路をDPの手法によって探索する方法である。探索の結果得られたLSP距離最小の経路上にあるVCV素片を、最適なVCV素片として選択する。

MLD選択法では、合成単位辞書中のVCV素片データに付加的な情報を加えておく必要がないため、合成単位辞書の記憶容量の点ではPERスコアによる選択法に比べて有利である。

〈3・4〉 駆動音源 VCV素片を選択し接続することで生成されたLSPパラメータ系列から合成音声を得るための駆動音源は、音韻毎に代表残差波形辞書に用意した代表残差波形を接続して生成する。代表残差波形は、(i)はつ音/N/を含む各母音については残差信号の1ピッチ分の波形、(ii) 有声子音については後続母音別に残差信号の1ピッチ分の波形、(iii)無声子音については、後続母音別に無声子音部の残差信号をLSP分析のインターバル長の整数倍の単位で切り出した波形である。これらは、VCV素片を採取した音声資料から得られたLSP分析の残差信号から視察によって切り出した。図4に、母音/e/の代表残差波形と、後続母音として/o/を持つ無声子音/k(o)/の代表残差波形を示す。母音/e/の代表残差波形は、ピッチ周期7.26msの長さで切り出している。無声子音/k(o)/の代表残差波形は、LSP分析の4インターバル分23.22msの長さで、/k/の破裂点を中心にして切り出している。

音声合成時には、VCV素片に付加された子音開始点と後部母音の開始点の情報に従って代表残差波形を接続する。有声音の代表残差波形は、所望のピッチ間隔で並べて接続する。この時、代表残差波形の長さよりピッチ間隔が長い場合には代表残差波形の後に必要な長さだけ振幅0のデータ

図4 残差信号波形の例
Fig.4. Examples of residual signal waveforms

を挿入する。また、ピッチ間隔が短い場合には代表残差波形をピッチ間隔に合わせて打ち切って接続する。無声子音の代表残差は、VCV素片に付加された子音開始点の情報に従って適切な位置に挿入する。

4. VCV素片の選択実験

〈4・1〉 VCV素片の選択実験の方法 合成単位辞書に収録するVCV素片の適正な数の検証と、VCV素片の選択法の評価のために、PERスコアによる選択法またはMLD選択法を用い、合成単位辞書の大きさをかえてVCV素片を選択する実験を行った。合成単位辞書は、10分から10分きざみで70分までの長さの音声資料からVCV素片を収集して作成した7種類の大きさのものをを用いた。以後、各々の合成単位辞書を「合成単位辞書(10)」～「合成単位辞書(70)」のようにVCV素片を収集した音声資料の長さを付して区別する。各々の合成単位辞書が収録しているVCV素片の数は、表1にVCV素片の総数として示した通り、約4,000個から26,500個である。音声合成の対象には見出しを除く新聞記事の本文を用いた。実験に用いた新聞記事の長さは、VCV合成単位の個数にして45,269個分の長さである。

自然発話の音声資料から収集したVCV素片によって、音韻の組み合わせで可能な全てのVCV合成単位を網羅することは困難である。音声合成時に、合成単位辞書に収録されていないVCV合成単位が必要になった場合には、他のVCV合成単位の素片からCV素片を作成して代用する。合成単位辞書に収録されたVCV合成単位の数を評価するために、VCV単位網羅率とVCV素片置換率を次のように定義する。

VCV単位網羅率は、音韻の組み合わせで可能なVCV合成単位の総数を N 、VCV素片の収集で得られたVCV合成単位の数を n として、以下のように定義する。

VCV単位網羅率： $\gamma = n / N$ (3)

VCV素片置換率は、合成音声に含まれるVCV合成単位の総数を M 、そのうちで合成の際にCV素片に置換された

図5 合成単位辞書の規模とVCV合成単位網羅率、VCV素片置換率

Fig.5. Covering rate of VCV units and substitution rate of VCV instances

VCV素片の数を m として、以下のように定義する。

VCV素片置換率： $\rho = m / M$ (4)

本実験では、 $N = 711$, $M = 45,269$ である。

また、実験でのVCV素片選択結果は、(i)合成音声の中のVCV素片の平均PERスコアと、(ii)合成音声の中のVCV素片の接続部での平均LSP距離で評価した。

〈4・2〉 実験結果 図5に、実験の結果求めた合成単位辞書の規模とVCV単位網羅率、VCV素片置換率の関係を示す。合成単位辞書の規模を大きくするとVCV単位網羅率は向上するが、26,500個のVCV素片を収録した「合成単位辞書(70)」でも83.5%であり、音韻組み合わせで可能なVCV合成単位の16.5%が収録されていない。一方、合成単位辞書の規模を大きくするとVCV素片置換率は急激に減少し、合成単位辞書のVCV素片の収録数が14,000個以上ではあまり変化がない。約14,000個のVCV素片を収録した「合成単位辞書(40)」を用いた場合、VCV単位網羅率は78.9%と低いがVCV素片置換率は1.7%以下で非常に小さい値である。この結果は、VCV素片の収集にもれたVCV合成単位が音声合成時に使用される頻度は非常に小さいことを示しており、合成単位辞書のVCV素片収録数が14,000個以上の場合にはVCV単位網羅率の低さが合成音声の品質低下に与える影響はごく小さいと考えられる。

PERスコアによる選択法とMLD選択法で選択されたVCV

a) PER選択法によるVCV選択

b) MLD選択法によるVCV選択

図6 合成単位辞書の規模と平均PERスコア、平均LSP距離

Fig.6. Averaged PER score and averaged LSP distance

素片について、平均PERスコアと平均LSP距離を求めた結果を図6に示す。PERスコアによる選択方法を用いた場合、合成単位辞書の規模が大きくなると平均PERスコアは上昇し平均LSP距離が減少した。LSP距離最小選択化法を用いた場合、合成単位辞書の規模が大きくなると平均LSP距離は減少し平均PERスコアは上昇した。この結果は、PERスコアによる選択方法はVCVの接続歪みを小さく抑える傾向があり、LSP距離最小選択化法はPERスコアの高いVCV素片を選択する傾向があることを示している。しかし、2つの選択法で、平均PERスコアと平均LSP距離の絶対値は一致していない。

5. 合成音声の主観評価

〈5・1〉 合成単位辞書の大きさと合成音声の品質 合成単位辞書に収録するVCV素片の適正な数を、合成音声の聴感上の品質の点から検証するために、合成単位辞書の大きさをかえて合成した1対の合成音声のうち「どちらの合成音声聞き取りやすいか」の判定を行う1対比較による主観評価実験を行った。実験には、3秒程度の4つの短文について、「合成単位辞書(10)」から「合成単位辞書(70)」を用いた7種類の合成音声を作成して用いた。被験者には、7回の練習比較の後、合成単位辞書が異なる7種類の合成音声の組み合わせ21対について順序の入れ替えを含めて8回ずつ168回の1

対比較を課した。比較対の提示順はランダムとし、練習比較については、それが練習であることを被験者に知らせていない。

上記の1対比較実験を、PERスコアによる選択法とMLD選択法による合成音声について行った。PERスコアによる選択法について被験者は健康な20代の男女11名、MLD選択法について被験者は健康な20代の男女10名で実験を行った。1対比較実験で得られた判定結果から、Thurstoneの比較判定の法則を用いて、「合成単位辞書(70)」による合成音声を基準として、合成音声の品質尺度値を求めた。このとき、練習比較のデータは、合成音声の品質尺度値は評価には用いていない。

実験の結果として、合成単位辞書のVCV素片の収録数と合成音声の品質尺度値の関係を図7に示す。PERスコアによる選択法を用いた場合、合成単位辞書に収録するVCV素片を14,000個以上に増やしても、合成音声の品質尺度値は向上していない。また、MLD選択法を用いた場合、合成単位辞書に収録するVCV素片を8,000個以上に増やしても、合成音声の品質尺度値は向上していない。ここに述べた2つのVCV素片選択法を用いる場合、多くても14,000個程度のVCV素片を収録した合成単位辞書を用いて音声合成システムを構築すれば良いといえる。

〈5・2〉 VCV素片選択法の比較 PERスコアによる選択法とMLD選択法による合成音声の品質の比較のために、1対比較による主観評価実験を行った。実験には、3秒程度の4つの短文について、「合成単位辞書(70)」を用いて、PERスコアによる選択法とMLD選択法によって合成した合成音声を用いた。被験者には、10回の練習比較の後、20回の1対比較を課した。練習比較についてはそれが練習であることを被験者に知らせていない。被験者には、比較対の「どちらの合成音声聞き取りやすいか」を「同程度である」という評価を許して判定させた。被験者は健康な20代の男女11名である。1対比較実験でより聞き取りやすいと判定された合成音声に2点、他方に0点を与え、同程度と判定された場合には両方の合成音声に1点ずつを与えて、被験者の判定結果を得点化した。

上記の実験の結果、図8に示すようにPERスコアによる選択法を用いた合成音声の得点率は53.1%、MLD選択法を用いた合成音声は46.9%となった。両者の得点について、両側

a) PER選択法によるVCV選択

b) MLD選択法によるVCV選択

図7 主観評価による合成音声の品質
Fig.7 Perceptual quality of synthesized speech

図8 主観評価によるPER選択法と
MLD選択法の合成音声の比較
Fig.8 Subjective comparison in speech quality
between PER score method and MLD method

二項検定を行った結果、有意水準5%で有意な差はみられなかった。このことから、PERスコアによる選択法による合成音声とMLD選択法による合成音声の品質には聴感上の差はないことが判明した。

6. むすび

本論文では、LSPベクトルVCV規則音声合成方式の実現のために、合成単位辞書に収録する合成単位素片の適正な数とその選択方法を実験的に検証した。VCV素片の選択実験では、14,000個以上のVCV素片を収録した合成単位辞書を用いた場合、VCV素片置換率はほぼ一定の1%程度と非常に小さい値となった。また、主観評価実験では、14,000個以上のVCV素片を収録した合成単位辞書を用いた合成音声には、聴感上の品質の差がなかった。これより、合成単位辞書に収録するVCV素片の数を増加させると合成音声の品質は向上するが、品質の向上はVCV素片の数が14,000個程度になると飽和することが判明した。

VCV素片の選択実験では、PERスコアによる選択法とMLD選択法の両者について平均PERスコアと平均LSP距離は一致していない。しかし、主観評価実験では、PERスコアによる選択法を用いた合成音声の得点率は53.1%、MLD選択法による合成音声は46.9%となり、両側二項検定を行った結果、有意水準5%で有意な差はなかった。これは、PERスコアによる選択法とMLD選択法では、選択されるVCV素片は一致しないが、聴感上の品質は同程度であることを示している。

PERスコアによる選択法は処理速度は速いが合成単位素片の音韻環境を記憶しておく必要があるために合成単位辞書の記憶容量が増える。一方、MLD選択法はDPの手法を使用するため速度は遅いが、合成単位辞書の記憶容量は小さい。両者とも合成音声の品質に大きな差がないことが判明したため、記憶容量の削減を重要な目標とするLSPベクトルVCV規則音声合成方式では、MLD選択法を用いてVCV素片の選択を行えば良いことが明らかになった。

従来提案されてきた音韻環境を考慮する方法⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾は、多くの場合、複雑な先験的知識によって音韻環境の適応度を算出する方法がとられている。本研究で述べたPER選択法は簡便性を考慮して、音韻環境の類似度を得点化する方法をとった。実験の結果は、本研究で扱った合成単位辞書の規模では、このような簡便な方法でも素片選択の基準としては十分であることを示している。一方、MLD選択法と同様な手法は、他の研究でも多く用いられている⁽⁹⁾。しかし、音韻環境基準と接続歪みによる基準の関係は明らかではない。本研究では、PER選択法とMLD選択法を比較することで、VCV素片選択における、音韻環境基準と接続歪みによる基準が、異なる選択結果をもたらすが、合成音声品質には聴感上の差がないことを示した。

(平成11年 1月27日受付、平成11年 4月14日再受付)

- (1) 吉市千枝子, 今井聖:「CV音節のメルケプストラムパラメータの接続に基づく音声の規則合成」, 信学論(D), vol.J67-D, no.2, 1356-1363, (1984)
- (2) 新居康彦:「CV音節配置規則を用いたLSP-CV規則音声合成」, 信学論(A), vol.J70-A, no.5, 836-843, (1987)
- (3) T. Minowa and Y. Arai: "The Japanese CV-syllable positioning rule for speech synthesis", Proc. IEEE-IECEJ-ASJ, ICASSP 86, 2031-2034, (1986)
- (4) 伏木田勝信, 三留幸夫, 佐伯猛, 「ホルマントCV-VC方式による規則型音声合成システム」, 情報処理学会第31回全国大会講演論文集, 1107-1108, (1985)
- (5) 佐藤大和:「PARCOR-VCV連鎖を用いた音声合成方式」, 信学論(D), vol.J61-D, no.11, 858-865, (1978)
- (6) 佐藤大和:「CVCと音源要素に基づく(SYMPLE)音声合成」, 日本音響学会音声研究会資料, S83-69, 541-546, (1984)
- (7) 市川昌子, 岩田和彦, 三留幸夫, 伏木田勝信:「規則合成における単位音声セットの検討」, 信学技報, SP87-6, 41-48, (1987)
- (8) 武田一哉, 安部勝雄, 匂坂芳典:「選択的に合成単位を用いる規則音声合成」, 信学論(D-II), vol.J73-D-II, no.12, 1945-1951, (1990)
- (9) 小山貴夫, 小泉宣夫:「VCVを基本単位とする波形規則合成方式の検討」, 信学技報, SP96-8, 53-60, (1987)
- (10) 麻生隆, 大洞恭則, 藤田武:「音声合成方法及びその装置」, 公開特許公報(A), 特開平5-73100, (1993)
- (11) Gersho A. and Cuperman V.: "Vector quantization: A pattern-matching technique for speech coding", IEEE Commun. Mag., 21, 9, 15-21, (1983)
- (12) 隅田庸市, 清水忠昭, 石坂智, 井須尚紀, 菅田一博:「LSPパラメータにベクトル量子化を適用したVCV規則音声合成方式」, 情報処理学会第55回全国大会講演論文集(分冊2), p.14, (1997)
- (13) 西田博充, 清水忠昭, 吉村宏紀, 井須尚紀, 菅田一博, "LSPベクトルVCV規則音声合成方式のための合成単位素片数と素片選択方式", 信学技報, SP98-35, 1-8, (1998)
- (14) 清水忠昭, 吉村宏紀, 西田博充, 井須尚紀, 菅田一博, "合成単位辞書にベクトル量子化を適用したVCV規則音声合成方式", 信学技報, SP98-35, 9-16, (1998)
- (15) 斎藤由美子: 日本語音声表現法, (桜楓社, 東京, 1990), 82-89
- (16) 安部勝雄, 武田一哉, 匂坂芳典:「音韻環境に応じた音声合成素片の接続方法の検討」, 信学技報, SP89-66, 17-22, (1989)
- (17) 岩橋直人, 海本延佳, 匂坂芳典:「音韻的尺度に基づく複合音声単位選択法」, 信学技報, SP91-5, 33-40, (1991)

清水忠昭 (正員) 1963年生。1987年3月大阪大学基礎工学部生物工学科卒業。同年鳥取大学工学部助手。音声信号処理, ニューラルネットワークの研究に従事。電子情報通信学会, 日本音響学会の各会員。

吉村宏紀 (正員) 1970年生。1998年3月鳥取大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年, 九州工業大学情報工学部リサーチアソシエイト。1999年大阪府立大学工学部助手。博士(工学)。ニューラルネットワーク, 音声信号処理, デジタル信号処理の研究に従事。電子情報通信学会の会員。

西 田 博 充 (非会員) 1998鳥取大学工学部知能情報工学科卒業。現在、鳥取大学大学院工学研究科博士前期過程に在学中。音声信号処理の研究に従事。

井 須 尚 紀 (非会員) 1953年生。1978年3月大阪大学大学院基礎工学研究科前期課程修了。同年航空宇宙技術研究所研究員。1989福井大・工・電子助教授。1993鳥取大・工・知能情報助教授。医学博士。動揺病の生理工学・中枢神経系の生理学などの研究に従事。情報処理学会，神経科学学会，生理学会，宇宙航空環境医学会の各会員。

菅 田 一 博 (正員) 1938年生。1966年4月京都大学大学院工学研究科博士課程修了。同年同大電気助手。1971年大阪大学基礎工学部助教授。1986年鳥取大学工学部教授。工学博士。しきい値論理，オートマトンと言語理論，計算の複雑さ，音声信号処理，ニューラルネットワークの研究に従事。電子情報通信学会，情報処理学会，日本音響学会，人工知能学会，日本農業気象学会の各会員。