口のカラー動画像を用いた音韻認識

正員 寺田 賢治 (徳島大学)

非会員 山中 理聖子 (徳島大学)

非会員 大 恵 俊一郎 (徳島大学)

Phoneme Recognition by Using a Sequence of Color Lip Images

Terada Kenji, Member, Yamanaka Rikiko, Non-member, Oe Shun'ichiro, Non-member (The University of Tokushima)

In this paper, we propose a method for recognizing phoneme by using a sequence of color lip images. The mouth images are obtained in series by using the color camera set at the front of the face. First, among the sequence of the images, each object image for processing is detected by using mouth movement information. Next step, in each image, the mouth region is detected by the color information. Then, the four shapes which are outside line of lip, the inside line of lip, the tongue and the center line of lip are extracted by using the change in distribution of gray level. Finally, the recognition of phoneme is carried out by the method based on the subspace method. As the training, the subspace method needs the 20 features extracted from the above four shapes. In this paper, the authors describe the results of the experiments which were performed to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

キーワード：読唇，音韻認識，画像認識，部分空間法

1. はじめに

日常的に人が人に自分の意志や考えを伝える手段として、言葉が用いられる。このうち現在の計算機の発展に伴い、人の言葉の認識を機械にさせようとする試みが行なわれはじめたが、それは人が発した音声パターンに注目したものが主である。しかしながら、騒音が多い場所や、同時に2人以上が話している場合、また話し手がマイクなどから遠い場合など、音声による認識が難しい場合がある⁽³⁾。ここで人間同士の言葉の伝達を考えた場合、音声のみならず、話している人の顔、すなわち口の形状の変化に注目していれば、少々音声聞き取りにくくても、その人が言っていることを推測することが可能である。さらに進めれば読唇術などと言われるような視覚的な口の形状のみから言葉を認識することも可能である。また、そのような積極的に読み取る場合とは異なり、例えば、吹替えされた外国映画などで、視聴者は画面中の外国人が話しているところを見ながら日本人の声優の声を聞くのだが、その際に違和感を感じることがある。これは、視覚的な俳優の口形と聴覚的な声優が発音する音韻のずれにその主な原因であり、無意識のうちに口の形状からも言葉を認識していると言える。ここで、もし外国語の音韻と日本語の音韻を一致、もしくはほとんど一致させることができるならば、違和感はかなり緩

和されるはずである。

これに対して、画像処理に基づく音韻認識に関する研究がなされているが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、まだこれと言う程、確立された手法はない。これは、まず口領域の抽出が難しいことがあげられる。すなわち、画像中の唇領域付近の濃度変化が緩やかなために、唇領域と肌領域の境界が明確ではないためである。そのため唇に黒色を塗ってもらった上でデータを取得したり⁽¹⁾、スプライン関数などでフィッティングしたり⁽²⁾、さらに唇領域を抽出せずに、まわりの筋肉の動きに着目したり⁽³⁾していた。また、音韻の認識に用いる特徴量が、唇輪郭線だけであったり、口の縦横比であったりと、口の外形に着目するものがほとんどであった。またその特徴量も個性などの影響などを考慮していないものが多く、一人の被験者に対する認識のみであったり⁽⁴⁾、複数の人で認識を行なうと、途端に正解率が悪くなるものがほとんどであった⁽³⁾。

このような背景に鑑み、口のカラー画像より、唇の外周形状、内周形状、舌形状、唇重心線などを抽出し、それより求められる音韻を自動認識する方式の構築を試みる。本方式ではまず、カラーカメラにより連続的に撮像された話している人のカラー動画像から各音韻に対して、1フレームずつ切り出す。ここでは口に動きに着目し、差分法を利用してその音韻を最もよく表している画像フレームを取り

出す。次に決定されたその画像フレームに対して、認識に必要な口領域の抽出を行なう。ここではカラー画像を YIQ 表色系で表現したときに、唇では Q 成分が大きくなることに注目し、判別分析法を用いて唇領域を決定、抽出する。さらに抽出された口領域から、画像の濃度変化を細かく注目しながら、口の外周、口の内周、舌、唇の重心線などを抽出する。最後に部分空間法により各音韻を認識する。部分空間を生成する特徴空間は、個性に影響を受けにくく、かつ各音韻の判別が可能な形状特徴、濃度特徴により構成する。これらはこれまで用いられることのなかった口の内部の情報などを用いる。

本論文では、さらに、本アルゴリズムを実際の画像に適用したときの実験結果を示し、その有効性を検証する。この実験では、「あ」「い」「う」「え」「お」「ん」の6個の母音を認識する。また今回は子音を認識対象としない。これは、子音が発話されている時間は非常に短く、現在の技術ではその画像データを取得することが難しいためである。ただしアフレコのように視覚的な口形と聴覚的な音韻が不自然にならないようにするのが目的なので母音だけ認識できれば良い場合や、読唇術のように母音さえ認識できていれば、前後のつながりから言語処理的に子音を類推することも可能である場合など、母音のみを対象として認識を行なっても各分野で大変有用となる。

2. 処理フレームの抽出

まず得られているカラー動画画像系列中から、処理対象とする画像フレームを決定する。これは各音韻ごとに1枚づつ、音韻を最もよく表現していると思われる画像フレームを取り出すものである。

ここでは、言葉を発する時、口の動きは、一度大きくなった後で収束することに着目し、差分法を用いてそれを決定する⁽⁵⁾。まず全画像系列の前後フレーム間で対応画素同士の差分値の和を計算する。そしてそれが極大を検出した上で、その直後の極小値となるフレームを検出すると、それがその音韻を表す代表フレームとなる。

図1に、横軸に画像フレーム番号、縦軸に対応する画像フレームの前後の差分値の和を示す。この例では被験者は「たんば」と発音している。差分値が極小値になる画像フレームを抽出すると、人の目での評価であるが「た」と「ん」と「ば」がよく表現されている。

図2は決定された画像フレームの例である(実際はカラー画像)。これは「た」に関する代表フレームである。

3. 口領域の抽出

〈3・1〉口領域の外周の抽出 処理フレーム画像中の口領域の抽出を行なう。唇の濃度変化はかなりゆるやかであるため、単純に白黒濃淡画像やカラー画像の輝度成分では、それを確実に検出することが難しい。そこで、カラー情報を YIQ 表色系⁽⁶⁾で表現した際の Q 成分が唇の色を最も強調することに注目する⁽⁷⁾。RGB から YIQ 表色系への変

図1 差分値の変化の例

Fig. 1. An example of difference between the frame

図2 「た」における代表フレームの抽出例

Fig. 2. An example of "ta" image detected by using mouth movement information

図3 Q成分画像

Fig. 3. An example of Q image

換式は式(1)のように示される。

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.522 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

YIQ 表色系においては、Y 信号は輝度情報を含み、I 信号と Q 信号は色相情報と彩度情報を含んでいる。

ここで唇部分の Q 成分値が大きくなるが、鼻や髪の毛の部分などの中に粒状に値が高い領域も存在し、単純に固定しきい値を用いて唇を抽出することは困難である。また人により、または画像を撮影する条件により、唇の Q 成分の値は変化する。そこで口領域を、判別分析法⁽⁸⁾およびラベリング処理により抽出する。

図4 濃度ヒストグラム

Fig. 4. An example of gray level histogram

図5 口領域検出結果画像

Fig. 5. An example of an image of detected mouth

図3にQ成分画像の一例を示す。唇部分が強調されているのに対して、頬や首などの肌の部分ではその値が小さい。図3のQ成分画像における濃度ヒストグラムの例を図4に示す。この例では、判別分析法によりしきい値は98と決定される。さらにこの値およびラベリング処理を用いることで、抽出された口領域を図5に示す。結果、口領域が正しく抽出されていることがわかる。またその境界が唇の外周形状となる。

〈3・2〉唇の内周の抽出 口の外周形状は個性に大変影響され、この情報のみでは正しく認識することが難しい場合がある。そこでさらに口の内側の抽出を行なって、口の内側の情報を認識に用いる。ここでは口領域のQ成分画像に着目し、図6に示されるように、既に口領域が抽出されているQ成分画像の濃度微分値を用いる。ここでカラー情報の輝度成分では、例えば唇の内周周辺において、唇領域であるのに光の当り方の加減で暗くなっている、口腔なので暗くなっている、その値は同じように小さくなり、その境界が明確とはならない場合がある。そこで、彩度成分と色相成分を含んでいるQ成分に着目する。

まず画像のある一列に着目する。そしてすでに検出されている唇の境界線を始点として唇領域内で上下両方からラスタ走査により濃度値の微分値を調べる。そしてそれがあるしきい値以上になった画素が内側の境界線となる。これを位置を変えて繰り返すと、唇全体の内周を抽出することができる。

このアルゴリズムにて抽出された口内部領域のQ成分

図6 口内部抽出の手順

Fig. 6. Flow of detection of the inside line of lip

図7 口内部抽出画像

Fig. 7. An example of detected image of the inside line of lip

図8 舌領域の抽出の手順

Fig. 8. Flow of the detection of tongue region

の画像の例を図7に示す。正しく口の内側領域が抽出されていることがわかる。またこの領域の境界が口の内周形状となる。

〈3・3〉舌領域の抽出 母音系列の確実な認識を行なうためには舌情報は重要で。例えば母音の「あ」と「え」は外形より舌の使い方に大きな違いが現れる。しかし従来までに試みられている方法では、注目されていなかった。

ここでは、図8に示されるように、口内側のQ成分画像を微分し、極大値をとる場所が舌領域の境界とする。

舌領域を抽出した例を図9に示す。正しく舌領域が抽出されているのがわかる。

〈3・4〉モデル化された口の形状 モデル化された口の形状とは、唇の重心線である。唇の外側の形状線や内側の形状線は、検出誤差やノイズを含むことが多い。そこで唇の重心線を検出する。

まず口全体の領域画像から口内部領域を除去することで、唇領域が取り出される。さらにHilditchの方法を用いて細

図9 舌領域抽出画像の例
Fig. 9. An example

図10 唇の重心線画像の例
Fig. 10. An example of the center line of lip

図11 同一人物の音韻ごとの重ね合わせ例
Fig. 11. An example of the layer image of the center line of lip of same person

線化処理⁽⁸⁾を行ない重心線を抽出する。

モデル化された口の形状線の抽出結果の例を図10に示す。正しく抽出されていることがわかる。

図11は、各母音を発音した際の唇の重心線を口領域の重心と画像の中心が重なるように重ね合わせて表示した例である。その結果、外側から「あ」「え」「い」「お」「う」「ん」の順に示されることになり、6つの母音を発音した際の唇の重心線は全て異なることが確認される。

また、5人の被験者に対し同じ母音ごとに重心線を重ね合わせた例を図12に示す。この図より、被験者により多少の口の大きさの違いはあるが、同じ母音に注目した場合、ほぼ同心円を描いていることがわかる。

4. 部分空間法による認識

〈4・1〉特徴量の導出 認識を行なう前に、口領域、口内部、舌領域、唇重心線から、認識に用いる特徴量の抽出を行う。図13に示されるのは、認識に用いることが可能と思われる特徴量の例である。図13(a)においては、そのうちの口全体の面積(S)、口の外形における上側と下側(真ん中は口の幅が最も広い部分)の各長さ(a および b)が示されている。ただし後者の場合、 a と b の比が特徴量となる。(b)においても同様に、口内部の面積(S_{in})や口内部の周囲長(l_{in})、口の内部における上側と下側の長さ(a_{in} および b_{in})、口内部の高さ(H_{in})や幅(W_{in})など

(a)「あ」

(b)「い」

(c)「う」

(d)「え」

(e)「お」

(f)「ん」

図12 同一母音他人物の重ねあわせ

Fig. 12. An example of the layer image of the center lines of lips of some persons

が示されている。(c)においては、舌領域の面積(S_{lo})が示されている。さらにこれらの他に、これらの特徴量が複数個組み合わせられたものや濃淡情報などの全く別なものが特徴量として抽出する。ただし認識に有効である特徴量は、各音韻間で差が大きく、各個人間で差が小さいものが望まれる。これらを用いることにより、個性に影響されずに、「あ」、「え」、「い」、「お」、「う」、「ん」の判別が可能になる。

図14に算出される特徴量について、検討した例を示す。図14(a)は、縦軸に口全体の ab 比特徴量を、横軸に被験者5人を並べたものである。波形に凹凸ができることから、個人によってかなり特徴量の値が異なってしまうことがわかる。すなわちこれは、各個人の個性に大きく影響されているためであり、認識に用いることは好ましくない。

図14(b)は、同様に口内部の平均濃度値について検討した例である。上の2つの直線が「あ」と「え」を表しているが、これらはかなり似た値を示してしまっている。しかし他のものは、互いに大きく異なる値をとることがわかる。

図14(c)に口内部の濃度の標準偏差について検討した例を示す。これは、比較的に全ての母音が異なった値をとり、かつそれぞれの母音の直線が平らな形をしていることから、あまり個性に影響されていないことがわかる。このような検討を繰り返し、有効と思われる特徴量を用いて、以下に示される部分空間を作成する。

〈4・2〉部分空間の作成 音韻の認識には、図15に示されるように部分空間法を用いる⁽⁹⁾。部分空間法では対象

図 13 特徴量の例

Fig. 13. An example of features

図 14 特徴量の検討

Fig. 14. Investigation of features

とする K 個のカテゴリを各々 $V_1, \dots, V_K$ で表す。まずサ

図 15 母音カテゴリーの部分空間

Fig. 15. An example of the subspace

ンプルデータを用いて, $C_1, C_2, C_3 \dots$ で示される特徴空間内に, $V_1, V_2, V_3 \dots$ の部分空間を生成する。この部分空間は, その属性ごとのサンプルデータの特徴ベクトル群の重心ベクトル $u_1, u_2, u_3 \dots$ の周辺に生成される。そしてこの特徴空間に判別したいデータを入力し, このデータのベクトル X と各部分空間 V_i との距離を求める。このとき, 距離がしきい値以下で, かつ最も距離が短い部分空間が, その入力データの属性として判別される。

本方式では, まず第1段階として, 「あ」と「え」, 「い」と「お」は同じカテゴリに分類し, 「う」と「ん」のみ判別する。その後第2段階として「あ」と「え」, 「い」と「お」を判別する。これは, 6 個の母音を一度に認識できそうな特徴量が少ないこと, 「あ」と「え」, 「い」と「お」は各々, 互いに似た特徴量であることなどの理由による。

本方式で用いる特徴量には, 「あ, え」, 「い, お」, 「う」, 「ん」の4つのグループを認識するための11個の特徴量がある。これは, 唇の外周形状のフーリエ記述子, 縦横比, 真円度, 唇の内周形状の複雑度, 真円度, 口内部の濃度値の平均値と分散, 舌とその他の比, 口全体の面積と内部の面積比, 唇の重心線形状の複雑度とフーリエ記述子である。また「あ」と「え」を認識するために6つの特徴量を用いる。これは, 唇の内周形状の真円度, 複雑度, 口内部の濃度値の平均値と分散, 唇の重心線形状の上側と下側の比 (真ん中は口の幅が最も広い部分), 接線の平均角度である。「い」と「お」の認識には3つの特徴量を用いる。これは, 唇の内部形状のフーリエ記述子, 口内部の濃度の平均値, 唇の重心線形状の複雑度である。各特徴空間を形成する特徴量は, 予備実験の結果, 決められたものである。

5. 有効性の検証

〈5・1〉 認識実験 認識実験の前にまず特徴空間中に各音韻の部分空間を作成した。実験では5人(Aさん, Bさん, Cさん, Dさん, Eさん)の被験者に対して, 3回ずつ, カラーカメラに向かって, 「あ」「い」「う」「え」「お」「ん」の6個の母音を, ゆっくり発音してもらった。そして, 「あ」「い」「う」「え」「お」「ん」の各画像から, 特徴量を抽出した。これをもとに, 「あ, え」と「い, お」と「う」

表 1 実験結果の一例

Table 1. Examples of measurement results

	ta	n	bo	ta	ni	ya	ma	so	ba	u	do	n
A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B	○	○	i	i	○	○	○	i	○	○	i	○
C	i	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	o	○	○
E	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

	ke	ki	ma	ru	ti	me	di	a
A	○	○	○	○	○	i	○	○
B	i	○	i	○	○	○	○	i
C	○	○	○	○	○	○	○	e
D	○	○	○	o	○	○	e	○
E	○	○	○	○	○	○	e	○

と「ん」を認識する特徴空間、「あ」と「え」を認識する特徴空間、「い」と「お」を認識する特徴空間に各々の母音の部分空間を作成した。

さらに認識実験として、「たんぼ」「やま」「たに」「うどん」「そば」「ケーキ」「マルチメディア」の7ワードを、カメラに向かって、各人のペースで適当に話してもらった。そして得られたカラー画像データから差分法により処理フレームが抽出され、さらに各画像より検出される特徴量が特徴空間に入力された。この7ワードには、全部で100個の音韻が含まれている。この認識実験の結果を表1に示す。これは、正しく認識された場合には○が、正しくされなかった場合には、どのような音韻として認識されたかを示している。例えば、Aさんは、「たんぼ」、「たに」、「やま」は正しく認識されているが、Bさんの場合、「たんぼ」の「ぼ」が本来ならば「お」になるところが、「い」として認識されている。

この結果を見ると、音韻100個に対して86個が正しく認識されていることがわかる。ただ人によって誤認識された母音の種類が偏っている。例えばBさんに注目すると、全ての母音の誤認識が「い」であった。これは、Bさんが大きく口を開けずに音韻を発するために5人全員の母音の部分空間においては、あまり口の開きの少ない母音の「い」を認識したと考えられる。また、ほとんどの誤認識をした母音は距離では2番目の近さであった。人間の読唇能力は、50～70%と言われる⁽³⁾ことから考えると、かなり高い認識結果が得られている。

〈5・2〉人間の目視による認識実験 本方式を評価するために、人間の目視による認識を行なった。

まず認識実験に用いた各音韻の処理対象フレーム画像を紙にプリントアウトした上で、ある人にランダムに見せていき、母音の判定を行なってもらった。この実験では、被験者は10秒から15秒程悩んだ末に認識することが多く見られた。

ここで用いた単語及び5人の被験者の画像は、前述の実験と同様のもので、合計100シーンあった。その結果、音韻100個中85個の正解率となった。

この実験でも同様に人によって誤認識の偏りが見られた。ただ人間の目視による実験においても音韻100個中85個の正解率に留まり、本提案方式の有効性が確認された。

6. おわりに

本研究では、口のカラー動画画像から音韻を自動認識する方法を提案した。これは、正面を向いて話している人の顔が映っている動画画像から、音韻ごとの唇の部分画像を切り出し、その形状から音韻を効率良く認識しようとする試みである。まず動画画像中の唇の動き情報を用いて、音韻ごとの画像を切り出す。さらにカラー情報をYIQで表現したときのQ成分画像に注目することで唇領域の切り出しを行なう。切り出された唇領域から、さらに濃度変化などを参考に、唇の外側輪郭線、内側輪郭線、舌領域、唇の重心線を抽出する。さらにそれらより個性に影響されにくい特徴量を検出して、部分空間法を用いて、音韻を認識する。

本報告ではさらに、実際のシーンに適用した実験結果について示した。その結果、のべ100音韻中86個について正しい認識がなされた。これは人間による認識と比べても良好な結果であり、本方式の有効性が確認された。今後の課題は、さらに精度の高い認識を行なうことのできるアルゴリズムの構築である。本論文では母音の認識に関する実験について述べたが、子音の認識についても検討する必要がある。例えば読唇術の場合は、単語もしくは構文を認識する必要があり、本方式で認識された母音のつながりから子音を類推するアルゴリズムの構築が必要となる。また特定人物だけ特定の音韻として認識された例があった。ただし人間の目でも認識が難しいものを、画像処理を用いて認識させることも非常に難しい。そこでこの対策としては、ある音韻からある音韻へ移る際の口の動き情報などを付加させて認識する、またもし可能ならば「判別不可能」という判断を出せる機構を加え、もう一度、話し直させる(画像データを取り直す)という方法を用いる、などが考えられる。

(平成10年5月25日受付、同10年8月19日再受付)

文 献

- (1) 松岡清利, 古谷忠義, 黒須顕二: “画像処理による読唇の試み - 母音口形の識別およびそれに基づく単語認識 -”, 計測自動制御学会論文集, Vol.22, No.2, pp.67-74, (1986)
- (2) 田村進一, 梶見直樹, 岡崎耕三, 光本浩士, 河合秀夫, 副井裕: “エネルギー関数とオプティカルフローを用いた口形輪郭の抽出・補完と追跡”, 電子情報通信学会技術報告, PRU89-20, (1989)
- (3) 間瀬健二, アレックス・アベトランド: “オプティカルフローを用いた読唇”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J73-D-II, No.6, pp.796-803, (1990)
- (4) 宮崎博志, 天野智康, 寺田賢治, 大恵俊一郎: “動画画像を用いた母音認識”, 第36回計測自動制御学会学術講演会, No.314A-4, pp.903-904, (1997)
- (5) R.Jain, W.N.Martin and J.K.Aggarwal: “Segmentation through the detection of changes due to motion”, CGIP, vol.11, no.1, pp.13-34, (1979)

- (6) 高木幹雄, 下田陽久: “YIQ 表色系”, 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, pp.107, (1991)
- (7) 道田純治, 内村圭一, 都甲昌美, 相田貞蔵: “言葉の認識における口形からのアプローチ”, 電子情報通信学会春季全国大会, pp.150, (1988)
- (8) 田村秀行: コンピュータ画像処理入門, 総研出版, pp. 68, pp.85-86, (1985)
- (9) 伊藤隆太郎, 中澤和夫, 中島真人: “3 次元濃淡顔画像を用いた個人識別”, 第3回画像センシングシンポジウム講演論文集, No.A-5, pp.29-32, (1997)

寺 田 賢 治 (正員) 1990 年 3 月慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月同大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。同年 4 月徳島大学工学部助手, 同年 11 月同講師。画像計測, 画像処理に関する研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, 電気学会, システム制御情報学会などの会員。

山 中 理 聖 子 (非会員) 1995 年 3 月徳島大学工学部知能情報工学科卒業。1998 年 3 月徳島大学大学院工学研究科前期博士課程修了。1998 年 4 月労働省入省。在学中はコンピュータビジョンに関する研究に従事。

大 恵 俊 一 郎 (非会員) 1968 年 3 月徳島大学工学部電気電子工学科卒業。1970 年 3 月徳島大学大学院工学研究科修士課程電気工学専攻修了。同年 4 月同大学工学部助手。講師, 助教授を経て, 現在同教授。1998 年 4 月より同大総合情報処理センター長(併任)。画像処理, コンピュータビジョン, 時系列解析に関する研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, 計測自動制御学会などの会員。