マン・マシン・インターフェースを考慮した聴覚障害 児童のための発声発語訓練装置の開発

橋 原 弘 之* 土 肥 健 純*²
堀 内 孝*² 増 澤 徹*³

Development of a Speech Training System for the Hearing Impaired
Children Considering about Man-Machine Interface

*Hiroyuki NARAHARA, Takeyoshi DOHI**

Takashi HORIUCHI and Toru MASUZAWA***

*Department of Precision Engineering,
Faculty of Engineering, Hokkaido University.*

**Department of Precision Machinery Engineering,
Faculty of Engineering, University of Tokyo.*

***Department of Applied Electronic Engineering
Tokyo Denki University.*

Abstract

In this report, a basic principle of designing on effective man-machine interface is given to construct a speech training system based upon the information theory.

Although the speech training system has been developed by our group, its evaluation in a field-testing indicated a need for correction in this system. In order to keep trainee's attention, a program on the display has to be attractive.

Concerning these problems the newly designed inexpensive training system is constructed using the home computer MSX 2 and the speech processing interface board. The signals are picked up by a microphone, and then pass through a low pass filter which cut-off frequency is controllable by the micro computer. The analogue signals are converted to digital ones by the A/D convertor. The signal processor (μ PD 7720) is adopted to find the peaks of the power spectrum which is realized by the cascaded 4 signal processors arrangement. Using the MSX 2 graphic functions, the result of this analysis is presented to trainee.

This system could be utilized in the first three stage of speech training; basic vocalization; intensity, duration, pitch; pronunciation of specific vowels and diphthongs.

* 北海道大学工学部 精密工学科

*² 東京大学工学部 精密機械工学科

*³ 東京電気大学理工学部 応用電子工学科

(原稿受付: 昭和63年7月28日)

はじめに

聴覚障害に起因する言語障害は通常は言語療法士の指導により、長期にわたる治療・訓練が行われるが、治療を受ける者の数に対して言語

(16) 医 器 学 Vol. 58, No. 8 (1988)

療法士の絶対者数が少ないために十分な治療を受けられないのが現状である。

我々は聴覚障害者のための発声発語訓練装置の開発を行ってきたが^{1,2)}、実際にフィールドテストを行ってみると、いくつかの問題点が明らかになってきた。

第一点が装置の高度化に伴う高価格化である。訓練装置は、自分で満足のいくまで独習できるように各個人で所有できることが望ましく、そのためにはある程度価格が安いことが必要であるが、訓練装置を高機能化するに伴い、その装置を実現するためのハードウェア、ソフトウェアに掛かるコストが高くなったことである。

第二点がマン・マシン・インターフェースにおける問題である。聴覚障害児童を対象に訓練装置の効果を実際に調査しようとしたところ、訓練中の表示が訓練の効果を定量的に表示しているにもかかわらず、幼児にとっては内容が単調に見えるらしく、少しでも目標を達成してしまうと、二度とその訓練項目に見向きもしなくなるという傾向が認められた。

従って、これらの点を踏まえた訓練装置を、新たに開発する必要が生じた。開発にあたって目標としたものは、第一点が、家庭内でも使用の可能となる安価で操作の容易な訓練装置を構成することである。もう一点が、マン・マシン・インターフェースに考慮を払い、幼児が興味を持続しながら訓練の行える効果的な装置を設計することである。

本論文では、情報理論に基づいて、効果的なマン・マシン・インターフェースを設計するための指標を考察し、その指標に基づいて開発した訓練装置の概要を示す。

方 法

マン・マシン・システムとは、人間と機械とが一体となって一つの系を形造っているシステムと考えることができる。

我がが目ざすマン・マシン・インターフェースにおいては、「人間—機械それぞれの特長を生かした機能」の結合よりもむしろ、「機械側から意図しているものをいかに欠落、変容なしで直接人間側に受け渡すことができるか」とい

うことに重点を置く必要がある。

いかなる形にシステムを設計するかは、受け渡し側にあたる人間の知覚構造の特性を知ったうえで初めて十分な議論を行うことができよう。人間の知覚に関するモデル化は、認識や情緒の研究において、従来からいくつか考えられており、認識の回路モデル³⁾、視床学説⁴⁾や大脳皮質学説⁴⁾、また最近では、ニューロンネットワークの研究により学習に関するモデル化などが行われている。

人間の情報報知系を情報理論的にモデル化する試みもあり^{5,6)}、本研究ではこのモデルに基づきマン・マシン・インターフェース設計の指標を考えた。

図1は、人体における情報の流れ過程のモデルである。

図1 人体における情報の流れ過程のモデル

ここで散失情報、付加情報というのは、人体における疲労、皮膚の状態、刺激に対するマスキング現象、心理的動揺、先行刺激の影響、閾値の変動など種々の要因が複雑にからみあった過程と考えることができる。図において、外部からの信号に関する要因を x 、大脳に到達する信号の要因を y とすると、

$H(x)$: 外部から与えた信号の平均入力情報量

$H(y)$: 大脳に到達する平均反応情報量

$H_y(x)$: 外部から与えた信号に対し大脳に到達しなかった散失情報量

$H_x(y)$: 伝達の途中でつけ加えられた付加情報量

$H(x, y)$: 入力、反応の総情報量

$T(x, y)$: 外から与えた信号と大脳に到達した信号の共有する平均伝達情報量

であり、これらには以下の関係が成り立ち、

$$H(x, y) = H_y(x) + T(x, y) + H_x(y)$$

$$H_y(x) = H(x) - T(x, y)$$

$$H_x(y) = H(y) - T(x, y)$$

これにより、

$$T(x, y) = H(x) + H(y) - H(x, y)$$

となる。

さて、マン・マシン・インタフェースの目的は、伝達情報量 $T(X, Y)$ をできる限り大きくすることであると言い替えることができる。

情報理論の定義に基づく⁵⁾、上述のモデルは、

$$H(y) \geq 0, H(x, y) \geq 0$$

$$H_x(y) \geq 0, H_x(y) \geq 0$$

が成立し、これより

$$H(x) \geq T(x, y)$$

$$H(y) \geq T(x, y)$$

が求まり

$$T(x, y) \leq \min \{ H(x), H(y) \} \quad (1)$$

が得られる。これより伝達情報量の上限が示される。

伝達情報量の上限式(1)より示されるように、入力情報量と反応情報量を大きくとれば伝達情報量が大きくなる可能性がある。即ちマシンの提供する情報量が大きい程、また人間が学習により十分な情報を持っている程、伝達情報量が大きくなる可能性がある。

また定義式より、 $T(x, y)$ は

$$T(x, y) = H(x) - H_y(x) \quad (2)$$

$$T(x, y) = H(y) - H_x(y) \quad (3)$$

と表わされるように、入力情報に対して損失情報を減らし、反応情報に対して付加情報を減らすことにより伝達情報量が大きくなることは明らかである。従って、損失情報や、付加情報は、 $T(X, Y)$ の情報量を低下させることになり、情報の損失、付加を引き起こす緊張、疲労などの要因を誘発しないことが望ましい。

以上のことから、よいマン・マシン・インタフェースとは次の要件を満たすものといえる。

1. 入力情報 $H(x)$ を伝達するのに関係のない情報である $H_x(y)$ の付加をなるべく要しない。
2. 認識レベルに直接に届く伝送路を選んでいる。
3. 情報の損失、 $H_y(X)$ を誘発しない。

前述のマン・マシン・インタフェースの評価基準を考慮して、情報伝達系に関する訓練装置の構成を考える。

認識レベルに直接に届く伝送路を選択したかについては、音声は言語野と密接な関係があるが、視覚もまた言語野との関連が高く、また視覚から得られる情報量は他の受容野に比べて高いため、視覚による呈示を採用した。

入力情報に関係ない情報 $H_x(y)$ の付加や損失 $H_y(x)$ をできるだけ少なくするという点については、呈示方法の選択がその性能をきめるため、本訓練装置においては、リラックスして訓練ができるようにゲーム的なプログラムを採用した。

訓練装置のハードウェア構成

装置の構成に当たり、家庭用パソコン MSX 2 を母体にインタフェースを付加する方式を採用したことで、ソフトウェア開発が容易でかつ低価格な装置を実現できた。

図2の左半分が音声処理用のインタフェース回路である。MSX 2にあるROMカートリッジ用スロットに差し込んで使用できるよう設計した。マイクから入力された音声信号は、前処理部を通り、カットオフ周波数可変ローパス・フィルタを介してA/Dコンバータに入力される。A/Dコンバータは分解能8ビットでサンプリングは10kHzである。周波数可変のローパスフィルタは、スイッチト・キャパシタフィルタを用い、バスに接続されたタイマによ

図2 システム構成

(18) 医器学 Vol. 58, No. 8 (1988)

り、マイクロコンピュータからカットオフ周波数を自由に変えることが可能である。

音声スペクトルを求める際に、パソコンのCPUのみで高速フーリエ変換の演算処理を行うと、データ入力から表示までに時間がかかりすぎて訓練意欲を阻害するおそれがある。そのため、母音の解析用にシグナルプロセッサ(NEC μ PD 7720)を4つ配して実時間での解析を可能にした。またジョイスティックによって訓練メニューが選べるような構成にして、操作を単純に行えるようにした。装置の外観を図3に示す。開発に用いたコンピュータ MSX 2 と、そのスロット部分に差し込んであるボードが今回製作したインターフェースの基板である。

図3 装置の外観

発声発語訓練の指針として、ダニエル・リンによる5段階の指標がある⁷⁾。本装置はこの5段階のうち、はじめの3段階の、声の大きさ、声の高さ、母音に関する訓練を実現するように構成した。

声の大きさの検出は、短時間平均振幅法を採用し、これを整流回路、ピークホールド回路を用いてハードウェアにより実現し、ソフトウェアの負担を軽減した。

声の高さの検出は、可変ローパスフィルタを用いたことで、新たにハードウェアを付加することなくカットオフ周波数をピッチ出現周波数まで下げて、ゼロクロス法により簡単に求める事が可能となった。

母音の解析は、シグナルプロセッサを4つ用い、第1番目のシグナルプロセッサで自己相関係数を2番目で線形予測係数を計算し、3番目と4番目でフーリエ解析により音声スペクトルを算出し、ピークの位置を求め、訓練意欲を阻害しない実時間での表示を実現できた。

訓練画面のソフトウェア

訓練画面のソフトウェア構成に当たり、人間と機械との接点であるCRT画面の持つ自由度と、各訓練項目で呈示する情報に必要とされる自由度とを分析して配分をおこなった。

訓練画面の個々の具体的な設計にあたり、訓練に集中させるためには、動機づけが必要であると考えて、連想などの現象を積極的に利用したキャラクタを構成し、訓練効果を認識させることを可能とした。

A. CRT画面

CRT画面表示における自由度を分析すると、平面の二次元、カラー、および時間がある。訓練画面においてはこの自由度の中から配分を行う必要がある。

B. 声の大きさの訓練

声の大きさの訓練画面で呈示するものは、声の音圧レベル(一次元的定量変化)と訓練効果である。利用する自由度は、

- 1次元を定量評価(縦方向)
- 2次元を遊びに利用(横方向、時間)
- 1次元は未使用(色)

とした。

- ・状態変化を用いた訓練の動機づけ
魚を訓練中に泳がせた。また声の大きさに従って潜水艦を上下させ、発声行為との動機づけが可能となった。(図4)
- ・図形消滅による訓練達成
潜水艦と魚が衝突したときに魚を消滅させる

図4 声の大きさの訓練(1)

図5 声の大きさの訓練(2)

ことで、訓練達成を意味づけることが可能となった。(図5)

C. 声のピッチの訓練

声の高さの訓練(ピッチ)画面で呈示するものは、声のピッチ(一次元的定量変化)と効果である。

訓練情景として、音の高さから、音楽の楽譜と音符を採用し、自由度は、

1次元を定量評価(縦方向)

2次元を効果(色、変化)

1次元は未使用(横方向)

とした。

- ・状態変化による訓練の動機づけ

声のピッチに従ってカエルを上下させ、発声行為との動機づけが可能となった。(図6)

- ・保持心理を利用した訓練効果の認識

カエルが五線紙上の音符に重なると、立ったカエルが座り、外れるとカエルが立つようにしたことで訓練効果の意味づけが可能となった。

図6 声のピッチの訓練(1)

図7 声のピッチの訓練(2)

白い音符は、カエルが重なると下の方より色が変わり、赤い音符になる。カエルが外れると段々白くなる。色の増加は価値の増加に対応し、色の減少は価値の減少に対応して、訓練効果の認識が可能となった。(図7)

D. 母音の発声訓練

母音の発声訓練画面で呈示するものは、母音の明瞭さ(第一、第二フォルマントを定量表示)と効果である。採用する自由度は、

2次元を定量評価(縦、横方向)

2次元を効果(色、変化)

とした。

- ・状態変化による訓練の動機づけ

母音の発声に従って第一、第二フォルマントを横軸、縦軸にして、チョウを画面上で羽ばたかせ、発声行為との動機づけが可能となった。(図8)

図8 母音の発声訓練(1)

図9 母音の発声訓練(2)

- ・状態変化による訓練達成の意味づけ

チョウが「あいうえお」の文字に重なると、文字が下の方より色を変え、赤い文字にな

(20) 医器学 Vol. 58, No. 8 (1988)

る。チョウが外れると、赤い文字が段々水色になる。色の増加は、価値の増加に対応し、色の減少は価値の減少に対応し、計練効果の認識が可能となった。文字が上の方まで赤くなると、文字自体がぐるぐるとまわりだすことで、訓練達成の認識が可能となった。文字のフォントは漢字 ROM からデータを読みだし、回転した文字のフォントを4枚ずつ生成したものをあらかじめ格納しておき、順に表示している。(図9)

お わ り に

家庭内でも使用が可能な安価でかつ操作の容易な訓練装置として MSX 2 を母体とした発声発語訓練装置を開発した。

またマン・マシン・インターフェースを考慮した画面設計を行い、訓練に興味を持ち続けることができるようなゲーム性を備えた訓練プログラムを作成した。

今後はフィールドテストを介して検証を行いたい。

参 考 文 献

- 1) 三須直志ほか：言語障害者用発声発語訓練装置の開発に関する研究(第2報), 医用電子と生体工学, 24(特別号), 506-507, 1984
- 2) クリフ クシュラー ほか：言語障害者用発声発語訓練装置の開発, 医用電子と生体工学, 24(特別号), 1986
- 3) 塚原伸晃編：脳の情報処理, 朝倉書店, 1984
- 4) 大島正光：ヒト その未知へのアプローチ, 同文書院, 1982
- 5) 池田 央：行動科学の方法, 269-278, 東京大学出版, 1978
- 6) 加藤一郎編著：工学的人間学, 45-47, 旺文社, 1980
- 7) D. Ling: Speech Development in Hearing Impaired Children, 11, J. of Communication Disorder, 1978