

平成 21 年 4 月 5 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006～2008

課題番号 18560388

研究課題名 (和文) 可変振幅フィルタによる音色可変・環境適応型デジタル補聴器の実現

研究課題名 (英文) Tone-Tunable Environment-Adaptive Digital Hearing Aids
Using Variable Magnitude Filters

研究代表者 伊藤 登 (ITO NOBORU)

東邦大学・理学部・教授

研究者番号：00237041

研究成果の概要：

補聴器はアナログからデジタルへ主流になりつつある。デジタル補聴器は、アナログ素子のものと比べると、入力されてきた音声信号に多様な処理を施すことが容易に実現できるため、「fitting」の際に要求される細かい調節が可能である。しかし、補聴器を必要とする難聴者の聴力特性は千差万別であり、おのおのの聴力に適した fitting が行える従来のデジタル補聴器は、計算量・電力消費が多くて、コストが高いなどの問題点が挙げられる。本研究では、低次数でも比較的特性の優れた 3 種類の可変 IIR デジタルフィルタ (可変低域通過デジタルフィルタ、可変帯域通過デジタル、可変高域通過デジタルフィルタで構成される 3 チャンネル可変デジタルフィルタバンク (variable filter-bank: VFB) を設計し、消費電力とコストパフォーマンスの悪さの要因になっている計算量を軽減し、かつ最適な fitting が可能なデジタル補聴器の設計法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,300,000	0	1,300,000
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	660,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：補聴器、可変フィルタ、フィルタバンク、可変フィルタバンク、オーディオグラム

1. 研究開始当初の背景

補聴器はアナログからデジタルへ主流になりつつある。デジタル補聴器は、アナログ素子のものと比べると、入力されてきた音声信号に多様な処理を施すことが容易に実現できるため、「fitting」の際に要求される細かい調節が可能である。しかし、補聴器を必要とする難聴者の聴力特性は千差万別であり、おのおのの聴力に適した fitting が行える従来のデジタル補聴器は、計算量・電力消費が多くて、コストが高いなどの問題点が挙げられる。

2. 研究の目的

補聴器は聴き取りづらい音を増幅する仕様でなくてはならない。たとえば、人は年齢を重ねるにつれ、高い音域（高い周波数成分）が聴こえにくくなる傾向にあるため、高い周波数帯域に通過フィルタを設け、ゲインを増幅する必要がある。このように聴き取りにくい部分を聴き取りやすい音量に合わせることを「fitting」という。しかし、この「聴き取りづらい」というのは個人によって千差万別であり、たとえひとりの人の fitting ができたからといって、その fitting が他の人にとって聴き取りやすい音である保証はない。つまり補聴器の fitting というのは難聴者ひとりひとりに柔軟に調節できる仕様でなくてはならないのである。従来の補聴器は様々な聴力に応じて、沢山のゲイン調節用の帯域フィルタを用いていた。しかし、このようなフィルタバンクは計算量が多く、それに比例して消費電力も増してしまう。補聴器は携帯するものであり、こういったものがすぐ電池が切れてしまうようでは実用的とはいえないし、コストパフォーマンスも悪い。計算量を軽減するためには、ゲイン調節のフィルタ数を減らさなくてはならないが、フィルタの数を減らせば、細かい調節はできなくなり、fitting の際に最適な補聴が犠牲になってしまう。

本研究では、補聴器ユーザーの聴覚特性と環境音に応じて、補聴器ユーザーは自分で補聴器の周波数特性を自由自在に調整できるように、低消費電力・高精度音色調整が可能なデジタル補聴器の実現に適した周波数特性が自由に調整可能な可変デジタルフィルタバンクの最適設計を行い、音色可変・環境適応型“聞きやすい”デジタル補聴器を実現する。補聴器ユーザーは自分の聴力レベルと好みの音色に応じて、自由自在に補聴レベルを調整でき、また、環境音の変化に応じて明瞭な聞こえを実現でき、いつでもどこでも誰でも最高の音色を実現できる。

3. 研究の方法

本研究では、低次数でも比較的特性の優れた3種類の可変 IIR デジタルフィルタ（可変低域通過デジタルフィルタ、可変帯域通過デジタル、可変高域通過デジタルフィルタ）で構成される3チャンネル可変デジタルフィルタバンク (variable filter-bank: VFB) を設計し、消費電力とコストパフォーマンスの悪さの要因になっている計算量を軽減し、かつ最適な fitting が可能なデジタル補聴器の設計法を開発した。

3種類の可変フィルタの設計の基本的な考え方はデジタル周波数変換に基づき、プロトタイプ低域通過デジタルフィルタ (LPF) から通過域端周波数が異なる別の低域通過デジタルフィルタ、帯域通過デジタルフィルタ (BPF)、高域通過デジタルフィルタ (HPF) への変換を行うことである。現時点では、各フィルタの通過域端周波数が既知とする。

以上のように、可変フィルタの通過域端周波数が分かれば、デジタル周波数変換に基づき、通過域が可変なデジタルフィルタを設計できる。難聴パターンが様々であるため、それぞれの難聴パターンに応じて最適な通過域端周波数を求める必要がある。難聴の原因が様々でオージオグラムのパターンも様々である。与えられたオージオグラムに対して、最適な fitting を得るためには、3種類の可変フィルタの通過域端周波数とゲインを求める必要がある。これらのパラメータが決まれば、3種類の可変フィルタを設計でき、3チャンネル VFB を構成できる。この3チャンネル VFB を用いてこの難聴者の補聴を行うことができる。VFB の振幅特性と与えられたオージオグラムの理想特性との最大絶対値誤差を最小化することによって、最適なパラメータを求める。これは非線形最適化問題で Nelder-Mead シンプレックス法のアルゴリズムを用いて求めることができる。通過域端周波数に基づき、可変 LPF、HPF、BPF を設計できれば、3チャンネルの可変フィルタバンク (VFB) を構成でき、それを用いてオージオグラムの fitting が行える。

4. 研究成果

本研究では、様々なオージオグラムを用いて提案した3チャンネル VFB による補聴効果を実証した。2次のチェビシェフ I 型フィルタをプロトタイプフィルタとして、2次の可変低域通過フィルタ、4次の可変帯域通過フィルタ、2次の可変高域通過フィルタを設計し、3チャンネル VFB を構成して、与えられ

たオーディオグラムの fitting を行った。Fitting の最大誤差は 3 dB 以下となり、従来の固定幅フィルタバンクより計算量が少なく、補聴の精度が高い。

本研究では、デジタル周波数変換を用いた可変低域通過デジタルフィルタ、可変帯域通過デジタルフィルタ、可変高域通過デジタルフィルタの設計法を提案し、この 3 種類の変フィルタによって構成された 3 チャンネル可変フィルタバンク (VFB) に基づく低消費電力・高精度デジタル補聴器の新しい fitting 法を提案した。VFB の次数が非常に低いため、全体の計算量が従来の固定幅のフィルタバンクより遥かに少ない。一つの出力信号サンプルを得るため、11 回の乗算と 14 回の加算だけで済む。また、様々なオーディオグラム (難聴パターン) を用いて提案した 3 チャンネル VFB の有効性を実証した。実際のオーディオグラムの fitting などのグラフは紙面の都合上、割愛するが、研究成果のデータについてはいつでも公開できる。また、これから可変非整数遅延フィルタによる可変フィルタバンクの設計とその低消費電力と高精度補聴器への応用を試みる予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件 : 査読有)

- ① T.-B. Deng, S. Chivapreecha, and K. Dejhan, "Generalized Pascal matrices, inverses, computations and properties using one-to-one rational polynomial s-z transformations," IEEE Trans. Circuits Syst. I: Regular Papers, vol. 55, no. 9, pp. 2650-2663, Oct. 2008.
- ② T.-B. Deng, "Symmetric structures for odd-order maximally flat and weighted-least-squares variable fractional-delay filters," IEEE Trans. Circuits Syst. I: Regular Papers, vol. 54, no. 12, pp. 2718-2732, Dec. 2007.
- ③ T.-B. Deng, "Coefficient-symmetries for implementing arbitrary-order Lagrange-type variable fractional-delay digital filters," IEEE Trans. Signal Process. vol. 55, no. 8, pp. 4078-4090, Aug. 2007.
- ④ T.-B. Deng and Y. Lian, "Weighted-least-squares design of

variable fractional-delay FIR filters using coefficient symmetry," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 54, no. 8, pp. 3023-3038, Aug. 2006.

[学会発表] (計 19 件 : 査読有)

- ① T.-B. Deng, "Three-channel variable filter-bank for digital hearing aids," Proc. 2008 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2008), pp. 457-460, Bangkok, Thailand, Feb. 8-11, 2009.
- ② T.-B. Deng, "Low-complexity three-channel variable filter-bank using coefficient-symmetries," Proc. 2008 IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2008), pp. 634-637, Vientiane, Laos, Oct. 21-23, 2008.
- ③ T.-B. Deng, S. Chivapreecha, and K. Dejhan, "Recurrent formula and property of generalized Pascal matrix," Proc. 2008 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2008), pp. 337-340, Shimonoseki, Japan, July 6-9, 2008.
- ④ T.-B. Deng, S. Chivapreecha, and K. Dejhan, "Generalized Pascal matrices and inverses using one-to-one rational polynomial s-z transformations," Proc. 2008 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2008), pp. 333-336, Shimonoseki, Japan, July 6-9, 2008.
- ⑤ T.-B. Deng, "Generalized structure for designing odd-order variable fractional-delay filters," Proc. 2008 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2008), pp. 2657-2660, Seattle, USA, May 18-21, 2008.
- ⑥ T.-B. Deng, "Low-complexity structure for designing odd-order variable fractional-delay filters," Proc. 2008 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT 2008),

pp. 1-4, Bangkok, Thailand, Feb. 27-29, 2008.

⑦ T.-B. Deng,

“Weighted-least-squares design of odd-order variable fractional-delay filters using coefficient-symmetry,” Proc. 2007 IEEE International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS 2007), P0219, Singapore, Dec. 10-13, 2007.

⑧ T.-B. Deng,

“Arbitrary-order noncausal Lagrange-type variable fractional-delay digital filters,” Proc. 2007 IEEE International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS 2007), P0217, Singapore, Dec. 10-13, 2007.

⑨ T.-B. Deng,

“Transformation matrix for odd-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2007 IEEE International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS 2007), P0214, Singapore, Dec. 10-13, 2007.

⑩ T.-B. Deng,

“Symmetric structures for even-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2007 IEEE International Conference on Intelligent & Advanced Systems (ICIAS 2007), SignalP2:194-197, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 25-28, 2007.

⑪ T.-B. Deng,

“Efficient implementation of odd-order Lagrange-type variable fractional-delay digital filters,” Proc. 2007 IEEE Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2007), pp. 441-444, Bangkok, Thailand, Oct. 18-20, 2007.

⑫ T.-B. Deng,

“Structure transformation for odd-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2007 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2007), vol. 3, pp. 1035-1036, Busan, Korea, July 8-11, 2007.

⑬ T.-B. Deng,

“High-speed and low-cost structures for implementing odd-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,”

Proc. 2007 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2007), pp. 3435-3438, New Orleans, USA, May 27-30, 2007.

⑭ T.-B. Deng,

“Symmetry development for implementing odd-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2006 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS 2006), pp. 57-60, Singapore, Dec. 4-7, 2006.

⑮ T.-B. Deng,

“Weighted least-squares design of wide-band interpolation kernel,” Proc. 2006 IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2006), pp. W4A-6, Bangkok, Thailand, Oct. 18-20, 2006.

⑯ T.-B. Deng,

“High-speed and low-cost structures for implementing odd-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2006 IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2006), pp. W4A-5, Bangkok, Thailand, Oct. 18-20, 2006.

⑰ T.-B. Deng,

“High-resolution image interpolation using Lagrange-type variable fractional-delay filter,” Proc. 2006 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006), vol. II, pp. 541-544, Chiang Mai, Thailand, July 10-13, 2006.

⑱ T.-B. Deng,

“An explicit formula for arbitrary-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2006 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006), vol. II, pp. 537-540, , July 10-13, 2006.

⑲ T.-B. Deng,

“Coefficient symmetry for implementing odd-order Lagrange-type variable fractional-delay filters,” Proc. 2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), vol. III, pp. 564-567, Toulouse, France, May 14-19, 2006.

[その他]

IEEE ISIT' 06 の最優秀論文賞受賞

<http://www.lab.toho-u.ac.jp/sci/is/deng>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 登 (ITO NOBORU)
(T.-B. Deng)
東邦大学・理学部・教授
研究者番号：00237041

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし