

## 生体波動連続収録システム“時変サンプラー”の開発

## Design of the 10-channel extremal sampler system

吉田 秀樹<sup>†‡</sup> Xie Wei<sup>‡</sup> 藤原 祥隆<sup>†‡</sup> 藤本 悦郎<sup>\*</sup>  
 Hideki Yoshida<sup>†‡</sup> Xie Wei<sup>‡</sup> Yoshitaka Fujiwara<sup>†‡</sup> Etsuro Fujimoto<sup>\*</sup>

## 1. まえがき

脳神経間で伝達されている情報を解読し[1]利用することに[2]大きな関心が寄せられている。神経内部の電位は常にパルス(スパイク)状に変動しており、1(有)か0(無)かに対応させることができる[3]。外界から感覚器を通して入力される連続な刺激情報も、神経内部ではパルス列として表現されている[4]。例えば音を聞いた時には、聴神経にパルスがたくさん現れるようになる[5]。これはパルス列を解読すれば被験者が聞いている音響を同定でき、逆に、パルス列として情報を与えれば該当する音響を被験者が想起できることを期待させる。

我々の関心は、果たしてあらゆる音響情報を、脳が採用している様なパルス列の様式で表せるかにある。これまで独自の音響モデルを提案することで、音響構造の複製を試みてきた[6]。内耳の蝸牛で実現された周波数分析になぞらえて[7]、入力音響を1オクターブの帯域通過フィルターに通した[8]。するとヒトの可聴域は、最大10個のフィルターで網羅することができる。フィルターを通した後の音響波形は、歪んだ正弦波様を呈していた。歪んだ正弦波様波形から、極大値、極小値、および極値の出現の時刻を、電算機上のバッチ処理として取得してきた。こうして2つの連続する極値(極小値から極大値への変動、あるいは、極大値から極小値への変動)を、音響の不可分な最小単位としてモデル化することを提案した。

本稿での目的は、生体が作り出す変化に富んだ波動の特徴を連続記録できる計測器を提供することである。これは音響をパルス列として表現する上でも有効な試みとなる[9]。帯域制限した10チャンネルの波形の極値と極値出現の時刻を、ハードディスクに休みなく記録するための拡張インターフェイスボード(PCIバス仕様)を共同開発した。入力の波形を一定時刻毎に厳密に記録していくのではなく、入力波形の極値が出現する時刻によって、サンプリングする間隔を変化させる独自の機構を設けた。

## 2. PCIボードの設計

図1(a)に本機のブロック図を示した。A/D変換部と論理処理部は、任意の1チャンネル分についてのみ記述した。システムには同等の機能ブロックを全部で10チャンネル分搭載している。図1(b)は試作したPCIボードの写真である。PCIボードに搭載された2階部分の電子基板がA/D変換部である。帯域フィルターは用途に応じて変更できる様にオプションとした。極値の時刻を求めるためのタイミング信号を作り出すには、フィルタリング後の波形を1階微分す

る操作が必要となる。任意の1チャンネルについて、フィルタリングと微分処理を実現するために、Ti社のDSPキット(TMS320C6713DSK)[10]が利用できた。微分波形は一旦CODECから出力し、増幅してTTLレベルに変換する必要がある。DSPの導入により、開発時には設計の変更が容易に実現でき、仕様決定後は消費電力を低く抑えた組み込み製品の実現を可能とした。

ハードウェアの構成上、入力信号は $32/T_{\text{sampling}}$  [MHz]で常時サンプリングされる。ここで $T_{\text{sampling}}$ とは分周値であり、ソフトウェアから設定できる。論理処理部では、サンプリングされた信号の中から、前述のタイミング信号を使って極値が選別される。図1(c)に示した入力波形の例では、黒丸が記録される極値、白丸が棄却される極値である。フィルタリングの前処理をしても、現実には低振幅の高周波成分が観察される場合がある。記録量を減らす目的で、予め各チャンネルに $T_{\text{dz}}[\text{ch}]$ の値を設定しておき、時間的に隣り合う極値間が $T_{\text{dz}}[\text{ch}]$ 時間に満たない場合には、極値の候補を棄却することにした。ここでは簡単のため、残留高周波成分がヒトの聴感に影響を与えないことを仮定している。またノイズレベルの下限と上限の設定をそれぞれ $V_{\text{thL}}[\text{ch}]$ ,  $V_{\text{thH}}[\text{ch}]$ により設定する。特に $V_{\text{thL}}[\text{ch}]=V_{\text{thH}}[\text{ch}]=0$ とした場合のノイズレベルは、 $(2 - (-2)) / 2^8 \approx 15.6$  [mV]以下となる。

入力波形を再構成するには、隣り合う極値間に半周期分の正弦波の形状をあてがった。各チャンネルに入力される波形は歪んだ正弦波様をしていることから、第1の極値から第2の極値まで単調に増大した後は、第2の極値から第3の極値までは単調に減少し、以下これを繰り返すことになる。この意味で図1(c)の右端から4つ過去に出現した極値は不要となるが、これは比較的低い頻度で発生する例外であり、後続のソフトウェア処理で削除することにした。

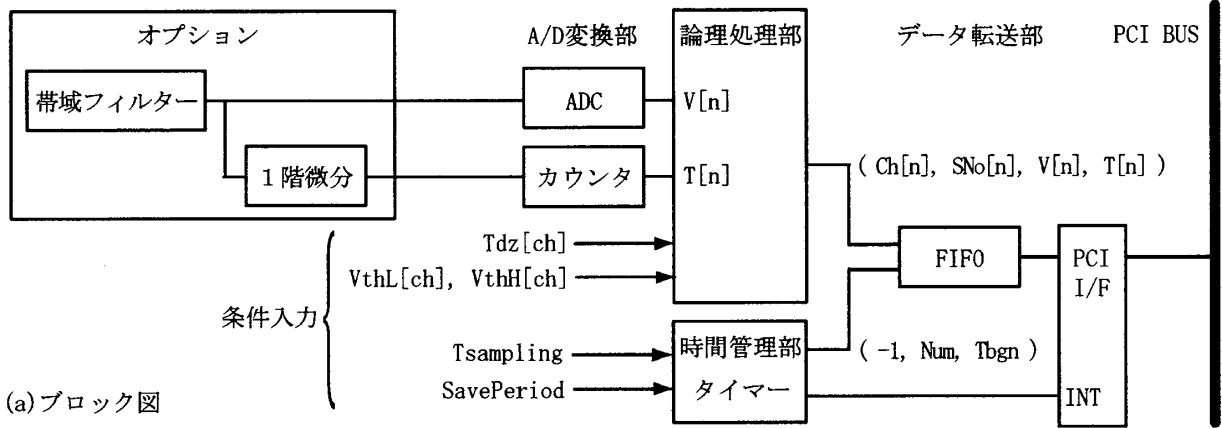
時間管理部はいわゆる' Temporal Window' [11]の処理である。ヒトの認識処理ではTemporal Window時間を基本単位として、作業記憶領域[12]が重要な役割を果たしている。ヒトの認識機構になぞらえて導入されたのがSavePeriod値の設定である。SavePeriod時間だけ経過する毎に割込を発生させて、可変長のデータブロックを電算機へ転送する。時間的に連続する2つのデータブロックの分離子として-1が使用される。図1(a)に示したNumはデータブロックの通し番号、Tbgnは割込が発生した時刻であり、後述のデバイスドライバにより参照される。単一の極値から生成されるデータ構造は( Ch[n], SNo[n], V[n], T[n] )であり、左から、チャンネル番号、シリアル番号、サンプリング値、極値の出現時刻を表す。シリアル番号により、データ転送時の取りこぼしの有無を確認する。データ転送部に設けられたFIFO型のメモリーは全チャンネルが共有するもので、PCIバスのインターフェイス部との連絡をとる。

デバイスドライバ部では、複数のメモリーバンクを確保し、メモリーバンクを切り替えて使用することで、ハードディス

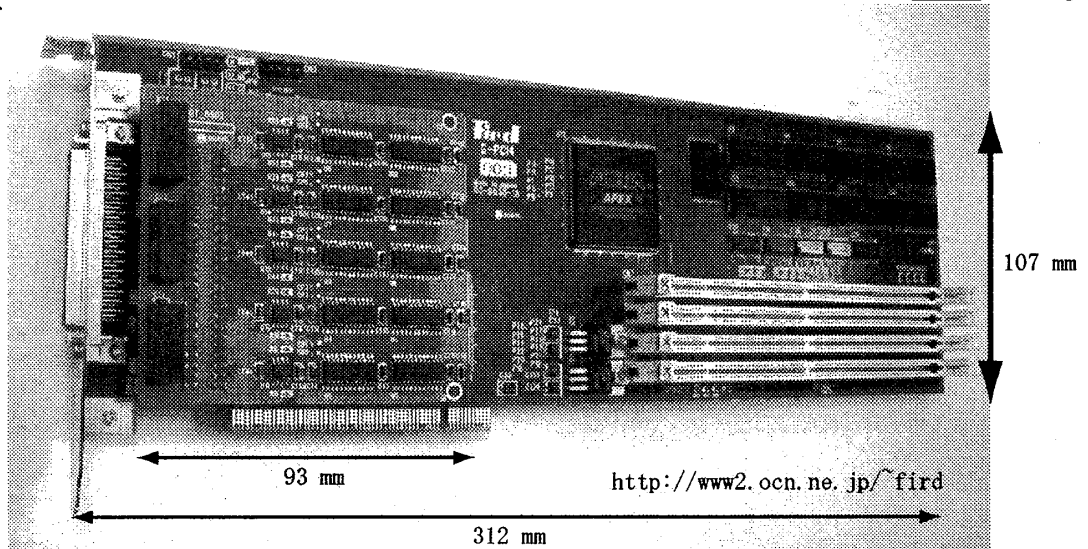
<sup>†</sup>北見工業大学情報システム工学科

<sup>‡</sup>北見工業大学サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

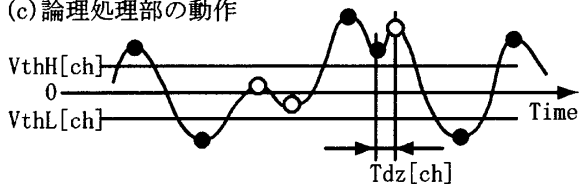
\*株式会社ファード



(a) ブロック図  
(b) PCIボード



(c) 論理処理部の動作



● 有効サンプル ○ 無効サンプル

取得値  $n = \{ 0, 1, 2, 3, \dots \}$   
 Ch[n] チャンネル番号 { 0, 1, 2, ..., 9 }  
 SNo[n] 連続番号 (取りこぼしの確認用)  
 V[n] サンプリング値 (符号付8ビットバイナリ)  
 T[n] サンプリングをした時刻 (32ビット、正整数)

設定値  $ch = \{ 0, 1, 2, \dots, 9 \}$   
 TdZ[ch] 連続するサンプリング間隔の最小値  
 VthH[ch] 上側閾値電圧  
 VthL[ch] 下側閾値電圧  
 Tsampling 分周値  
 SavePeriod ファイル保存の周期

(d) 仕様

PCIボード ( 33 MHz, 32 bits )  
 入力  
 アナログ ( 帯域制限信号、±2 V ) × 1 0  
 デジタル ( タイミング信号、TTLレベル ) × 1 0  
 ADC  
 分解能 : 8 bits  
 サンプリング周波数 : 32 / Tsampling [MHz]  
 ドライバ関数  
 6個 { open, close, read, write, select, ioctl }  
 データ収録ソフトウェア付属

ファイルフォーマット

				63	31	0
V[0]	Ch[0]	SNo[0]	T[0]	Tbn		
V[1]	Ch[1]	SNo[1]	T[1]			
V[2]	Ch[2]	SNo[2]	T[2]			
⋮	⋮	⋮	⋮			
V[n]	Ch[n]	SNo[n]	T[n]			

図1 (a) 試作品のブロック図 (b) 写真 (c) 論理処理部の動作と変数の説明 (d) 仕様とファイルフォーマット

クへの書き込み動作を滞りなく実現する。デバイスドライバが備えた関数は6個、その中のioctl関数については引き

数を変更することで、全部で20の機能を実現する。アプリケーション部として、データ収録ソフトウェアが

挙げられる。ユーザによる細かな改変作業ができる様に、C言語で平易に記述されており、図1(d)に示したフォーマットに整形されたファイルが、ハードディスクの指定したディレクトリに一定時間毎に休みなく保存される。データ収録ソフトウェアが採用したファイル名の生成規則は、任意の共通文字列+5桁の通し番号.datである。例えば、0.2秒毎に1個のファイルを生成していけば、約138時間後には一巡してファイルの上書きが始まる。

開発環境として、2次元の汎用波形エディタを(株)北見情報技術[13]と共同研究している。試作品は波形の微細構造の様々な組換えと再構成の実験に使用できる。ボタンやウィンドウの数量、配置、大きさ、配色、実現される機能は、ユーザー一人一人の要求に個別に対処できる様に、ユーザー自身がエディタを容易に作り変えられる様に配慮している。

### 3. 考察とまとめ

本機開発の趣旨は、音響をより美しく奏でることではない。ヒトの音響認識の特徴と、帯域制限した入力波形の極値を関連付けることにある。従来、任意の波動は、周波数の異なる複素正弦波を、無限に重ね合わせたものとして理解されてきた[14]。この数学的に厳密な音響モデルを使って、脳波、音声、心電図と云った生体波動のパターン認識をすると、定常性の乏しさから、非常に多くの困難を伴った。今、時間的に隣り合う2個の極値間に不可分な微細構造を仮定すれば、可聴域の音響は、任意の時刻について、高々10個の要素で表現できる。加えて、本機の特徴である極値時刻でのサンプリング方式は、電算機による音像の推定能[15]の実現に対して有効な手法かも知れない。

提案モデルの抱える問題点は、時間的に隣り合う2個の極値間のつなぎ方にある。例えば音声を再生した場合に、極値間のつなぎ方によって言語/非言語的な意味が損なわれる様であってはならない。計算機シミュレーションとして、1秒間のデータについて極値を取得し、極値間を半周期長の正弦波で接続した後、44.1 kHzにダウンサンプリングした。オリジナルのデータと再構成したデータの相互相関をとると、音声データ205個、音楽データ200個の平均として $0.993 \pm 0.004$ を得た[16]。正弦波をつなぎ合わせて作った波形がスペクトル構造に与える影響として、高周波成分が増大する傾向が指摘される[17]。耳障りな様であれば、ローパスフィルターによって再生帯域を狭める必要があるかも知れない。

帯域制限した入力信号10チャンネルを独立にサンプリングして、極値と極値が出現した時刻を休みなくハードディスクに記録し続けるシステムの開発を実施した。当面、本機を音響構造の理解に役立てていく。音響構造を、正弦波のつなぎ合わせとして理解するには、従来のフーリエ変換の枠組みの中で理解されてきた音響心理現象との整合性をとる必要がある。今後そのための膨大な研究テーマを産出することになる。

### 参考文献

- [1] Diesmann, M., Gewaltig, M.-O. and Aertsen, Ad. Stable propagation of synchronous spiking in cortical neural networks. *Nature* 402, 529-533, 2004.
- [2] Serruya, M. D., Hatsopoulos, N. G., Paninski, L., Fellows, M. R. and Donoghue, J. P. Instant neural control of a movement signal. *Nature* 416, 141-142, 2002.
- [3] Adrian, E. D. A., *The basis of sensation; the action of the sense organs.* London etc.: Christophers, 1934.
- [4] Attneave, F., Some informational aspects of visual perception. *Psychol. Rev.* 61, 183-193, 1954.
- [5] Arthur, R. M., Pfeiffer, R. R. and Suga, N., Properties of "two-tone inhibition" in primary auditory neurons. *J. Physiol.* 212, 593-609, 1971.
- [6] 吉田 秀樹 Xie Wei 藤原 祥隆 感情状態推定の為の音響構造再構成法の試み 信学技報 HIP2003-131, 29-33.
- [7] R. F. Lyon and L. Dyer, Experiments with a Computational Model of the Cochlea. *Proc. ICASSP-86*, 37(6), 1975-1978, 1986.
- [8] 吉田秀樹 特許第 2988914 号 周波数解析装置およびその方法
- [9] 吉田秀樹 特願 2004-254378 音響情報の抽出方法、音響情報の記憶方法、合成音波の生成方法、音響情報抽出装置および合成音波生成装置
- [10] <http://www.ti.com/>
- [11] Naatanen, R. The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences.* 13, 201-208, 1990.
- [12] Baddeley, A. D. Working memory. *Science* 255, 556-559, 1992.
- [13] <http://www.k-i.t.jp/>
- [14] Fourier, J. B. J. La theorie analytique de la chaleur. *Mem. Acad. R. Sci.* 8, 581-622, 1829.
- [15] Brand, A., Behrend, O., Marquardt T., McAlphine, D. and Grothe, B., Precise inhibition is essential for microsecond interaural time difference coding. *Nature* 417, 543-547, 2002.
- [16] 入場健仁 吉田秀樹 藤原祥隆 岡田信一郎 リアルタイム音響構造配信システムの開発 情報科学技術レターズ, 267-268, 2004.
- [17] 三ヶ島敬宏、吉田秀樹、藤原祥隆 音響構造のモデル化と圧縮法の提案 信学技報 CQ2004-61, 7-11.