

Title	信号から役立つ情報を取り出す適応フィルタとは： 複雑な事象を読み解くための「万能フィルタ」をつくりたい
Sub Title	
Author	田井中, 麻都佳(Tainaka, Madoka)
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	2015
Jtitle	新版 窮理図解 No.20 (2015. 10) ,p.2- 3
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究紹介
Genre	Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001002-00000020-0002

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

信号から役立つ情報を取り出す 適応フィルタとは

複雑な事象を読み解くための「万能フィルタ」をつくりたい

画像、音、電波、脳波、さらには株価の変動など、世の中にはさまざまな信号（情報）が存在する。その信号を数値化することによって欲しい情報だけを抽出し、その事象の特徴を見出したり、予測を立てたりするのが信号処理の役割だ。湯川正裕さんは、森羅万象から得た複雑な信号を、数理的なアプローチによって扱いやすい状態にし、必要な情報を抽出する際に役立つ数理体系の構築を手掛けている。

信号処理は電子産業の基盤

「仮に、この世から信号処理がなくなったとしたら、テレビも携帯電話もデジタルカメラもなく、飛行機も飛ばない世界になるでしょう。医療機器のMRIも信号処理の産物ですし、最近話題のドローンやアンドロイドロボット、ビッグデータ解析なども信号処理がなければ実現できません。つまり、信号処理というのは現代人にとってみれば、空気のように不可欠な存在なんですね」と、湯川さんは語る。

例えば、携帯電話の音声であればマイクで、デジタルカメラで撮影した画像なら撮像素子で、それぞれ電気信号に変換される。こうした電気信号を数

値の列に置き換えれば、すべて数学的な処理が可能になり、いわゆる信号処理の対象となるのだ。

「実際に私が手掛けてきたのは、音響と通信の適応信号処理です。一例として、エコーキャンセラがあります。これは、テレビ会議や携帯電話の通話などで、自分がしゃべった声が相手のマイクを通じて遅れて返ってくると耳障りなため、返ってきた音声だけをカットするというもの。信号処理によって、返ってきた自分の音声は不要なので引き算して、相手の音声のみを届けるのです。通信の場合も同様に、同時に基地局に届く複数の通信データを、適応信号処理でユーザーごとに切り分けて届けます。その信号処理に欠かせない

のが、必要な情報だけを取り出す『適応フィルタ』です」。

データから関数を推定するのが 適応フィルタの役割

適応フィルタは、まさにコーヒーのフィルタのように、数学的なフィルタを通して、必要な情報だけを取り出す役割を担う。

「音声であれば、観測された音声（ y ）から欲しい音声（ x ）を取り出せる関数（ f ）を推定するのがフィルタの役割。つまり、 y から x を推定したいわけですから、関数 f を求めればいいのです」と湯川さんは説明する。

ただし、「適応」とあるように、人が動くなどして時々刻々と変化する状況に応じて、柔軟にフィルタの係数を変化させなければならない。つまり、計算量を抑えつつ、リアルタイムに欲しい情報にできるだけ近づけた関数を表現できるかどうか、適応フィルタの良し悪しを左右することになる。

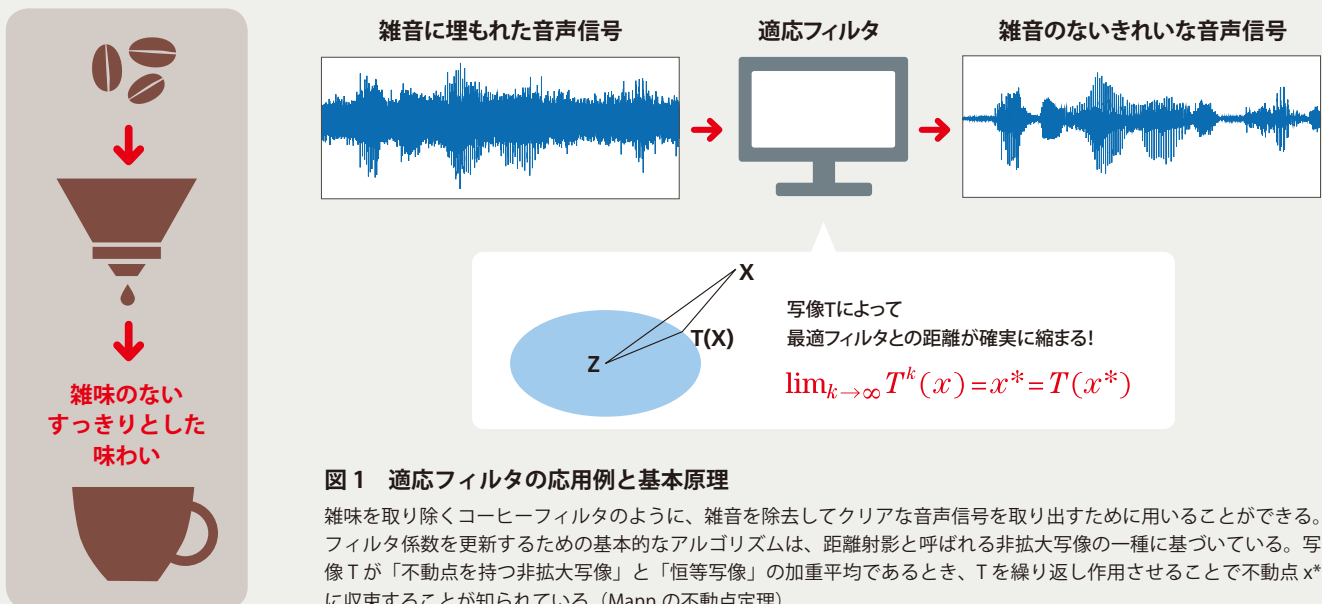


図1 適応フィルタの応用例と基本原理

雑味を取り除くコーヒーフィルタのように、雑音を除去してクリアな音声信号を取り出すために用いることができる。フィルタ係数を更新するための基本的なアルゴリズムは、距離射影と呼ばれる非拡大写像の一種に基づいている。写像 T が「不動点を持つ非拡大写像」と「恒等写像」の加重平均であるとき、 T を繰り返し作用させることで不動点 x^* に収束することが知られている（Mannの不動点定理）。

ところが、実際の事象は非常に複雑で、数学的に扱うのが難しい非線形性を持つ場合がほとんどだ。非線形とは線形ではない、簡単に言えば、入出力が比例関係にないこと。非線形なデータを扱おうとすると、とたんに計算量が増えて、素早く情報を取り出すことが難しくなる。

「非線形なデータに対するアプローチとしては、ヴォルテラフィルタやニューラルネットワークなどがありますが、前者は計算量が膨大になる、後者は局所最小解に陥るといった欠点があります。そこで、私が採用したのが、カーネル法を応用した『再生核（カーネル）適応フィルタ』という手法です」。

カーネル法とは、データを高次元の特徴空間に写像する（例えば、2次元データを3次元へ写す）ことで、データ群を別の扱いやすいデータ群へと変換する手法のことをいう。これは顔認証などのパターン認識やビッグデータ解析などに広く使われている手法で、従来は、集めた情報をすべてまとめて一度に処理するバッチ処理に採用されてきた。最近では、時々刻々と新しいデータが取得されるオンライン処理でも活用されている。

「再生核を説明するのは専門的で難しいので割愛しますが、このカーネル法が優れているのは、関数の値を『内積』で表現できることにあります。内積の簡単な例は、2つのベクトルの要素を順番に掛け合わせ、それらをすべて足し合わせたもの。これにより、2つのベクトルの相関が表現できるようになります。そして、内積で表現できれば、線形モデルの知見を存分に用いることができるようになるのです」と湯川さんは強調する。

つまり、扱うのが難しい非線形のデータを、計算しやすい線形の理論によって取り扱える点が、この手法の最大の特長と言える。

リアルタイムに 欲しい情報を取り出す

この再生核適応フィルタをベースに、

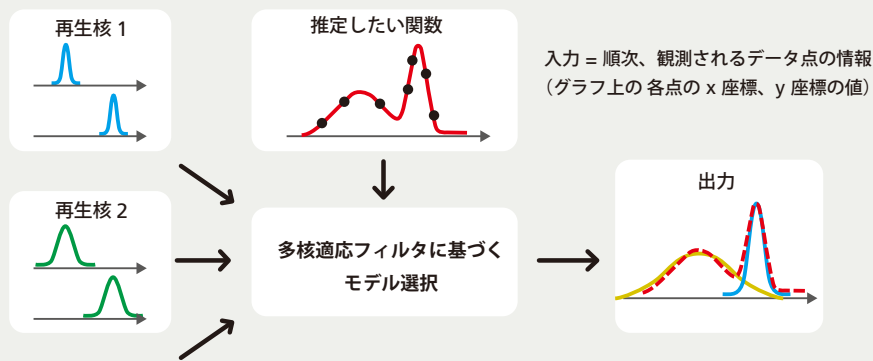


図2 多核適応フィルタに基づくモデル選択の概念図

順次、観測されるデータ点の情報を用いて適応アルゴリズムで学習させることにより、推定したい関数の局所的な特徴を適切に表現できる数理モデル（再生核）を自動的に選択することが可能となる。適応アルゴリズムには、「スパース表現」と「非拡大写像の不動点理論」の知見が活かしている。

凸最適化と呼ばれる分野の最新の知見を駆使して湯川さんが開発したのが、「多核適応フィルタ」である。

「イメージとしては、再生核の一種であるガウス核と呼ばれる山形の曲線の足し合わせで関数の波形を近似するという手法です。幅が広く低い山や幅が狭く高い山など、いくつものガウス核をあらかじめ用意しておいて、その高さを決める係数を並べて行列にします。そして、なるべく少ない山の足し合わせで関数を推定していくのです」。

その際、推定したい関数にフィットする山を自動的に特定し、それ以外の大多数の山の係数をゼロにする仕掛けが1つのポイントです。ゼロをたくさん含む行列のことをスパース行列（sparse はまばらという意味）と言いますが、情報をうまくまとめること（スパース化）で、最適なモデルの選択を可能にするのです」。

これにより、非線形関数の形に合わせて、ガウス核の幅を適応的に自動調整することが可能になり、関数の形が時間の推移とともに変化しても自在に対応できるようになった。より少ない山の数で高精度な推定ができるという。

「この手法を使うと、例えば、太陽光発電において、過去の発電量のデータから、リアルタイムに未来の発電量を高精度に予測することが可能です」。

その湯川さんの研究の数理的基盤と

なっているのが、「非拡大写像の不動点理論」というものだ。

「不動点とは、写像 T を施しても動かない点、つまり $Tx = x$ となる x のことを言います。また、2点間の距離が写像を施した後に拡大しないという性質を非拡大性と言います。自然科学から工学まで、様々な領域において、問題の解のある写像の不動点として表現できることがわかってきています。そして、その写像が非拡大性を持つとき、この非拡大写像を使って不動点、つまり問題の解を求めるアルゴリズムを容易に設計できるのです。多核適応フィルタでは、時間の推移とともに変化する未知の関数を、時々刻々と入手されるデータを用いて作られる写像の不動点として表現し、これを手がかりに未知の関数を推定していくわけです」。

将来的には、どんな複雑な事象にも対応できる究極の「万能フィルタ」をつくりたいという湯川さん。今年に入って複数の論文がIEEE（米国電気電子学会）のジャーナルに掲載されたり、信号処理のトップジャーナルのエディターに抜擢されたりと、国際的な評価も高まっている。分散型信号処理やビッグデータ解析、ディープラーニングといった流行の研究を横目に、その基盤となる数理体系の構築を目指して、日々研究を続けている。

（取材・構成 田井中麻都佳）