

FFT 信号解析装置の製作と1滴法 ICP への応用

後藤敬典, 岩田 弘, *磯山博文, *内田哲男, *飯田忠三,
生産システム工学科 (計測)
(1986年9月6日受理)

Construction of FFT Interface and Its Application to One-Drop ICP

Keisuke GOTO, Hiroshi IWATA, Hirofumi ISOYAMA,
Tetsuo UCHIDA, Chuzo IIDA
Department of Systems Engineering
(Received September 6, 1986)

An analog to digital interface has been made to analyze any analog signals by using a fast Fourier transform (FFT) soft-ware. The data points were 4096. A personal computer (PC-9801) was used for all processes. The interface was successfully applied to a discrete nebulization in an inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (one-drop ICP). The analyzed original data which would include noise and fluctuation were synthesized again and the signal could be retrieved according to the order of synthesis. It was found that the true signal can be obtained by the lower order (5-10) of synthesis by filtering the noise and fluctuation.

1. はじめに

フーリエ変換は時系列信号を周波数領域に変換するための手法で信号を解析・合成するとき、あるいは画像処理や信号抽出などを行うときに一番基礎になるものである。フーリエ級数展開の概念は1807年12月21日に J. B. J. Fourier によりフランス・アカデミーに提出された熱伝導の解析の為に導入された論文に端を発する¹⁾。フーリエ変換は周知の如く今日の計算機(器)の発展により始めて現実的なものとなった。しかしながらフーリエ変換を一般的に行うことは大型計算機をもってしても楽なことではなく、1965年に J. W. Cooley と J. W. Tukey²⁾により導入された高速フーリエ変換(FFT)の手法により計算時間を桁違いに短縮することが可能となり、やっと実用的なものになった。ただし FFT ではサンプル数が 2^n でなければならないという制限がある。なおフーリエ変換については計算上の概念と思われている向きもあるが、アナログ的な技法によっても10次位の次数であれば十分可能である⁴⁾。

信号解析・合成の例としてここでは製作した FFT 装置を誘導結合プラズマ発光分析(ICP)に応用してみた。一滴法による ICP³⁾は極微量のサンプル量で分析が可能なおことから限られたサンプル量しか得られないときには

大へん有効である。しかしながら信号量が少ない為に雑音と信号の変動(以後これからの成分を雑音と呼ぶ)により結果が影響を受けるという欠点が生ずる。ここでは一滴法で得られたデータを先ず FFT により周波数解析し、次にこのデータをもとに低い次数より合成していきデータを再現する。次数を上げていくと得られる結果は徐々に元のデータに近づいていくが、これは元々含まれていた雑音も再現することになり真の信号を再現しているのではないことがわかる。

2. FFT の原理

FFT については文献²⁾に詳述されているのでここでは概念的なことに止める。例えば Fig. 1 に示すように時間 P に亘って実線の斜線部のような信号が得られたとする。これをそのままフーリエ変換すると、これは直流

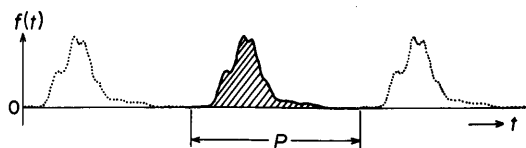


Fig. 1 An original data (shaded) for period P. This data is arranged as periodic wave for FFT analysis.

コンピュータからの指令を受けずに) A/D 変換される。このときコンピュータは A/D のステイタス (STS) を監視しており、A/D コンバータの変換終了のステイタスを検出して、A/D からのデジタル出力をペリフェラル IC (μ PD 71055) に取り込む。するとこの信号は、バスを通じてただちにコンピュータ (PC 9801) に収納される。コンピュータ内ではプログラムにより4096ワードを1単位として取り込んでおり、このデータはその後 FFT 処理されたり、フロッピーディスクに転送されて保存されたりする。FFT プログラムはマシン語⁵⁾で、波形の合成プログラムはベーシックで行った。なおサンプリング間隔はプログラムで1msの整数倍に設定できる。

4. 実験結果と考察

一滴法 ICP により得られた結果は製作した装置を通して1データ当たり12×12ビットのデジタル信号に変換され一旦フロッピーディスクに収納される。このデータは必要により呼び出され処理される。

一滴法 ICP の試料として10ppmの亜鉛を含む溶液を準備しこの溶液をマイクロビレットで0.5%以上の正確

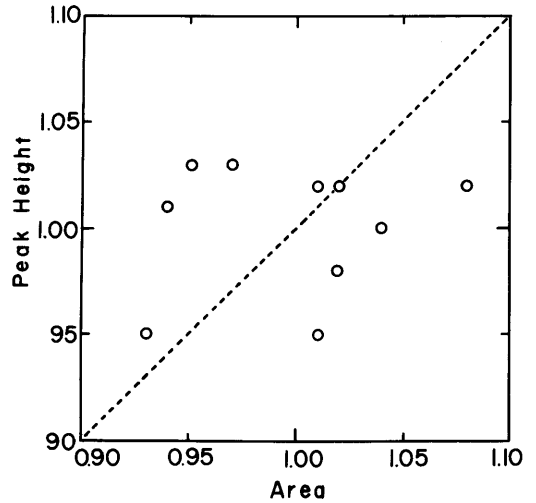


Fig. 3 Normalized area vs peak height from the original ICP data of 10ppm Zn in 100 μ l solution. The mutual correlation coefficient is 0.14.

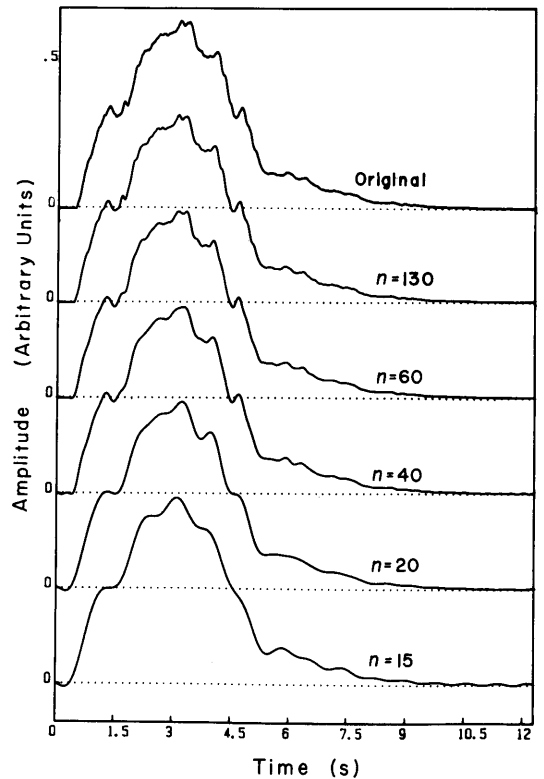
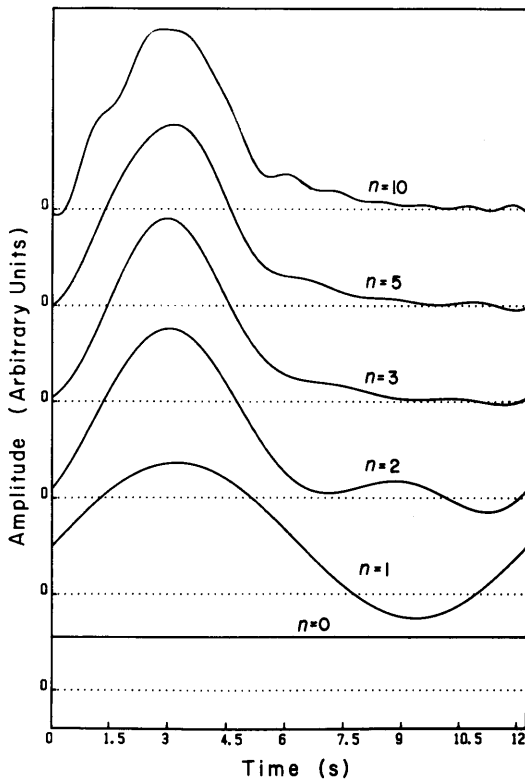


Fig. 4 (a) : Synthesized data using results obtained from FFT. order of synthesis is $n=0$ to 10. (b) $n=15$ to 130.

さで100 μ l を10サンプル採取し ICP にかけてときの FFT 処理前の結果を Fig. 3 に示す。図はデータそのものではなく平均値で規格化した面積 (Area) 対ピーク高さ (Peak Height) で示してある。なお ICP で得られるデータの例は後述の Fig. 4 (b) の一番上に表示されているが、雑音を多く含んでいるのがわかる。各溶液に含まれている亜鉛の量は同じ (0.5%) はずであるから、測定点は1点に集まるはずであるが結果は数%以上に亘ってばらついている。これらの値の相互関係係数を求めてみると約0.14であり、測定値の間の相関は大へん小さい。もしこれらのバラつきが ICP のハードウェアによるものだとすれば測定点は図の点線に沿ってくるはずである。

一滴法 ICP のデータを FFT で各周波数成分に分解し、スペクトルは紙面の都合で示さなかったが、得られたスペクトルを用いて逆にデータを合成していったときの様子を Fig. 4 の (a) と (b) に示す。図中の数字 n は合成に用いた次数を示す。即ち $n=0$ の特性は平均値 (面積) であり、 $n=1$ は平均値に基本波成分のみを加えたものである。元のデータ (Original) と比較しながらみるとよくわかるが、次数が増すにつれて近似度は向上し元のデータに近づいていく。図から判断すると $n=5$ あたりでほぼ全体の特性を再現しているように見え、それ以上は主に高い周波数成分の雑音を再現しているようである。 $n=60$ でほぼ元のデータを再現している。これらの合成の結果から判断して、合成の次数を上げることは真の信号強度を得るには必ずしも適切な方法とは考えられず、むしろ $n=5 \sim 10$ の低い次数のものの方がより正しい値を示しているようにみえる。いわゆるデジタル的にフィルタをかけて雑音を遮断したことになるが、光電子分光法と FFT を組み合わせて同様の合成を行った例でも次数は異なるが類似の結果が報されている⁹⁾。

Fig. 4 から合成の次数 n とピーク高さの関係を示したのが Fig. 5 である。図からすぐわかるように特性は $n=5$ あたりからはほぼ飽和値に達するように見えるが $n=20$ あたりからもう1つ別の飽和値に近づいている。後者は、即ち、元のデータに近づいているわけで当然のことである。前者の値は、まだ実験例は少ないが、真の値により近いものを出しているのではないかと考えられる。もしこの考えが正しいとすると雑音の主成分は1~数Hzにあるものと思われる。

以上の結果から合成の次数 $n=5$ あたりではほぼ真のデータを再現していると考えられるので他のサンプルについても同じ合成を行い、Fig. 3 と同様に、平均値で規格化した面積 (Area) とピーク高さ (Peak Height) の関係を示したのが Fig. 6 である。測定点は Fig. 3 よりは45°の点線に近づいているようにみえる。これらの点の間の相互関係係数をとってみると0.41であり、元のデータより

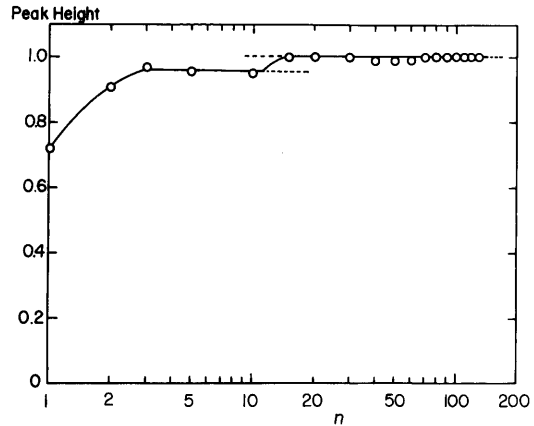


Fig. 5 Normalized peak height of synthesized data vs the order of synthesis.

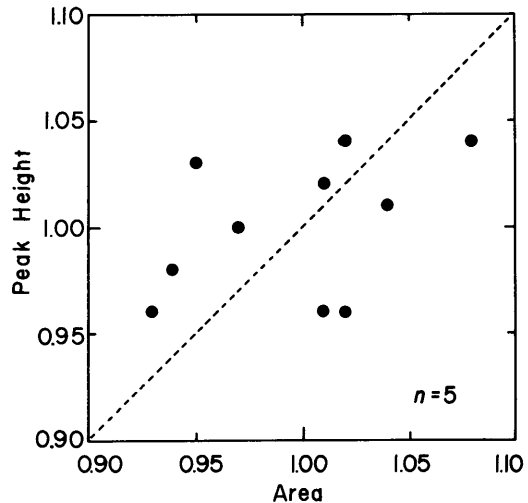


Fig. 6 Normalized area vs peak height of synthesized data of $n=5$. The mutual correlation coefficient is 0.41.

直接求めた Fig. 3 の0.14よりは、かなり改善されていることから雑音の影響が除去されていると考えていいようである。

5. おわりに

この研究はまだ緒についたばかりで実験したサンプル数も少ないが雑音を含んだデータから信号を抽出する手段として大へん有効であることがわかる。現在我々の FFT はマシン語で、またフーリエ合成はベーシックで行なわれているので場合によっては計算時間が問題にな

る。特に後者は遅く、合成の次数が数十あたりになると約1時間を要する。前者のFFTの計算は2~3分であるがこれをオンラインに導入するとなるとこれでも大へんな時間である。最近はこれらの計算を、ソフトを通さずに、ハードの超高速演算専用IC(市販されるようになった)を用いることによりFFTもmsから秒位の速さで実行可能となったのでオンライン化も十分考えられる段階に来た。

文 献

- 1) 河田龍夫：フーリエ解析と確率論入門(日本評論者，昭和49年)
 - 2) 森下巖，小畑秀文：信号処理，71頁(計測自動制御学会，昭和57年)
 - 3) T. Uchida, I. Kojima, C. Iida, and K. Goto : Analyst. 111, 791 (1986)
 - 4) 後藤敬典：応用教育研究会会報，10, 59 (1985)
 - 5) 中辻隆：information, 4, 113 (1985)
 - 6) L. Muehlhoff and H. -M. Muehlhoff : J. Vac. Sci. Technol. A 4, 1540 (1985)
- 1) 河田龍夫：フーリエ解析と確率論入門(日本評論者，