



Title	DSPによる中波ラジオ放送円中継線の遅延等化
Author(s)	高橋, 環; 小川, 吉彦
Citation	北海道大學工學部研究報告, 132, 113-117
Issue Date	1986-07-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/42007
Type	bulletin (article)
File Information	132_113-118.pdf



[Instructions for use](#)

DSP による中波ラジオ放送用中継線の遅延等化

高橋 環 小川 吉彦

(昭和 61 年 3 月 31 日受理)

Delay Equalization For MF Radio Sound Transmission Line using DSP

Tamaki TAKAHASHI and Yoshihiko OGAWA

(Received March 31, 1986)

Abstract

The group-delay characteristic of the sound signal for MF radio broadcasting is highly distorted when the signal is transmitted by MF radio sound transmission line. The distortion increases on the low frequency side. For this reason, the sound is heard with some strange echoes resulting in the lack of clarity. The delay distortion can be equalized by using the inverse phase characteristic of the distortion in frequency area. In this paper, to compensate for this distortion a new delay equalizer using DSP with FFT technique is proposed and its characteristics and the results of compensation are discussed.

1. ま え が き

中波ラジオ放送中継用の搬放線 (NTT 回線・F 規格) を経由した音声信号は、ある種の残響音を伴ったように感じられ、特に男声において明瞭度が不足することが問題となっている¹⁾。搬放線の位相特性を測定してみると低音域においてかなり大きな遅延ひずみが生じており、これが原因であると考えられている。従来、このひずみをアナログ回路で補償する実験を行っていたが、遅延ひずみが大きい素子数が多くなり、大規模な回路を必要とした。

これに対し DSP (Digital Signal Processor) を用い、FFT (Fast Fourier Transform) を利用した方式により比較的簡単な回路で遅延ひずみの補償を行い、良好な結果を得たことは既に文献 (2) に公表してある。本稿ではその遅延等化器において、文献(2)で言及できなかったこと及びその後の改良点について述べている。

2. 搬放線の群遅延時間ひずみ

図 1 は(株)北海道放送で使用中のラジオ放送用中継線について測定した群遅延時間特性を示したもので、札幌局と函館局間の往復の特性である。これから分かるように 1 kHz 以下の低域部で遅延ひずみが急増し、低周波になるほど大きくなり、100 Hz 以下では 30 mS 以上にもなっていることが分る。この低周波成分の遅延が原因となって、実際の音声ではこもったような音になる。このような群遅延ひずみは音声信号が NTT 回線に入る際、搬放端局装置で急峻な減衰特性をもつ帯域フィルタを通るためである。従って、群遅延時間ひずみ量は搬放端局装置を通った回数に比例

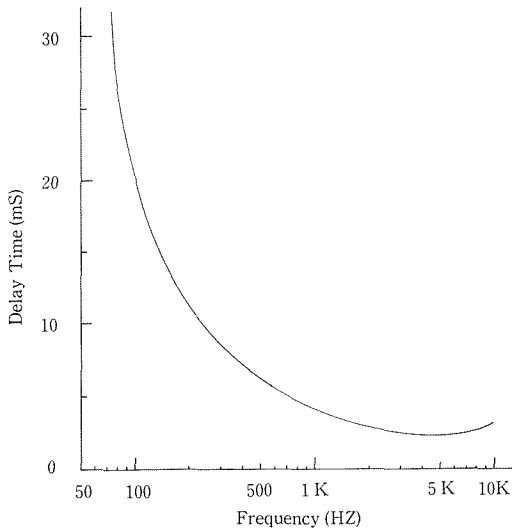


図1 搬送線の群遅延時間特性

する。

今回はこの遅延ひずみに対し、受信側でオーディオ帯に復調された信号を対象として遅延補償を行った。

3. FFT を利用した周波数領域での遅延等化

遅延等化は FFT を利用して信号を周波数領域に写像し、回線の位相特性の逆特性を乗じた後 IFFT (逆 FFT) で時間領域信号に戻し、補償データと連続的にたたみ込みを行ったことと同じになるように重畳加算 (overlap-add method) して出力データを得ている。この方式は計算回数が少ないため高速演算ができ、実時間処理が可能になっている。

ところで、実際に入力された信号のスペクトルを求めるには無限区間の積分をしなくてはならないので、実時間処理はできない。また DFT (Discrete Fourier Transform) は、時間領域では各フレームごとのサイクリック・コンボリューションに対応し有限データであるから、乗じる値の補償データは回線の逆特性をそのまま入力することはできない。今、L 点の入力データと M 点の補償データがある場合、たたみ込みの結果は $N=L+M-1$ 点となり、周波数領域での乗算結果が時間領域で全てリニア・コンボリューションとなるためには、FFT のデータ数は N 点以上でなければならない。今回は $L=128$, $N=512$ としたので $M \leq 385$ である必要がある。従って補償データは IFFT の結果、少なくとも 127 点の零点を持たなければならないことになり、そのようにデータを作り変える必要がある。今回は適当なデータ位置の 127 点を零点とし、補償データとしている。

しかしここで、今後さらに高速で大容量の DSP ができ、N を 512 から 1024 あるいは 2048 にできた場合を考えてみる。図 2 のように、サンプリング周波数 f_s を同じ値とすると N に比例して T が大きくなる。補償データのインパルス応答は低周波成分が減衰しながら尾を引いているような波形であるので、T が大きくなるに従って補償データは時間領域で減衰している部分をもつことになり、いずれは無視できるほど小さくなって零点と見なせるようになる。従って時間領域で零点を作る煩わしさがなくなり、直接回線の逆特性を入力して補償が行えると考えられる。これは適当な遅延ひずみをもつ関数で、計算機シミュレーションで確かめられている。

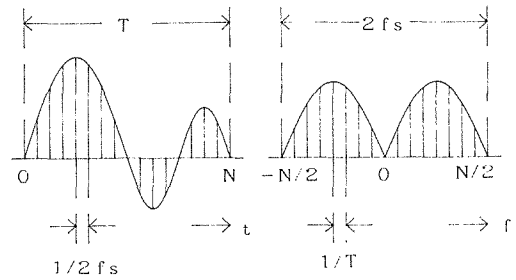


図2 DETの変換対

他に N を大きくすることにより、周波数領域では間隔が狭くなるため、離散的補償のために生じていた群遅延時間特性のサンプル点間でのリップルが小さくなるということも考えられる。

4. システム構成

DSPはFFTによる計算処理を行うものが4個(DSP 1~4)と、全体の制御を行うControl-DSP(C-DSP)が1個で計5個使っている。

図3に全体の構成団を示す。まず入力データはC-DSPに入り、128点ずつ順にDSP 1~4に振り分けられる。DSP 1~4はそれぞれこのデータに対して計算処理を行い、結果をそれぞれERAM 1~4(外付RAM)に格納する。C-DSPはその計算結果を順次ERAMから取り出し、128点ずつずらして重畳加算を行い、出力データをD/Aコンバータへ送り出すようになっている。

5. システムの特性及び実験結果

図4はシステムの群遅延時間特性(A)とその近似目標との差(B)を示したものである。低周波での遅延時間は実際の回線では30 mSにも達するが、ここでは補償データが385点(時間にすると18.3 mS)であり、それ以上の補償は行えないので164 Hz以下は位相を放物線近似して図のようにした。またDSPのROMの容量制限から、2,626 Hz以上は位相を直線近似した。しかし高周波の方はほとんど遅延ひずみがなく、全体的に200 Hz以下の低域部を除くと十分に等化されている。

図5は振幅特性で全体的にリップルが生じているが、原因は補償データを時間領域で385点という有限な値をしたためと考えられる。しかし大体1 dB以内に収まっており、ほとんど平坦であると言ってよい。

また、図4・図5の10 kHz付近の部分はシステムのアナログ部の低域通過フィルタの影響である。

写真1・2は北海道放送の札幌局と江別局の往復の実験で、断続的な正弦波を4周期分入力した場合の回線を通してひずんだ波形(上)とシステムによる補償後の波形(下)である。写真1の $f=130$ Hzのときは補償しきれないが、写真2の $f=800$ Hzくらいになると200 Hz以下の低

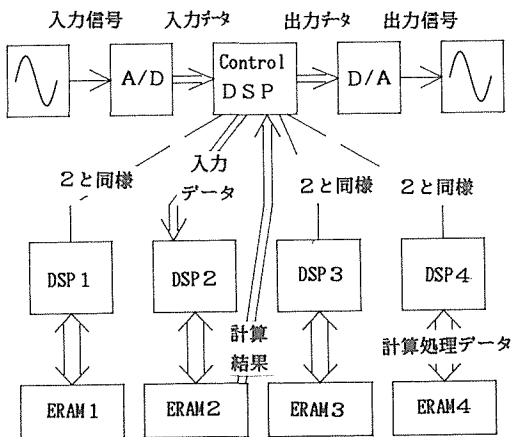


図3 システム構成

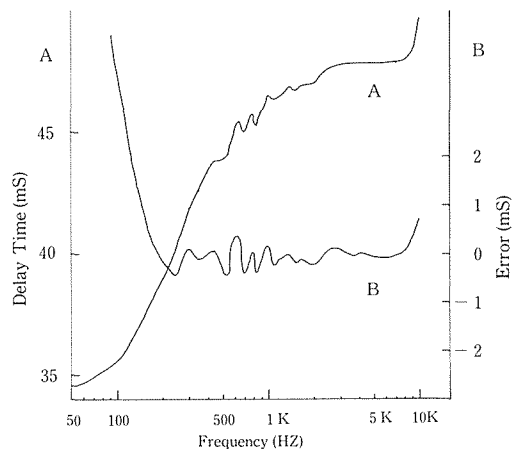


図4 群遅延時間特性

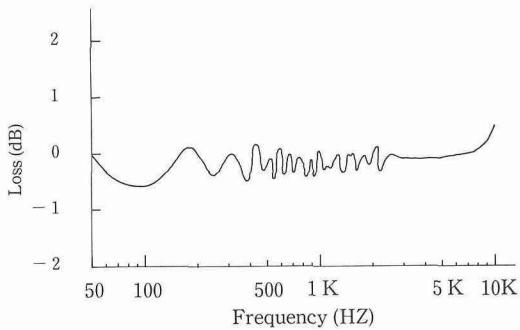


図5 振幅特性

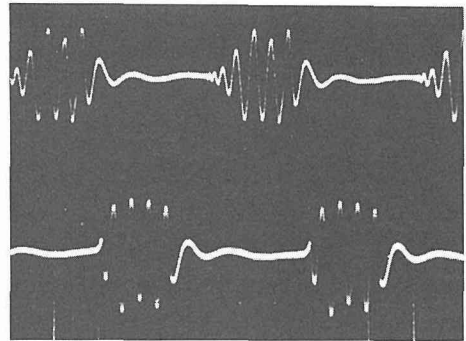


写真1 トーンバースト波 (f=130 Hz)

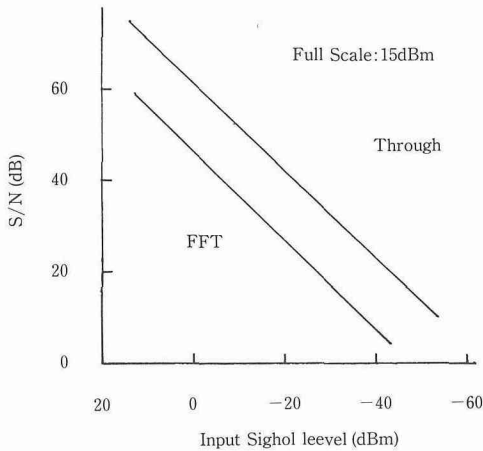


図6 S/N比

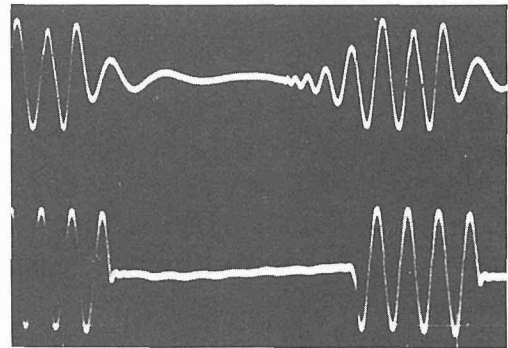


写真2 トーンバースト波 (f=800 Hz)

周波成分が少さくなるため、良好に補償されて尾を引くようなひずみが消滅し、非常にきれいな波形となっている。

さらに実際にこもったような音となった男性の声をシステムに通して聴いてみたところ、残響音のようなものがなくなり非常に聴き易くなっている。

6. S/N比に関する考察

このシステムにより群遅延ひずみの補償はできたが、残る問題としてS/N比の劣化があり、それに関する一考察を述べる。

図6はFFTによる計算処理を行ったもの(FFT)と行わないでそのまま出力したもの(Through)とのS/N比を示したものであり、計算処理を行うことにより約16 dB S/N比が劣化している。最大の原因としては、DSPの乗算が16ビットの固定小数点演算であることによる丸め誤差と考えられる。そこでこれに対して、入力データが小さいときデータ全体をレジスタの左へシフトするというAGC(Automatic Gain Control)を考案した。

図7はそのブロック図を示したものである。まず128点の入力データの中で絶対値の最大値(ピーク値)を検出し、それによって例えば図8のように決定される値Aを全体に乗じる。次にそのデータに対し、同じFFTによる遅延等化の計算処理を行い、最後に1/Aを乗じてもとに戻す方式である。この結果、例えばピーク値が1000(16進16ビット)以下のとき2ビットシフト

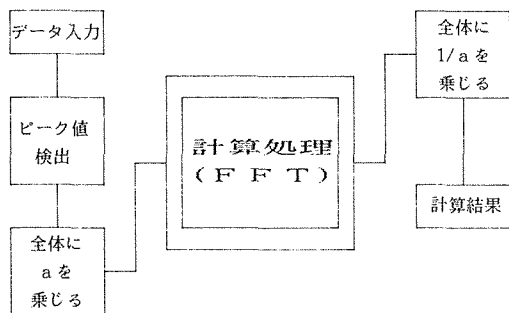


図7 ブロック図 (AGC)

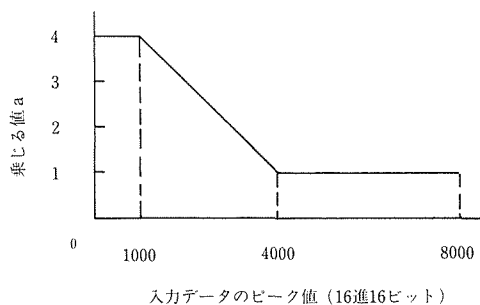


図8 乗じる値 a (AGC)

され、計算処理中は18ビットのようになり、S/N比はAGCを行わないときよりも+12 dB上昇すると考えられる。実験では実際に約+10 dBほど上がっている。

7. あとがき

本報告は、DSPによるFFTを利用した遅延等化器について、そのシステム構成と特性・実験結果、及び文献(2)で言及できなかったS/N比に関する考察について述べた。

このシステムは丸め誤差を小さくするためにAGCを用い、それによってS/N比を上げることができた。ここで用いたAGCは線形処理であり、例えばコンパングのように出力結果に非線形ひずみを生じることはない。またFFTに限らず一般にフレーム処理を行うものは、オーバーフローを起こさない程度にAGCを行うことにより、必ずS/N比を上げることができる。

また今後、より高速で大容量のDSPが出現すればFFTのフレーム長Nを大きくでき、補償データを直接入力できることも可能となるし、より大きな遅延ひずみにも対処できるようになる。なおこの場合にも、AGCは常にS/N比を上げるために使用できる。

謝 辞

本論文の作成に際し、多大なる御助言及び御協力を下さいました(株)富士通の横内部長、雁部技師及び(株)北海道放送の柏倉技術部長に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 柏倉, 沼田: "中波ラジオ放送用中継線の群遅延時間ひずみとその等化" テレビジョン学会技術報告 RE 83-37
- (2) 小川, 高橋, 雁部, 柏倉: "中波ラジオ放送中継線用遅延等化器" テレビジョン学会誌 Vol.40, No.2 (1986)