ノート

Digital Cross-correlator による画像処理

弘前大学医療技術短期大学部

加 藤 慶 徳

(論文受理 昭和56年 8 月28日)

(Code No. 233, 24550)

Key words: Digital cross-correlator, Image process

IMAGE PROCESSING BY USED THE DIDITAL CROSS-CORRELATOR

YOSHINORI KATOU

Division of Medical Radiology, College of Nursing and
Medical Technology, Hirosaki University, Hirosaki

(Article received; Aug. 28, 1981)

Summary

We manufactured for trial an instrument which achieved the image processing using digital correlators. A digital correlator perform 64-bit parallel correlation at 20 MH. The output of a digital correlator is a 7-bit word representing. An A-D converter is used to quantize it a precision of six bits. The resulting 6-bit word is fed to six correlators, wired in parallel. The image processing achieved in 12 bits, whose digital outputs converted an analog signal by a D-A converter. This instrument is named the digital cross-correlator. The method which was used in the image processing system calculated the convolution with the digital correlator. It makes various digital filters. In the experiment with the image processing video signals from TV camera were used. The digital image processing time was approximately 5 μ s. The contrast was enhanced and smoothed. The digital cross-correlator has the image processing of 16 sorts, and was produced inexpensively.

1. はじめに

近年、医療においても CT, RI を始めとして、エレクトロニクスが著しい勢いで進出している。このエレクトロニクス技術を利用して精密かつリアルタイムに画像処理を行う技術開発が望まれて来た。この目的を遂行するため digital cross-correlator (デジタルの相互関器) を試作し、X線像を用いて比較検討を加えた。なお、画像処理のアルゴリズムは0または1の2値系列¹⁾を使用

し、処理時間²⁾は約 5 μ s である。

2. 原理と実験方法

一般に、関数 $V1(t)$ と $V2(t)$ の相互相関 (以下相関と記述) は数字的公式^{3,4)}より

$$R12(r) = 1/F_0 \int_{-T_0/2}^{T_0/2} V1(t) V2(t+r) dt \quad \dots\dots\dots(1)$$

で表わす。これらの関数は周期関数であり、 T は関数の周期を示す。また、 $V1(t)$ と $V2(t)$ のコンボリュージ

ジョン (合成積分) は,

$$C(r) = \int_{-\infty}^{\infty} V_1(t) V_2(r-t) dt \quad \dots\dots\dots(2)$$

になり, 次のようにも表わされる。

$$C(r) = \int_{-\infty}^{+\infty} V(t) h(r-t) dt \quad \dots\dots\dots(3)$$

上式の $V(t)$ は入力関数, $h(n)$ は伝達するシステムのインパルス応答を示す. この相関とコンボリューションをデジタルで計算するには相関 $R(t)$ およびコンボリューション $Y(n)$ ⁵⁾は,

$$R(n) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} V_1(k) V_2(n+k) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$Y(n) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} V(k) h(n-k) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} h(k) V(n-k) \quad \dots\dots\dots(5)$$

になる. 変数 n, k は式 (1), (2) の r と t に対応し整数である. 変数 k は相関で前方向, コンボリューションでは後方向に移動するが, いずれも時間的なシフトを意味するので, 相関とコンボリューションは同一である.

コンボリューションの操作を行うデジタル相関器は, Fig. 1 に示すように, 1 ビットのデジタルデータを時間シフトするデータレジスタ (以下Aレジスタと記述), 乗算を行うビット幅を規定するマスクレジスタ (以下Mレジスタと記述), 信号処理に用いる 0 または 1 の 2 値系列が入力するリファレンスレジスタ (以下Bレジスタと記述) とこの符号を記憶するリファレンスラッチ (以下Rラッチと記述), 乗算を行うイクスクルーシブ・ノア.

Fig. 1. A digital correlator can perform 64bit parallel correlation at 20 MH. Data in the A register and R latch are continually compared bit-for-bit by the exclusive-NOR gates, whose outputs are applied to the digital summer via AND gates. The output of the digital summer is a 7-bit word representing.

CORRELATOR TRUTH TABLE

OVERALL LOGIC

REGISTER VALUE			BIT
M	A	B	OUTPUT
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

CORRELATOR LOGIC DIAGRAM

Fig. 2. The correlator truth table is exclusive-NOR multiplication logic by loading the two data streams into the A and B registers of the digital correlator and filling all desired correlation positions of the M register with "1".

乗算結果を積分するデジタルサマーから構成し, 積分の結果は 7 ビットの並列デジタル信号で出力する.

A, Bレジスタ内の 0 または 1 の 2 値レベルは, おおの +1 または -1 として扱い, 符号関数 (sign 関数) を表わす. よって, AレジスタとBレジスタの乗算は, ネガティブ・ポジティブの乗算になり, 論理回路ではイクスクルーシブ・ノアに相当する. デジタル相関器の真理値表は, Fig. 2 に示すように, Mレジスタが 1 の時, AレジスタとBレジスタのイクスクルーシブ・ノア (ネガティブ・ポジティブの乗算) を行い, 両レジスタの 2 値状態が同一である時だけ出力が表われる. 下図は A, B, Mレジスタの接続する論理図を示し, 2 入力アンド回路はイクスクルーシブ・ノアの出力とMレジスタの 2 値状態で制御する.

実際に, デジタル相関器を用いてコンボリューションを計算するには, k の負の領域が必要なく, また累積加算数が有限であるため, 式(5)は,

$$Y(n) = \sum_{K=1}^m V(k) h(n-k) \quad \dots\dots\dots(6)$$

になる. ただし, n はAレジスタのビット番号, m は累積加算数を示す. 1 ビットのデジタルデータに対する一個のデジタル相関器を使用したコンボリューションは, Fig. 3 に示すように, A, B, Mレジスタに次のような 2

Digital Cross-correlator による画像処理 (加藤)

CONVOLUTION WITH THE CORRELATOR

Fig. 3. Convolution requires the logical exclusive-NOR function. Two finite function, A and B, have been loaded into the A and B registers, respectively.

値系列が入力している。この状態でクロック 1 のコンボリューションは、

$$\begin{aligned}
 Y(n=8) &= \sum_{K=1}^4 \text{sgn}[A(k)] \text{sgn}[B(8-k)] \\
 &= \text{sgn}(A_3B_5) + \text{sgn}(A_4B_4) + \text{sgn}(A_5B_3) \\
 &\quad + \text{sgn}(A_6B_2) \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

$A(k)$, $B(k)$ は $V(k)$, $h(k)$ に対応し, sgn はカッコ内の値が符号関数, この場合は 0, 1 の 2 値系列になる。また, A レジスタを右側に 2 回シフトしたクロック 3 は、

$$\begin{aligned}
 Y(n=8) &= \sum_{K=1}^4 \text{sgn}[A(k)] \text{sgn}[B(8-k)] \\
 &= \text{sgn}(A_4B_4) + \text{sgn}(A_5B_5) + \text{sgn}(A_6B_6) \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

このような操作を行い, M レジスタと B レジスタで離散的なインパルス応答を作る。

n ビット (n は正の整数) のデジタルデータに対するコンボリューションの方法は, 1 ビット当たり 1 個のデジタル相関器を接続し, デジタル相関器の並列 7 ビットの出力に一定の加重をする。たとえば, 最下位桁 (LSD) の出力は 2^0 倍, 次のビットは 2^1 倍, 最上位桁 (MSD) に接続するデジタル相関器の出力は, 2^{n-1} 倍するために多数のフルアダー(全加算器)の集合体であるデジタルサマーマーに接する。また, デジタル相関器群の B レジスタと M レジスタは, 1 ビットのコンボリューションに使った 2 値系列が入力する。Fig. 4 はアナログ信号を 6 ビット

SIX-BIT CORRELATION

Fig. 4. An analog-to-digital converter can be used to quantize it a precision of six bits. The resulting 6-bit word can be fed to six correlators, wired in parallel.

DIGITAL CROSS-CORRELATOR

Fig. 5. Digital cross-correlator system processed in a 12-bit for the video signal which sampled a 6-bit A-D converter. The digital processing signal converted the analog signal by a D-A converter.

の高速 A-D 変換器を用いてデジタルに変換し, 1 ビット当たり 1 個のデジタル相関器を使用した 12 ビットの並列デジタル出力を得るハードコンボルバを構成した図である。

上述のコンボリューションを画像処理に利用した digital cross-correlator は, Fig. 5 に示すように, 撮像管または CT, RI 等のビデオ・アウトから得た映像信号を高速 A-D 変換器で 6 ビットのデジタルに変え, デジタル相関器の 12 ビット画像処理を行い, 再度 D-A 変換器を用いてアナログ信号に直し, 同期信号を加えモニターに出力する。符号発生器はデジタル相関器群の B レジスタと M レジスタに 2 値系列を供給する。

Digital cross-correlator の本体は, Fig. 6 に示すように, 基板 6 枚で画像処理を実行し, この装置の操作は上部のスイッチ群と可変抵抗器で行う。

3. 実験結果

Fig. 6. The digital cross-correlator is the thing itself.

Fig. 7. When the input signal employed a square wave, the output signal showed the impulse response.

Digital Cross-correlator を使用した信号処理のシュミレーションは、Fig. 7 に示すように、インパルスに当る矩形波を入力した時の離散的なインパルス応答を示す。上図は高周波の応答を低下させるデジタルフィルタを伝達した波形であり、下図はその逆に高周波領域の応答が良好な出力波形である。

実際的に、CT のX線像を撮像管から得たアナログ画像は Fig. 8 になる。この画像を高周波成分を強張する低域通過フィルタで処理した画像は Fig. 9, 10 になる。Fig. 11 は胸部断層像を撮影した図である。同様に、コントラストを明瞭にする低域通過フィルタを伝達した画像は、Fig. 12 に示すように、デジタルで処理しているのが理解できる。

4. 考 案

今回、われわれが試作した digital cross-correlator は、アナログ画像を64段階のグレースケールで A-D 変換を行い、12ビットの画像処理を実行し、D-A 変換器を用いて再度アナログに直し画像を作る。このため精密なデジタルフィルタ処理ができる。

Fig. 8. This photograph applied the ACTA 200FS CT image. The analog image took a photograph from the TV camera.

Fig. 9. This image processed by the broad low pass filter 1.

Fig. 10. This image processed by the broad low pass filter 2.

Digital Cross-correlator による画像処理 (加藤)

Fig. 11. The photograph applied the tomograph.

Fig. 12. It is a image that transmitted the broad low pass filter.

画像処理時間はデジタル相関器におけるAレジスタのビット数とAレジスタを駆動するクロックの周期を掛けた時間になる。たとえば、クロックが20 MHz, Aレジスタが64ビットであると、 $64 \times 50 \times 10^{-9} \text{s} = 3.2 \times 10^{-6} \text{s}$ の処理時間になる。従って、このコンボリューション法を用いたデジタルフィルタはアナログフィルタと同等の処理時間が得られるため、デジタルのゴースト除去装置やデジタル方式の次世代テレビにかかせないデジタルピーキング回路等広い用途がある。ただし、このデジタルフィルタはトランスバーサルフィルタ (FIR) である。

解像力⁷⁾⁸⁾は、標本化定理から高速 A-D 変換器を駆動するクロック速度に依存し、約 7.7 MHz になる。これをデジタル画像を評価するマトリックスで表わすと、 800×300 位になる。さらに、A-D変換器とデジタル相関器群を追加した高分解能になると、DC-20 MHz まで解像力が上がる。縦方向の分解能は走査線の本数に依存するため、分解能を向上させるには走査線の本数を増す必

要がある。

画像処理の精密度⁹⁾は、デジタルデータの1ビットに接続するデジタル相関器の個数に関係する。3個のデジタル相関器を使用した高精密度型は、デジタル相関器の出力ビット数が9ビットになり、各デジタル相関器の接続方法はデジタルサマーを使う。

実験に使用した撮像管は旧式のビデコンを使用したため、画面の均一性、画像の歪、解像力に若干の問題があった。

本装置は、現在狭帯域の低域通過フィルタや広帯域の低域通過フィルタ等、16種類のデジタルフィルタを装備している。その他に、帯域除去フィルタを除いた帯域通過フィルタも可能である。

5. 結 論

Digital cross-correlator は画像処理のデジタルデータが12ビット並列信号で取り出せる結果、インターフェースを通してコンピュータやメモリにデジタルデータをロードすることができる。また、メモリ内に2値系列を記憶したコンピュータによって、信号処理あるいは画像処理専用のデジタル・ハードコンボルバとして使用できる。加えて、演算にコンピュータを使用する画像処理装置に比較して低廉に製作し得る。

文 献

- 1) 伊理正夫, 伊理由美: 2値系列, 共立出版, (1977)
- 2) 横井与次郎: リニア IC 実用回路マニュアル, ラジオ技術社, 317-329, (1975)
- 3) S. C. Tanaka: Binary Analog Correlator/R5401, Reticon technical Note, (1978)
- 4) Gene B. Weckler: Sampled-data Analog Delays and Signal Processing with Charge Transfer Devices, Reticon technical Note, (1978)
- 5) John Eldon: Digital Signal Processor, TRW technical Note, (1980)
- 6) J. Barnes, J. Gutman, R. Hodgson: CMOS handbook, エレクトロニクスダイジェスト書店, 272-282, (1975)
- 7) 滝保夫: 通信方式, コロナ社, 111-145, (1965)
- 8) 加藤慶徳, 他: CT スキャナにおける解像力について, 弘前大学医療技術短期大学紀要, 48-55, (1979)
- 9) John Eldon: A Powerful Technique for Digital Signal Processing, TRW application manual, (1980)
- 10) トーマス・フィッシャー: デジタル方式の次世代テレビ受像機を実現する LSI, 日経エレクトロニクス, 278, 233-247, (1981)