

高性能拡大読書器の開発

横田 裕史^{*1)} 日比野 克彦^{*2)}

Development of a high performance closed circuit TV

Hiroshi Yokota^{*1)}, Katsuhiko Hibino^{*2)}

We succeeded in developing a small, light, high performance closed circuit TV at low cost. The closed circuit TV is welfare equipment for amblyopic people who account for most of the visually handicapped and especially for the severely amblyopic. It is often set up in libraries and the official body of Facilities for Senior Citizens and the Disabled etc. Old goods have expanded characters and images by optical zoom. As the structures are formed from several expensive optical lenses, there are many of these expensive, large fixed types. Then, assuming mobile usage, a small, light product to be carried with a notebook PC was planned. It connects with the USB port of the notebook PC, and is managed by software on the PC, and as power is supplied by the USB port it is unnecessary for the camera to have a power supply. Moreover, we used a board lens for CMOS cameras of 1.3 million pixels to keep the price low. Expansion uses image data processing technology, and by software managed on the notebook PC, digital zoom is utilized. The problem when expanding by digital zoom is deterioration of the image chiefly from mixing of the noise element from when taking the image. Then, we developed software that removed the random noise by spatial filter processing and temporal axis filter processing for expanding by third interpolation processing. We achieved good results in making a trial product of the closed circuit TV that maintained image quality of the original picture image and enabled high magnification of characters.

キーワード：拡大読書器，デジタルズーム，画像処理

Keywords：Closed circuit TV, Digital zoom, Image data processing

1. はじめに

拡大読書器は、視覚障害者の多くを占める弱視者、とりわけ重度弱視者向けの福祉機器である。書籍や文献、新聞等の文字や画像を、モニタ画面に大きく拡大して表示する機器である。ルーペやメガネ等と比べて高倍率で拡大できる点が特徴である。図書館や福祉施設等の公的機関では、設置され利用されていることが多い。拡大読書器を使用している弱視者は、単に本や図を見るだけでなく、自分自身が書く文字等も拡大し、拡大読書器で読んだり書いたりする場合もある。読み書きで不自由さを感じている部分をかなり補ってくれる機器である。内閣府統計「障害者白書」によると日本国内には約30万人、米国商務省統計によると米国には約900万人、重度弱視者がいる。

従来品は、据え置きを前提としたものが多く、持ち運びは困難である。そこで、株式会社ポート電子と共同で、モバイル用途に対応した拡大読書器を企画し、開発・試作を行った。

2. 開発品の設計方針

2.1 開発品のコンセプト

従来品が大型で重量があることから、据え置き型が多い。そこで、モバイル用途を想定し、小型・軽量で持ち運びが可能な製品を想定した。また、従来品は高価であり、さらなる価格上昇につながると、製品としては魅力が薄れてしまう。一方で、低価格を追求するため、安価な部品を用いて実現することで、低性能あるいは低機能な製品となった場合、同様に魅力が薄れるとともに、安易に他社の模倣・追随を許すこととなる。

そこで、従来製品との比較を行い、開発目標を設定した（表1参照）。従来品と大幅に変える点は、主に機器構成と拡大方法である。開発品の主な特徴は以下の2点である。

機器構成：カメラ部分とUSB接続されたノートパソコンで拡大読書器として機能する。ノートパソコンとともに持ち運び、パソコンにUSB端子で接続して使用する製品を想定した。部品点数を削減することにより、低価格で小型・軽量の製品の実現を目指した。

^{*1)} ITグループ

^{*2)} 株式会社ポート電子

表 1. 従来品との比較および開発目標

	従来品例	今回の開発品	開発目標
外観			ノートパソコン と USB 接続
	据置型	モバイル対応	
接続	RGB 端子またはビデオ端子でモニタに接続	パソコンに USB 端子で接続	
電源	商用 100V	パソコンの USB 端子から供給	商用電源不要
拡大	光学ズーム	デジタルズーム	高機能
重量	約 10kg 程度	(目標) 1kg 以下 (本開発品)	小型・軽量
価格	20 ~ 50 万円	(目標) 10 万円程度 (本開発品)	低価格

デジタルズーム：文字や画像の拡大はデジタルズームにより行う。従来品は、光学ズームで拡大を行っているために、高価で大型となっている。デジタル画像処理技術を用い、パソコン側でソフトウェア処理により行う。

2.2 機器構成

従来品は、カメラとコントローラ、さらに AV 端子で接続された TV モニタから構成される。コントローラには CPU を搭載し、カメラの制御や画面の 2 値化、白黒反転等については、ハードウェアによる制御で行っている。

開発品は、シンプルなカメラ部分と USB 接続されたパソコンで構成される。カメラの制御や、処理負荷の重いデジタル画像処理については、全て高性能なパソコン側の CPU がソフトウェア処理により実現している。カメラのオートフォーカス制御、画面の 2 値化、白黒反転、コントラスト、デジタルズーム、ノイズ除去等について、全てデジタル画像処理技術を用いて行っている。

パソコンは市販品であり、本開発内容は、カメラ部分とパソコンで使用する拡大読書器用ソフトウェアである。カメラ部分の構造は非常にシンプルであり、安価、小型・軽量に寄与している。

カメラ部分の内部構成は、以下の部品のみで構成される。

レンズ：低価格なボードカメラ用レンズを使用した。

CMOS センサ：光を電気信号に変換する受光素子は、近年普及が進んでいる低価格な CMOS センサを用いた。

USB インターフェイス回路：パソコンとの接続用回路。

カメラ用の直流電源は、USB 端子を通じてパソコンから給電するため、カメラ用の電源回路は不要である。商用 100V 端子に接続する電源ケーブルも不要であり、カメラ側の接続端子は USB 接続端子のみである。

また、この構成のメリットとして、処理は基本的にパソコン側で行うため、新しい機能を追加する際は、パソコンの Windows 環境にてソフトウェアを追加することで容易に機能追加が実現可能となる。

2.3 デジタルズーム

従来品は、画像の拡大については、光学レンズを用いたハードウェア制御による光学ズーム方式で行っている。

開発品は、デジタル画像処理技術を用いたソフトウェア処理によるデジタルズーム方式で行っている。両者には、表 2 に示す長所、短所がある。

表 2. 光学ズームとデジタルズームの比較

特徴	光学ズーム	デジタルズーム
長所	拡大により 画像が劣化しない	安価・軽量
	但し、画面全体が 暗くなる場合がある	ソフトウェア処理のため、 カメラ部分の構造がシ ンプルで部品点数が少ない
短所	高価・重量	拡大により 画像が劣化する
	複数の高価な光学レン ズを使用し、焦点距離を 変更するメカニズムが必 要なため、構造が複雑で 部品点数が多く重い	不足する画素を 補間する必要がある

デジタルズームのしくみは、撮像素子の中央部分で撮影した画像を拡大することである（図 1 参照）。

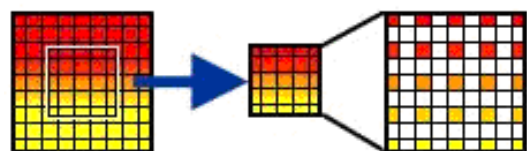


図 1 デジタルズームのしくみ

拡大により不足する画素を補間する必要がある。これを、デジタル画像処理技術を用いて実現する。

3. デジタル画像処理による拡大機構の試作

3.1 デジタル画像処理

自然界の画像は連続量で表現されるアナログ画像であり，これを離散的な値である画素を用いて変換したものがデジタル画像である（図2参照）。

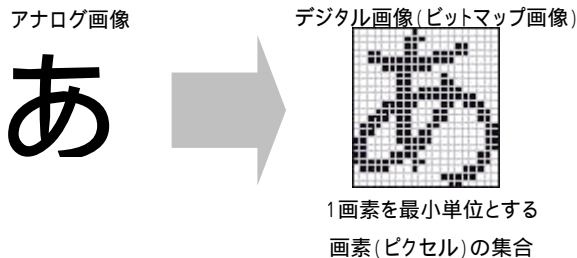


図2 アナログ画像からデジタル画像への変換

連続したアナログ画像を，画素単位にデータに変換することを標本化という。連続画像の標本化は，連続画像と矩形関数の畳み込みにより求めることができる。矩形関数のフーリエ変換は標本化関数 sinc(x)で表現される(図3参照)。

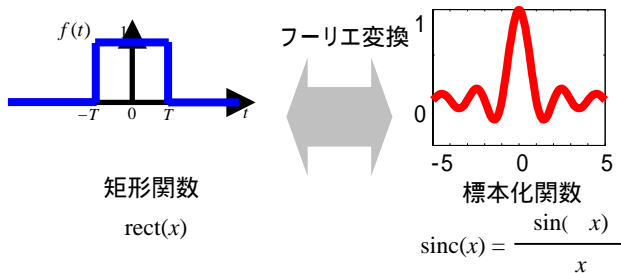


図3 矩形関数と標本化関数

標本化定理によると，標本化間隔をある空間周波数以上にとれば，理論的には標本点から連続画像を完全に復元できる。この復元はフーリエ逆変換によって行われる。

3.2 画像補間

3.2.1 拡大補間処理

デジタルズームにより不足した画素の補間処理方法には主に以下の3つの方法がある。

表3. 補間方法の比較

最近傍法 (ニアレストネイバー)	補間したい点に最も近い点の画素値を求める点の画素値とする	処理が 軽い ↑ ↓ 画像が きれい
線形補間法 (バイリニア)	補間したい画素の周囲4点の画素を用いる。距離に応じて加重平均する	
3次補間法 (バイキュービック)	補間したい画素の周囲16点の画素を用いる。標本化関数(sinc関数)を使用する。	

3次補間法は，画素の補間に標本化関数を用いており，原画を最も忠実に再現することが可能である。画像処理ソフトやCG等で主に用いられている。一方で，他の方法に比べて処理負荷が非常に重い。開発品は高性能なパソコンのCPUを用いて演算をする構成であるため，3次補間法による処理が可能となった。

3.2.2 3次補間処理

補間したい画素(x,y)の周囲16点(f11~f44)の画素を用いる(図4参照)。補間関数 h(x)には標本化関数(sinc(x))を用いる。

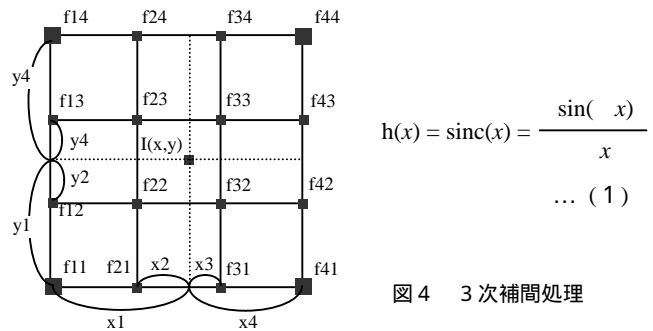


図4 3次補間処理

補間する画素値を I(x,y)とすると，次式で表される。

$$I(x,y) = [h(x1) h(x2) h(x3) h(x4)] \begin{pmatrix} f11 & f12 & f13 & f14 \\ f21 & f22 & f23 & f24 \\ f31 & f32 & f33 & f34 \\ f41 & f42 & f43 & f44 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h(y1) \\ h(y2) \\ h(y3) \\ h(y4) \end{pmatrix} \dots (2)$$

関数 h(x) = sinc(x) は正負に無限大であるため，実際には近似した以下の三次多項式を用いる。

$$\begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & (|x| \leq 1) & \dots (3) \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & (1 < |x| \leq 2) & \dots (4) \\ 0 & (2 < |x|) & \dots (5) \end{cases}$$

デジタルズームによる拡大機構の試作においては，以上をソフトウェアに実装することにより実現した。

3.3 デジタルノイズ除去処理

画像にノイズがのる原因は様々である。撮影方法やレンズの歪みなどに因るものの他，撮像素子にCMOSを用いていることから電子回路における，暗電流ノイズ，熱雑音ノイズなど原因は多岐にわたる。これらの画像ノイズを取り除く必要がある。そこで，空間フィルタによるノイズ除去，時間軸ノイズ除去を試みた。

3.3.1 空間フィルタ

注目画素とその周辺の画素を用いて，3×3や5×5等のマトリクスをオペレータとして行う演算処理である。画像内に含まれる雑音の除去等，画像処理を行う。以下の空間フィルタのソフトウェアへの実装を行った。

3.3.1.1 メディアンフィルタ

インパルス雑音と呼ばれるノイズ除去に効果がある。注目画素の周辺の値をソートし，その中央値を値に設定するフィルタである。

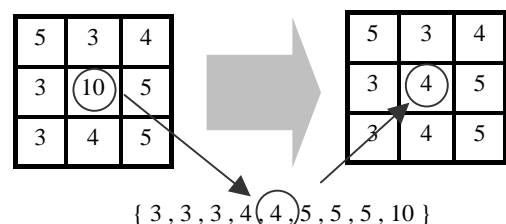


図5 メディアンフィルタ

3.3.1.2 加重平均値フィルタ

白黒濃淡の変化の大きい文字等の拡大の場合、ギザギザが出やすい。これを取り除く目的で平均値フィルタを使用する。滑らかになるが、ぼけるという短所もある。そこで、加重平均フィルタを用いた（図6参照）。

f	e	d	e	f
e	c	b	c	e
d	b	a	b	d
e	c	b	c	e
f	e	d	e	f

図6 加重平均フィルタ
注目画素に近い点には大きな重みを、遠い点には小さな重みを付けて、加重平均をとる。

3.3.2 時間軸ノイズ除去

動画映像では、連続するフレーム間でランダムなノイズ（画面がチラチラする、近似色内が揺れ動く）が発生する場合があります。キャプチャ時にノイズがのる可能性がある。フレーム間の情報を時間軸で比較しながら、ノイズの除去を行う（図7参照）。

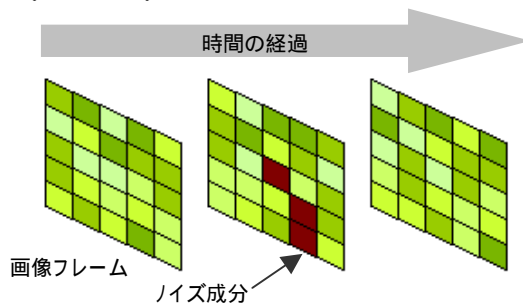


図7 時間軸ノイズ除去の原理
突発的に発生するノイズを、その前後の数フレームと比較して識別し除去する。入力ノイズを低減することで画質の向上に寄与する。

具体的には、1回の撮影で複数フレームをキャプチャし、順に加算して平均する。動画に対して行くと、動きが消える等の短所もあるため、静止画を対象とした。

4. デジタルズーム方式の拡大読書器の評価

開発品は、3次補間法による拡大を行い、空間フィルタによるノイズ除去および時間軸ノイズ除去による対策を行った。結果として、自然画であれば縦横各10倍程度、モニタ上では縦横各20倍程度までは、原画の画質をあまり損なわずに拡大が可能となった。



図8 試作機の外観および文字拡大の様子

一方で、文字は白黒濃淡の変化が激しいため、エッジ部でややぼける傾向にあるが、画面表示機能として、白黒2値化や白黒反転を用意しているため、こちらを用いること

により、実用に耐えるレベルにあることを確認した（図8）。

5. まとめ

本共同開発研究は、製品の企画を行う段階から取り組みを行った新製品開発である。モバイル用途を想定し、ノートパソコンとともに持ち運び、デジタルズームによる拡大処理をパソコン側で行う、小型・軽量の製品を企画した。

拡大による画像の劣化や画像ノイズ等の課題に対して、画像処理技術を応用したソフトウェア処理による課題の解決を行った。3次補間処理による拡大、空間フィルタ処理および時間軸ノイズ除去処理によるランダムノイズ除去を行うソフトウェアを開発し、原画像の画質を維持して、画像や文字の高倍率拡大を可能とする拡大読書器の試作品を開発した。

表4に試作品の仕様を示す。使う人の立場に立った機能性の向上を目指し、「低価格、小型・軽量、高性能」を実現した拡大読書器の試作を行うことができた。モバイル対応で、非常に使い勝手のよい試作品となり、製品化の後には視覚障害者の方にお使いいただけるものと期待される。

表4. カメラ部分のハードウェア仕様

撮像素子	1/4 インチ CMOS 130万画素 (1280×1024)
接続	パソコンに USB 端子で接続
電源	パソコンの USB 端子から給電
インターフェース	USB2.0 規格
画面表示	動画、静止画 (画面キャプチャ) カラー、白黒2値化、白黒反転
拡大倍率	動画 4 倍、静止画 20 倍
フォーカス	オートフォーカス
画像保存	JPEG BMP
撮影領域	Max 300×210 (mm) Min 122×86 (mm)
外形寸法	370×110×65 (mm)
重量	約 800g (試作品)
対応 OS	Windows XP 以上

(平成19年6月29日受付,平成19年8月13日再受付)

文 献

- (1) 大畑敏美, 北原枢, 土屋敏夫, 戸田知雄, 上野章, 糸永正敏: 「口腔内検査用カメラの開発」, 東京都立産業技術研究所研究報告, No. 6, pp. 113-114 (2003)
- (2) 佐藤正利, 大畑敏美, 加世田光義: 「個人宅設置型小型セキュリティ監視装置の開発」, 東京都立産業技術研究所研究報告, No. 7, pp. 81-82 (2004)
- (3) 横田裕史, 大畑敏美, 浅見樹生, 阿保友二郎, 大高忠, 日比野克彦: 「モバイル用プレゼンテーションカメラの開発」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, No. 1, pp. 30-33 (2006)
- (4) 酒井幸市: 「デジタル画像処理入門」, CQ出版社
- (5) 増田久喜: 「USBターゲット機器開発のすべて」, CQ出版社
- (6) 松原拓也: 「USB機器の製作」, 電波新聞社