

超広角レンズと歪補正処理を搭載した薄型インタホン子器

Thin-Profile Intercom Terminal with Built-In Ultra Wide-Angle Lens and Distortion Correction Processing

山中 陸裕* · 古川 聡* · 遠藤 淳平*
Mutsuhiro Yamanaka Satoshi Furukawa Junpei Endo

モニタテレビジョン付きインタホンにおいて、小型の超広角レンズと自然な描写のできる水平方向歪補正処理の組合せによって視野の拡大と視野上下角調整機構の省略を実現し、従来にない広角かつ薄型のインタホン子器を開発した。この子器には親機から操作するズーム機能が付加しており、照度とズーム位置情報に応じて映像制御条件を変更することで視認性の高い映像を実現している。

画像を水平方向のみに変形させる水平方向歪補正は、湾曲を低減しながらも2次元方向歪補正で顕著となる立体物の変形が少ない手法であり、開発品では、画像上の座標値の整数次式による歪の直接近似によって、より強い歪への対応と演算量の低減を実現している。

In a visual monitoring intercom system, an ultra wide-angle thin-profile entry unit has been developed by combining a compact ultra wide-angle lens and distortion correction processing in the horizontal direction for expanded view field and elimination of a vertical angle adjustment mechanism. This entry terminal is equipped with a zoom function operated from the master unit, and the automatic adjustment of image control condition provides high image recognition.

The distortion correction only in the horizontal direction adopted in this product results in the relatively small distortion of three-dimensional objects that often generate large distortion during two-dimensional distortion correction. The developed unit incorporates a direct approximation of distortion by using integral expressions of coordinate values on the image, enabling the accommodation of stronger distortion and reduction of computation volume.

1. ま え が き

普及率の高い住宅用セキュリティー機器であるモニタテレビジョン付きインタホンでは、訪問者を視認することがもっとも重要な基本機能であり、死角の少ない広視野の製品が望まれている。当社では1993年に水平画角120度の広角レンズと歪補正処理機能を搭載した「広角映像型モニターテレビ付きインタホン1型 WQS3109」を開発している¹⁾。

この製品は親機子器セットの高級機種として発売されたが、現在では①超広角レンズのプラスチック化によるコスト低減、②ASICやメモリーなど電子部品のコスト低減、③当社独自の映像・音声デジタル伝送システムに対し、容易に組合せが可能となることによるシステムメリットから、広視野角を全ラインアップ共通の標準機能とすることができる。

そこで筆者らは、歪補正などのデジタル信号処理回路をASIC化してコストダウンを図るとともに、広視野角を活かして従来にない薄型のカメラ付きインタホン子器を開発した。本稿ではこの製品開発に際して考案した技術について報告する。

2. 開 発 課 題

2.1 超広角撮像

横方向の死角をなくすことが訪問者の視認には有効である。それにはインタホン子器が取り付けられた壁に沿って立つ人であっても、顔の大部分を写し込むことができる横方向の画角が必要である。

従来はインタホン子器を取り付ける高さに応じて、写る範囲と訪問者の背丈を合わせ込むために、レンズを搭載した撮像素子基板の角度を上下に調整していた。この角度調整をすることなく訪問者の顔を写すことができる縦方向画

* 情報機器事業本部 情報機器R & Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

角が実現できれば、寸法やコストの低減において効果的である。

2.2 歪補正

超広角撮像を実現するためには魚眼レンズなみの超広角レンズを装備する必要があるが、そのレンズで生じる大きな光学歪は従来品で採用されている歪補正では対応しきれない。そのため従来よりも性能の高い歪補正法を開発する必要がある。

2.3 ズーム機能

視野が広がった分だけ人が小さく写ることになり、訪問者の顔などをはっきりと見ることができなくなる。そこで広視野と重要部の詳細確認が可能なズーム機能を開発する。

2.4 薄型化

従来品の厚みの制約であった角度調整機構をなくすことで製品の薄型化が期待できる。そこで子器筐体の厚みを従来品の1/2とするため、レンズ、撮像素子、信号処理回路も含めて小型化を図る。

3. 開発の詳細

3.1 小型超広角レンズ

平均的な肩幅の人が被写体となった場合に図1の画像を実現できるように超広角レンズを搭載する。歪補正処理が前提であるため光学歪の絶対量低減を重視せず、インタホニ器のレンズに向いている顔の歪が小さくなるように等距離射影²⁾という方式としている。

また、CMOS センサのパッケージを自社開発してカバーガラス前面からCMOS 素子本体までの光学距離を短くし、レンズ後端から結像面までの距離（レンズバック）を従来よりも短くしている。

前述の2点を考慮しながら、①2倍ズームに備えて周辺の結像性能を保つこと、②低照度でも鮮明画像を得るために大口径の明るいレンズにすること、③子器厚み低減のためにレンズ自体をコンパクトにすることの3項目を優先し

ている。

このレンズの軸が撮像素子の中心よりも上に位置するようにオフセットを付けて配置しているので、傾斜なしに取り付けられているにもかかわらず、レンズ位置よりも上方の領域を下方の領域よりも広く撮影でき、上の方にある人の顔を撮影するのに効果的である。撮像素子サイズに合わせて設計されたレンズでこのような配置にすると撮影画面の上端の隅にけられが発生して黒くなるが、本開発においては歪補正によりけられ部分を画像の外に出しているため問題とはならない。また、筐体内の大部分を占める大きな基板に撮像素子を実装することができるため、角度調整機構と撮像素子用小基板が不要となりスペースと部品点数の削減を実現している。

3.2 歪補正処理

3.2.1 光学歪について

ピンホール写真では、被写体側の1点から出た光線がピンホールを通して結像面に達するので、レンズ前方の平面上にある平面図形はそのままの形で結像面上に写り（図2(a)）、光学的に歪のない状態となる。しかし、一定の面積をもつ単レンズを組み合わせたレンズ系では歪のないものを作るのは困難で、画角の広い広角レンズでは中心から離

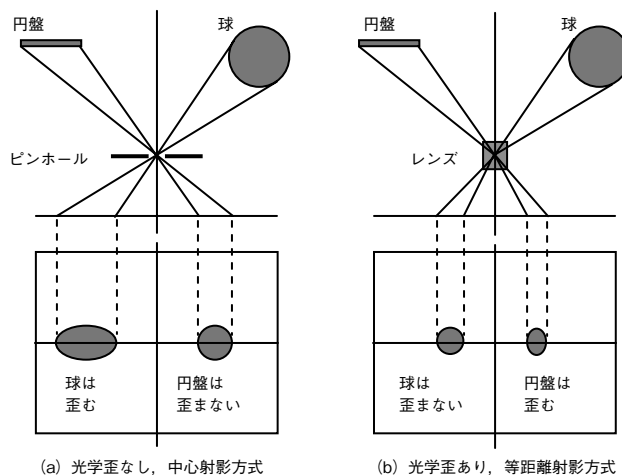


図2 光学歪と被写体の変形

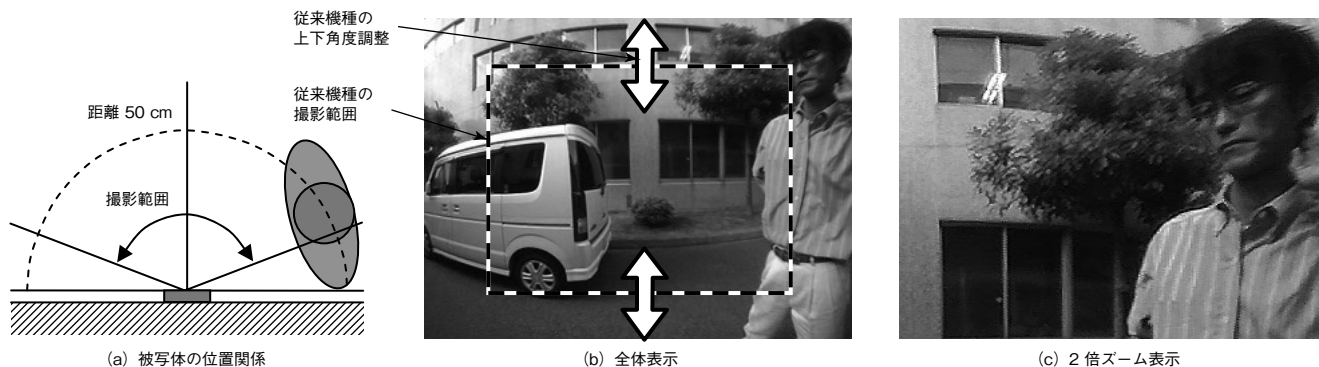


図1 広視野とズーム機能

れた場所の被写体ほど本来の位置よりも中心近くに写る傾向があり、レンズの軸を中心とした半径方向に圧縮されるように歪んで写る (図2 (b))。

球のような立体物を撮影する場合には、光学歪のない状態では遠近が強調されてレンズの軸を中心とした半径方向に伸張されるように写る (図2 (a))。そこで魚眼レンズの設計において一般的な等距離射影方式を採用し、球が円に近い形状で写るように歪曲を制御するレンズの光学設計を行っている (図2 (b))。

3.2.2 歪補正方法の選択

斜め方向からインタホン子器に向かって立つ人は歪曲のために像全体が湾曲し、顔も傾いて写る (図3 (a))。光学的な歪がなくなるように補正すると立体物は変形するので (図2 (a))、人のインタホン子器取付面に近い側では遠近感が強くなるように拡大されて不自然な画像となる (図3 (b))。

この写りの不具合を低減しつつ像全体の湾曲を抑える方法を検討した結果、水平方向のみの歪補正が適切との結論に達した。湾曲した縦線がまっすぐになるように画面水平方向のみの歪補正を実施すると、建物等の水平線は湾曲したままになるが、顔の変形は抑制することができる (図3 (c))。

3.2.3 歪補正曲線による歪補正

歪補正は出力画像上の位置座標 (x, y) の画素の情報を、入力画像上の位置座標 (X, Y) の画素から取得することで実行される。光学歪の原理に従えば、両者は下記の三つの処理となり、三角関数や平方根といった複雑な計算を含む一方で、近似関数を含むために精度低下が避けられない。

- (1) 直交座標から極座標への変換
- (2) 歪特性近似関数による半径値の変換
- (3) 極座標から直交座標への変換

本開発においては x と y の整数次式で近似する歪補正曲線を用い、前記三つの変換処理を一括して行うことで演算量の削減と実用的な補正精度を実現している (図4)。

本歪補正においては y 座標は変更されないので、歪補正曲線による x 座標の移動量は次の一般化式で表される。

$$X = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^n a_{ijkl} (x-x_0)^i |x-x_0|^j (y-y_0)^k |x-x_0|^l \quad (1)$$

$$Y = y \quad (2)$$

この式には $(x-x_0)$ の高次項を含んでいるので、画面の中央部と横方向端部とで異なる形状の補正曲線を定義することができる。また、絶対値のある項とない項を設定することで、レンズの軸を中心として対称的な補正と対称でない補正を組み合わせることで遠近感のコントロールなども可能としている。係数の種類を増やすほど、歪補正曲線の設定自由度が増すので画面上の補正精度を向上させることができるが演算量は増大する。

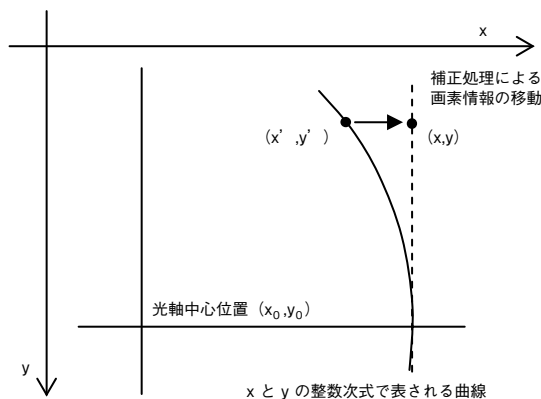


図4 歪補正処理の基本概念

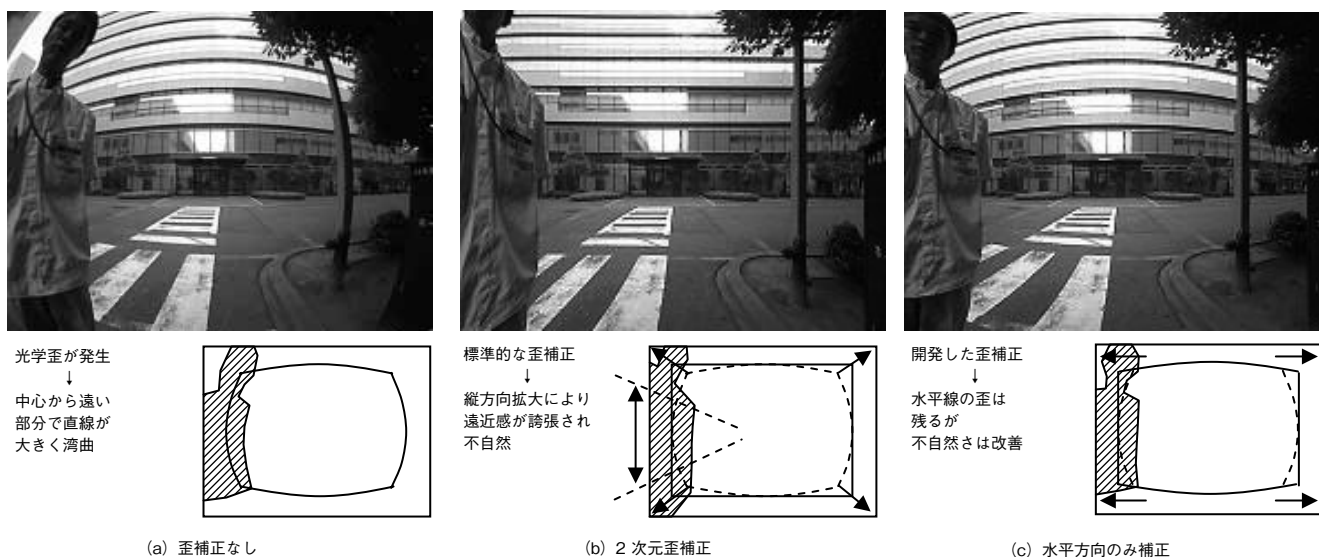


図3 歪補正方法の違い

前述の「WQS3109」の歪補正法では式(1)において $(x-x_0)(y-y_0)^2$ という項の係数 a_{1020} のみに値を設定した状態と等価で、歪補正曲線は放物線となる。開発した超広角レンズでは a_{1020} のみを調整しても、図5(b)の下方部にみられるように補正残りが現れる。

そこで本開発においては、次の三つの項の係数を調整することでより高精度な補正を実現している(図5(c))。

$(x-x_0)(y-y_0)^2$ の係数 a_{1020}

$(x-x_0)|y-y_0|^3$ の係数 a_{1003}

$(x-x_0)|x-x_0||y-y_0|^3$ の係数 a_{1102}

この状態では、①人の顔が上端左右隅に位置する場合に変形が大きくなることと、②レンズと撮像素子に位置ずれが発生した場合に場所により歪補正の過不足が生じることが問題となる。これらの点を考慮し、製品においては建物の鉛直方向の歪が不自然にならない程度の歪補正としている。

3.2.4 演算方法

本歪補正で扱う映像信号は YUV 形式と呼ばれ、明るさを表す輝度信号 Y と、色を表す色信号 U および V から成り立っている。人間の視覚の解像力は輝度の変化に対して敏感であるが、色の変化に対しては鈍くて細かいパターンの色模様を見分けることができない。

ある画素の情報を決定する際に歪補正曲線で決まる別の座標の画素の情報を参照するが、その参照すべき座標位置に情報をもった画素がない場合には該当位置の情報を近傍画素の情報から補間処理で求める。前記の視覚特性を考慮して本歪補正においては、輝度信号の補間には複数の画素情報を線形内挿する線形補間を、色信号の補間にはもっとも近い画素の情報のみを取得する最近傍点補間を用いている。また、色信号の補間に演算量および参照メモリの少ない補間法を用いることで演算量を削減している。

3.2.5 ASICの製作

本インタホン子器が構成するインタホンシステムでは、インタホン子器の撮像素子の出力をデジタル信号として捉えた後、親機の表示パネルに表示されるまで一貫してデジタル信号のまま扱うデジタル伝送システムを採

用している。伝送のための ASIC に本歪補正処理機能を一体化して搭載することにより、コストや実装面積を最小限に抑えて歪補正を実現している。

3.3 2倍ズーム時の映像制御

本インタホン子器における2倍ズーム処理は、撮像範囲の縦横 $1/2$ の範囲を映像信号処理で拡大する、いわゆる電子ズーム処理により実現している。

2倍ズーム時でも撮像素子に写っている光学像はズームしていない場合と同一で、映像信号処理により拡大しているので、そのままでは表示画像の鮮鋭度が低下する。2倍ズーム時にはインタホン子器の映像信号処理部に搭載された輪郭強調処理を強くし、画像鮮鋭度の低下を抑制している。処理対象となる画像のサイズとレンズの軸との位置関係はズーム条件によって異なるので、背景が明るい逆光時でも訪問者の顔の輝度を適正に保つために画面の特定領域の輝度を参照して逆光補正を行う。このとき、ズーム位置ごとにその参照領域の位置やサイズを変えてきめ細かい補正を行っている。たとえば、画面上部をズームアップした際には空を避けるように、画面下部をズームアップした際にはズームしたい対象を捉えるように、ズーム位置に応じて自動露出用の輝度評価エリアを変更している(図6)。

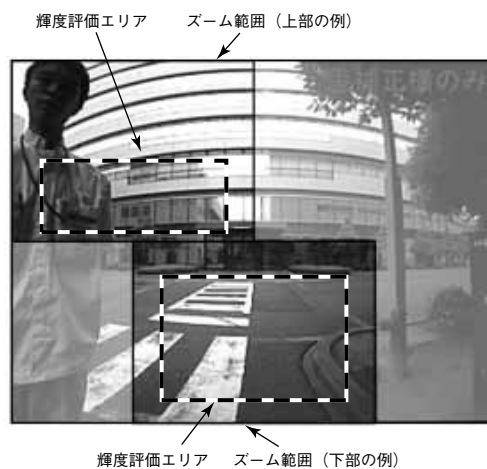


図6 ズーム範囲と輝度評価エリア

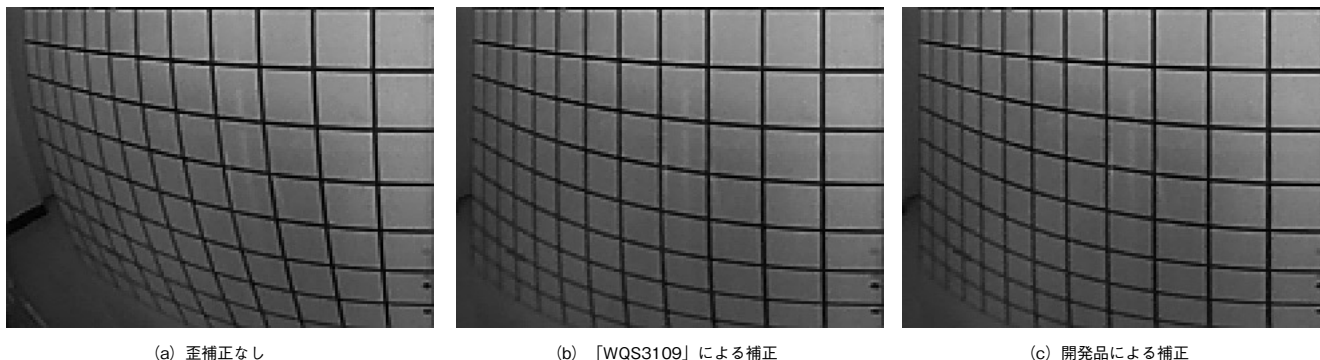


図5 歪補正方法の違い(左下部2倍ズーム画像)

4. 開発品の特徴

4.1 広視野

水平 131 度，仰角 57 度，俯角 41 度の広い画角により，インタホン子器前方 50 cm において左右 220 cm，上下 120 cm の広視野を実現している。インタホン子器が取り付けられた壁に沿って立つ人であっても，顔の大部分を写し込むことができる（図 1 (b)）。

4.2 2倍ズーム

視野が広がった分だけ人が小さく写ることになるが，2倍ズーム機能により訪問者の詳細を確認することができる。ズーム位置は可変となっており，通常よく使う位置を設定しておけばワンタッチで切替が可能である（図 1 (c)）。

4.3 角度調整不要

角度調整の必要がないので施工時の作業工数が低減できる。また，角度調整のための機構部品が不要になったことと，撮像素子を他の処理を兼ねる大型基板に実装したことで，コストを低減している（図 7）。

4.4 薄型

角度調整機構の削除と撮像素子の小型化により，突起部を除いた本体厚みを，従来機種 36 mm に対しておよそ 1/2 の 18.5 mm を実現している（図 7，図 8）。

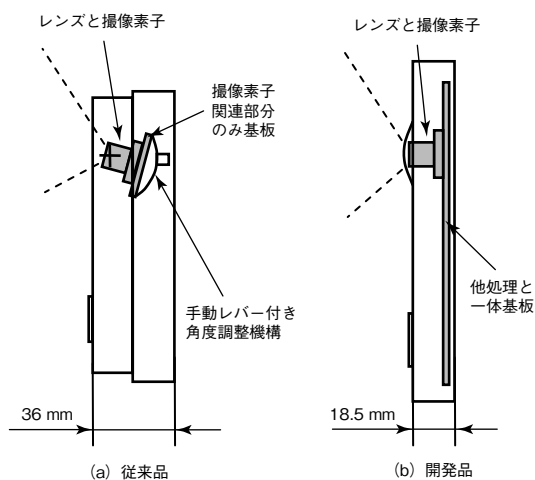


図7 角度調整機構と筐体厚み



図8 カメラ付きインタホン子器「WQD852S」外観

5. あとがき

モニタテレビジョン付きインタホンにおいて，小型の超広角レンズと自然な描写のできる水平方向歪補正処理の組合せによって視野の拡大と視野上下角調整機構の省略を実現し，従来にない広角かつ薄型のインタホン子器を開発した。この子器には親機から操作するズーム機能が付加しており，照度とズーム位置情報に応じて映像制御条件を変更することで視認性の高い映像を実現した。

画像を水平方向のみに変形させる水平方向歪補正は，湾曲を低減しながらも2次元方向歪補正で顕著となる立体物の変形が少ない手法であり，開発品では，画像上の座標値の整数次式による歪の直接近似によって，より強い歪への対応と演算量の低減を実現した。

本インタホン子器に用いられた歪補正方法は，固定カメラで人などを撮影するさまざまな用途に適用可能で，映像セキュリティ機器への展開が期待される。

*参考文献

- 1) 萩尾 健一, 古川 聡, 青山 啓一, 藪田 明, 増田 達男: ワイドキャッチ玄関番用 ASIC の開発, 松下電工技報, No. 46, p. 9-14 (1993)
- 2) 中川 治平: レンズ設計工学, 東海大学出版会 (1986)

◆執筆者紹介



山中 睦裕
情報機器 R & D センター



古川 聡
情報機器 R & D センター



遠藤 淳平
情報機器 R & D センター