複眼全方位センサを用いた装着型防犯アラームの開発

向川　康博† 　西岡　潔郁† 　八木　康史†

† 大阪大学 産業科学研究所
〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1
E-mail: †{mukaigaw,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし　周囲を同時に観測でき，かつ近接物体を検出できる小型センサとして，複数の凸面鏡とカメラを組み合わせた複眼全方位センサが提案されているが，画像処理機能も含めた装着型監視システムは実現されていなかった．そこで，本研究では，複眼全方位センサを用いて，観測の全方位性，装着性，処理の実時間性を有する装着型の監視システムを実際に開発した．本システムでは，装着型の防犯アラームという形を目指し，独自に設計した複眼全方位センサを小型コンピュータと組み合わせることで，小型軽量でありながら単体動作を実現した．本システムは，周囲を映した 6 つの凸型放物面鏡を単一のカメラで同時に撮像する複眼全方位センサを用い，小型コンピュータ上でその入力画像から近接物体の検出までのすべての処理を行う．また，検出時にはその検出方向をユーザに音声で通知する．評価実験を行った結果，このような装着型の監視システムでも一定の検出能力，実時間性が確認でき，複眼全方位センサの監視および検出能力の有用性を示すことができた．

キーワード　装着型監視システム，複眼全方位センサ，防犯アラーム

Development of Mobile Omni-Alarm using Compound Omnidirectional Sensor

Yasuhiro MUKAIGAWA†, Yoshifumi NISHIOKA†, and Yasushi YAGI†

† The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan
E-mail: †{mukaigaw,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

Abstract　A compound stereo sensor, which consists of a single camera with multiple convex mirrors, has been proposed for surveying omnidirection at once and detecting near objects. However, a real mobile system, including an image processing function, has not been realized. In this paper, a new mobile omni-alarm system is introduced which has been developed for realizing omnidirectional observation, mobility, and real time processing. We developed a stand-alone system with a small and lightweight body by incorporating a small computer with newly designed sensors in order to realize a mobile security alarm. In the system, the camera and six convex parabolic mirrors are used for taking omnidirectional images, and the small computer is used for processing the images to detect near objects. When the system detects objects, the direction is immediately notified to a user by voice. Experimental results show that such a small mobile sensor has a certain ability of detecting near objects and processing images in real time. We confirmed the availability as a security sensor of the developed system.

Key words　mobile omni-alarm, compound omnidirectional sensor, security alarm

1. はじめに

近年，犯罪防止のために多くの監視カメラが街角に設置されており，駅構内や店舗などの領域を対象とした監視に役立っている．一方，犯罪は人通りの少ない場所で発生することが多いため，予め決められた領域ではなく，個人を主体と考え，個人を取り巻く環境の監視が重要となってきている．すなわち，環境に固定された監視カメラだけではなく，装着型の防犯システムも有効である．このようなシステムには，装着できる大きさと重さであることに加え，防犯機能として，全方位を同時に監視できること，実時間処理できることなどが要求される．

従来から，２台のカメラを用いた全方位の距離計測法 [1] が提案されているが，小型軽量化には向いていなかった．一方，装着型の防犯システムに適した小型センサとして，複眼全方位

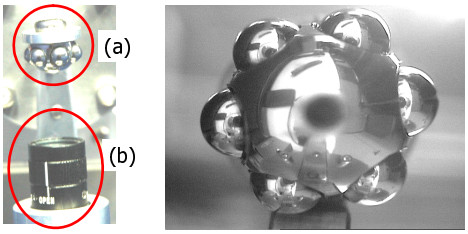


図 1　複合球面鏡とその入力画像の例

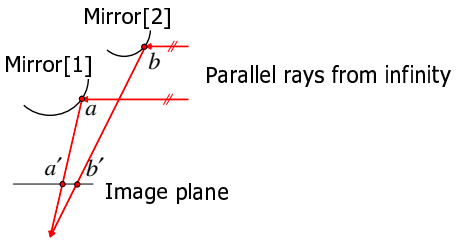


図 2　無限遠にある物体から各鏡への光線の軌跡

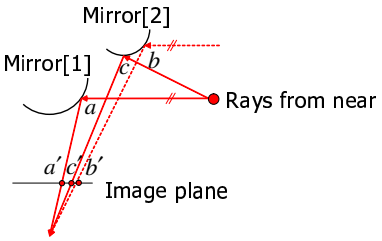


図 3　近接物体から各鏡への光線の軌跡

センサが提案されている [2] [3]．複眼全方位センサは，単一のカメラと複数の鏡で構成され，各鏡に映った周囲の風景をカメラにより撮像することで，軽量小型でありながらシームレスに全方位をステレオ視できる．基線長が短いため厳密な距離算出は難しいが，奥行き検出能力についても明らかにされている [4] ため，様々な目的に利用可能である．

この複眼全方位センサを用いて装着型の防犯システムを開発する場合，センサだけでなく画像を処理するコンピュータも小型軽量にする必要がある．無線通信によって画像を伝送し，外部のコンピュータに画像処理させるのであれば，小型軽量なものにできるが，無線通信が利用できる環境に限られてしまう．装着型のシステムとしては自律動作が望ましい．

そこで，本研究では，実際に装着できる複眼全方位センサを用いた防犯システムを開発する．その際，複眼全方位センサより得た入力画像を処理するコンピュータは手のひらサイズの小型軽量なものを利用する．そのようなコンピュータは画像処理性能が低いが，計算コストを抑えることで高速化を図り，外部との通信を必要としない自律したシステムを目指す．また，近接物体を検出した場合には，その方向を音声でユーザに知らせるようにし，ユーザビリティの高いものにする．

2.　複眼全方位センサ

2.1　センサ構成

複眼全方位センサは，複数の鏡と単一のカメラから構成される．図 1 に示す複合球面鏡 [2] は，複眼全方位センサの一例であり，(a) が中央の球面鏡と周囲の 6 つの球面鏡から構成された反射系，(b) がカメラである．各鏡の反射を利用して，周囲の風景をカメラの画像平面に投影する．各鏡は異なる視点位置から周囲の風景を映しているため，多眼ステレオ視を実現できる．

2.2　近接物体の検出原理

複眼全方位センサでは，視点となる各鏡の位置が近いため，基線長が短いステレオ視となる．そのため，正確な奥行き計測は難しく，物体までの距離が近いか遠いかという 2 値判定が現実的である [2] [4]．実際，装着型の防犯システムでは，周囲の詳細な 3 次元形状の復元は必須ではなく，近づいてくる不審人物などの近接物体を実時間で検出することが重要となる．

複眼全方位センサを用いて近接物体を検出するための原理は，無限遠から各鏡に到達する光は平行であるという性質に基づく．ある物体が無限遠にある場合，図 2 のように，各鏡面上の a,b で反射した光線は，それぞれ画像平面上の点 a',b' に投影される．一方，物体が近くにある場合，図 3 のように，鏡面上の c で反射して c' に投影される．すなわち，無限遠と異なる位置に物体が投影されることになる．

あらかじめ鏡の位置を校正しておき，物体が無限遠にある場合の各鏡間での位置関係を調べておくことで，単純に a',b' の明るさを比較することで近接物体の存在を検知できる．すなわち，a',b' の明るさが似ていれば無限遠であり，異なれば近接であると判断できる．この手法では対応点探索が不要であり，検出時間を大幅に短縮することが可能である．

3.　開発システム

3.1　システム構成

装着型の防犯システムには，以下の機能が要求される．

(1)　**携帯性：**容易に装着できる大きさや重さであること
(2)　**自律性：**システムが単体で動作すること
(3)　**全方位性：**全方位を死角なく同時に監視できること
(4)　**実時間性：**監視および検出処理を実時間でできること
(5)　**即時性：**検出結果を即時にユーザに通知できること

これらの仕様を満たすため，複眼全方位センサと小型コンピュータを組み合わせて装着型の防犯システムを開発した．図 4(a) にその全景を示す．小型コンピュータは計算能力よりも大きさや重量を重視し，システム全体の小型軽量化に努めた．複眼全方位センサと小型コンピュータを合わせた重量は約 280g であり，図 4(b) のように，ユーザがリュックサックのたすき等に装着して使用することを想定している．本システムでは，この小型コンピュータをバッテリーで駆動し，装着型で自律性の高いシステムを実現した．

3.2　複眼全方位センサ

本システムで使用した複眼全方位センサは，1 つの凹型放物面鏡と 6 つの凸型放物面鏡を図 5 のように組み合わせ，凹型放物面鏡の焦点にカメラを設置したものである．

凹型放物面鏡は鏡面に入射してきた平行光線を焦点に集める性質があり，凸型放物面鏡は鏡面に入射してきた平行光線を焦

(a) システム全景　(b) 肩への装着例

図 4　開発システム

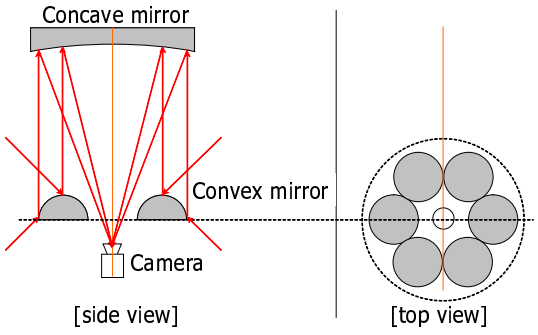


図 5　使用した複眼全方位センサの構成

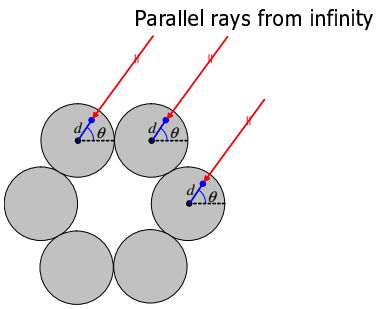


図 6　各凸面鏡間での無限遠からの光の位置対応

点から出てくるように拡散する性質がある．このため，中心射影であるカメラを凹面鏡の焦点に置くことで，凹型放物面鏡内を平行射影で撮像できる．また，カメラは各凸型放物面鏡を平行射影で撮像でき，各凸型放物面鏡はその焦点を唯一の視点として外界を映すことになる．よって，カメラの画像平面上に投影される各凸型放物面鏡を比較すると，単に投影位置が異なるだけであり，その鏡面に映された外界を撮像する条件は同じである．したがって，各凸面鏡間での無限遠からの光の投影位置の対応は，図 6 のように各凸面鏡内の相対位置と等しくなる．なお，凸型放物面鏡の位置関係の校正は容易であり，カメラで映した画像平面上での鏡の中心位置を調べるだけで良い．

3.3　鏡の設置

前節では，鏡の幾何学的な位置関係について述べた．しかし，現実に複数の鏡をカメラの前面に設置する場合には，鏡とカメラを固定する治具が必要となる．本システムでは，実際に鏡を配置する際に，全方位センサとしての機能を損なわないこと，小型軽量化に適していることを重要視し，図 7 に示す治具を設

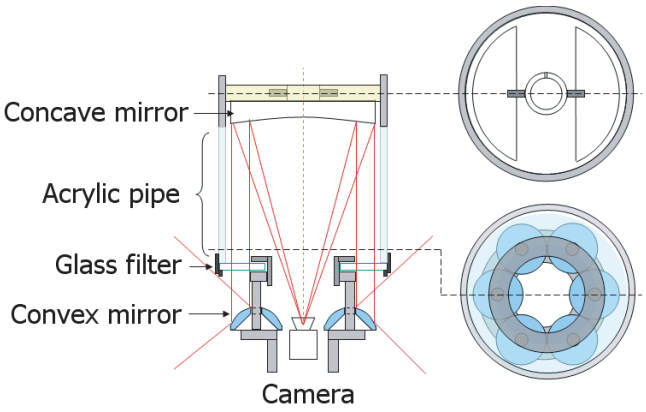
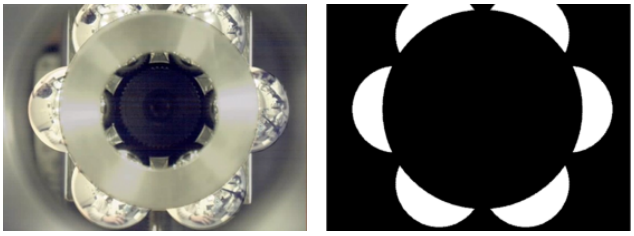


図 7　鏡の設置



(a)　(b)

図 8　入力画像とマスク

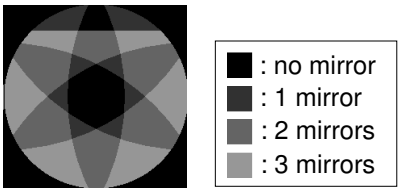


図 9　各方向を撮影できる凸面鏡の数

計した．この治具は以下の条件を満たす．

- 各凸面鏡に治具自身が映らず，有効な鏡面部分を全て利用できること
- 凸面鏡からカメラまでの光路で屈折の影響がないこと
- 一体成形した金属で凸面鏡を固定し，精度を保つこと
- 部位毎に金属とアクリルを使い分け，軽量化すること

図 8(a) は，後述する小型コンピュータに内蔵されているカメラより得られた 800 × 600 画素の入力画像の例である．入力画像のうち近接物体の検出処理において実際に使用できるのは，図 8(b) に示すように，外界を映している凸面鏡部分である．

各方向が，何個の凸面鏡で観測できるかを調べた結果が図 9 である．ほぼすべての方向が，2 個あるいは 3 個の凸面鏡で観測できている．中央領域は観測できないが，カメラ自身が映る下向の光線であるため問題はない．一方，凸面鏡の配置の問題で，上部領域を観測できる凸面鏡の数が少ないが，この方向を図 4(b) のように，もともと死角となる装着者自身に向けることで，要求される監視能力を十分に満たすことができる．

3.4　小型コンピュータ

本システムでは，日本 SGI 社製の小型コンピュータ ViewRanger [5] を利用する．ViewRanger は約 100g と軽量ながら，NetBSD が動作しているマイクロサーバである．主な

表 1　ViewRanger のマシンスペック

CPU	SH-4 240MHz
ROM	Flash Memory 16MB
RAM	64MB (SD-RAM)
OS	NetBSD 1.5.1

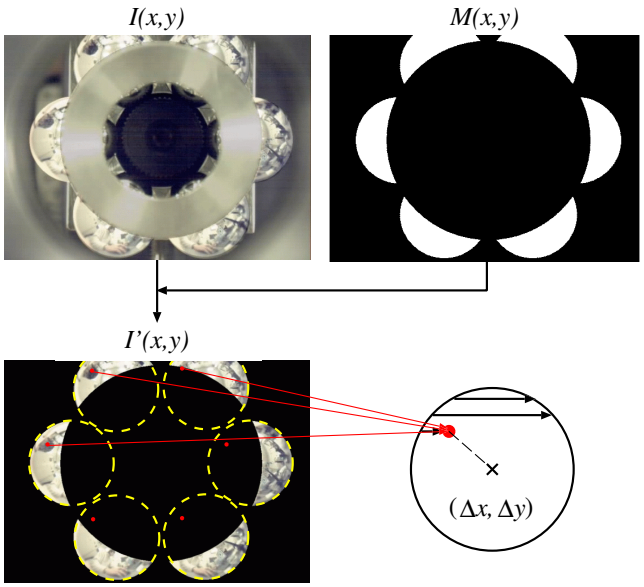


図 10　近接物体の検出処理の流れ

マシンスペックは表 1 に示す通りである．また，200 万画素の CMOS センサを内蔵しており，音声入出力が可能である．

本システムでは，ViewRanger のカメラを複眼全方位センサのカメラとして利用し，ViewRanger 内部で監視アプリケーションを動作させる．また，近接物体を検出した場合には音声でユーザに通知する．

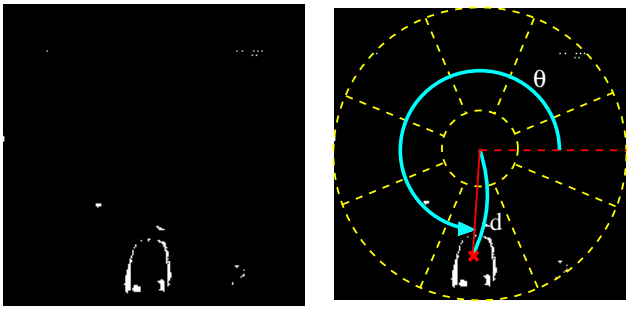
3.5　検出アルゴリズム

本システムにおける近接物体の検出処理の流れを図 10 に示す．まず，カメラより得た入力画像 $I(x,y)$ に対して，マスク画像 $M(x,y)$ を用いて，周囲を映している有効な鏡面部分のみの画像 $I'(x,y)$ を求める．ここで，凸面鏡の画像上での半径を r とし，i 番目（ただし $1 \leqq i \leqq 6$）の各鏡の中心位置を (c_x^i, c_y^i) とすれば，凸面鏡内の中心からの相対位置 $(\Delta x, \Delta y)$ （ただし $\Delta x^2 + \Delta y^2 \leqq r^2$）の各凸面鏡での対応画素は $I'(c_x^i + \Delta x, c_y^i + \Delta y)$ となる．

このように，各相対位置 $(\Delta x, \Delta y)$ について順に走査し，2 つ以上の凸面鏡が有効であれば，それらの輝度値の分散 $V(\Delta x, \Delta y)$ を求める．1 つの凸面鏡しか有効でない場合やどの凸面鏡も有効でない場合は $V(\Delta x, \Delta y) = 0$ とする．この分散が閾値以上であれば，凸面鏡間で対応する画素の輝度値に一定のばらつきがあったことを意味するため，近接物体が存在していると見なすことができる．そこで，分散の閾値処理により，図 11(a) に示すような 2 値化画像を得る．この 2 値化画像中で白となっている画素は，近接物体が存在することを示している．

3.6　アラームによる出力

本システムでは近接物体を検出した場合，音声アラームとしてユーザに通知する．音は防犯ブザーのようにセキュリティ面



(a) 分散の 2 値化　　(b) 検出方向

図 11　近接物体の検出例

でも有効であり，ユーザは有事でない限り監視状況を意識する必要がない．近接物体の角度は厳密に計算可能であるが，ユーザに対しては角度を数値で知らせるのではなく，前後左右といった大まかな方向を知らせる方が直感的に理解しやすい．そこで，近接物体を検出した場合には，大まかな方向を音声アラームで通知する．

まず，前述した分散の 2 値化画像について，白の画素数が閾値未満であった場合には，近接物体は存在しないと見なし，アラーム出力をしない．閾値以上の場合は，2 値化画像に対して収縮処理を行った後，白の画素の重心位置を算出し，重心の方向 θ と中心からの距離 d を求める．

ユーザから見た場合の近接物体の方向は，図 11(b) に示すように方向 θ を 8 等分して，図 12 に示すような音声アラームを出力する．なお，中心からの距離 d が近い場合には，方向推定が不安定になりやすく，誤った方向として判定する恐れがあるため，周囲に近接物体を検出したという事実のみを通知してユーザに注意を喚起する．

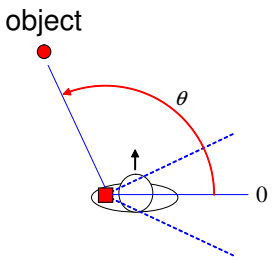
なお，複数の近接物体にも対応するためには，本来であれば 2 値化画像に対して領域分割を行うなどの処理が必要となる．しかし，本システムで用いている小型コンピュータは，計算処理能力に制限があり，そのような付加的な処理を加えると検出が遅れてしまう．本システムでは，近接物体の存在をユーザに対してできるだけ迅速に伝えることを優先し，より複雑な処理はしていない．実際，前と後の両方から近接物体が近づいた場合，d が小さな値となるため，方向不明として通知され，防犯アラームとしての目的は十分に果たせると考えられる．

4.　実　　験

4.1　検出距離範囲の評価

まず，開発システムがどの程度の近くの物体を検出できるかを評価した．図 13 に示すように，屋内に本システムを配置し，センサとの距離が 7m までの範囲で 1m おきに人物を撮像し，各位置でどのような検出結果が得られるのか調べた．

図 14 は，各距離における人物の検出結果である．ここで，各距離の左の平均輝度値画像は，各凸面鏡で対応する画素の輝度値の平均を示しており，右の分散の 2 値化画像は，各凸面鏡で対応する画素のばらつきを示している．図 15 は，2 値化画像の白画素の重心位置を求め，画像中心から重心位置までの距離



対象範囲	検出判定	アラーム内容
$-22.5° < \theta \leqq 22.5°$	前方に検出	“To your front!”
$22.5° < \theta \leqq 67.5°$	右前方に検出	“To your forward right!”
$67.5° < \theta \leqq 112.5°$	右方に検出	“To your right!”
$112.5° < \theta \leqq 157.5°$	右後方に検出	“To your right rear!”
$157.5° < \theta \leqq 202.5°$	後方に検出	“To your back!”
$202.5° < \theta \leqq 247.5°$	左後方に検出	“To your left rear!”
$247.5° < \theta \leqq 292.5°$	左方に検出	“To your left!”
$292.5° < \theta \leqq 337.5°$	左前方に検出	“To your forward left!”
-	方向不明	”To your surround!”

図 12　アラームによる出力仕様

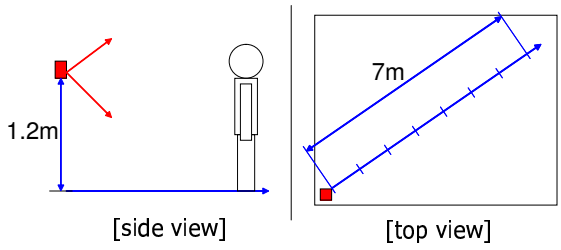


図 13　検出距離範囲評価の実験設定

と方向の関係を表したグラフである．なお，グラフ中の d は画像上の距離で単位は画素である．

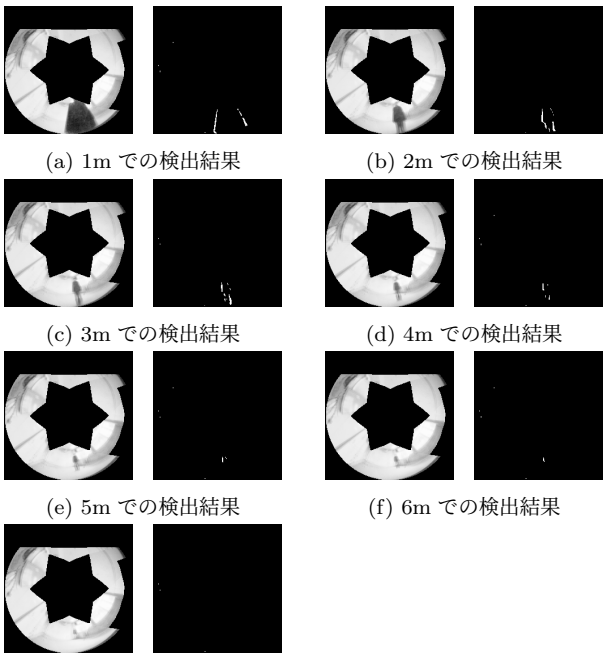
この実験結果では，距離が離れるにしたがって検出領域が小さくなり，7m 以上離れると検出に失敗した．開発システムが検出できる距離範囲は 6m 程度であることがわかる．また，本実験では，明るい屋内で黒い服装を着た人物を検出対象としたが，これは，一般的なステレオ視と同様に，背景と同じような色の物体は，凸面鏡間で視差が生じても背景と区別できないためである．そのため，図 16 のように明るい屋内で白い服装を着た人物が近くにいても検出は難しい．

4.2　方向検出能力の評価

次に，開発システムが近接物体の方向をどの程度の精度で検出できるか評価した．図 17 に示すように，屋内に本システムを配置し，センサから 3m 離れた半円上を歩行する人物を撮像し，半円上の各位置での検出方向を推定した．

図 18 に，半円上の各位置での平均輝度値画像および分散の 2 値化画像を示す．目立ったノイズはなく，安定に人物を検出できていることがわかる．また，図 19 に，各時刻における検出方向を示す．実線が検出結果であり，点線は等角速度で歩行したと仮定した場合の方向である．これらより，いずれの位置においても一定の方向検出精度が確かめられた．

さらに，方向推定の安定性を確かめるため，センサからの距離が 2.5m で，45° おき（ただし死角となる右方向を除くため



(a) 1m での検出結果　(b) 2m での検出結果
(c) 3m での検出結果　(d) 4m での検出結果
(e) 5m での検出結果　(f) 6m での検出結果
(g) 7m での検出結果

図 14　各距離での平均輝度値画像および分散の 2 値化画像

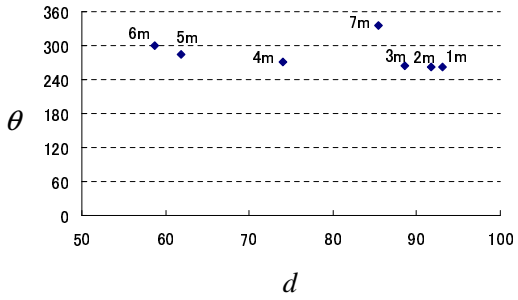
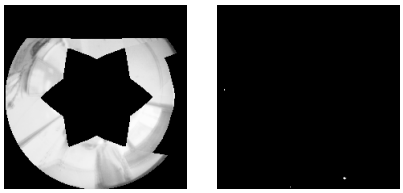


図 15　各距離での重心の位置と方向



(a) 平均輝度値画像　(b) 分散の 2 値化画像

図 16　背景と服装が同色の場合（1m）

7 方向）に人物が立った場合の方向推定をそれぞれ 30 回繰り返した場合の結果を図 20 に示す．実線が検出率であり，悪くても 80% であり，方向によっては 100% となっている．また，点線は推定された角度の標準偏差であり，概ね 2° 以下となっていることから，方向推定は安定していることがわかる．

4.3　実時間性と装着性の評価

最後に，検出処理の実時間性を評価した．屋内の中央に本システムを配置し，その周囲を人物が移動するとき，近接物体の位置がアラームで正しく通知されるかどうかを調べた．画像の入力から音声出力までの一連の処理を 1000 回繰り返すのに要した時間が 1862 秒であったため，1 フレームあたりの処理に

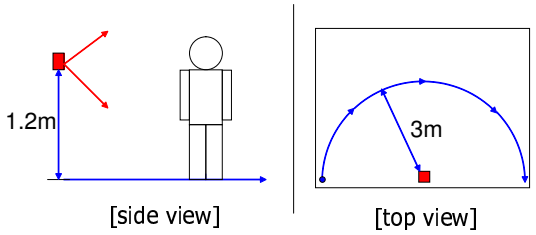


図 17　方向検出能力評価の実験設定

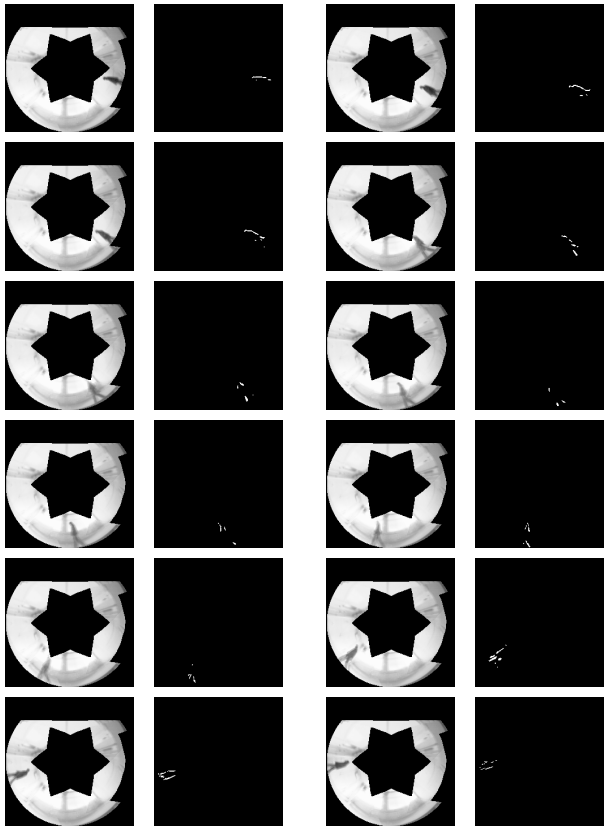


図 18　距離範囲の検出結果

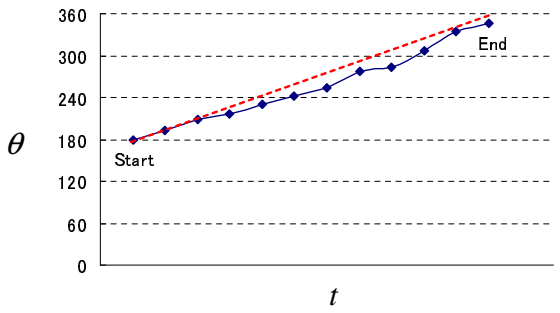


図 19　各位置での方向検出結果

約 1.8 秒かかることになる．このうち，6 個の凸面鏡の画素値の比較に約 1 秒を要していた．これは，本システムで用いた小型コンピュータが十分な画像処理性能を有していないためであるが，近接物体が存在する高さを制限するなど，監視範囲を狭めれば，十分な処理速度を得ることができると思われる．

また，本システムを実際にリュックサックのたすきに装着して，検出実験を行った．実際に装着した場合でも，前節の実験

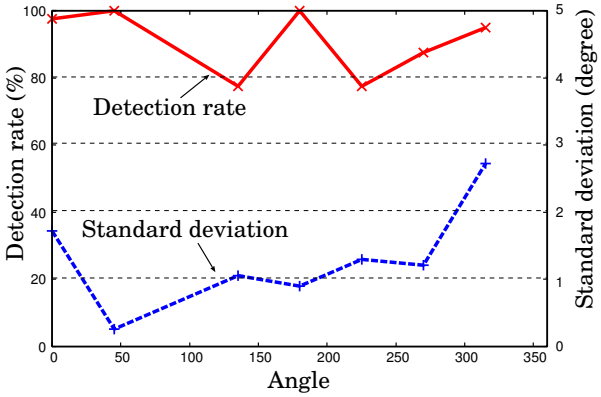


図 20　検 出 精 度

結果とほぼ同様の性能が得られたことから，検出可能な範囲であれば，近接物体の方向を通知するアラームとして十分利用できる結果といえる．ただし，装着位置によっては，頭部が大きく映るため，死角が大きくなった．また，片手に乗る小型サイズであるが，実用上はさらに小型化が必要であると思われた．

5. おわりに

本論文では，複眼全方位センサを用いて，周囲を同時に監視でき，近接物体を検出できる装着型の監視システムを設計し，防犯アラームとして実装した．装着型システムを設計する上で，システム全体の小型化・軽量化を重視したため，開発段階において様々な制約が生じたが，その中で最大限のパフォーマンスとユーザビリティを得るためにハードウェアとソフトウェアの両面で工夫を凝らすことにより単体動作するシステムを実現できた．また，近接物体を検出できる距離範囲および方向範囲の評価実験においては，十分な検出能力を確認できた．このことから，複眼全方位センサは小型軽量なものでも十分な監視および検出能力が備わっているといえる．

今後の課題としては，システムの小型軽量化と実時間性が挙げられる．光学系については，複眼全方位センサを構成する鏡の形状や配置を工夫することでより小型軽量なものにできると思われる．また，コンピュータの技術進歩が著しく，より高い計算処理能力を有する小型コンピュータが開発されていることから，そのような機器と組み合わせていくことを予定している．

なお，本研究は科学研究費補助金 (課題番号 17100002) による．

文　献

[1] 茶園 篤，山澤一誠，横矢直和，竹村治雄: “全方位ステレオ視による 3 次元情報の獲得”，映像情報メディア学会誌，Vol.51, No.10, pp.1745-1753, 1997.

[2] 栗田尚樹，佐川立昌，越後富夫，八木康史: “全方位物体検出のための複合球面鏡ステレオ”，画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004), pp.362-367, 2004.

[3] E.M. Mouaddib, R. Sagawa, T. Echigo, Y. Yagi, “Stereo Vision with a Single Camera and Multiple Mirrors”, In Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2005), pp.812–817, 2005.

[4] 小嶋裕一郎，佐川立昌，越後富夫，八木康史: “複眼全方位センサによる奥行き検出能力の評価”，画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), pp.1160-1166, 2005.

[5] http://www.sgi.co.jp/solutions/bbu/viewranger/