

壁移動ロボットを用いた防犯システムの構成と評価

Design and Evaluation of a Security Systems Using Wall Climbing Robots

○山本祐輔†、長嶺峻†、小松昭‡、藤岡与周†
†八戸工業大学大学院電子電気・情報工学専攻

○Yusuke Yamamoto ,Shun Nagamine,Akira Komatsu and Yoshichika Fujioka
Graduate School of Electrical, Electronic and Information Engineering,
Hachinohe Institute of Technology

キーワード：壁移動ロボット(Wall Climbing Robots)、ネオジム磁石(Neodymium Magnet)、防犯カメラ(Security Camera)

連絡先：〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1

八戸工業大学工学部システム情報工学科 藤岡与周

TEL: 0178-25-8063 FAX: 0178-25-1691 E-mail: fujioka@hi-tech.ac.jp

1. はじめに

防犯対策として複数個の固定防犯カメラが用いられている。これらのカメラは通常天井などの高い位置に設置されることで犯罪を抑制する役割を果たしており、犯罪の瞬間を記録することで、様々な場所で犯人の逮捕に役立っている。しかし、そんな固定防犯カメラにも問題点がいくつかある。

1つは固定防犯カメラを設置する場合の問題である。多数の固定カメラを配置する場合、カメラの固定や配線といった取り付け作業が大変である。また、店内では客の動きや商品の入れ替えなど刻一刻と変わる状況の中でカメラの死角が生じてしまい、必ずしも所望する角度から画像が得られるとは限らない。

もう1つは盗難が起こった場合の問題であ

る。固定防犯カメラから犯人の特定を行う場合、撮影内容を確認しその都度、時間と労力をさかなければならないため非常に手間と時間がかかる。これらの2つの問題に対し、磁力を使った有線壁移動監視ロボットによる柔軟かつ自律的なカメラ死角の減少と犯人の顔の特徴をあらかじめリスト化し、防犯カメラ撮影時に自動で犯人を認識できる特徴認識処理による防犯システムの構成と評価を提案する。

2. 壁移動監視ロボットの応用場所

図1に示すような工事現場や図2の駐車場、図3に示す小売店などでは広範囲の防犯が必要であったり、固定防犯カメラでは撮影しきれない死角等が発生する。また、こういった

死角では盗難が頻繁に発生する。

工事現場では夜間、現場から人がいなくなり無人状態のために資材や重機が盗まれる。駐車場では車上荒らしで金品や車を盗まれる可能性がある。また小売店では人や物の影になり死角が発生し、商品が盗まれる。

こういった盗難が起こりやすい場所に壁移動監視ロボットを配置することで固定防犯カメラよりも幅広く監視を行うことが可能になる。また、特徴認識処理を活用することで、より効果的に防犯対策を行えると考える。本研究では小売店を例に取り上げて説明していく。

2.1 店内での防犯カメラの問題

死角を出来る限り減少させるには、死角の数だけ防犯カメラを設置することになるが、図4に示すように4つの棚でも10個のカメラが必要となる。このように、棚が増えるとそれ以上にカメラの台数が必要となるため、固定カメラの場合は配線作業にかかる時間が増え、無線LANを利用した無線カメラの場合は、無線LAN回線の奪い合いが起こり、十分な通信が困難になると考えられる。また、棚の配置換えや買い物中の客の移動に伴い死角が変化するので、突発的に発生した死角を補うためには、通常の固定カメラでは特徴認識処理がないために、監視役が固定カメラの撮影内容の確認を行ったり、指名手配犯や挙動の怪しい人を判別しなければならない。そのため、店員の仕事が増えることになり、本来やるべき仕事の作業効率が低下する。

これらを解決する為に本研究では有線壁移動監視ロボットによる特徴認識処理を用いた防犯対策を提案する。

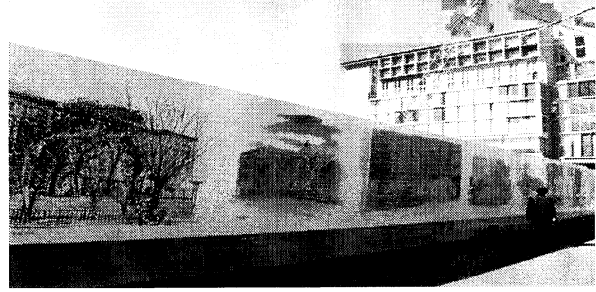


図1. 工事現場の様子

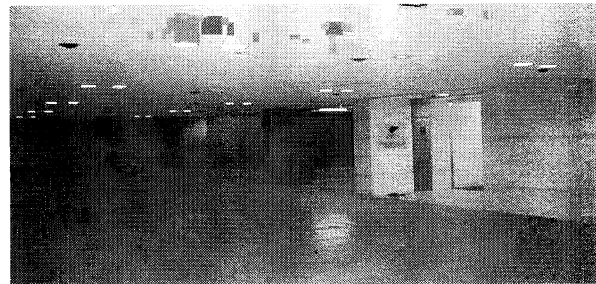


図2. 地下駐車場の様子



図3. 小売店の様子

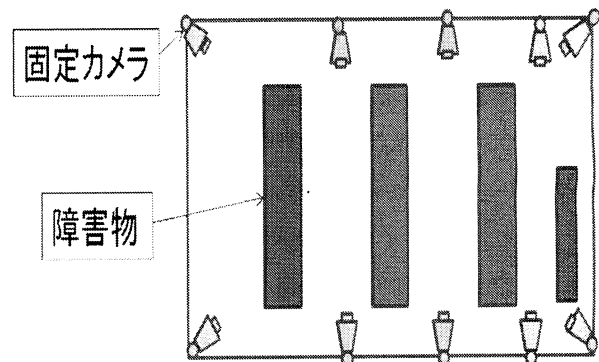


図4. 監視カメラの配置

3、有線壁移動監視ロボットの導入

3.1 有線壁移動監視ロボットを導入するメリット

このような死角変化により生じる問題の解決策として以下が挙げられる。

- ・ロボットに監視させることで、店員に余計な仕事を与えることが無い。
- ・足元を移動するよりも、壁や天井を移動することでそれほど人の邪魔になることはない。

このロボットの主な特徴を挙げると以下のとおりとなる。

- 1、高所や低所などへのカメラ設置高さ変更が容易である。
- 2、複数の監視ロボットを自動的に配置させることにより、死角の変化に柔軟に対応できる。
- 3、配線作業などが自動化され、このための工数が不要である。

3.2 有線壁移動監視ロボットの基本構成

そこで、本研究では、以下に示す概念に基づく壁移動監視ロボットシステムの構成を提案する。

- ・環境把握機能：3次元レーザースキャナ、電子コンパスを搭載。（自動壁移動機能のため）
- ・通信機能：軽量のLANケーブルによる高速な通信が可能である
- ・電力供給：PoE（Power of Ether）から電力を供給する。（バッテリー不要）
- ・移動機能：壁に強力磁石で吸着。2つのタイヤで移動
- ・撮影機能：首振り機構を有する高精細カメラを搭載

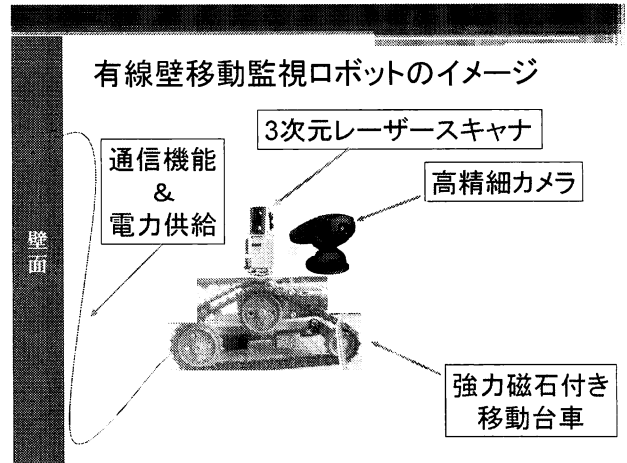


図5. 有線壁移動監視ロボットの配置

3.2.1 環境把握機能

壁移動監視ロボットを自動で配置する場合、どのように壁移動監視ロボットへ周囲の情報を与えるかという問題がある。そこで、有線壁移動監視ロボットに3次元レーザースキャナを搭載し、図6に示す開店前の店内を走行させ、店内の障害物等の情報をスキャンさせる。

スキャンした店内の3次元データをマップとして他の機体と共有し、図7に示すようにマップ内の棚と棚の間といった死角となる場所へ自動的に移動する。また、この際に監視位置がかぶらないようにするため、電子コンパスを駆使してお互いの位置を確認し、持ち場を判断する。

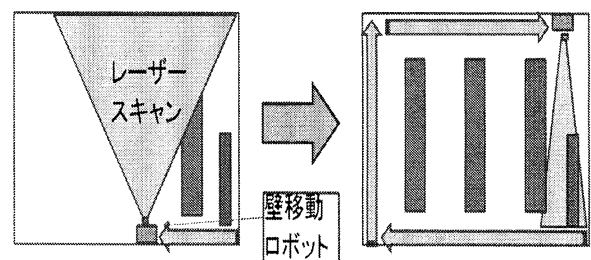


図6. 有線壁移動監視ロボットでマップの作成

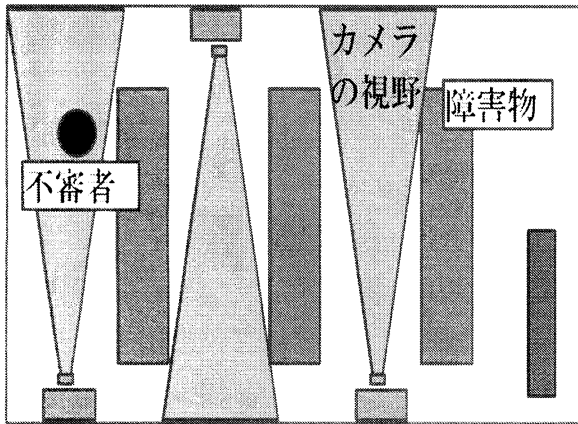


図 7. 自動配置例

3.2.2 通信機能

前回作成していた試作機とは違い無線 LAN を搭載しないため壁移動監視ロボットの軽量化が行える。使用する通信ケーブルは軽量の LAN ケーブルを使用し高速な通信を可能とする。

3.2.3 電力供給

PoE を使用することで通信・電力供給を行う。前回作成していた試作機とは違いバッテリーが不要のため壁移動ロボットより軽量で安価に行うことができる。

3.2.4 移動機能

本研究では、壁に強力磁石で吸着し、二つのタイヤで移動する方法を用いる。他の吸着方法として、吸盤を使った物や、ファンを回転させ、風力で吸着するものもあるが、吸盤は壁が平らでないと吸着できず、ファンは吸着する際に常にファンを回転させる必要があるため、バッテリーの燃費が悪く、騒音の問題もある。それに対し、磁力を用いる場合、吸着の際にバッテリーを消費することがなく、多少凹凸のある壁にも張り付くことができ、騒音もないので、監視に適していると考えられる。

磁力を用いる際に重要となるのが、壁面と

磁石間の隙間調節である。また、タイヤは滑ることがあるので滑り止めマットを取り付け、スリップ防止の工夫をする必要がある。

3.2.5 撮影機能

必要に応じて、高さ方向にも複数のカメラ配置が必要であり細かな物体の識別が重要であるため首振り機構を有する高精細カメラを搭載しなければならない。

4 無線 LAN とバッテリー搭載の試作機

前回、無線 LAN とバッテリーを搭載した無線壁移動ロボットのプロトタイプを製作した。その時の主な機能は以下である。

4.1 壁面の移動方法

この機体は、ネオジム磁石を使い、磁性塗料を塗布した壁に吸着し、底部に装着しているタイヤを用いて壁面を移動する。機体の底部を図 8 に示す。また、壁面を移動する際に、図 9 に示すように、ネオジム磁石と壁面の間に摩擦の少ないシールを挟むことにより、スムーズに壁面を移動することができる。

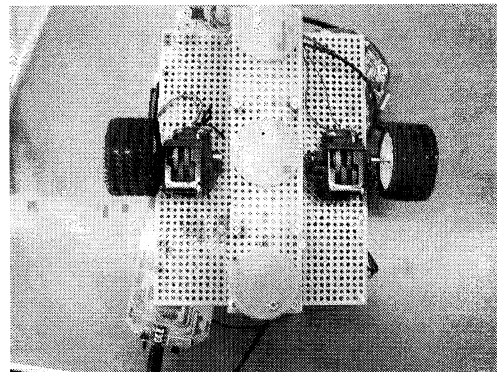


図 8. 本体の底部

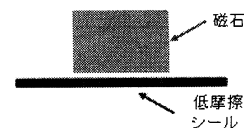


図 9. 試作移動台車への強力磁石の配置

4.2 命令の制御方法

機体上部には、ネットワークユニット、カメラ、無線 LAN アンテナ、バッテリー、動力制御ユニットを搭載している。

4.2.1 各部位の働き

試作したプロトタイプの構成を図 10 に示す。図中の①から⑤は以下のとおりである。

- ①ネットワークユニット：受信した命令を各制御ユニットに伝送する。
- ②カメラ：映像を撮影し、ネットワークユニットに送る。
- ③無線 LAN アンテナ：通信量の少ない近くにどのマシンがいるかなどのネゴシエーションを行う。
- ④バッテリー：リチウムイオン二次電池を使用し、ネットワークユニットと、動力制御ユニットに電力を供給する。
- ⑤動力制御ユニット：ネットワークユニットから送られてきた命令に従い、モータの動作を制御する。

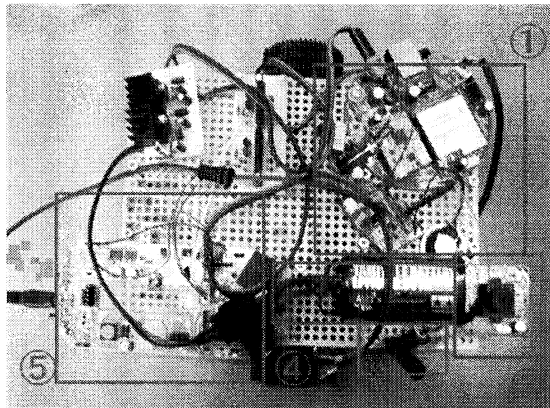


図 10. 本体の上部

4.3 無線壁移動監視ロボットと有線壁移動監視ロボットの違い

現在の試作機は無線型の壁移動ロボットである。無線壁移動ロボットにもいくつかの問題があることが試作して分かった。一つは重さの問題である。そしてもう一つがバッテリー

消耗の激しさである。今回例に取り上げた小売店のように、ある程度の稼働範囲を決められる場合、無線よりも有線型壁移動監視ロボットの方が都合が良いことが多い。

つまり、狭い範囲の監視であれば稼働範囲を 1 台 1 台の有線壁移動ロボットに決めることができる。しかもロボットの動きが少ないため、混線の可能性が低くバッテリー供給や通信機材も必要がないため安価である。また、機体の軽量化にも繋がる。完全な死角の除去は難しいが、稼働範囲内での棚の移動などのほとんどの状況変化に対応できると考える。

5. 分散並列処理システムの構想

5.1 有線壁移動監視ロボットを多数使用する場合の問題

監視する範囲の広さ、棚の数によっては固定防犯カメラに限らず、有線壁移動監視ロボットにおいても台数を増やす必要が出てくる。ファイル保存・画像転送用サーバー 1 台のみで多数の有線壁移動監視ロボットからのカメラ映像を処理する場合には映像をコマ録りにしないと処理が追いつかず、また解像度も低く設定しなければならない。場合によっては、撮影画像内の顔が潰れてしまい特徴を認識できない問題が起こる。

5.2 分散並列処理システムのメリット

上記の問題の対策として分散並列処理システムを使用する。このシステムを使用することによる主なメリットを挙げる。

- 1、画像処理サーバーを増設することで、多数の有線壁移動ロボットを扱うことができる。
- 2、高精細且つ滑らかな映像を録画することにより、画像が潰れる問題を解消することができる。

5.3 分散並列処理システムの接続例

分散並列処理を使用した場合の接続構成は図 11 に示すように、各クラスタ内のサーバーに可能な数の有線壁移動ロボットとの通信を割り当て、画像データをクラスタへ渡す。それぞれのサーバーに渡された画像データをマスターサーバーへ渡しディスプレイに表示することで滑らかな映像を扱うことができる。

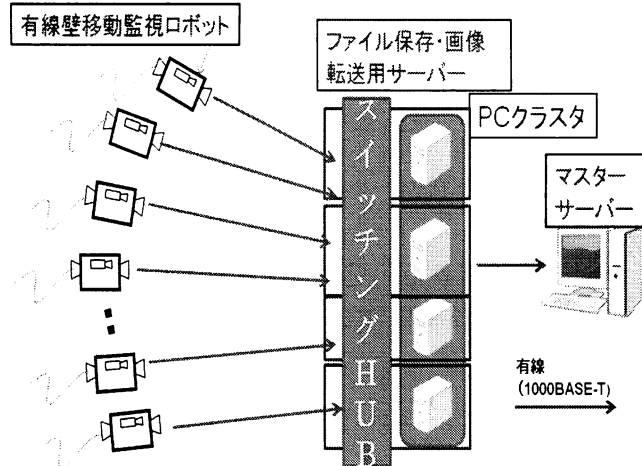


図 11. 分散並列処理システムの接続

5.4 監視画面の表示

監視画面の表示方法はサーバーごとに番号で表示選択できるようにし、ズーム UP も可能である。また、1 台のサーバーに 4 台の受信機を設定したとしても、設定したサーバーの画面が 4 分割される。図 12 に表示例を示す。



図 12. 監視画面

6. 防犯システムの向上

壁を移動しながら監視を行うだけでは防犯システムとして貧弱なため、有線壁移動監視ロボットで撮影した画像からあらかじめ用意した画像と照らし合わせ、犯人を特定できる機能をつける。顔の認識と個人の特徴を認識できるシステムを構築することで、特徴認識処理として、防犯システムを向上できるか評価を行う。

6.1 テンプレートマッチング

特徴認識処理を用いる場合に使用する手法として指定した画像（テンプレート）が入力画像のどこにあるかを探す、テンプレートマッチング手法を使用する。このとき、テンプレートと画像データがどれだけ似ているか（類似度）にはグレースケール化を用いて白黒の濃淡を計算し、類似度を評価する。

類似度を比較する方法として今回は 2 枚の画像間の類似度を示す相互相関関数を求めて、関数が最大となる画素の位置差を平均移動量とする相互相関法を用いる。

相互相関関数を求める式は従来使用されている以下の (1)、(2) を使用する。入力画像を I 、入力画像サイズを $M \times N$ に対し、テンプレート画像を T として、相互相関関数 C を求める。 i, j は 2 次元画像上の探索座標で、相互相関係数 C の値が最大値の 1 に近いほど、類似度が高い。図 13 にテンプレートマッチングのフローチャートを示す。

$$C = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \phi(i, j) \phi(i, j)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \phi(i, j)^2 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \phi(i, j)^2}} \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi(i, j) &= I(i, j) - \left[\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N I(i, j) \right] / MN \\ \phi(i, j) &= T(i, j) - \left[\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N T(i, j) \right] / MN \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

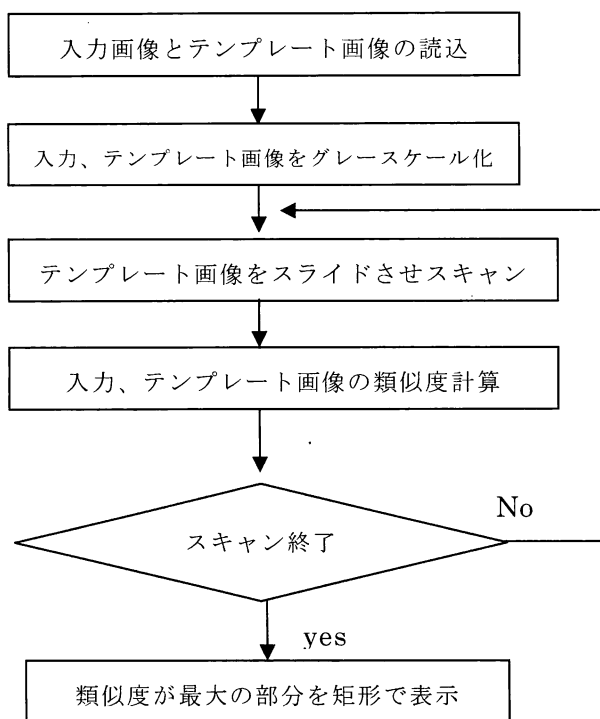


図 13. テンプレートマッチングのフローチャート

6.2 顔認識実験

テンプレートマッチングプログラムと4人の顔画像を使用し、特定の人物のみを識別できるかの実験の結果、特定の人物以外の顔も全て認識してしまう。これはテンプレートマッチングが、テンプレート画像に最も類似している部分を探索し矩形を表示するため、人間の顔なら全て認識してしまったことが考えられる。実験の結果を図14に示す。



図 14. 顔認識実験結果

6.3 相関値について

顔認識実験の結果から、相関値（2つの画像がどのくらい似ているかを値にしたもの）を用いることで相関値以下の領域を検出できないようにした。相関値は相互相関関数を用いることにより算出することができる。これを利用することで特定の個人を判別することができると思う。

6.3.1 相関値の測定

本実験では4人の顔画像から特定の個人を識別するため、相関値を設定することとする。今回は手入力による相関値の測定を行った。測定結果は以下の図15ようになった。今後は手入力によって操作していた相関値を測定するプログラムを開発することが必要であると思う。またテンプレート画像と同じ画像の相関値をとった場合最大値である1.0で認識される。

		
相関値 0.73 以上の場合、 認識不可	相関値 0.61 以 上の場合、認識 不可。	相関値 0.68 以上の場合、 認識不可。

図 15. 顔認識実験結果

6.3.2 相関値を利用した顔識別実験の結果

相関値の測定結果より、今回のモデル 4 人では相関値は 0.74 が最適であることが分かったため「相関値 0.74 以上の最も類似している部分を矩形で表示する」というプログラムを追加したところ、4 人の顔画像から特定の個人の識別に成功した。

6.3.3 画像の正規化

テンプレート画像を基準に顔の傾きと大小の誤差を補正する、正規化を行う。今回はアフィン変換を用いて顔画像を正規化する。両目の座標から傾きと大小の誤差を算出し、アフィン変換することで正規化を行い、相関値を 0.74 以上に設定してテンプレートマッチングしたところ、図 16 のように、顔の認識に成功した。



図 16. 傾いた画像の正規化、認識結果

6.4 特徴認識処理

マスターサーバーには、あらかじめ犯人リストのテンプレート画像を登録しておく。図

17 のような犯人のテンプレート画像があった場合、図 18 に示すように、PC クラスタにカメラから送られてきた 1 枚の入力画像から分散並列処理でテンプレートマッチングを実行し、図 19 の位置で顔を認識する。矩形内の顔画像を抽出することで犯人と同じ特徴を持っているかの確認を行う。その際、相関値や正規化を使用し、特徴を抽出することにより、高速に特徴認識を行うことができる。また、分散処理によって処理を行う場合は分散してスキャンしている部分よりテンプレート画像分余分にスキャンすることで、顔の途中で処理が切れないように実行する。そのなかで一番類似度の高いものを使用する為、正確な特徴認識処理が行える。



図 17. 犯人のテンプレート画像



図 18. テンプレートマッチング実行図



図 19. 入力画像から顔を判別

6.5 防犯システムとしての応用

これらの方法を用いることにより、個人の特徴を認識出来るため、テンプレート画像を用意することで手配犯の顔と照らし合わせ検出することが可能になる。そこで、店員もしくは警備員には、あらかじめ携帯端末を持たせることで、システムが犯人の特徴と一致した場合、端末に警告を知らせる。場合によっては撮影画像を送信し、端末に映すことで、店員の仕事を減らすことが可能になると考える。

7. まとめ

本稿では、小売店など状況に応じて柔軟に構成を変化させる必要のある環境における監視カメラシステムについて、配線問題を解決できる有線壁移動監視カメラシステムの構成を提案した。また、個人の特徴認識において特徴認識処理プログラム内に「画像中の最も類似している部分の相関値が、設定した相関値以上であれば矩形を表示する」というプログラムを追加することで今回に関しては、最適な相関値は 0.74 になることが実験を通して明らかになった。

壁移動台車の試作と動作検証はほぼ終わりに近づいている。今後の課題として、以下が挙げられる。

(1) ネットワーク部やカメラ部などを含む全体構成を、いかに軽量に実現するかが課題となる。

(2) さらに、ロボット間で自動的に配置決定や通信回線確立などを行うためのアルゴリズムを開発する必要がある。

(3) 今回は 4 人の顔画像を用いて相関値を設定したが、も大量の顔画像を使用し実験、研究することでシステムの信頼性が向上すると考えられる。

(4) 有線型壁移動ロボットの試作機の作成を行う必要がある。

(5) 分散並列処理システムのアルゴリズムを開発し実際の現場で特徴認識処理の検証・評価をする必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり参考にさせていただいた、OB の若山亮佑さんには心よりお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 広瀬 茂男, 長久保 晶彦, 外山 良成, 四足壁面移動ロボット NINJA-1 の開発, 日本機械学会論文集 C 編, 57 巻 540 号, 1991-8, pp. 2679-2686
- [2] 東 正之, 日高 義浩, 宮城 弘守, 壁面移動ロボット 推力押付タイプの基礎研究, 日本機械学会講演論文集, No. 005-2, 2000-10, pp. 177-178
- [3] 長嶺峻, 山本祐輔, 小松昭, 藤岡与周: 壁移動ロボットを用いた防犯システムの構成, 平成 22 年度第 1 回情報処理学会東北支部大会, Vol. 2010-1, No. 18, 2010