

人の行動を「見える化」する 動線解析技術と活用例

原田 典明・青木 勝・三上 明子
峯下 聡志・斎藤 志傑

要 旨

NECは、カメラ映像を基にして人・物の位置や状態を解析し、センサ・タグなどから得られた属性情報と組み合わせた動線解析システムを開発しました。本システムは、複数台の監視カメラ映像から人・物の位置や状態を「見える化」し、プラントや物流倉庫内での従業員の行動や、店舗内での来場者の行動を把握するツールとして利用することができます。本稿では、それらを実現する関連技術とその適応例を紹介します。

キーワード

●人物検出・追跡 ●マルチカメラ ●人物行動解析 ●見える化 ●人物属性

1. はじめに

カメラは、実世界で発生する多様な事象を把握・記録することを目的にさまざまな施設に設置され、その数と記録された情報量は膨大なものになっています。今後は、収集されたカメラ映像を価値ある情報へと変換し、業務プロセスの改善やサービスの向上を図るための可視化ツールとして活用することが重要となります。

NECは、画像解析技術の開発を通じて、動線解析システムを映像監視にとどまらずさまざまな用途への適応を進めています。本稿では、カメラ映像中の人物の行動や振る舞いを把握・理解し、現場の「見える化」を実現する要素技術の特徴と、その適応例を紹介します。

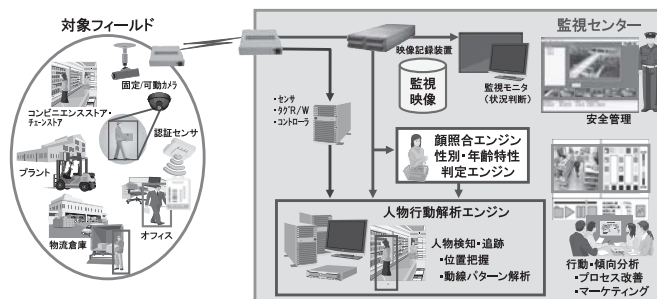


図1 動線解析システムのイメージ図

るか、どのような状態であるかを動線情報として活用することもできます。

2. 動線解析技術

NECは、プラントや物流倉庫、店舗をはじめとするさまざまな施設に設置した監視カメラから、人物の位置や状態を把握することが可能な動線解析システムを開発しています（図1）。複数台のカメラ映像から高精度に人物を検出し、それぞれの人物の位置を特定化することで、監視カメラ映像中の人どうしの重なりや人物が障害物に隠れた状態でも、安定した追跡が可能となります。また、RFIDをはじめとする認証センサと連動させることで、特定人物の動きを把握し、どのような特性を持った人物がいつどこでどのような行動をしてい

2.1 人物の検出・追跡技術

カメラ映像中から高精度に人物を検出するには、照明や射光といった環境変動の影響を低減し、障害物をはじめとする背景と動いている人物を分離する必要があります。そこで、NECは尤度（ゆうど）ベース背景差分方式¹⁾を開発しました。これにより、移動体以外の背景の出現パターンを逐次学習し、カメラ映像と比較することで、人物のような移動体だけをリアルタイムに抽出することが可能になりました（図2）。

次に、抽出した移動体が本当に人かどうかを識別する必要があります。このシステムでは、より正確に人物を識別するために、抽出した移動体に対して正規化融合型勾配方向特

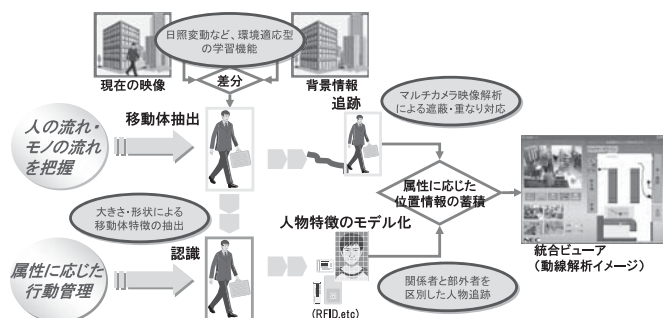


図2 人物の抽出・追跡技術の概要

徴²⁾による特徴抽出を行い、GLVQ³⁾を用いた学習型特徴データベースと連動させることで、認識精度の向上を図っています。これにより、人物の形状や特徴をモデル化し、人なのか特定の物なのかをリアルタイムに自動判定することが可能となります。

2.2 人物の位置推定技術

単体のカメラ映像から人物の足取りを追跡する際に、棚や貨物といった障害物の物陰に対象となる人物が隠れてしまうと、安定した追跡が困難になります。そこでNECは複数台のカメラ映像情報を連携させ、実空間と同様の3次元空間上に人物形状を復元し、それぞれの人物の位置を推定する技術⁴⁾を開発しました（図3）。これにより、対象人物どうしの重なりやすれ違いが発生しても安定した追跡が可能となります。また、人物の立っている位置と軌跡を±25cm以内という高精度で推定することができます。

2.3 認証センサ連携技術

カメラ映像から人物の行動や振る舞いを把握する際に、対象となる人物の属性情報と紐付けることで、より価値のある動線情報を提供します。例えば、店舗においてタグを持ち合わせている従業員と来店者を分離することで、映像中の人物のうち来店者のみの店舗内動線を把握し、POSシステムなどでは把握困難な「非購買者の行動が見える化」が可能となります。更に、顔の特徴から年齢・性別などを推定するシステムと組み合わせることで、より細やかなカテゴリごとの来店者の動線を把握することができます。

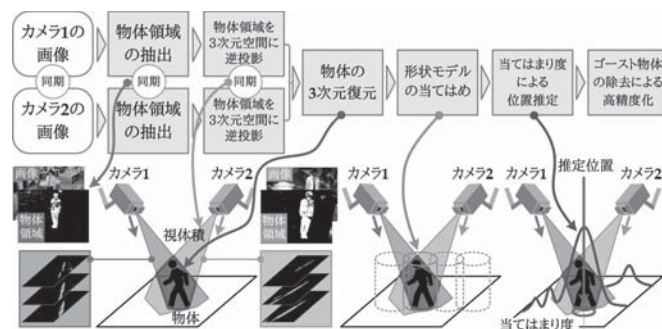


図3 人物の位置推定技術の概要

3. 動線解析システム

3.1 概要

動線解析システムは、人物や車両などの移動の位置情報を計測し、時系列変化の中で同一人物体であることを認識しながら、それぞれの位置情報の統計値を出力するシステムです。

3.2 特徴

NECが提供する動線解析システムは、以下に示す特徴を有しています。

1点目は、カメラ映像から移動体の位置情報を計測することで、無線系の位置計測に比べてより精度の高い位置情報の取得が可能となることです。2点目は、カメラ映像から取得できる情報のみで同一物体であることを把握することです。同一性の把握には、時間的・空間的な条件マッチングや輝度勾配特徴量・色情報特徴量・形状などの情報を利用しています。3点目は、カメラ映像からの画像解析以外の同一性を把握する技術との連携を考慮していることです。例えば、ICカードやRFIDタグなどからユニークなIDを取得できる環境では、その情報を積極的に活用することが可能です。4点目は、一般に普及した監視カメラ映像を対象とし、特殊な画角や設置方法を前提としていないことです。

これらの特徴により、以下の3点のメリットが得られると考えられます。

(1) 導入コストの削減

既設の監視カメラが活用できるため、初期投資のコストを抑制することが可能です。また、画像解析装置も特殊な

ハードウェアを用いず、汎用サーバで動作可能なソフトウェアとしています。このソフトウェアの出力結果を活用することで、お客様向けのカスタマイズアプリケーションを構築することが可能です。

(2) 運用コストの削減

カメラ映像からの画像解析を基本としており、対象となる物体への装置付着や携帯を前提としていません。そのため、運用時における装置着脱の追加作業が不要です。また、対象となる物体が増加したり、あるいは交換が生じた場合にも追加コストは不要となります。

(3) 投資対効果の向上

特殊な仕様のカメラを特定の位置に設置することを前提とせず、既設の監視カメラが活用可能です。そのため、通常の防犯機能を継続することができます。つまり、画像解析を付加することによって、監視カメラという既存インフラが新たな活用領域を拡大し、投資対効果を上げることになります。

4. 適応例

4.1 プラント工程管理

大型機械製造業における、巨大な部材の製造、組み立て、加工を行うプラントでは、クレーンやコンベアなどで移動した部材の移動先の位置把握により、現在の製造工程の進捗を把握したいというニーズがあります。

しかしながら、金属製の部材を扱うプラントでは電波が反射するため、従来のRFIDタグを使用した位置把握は難しく、溶接作業などによるタグの破損も課題となっていました。また、部材を扱う現場は広大であり、カンバン方式といった指示票の受け渡しによる工程管理も、人手による作業が煩雑となり困難な状況でした。

そこで、カメラ映像から部材の位置や動線を把握することで、破損の危険性があるRFIDタグなどを用いることなく管理し、人手を煩わせずにシステムによる工程の自動把握が可能となります（図4）。

カメラ映像によるプラント工程管理では、独自の輝度勾配特徴量学習技術により部材形状の変化をリアルタイムに把握し、部材にパーツが取り付けられその形状が徐々に変化したとしても、同一の部材として認識・追跡します。また、ク

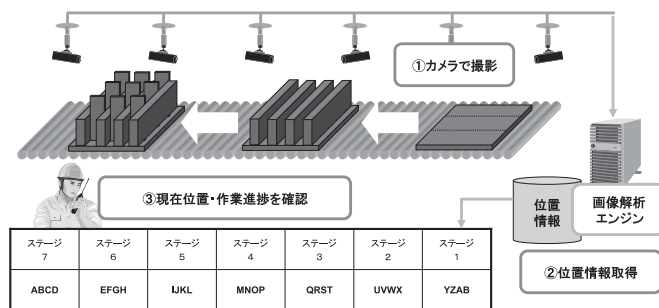


図4 工程管理システムのイメージ図

レーンなどの重機による作業をしているなかで、部材の形状が一部隠れてしまうことがあっても、形状の「確からしさ」を判定することで現在の形状の遮蔽が起こっているか否かを判断し、遮蔽が解除された後も継続して認識・追跡を行います。また、溶接光や外光、照明などの明るさの変化に影響されずに、同一の部材を認識し続けることが可能です。

この対象となる物体を安定して認識・追跡する独自技術と、特定の部材の形状判定及び特定位置の判定結果とを組み合わせることで、製造工程の開始点や終了点を認識します。これにより、ほぼ全自動で製造工程の最初から最後までを把握することが可能となります。

4.2 作業員の動線管理

工場や物流倉庫における作業員の動線情報を収集し、作業時間や移動距離を分析することで、作業のボトルネックを解消し、作業の効率化を図ることができます。これにより以前からある改善活動における効果を「見える化」することが可能となります。

工場などの定型化された作業は、作業プロセスやルールを整備して、作業手順の異常を発見すれば、ムリ・ムダ・ムラの解消につなげることができます。例えば、在庫置き場からラインへの部品補充を行う作業動線を標準化すれば、異常検知が可能となります。一方、物流倉庫などの非定型作業では通常のプロセス改善は行いにくく、属人的なノウハウによってその時その場で対応しているのが一般的です。この場合、一律的な作業改善は実施できず、属人的なノウハウによって解消されているため、その改善効果を検証することも困難となっています。

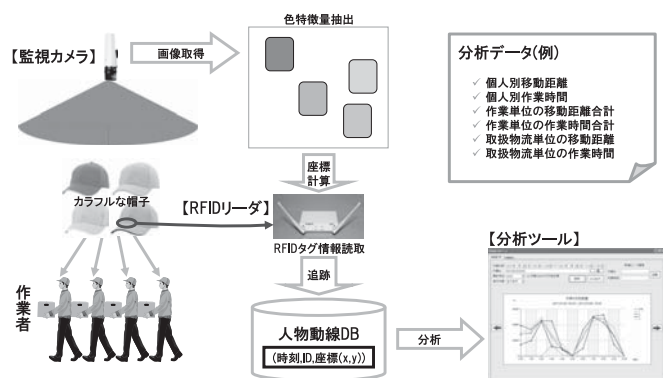


図5 作業員動線分析システムのイメージ図

このような状況に対して、本システムではRFIDタグとの連携により個人ごとの動線を把握・分析を行うことで、物量や個人のノウハウに影響されない比較検証を可能にします。そのためには、作業場内にカメラとRFIDリーダを配置し、作業動線をすべて取得できるようにします。これにより、作業場内での作業員ごとの作業時間や移動距離を時間帯別に計測します（図5）。これに当日の作業量を加味することで、作業量あたりの作業時間や移動距離を比較検証することが可能になります。実際に作業レイアウトを変更することで、作業時間を平均20%、動線距離を平均22%削減できたことが確認されました。このように改善施策の効果を検証することで業務を効率化し、従来改善が難しかった領域でもPDCAのサイクルを回すことが可能となります。

このような改善効果の検証には、本システムのようなIT化が必須となります。検証にはある一定期間の計測による比較評価が必要で、人手に頼る計測ではコスト負担や通常の業務への影響が問題になるためです。本システムでは、カメラ映像を活用することで、作業員がRFIDタグを装着するだけで動線解析を行うことが可能となります。運用時のコストも掛からず、特別な操作も不要であるため、工場・物流倉庫などの動線管理に適していると考えられます。

4.3 店舗来場者の管理

小売りやスーパーなど商品販売を行う店舗内に導入することで、店舗内の顧客動線の解析を行い、効果的な販売促進と売り逃しの削減を行うことが可能となります。これまでのPOSシステムでは、購買履歴を元に顧客の行動分析を行って

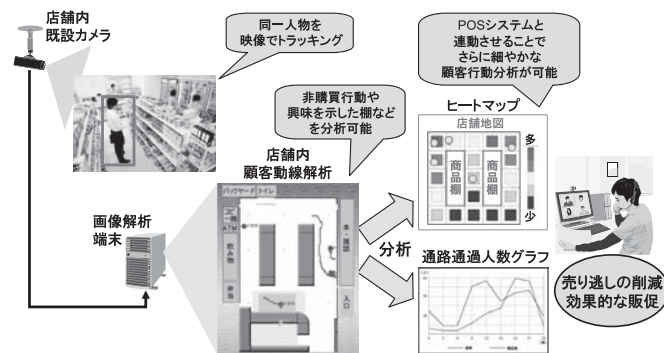


図6 店舗来場者管理システムのイメージ図

いますが、店舗内での顧客行動までは把握できていませんでした。また、人手により店舗内での顧客行動を目視で確認することや、顧客に了解を得たうえでデータ収集するといった調査は、人件費や顧客へのインセンティブといったコスト負担から、長期間・複数回のデータ分析は困難となっています。

本システムを通じて顧客動線を収集することで、店舗内での顧客の移動履歴や時間帯別の店舗来場者数を把握することが可能となります。これによりヒートマップを作成し売上情報と比較することで、売り逃しの発生している棚を特定するなど、改善施策のポイントを抽出することができるようになります。また、通路ごとの通過人数を分析することで、時間帯による行動パターンの変化に合わせて割引商品を設定するなど、より効果的な販促の展開が可能となります（図6）。

更に、NECが保有する他の映像解析システムと併用することで、より効果的な機能の拡張が可能となります。例えば、顔認証システムNeoFaceとの併用により、店員や警備員が怪しいと推測する人物の顔画像をブラックリストとして登録し、その人物の再来店時にアラームを出すことができます。その後、動線解析システムで現在位置を追跡し、現場警備員と監視室との連携により厳重な警戒を行うことができます。

また、性別・年齢層自動推定システムFieldAnalystとの併用により、店舗入口で判定した性別・年齢層を紐付けた動線情報として収集し、どのような客層がどんな商品に興味を示したかといった販促ツールとしても活用することができます。

4.4 オフィス従業員のプレゼンス管理

CO₂削減に向けた省電力化は、業種を問わず企業が早急に

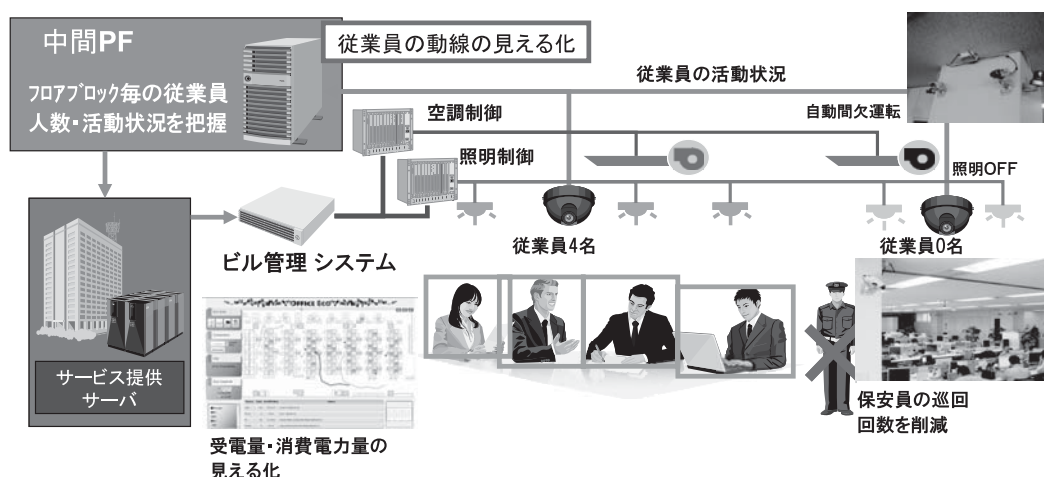


図7 オフィスエコシステムのイメージ図

取り組むべき課題となっています。特に日本においては、経済産業省の「エネルギーの使用の合理化に関する法律」や東京都の「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」などにより、オフィスビルでのエネルギー使用量の削減が求められています。オフィスにおける人の在室状態に応じて、空調や照明などのファシリティ機器の制御を効果的に実施することで、エネルギー使用量の削減効果が期待できます。

オフィスにおける人の在室状態を把握するためには、人感センサや非接触型ICカードやタグを利用するという方法が一般的です。しかし、人の状態を詳細に把握するためには、これらセンサをきめ細かく大量に設置する必要があります。動線解析システムでは、オフィスの監視カメラ映像からオフィス内のある特定のエリアに人がいることを把握することで、人の在室状況に応じた空調や照明などのファシリティ機器を効果的に制御できます。例えば、あるエリアに在室している人が一定の人数以下になった場合は、空調を間欠運転に切り替える、あるいは人が1人もいなくなった場合は、照明機器をオフとするなどの制御を行うことができます（図7）。

NECのオフィスで実証実験を実施したところ、ファシリティ機器制御に使用したシステム機器の使用電力量は除いて、実施前の使用電力量の25%削減を確認しました。

本システムでは、あらかじめ設定した対象エリアに人がいるか、あるいは何人いるかなどを把握することができます。オフィスではこの対象エリアをデスクごとに設定することで、

人の位置を細かく把握することが可能となります。特にオフィスにおいては、デスク上のOA機器などの関係から着席している人物を安定して検出することが難しくなります。本システムでは、デスク周辺まで動いていた人物の追跡結果と組み合わせることで着席した状態を把握することで解決しました。

また、本システムは、オフィスに既に設置してある監視カメラを活用することが可能で、カメラ1台で広い範囲をカバーし、人感センサと比較してコスト面でも効果があります。

5. おわりに

画像解析技術の進化により、さまざまな施設に設置された監視カメラからの映像は、警備業務にとどまらず可視化ツールとしてさまざまな用途に適応できる可能性を持っています。

本稿では、現場の「見える化」に関連するNECの画像解析技術の特徴と、プラント・物流倉庫や店舗などでの適応例を紹介しました。今後も、適応フィールドをオフィスなどへと拡張し、これら先端技術の実用化の加速を通じて、さまざまな施設のスマート化を推進していきます。

なお本活動の一部は、総務省の平成21年度第2次補正予算「ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業（環境負荷低減に資するサービス普及のための中間及び管理プラットフォームインターフェースの標準化）」プロジェクトの成果です。

参考文献

- 1) 池田浩雄、石寺永記「尤度ベースの背景モデルを用いた物体検出手法」FIT2008
- 2) 細井利憲、石寺永記「動き領域の見えに基づく物体認識」FIT2006
- 3) 佐藤敦、山田敬嗣「一般学習ベクトル量子化の提案」電子情報通信学会技術研究報告,95 (346) ,1995
- 4) 池田浩雄、大網亮磨「視体積の重なり状態の評価とゴースト物体特有な性質の評価を用いた人物位置推定の高精度化」FIT2011/ 池田浩雄、石寺永記「尤度ベースの背景モデルを用いた物体検出手法」FIT2008

執筆者プロフィール

原田 典明
プラットフォームマーケティング
戦略本部
シニアマネージャー

三上 明子
プラットフォームマーケティング
戦略本部
エキスパート

斎藤 志傑
プラットフォームマーケティング
戦略本部

青木 勝
プラットフォームマーケティング
戦略本部
マネージャー

峯下 聡志
プラットフォームマーケティング
戦略本部
主任

NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

Vol.64 No.3 映像ソリューション特集

映像ソリューション特集によせて
NECの映像技術への取り組み

◇ 特集論文

映像認識・分析

人の行動を「見える化」する動線解析技術と活用例
顔認証技術を活用したインタラクティブ映像制御システム
「ビデオシグネチャ」を活用した映像識別ソリューション

映像蓄積・加工

大容量映像データの配信及びハイブリッドクラウドの実現方式
ファイルベースへ進化する映像アーカイブシステム
次世代の放送サービスプラットフォームソリューション
報道現場を支えるトータルノンリニアソリューション
組込み機器用リッチグラフィックスソリューション～GA88シリーズIWAYAG～
超低遅延コーデックの開発

映像配信

ウェアラブル・ユニファイドコミュニケーションによる遠隔観光ガイド・通訳サービス
デジタルサイネージソリューションの動向
テレコミュニケーションロボットによる次世代コミュニケーション

◇ 普通論文

LED光源を用いた高輝度プロジェクターの開発
環境配慮型液晶プロジェクターの開発
パソコンとのシステム連携によるプロジェクターの機能向上の実現
正確な色再現と使いやすさを両立したプロフェッショナルディスプレイPAシリーズ
超狭額縁液晶を用いたビデオウォール表示システムの開発
従来にない軽量化・小型化に取り組んだ「Office Cool、EXシリーズ」



Vol.64 No.3
(2011年3月)

特集TOP