

設備異常監視システムの画像処理アルゴリズム

— ボイラ・バーナー領域の重油漏れ検知 —

Image Processing Algorithm

in Abnormal Condition Surveillance System for Plant Facilities

— Detection of Heavy-Oil Leaks at Burner Areas of Boilers —

河野 隆志^{*1} 阿久津 実^{*1}

KOHNO Takashi

AKUTSU Minoru

柳川 美和^{*1}

YANAGAWA Mikazu

池澤 克哉^{*1}

IKEZAWA Katsuya

当社では、プロセス・プラントの現場パトロールを支援するため、各種センサの信号を処理することにより、自動的にプラント設備の異常検知ができる設備異常監視システムの開発を進めてきた。今回、火力発電プラントのボイラに使用されているバーナー領域での重油漏れ異常を、画像処理により検知するアルゴリズムを開発したので報告する。

火力発電所のボイラ・バーナー領域は、気象条件等で照明変動が激しく、人の通過があったり、配管の影が差し込むといった外乱要因の多い場所である。そのため、重油漏れ異常の検知はパトロール員による巡視や制御室での運転員による監視カメラ画像の監視に頼っているのが現状である。しかし、今回開発した適応積算コントラスト強調(AACE)法により、バーナー領域の重油漏れを自動的に検知可能となった。AACE法とは、照度が低く人間がCRTモニタ上で見ても漏洩した重油を認識しがたい画像であっても、対象領域の平均輝度値が適切なレベルになるまで画像を積算することによりコントラストを強調し、漏洩した重油と背景の区別ができるようにした画像処理手法である。このとき、人の通過は画像平均法とグレースケールのパターン・マッチングを、配管等の影は今回開発した領域分割法を用いることにより、外乱として除去可能であることを示した。

本アルゴリズムを適用することにより、数分～数十分間隔で重油漏れ監視が可能となり、パトロール員や運転員の負荷を軽減することができる。

We have developed Abnormal Condition Surveillance Systems for plant facilities. The systems automatically detect abnormal conditions in plant facilities by processing signals from several kinds of sensors. This paper describes here that we developed an algorithm to detect heavy-oil leaks at a burner area of a boiler in a thermal power plant by using image processing techniques.

At a burner area of a boiler in a thermal power plant there are some severe conditions for image processing, like that dynamic illumination changes are heavy by weather condition, that sometimes patrol persons pass, or, that sometimes shadows of pipelines lay. So far, because of the illumination changes and noises, automatic leak detection is very hard and currently, patrol persons have to watch the burner area either directly or operators have to monitor through video camera in the central control room. Here, by using Adaptive Accumulating Contrast Enhance (AACE) Method that we developed, we could automatically detect the heavy-oil leaks, even if the place's illumination changes. The AACE Method is the image processing technique that oil leaks can be distinguished by accumulated images. Images are accumulated until the processed region's mean pixel value becomes an appropriate level in order to enhance contrasts of the images. Thus, this method can distinguish leaks even in low illumination circumstances that humans cannot recognize the leaks through the CRT monitors. Here, firstly, by using an averaged image of several serial images and a pattern matching on the gray scale image and secondly, by using Dividing Area Method that we developed, passing humans and figures of pipelines could be removed as noises.

With this algorithm heavy-oil leaks can be monitored at from several minutes to several ten-minutes intervals automatically, therefore the loads of patrol persons or operators can be dramatically reduced.

*1 中央研究所 計測制御アルゴリズム研究室

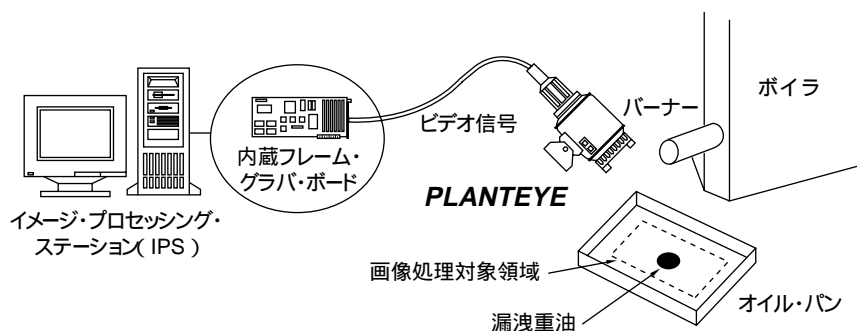


図1 重油漏れ検知の最小システム構成

1. はじめに

プロセス・プラントのフィールドでは、多くのポンプ、ファン、コントロールバルブ、配管等が稼働しており、これらの設備の異常検知を早期に行うため、1日数回の現場パトロールが実施されている。

当社では、現場パトロールを支援するため、人間の五感に相当する監視カメラ、振動センサ、および、音響センサの信号を処理することにより、自動的にプラント設備の異常検知を行う設備異常監視システムの開発を進めてきた⁽¹⁾。

このうち、現場パトロールで巡視しなければならない箇所は数百カ所にも及びることがあり、目視で発見される設備異常の件数も多い。そのため、監視カメラの映像信号を画像処理することにより異常を検知する技術は、特に広範な応用が期待できる。

異常検知のための画像処理アルゴリズムの開発は、実際の検知対象に応じて、個々に開発しなければならない。しかし、これらのアルゴリズムをツールとして再利用することにより、他のアプリケーションに応用することも可能である。

当社の中央研究所では、これまで、赤外線カメラを用いた温度分布映像からの温度異常検知、ロータリーキルンの火炎燃焼領域異常検知等の画像処理アルゴリズムの開発を行ってきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

今回、火力発電所のボイラ・バーナー領域の重油漏れを自動的に検知できる画像処理アルゴリズムを開発したので報告する。

2. システム構成

設備異常監視システムは、上記のセンサをプラントのフィールドのさまざまな場所に設置し、それぞれのセンサからの情報を統合して高度な監視を行う機能分散型のシステムである⁽¹⁾。

図1に、バーナー領域監視の最小システム構成を示す。バーナー領域の監視のための防爆型監視カメラと監視カメラからの画像を処理する専用のイメージ・プロセッシング・ステーション(IPS)を用いる。

今回は、監視カメラとして当社製PLANTEYE™を、IPSとしてはパソコンを用い、フレーム・グラバ・ボードを用いてIPSへの画像の取込を行う構成とした。

また、専用の画像処理プロセッサは使用せず、Windows用の画像処理ライブラリを用いてパソコンのCPUですべての処理を行っている。

3. 画像処理アルゴリズム

火力発電所のボイラ・バーナー領域は半屋外のところが多く

- (1) 昼夜や気象条件によって、照明条件が激しく変動する。
- (2) 作業員が、監視カメラとオイル・パンの間を通過する場合がある。
- (3) 日射や配管等の影が差し込む場合がある。

といった外乱が多い。この外乱を除去し、重油漏れだけを良好に検知するために、以下のアルゴリズムを開発した。

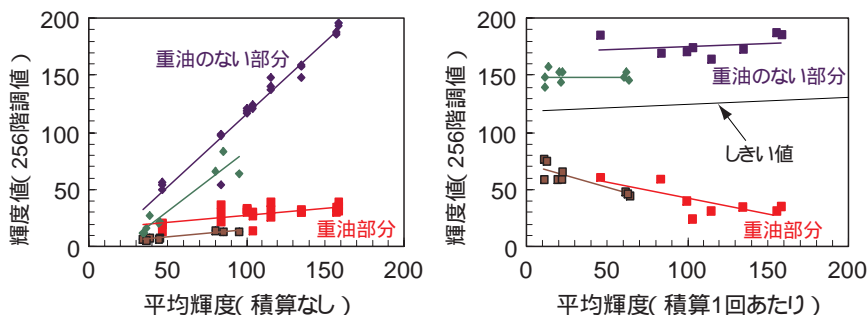


図2 積算による重油と背景の分離

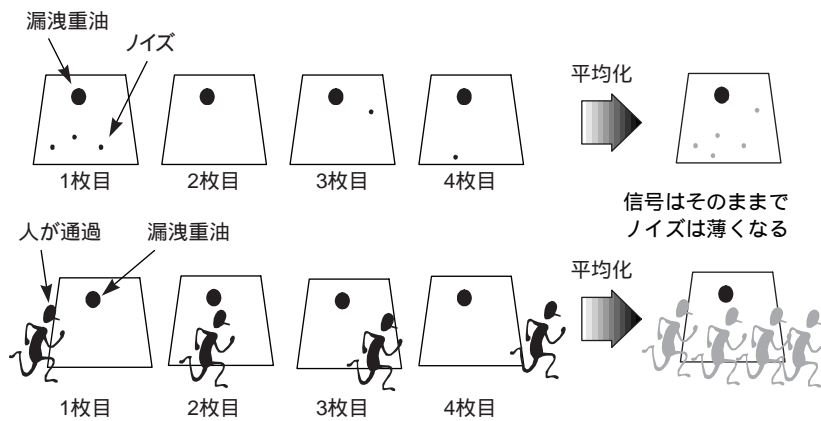


図3 平均の効果

3.3 平均画像法による外乱除去
ビデオ信号のランダム・ノイズや人の通過に対しては、連続する画像を取得してその平均画像を求めることにより、重油漏れと区別できる。

図3に、平均の効果を模式的に示す。4枚連続で取り込んだ画像の平均画像を計算することにより、ビデオ信号のランダム・ノイズや通過する人の姿が漏洩した重油に比べて薄くなる。この処理後、ACE法を適用することにより漏洩重油のみを良好に検出できる。

3.1 グレースケールのパターン・マッチングによる位置ずれ補正と外乱除去

あらかじめオイル・パンなど画像中の独特のパターンを位置ずれ補正モデルとして登録し、取得した検査画像中でそのパターンのマッチングを実行し、相関得点と発見されたモデルの位置を計算する⁽⁵⁾。このモデルの発見された位置を基に処理対象領域をソフトウェア的に補正することにより、カメラの位置ずれがあっても重油漏れ検知を正常に実行できる。

また、人や物がカメラ前を遮断していると相関得点が極端に低くなるので、その場合は外乱として重油漏れ検知処理を実行しないようにすることができる。

この処理の連続実行により、視野の復帰後は、継続的に重油漏れ検知が可能である。

3.2 適応積算コントラスト強調(ACE)法

図2に、積算によるコントラスト強調の効果をグラフで示す。実験は、重油とオイル・パンを替えた2種類の条件で行った。

夜間など低照度時には、対象領域の平均輝度値が低いと左のグラフのように、漏洩重油部分と重油のない背景の輝度値が近い値になり区別し難い。

対象領域の平均輝度値が適当な値になるまで画像を積算していくことによりコントラストが強調され、適切なしきい値を設定することで漏洩重油と背景を区別できることが分かった(図2右)。ここで、しきい値は対象領域の積算一回あたりの平均輝度に応じて変化させることにより、良好な2値化が可能となる。

3.4 領域分割法と漏れ判定

日射の差し込みや配管等の影があった場合には、図4のように領域を分割し、分割した領域に対してACE法を適用することで、良好に重油漏れを検知できる。ここで、影と漏洩重油の区別は、検出した領域の複雑度が一定値より1に近いことにより判定した。

領域の複雑度cは、領域の面積をA、周囲長をLとしたとき、

$$c = \frac{L^2}{4A}$$

で表される特徴量である⁽⁵⁾。ここで、複雑度は1.0以上の値をとり、1に近いほど真円に近いことを意味している。

4. 実験結果

図5に、照度約1000lxの時に漏洩重油のあるオイル・パンを撮像した実験画像を示す。図6に、照度約22lxの時に撮像した同じ画像を示す。この画像はCRT上で人間が見てもオイル・パン上の漏洩重油は認識し難い。しか

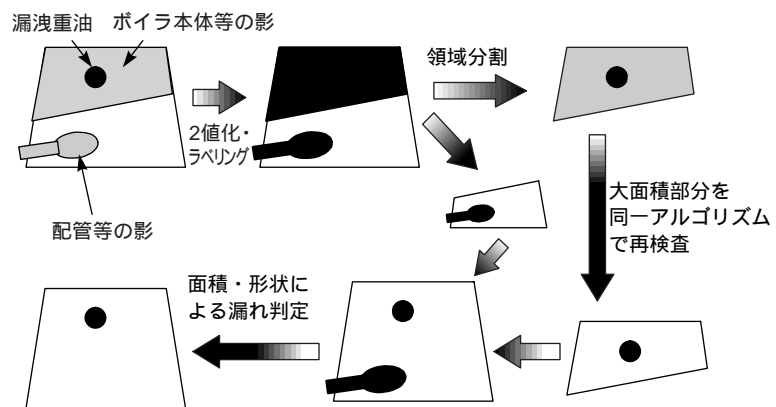


図4 領域分割と形状判定による影(日射)の影響の除去

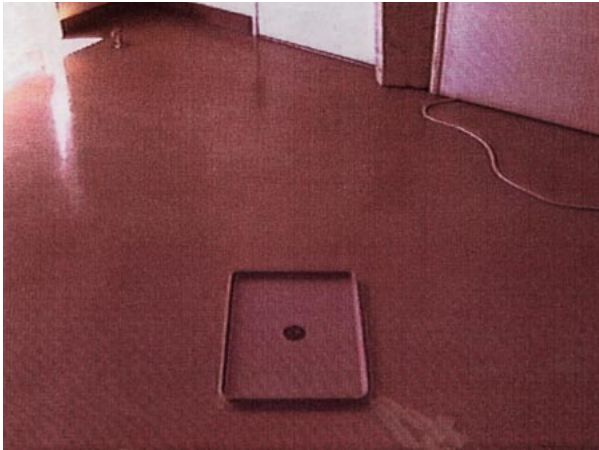


図5 通常照度時(約1000lx)の重油漏れ画像
(PLANTEYEの入力画面)



図6 低照度時(約22lx)の重油漏れ画像

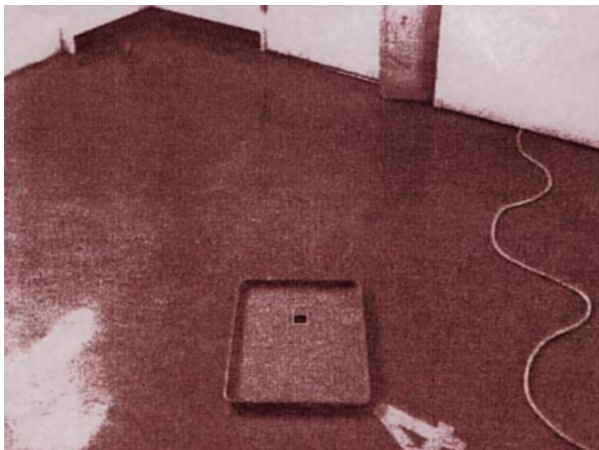


図7 アプリケーションで重油漏れを検出した画面

し、図7のようにAACE法を用いたプログラムでは重油漏れを良好に検出できている。また、人の通過、日射や配管の影の差込といった外乱のある実験用画像を撮像し、作成したプログラムで処理することにより、正常に上記外乱を除去可能であることを確認した。

表1に、目標仕様と評価結果を示す。目標仕様をすべて満足している。処理時間の目標仕様は、20から60ヶ所のバーナー領域を1台のIPSで順次切り替えて処理する場合、1ヶ所あたり10~30分間隔で処理可能な値であり、パトロールの代替として十分な性能であると考えている。

フィールドテストの結果、約3ヶ月間以上、停止することなく動作することを確認した。このことからソフトウェアの信頼性も確保できたと考えられる。

表1 目標仕様と評価結果

項目	目標仕様	結果	評価	備考
最小検知面積 [画素]	25	25		画面サイズ640×480画素の時
照度範囲[lx]	20~ 70,000	20~ 84,700		PLANTEYE使用時
処理時間[s]	30	20max		30sの時20ヶ所を10分周期で 検査可能 Pentium200 MHz使用時

5. おわりに

火力発電所のボイラ・バーナー領域の重油漏れを自動的に検知するための、画像処理アルゴリズムを開発した。

開発した手法は、照明変動や人の通過、配管の影の差込といった外乱に強いことを実験により実証した。

フィールドテストを行った結果、ソフトウェアの信頼性も確保できたと考えられる。

*PLANTEYE™は横河電機(株)の商標です。

*WindowsはMicrosoft Corporationの登録商標です。

参考文献

- (1) 桂井徹, 池澤克哉, ほか: 設備診断システム. 横河技報, vol. 41, no. 1, 1997, p. 3-6
- (2) 大矢彰, 足立俊雄, ほか: LNG火力の高温ガス漏れ現場異常検知システム. 横河技報, vol. 39, no. 3, 4, 1995, p. 131-134
- (3) 河野隆志, 足立俊雄, 大矢彰: 画像処理を用いたロータリーキルンの火災燃焼領域検知システム 第3回 画像センシングシンポジウム予稿集(1997)
- (4) 河野隆志, 足立俊雄, 大矢彰: 設備異常監視システムの画像処理アルゴリズム - ロータリーキルンの火災燃焼領域異常検知. 横河技報, vol. 41, no. 3, 1997, p. 89-92
- (5) 高木幹雄, 下田陽久監修: 画像解析ハンドブック. 東京大学出版会(1991)