

センサーネットワークを利用する消火活動支援システムの検討 —画像処理を用いた火災状況認識法の検討—

野飼 雅弘[†] 大谷 淳[†]

[†] † 早稲田大学大学院国際情報通信研究科 〒367-0035 埼玉県本庄市西富田大久保山 1011

E-mail: † {nogamasa,ohya}@waseda.jp

あらまし センサーネットワークと画像処理を統合的に用いて消火活動を支援するシステムの実現を目指し、本報告では火災状況の認識を画像処理を用いて行う手法を検討する。具体的には、煙の挙動を画像処理により認識する手法を検討する。煙の挙動を認識するためには、一般に単純な背景差分では不十分である。従って、本報告では、再帰的に画像を、濃度分散特徴を利用して分割していく方法を提案する。背景画像と各フレームの分割結果を比較することにより、煙の挙動が推定される。実際の火災の状況を撮影したビデオ画像を対象とした実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

キーワード 画像処理 煙 火災 認識 センサーネットワーク 消火活動支援

Study of a System Supporting Fire Extinguishing Activities by Using Sensor Networks

— Study of Recognizing the Situation of Fire by Image Processing Technologies —

Masahiro NOGAI[†] Jun OHYA[†]

[†] † Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

1011 NishitomitaOkuboyama, Honjo, Saitama, 367-0035 Japan

E-mail: † {nogamasa,ohya}@waseda.jp

Abstract Towards the realization of a system that could support fire extinguishing activities by combining sensor networks and image processing technologies, this paper studies an image processing based method for recognizing the situation of fire. More specifically, how to recognize behaviors of smoke is studied. To detect smoke's behaviors, in general simple background subtractions do not work. Therefore, this paper proposes an image segmentation method that recursively partitions the image using a feature based on gray-level variances. Experimental results using real video sequences of fire demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm.

Keyword image processing, smoke, fire, recognition, sensor network fire extinguishing activity

1. はじめに

消火活動中において使用している携帯無線機では多くの消防隊の部隊が限られた無線周波数帯を同時に使用したため混信し通信システムとし機能しなくなったことがある。これらの問題は限られた周波数帯に主に音声などの大きな情報を伝送し輻輳を起こしてしていることや構造物内の火災状況の情報不足などから、音声による現場の状況確認など報告のために通信帯域を圧迫してしまったなどの

理由が挙げられる。また火災状況の情報不足は通信帯域の問題だけでなく消防隊員の行動にも無駄が生じ、緊急を要する消火活動に支障をきたす恐れがある。そこで筆者らはビルや地下街などの環境にRFID(Radio Frequency Identification)などの無線送信機能をもつ素子から構成されるセンサーネットワークを設置し、各センサーにカメラを接続し、火災によりネットワークの一部が消失しても、その環境内のいずれかの場所にいる消防士に状況を伝え

られるようなシステムを提案し、検討を行っている[1][2]。このような消火活動支援システムは前述のようにRFIDをベースとしたセンサーネットワークを利用するため、伝送帯域は狭く、動画を実時間で送信することは実質不可能である。従って、各センサーに接続されたカメラから獲得される画像を処理し、火災の状況をテキスト情報で記述し、伝送することが考えられる。本報告では、画像処理により火災の状況を認識する技術の実現を目指し、煙の挙動を認識する手法の検討を行う。従来の検出手法では輝度を使った背景差分などがあるが、火災時において炎の発生によって生じる光源の発生と変化は、輝度を大きく変化させるため、煙の領域推定は難しいと考えられる。また煙の彩度が低い点を利用し、色相や彩度を使った背景差分などの方法が挙げられるが、背景画像がコンクリートやブロックなど彩度の低い背景では使用できない場合がある。このように輝度や彩度を用いた背景差分法では火災発生初期の段階では有効だが、炎などが大きくなり煙が充満してきた場合には煙の領域推定を行うのは難しいと考えられる。そこで本論文では画像を濃度分散ごとに領域分割し、災や煙などの発生による領域分割の変化に注目し煙の領域推定を行い火災状況に応じた適切な煙の検出法を選択するとともに火災状況を把握する。本論文の構成は以下の通りである。2章では、本提案システムにおけるセンサーネットワークについて述べる。3章で、本論文で提案する煙の挙動認識法を説明する。4章で、実験結果を示し、考察を加える。5章で本論文をまとめる。

2. センサーネットワーク

本節では、本論分で利用するセンサーネットワークの概要について述べる。

2.1. アドホックセンサーネットワーク

アドホックネットワークを構築できる端末は現在いくつか販売されているが、その中のひとつにMOTE[3]と呼ばれる端末がある。MOTEはU.C.Berkeley校が主体になりIntel、Crossbow社などが協力して開発を行っている、国際的オープンフォーラムで研究や実使用が進んでいる小型の通信端末で、フリー開発環境を有し、RFIDタグや進化型ICタグのデファクト・スタンダードになりつつあると言われている。本論分で使用するMOTEは図1のような形状で大きさは小さいものだと500円玉くらいのサイズである。電源は市販の電池を利用でき単三電池やボタン電池を使用する。この大きさでも自発的にアドホック・マルチホップ・

ネットワークを構成することが可能である。またMOTEには各種センサーを取り付けることが可能で、温度、湿度、加速度、光、音やGPSなどの機能を組み込み、アドホックセンサーネットワークとして利用することができる。

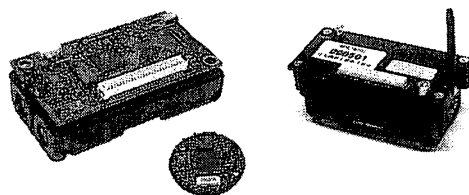


図 1 MOTE

2.2. MOTEの基本性能

MOTEは図2のように8mほどであればほぼ確実にパケットを送信することができ、既存の火災報知機や消火栓などの防災設備や照明などの電源供給可能な設備に設置し構造物内の環境を細かくモニタリングすることも可能である。

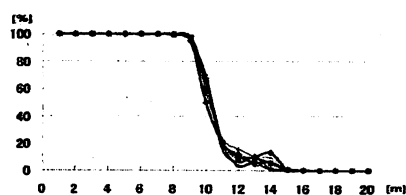


図 2 MOTEの通信距離

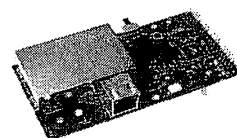


図 3 LAN Gateway

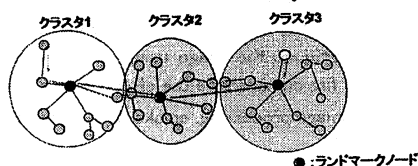


図 4 クラスタ化

アドホックネットワークはネットワーク中の端末が増加するとデータの中継を頻繁に行うことになり、そのために通信帯域を圧迫してしまいスケーラビリティの面での問題がある。そこでMOTEにはLAN Gateway端末(図3)も用意されており、ネットワー

クのクラスタ化を行うことができるようになっている(図 4)。クラスタ化とは代表的な端末(ランドマークノード)を中心とし、ひとつのネットワークの集合として形成する。クラスタ内の端末のセンサー情報などは一度ランドマークノードに集められる。違うクラスタへの情報の送受信は、一度ランドマークノードに送られそこから相手先のノードに送信されることになる。このように各端末の通信経路をある程度の規模に押さえ込むことで経路の簡略化を行うことが可能であり、MOTEのように通信帯域の狭い端末でも規模の大きい施設で運用することが可能である。

3. 煙の領域抽出法

カメラを使った火災認識には火災発生を素早く検知するための研究[4]や煙や炎などの火災状況を把握するための研究[5]が行われている。しかしながら火災発生から鎮火に至るまでに火災状況は刻々と変化するため、これらの研究で行われた輝度を使った検出手法では対応できない場合があり、火災の状況に応じた煙の検出手法を選択する必要があると考えられる。そこで火災の代表的な状況を分類し適切な検出手法を選択すると共に複数の手法の検出精度の違いにより火災状況の推定を行っていく。

3.1. 検出手法の選択

火災が発生した後、炎や煙の影響で逐次カメラ画像は変化していく。特に炎による明るさや、色合いの変化は画像処理をおこなうにあたって最大の障壁となる。そこで本論文で火災時における状況を図 5 に示すように(a)火災発生初期(b)炎の拡大、煙の増加(c)煙の充満(d)鎮火に分類し、各状況に応じた適切な手法を提案する(図 6)。

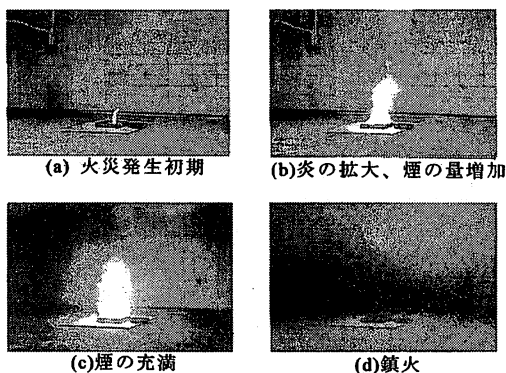


図 5 火災の状況

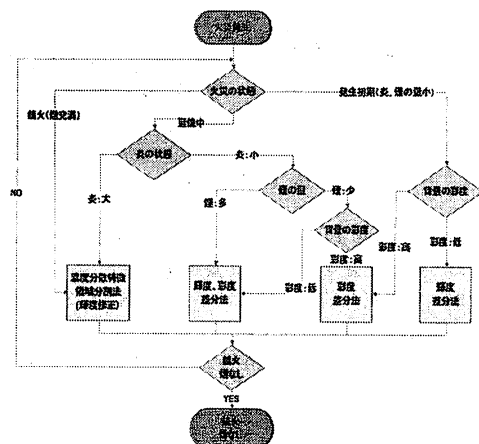


図 6 火災の検出手法

3.2. 輝度を用いた差分法

火災現場で輝度を使った差分法[6]を使用した場合、図 7 のように火災発生初期のまだ炎による輝度変化が少ない場合は有効な手法であるといえるが、図 8 のように炎が大きくなるにつれて画面全体の輝度の変化が大きく変化した時や煙の充満により画面全体の輝度が低下した場合などでは輝度差分法を用いて煙の領域を抽出することは困難であるといえる。

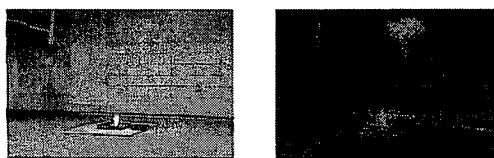


図 7 火災初期時の輝度差分

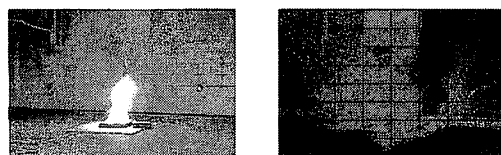


図 8 炎や煙による輝度の変化

3.3. 彩度を用いた差分法

彩度、色相、明度は色の 3 属性と呼ばれ、彩度は色の鮮やかさを現す。煙の場合には彩度が低いため、この彩度に注目して領域を検出する。図 9 は彩度変換を行い、純色を白、無彩色を黒で現したものであり、煙の場合はそのほとんどが無彩色であるため、煙の存在している領域は黒色となる。

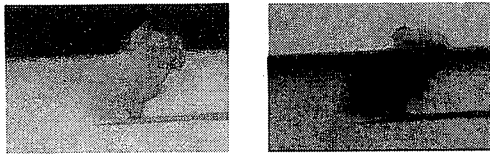


図 9 彩度変換画像

図 10 は炎のない煙の CG 画像を使用し彩度差分をおこなった結果である。背景画像で青い空の部分と、大地の黄土色の部分は彩度が高いので煙との差分を行った場合の差分値は高く領域を検出しやすい。しかし彩度差分法の場合、水平線部分や図 11 のようなブロックなどの背景画像では煙と同じように彩度の値が低いため煙の領域を抽出することは困難であるといえる。

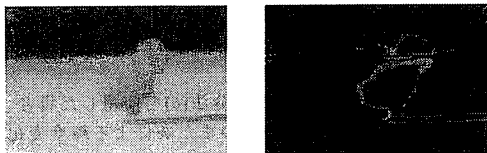


図 10 彩度を用いた背景差分結果

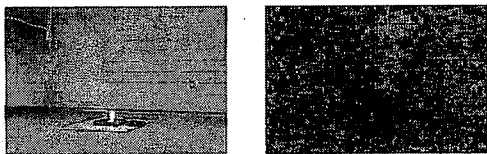


図 11 彩度の低い背景差分結果

3.4. 輝度と彩度を用いた差分法

輝度や彩度を用いる方法は炎の影響の少ない火災発生初期においては非常に検出精度が高く有効な領域抽出手法であるといえる。また輝度、彩度差分には以下のような特徴があり、輝度差分値と彩度差分値を両方を用いた方法では煙と炎と背景を分離することが可能となる(図 12)。

● 輝度差分

輝度差分法では煙と炎の領域を抽出することができる。また輝度の値が非常に高い画素の部分を光源、すなわち炎の領域と認識し、煙の領域と分けることができる。

● 彩度差分

彩度の高い炎の光による構造物の反射や炎の領域を抽出することができる。

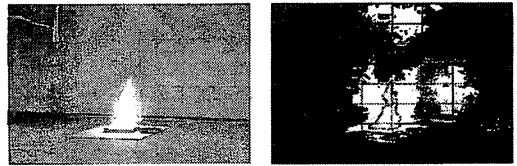


図 12 煙と炎の分離

3.5. 濃度分散領域分割を使った領域抽出

先に述べた輝度や彩度を用いた手法の場合、炎が大きくなり輝度や彩度に変化が起こった場合や煙が充填してきた時などには、煙領域の抽出は困難となる。そこで、本論分ではあらかじめ背景画像を濃度分散ごとに領域分割を行い、入力された画像の領域分割の変化に注目しその変化から煙と炎の領域抽出を行った。領域分割は次の手順で行う。

1. 入力された画像を 4 分割し、その 4 分割された画像すべての濃度分散値を計算する。
2. 次に 4 つの分割された領域の濃度分散を計算しその中から一番分散値が大きい領域をさらに 4 分割する。
3. そして、次に新しくできた 7 個の領域の濃度分散を計算し、同じように分散が一番大きい領域に対してさらに 4 分割し、これをくり返す。
4. すべての領域がある一定の分散値以下になった場合領域分割を停止する。

図 13 は実際に煙の画像に対して領域に分割を行い各領域の重心に当たる座標を点で表したものである。左上の白いパイプの部分やブロックの溝の部分で領域分割が多く行われている。また図 14 は火炎時に領域分割を行った結果であり、ブロック塀の部分に煙が存在している場合には濃度が一樣になり領域分割が行われず分割数が減少しているのが確認できる。

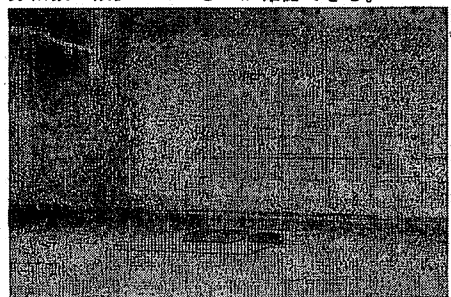


図 13 領域分割結果

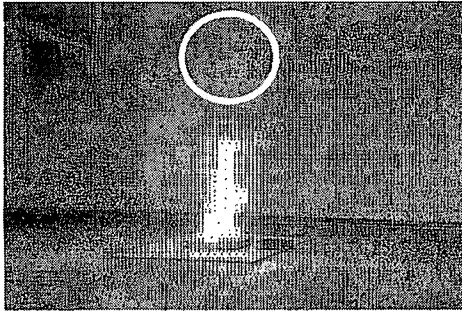


図 14 火災の領域分割結果

また、炎から煙が立ち上っている場合と同様に煙が充滿している場合などでも図 15 のように領域分割数が減少していることが確認された。



図 15 煙の充滿

領域分割法は背景画像の濃淡が一様で領域分割数が少ない場合は、煙による領域分割との比較が難しく煙が存在するか判別するのは難しいといえる。また火災初期のような煙の量が少なく、背景と煙の境界部分での濃淡の差が生じた場合には境界に対して領域分割をおこなってしまうため検出精度は低下する。そして天井部分に照明などの光源がある場合、図 16 の様に煙の濃淡が変化してしまい領域分割されてしまう。そこで煙が照明に当たり輝度に変化している領域については図 17 のように予め輝度差分をおこなった後に輝度差分値が大きく上がっているブロックについては、領域分割数が増えているブロックを煙として検出する。

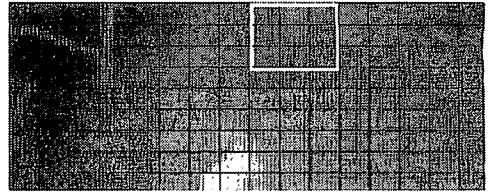


図 16 照明の影響

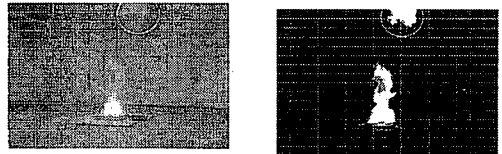


図 17 輝度を使った修正

4. 実験

各検出手法が火災発生から鎮火にいたるまでの間、どの程度煙を正確に検出できたか計測した。

● 実験方法

入力画像を 16×16 の小ブロックに分割しておき、図 18 のように画像中にある煙のブロック数を数える。図 18 の画像の場合は、23 ブロックが煙領域であると判断する。そして各 5 つの検出手法で検出された煙領域ブロックと予め数えておいた煙の領域ブロック数から煙領域の検出率を計算する。

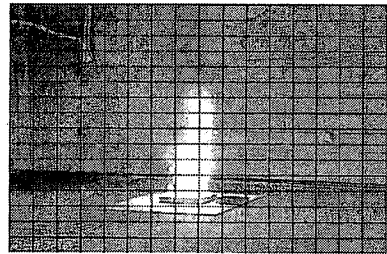


図 18 煙の領域数

実験結果は約 6 分間、11100 フレーム (30fps) について行い。縦軸は煙のブロック検出率、横軸にはフレーム数を取り、図 19 のような結果となった。

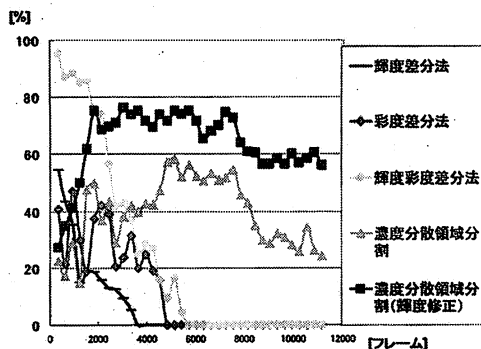


図 19 実験結果

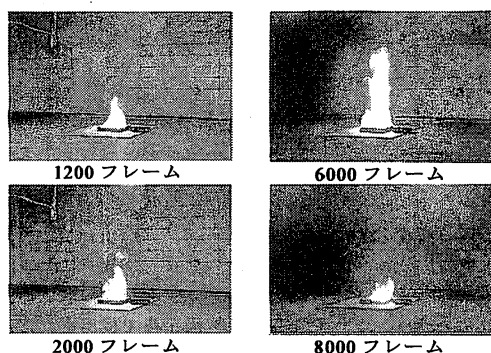


図 20 火災状況

実験の結果図 20 の 1200 フレームのような火災広がり始めた状況になると輝度や彩度を用いた検出法は検出率が大きく低下する。また 2000 フレームでは輝度や彩度を用いた手法と濃度分散領域分割を用いた手法の検出率は逆転する。6000 フレームのように煙が充満してくると、輝度、彩度を使った検出法では煙の領域検出はできなくなった。そして 8000 フレームのように完全に煙が充満した場合には、濃度分散領域分割を使用した検出法でも検出率が低下した。

火災初期では輝度や彩度を用いた方が検出率高く領域分割法では煙と背景との境界が領域分割されるため検出率は低い結果となった。逆に煙が充満した場合には輝度や彩度が画面全体で変化してしまうため検出率は低下するが、領域分割法では煙が充満した場合でも検出が可能であるため輝度差分法よりも高い検出率となる。今回の実験で輝度、彩度差分法と濃度分散領域分割法の火災状況による検出率変化から、輝度差分法の火災状況を把握することが可能であるといえる。しかしながら煙が完全に充満した場合の検出率は

60%ほどであり検出率は若干低い結果となった、これは煙が部屋全体に充満し煙の濃度が高くなった結果、天井の照明の光が広範囲に乱反射し、輝度差分を行っても差分値が低く輝度修正が行なえず領域分割され煙の領域と判断できなかったためと考えられる。

5. おわりに

本論文ではアドホックセンサーネットワークと煙と炎の検出手法について検証しその有効性を明らかにしたが、今後は実際に監視カメラの画像を処理し MOTE を使ったアドホックセンサーネットワーク上に炎の大きさや煙の充満度といった消火活動で必要とされる現場状況送信するシステムの構築をおこなっていく予定である。

文 献

- [1] Rubaiyat Yasmin, Jun Ohya and Aoki Yoshimitsu, "A Study on MOTES to Assist Fire Extinguishing System", Proceedings of the IEICE General Conference, Osaka University, Japan, ISSN 1349-1377, March 21-24, 2005.
- [2] Rubaiyat Yasmin, Koji Koike, Yoshimitsu Aoki, Ohya Jun and Mikio Takagi, "Fundamentals of RFID and its Application Analysis in Smoky Area", Forum on Information Technology (FIT)-2004, Doshisha University, Japan, Vol. 3, p.591-592, September 7-9, 2004.
- [3] <http://www.xbow.jp/motemica.html>
- [4] 大藪崇, 宮原靖充, 黒川不二雄, 松尾博文, 山浦剛俊, 永田良人 "マルチカメラ方式高速動画画像処理システムを火災検知に用いた場合のアルゴリズムについて", 電気関係学会九州支部連合大会, 1998
- [5] 藤田肇, 木田淳一郎, 西山和人, 井藤義行, 岩本健・瀬戸山浩祐, "画像処理技術を適用したトンネル防災システム", SEI テクニカルレビュー, pp.19-24, 2003
- [6] Rubaiyat Yasmin, Jun Ohya and Aoki Yoshimitsu, "Image-based Assistance to Fire Extinguishing System with Mote", Forum on Information Technology (FIT)-2005, Chuo University, Japan, September, 2005.