

画像処理を利用した農家支援システムに関する研究

生産システム工学専攻 上村 直也

Research on Farmer Support System by Using Image Processing

Naoya Uemura

Advanced Course of Production System Engineering, Toba National College of Maritime Technology

Abstract

The importance of ubiquitous computing is gained in the agricultural area. Field Servers are developed and used as a remote monitoring tool in recent agricultural industries. The Field Server handles weather data, measuring and taking photo images for analyzing visualized information. However, The Field Server needs an electric power source, so it will be difficult to place it in the large farm. The fact that image data are not adequately used for the automatic control even though the condition of the plants, pests and thieves are detected only from images. On the other hand, the serious problems in agriculture are increasing part-time farmer and crop-damaging by varmint. As our first proposal we developed the farmer support system. Functions of the Farmer Support System are: 1) browsing Field Server data (weather and image data), 2) slideshow of the images, 3) Operation of field server using photovoltaic generation. 4) Varmint-Buster system by detecting birds using Image Processing .This system, "Farmer Support System" will assist all the farmers for its convenience.

Keywords: Ubiquitous, Field Server, Varmint-Buster system, Image Processing,

1. はじめに

農林水産省の 2005 年の統計調査によると、日本の約 80%が兼業農家である[1]. このことから、日本の多くの農家が農業だけに専念することは難しいことが分かる。また近年の高齢化に伴い、農家自体も減少しているのが実態で総合食料自給率は 69%である[2]など、深刻な問題となっている。さらに鳥獣による農作物の被害は 2004 年度では 206 億円もあり、うちカラスが 35 億円、その他鳥類が 43 億円と全体の 4 割を占めているという調査結果もある[3]. この様に農業をとりまく問題は多岐にわたっている。

一方、様々な分野で情報化という言葉が耳にするようになった。情報化といえば工業に固執してしまいがちではあるが、農業においてもユビキタスネットワークを利用した機器の設備は進められている。その代表的な例として、フィールドサーバと呼ばれるネットワーク接続可能な圃場設置用の環境測定器が普及している[4]. 搭載されたセンサにより、容易に気象データを収集することが可能である。収集可能なデータは、温度、湿度、日照量である。さらにフィールドサーバに搭載されたネットワークカメラによる画像データの撮影も可能である[5]. フィールドサーバは、(株)イーラボ・エクスペリエンス[6]やパナソニック電工(株)[7]から発売されている。しかし、フィールドサーバを有効利用するためのアプリケーションは専用設計であり、各農家が独自で注文する必要があるなど多額の費用が

必要である。また、現在のフィールドサーバは電源が必要とされるため広域な圃場では電源の確保が困難である。さらにフィールドサーバから取得できる画像データについては、ほとんどが自動処理には利用されず、利用者が見て観察するのみに使用されているのが現状である。

そこで私は、農家を対象にした支援システムとして、農場の気象データや画像データの蓄積を行う収集プログラムと広域な圃場でも設置が可能なフィールドサーバ用の太陽光発電システムに関する研究を行い、実際に農場へのシステムを設置行った。農場へフィールドサーバや太陽光発電機の設置を行い、ネットワークを構築し外部ネットワークから画像、気象データの閲覧を可能とした。またこれまであまり有効的に利用されていなかったネットワークカメラで取得した画像データに対して画像処理を行い、害鳥を検出し警報を鳴らす「害鳥駆除システム」における害鳥検出手法について小林[8]が研究してきた「フレーム間差分法」を改良した「平均画像差分法」を新たに開発した。

本稿では、フィールドサーバの設置、ネットワークの構成方法や害鳥駆除システムをまとめて農家支援システムとして提案する。

2. 開発するシステムの概要

2.1. 搭載する機能

現在フィールドサーバを設置させていただいている農家側と打ち合わせた結果に基づき、今回開発するシステムに搭載する機能を以下のようにまとめた。

- ①フィールドサーバからの画像，気象データの取得
- ②Web アプリケーションでの画像，気象データの閲覧
- ③太陽光発電機を利用したフィールドサーバの稼動
- ④画像からの害鳥抽出による害鳥駆除システム

これらの機能があれば，農家はわざわざ日々の観察データをノートに直筆でメモする必要がなくなる。また，太陽光発電機を利用したフィールドサーバの稼動により電源がない遠隔地でも稼動させることが可能になる。

画像からの害鳥抽出による害鳥撃退システムでは警告音を鳴らすことにより害鳥を撃退し作物を害鳥被害から防ぐことが可能になる。

2.2. システムの構成

システムの構成を図 2.1 に示す。農家(事務所)は汎用的な ADSL 回線でインターネットに接続している。ブロードバンドルータを経由してローカルなネットワークが構成されており，Web サーバやデータ処理用パーソナルコンピュータ(以後データ処理用 PC)が稼動している。また，無線 LAN 基地局によって圃場のフィールドサーバに接続できる。

フィールドサーバの電源は広域な農場でも設置できるような太陽光発電パネルより電力の供給を行う。

このフィールドサーバには，気象センサ，ネットワークカメラなどが接続されており，データ処理用 PC 上で動作している巡回プログラムによって，気象データや画像データを逐次取得している。取得された各データは，Web サーバ上のデータベースに書き込んでいく。そして，クライアント(パーソナルコンピュータや携帯電話)から Web ページを参照することによって，Web サーバ内の各データを参照できる。そのほか，巡回プログラムとは別に第 4 章で説明するような害鳥駆除システムを動作させる。

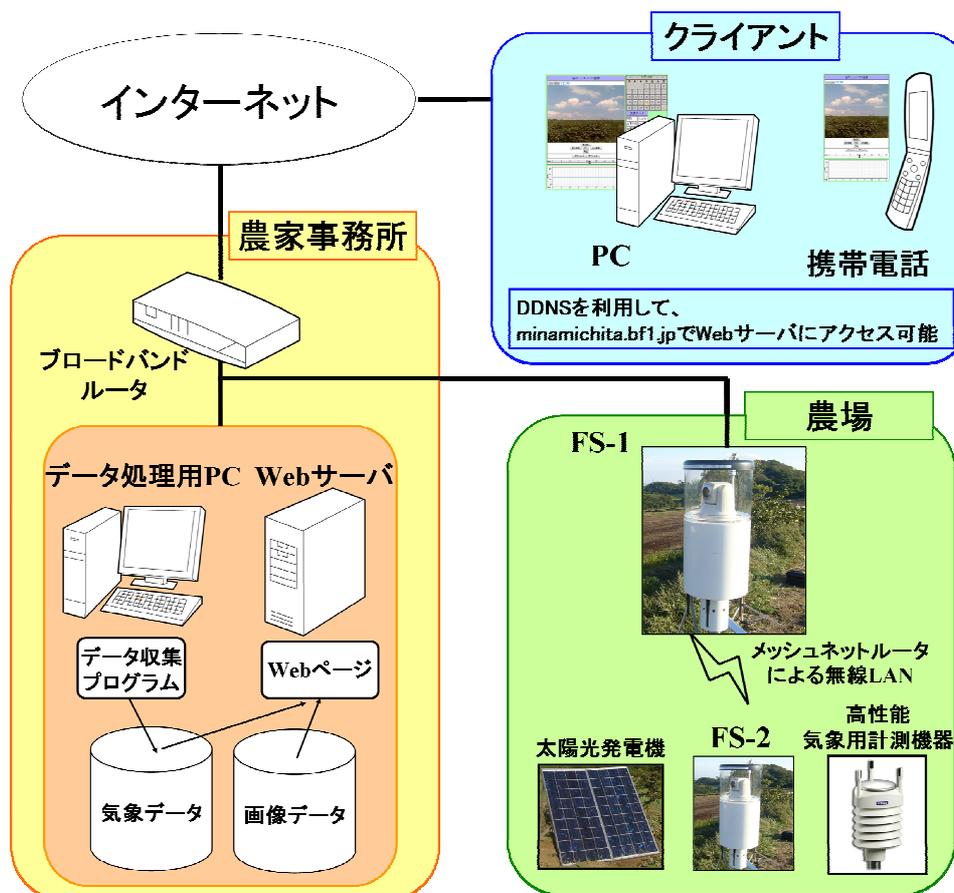


図 2.1 システムの構成

3. 圃場へのフィールドサーバの設置とネットワーク構築

3.1. フィールドサーバの設置

今回の研究ではシステムの稼働実験のため実際に愛知県の知多郡南知多町にある農場へシステム一式の設置を行った。農場への設置状況は図 3.1 に示す。

今回、設置したシステムはフィールドサーバのデータ収集用 PC、ルータ、フィールドサーバ 2 台、太陽光発電機、気象用計測機器で構成されている。データ収集用 PC、ルータは農家の事務所に設置し ADSL 回線によりインターネットへ接続している。フィールドサーバ 2 台中の 1 台(以下フィールドサーバ-1)は PLC アダプタを用いて農場からデータ収集用 PC と同じ LAN ネットワーク内に接続している。

太陽光発電機と気象用計測機器が接続されたフィールドサーバ(以下フィールドサーバ-2)はフィールドサーバ-1 より 100m ほど離れた場所に設置し、フィールドサーバに搭載されている Wi-Fi メッシュネットワーク機能によりフィールドサーバ-1 を介してデータ収集用 PC との通信が可能になっている。

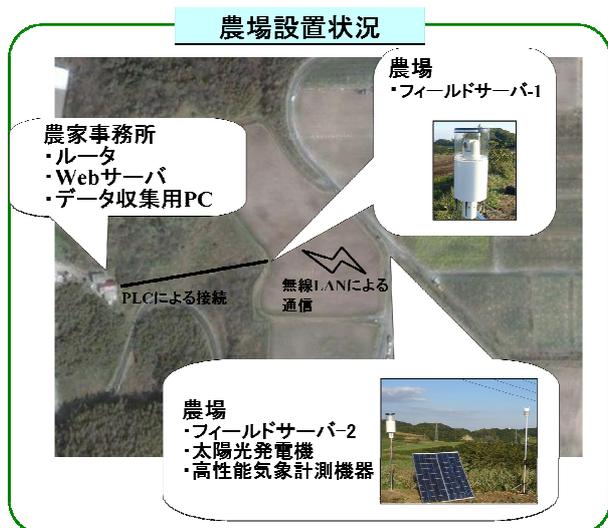


図 3.1 農場への設置状況

3.2. 太陽光発電機を利用したフィールドサーバの稼働

現在、市販されているフィールドサーバは、電源を必要とし独立では稼働することはできない。そこで、広域の農場で動作させるため、太陽光パネルによって発電を行った。システムの構成は図 3.2 に示す。今回のシステムの構築には太陽光パネル、充放電コントローラ、バッテリー、インバータを利用した。各機器の仕様については表 3.1 に示す。

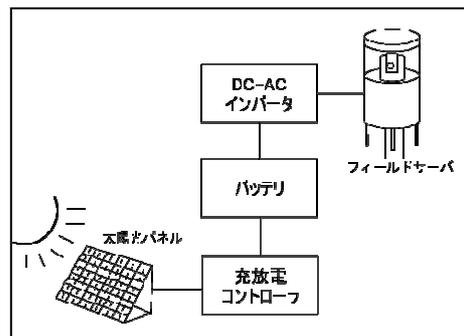


図 3.2 太陽光発電機のシステム構成

表 3.1 太陽光発電での使用機器

機器	型番	仕様
太陽光パネル	シャープ製 NE-70A1T	寸法 1200×530×35mm 出力 140W (70W×2)
バッテリー	米国コンコルド社 製 PVX1080T	定格容量 108Ah 定格電圧 12V
DC-AC インバータ	電菱製 DS150-112	正弦波 50Hz と 60Hz の 切り替え可 最大出力 150W 変換効 率 約 90%
充放電 コントローラ	未来舎製 PV-1212D1	12VDC 用, 12A まで制御

1 日の日照時間に簡便法(3.3 時間)を用いると 1 日の平均発電電力は、 $140 \times 3.3 = 475.2 \text{Wh}$ となる。今回動作させるフィールドサーバの消費電力は常時給電状態で 9W となっているので、損失を考えても 40 時間以上の稼働が可能な電力を 1 日で作り出せる。バッテリーは $12\text{V} \times 108\text{Ah} = 1296\text{Wh}$ の容量を持っており、3 日間晴れが続けば、 $140\text{W}/\text{日} \times 3.3\text{h} \times 3 \text{日} = 1425.6\text{Wh}$ となり 3 日間でフル充電が可能である。

4. 害鳥駆除システムについて

4.1. システムの構成

図 4.1 に今回提案するシステムの構成図を示す。フィールドサーバに警報器を接続し、農家のパーソナルコンピュータで、害鳥検出を行う画像処理プログラムが動作している。

以下の流れによって害鳥の自動検出および撃退を行う。

- ①フィールドサーバのネットワークカメラによって常時上空を監視。
- ②撮影された画像データから画像処理によって害鳥の検出を行う。
- ③害鳥が検出された場合、フィールドサーバへ命令を送り、警報器によって警告音を鳴らし害鳥を撃退する。害鳥が検出されなかった場合①へ戻る。

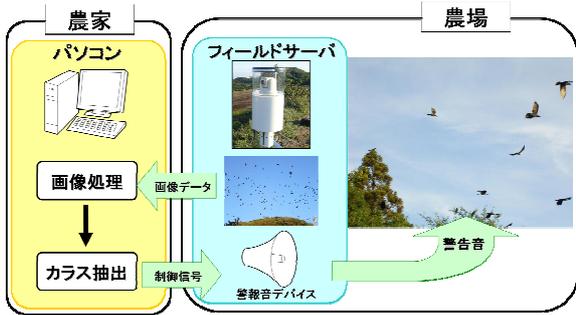


図 4.1 システムの構成図

4.2. 鳥検出処理の流れ

図 4.2 に鳥の検出を行うために考えた画像処理の流れを示す。注目する時刻 t における画像を A とし、その前の時刻 $(t-15)$ から $(t-1)$ までの 15 枚の画像から各画素値の平均値をとり平均画像を作成する。注目する時刻 t の画像から作成した平均画像の差分をとることにより動体を検出する。

図 4.2 の画像処理の流れの中にある「ずれの補正」、「差分処理」、「平均画像の作成」、「2 値化処理、縮小膨張処理」、「不要領域の除去」の各処理の詳細な内容は次節以降で詳しく説明する。

4.3. テンプレートマッチングを用いたカメラのずれ補正

今回の実験では撮影用のカメラが風などでぶれる場合があり、そのまま差分処理を行うと電柱が動体領域として抽出されてしまう。そこで、カメラのぶれでずれた画像を補正するために相関を用いたテンプレートマッチングの処理を利用している。

テンプレートマッチングとは対象画像の中からあるパターンを見つけ出す手法の一つである。パターンを見つけるためにテンプレートと呼ばれる画像(今回は、 60×100 pixel の電柱領域とした)を用意し、そのテンプレートと対象領域との類似度を計算して、類似度が高い場所を出力する。

相関係数を用いたテンプレートマッチングでは注目点の周りの画素とテンプレートの相関係数を求める。相関係数は -1 から 1 の値を取り、1 の場合は注目領域とテンプレートが完全に一致したことを示す。相関係数は -1 の場合は負の相関があり、0 の場合は相関がないことを示す。

注目点における相関係数 $c(i,j)$ の計算には式(4.1)を利用する。ここで、 $f(i,j)$ は入力画像の注目点、 $t(k,l)$ はサイズ $m \times n$ のテンプレート画像の各座標点、 \bar{f} は元画像の注目領域の平均濃度値、 \bar{t} はテンプレートの平均濃度値である。相関係数はカラー画像を元にして求めているため、RGB の色チャンネルで相関係数を求めたあと、平均値を評価に利用している。

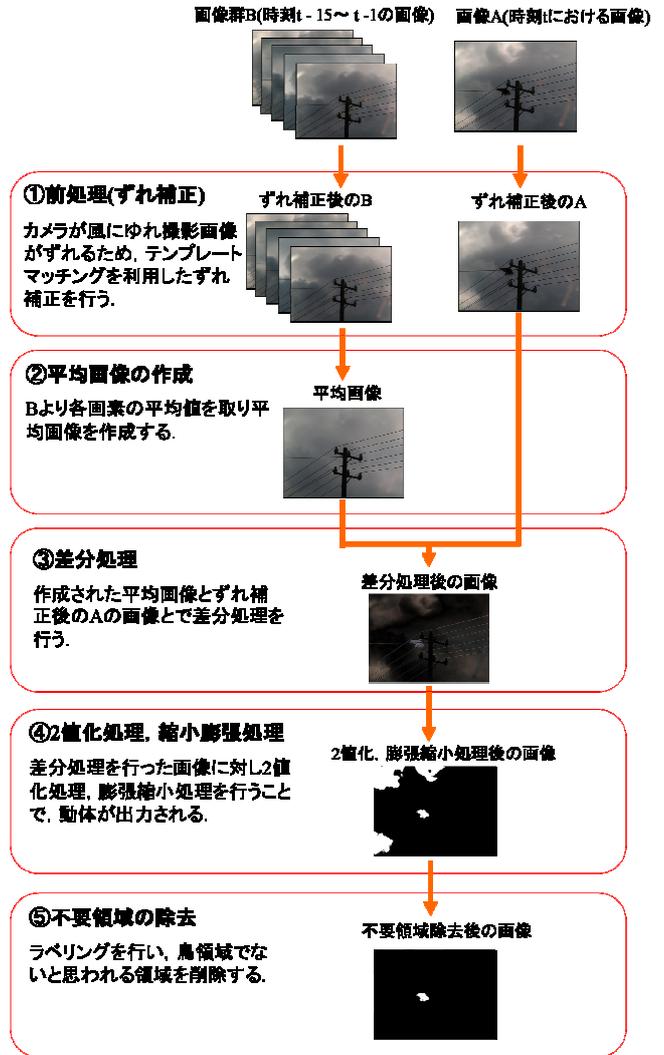


図 4.2 鳥検出を行う画像処理の流れ

$$c(i,j) = \frac{\sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=1}^{n-1} \left(f\left(i - \frac{m}{2} + k, j - \frac{n}{2} + l\right) - \bar{f} \right) \cdot \left(t(k,l) - \bar{t} \right)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=1}^{n-1} \left(f\left(i - \frac{m}{2} + k, j - \frac{n}{2} + l\right) - \bar{f} \right)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=1}^{n-1} \left(t(k,l) - \bar{t} \right)^2}} \quad \dots (4.1)$$

式(4.1)で得られた相関係数が最大となる位置座標を利用して、各画像の位置あわせを行っている。図 4.3 に式(4.1)の各記号の意味を図 4.4 にずれ補正の処理の流れを示す。

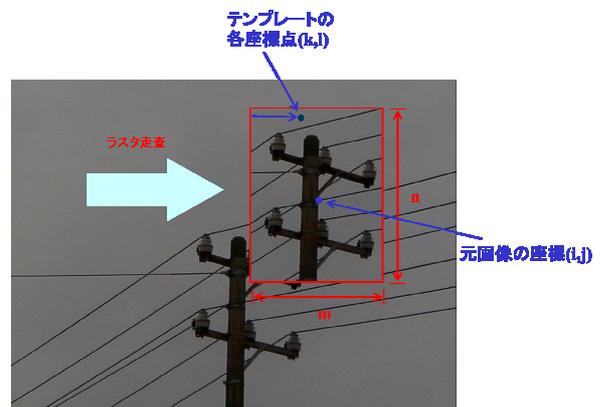
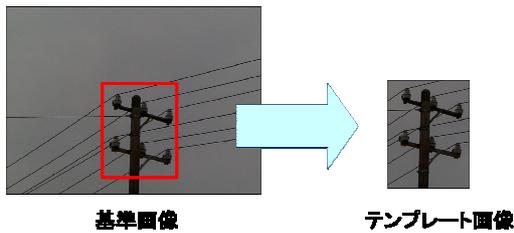
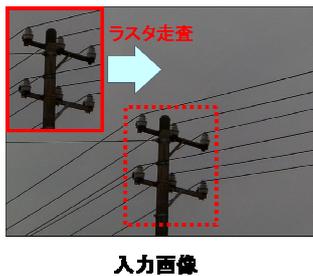


図 4.3 各記号の意味

①基準画像からテンプレートを抜き出す。



②ラスタ走査し相関値最大となる座標を割り出す。



③②の結果から画像のずれを割り出す

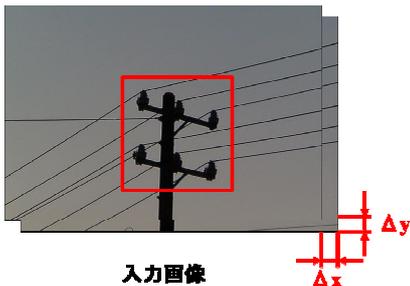


図 4.4 ずれ補正の処理の流れ

4.4. 平均画像の作成

今回動体を検出するために平均画像の作成を行い、注目画像との差分処理を行っている。

平均画像とは時刻 t の画像より前の 15 枚の画像(図 4.5:時刻 $t-15$ から時刻 $t-1$ の一部)から作成し、各画素値の平均値を求めて作成した(図 4.6). 15 枚の画像から平均画像を作成した理由としては、雲の多い画像の場合、直前の一枚の画像との差分を行うと、雲の濃淡より、差分で抽出される領域が多くなる。また逆に平均をとる画像を 100 枚程度にすると空が青くなりすぎて、抽出領域が多くなる。予備実験の結果から 15 枚が最良と判断し採用した。

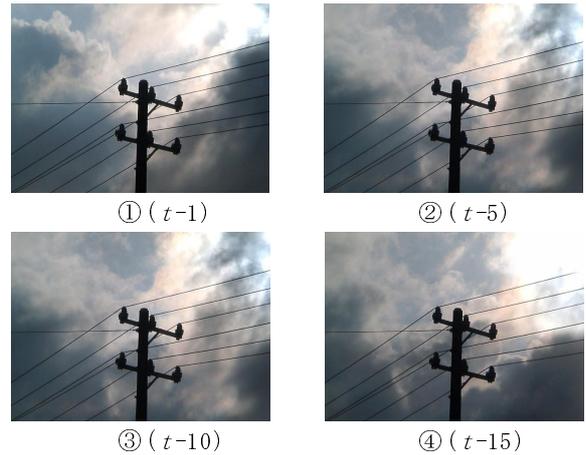


図 4.5 平均画像作成前の画像の一部

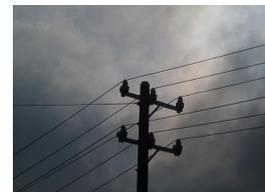


図 4.6 作成された平均画像

4.5. 画像間の差分処理

画像間の差分とは、2 つの画像の同じ位置にある画素同士の引き算を行うことである。これにより、同じアングルで連続撮影された画像における動体部分を検出できる。ここで、画像の位置 (x,y) の時刻 t における画素の値を $f_t(x,y)$ 、時刻 $t-1$ における注目画素の値を $f_{t-1}(x,y)$ として差分処理 $f_{Diff}(x,y)$ を式 4.2 に定義する。

$$f_{Diff}(x,y) = |f_t(x,y) - f_{t-1}(x,y)| \cdots (4.2)$$

これにより動いていない領域は画素値が零に近い値(黒)となり、動きのある領域は画素値が大きくなる。作成した平均画像を図 4.7(a)、注目画像である図 4.7(b)で差分をとった画像を図 4.7(c)に示す。



図 4.7 画像間の差分処理

4.6. 2 値化, 膨張縮小処理

今回の処理においては鳥がいるのかいないのかが最終的な出力となるので, 2 値化処理を行うことにより鳥領域を白, それ以外を黒として表現することとする.

2 値化処理は, ある濃度値を閾値として, その閾値より低い濃度値を持つ画素を 0(黒), 高い濃度値を持つ画素を 255(白)に分ける処理である. 今回は閾値を 70 の固定にし, 2 値化を行った.

しかし, 差分処理を行い 2 値化の処理を行うと, 図 4.8 のように電線などのノイズが乗ってしまう場合がある. このノイズを除去するために縮小処理を行っている. (図 4.9(a))

さらに 2 値化処理を行うことで 1 羽の鳥が複数領域に分割される場合がある. これでは 1 羽の鳥に対し 2 羽の鳥が存在してしまうと判断されてしまうので, 連結性をもたせるために縮小処理を行った後の画像に対して膨張処理を行う. 膨張処理を行うことで図 4.9(b) のように分割され複数存在していた領域が 1 つの領域として出力される.



図 4.8 2 値化後の画像



(a) 縮小処理後の画像 (b) 膨張処理後の画像

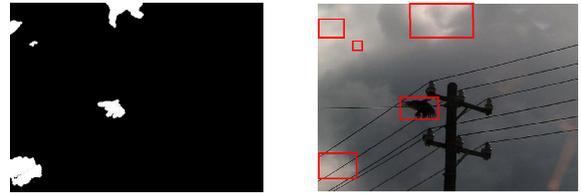
図 4.9 縮小膨張処理

4.7. 鳥候補領域の絞り込み

これまでの画像処理によって出力される画像は白の各領域にラベリングの処理が適用された画像であるから, それぞれの白の領域の左端, 右端, 上端, 下端によって矩形領域を求め, 鳥候補領域とする. ここで出力される鳥候補領域には鳥だけではなく, 風に揺れる電線や, 光の当たり具合が変化した電柱, 動きの早い雲なども含まれる. システムがこれらのような誤抽出をしたせいで, 鳥がいなくても関わらず警告音を発しては無駄であるため, 電線などを抽出した領域を評価する対象から外した方がよい. そこで, 4.7 節以下に示す 2 つの処理をそれぞれの鳥候補領域に適用することで, 誤抽出領域を鳥候補領域からの外すこととする.

4.7.1. 大きさによる不要領域の除去

図 4.10(a)はこれまでに説明した画像処理を順次行った結果画像である. 出力される画像の各白領域にはラベル付けされているので, それぞれのラベル領域の左端, 右端, 上端, 下端から矩形領域を求め, 鳥候補領域とする(図 4.10(b)).



(a) 抽出結果画像

(b) 鳥候補領域

図 4.10 抽出結果画像と鳥候補領域を記した画像

ここで抽出された鳥候補領域には, 鳥だけでなく風に揺れる電線や雲なども誤って抽出される場合がある. 誤った抽出をしたせいで, 鳥がいなくても関わらず警告音を発しては無駄であるため, 雲などを誤抽出した領域を削除する必要がある. そこで鳥にしては小さすぎる横幅 5pixel, 高さ 7pixel 以下の領域と, 鳥にしては大きすぎる横幅 70pixel, 高さ 50pixel 以上の領域を削除することにした. 図 4.11 に図 4.10(b)から不要領域を削除された結果画像を示す.

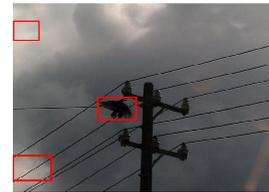


図 4.11 大きさによる不要領域を削除した鳥候補領域

4.7.2. 平均濃度値による不要領域の除去

図 4.12 は大きさによる不要領域の除去を行った画像である. 今回の実験画像では動きの早い雲が多く, 大きさによる不要領域の除去を行っても鳥の大きさに近い雲の領域が動体として検出されてしまう. そこでラベリングされた領域の平均濃度値を求め, 雲の領域は平均濃度値が高いためある程度高い領域を除外している. ここでは鳥として平均濃度値が高すぎる値 80 を閾値とし, この閾値より平均濃度値が高いラベリングされた領域を除外対象とした. 図 4.13 に平均濃度値による不要領域の除去を行った結果画像を示す.



図 4.12 大きさによる不要領域を削除した鳥候補領域

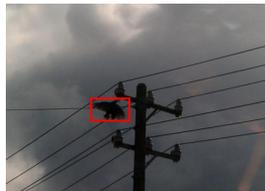


図 4.13 平均濃度値による不要領域を削除した鳥候補領域



図 5.1 正解領域が記された画像

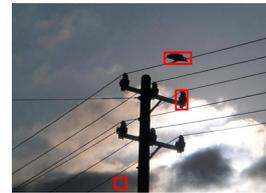


図 5.2 鳥候補領域が記された画像

5. 評価実験

5.1. 評価方法

今回提案した鳥領域抽出処理系の有効性を確認するために評価実験を行う。評価には式 (5.1) と式 (5.2) に示す再現率、適合率を求めて評価を行う。

$$\text{再現率} = \frac{\text{抽出成功領域の数}}{\text{正解領域の数}} \quad \dots (5.1)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{抽出成功領域の数}}{\text{鳥候補領域の数}} \quad \dots (5.2)$$

再現率は、すべての正解領域に対し、どれだけ鳥が抽出できたかの網羅性の指標となり、適合率とは、抽出された鳥候補領域に占める成功の割合を示す正確性の指標である。今回のシステム構築の目的は、作物の鳥による被害を減らすためのシステムであるため、いかに多くの鳥を検出するかが問題となってくる。ここで、評価に用いるための3つの領域について詳細に説明を行う。

5.2. 正解領域

正解領域は全画像を人間が目視することで鳥と判断できる領域を専用開発したツールを用いて矩形で囲み登録しておく。つまり、画像中の正解領域の数だけ鳥が存在している。図 5.1 に正解領域の例を示す。今回は鳥候補領域と区別するために赤の矩形で表現される。

今回の実験では用意された 656 枚の画像に対し、正解領域は 58 であった。つまり、656 枚の画像中に 58 羽の鳥が存在していることになる。

5.3. 鳥候補領域

第 3 章での平均画像差分の処理、第 4 章での鳥候補領域の絞込みの処理により出力された領域を鳥候補領域とする。それを図 5.2 に示す。図中の青の矩形領域が鳥候補領域となる。

5.4. 抽出成功領域

鳥候補領域と正解領域とを比較し、正しく鳥を抽出したと判断される領域を抽出成功領域とする。抽出成功領域は、まず鳥候補領域が正解領域と重なっていることが条件となり、次に正解領域の面積に対し大きすぎない鳥候補領域となる。

図 5.3(a)において、青と赤の線はそれぞれの領域の境界が重なっていることを示す。図 5.3(a)の中央に存在する鳥候補領域は正解領域と重なっていて、面積も大きすぎないため鳥を抽出していると判断できるため抽出成功領域に認められる。図 5.3(b)において、抽出成功領域は緑の矩形領域で表現される。

つまり、図 5.3(b)における再現率は、正解領域数が 1、抽出成功領域数が 1 なので $1/1$ より 100% となり、適合率は、鳥候補領域数が 3、抽出成功領域数が 1 なので $1/3$ より 33% となる。



(a) 鳥候補領域と正解領域 (b) 抽出成功領域
図 5.3 抽出成功領域

5.5. 実験結果

実験結果を表 5.1 に示す。全画像 686 枚に含まれる正解領域数 58 のうち、抽出成功領域数が 49 となったため、再現率が 84% となった。また、鳥候補領域数が

73 に対し抽出成功領域数が 49 であるため、適合率は 67%となった。再現率が 84%ということは、約 80%の鳥を抽出することができたことを示す。適合率が 67%ということは、残り 33%近くは、鳥ではないものを抽出したということである。

今回の実験では本研究室で昨年まで行っていた処理方法、「フレーム間差分法」[8]で今回の実験画像に処理を行った結果との比較を行った。平均画像差分法が適合率で 28%、再現率で 36%ほどフレーム間差分法より上回るという結果が得られた。

以上よりフレーム間差分より平均画像差分法が害鳥の検出率が高いことが実証された。

表 5.1 実験結果

	平均画像差分法	フレーム間差分法
実験画像枚数	686[枚]	686[枚]
正解領域	58	58
鳥候補領域	73	77
抽出成功領域	49	30
再現率	84[%]	48[%]
適合率	67[%]	39[%]

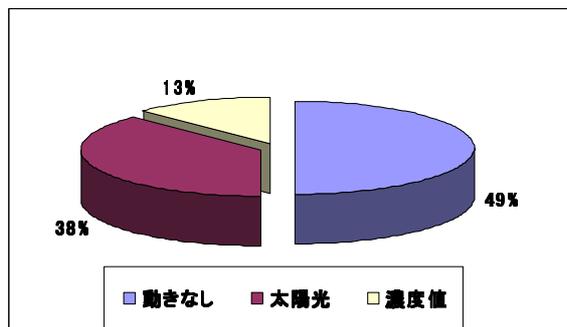


図 5.4 抽出されなかった正解領域の内訳

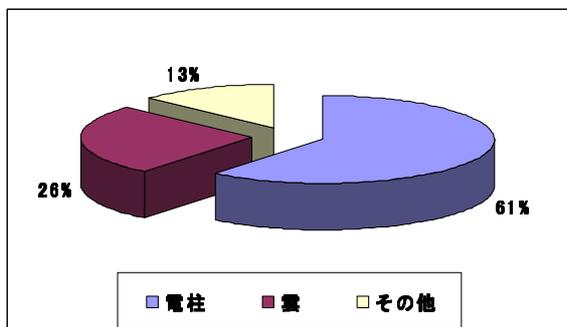


図 5.5 誤抽出領域の内訳

正解の鳥領域を抽出できなかった原因で一番多かったものは、連続する画像中に動きのない鳥が存在したことである。つまり電柱に止まりつづけている鳥の抽出は、平均画像差分を利用した場合除去されること

となる。

次に多かった原因は太陽光によって鳥が隠れてしまう、または反射により背景に溶け込んでしまうことで抽出することができなかった。

6. まとめと今後について

今回の研究では、実際に農場へシステムの設置を行った。また圃場でのフィールドサーバの稼働は太陽光発電機で行い、圃場の画像、気象データの取得を可能にした。

害鳥駆除システムでは平均画像差分法を適用して約 80%の鳥を抽出することができた。しかし、抽出した領域には鳥以外を抽出する場合もあり、この手法を用いたシステムでは 3 回に 1 回は誤報を鳴らしてしまうことが分かった。

今後の課題としては、害鳥駆除システムを実際の農場現場におい実地試験を行うことである。

参考文献

- [1] 「2005 年農林業センサス」：
<http://www.maff.go.jp/census/index.html>
- [2] 「農林水産省 食糧自給の部屋」：
<http://www.kanbou.maff.go.jp/www/jikyuuritsu/inde.html>
- [3] 「農林水産省 鳥獣対策コーナー」：
<http://www.maff.go.jp/soshiki/seisan/cyoju/index.html>
- [4] 中央農研・農業情報研究部・モデリング研究室，“フィールドサーバによる気象データおよび作物画像の計測技術”，関東投下以北率農業研究成果情報 pp.174-175(2002)
- [5] 平藤雅之，“フィールドサーバによる圃場情報モニタリング”，農業および園芸 Vol178-1pp.182-188(2003)
- [6] イーラボ・エクスペリエンス：
<http://www.elab-experience.com/products/>
- [7] パナソニック電工 プレスリリース：
<http://www.mew.co.jp/press/0504/0504-1.html>
- [8] 小林義明，“映像情報からのクラス領域抽出による農家支援システムに関する研究”，鳥羽商船高等専門学校，平成 19 年度特別研究論文