仙台市/仙台市産業振興事業団
ロボット博士の基礎からのメカトロニクスセミナー
C10/Rev 1.0
第10回

カメラと画像処理の基礎

仙台市地域連携フェロー
熊 谷 正 朗
kumagai@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp
東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 RDE

今回の目的

○ カメラと画像処理の基礎

テーマ1：画像処理の目的と要素
- 画像計測の利点と欠点
- 画像計測の三要素：カメラ,処理,認識

テーマ2：画像の処理、認識の基礎
- 画像処理
- 画像からの情報の抽出

テーマ3：画像処理の実例
- 家庭用？防犯システム

画像計測

○ カメラで得た画像/映像を利用した計測

◇コンピュータビジョン
- ロボットの目をつくりたい
  → ロボット研究開発の大きな分野
  機械系に研究者が案外多い
- 開発された技術の産業への適用
  - 技術としての洗練
  - コンピュータの価格性能比向上
  - カメラの性能向上

画像計測

○ カメラの利点と欠点

◇利点：一度に多くの情報を得られる

◇欠点：一度に多くの情報を得てしまう
- 今時のデジカメ：1000万画素当たり前
  人間の目の性能を超える
  ※全てを同時にだと、まだ微妙？
- 得てしまった多数が混じり合った情報から
  必要なものを抜き出す作業が困難。

画像計測

○ 三つの主要要素

◇カメラ（照明，カメラ，光学系，入力）
画像、映像を生のデジタルデータとして
取得する。

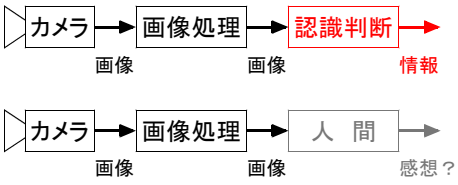
◇画像処理（加工、下処理）
認識しやすくするように画像の調整を
行う。単純/膨大な数式処理。

◇画像認識（判断、情報の抽出）
目的に合致した判定、多種多様。

画像計測の構成

○ 認識、判断の重要性

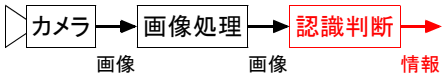
参考：センサ情報処理の基礎



- デジカメ、ビデオカメラも途中までは同類。
- メカトロは「自動で認識、判断」必須。
  ←人間に遠く及ばない

画像計測の限界

○ 認識、判断できるかどうか



- 認識判断アルゴリズムの重要性
  方式、精度、速度、演算量
  「できました」という研究は10年は様子見
- 認識判断をしやすくしてあげる：
  1：画像処理段階を工夫する（強調など）
  2：画像に含まれる情報を減らしておく

画像計測の改善

○ 撮像段階の工夫

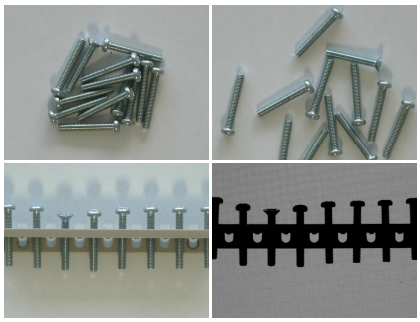
◇環境
- なるべく対象がシンプルに映るように。
- 撮影環境を一定にするように。

◇カメラを工夫する
- 性能の高いカメラ、カメラの設置方法

◇光源を工夫する
- 光の当て方、光の種類(カラー、赤外など)

画像計測の改善

○ どの画像が見やすいですか？



想定状況：
部品の
品質確認

画像計測の容易化

○ 工場、ラインだからできることが多い

◇環境の一定化
- 光源の条件、太陽光/環境光の遮断
- 撮影対象の単純化
- 撮影対象とカメラの関係の固定

◇一般の環境では…
- 全部バラバラ
  → マージンを広く取る＝判定が甘くなる

画像計測を「自作」するか

○ 低コストの可能性、でも、勧めず

◇物的低コスト
- 単純な処理ならソフトは難しくない
  公開されている処理ライブラリ：OpenCV等
  画像対応の処理ソフト　：LabVIEW等
- パソコンにカメラをつなぐだけ
  制御系にPCがあれば追加コスト低い

◇人的高コスト？
- 量産するものでないと「買った方が安い」に

画像計測を「自作」するか

○ 自作の意義

◇オリジナルの処理で付加価値
- 市販/公開のツールは「汎用のもの」が
  中心なので、特殊な処理や「汚い手」な
  処理をできないことがある。
- 一般化する前に先んじて実現する。

◇人的コスト
- 画像処理の担当者が必要。
- 性能評価の手間。

画像の取得

○ 電気信号化と光の取り扱い

◇カメラ
- 撮像素子
- レンズ

◇光源

カメラの基礎

○ 撮像素子、レンズ、出力信号

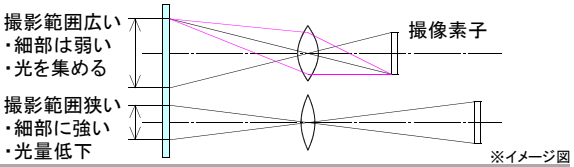
◇撮像素子
- CCD撮像素子，CMOS撮像素子
  格子状に並んだ光センサ。
- 取得される1点1点を「画素」と呼ぶ。
  ※画素＝ピクセル

カラーの場合は、各点、赤(R)緑(G)青(B)
※センサ自体は異なる出力の場合あり

カメラの基礎

○ 撮像素子、レンズ、出力信号

◇レンズ
- 太いほど光量を集められる＝ノイズ低減
  （無理に増幅しなくともよい）
- 焦点距離（短いと広角，長いと望遠）



カメラの基礎

○ 撮像素子、レンズ、出力信号

◇出力信号
- USB
- IEEE1394
- NTSC コンポジット，Y/C分離(S端子)
- その他専用（アナログ/デジタル）
- オフラインの媒体（メモリカード）

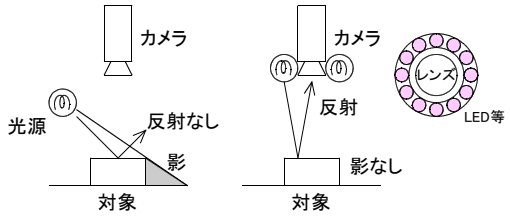
それぞれ、対応する接続方法あり

光源の基礎

○ 撮影するためには光が必要

◇工場ラインでは「望ましい光」を使える。

・明るさ、色、波長(例：赤外線)、当て方



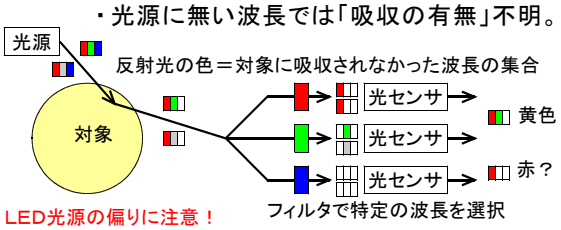
光源の基礎

○ 光源と対象と撮像

◇光源の波長 と 対象の吸光特性

・色＝「なにが吸収されたか」

・光源に無い波長では「吸収の有無」不明。



LED光源の偏りに注意！

フィルタで特定の波長を選択

今回の目的

○ カメラと画像処理の基礎

テーマ1：画像処理の目的と要素

・画像計測の利点と欠点

・画像計測の三要素：カメラ,処理,認識

テーマ2：画像の処理、認識の基礎

・画像処理

・画像からの情報の抽出

テーマ3：画像処理の実例

・家庭用？防犯システム

画像処理

○ 画像処理の概要

◇比較的単純＆数が多い

・多くの処理は1画素やその近傍で、
簡単な算術演算のみ行う。

・画素数分の処理を行うため、同一作業が
数十万～数百(千)万回になる。
→1処理が1マイクロ秒でも全体で秒単位
→処理速度（秒コマ数，遅延）

◇認識/判断とは別

画像処理

○ 画像処理の概要

◇1画素の処理

・フルカラー → モノクロ

・フルカラー → HSV（色相，彩度，明度）

・2値化

◇近傍画素の処理

・移動平均フィルタ、メディアンフィルタ

・たたみ込みフィルタ（Sobel，ラプラシアン）

・膨張、収縮処理

1画素の処理

○ モノクロ化

◇カラー画像をモノクロにする

・人間の目の明るさの特性

・輝度Y＝ 0.30R ＋ 0.59G ＋ 0.11B (NTSC)

・データ量の削減（1/3）
※最初からモノクロが良い（解像度的に）

補足：Y-Cr-Cb，Y-I-Q

・輝度＋(色合い＋濃さの2次元表示)

・YCrCbなカメラもある。

1画素の処理

○ HSV変換

◇RGBカラーから色合いを抽出

・H：色相 ＝色の種類

・S：彩度 ＝色の鮮やかさ

・V：明度 ＝明るさ（輝度Yとは異なる）

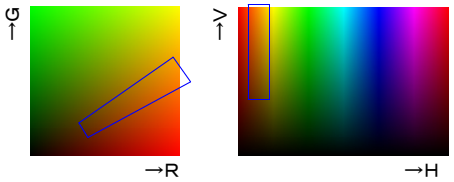
・「色」をターゲットにした処理に便利。

1画素の処理

○ HSV変換

◇RGBカラーから色合いを抽出

・「色」をターゲットにした処理に便利。
例）オレンジ色かどうか



１画素の処理

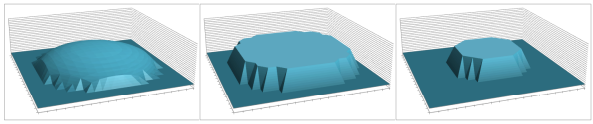
○ ２値化

◇白黒をつける　（コンパレータ的）

・ある評価条件を閾値(しきいち,境界)で判断

→ 閾値より高ければ「白」「１」

→ 閾値より低ければ「黒」「０」



元データ　閾値低　閾値高

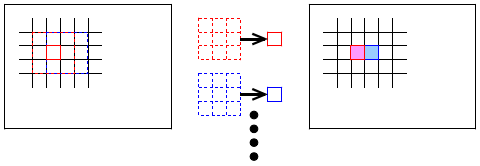
近傍画素の処理

○ ３×３画素→１画素

◇元画像の１ブロックの画素をもとに処理

・３×３が多い（原理そのままで5x5など可）

・空間的な処理（フィルタなど）

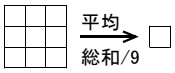


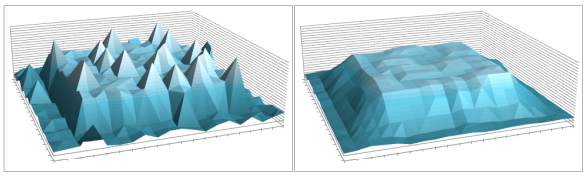
近傍画素の処理

○ 平滑化：移動平均とメディアンフィルタ

◇移動平均

・近傍画素の平均を結果とする。



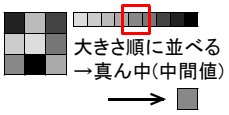


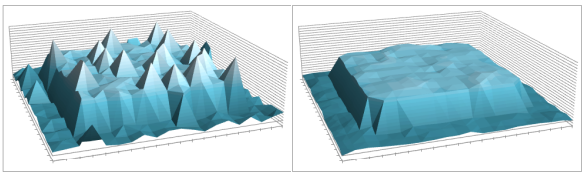
近傍画素の処理

○ 平滑化：移動平均とメディアンフィルタ

◇メディアンフィルタ

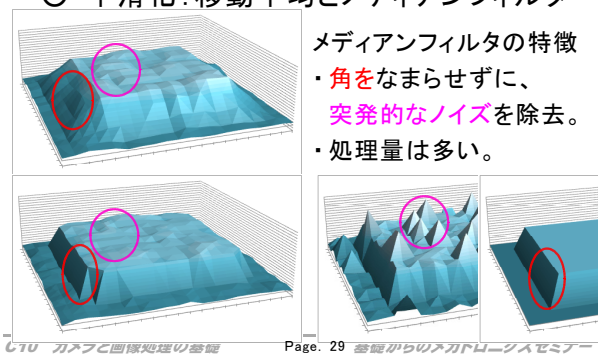
・近傍画素の中間値を結果とする。





近傍画素の処理

○ 平滑化：移動平均とメディアンフィルタ



メディアンフィルタの特徴

・角をなまらせずに、突発的なノイズを除去。

・処理量は多い。

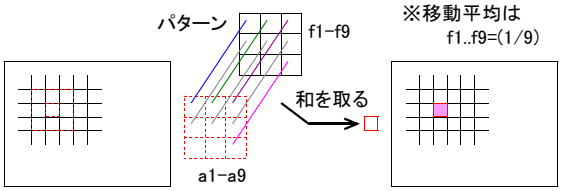
近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

○ たたみ込み演算

◇パターンと積和演算

・f1*a1＋f2*a2＋f3*a3＋…＋f9*a9

・パターンの作り方で種々の演算。



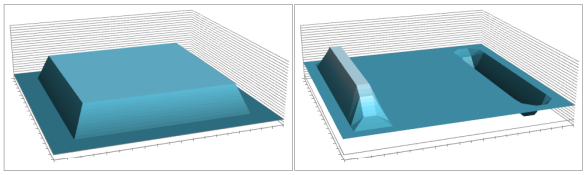
近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

○ Sobelフィルタ（微分型）

◇方向性のあるエッジ検出

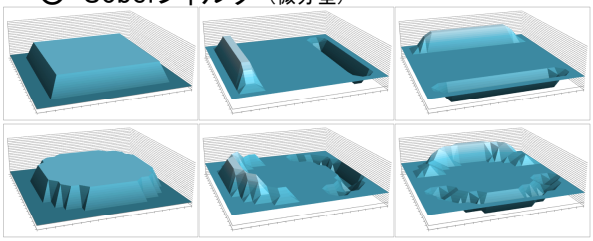
・縦方向，横方向のエッジを得られる。

−1	0	1
−2	0	2
−1	0	1



近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

○ Sobelフィルタ（微分型）



元データ

−1	0	1
−2	0	2
−1	0	1

1	2	1
0	0	0
−1	−2	−1

近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

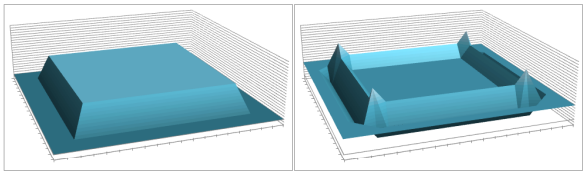
○ ラプラシアン（微分型）

◇方向性のないエッジ検出

・ほぼ方向性なく、エッジを得られる。

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1



近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

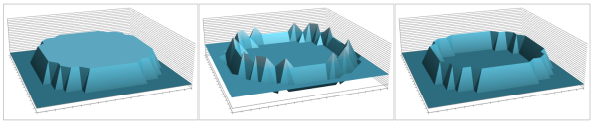
○ ラプラシアン（微分型）

◇方向性のないエッジ検出

・ほぼ方向性なく、エッジを得られる。

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1



元データ　ラプラシアン　2値化

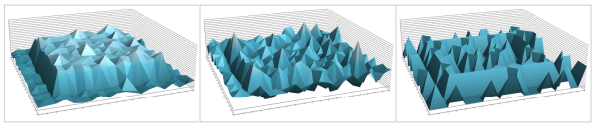
近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

○ ラプラシアン（微分型）

◇微分型(エッジ検出)の注意点

・ノイズを拡大する。

・ノイズの少ない画像、ノイズ除去(メディアン)



元データ　ラプラシアン　2値化

近傍画素の処理：たたみ込みフィルタ

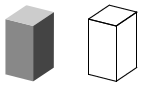
○ 微分型フィルタの利点

◇形状だけ必要なら、明るさに左右されにくい。

◇エッジの特徴から外形の判断しやすい。

例） 直方体物体の姿勢認識

鉛直な線のみの抽出



◇前述の弱点に注意。

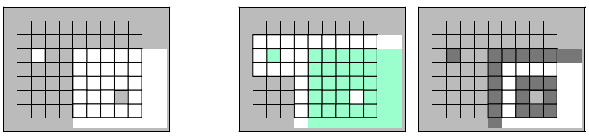
近傍画素の処理：膨張収縮

○ 2値化後の白点/黒点除去

◇隣に1個でも

・白があれば白にする ＝膨張→黒点消える

・黒があれば黒にする ＝収縮→白点消える



画像処理

○ 画像処理の概要

◇画像間の処理

・差分

・テンプレートマッチング

◇画像の変形

・歪みの除去、透視変換

◇画像の分析

・ラベリング、特徴量

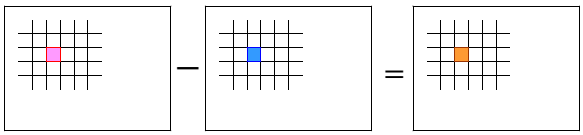
画像間の処理

○ 差分

◇画像と画像の差

・画素ごとに差をとる。

・画素ごとに差の絶対値を取る



画像1　画像2　結果

画像間の処理

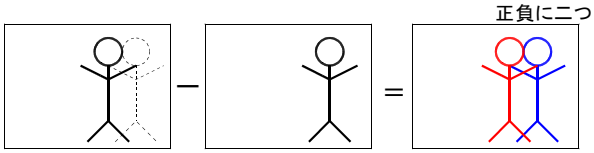
○ 差分による動きの検出

◇時系列の画像間の差を計算

・動きがあれば、その差異が得られる。

・背景差分＝「背景」との差、異物検知など。

正負に二つ

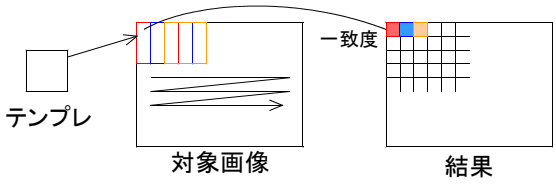


現在画面　前画面（or 背景）　結果

画像間の処理

○ テンプレートマッチング

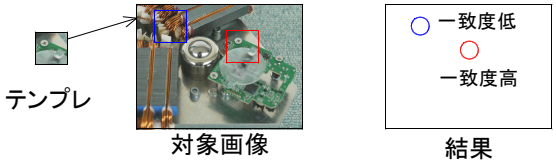
◇画像の一致度 および そのピーク箇所
- 一般に一方は小さい画像片(テンプレート)
- 差の絶対値の和(SAD)、正規化相関値



画像間の処理

○ テンプレートマッチング

◇「同一物の探索」「ずれを含めた一致判定」
- 画面内から特徴的な部分を探す。
- 部品のマーキング検査など（位置ずれ許容）



画像間の処理

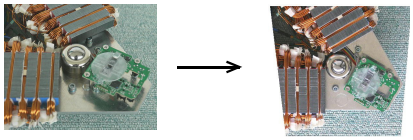
○ ステレオビジョン

◇立体視による奥行き情報の取得
- カメラ＋カメラ（＋カメラ…）
- カメラ＋特殊な光源（Kinectなど）
- 右目と左目の画像で対応点を探す
  （テンプレートマッチングなど）
  →三角測量で視差から距離に変換
- 処理量は非常に多い。
- 対象に特徴が必要。

画像の変形

○ 撮影で変形した画像の復元

◇対象を斜めにとってしまったので直す
- １画素ごとに座標の変換をして貼り直し。
- 変換コスト大＆完全にもどせない。
  →そもそも必要な撮像をする重要さ。

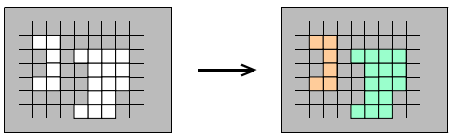


※操作イメージであって実際の変換結果ではありません

画像の分析（２値化後）

○ ラベリング

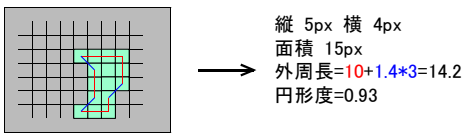
◇ひとつながりの点群を探す
- 色の抽出、２値化などで特徴を絞り込んだうえで、その領域を個々に分けて扱う。



画像の分析（２値化後、ラベリング後）

○ 特徴量

◇連続した画素の図形的特徴
- 縦横寸法、面積S
- 外周長L →円形度＝$4\pi S/L^2$
- 重心座標など



画像の認識

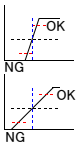
○ 何らかの根拠でYes/No決める

◇あるかないか，正しいか正しくないか
- 画像の一致度がある閾値を越えたか。
  例)製品の外観検査
- 画像の特徴を数値化して、閾値を越えるか。
  例)顔の検出，目鼻口，その相対位置など
- 複数条件の組合わせ。
- 根拠をコンピュータに教えられないことは認識できない。

認識のエラー

○ エラーには2種類ある

◇NGをNGとして判断する（正常）
◇NGをOKとして判断する（誤，false positive）
◇OKをNGとして判断する（誤，false negative）
◇OKをOKとして判断する（正常）



- 閾値の設定で比率が変わる。
- 製品チェックなどでは
  前者：NGの製品を出してしまう
  後者：実際より歩留まりが下がる(安全側)

画像の認識

○ 画像認識できるかどうか

◇人間が判断できないことは一般に無理
- コンピュータの得意なところ：
  連続稼働、判断の一定さ、高速(ものによる)
- 認識判断力は人間(＋道具使用)が圧倒的。

◇「なにを根拠に判断するか」を抽出、指示：
- あくまで機械に教えないとならない。
- 根拠が見つからないと教えられない。

今回の目的

○ カメラと画像処理の基礎

テーマ1：画像処理の目的と要素
- 画像計測の利点と欠点
- 画像計測の三要素：カメラ,処理,認識

テーマ2：画像の処理、認識の基礎
- 画像処理
- 画像からの情報の抽出

テーマ3：画像処理の実例
- 家庭用？防犯システム

画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 開発の背景

◇防 犯
- いかにも、な監視カメラで心理的防犯
- 何かあったときのログ
- 警備サービス＋α

◇高齢世帯の玄関防御
- 悪質セールスへの抑止/証拠映像

画像処理の実装例：自宅監視システム

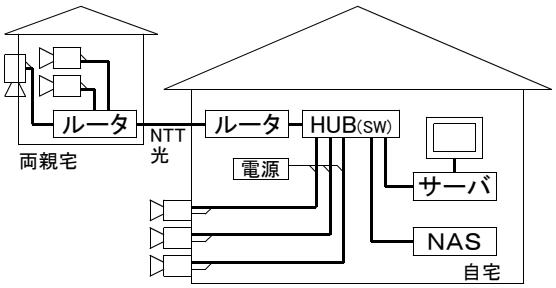
○ 市販品は？

◇あります
- カメラのおまけソフトとして
- たぶん独自開発品も多数

◇なぜ自作？
- そのためにWindows機を常時稼働させたくない → 自宅のLinuxサーバで兼用
- つくれる
- 自前のほうが設定や改良しやすい

画像処理の実装例：自宅監視システム

○ システムの概要(ハード面)



画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 現行仕様

◇ハード
- 自宅および両親宅にHTTPカメラ7台設置。
  HTTPカメラ：WEBサーバを内蔵し、ネットにつなぐだけでWEBブラウザで確認できる。
- 両親宅からはNTT回線経由で映像取得。
  320x240，5fps，(常時2台、留守時4台)
- カメラはCat5線の余りペアを利用して遠隔給電＝宅内はCat5線の配線のみ。

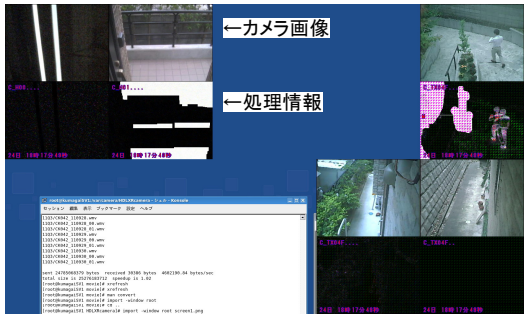
画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 現行仕様

◇ソフト
- カメラ視界での移動物検出。
- 移動検知時は5コマ/秒で画像保存、通常は1コマ/分で画像保存。
- 1日に3回、画像を結合して映像に変換。
- 環境変化への対応。
- OS起動中は常時動作できるように。
  (グラフィック画面時は監視状況表示)

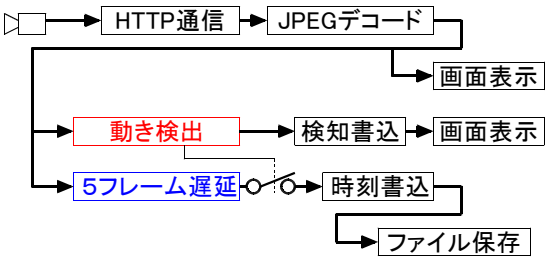
画像処理の実装例：自宅監視システム

○ システムの概要(サーバ画面)



画像処理の実装例：自宅監視システム

○ システムの概要(ソフト面)



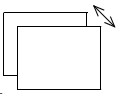
画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 動き検出方法

◇基本は前画面との差分

・各画素ごとに差(絶対値)を計算。

・差が大きければ、動いたと見なす。



◇「差の大きさ」の評価

・画面全体の平均値 は使えない

画面の一部の動きは全体平均には影響小。
閾値を下げると全体的なノイズを拾う。

画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 動き検出方法（解決策）

◇「差の大きさ」の評価

・画面を小さなブロックに分割。

・各ブロックごとに差の平均を閾値と比較
→「動いたブロックの個数」で検知。

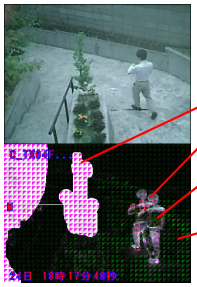
◇「植物が揺れる」「影が揺れる」

・画面に検知対象外の領域を設定する。

・動きのあるところは閾値を自動的に
上げていく。

画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 処理結果の例



←カメラ画像

検出対象外

□動き検出

前画面との差

自動的に変更された閾値

※直前に歩き回っていた

画像処理の実装例：自宅監視システム

○ 実用性

◇性 能

・人はもちろん、ネコ、鳥すら検知。

・暗くなると無理（感知照明は効果あり）。

・カメラの性能次第(屋外はつらい)。

◇安定性

・３年間ほぼ連続稼働（最長停止は震災の４日）。

・その期間の映像はNASに保存。

・閾値動的変更で、誤検出が大幅に低下。

まとめ

○ 画像計測の基礎

・画像は多くの情報を含む(含みすぎる)。

・画像から情報を得るには、認識が必要。

・情報の取り出しをしやすくするために、
撮影の工夫で画像をなるべく単純化する。

・もし、画像以外の直接的な計測手段が
あれば、画像の利用を避けるべき。

・「人間並み」の判断は一般に困難。

まとめ

○ 画像処理

・認識の手段として、認識の前処理として、
比較的単純な画像処理を行う。

・ノイズ除去にメディアンフィルタは効果的。

・微分系の演算はノイズ強調に注意。

・処理の組合わせ、手順、アレンジは重要。

・画像処理の手法はカメラ画像のみではなく、
２次元のデータに対しても効果がある。