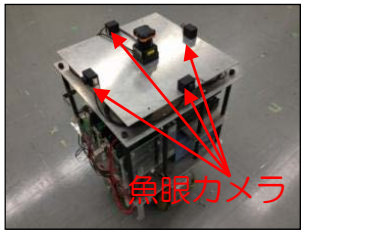
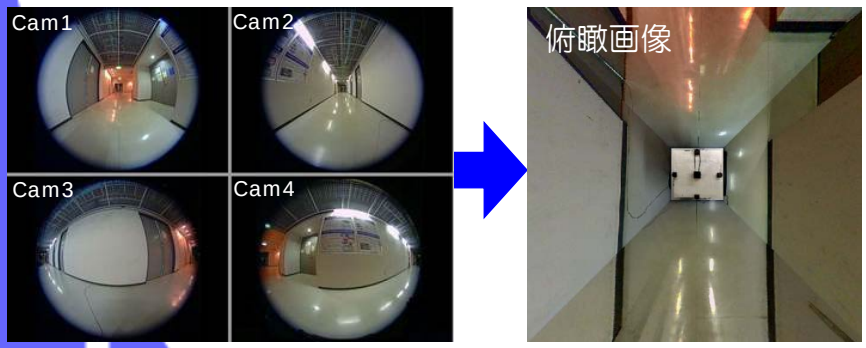
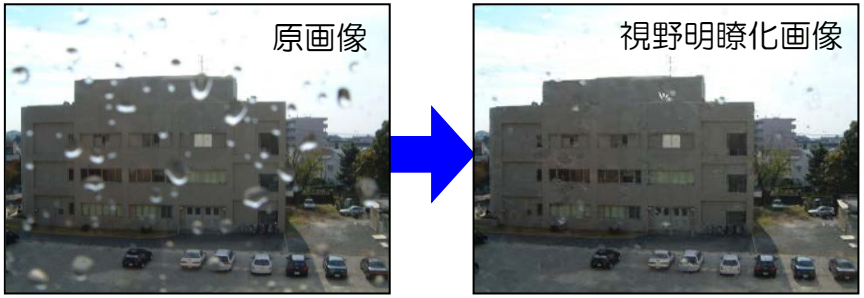
災害対応ロボットのための画像処理技術

山下 淳 (Atsushi Yamashita)
東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻
yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp
http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/~yamashita/





俯瞰映像提示



視野明瞭化映像提示

災害対応ロボットワークショップ (NEDO講座), 2013年3月19日, 東京大学工学部2号館3階31A会議室

発表内容

- はじめに
- 災害対応 (災害対応ロボット) のための画像処理
- 視野明瞭化映像提示
- 俯瞰画像提示
- おわりに

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

はじめに

- 文科省 大大特PJ
  - 文部科学省 大都市大震災軽減化特別プロジェクト
    - 被害者救助等の災害対応戦略の最適化 災害対応戦略研究 レスキュートボット等の高度な次世代防災インフラ構築
- NEDO 災害対応無人化システム研究開発PJ
  - 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 災害対応無人化システム研究開発プロジェクト
    - 作業移動機構の開発 遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発
    - 計測・作業要素技術の開発 水陸両用モニタリングデバイスの開発

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

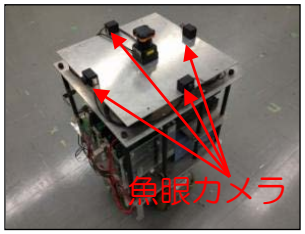
発表内容

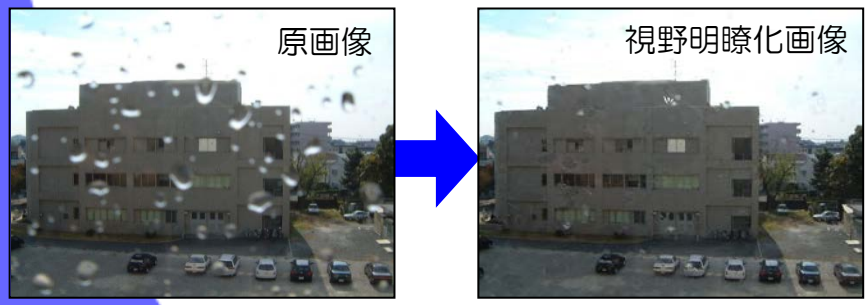
- はじめに
- 災害対応 (災害対応ロボット) のための画像処理
- 視野明瞭化映像提示
- 俯瞰画像提示
- おわりに

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

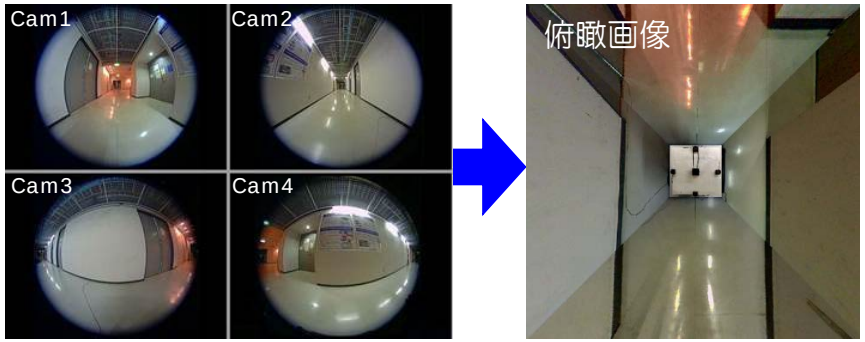
災害対応のための画像処理

- 視野明瞭化映像提示
  - 災害現場
    - カメラに水滴や泥などの視野遮蔽物が付着
    - 取得映像中に水滴や泥などの視野妨害ノイズが写りこむ
  - 画像処理技術を用いて映像中の視野妨害ノイズを自動的に除去する手法
- 俯瞰(ふかん)映像提示
  - 災害対応ロボットの遠隔操作
    - ロボットに搭載したカメラの映像を使用
  - ロボットに搭載された複数カメラの情報を融合し，効率的にオペレータに提示する手法





視野明瞭化映像提示



俯瞰映像提示

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

発表内容

- はじめに
- 災害対応 (災害対応ロボット) のための画像処理
- 視野明瞭化映像提示
- 俯瞰画像提示
- おわりに

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

1. 研究の背景

災害対応ロボット・システム

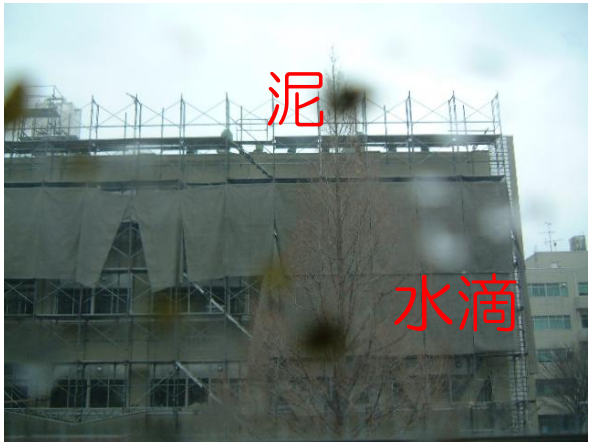
災害時の情報収集：カメラを用いた環境認識

災害時への対応

様々な環境 (悪天候・汚れた場所) に対応する必要

カメラ保護ガラス面に視野妨害ノイズ
(水滴・泥・その他)が付着

環境の自動認識が困難
人間への提示画像が不鮮明



Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

災害対応のための画像処理

例：水滴 (水色領域) の除去

学術的な画像処理・CG	災害対応ロボット
汎用性　撮影条件未知の1枚の画像からノイズを除去したい	実利用性　汎用的手法でなくてもノイズさえ除去できれば良い
学術性　難しくて美しい格調の高い理論	簡易性　理論が簡単でも良い (簡単 ＝ 高速・確実)
綺麗さ　処理結果が綺麗・自然な画像であることが最重要 (画像が綺麗になれば多少は嘘をついても良いかもしれない)	確実さ　ノイズの向こうに人が倒れているかどうかを知りたい (嘘をつくぐらいならノイズを消したくない)

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

2. 研究目的

- カメラ保護ガラス面の付着ノイズ除去

  画像処理で水滴除去：バーチャルワイパー

- 複数種類の汎用的でない方法を提案
  - 状況に応じて使い分け→様々な条件に対応
  - それぞれの方法は確実 (嘘をつかない)・単純

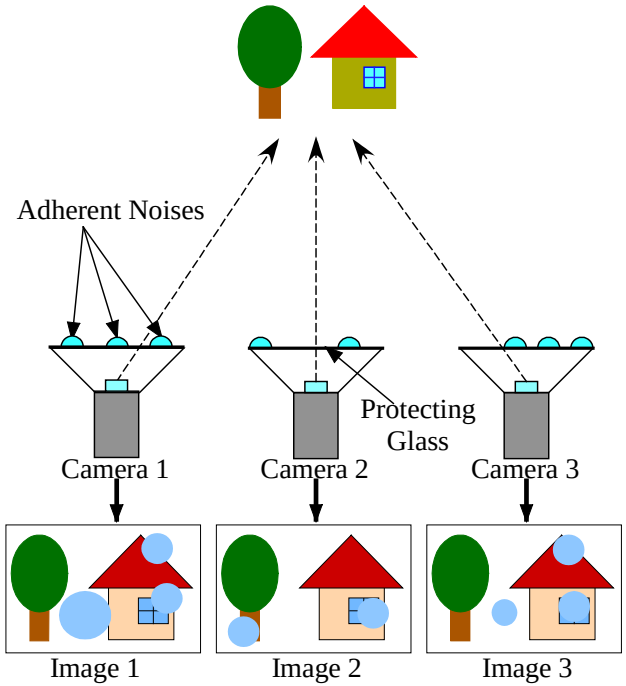
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

3. 提案手法の原理

複数枚の同一シーン画像の情報を融合

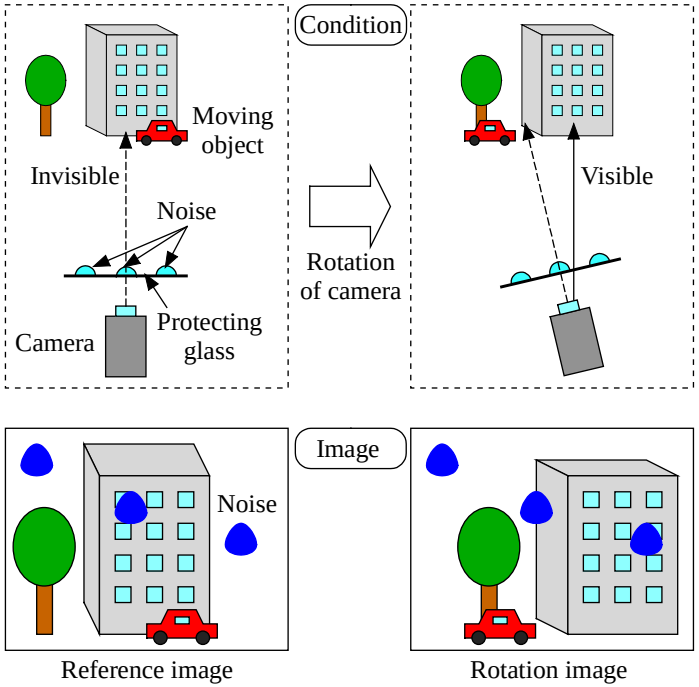
複数カメラ

複数視点から同時撮影



単数カメラ

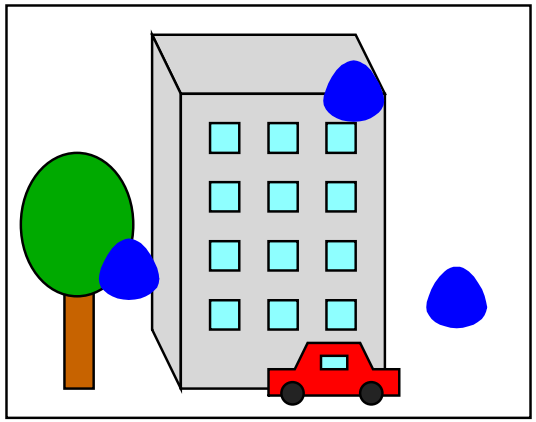
方向を変化させて撮影

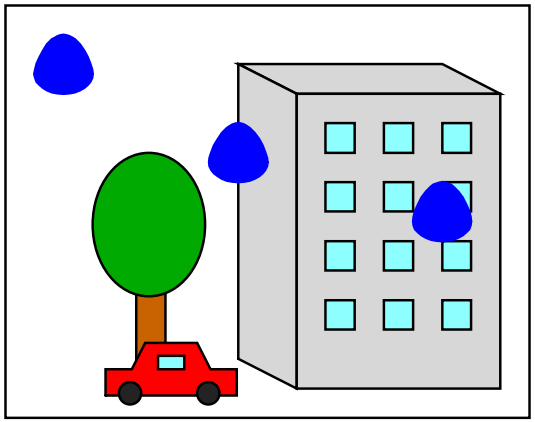


Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

処理概要

- 2種類の処理が必要
  1. 視野妨害ノイズの位置検出・識別
     - 画像中のノイズ位置の推定
     - ノイズが付着している画像の推定





  2. 視野妨害ノイズの除去
     - ノイズに隠れた背景の推定

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

状況に応じた4種類の方法

- 複数カメラ
  - (1) 観測対象：比較的遠景
  - (2) 観測対象：遠景＋近景
- 単数カメラ
  - (3) カメラの動きの制限・前提：多い
  - (4) カメラの動きの制限・前提：少ない

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

(1) 複数カメラ (遠景)

差分処理ベースの視野明瞭化手法

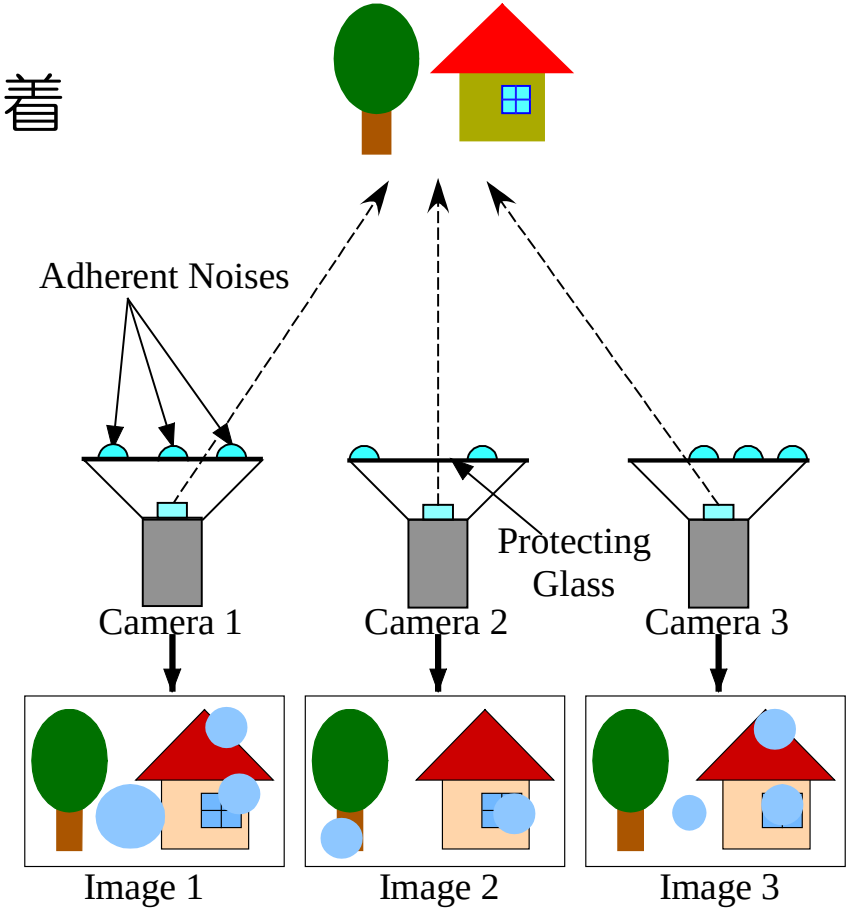
想定条件

- 各カメラに水滴が付着
- 比較的遠景

取得した複数画像間の差

- 水滴の場所：大きい
- 水滴以外：小さい

差分処理を利用



Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

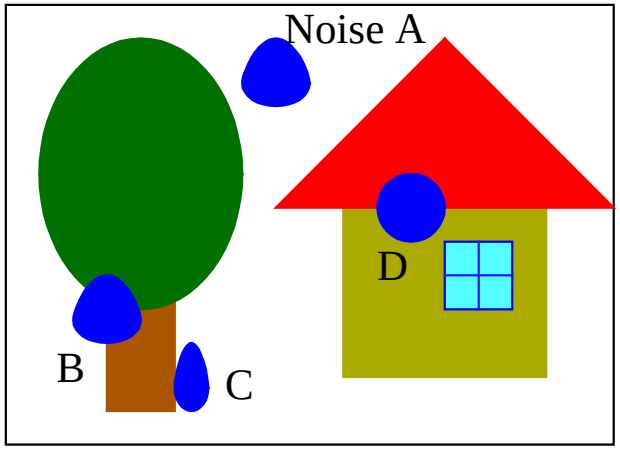
画像レジストレーション

- 色合わせ (カメラの個差を補正)
- 位置合わせ
  - カメラの個差を補正 (レンズ歪み等)
  - 視点のずれを補正 (遠景＝平面近似可)

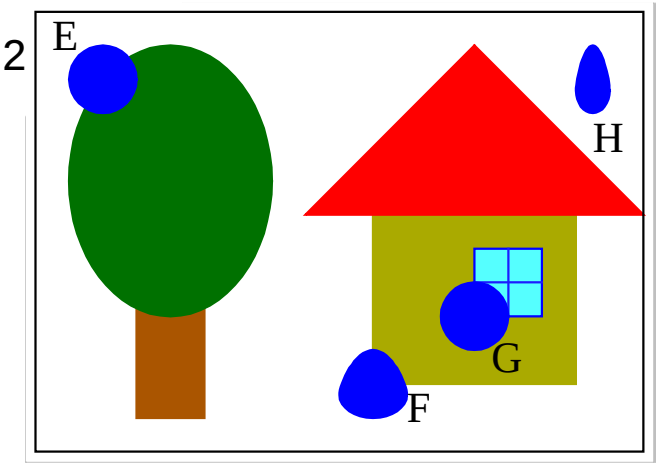
射影変換

$$u_2 = \frac{a_{11}u + a_{12}v + a_{13}}{a_{31}u + a_{32}v + 1} \qquad v_2 = \frac{a_{21}u + a_{22}v + a_{23}}{a_{31}u + a_{32}v + 1}$$

画像1



画像2



Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

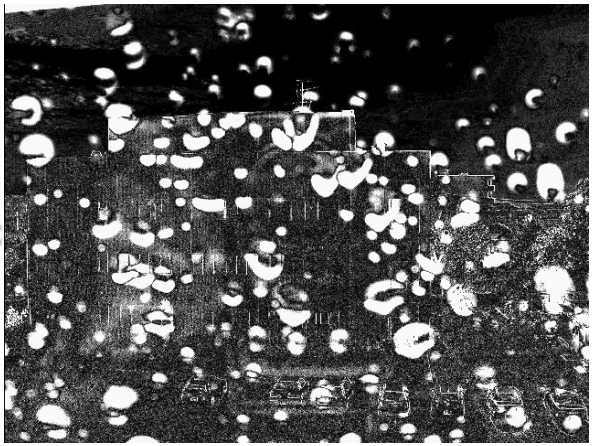
ノイズ位置検出

- 差分処理 ＝ 差の大きい箇所を検出

差がある閾値以上の場所 ＝ 水滴付着

－

＝



(画像1)　－　(画像2)　＝　水滴

一定閾値では対応不可

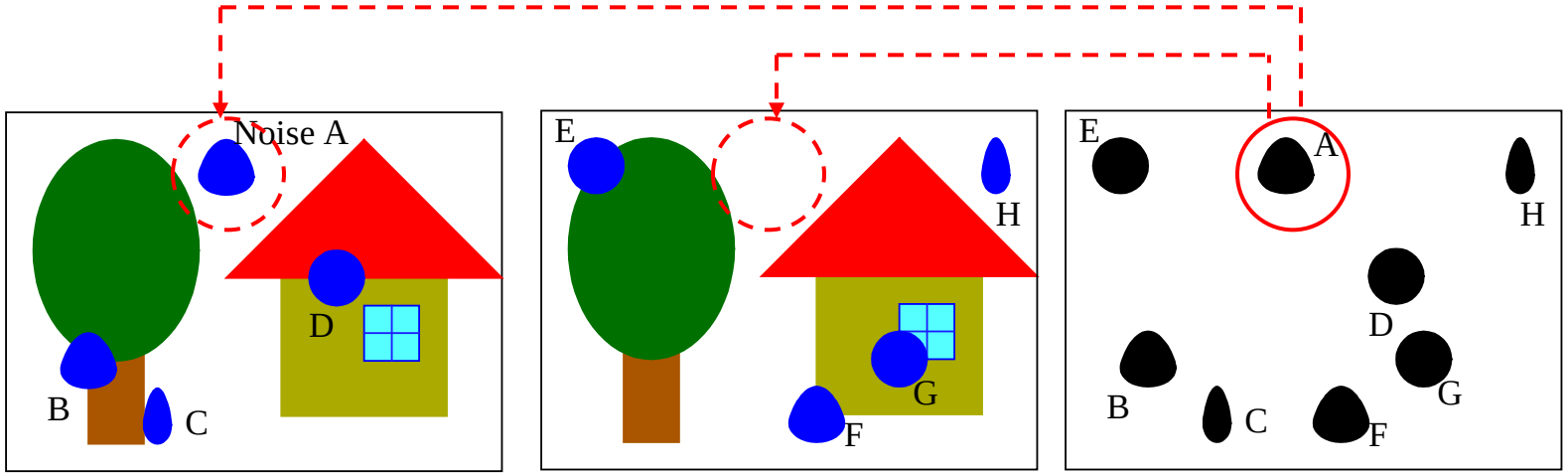
各水滴位置で閾値を決定

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

ノイズ判別 (1)

- ノイズがどの画像に付着しているか判別

  検出したノイズ位置それぞれで判別



画像1　　画像2　　差分画像

- 判別方法

  画像の特徴量を比較することにより判別

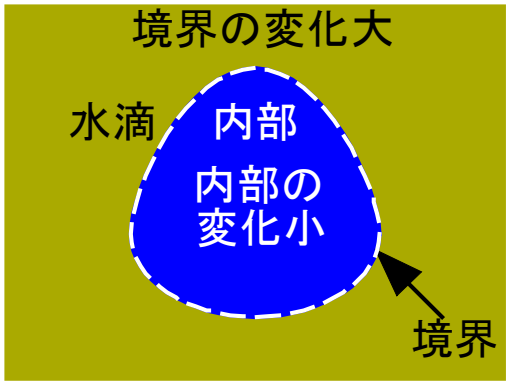
  集合演算により判別

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

ノイズ判別 (2)

- 特徴量による判別：カメラが2台
  - 視野妨害ノイズには境界 (エッジ) がある
  - 視野妨害ノイズ内部はテクスチャが乏しい

  など

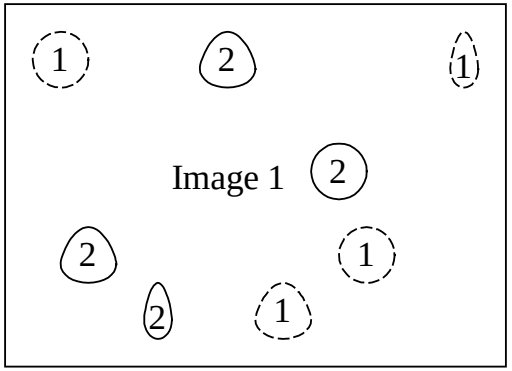


- 集合演算による判別：カメラが3台以上
  - 単純な多数決では判別不可能
  - 特徴量と集合演算の組み合わせ

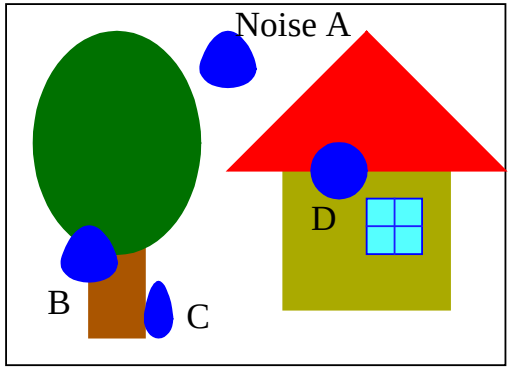
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

ノイズ除去

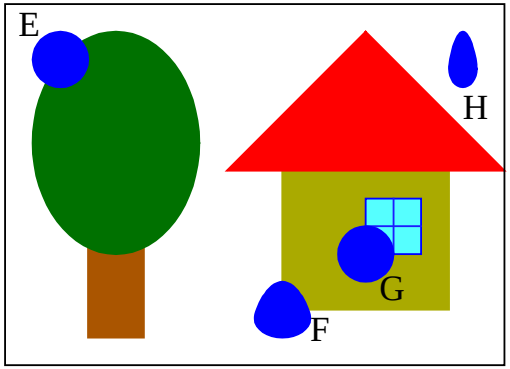
- ノイズ判別結果を利用



判別結果

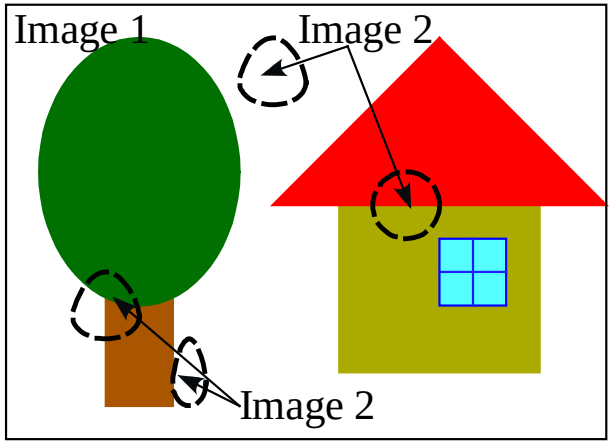


画像1



画像2

ノイズがないと判別された
場所のテクスチャを
組み合わせる



Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

視野明瞭化結果 (1)

- カメラが2台の場合

<u>水滴の割合</u>

原画像平均	3.8%
除去画像	1.1%

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

視野明瞭化結果 (2)

- カメラが3台の場合

原画像平均
12.3%
単純多数決
2.7%
提案手法
0.8%

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

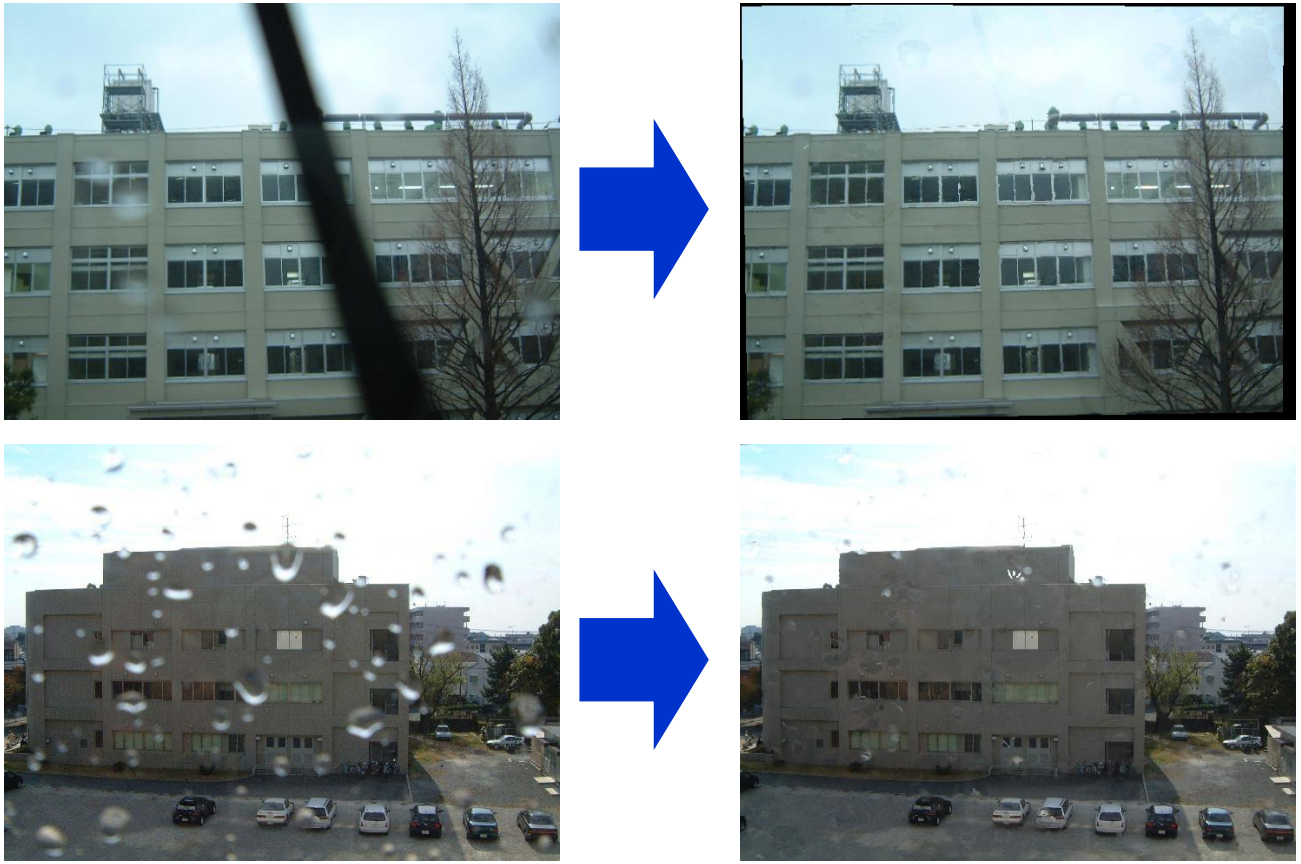
視野明瞭化結果 (3)

- 水滴以外のノイズの場合

原画像平均
6.9%
提案手法
0.2%

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

視野明瞭化結果の考察



提案手法の有効性を確認

- ノイズが比較的少ない場合：カメラ2台で対応可
- ノイズが多い場合：カメラ3台で対応可

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

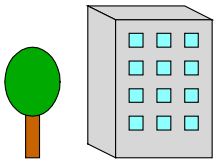
状況に応じた4種類の方法

- 複数カメラ
  - (1) 観測対象：比較的遠景
  - (2) 観測対象：遠景＋近景
- 単数カメラ
  - (3) カメラの動きの制限・前提：多い
  - (4) カメラの動きの制限・前提：少ない

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

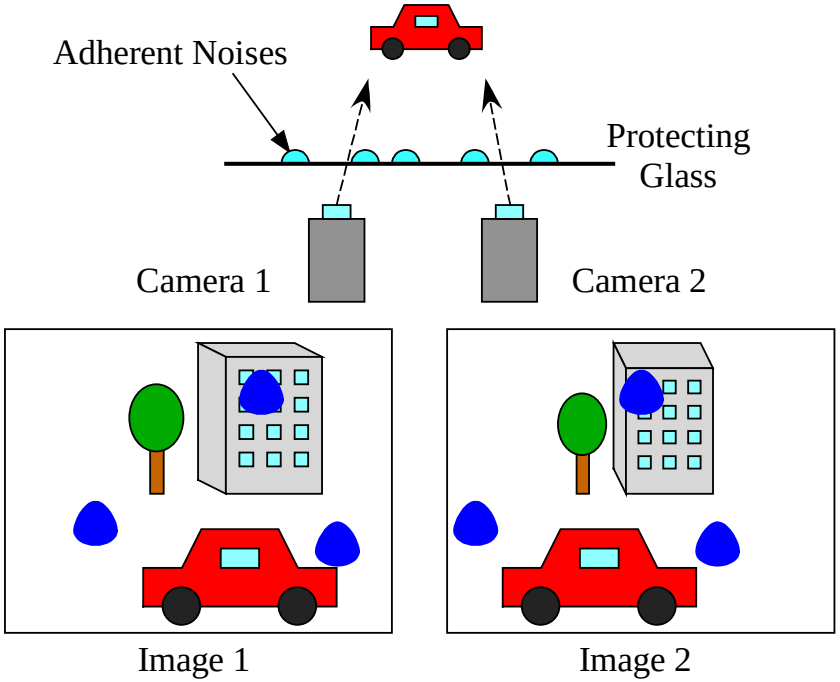
(2) 複数カメラ (遠近景)

ステレオ法ベースの視野明瞭化手法



想定条件

- 保護ガラス面は共通
- 遠近景 (視差あり)



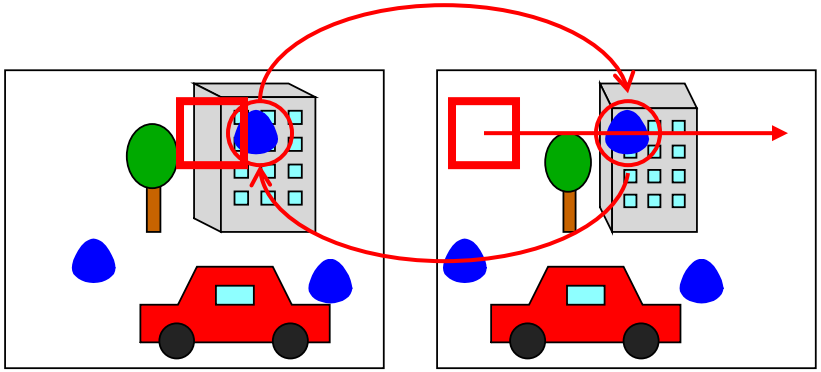
取得した画像間の差
場所によって異なる

差分のかわりに
相関処理を利用

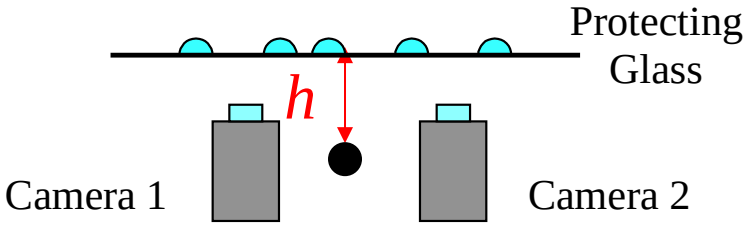
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

前述の手法との違い (1)

- 視差により水滴を判別
  - ステレオ画像で対応点検出
    - 正規化相互相関値 によるテンプレートマッチング
    - 一対一対応



  - 対応点の視差を計算
    - 水滴：奥行距離がh



Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

前述の手法との違い (2)

水滴に隠れた背景の推定

1. テクスチャではなく視差をCG手法で推定
   - テクスチャ：複雑であるため推定は困難
   - 視差：テクスチャと比較すると連続的に変化
     →視差推定はテクスチャ推定よりも容易
2. 水滴に隠れた背景は，もう一方の画像の推定した視差の位置のテクスチャを使用

水滴が付着した画像
(文字が書いてある)

もう一方の画像

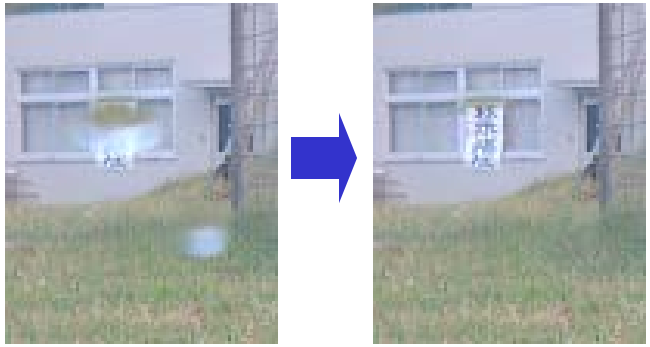
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

視野明瞭化結果

左画像

右画像

遠景



近景

遠景・近景の両方に対応 ＋ 3次元計測が可能

状況に応じた4種類の方法

- 複数カメラ
  - (1) 観測対象：比較的遠景
  - (2) 観測対象：遠景＋近景

- 単数カメラ
  - (3) カメラの動きの制限・前提：多い
  - (4) カメラの動きの制限・前提：少ない

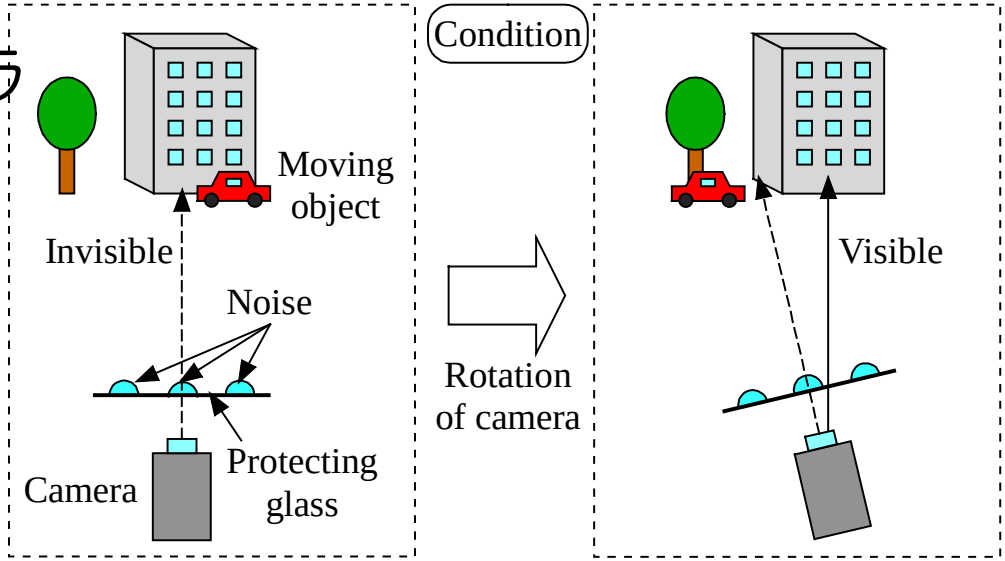
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

(3) 単数カメラ (条件多)

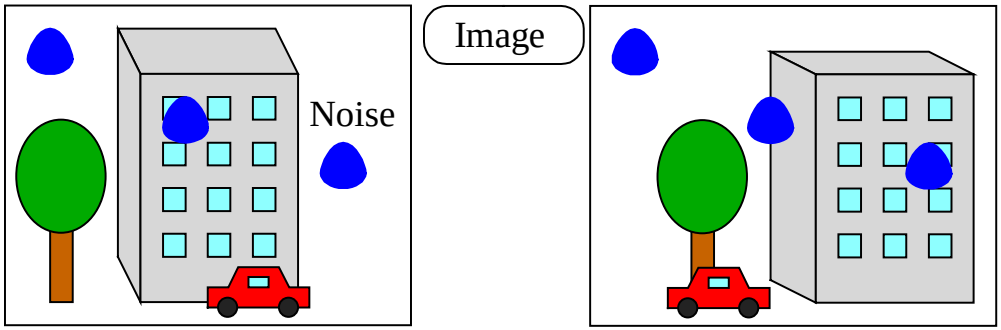
首振りカメラを用いた視野明瞭化手法

移動ロボット用カメラ
監視カメラ

首振カメラ利用



水滴位置：同じ
背景映像：変化



Reference image　　Rotation image

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013
精密工学専攻 Dept. of Precision Engineering

複数カメラとの違い (1)

位置合わせ方法

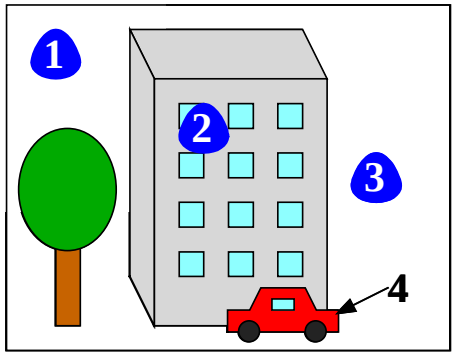
前提：カメラがレンズ中心周りに回転

投影変換

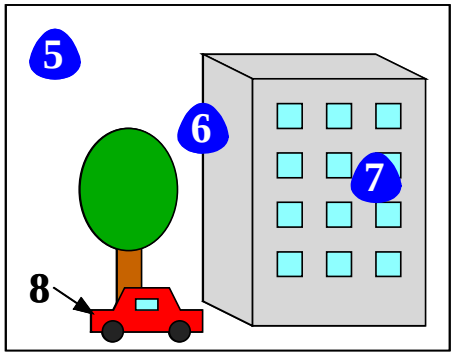
$$u_2 = f\frac{f\tan\theta + u}{f - u\tan\theta}$$

$$v_2 = f\frac{\sqrt{1+\tan^2\theta}}{f - u\tan\theta}v$$

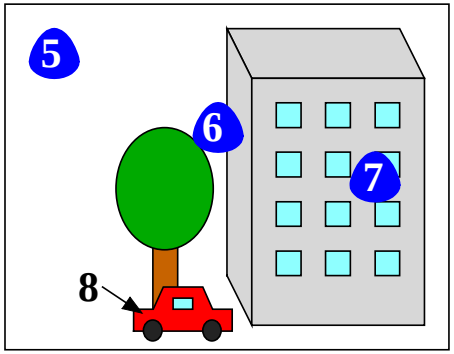
ただし,
θ: カメラの回転角度
f ：焦点距離



(a) Reference image (Angle=0).



(b) Rotation image (Angle= θ).

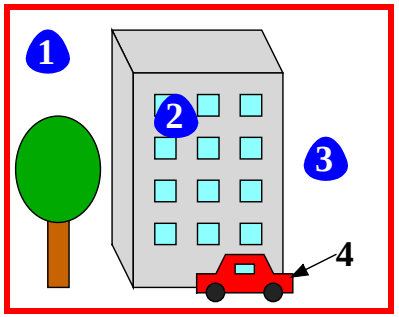


(c) Transformed image.

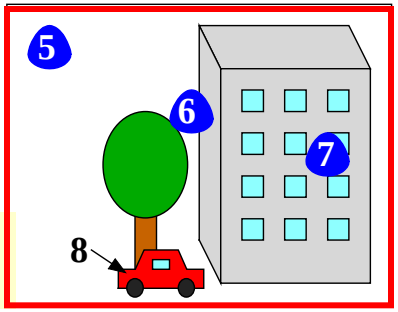
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

複数カメラとの違い (2)

- 水滴判別方法
  - 差分画像上では，同一の水滴が2箇所で出現
  - 同一水滴間の距離 d_{ij} は計算可能



(a) Reference image (Angle=0).

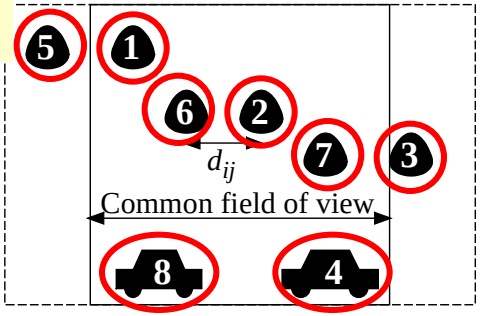


(b) Transformed image.

距離 d_{ij} 左に同一形状ノイズが存在：角度0

距離 d_{ij} 右に同一形状ノイズが存在：角度θ

それ以外：移動物体

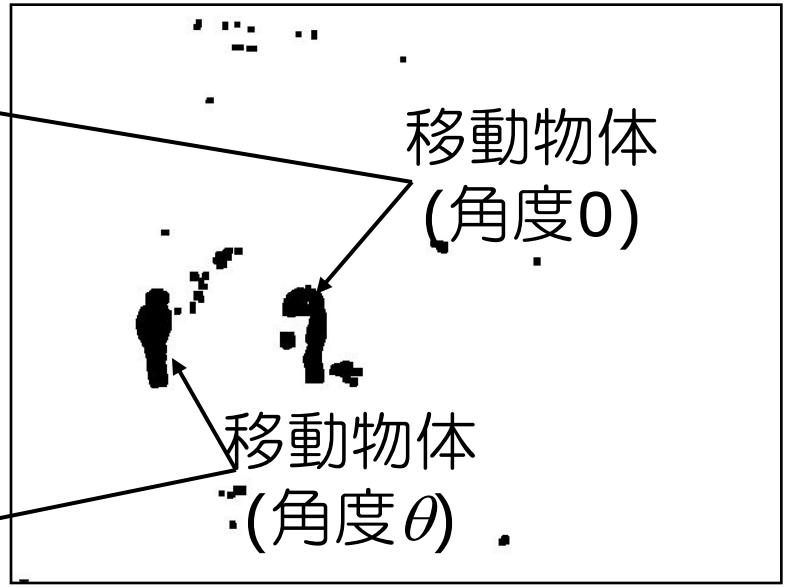


(d) Difference between two images.

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

視野明瞭化結果 (1)

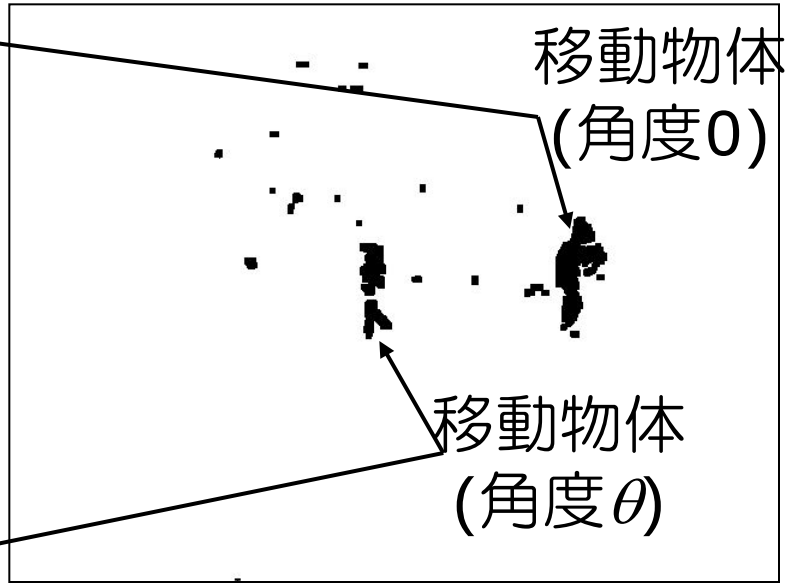
回転前
角度0



回転後
角度θ

視野明瞭化結果 (2)

回転前
角度0



回転後
角度θ

視野明瞭化結果 (3)

- 動画にも対応

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

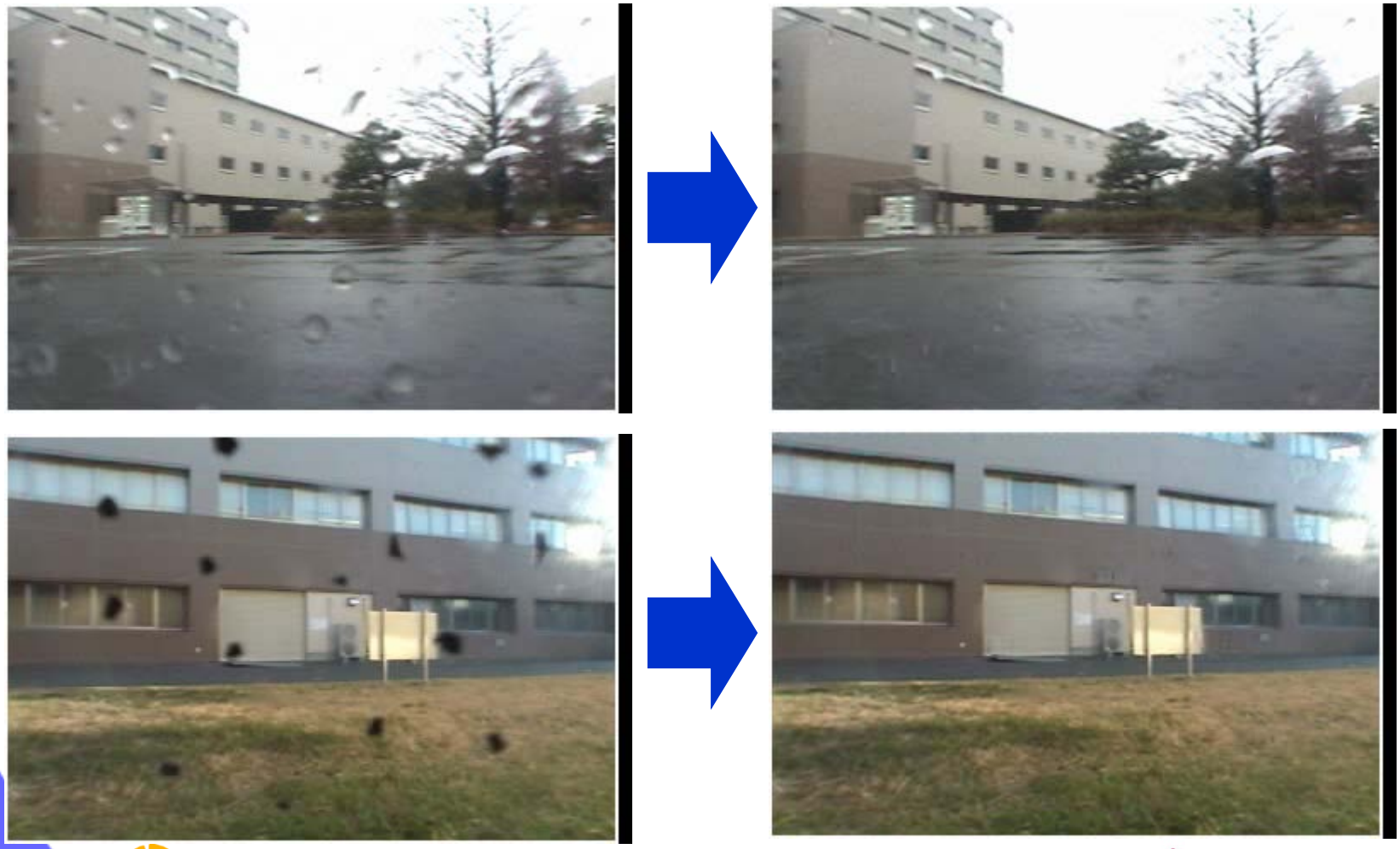
状況に応じた4種類の方法

- 複数カメラ
  - (1) 観測対象：比較的遠景
  - (2) 観測対象：遠景＋近景
- 単数カメラ
  - (3) カメラの動きの制限・前提：多い
  - (4) カメラの動きの制限・前提：少ない

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

(4) 単数カメラ (条件少)

- カメラの動きが未知の場合にも対応



Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

単数・固定カメラ

- 固定視点で複数回撮影
  - 合焦位置を変化させた複数画像を利用

対象物に合焦

視野遮蔽物に合焦

視野明瞭化結果

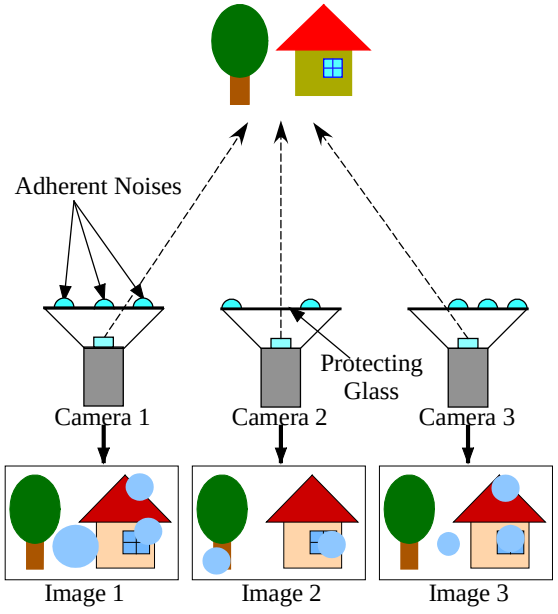
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

4. まとめ

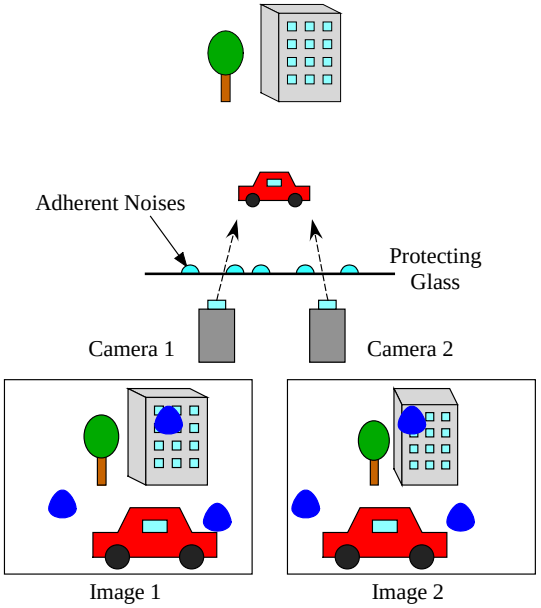
- 状況に応じた4種類の方法

複数カメラ　(1) 観測対象：比較的遠景
　　(2) 観測対象：遠景＋近景
単数カメラ　(3) カメラの動きの制限・前提：多い
　　(4) カメラの動きの制限・前提：少ない

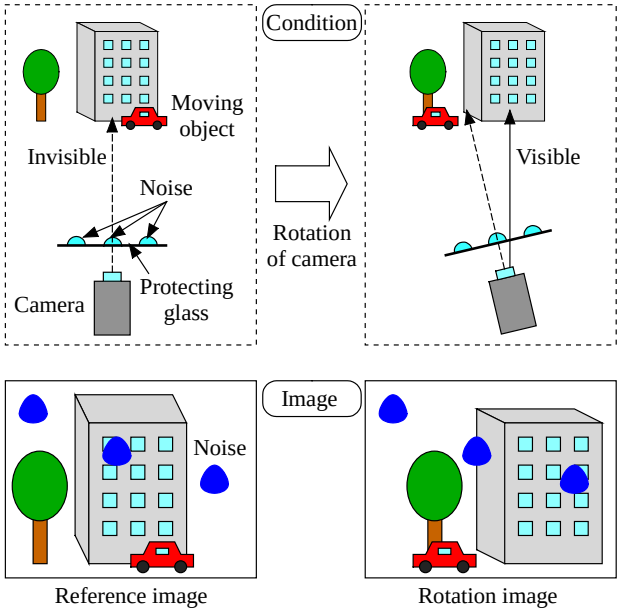
複数カメラ遠景
複数視点から同時撮影



複数カメラ遠近景
複数視点から同時撮影



単数カメラ
方向を変化させて撮影



本手法の特徴

- 本手法の利点
  - 静止画・動画で利用可能
  - 視野妨害物が静止・移動に関係なく利用可能
  - 視野妨害物の色・形・大きさに関係なく利用可能
  - ワイパー等とも併用可能 (ワイパーも除去可)

- 応用
  - 災害対応ロボット・災害対応システムのカメラ
  - 全天候型の監視カメラ (災害時に重要)
  - 自動車のフロントガラス
    - 雨の日でも晴れの日と同じような風景
    - ワイパーいらず

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

5. 結論

- 災害対応ロボット・災害対応システムのための視野明瞭化手法を提案
- カメラ台数・観測対象に応じてそれぞれ対応可能な手法を構築
- 提案手法の有効性を確認

発表内容

- はじめに
- 災害対応 (災害対応ロボット) のための画像処理
- 視野明瞭化映像提示
- 俯瞰画像提示
- おわりに

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

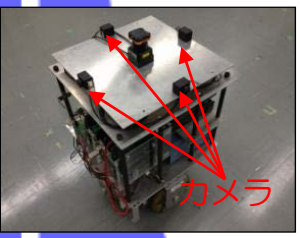
1. 研究の背景

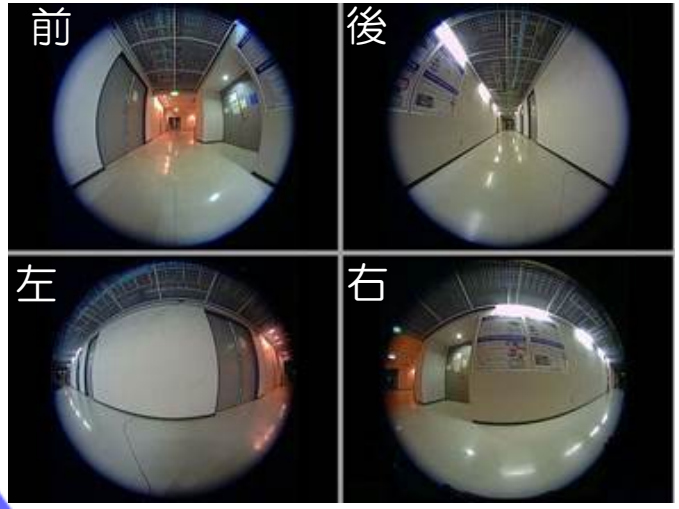
- 遠隔操作型災害対応ロボット
  - 危険環境 (人の侵入が困難な場所) では必要不可欠
  - 環境調査・物体作業
- 遠隔操作性の向上が重要

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

遠隔操作の映像提示方法

- 複数のカメラ映像を同時に提示
  - 全情報を一度に把握することが困難
- 全方位カメラ映像を提示
  - 狭隘環境の探査用ロボット：カメラ設置場所の制約
  - 映像の歪み大

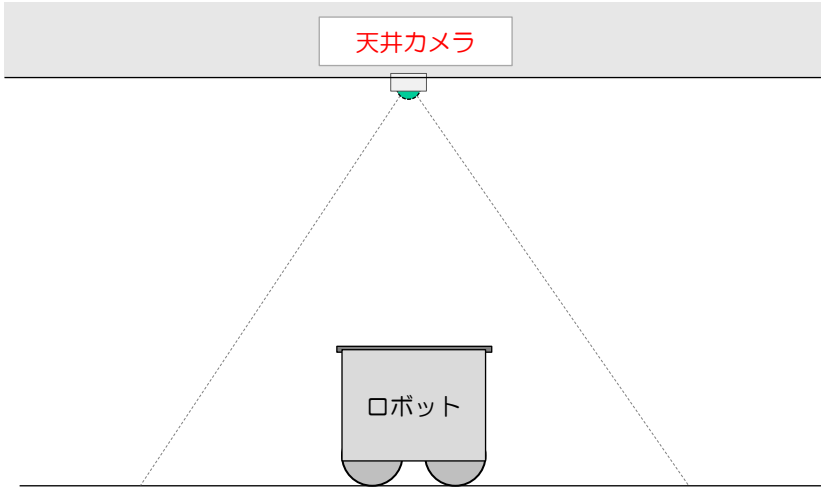




Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

遠隔操作の映像提示方法

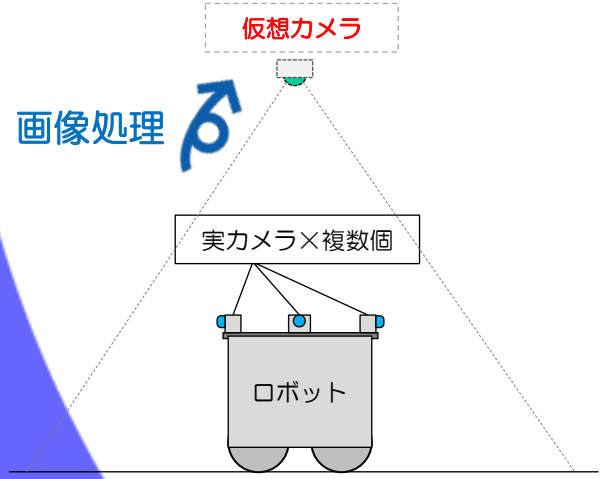
- 操作性向上
  - ロボットの全周囲の状況を1画面で提示
  - 歪みのない映像
- 俯瞰画像：対象を遠目から見たような画像
  - 天井カメラは現場に存在しないことが多い



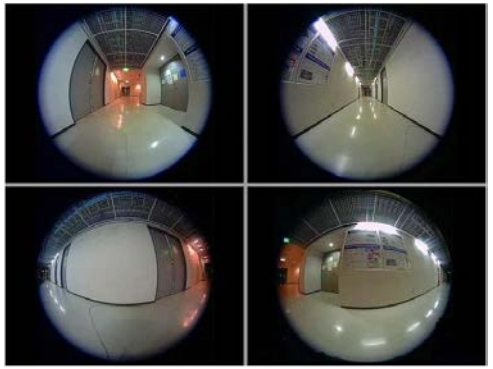
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

2. 研究の目的

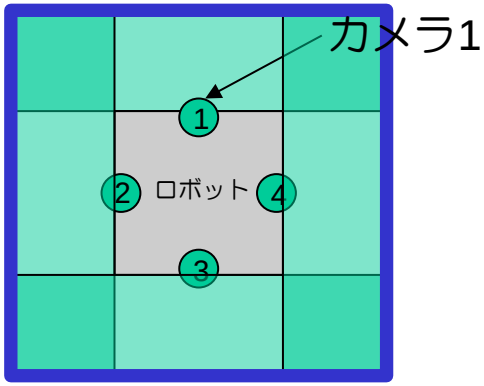
- ロボットに搭載されたカメラのみを用いた疑似俯瞰映像の提示
  - 広い視野を有する魚眼カメラを複数台ロボットに搭載
  - 画像処理により俯瞰画像を生成



コンセプト



複数の魚眼カメラ (視野180deg)



全周囲撮影

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

3. 手法

- 以下の処理をリアルタイム処理で実行

画像取得×複数台
↓
歪み補正×複数台
↓
俯瞰処理×複数台
↓
画像合成
↓
画像表示

取得画像

歪み補正

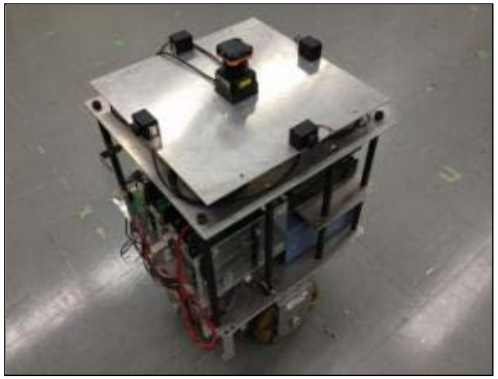
俯瞰処理

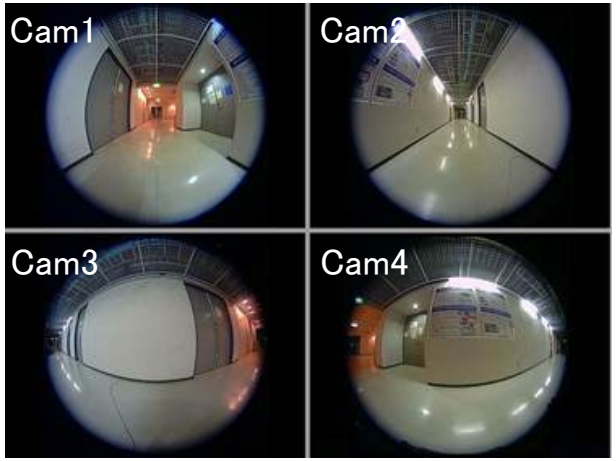
画像統合

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

4. 俯瞰映像生成実験

様々なロボットに搭載

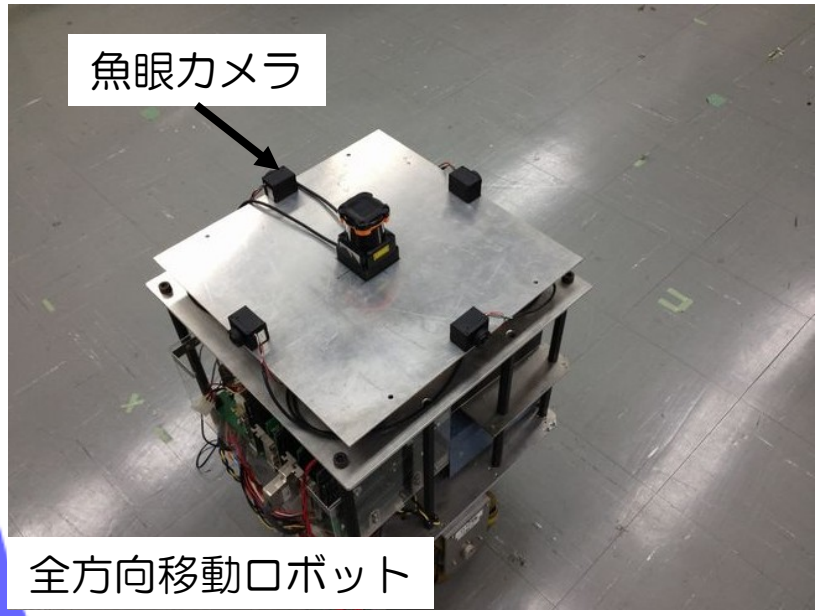




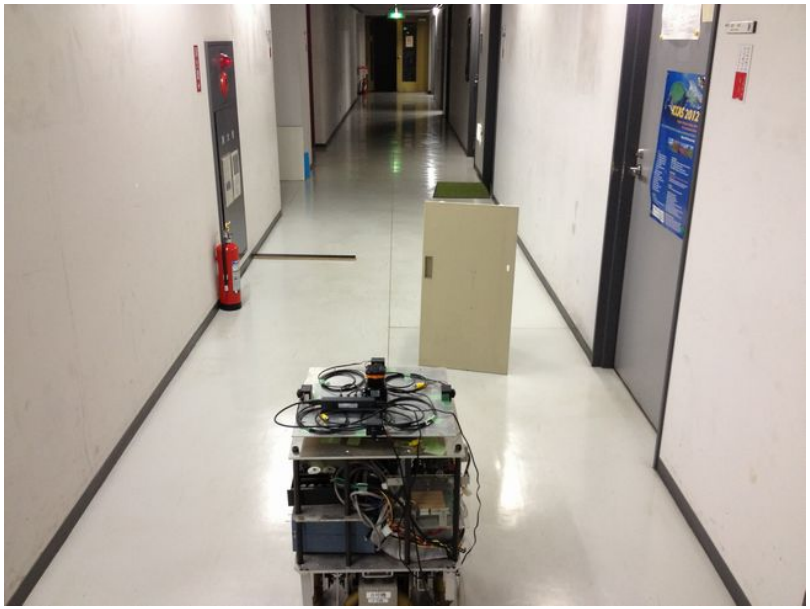
Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

俯瞰映像生成結果 (1)

ロボット1：小型全方向移動ロボット



移動ロボット

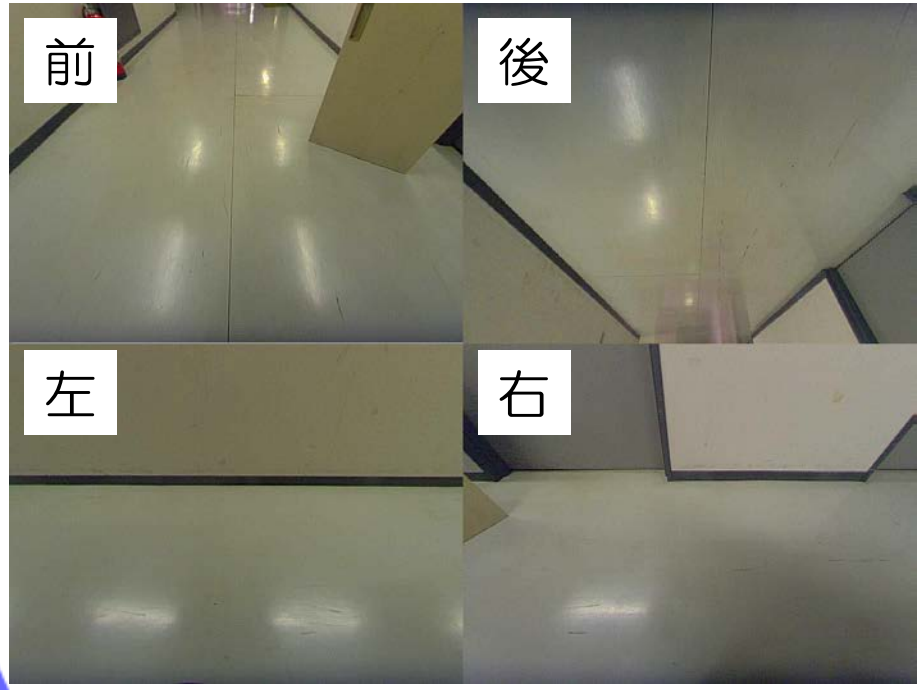


実験環境

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

俯瞰映像生成結果 (1)

- 周囲環境を容易に把握可能



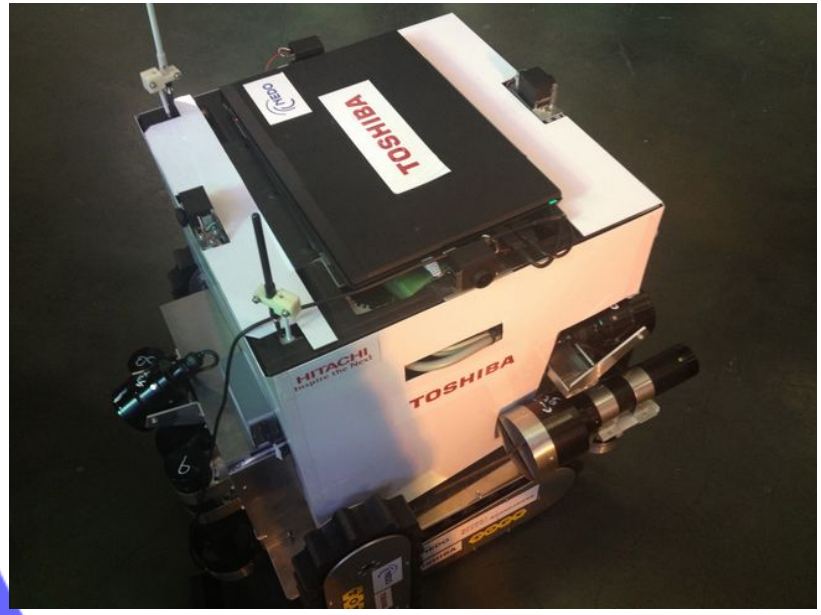
個別画像提示

俯瞰画像提示

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

俯瞰映像生成結果 (2)

- ロボットその2：中型移動ロボット
  - 狭い通路での操作実験
  - 通路幅80cm，ロボット幅60cm



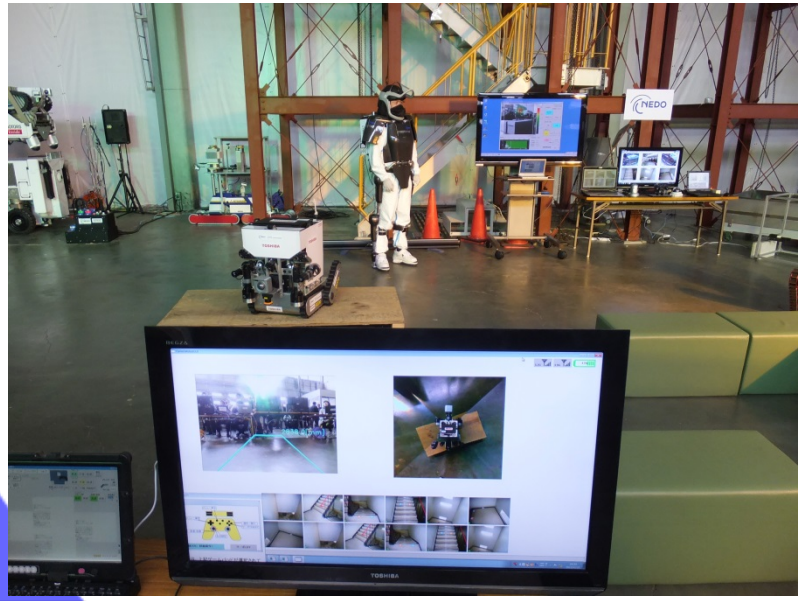
移動ロボット

実験環境

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

俯瞰映像生成結果 (3)

- ロボットその3：大型移動ロボット



4. 結論

- 疑似俯瞰画像生成の手法構築
  - 学術的・技術的内容
- 複数プラットホームへの実装
  - 異なる組織の異なるロボットへの実装を意識
  - 実験準備と本番実験の切り分け
  - 準備 (オフライン処理) の手順化
  - 実作業時 (オンライン処理) の汎用化

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

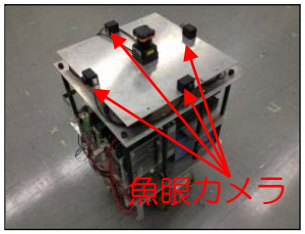
発表内容

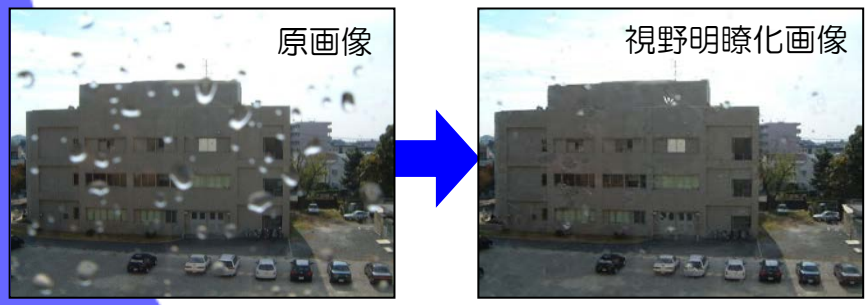
- はじめに
- 災害対応 (災害対応ロボット) のための画像処理
- 視野明瞭化映像提示
- 俯瞰画像提示
- おわりに

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

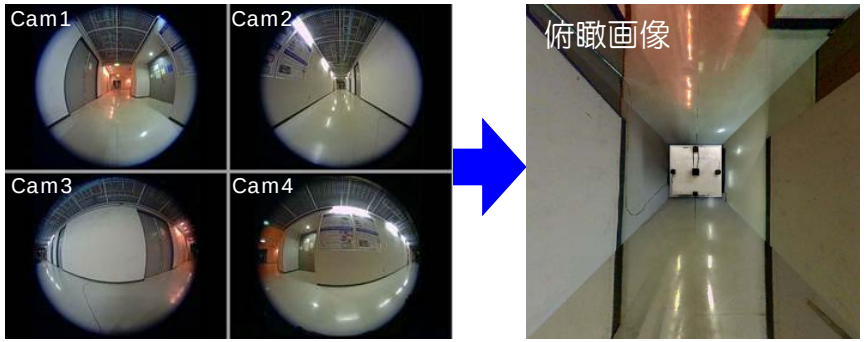
おわりに

- 視野明瞭化映像提示
  - 災害現場
    - カメラに水滴や泥などの視野遮蔽物が付着
    - 取得映像中に水滴や泥などの視野妨害ノイズが写りこむ
  - 画像処理技術を用いて映像中の視野妨害ノイズを自動的に除去する手法
- 俯瞰（ふかん）映像提示
  - 災害対応ロボットの遠隔操作
    - ロボットに搭載したカメラの映像を使用
  - ロボットに搭載された複数カメラの情報を融合し，効率的にオペレータに提示する手法





視野明瞭化映像提示



俯瞰映像提示

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013

謝辞

- 文科省 大大特PJ
  - 文部科学省 大都市大震災軽減化特別プロジェクト
    - 被害者救助等の災害対応戦略の最適化 災害対応戦略研究 レスキュートボット等の高度な次世代防災インフラ構築
- NEDO 災害対応無人化システム研究開発PJ
  - 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 災害対応無人化システム研究開発プロジェクト
    - 作業移動機構の開発 遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発
    - 計測・作業要素技術の開発 水陸両用モニタリングデバイスの開発

Copyright (c) Atsushi Yamashita, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2013