Digital Human Research Center

AIST

ZMPフォーラム2014

RoboCar HVによる自動運転
階層型レーザーレンジスキャナを用いた
動的環境下でのナビゲーション

畑尾　直孝（産業技術総合研究所）

Digital Human Research Center

AIST

略歴

- 2005年3月　東京大学工学部機械情報工学科 卒業
- 2007年3月　東京大学 情報理工学系研究科
  知能機械情報学専攻 修士課程修了
- 2011年3月　東京大学 情報理工学系研究科
  知能機械情報学専攻 博士課程修了
  - 2010年4月～2011年3月 日本学術振興会特別研究員 (DC1)
  - 以上，所属研究室は全て稲葉研究室(JSK)
- 2011年4月～ 産業技術総合研究所 特別研究員(PD)

Digital Human Research Center

AIST

目次

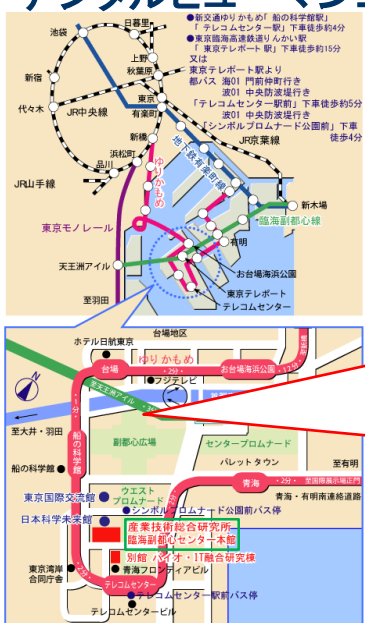
- 自己紹介＆デジタルヒューマン工学研究センター)の紹介
- 階層型レーザーレンジスキャナを用いたナビゲーションシステムの構成
- ナビゲーションシステムに用いられる要素技術の紹介
- Robocar HVによる自動運転デモンストレーション

3

Digital Human Research Center

AIST

産業技術総合研究所
デジタルヒューマン工学研究センター



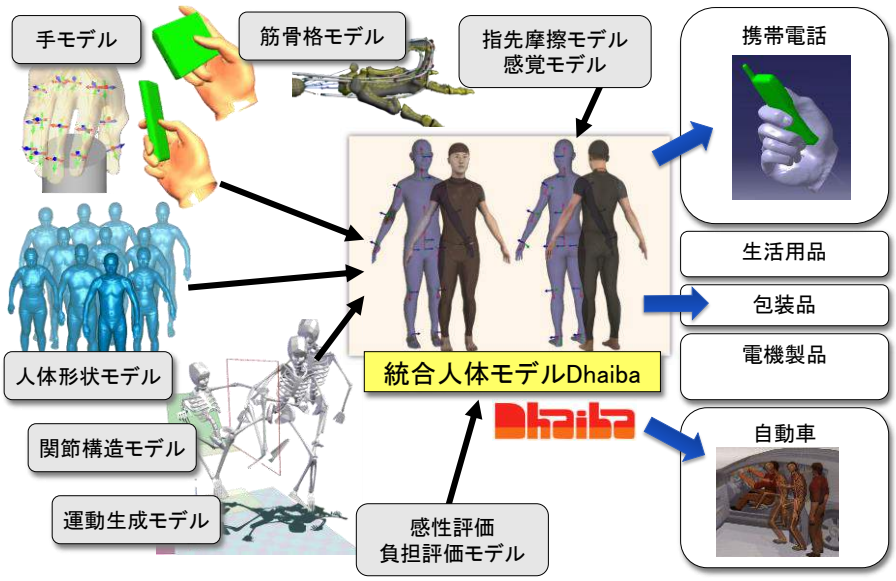
- 所在地:
  東京都江東区青海 2-3-26
  産業技術総合研究所
  臨海副都心センター本館 3F

4

Digital Human Research Center

AIST

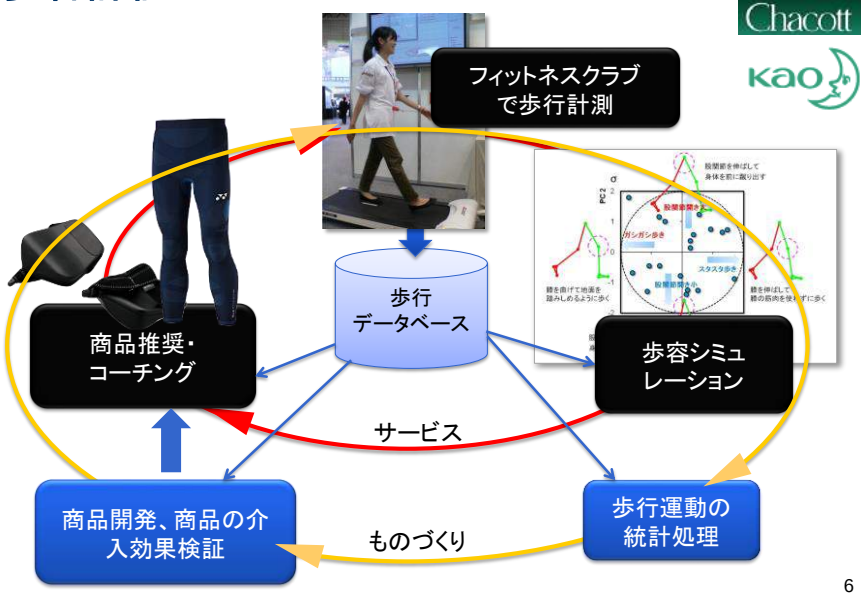
人体モデルDhaiba 身体機能中心デザイン



Digital Human Research Center

AIST
KONAMI
YONEX
Chacott
kao

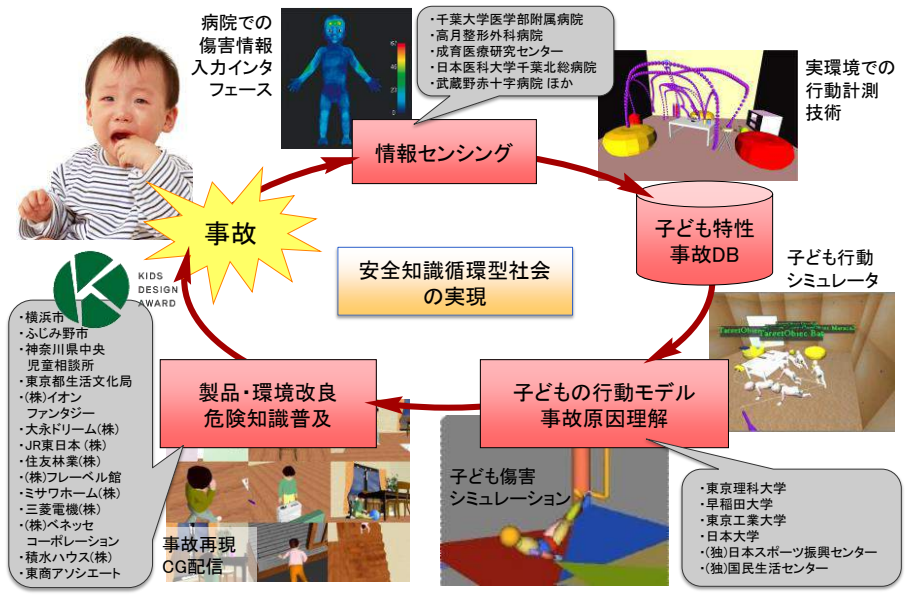
歩容評価サービス 健康増進技術



Digital Human Research Center

AIST

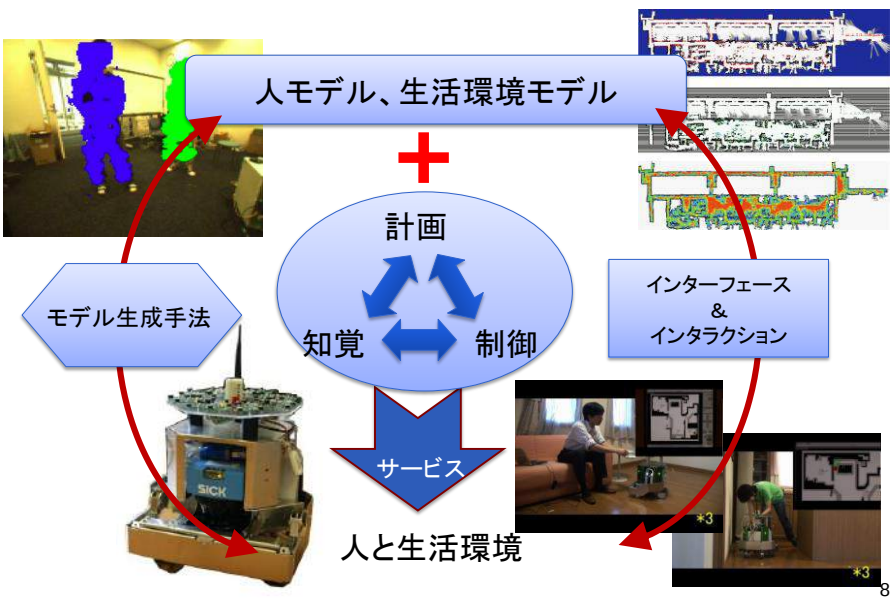
子どもの傷害予防工学 生活・社会機能デザイン



Digital Human Research Center

AIST

足りない機能を支援する スマートアシスト技術



スマートアシスト技術研究チームのメンバー

- 常勤職員
  - 加賀美 聡(チームリーダー)
  - Simon Thompson
  - 佐々木 洋子
  - 山崎 俊太郎
- 契約職員
  - 椛澤 光隆
  - 畑尾 直孝
- 学生(東京理科大，奈良先端大)
  - M2 2人
  - M1 2人
  - B4 2人

Digital Human R

目次

- 自己紹介＆デジタルヒューマン工学研究センター)の紹介
- 階層型レーザーレンジスキャナを用いたナビゲーションシステムの構成
- ナビゲーションシステムに用いられる要素技術の紹介
- Robocar HVによる自動運転デモンストレーション

Digital Human Research Center

Digital Human Research Center

スマートアシストチームの自律移動ロボット

AIST

Robocar HV

1. 2代目プリウスの改造車
2. PCから制御可能な自律運転自動車
3. Velodyne HDL-32E x1
4. ITS世界会議(10/15～19)
5. 長崎大・名古屋大と共同研究

Emu

1. Segway RMP
2. 屋内外対応 二輪倒立型ロボット
3. Velodyne HDL-32E x1,
   日本信号 FX8 x2,
   AXIS パンチルトズームカメラ x1
4. つくばチャレンジ(11/17)
5. 元は変電所内のモニタリング用に開発

Peacock

1. Pioneer 3-DX
2. 全周タッチセンサ搭載
   人混みでも安心・安全
3. Velodyne HDL-32E x1,
   マイクロフォンアレイ x1
4. G空間EXPO(11/14～16)
   ET2013(11/20～22)
5. 隣接する日本科学未来館内で展示・実験

1. ベースとなったロボット
2. 特徴
3. センサ構成
4. 出展デモ
5. 備考

Digital Human Research Center

自律移動ロボットの共通システム構成

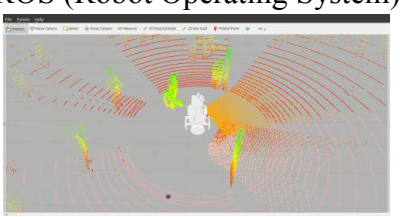
AIST

■ 開発リソースの効率化＆安全性の確保
- センサ・ソフトウェアを共通化

Velodyne HDL-32E

- 多層型レーザーレンジスキャナ
  - 32個のレーザー受発光部内蔵
  - 水平360deg, 俯角30.7deg, 仰角10.7deg
    - 解像度: 横 約0.2deg, 縦 約1.33deg
    - 回転数: 最大 約10Hz
  - 最大計測距離70m以上，精度±2cm
  - 1台約400万円

ROS (Robot Operating System)



- Ubuntu上で動作するミドルウェア
  - 自律移動ロボットによく使用されるコンポーネントが多数用意されている
  - ビューワも搭載
  - Velodyneなどセンサのドライバも存在

自己位置推定	地図作成
障害物認識	経路計画・追従

Digital Human Research Center

AIST

安全性を考慮した自律移動システム

- 安全性の確保は最重要課題
  - 一般の観客多数
- 自律移動時の安全対策
  - 移動体追跡 -> 静止障害物検出 -> 手動停止 の3段構え
  - 移動体追跡
    - 歩行者・自動車を検出，位置・速度ベクトルを推定
    - 今後5秒間に経路を横切る移動体がいる場合，ロボット停止
  - 静止障害物検出
    - 静止中の歩行者，地面の段差など
  - 手動停止手段
    - Robocar HV : 運転席に必ず乗車，ブレーキを踏めるようにする
    - Emu : 非常停止ボタン2つ ＋ 引き綱(引き抜くとロボット停止)
    - Peacock : 全身タッチセンサ (押すとロボット停止)

Digital Human Research Center

AIST

移動ロボットナビゲーションシステム

- ROSベースにソフトウェア共通化
- 各ロボットに共通のシステム
  - 自己位置推定・マップ生成
    - Velodyneから仮想2D LRFスキャンを作成，利用
  - 移動物体追跡
    - 自己位置推定同様，仮想2D LRFスキャンを利用
  - 静止障害物発見
    - 段差や背の低い障害物を発見
    - 坂道でも使用可能
  - 経路計画(Emu/Peacockのみ)
    - 手動で進入禁止領域を設定，A*探索で経路計画
      - Emu: ゴールまでの経路は手動でウェイポイント設定，ウェイポイント間を経路計画
      - Peacock: 目標地点の座標を手動設定，現在地からの経路を計画

Digital Human Research Center

AIST

目次

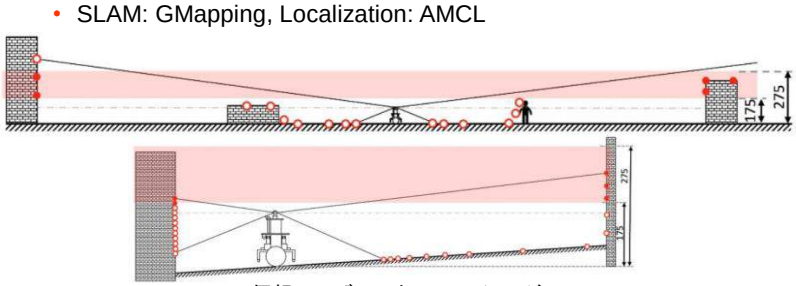
- 自己紹介＆デジタルヒューマン工学研究センター)の紹介
- 階層型レーザーレンジスキャナを用いたナビゲーションシステムの構成
- ナビゲーションシステムに用いられる要素技術の紹介
- Robocar HVによる自動運転デモンストレーション

Digital Human Research Center

AIST

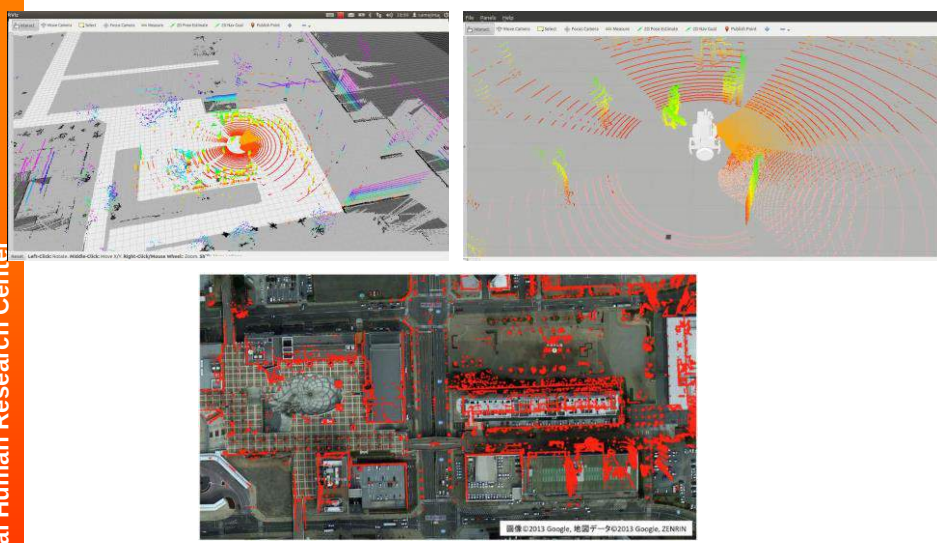
システム要素技術: 自己位置推定

- 基本方針
  - SLAM: あらかじめ移動対象の領域を走行して地図を作成
  - Localization: SLAMで作成した地図内のどこにいるかを推定
- Velodyneを用いた地図作成と自己位置推定
  - 指定した高さの範囲内のLRFスキャン点から仮想的な平面型レーザースキャンデータを作成
  - 環境に合わせて適切な高さの範囲を手動で選択
    - つくばチャレンジ:175cm～2750mm
  - ROSの平面型レーザースキャナのプログラムを使用
    - SLAM: GMapping, Localization: AMCL



仮想レーザースキャンのイメージ.
ピンクの領域のデータを地図作成に使用

自己位置推定・地図作成 結果の例



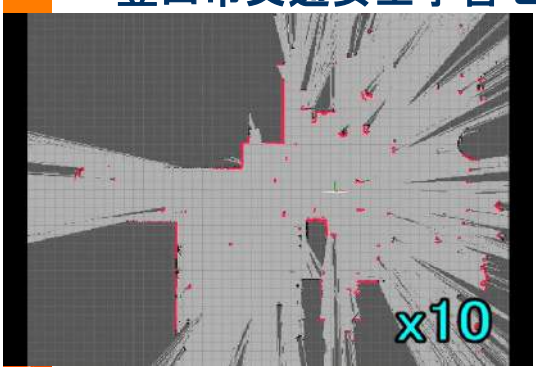
つくばチャレンジ会場の地図と航空写真との比較

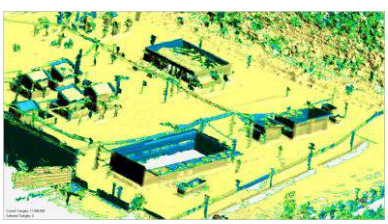
江川 et al. “3次元LIDARを用いた2次元環境地図の作成手法とそれを利用したナビゲーション”, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp.70--73, 2013.

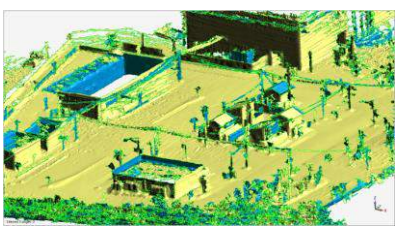
17

Digital Human Research Center

都市環境マッピング@ 豊田市交通安全学習センター







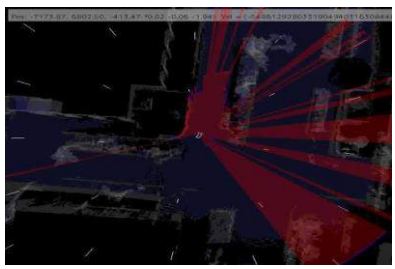
18

Digital Human Re

Digital Human Research Center

AIST

関連研究:3Dマップ内での2D LRFを用いた自己位置推定

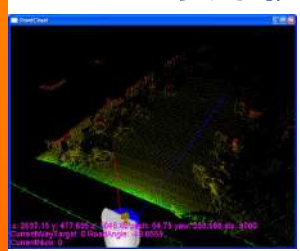


- Riegl LMS-Z420i のスキャンデータから3Dマップ作成
- 北陽電機 Top-URGで自己位置推定

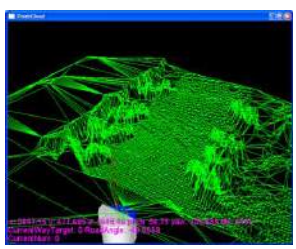
Digital Human Research Center

AIST

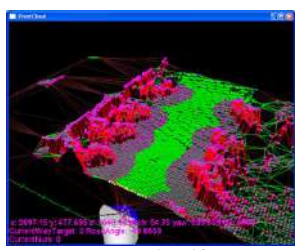
システム要素技術: 静止障害物検出



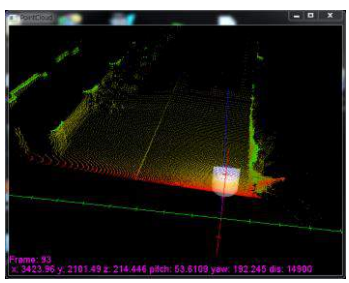
LRF Point Cloud



DEM(Digital Elevation Map)
+ドロネー分割

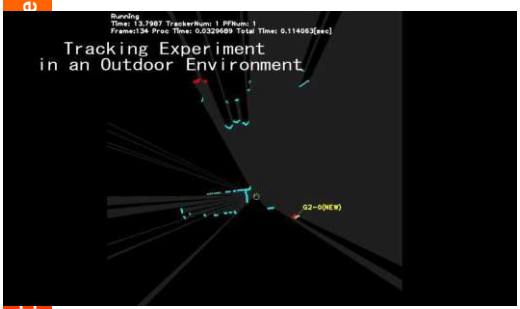


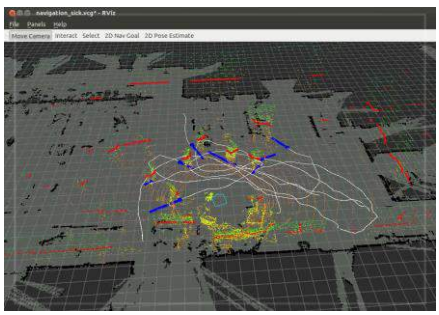
3D Map復元結果
(緑:地面, 赤:障害物,
紫:障害物近傍)



システム要素技術: 移動体追跡

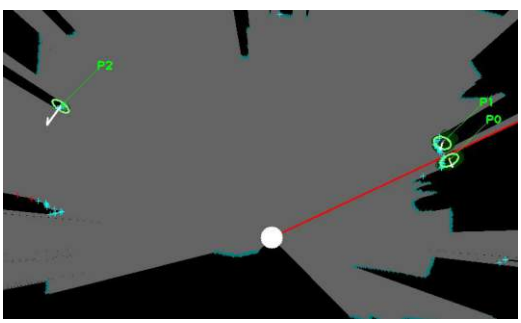
- Velodyneを用いた移動体追跡
  - 自己位置推定と同様に，仮想レーザースキャンデータを作成
    - 人の胸部付近の高さを使用
  - 平面型レーザースキャナのプログラムを使用
- 追跡手法
  - SJPDAF(Samle-based Joint Probabilistic Data Association Filter)による追跡
  - SVM(Support Vector Machine)を用いた物体識別(歩行者or自動車)

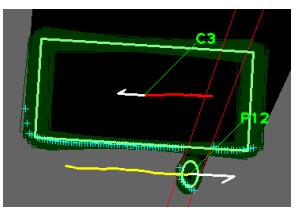




畑尾 et al, クラスタベースSJPDAFsを用いた移動物体追跡・識別手法
ロボティクス・メカトロニクス講演会2012講演論文集, 2012.

SJPDAFを用いた移動体の追跡

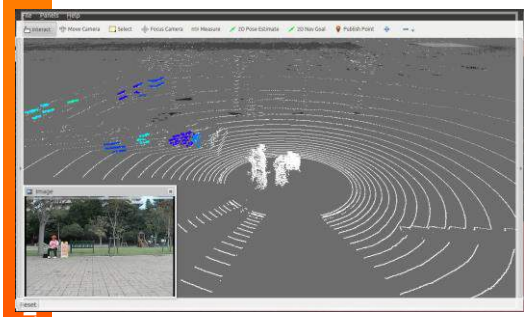




- SJPDAF:複数仮説追跡手法の一つ
- 複数仮説追跡の枠組みを用いて…
  - 複数移動体近接時のLRFスキャン点のクラスタリング
    - 複数種別の移動体であってもクラスタリング可能
  - 完全なオクルージョン・部分的なオクルージョンへの対応

畑尾 et al, “角度ベース複数仮説を用いたLRFによる複数種類・複数個の移動体追跡手法”,
第19回ロボティクスシンポジア予稿集, 2014.(In printing)

関連研究：多層型レーザスキャナを用いた無限混合ガウスモデルによる実環境物体識別



- Velodyneの3Dデータから物体識別
  - 地面除去＋セグメンテーション
  - 特徴ベクトル(12次元)抽出
  - 無限混合ガウスモデルで学習・識別

佐々木 et al. “ネスト型無限混合ガウスモデルによる実環境データの分類と識別”, 第19回ロボティクスシンポジア予稿集, 2014.(In printing)

Digital Human Research Center

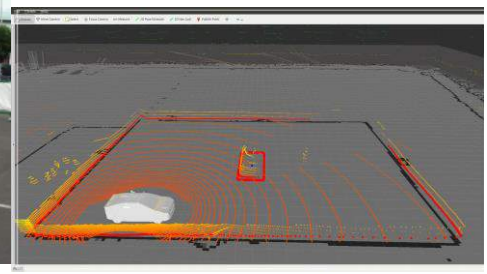
目次

- 自己紹介＆デジタルヒューマン工学研究センター)の紹介
- 階層型レーザーレンジスキャナを用いたナビゲーションシステムの構成
- ナビゲーションシステムに用いられる要素技術の紹介
- Robocar HVによる自動運転デモンストレーション

Digital Human Research Center

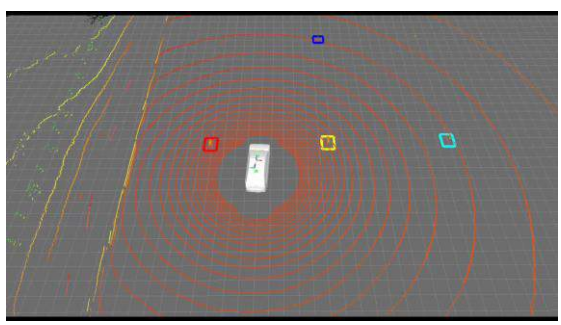
ITS世界会議における自律運転デモ

- デモ内容
  - 約30m×20mのフィールド内を周回走行
    - 辿るコースはあらかじめ指定
  - 経路を横断する歩行者・自動車を検出して停止
  - 外部PCに内部情報を表示



25

青海臨時駐車場での実験走行(2014-Feb-07)



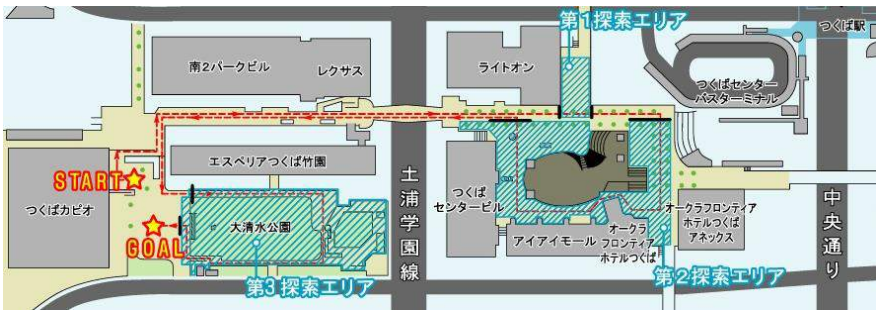
26

Digital Human Research Center

AIST

おまけ(1) Emu つくばチャレンジ2013に参加

- つくばチャレンジ2013課題
  - 直線距離約1.23kmのコースを移動
    - 一般の人も利用
  - コース中の「探索対象者」を5人発見
    - 特定の帽子・ジャケット着用
    - 隣に特定の看板



Digital Human Research Center

AIST

つくばチャレンジ 本走行の様子

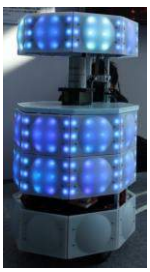
- あえなく失敗…
  - 失敗の原因：状態遷移(歩行者探索モード->移動モード)がバグで切り替わらなかった
  - コンポーネント単位ではすべてうまく動いていた

おまけ(2) Peacock G空間EXPOにおけるデモ

AIST

- デモ内容
  - G空間情報：日常生活や経済活動にかかせない位置と時間の情報
  - 出展タイトル“ヒトとロボットの新しいコミュニケーションのカタチ”
    「多層型レーザースキャナを用いたロボットからの人流測定と自律移動」
    - Velodyneを用いて移動体追跡をしながら自律移動
  - ET (Embedded Technology) 2013にも同様のデモを出展

Before



After

Digital Human Research Center

29

まとめと今後の課題

AIST

- まとめ
  - 階層型レーザースキャナによる
  - 自律移動のための要素技術の開発
    - 実環境での移動が可能になってきた
- 今後の課題
  - 周囲の人や自動車の意図や行動を理解する
  - 完全な自律移動ではなく，操縦者をアシストするシステム

Digital Human Research Center

30