

IBIS2017 企画セッション

実社会への機械学習の応用

東京大学 本郷キャンパス 安田講堂

11月9日 16:00～18:00

竹中一仁 (デンソー)

実社会への機械学習の応用

概要

実社会への応用の中でも特に物理的実体を伴った「自動車」「ロボット」にフォーカスし
機械学習応用のアプローチ・先端事例や その課題について講演いただく

自動車分野への応用

「自動車の自律化におけるロボティクスと学習」

名古屋大学 竹内栄二郎

産業界でのロボットへの応用

「実社会・実環境におけるロボットの機械学習」

Preferred Networks 高橋城志

インタラクションと概念獲得への応用

「マルチモーダルカテゴリゼーション：階層ベイズモデルに基づくロボットによる概念・言語獲得」

電気通信大学 中村友昭

第20回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2017)
企画セッション: 実社会への機械学習の応用

自動車の自律化における ロボティクスと学習

名古屋大学 情報学研究科 准教授 竹内 栄二郎

自動車の自律化における ロボティクスと学習

名古屋大学 情報学研究科 准教授 竹内 栄二郎

自己紹介

- 2002－2008 筑波大学 知能ロボット研究室
 - 移動ロボット機能のモジュール化
 - 位置推定・SLAMに関する研究
- 2008－2014 東北大学 田所研究室
 - 屋外移動ロボット
 - レスキューロボット
- 2014－2016 名古屋大学 未来社会創造機構
 - 車の運転支援と自動運転の研究
- 2016－現在 名古屋大学 情報学研究科 武田研究室
 - 自動運転
 - 学習による自動運転



近年の自動運転研究開発の活発化

- DARPA GrandChallenge (2004,2005) / UrbanChallenge (2007)
 - 自動運転車の競技
 - Velodyne LiDARの開発
 - 欧米での自動運転研究の活発化
- Google
 - UrbanChallenge経験者が集結
 - 公道での自動運転190万キロ以上
- Daimler
 - 2013年8月 100kmの市街地自動運転
 - 量産型のセンサを利用(ステレオカメラ、LiDAR、RADAR等)
 - 高精度地図の積極的利用(HERE)

多くの場合で公道での自動運転は可能

名古屋大学の自動運転研究環境

- 自動運転研究設備
 - 3台の自動運転対応車両
 - 豊富な整備・実験設備
- 走行実験環境
 - 豊田市交通安全学習センターの協力による模擬市街地での実験等
- 自動運転実験ガイドライン
 - 自動運転実験をより安全に実施できる体制づくり



センサを搭載した自動運転対応車両



シャシーダイナモ



模擬市街地での自動運転実験

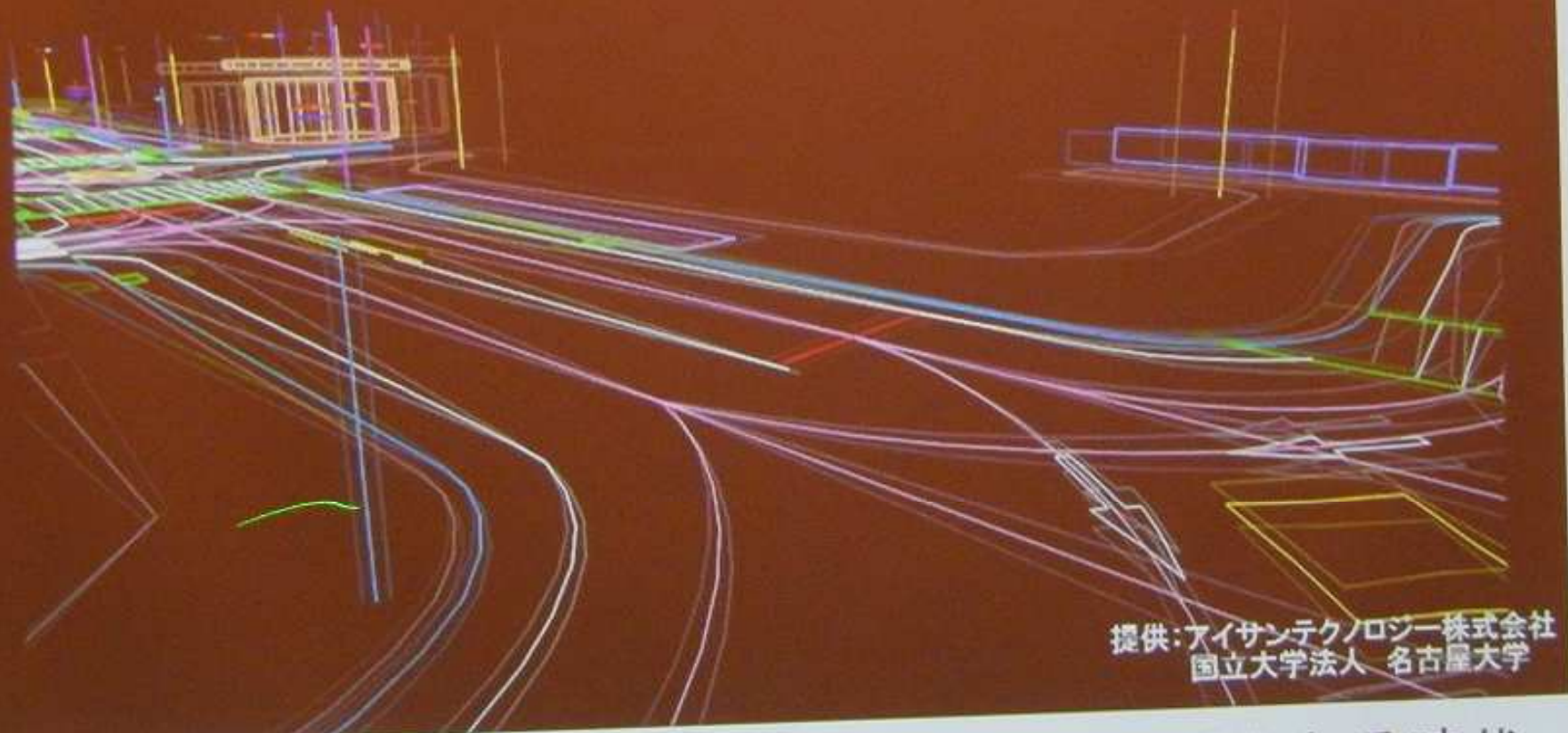
本格的に自動運転研究ができる環境の整備

3次元地図情報



MMSにより走れば高精度3次元点群地図が得られる時代

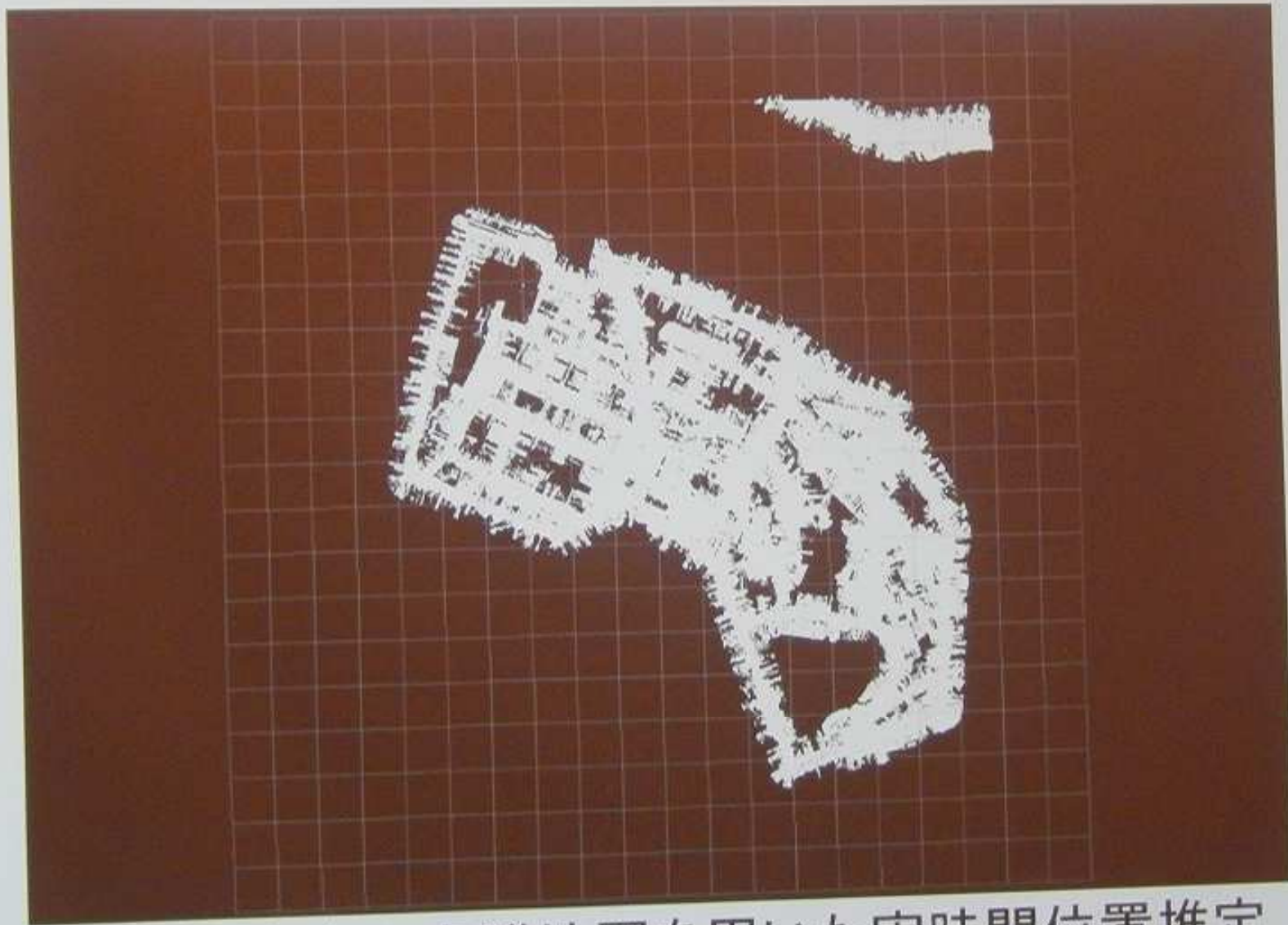
3次元地図情報



提供:アイサンテクノロジー株式会社
国立大学法人 名古屋大学

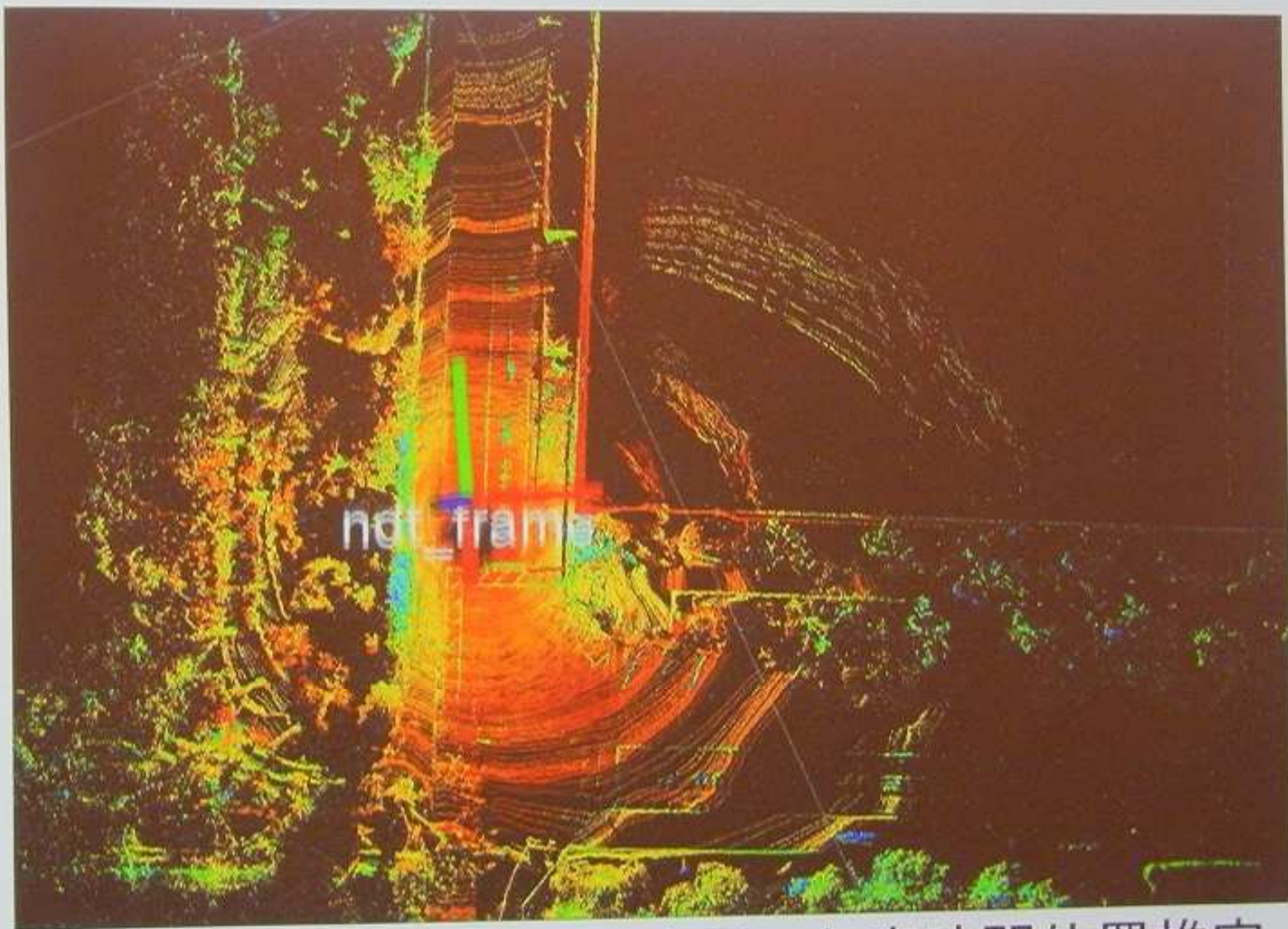
MMSにより走れば高精度3次元点群地図が得られる時代

3D NDT Scan Matching



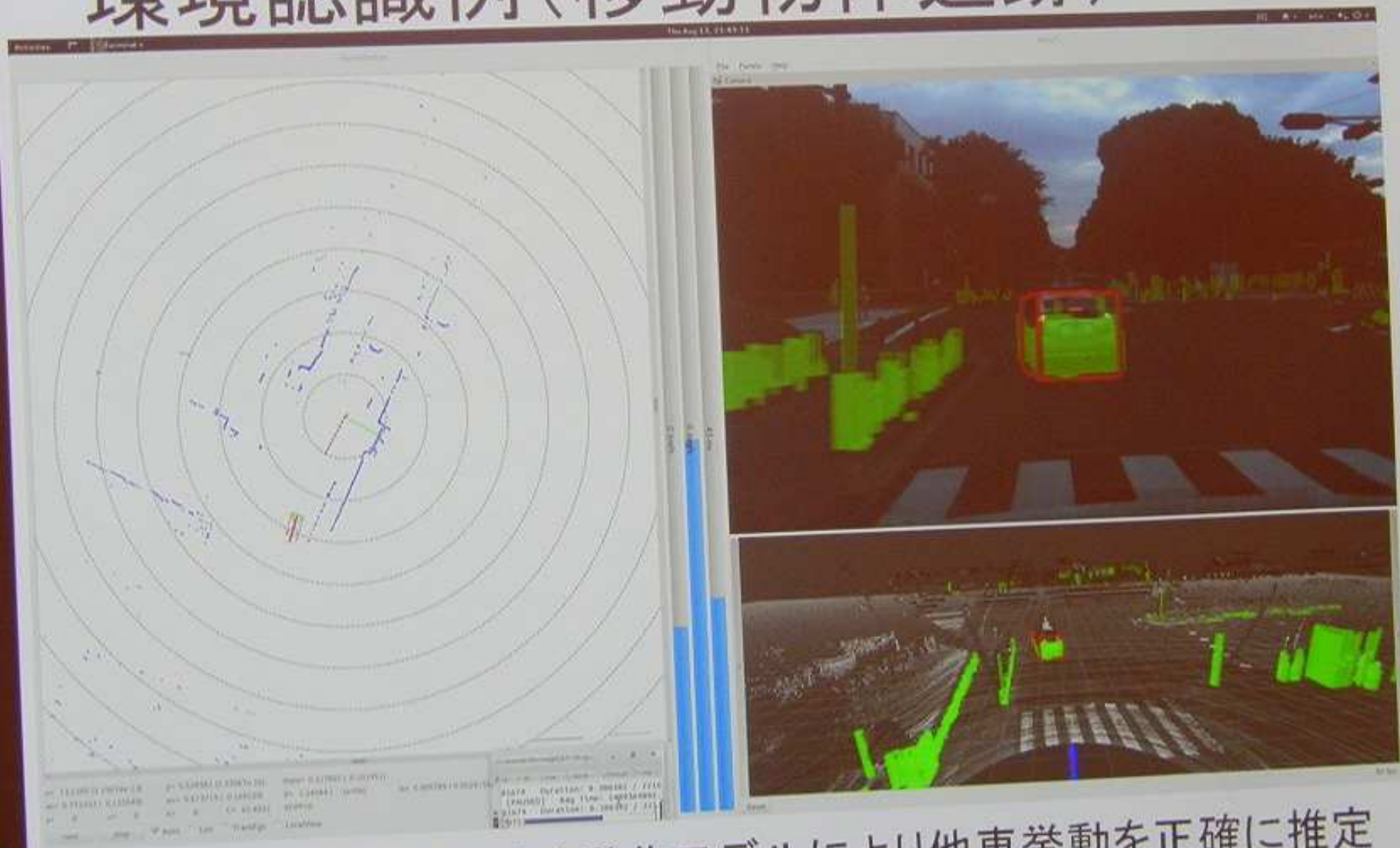
約10億点の点群地図を用いた実時間位置推定

3D NDT Scan Matching



約10億点の点群地図を用いた実時間位置推定

環境認識例(移動物体追跡)



確率的な状態推定手法と動作モデルにより他車挙動を正確に推定

動作計画(状態遷移を含む全体計画)



回避や信号停止等公道走行に必要な状態遷移を含む動作計画

動作計画(状態遷移を含む全体計画)



回避や信号停止等公道走行に必要な状態遷移を含む動作計画

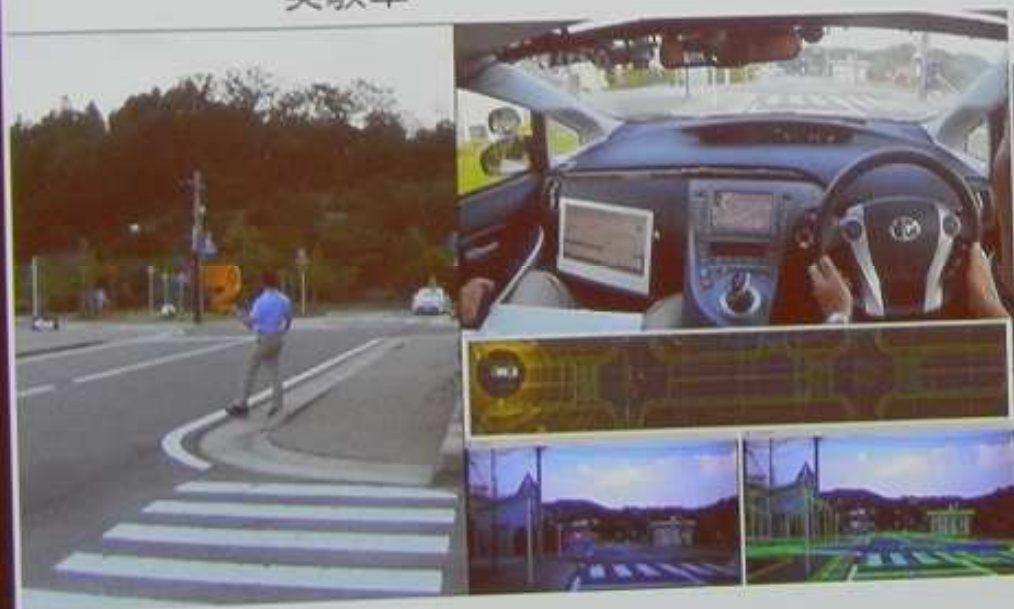
自動運転技術を用いた運転支援



実験車



熟練・高齢ドライバ高精度運転データ収集(合計2000km以上)



運転支援システム構築



緊急時の自動停車

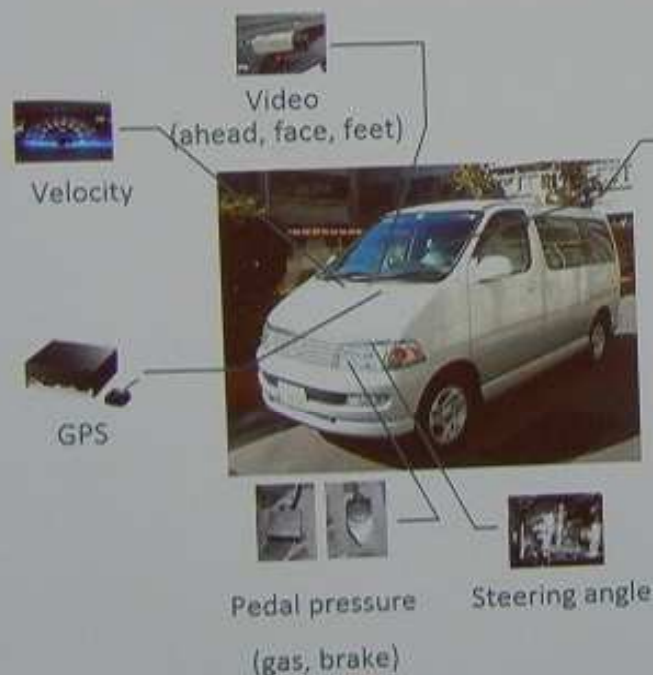
3次元計測を中心とした自動運転機能



認知-判断-操作の各機能を開発し自動運転を実現

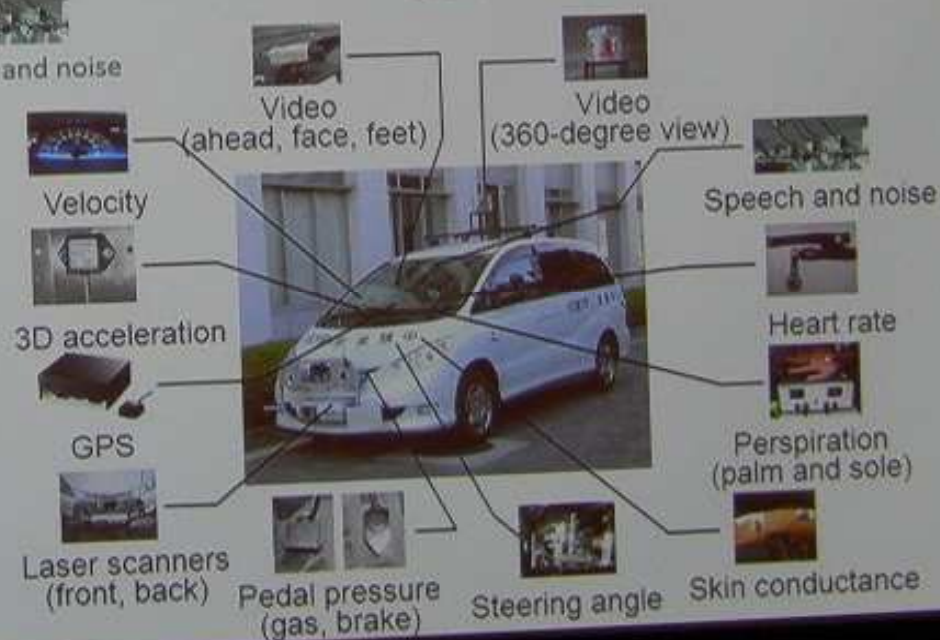
運転行動信号処理(武田研)

- 運転により得られる信号からドライバの個性や運転行動を分析
 - 音響・音声信号処理を運転行動信号処理に応用
 - 連続信号の機械学習に多くの知見
 - 1000人以上の運転データを収集



TOYOTA REGIUS
1999 - 2005 (retired)

TOYOTA Hybrid ESTIMA
2006 -



音声信号処理と運転行動信号処理

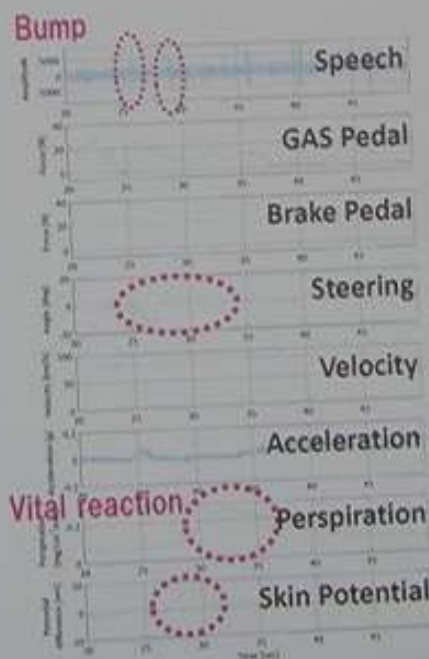
- 運転信号: 可変長の時系列信号
 - 音声・対話等で利用されている可変長・時系列信号処理法が適用可能



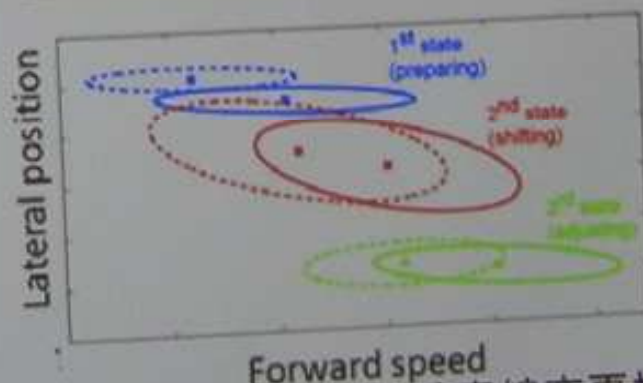
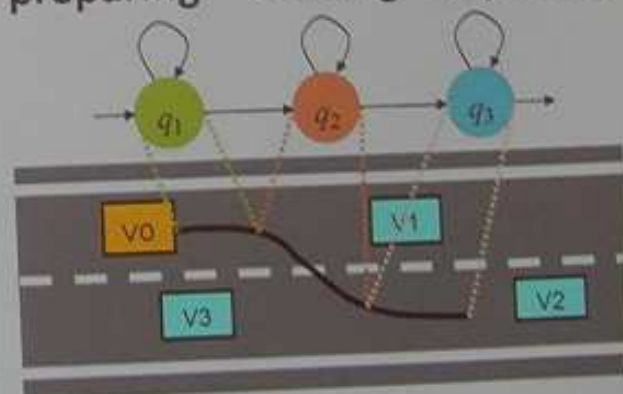
HWY
NO TSK
DRZ
LN 2
POS LN 1
CRV LEFT
LOS AB
CAR FOLLOW

Tags

HWY, NO_TSK, DRZ,
LN *, POS LN *, LOS AB,
LN_ENDS_IN, CAR_FOLLOW,
FACE_POS, HEAD_OTHER



preparing shifting adjusting



隠れマルコフモデルによる車線変更推定

運転データからの運転行動分類

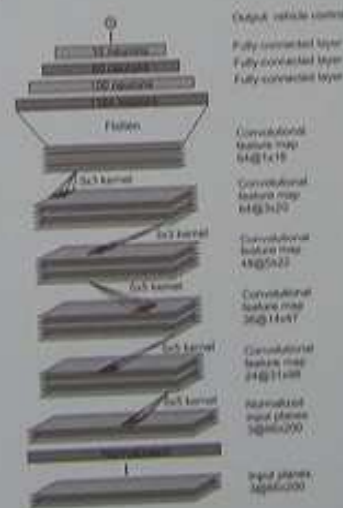
運転データからの運転技能学習

多量の運転データから自動運転技能は獲得できるのか？

- NvidiaのBojarskiらが、運転データを用いたEnd-to-End learning による自動運転を実現
 - CNN(Convolutional Neural Network)を用いて前方カメラの映像からステアリング角を生成
 - 様々な運転状況下の走行データ72時間分で学習し、公道でのレーン内走行を実現



前方映像



CNN

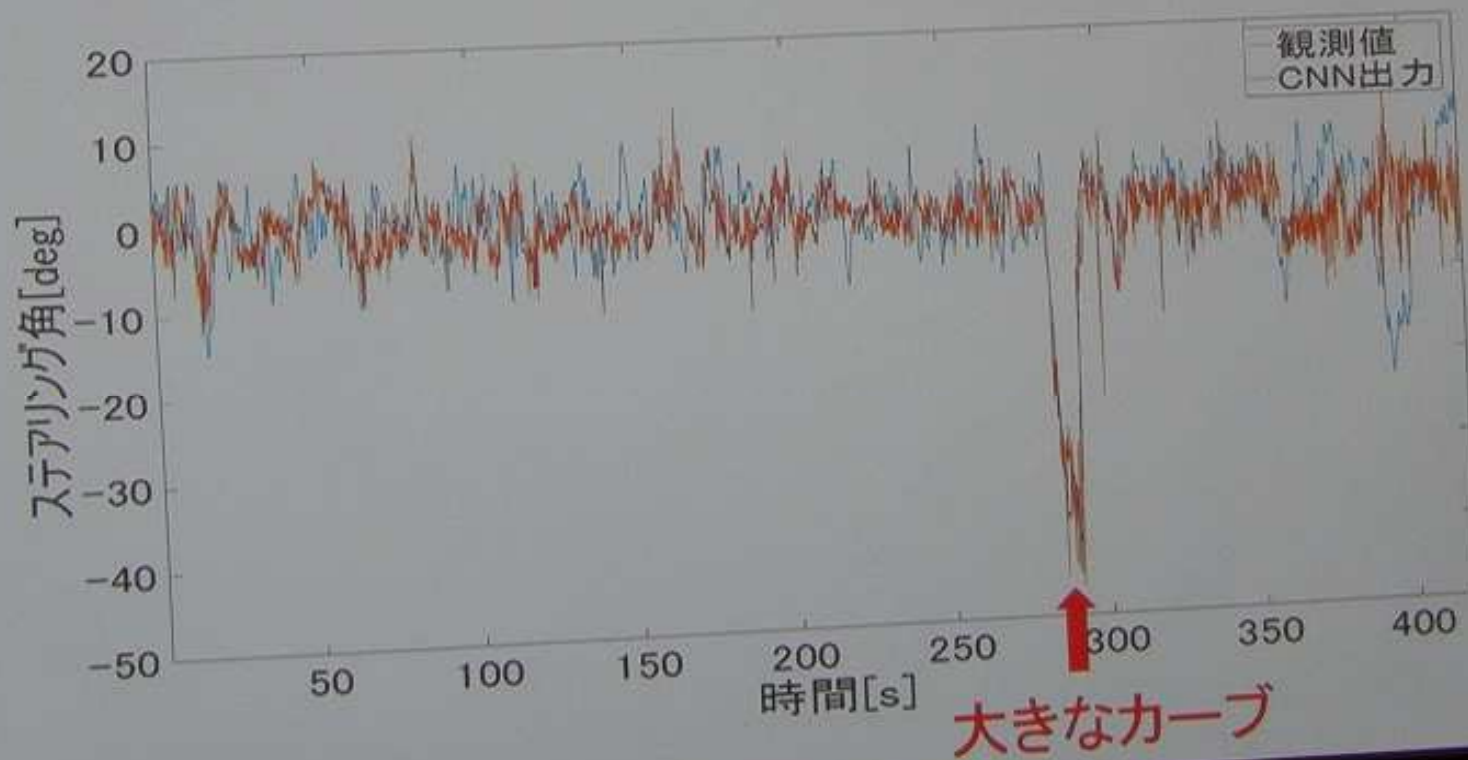


車両制御

[Mariusz Bojarski, et al. "End to End Learning for Self-Driving Cars"]

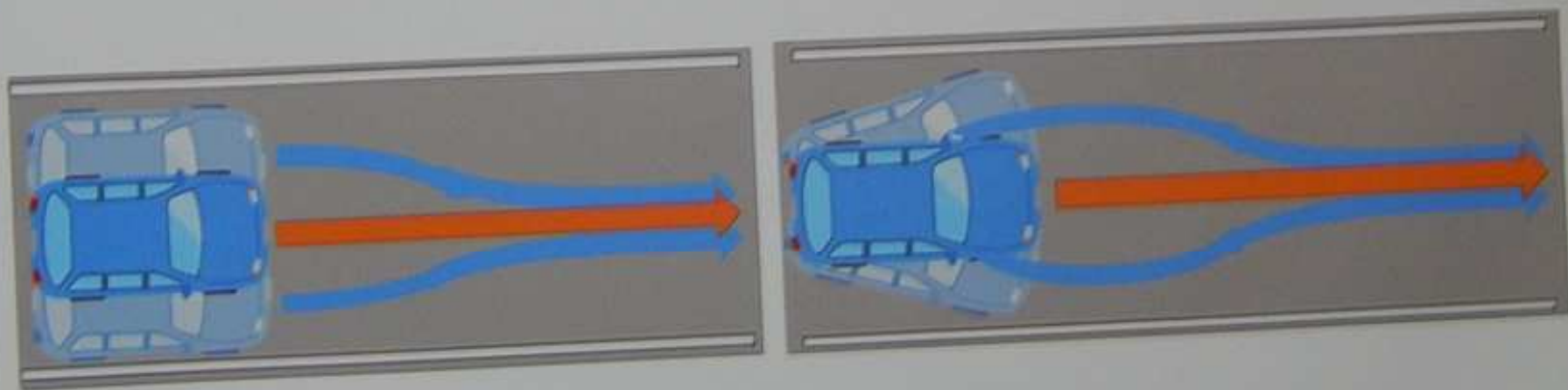
運転データからのステアリング角の生成

- 1つのカメラを使って収集した前方映像からCNNによりステアリング角を生成
 - 大まかな傾向は再現可能(カーブ等)
 - 誤差が制御にどのように影響するのかが明らかなでない



学習データの生成

- 中央と左右に前向きに取り付けた3つのカメラを使用
 - 視線の方向を変化させる視点変換を行い、進行方向や車体
がずれた場合の学習データを生成
 - レーン中心に戻るような教師データを付与し、
学習データを増加

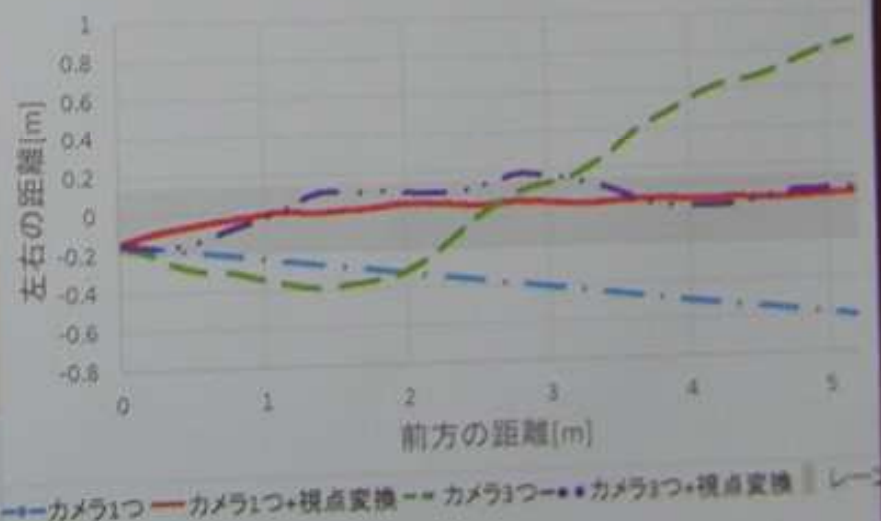
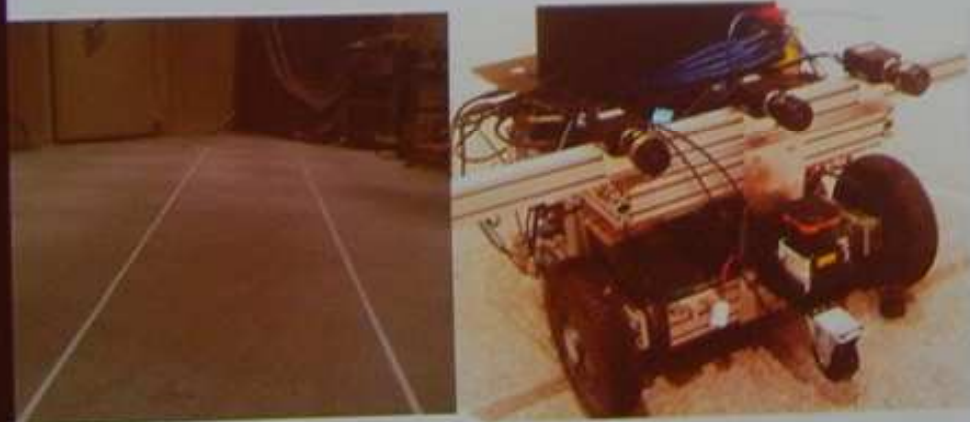


中心のカメラだけでなくずれた位置の画像も利用

[Mariusz Bojarski, et al. "End to End Learning for Self-Driving Cars"]

追実験

- BojarskiらのCNNと同様の構造を用いて前方映像から運転操作を生成
 - 入力: 前方画像 出力: 操舵角
 - ネットワーク: 畳み込み5層+全結合3層
- 移動体を利用し4種類の学習データを用意
 - カメラ1つ+視点変換あり・なし
 - カメラ3つ+視点変換あり・なし
- 学習データを学習したCNNを用いて、直線路における走行軌跡とレーン中心からの誤差を比較



屋外での走行

直進だけでなく、カーブや交差点等でも動作を確認



学習時：直進走行



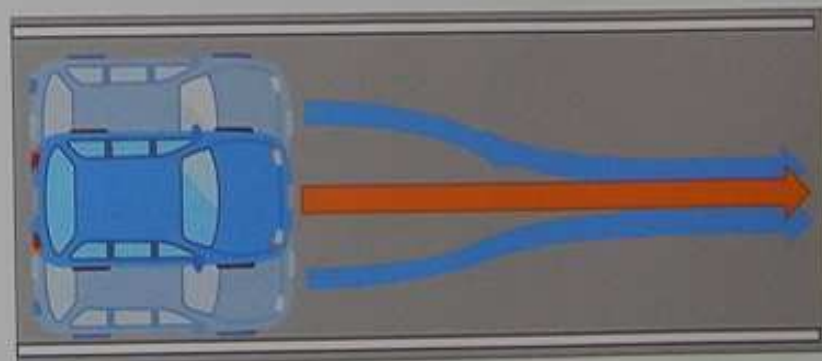
自律走行時：直進走行？

特定の交差点で曲がるよう教示することで、固定地点間のナビゲーションも可能

学習による制御の獲得

- 制御: ずれた状態からどんな出力をすれば戻るのが最適化問題として解く
- 学習時は前方カメラ画像を視点変換し、角度がずれた状態を模擬し、本来の経路に戻る操舵角を学習データに付与

- 正しい状態 → 維持する動作
- ずれた状態 → 戻る動作



- 制御をするためには、通常の運転データだけでなく、ずれた状態と、そこから正しい状態に戻る動作情報のセットが必要

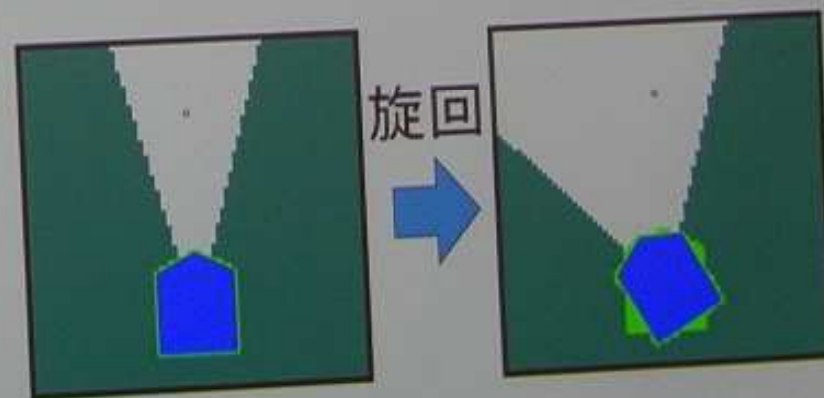
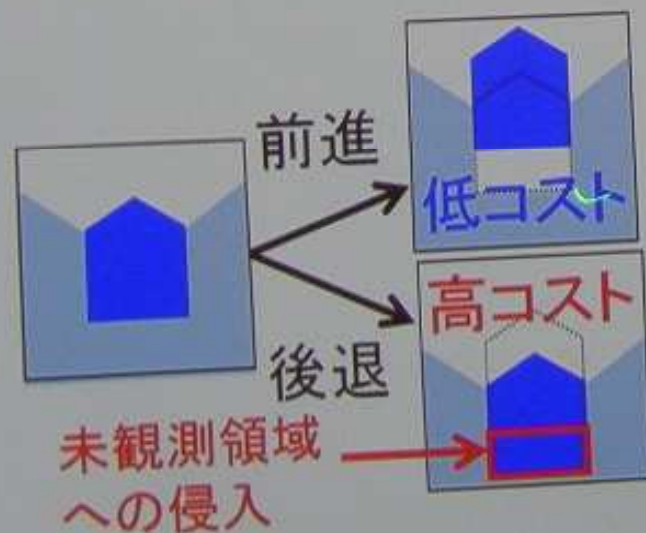
経路計画問題と学習 観測動作計画と環境への適応

行動のためには(その行動を保障する)情報が必要
情報を獲得するためには行動が必要

目的地に移動するための計画と、観測を得るため
の動作計画を同時に解く、動作計画問題

視野を考慮した経路計画

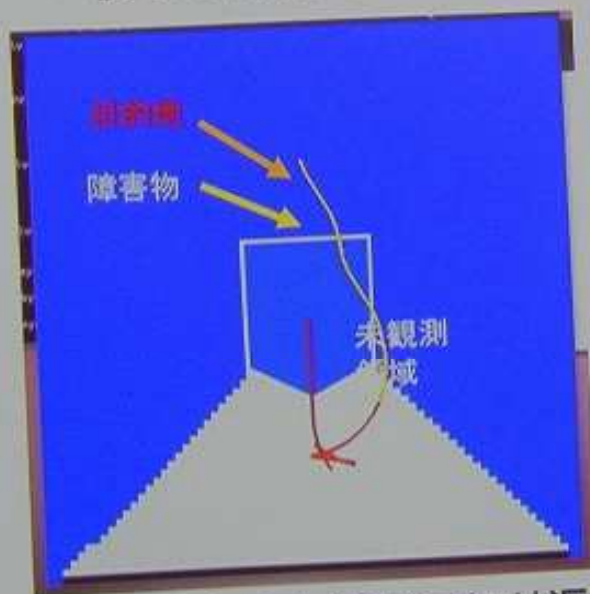
- 行動: 移動
- 観測状態: 占有度グリッドマップ(未知・自由・占有)
- 行動に必要な観測状態
 - 動作でどれだけ未観測領域に侵入するか
- 行動で変化する観測状態
 - どこが可視になるかを予測



視野制限下での経路計画

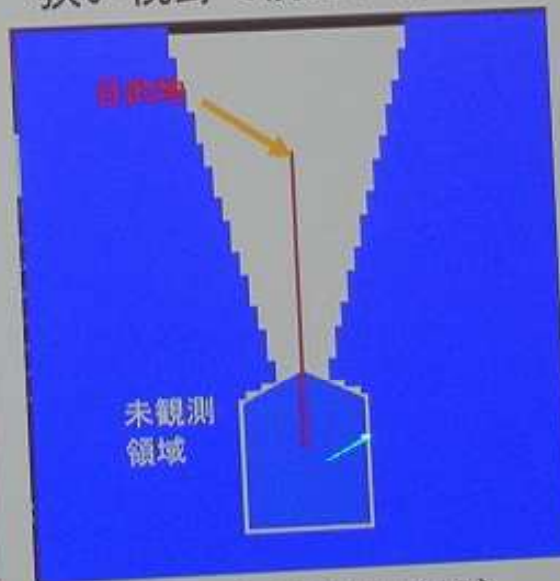
- 経路計画の状態変数に観測状態を付加 (x, y, θ, map)
- 安全を確認してから移動する動作が自然に発生

後ろの目的地への移動



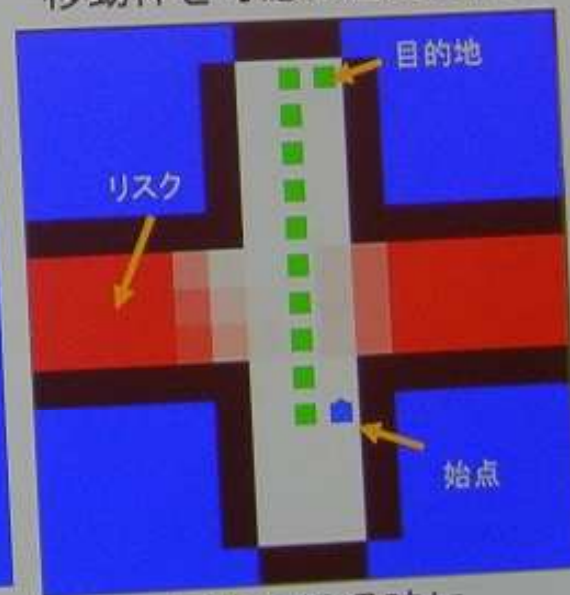
前方の安全な領域で切り返し、
障害物を発見し回避

狭い視野で前方に移動



左右を見る動作が
自然に発生

移動体を考慮し道路を横断



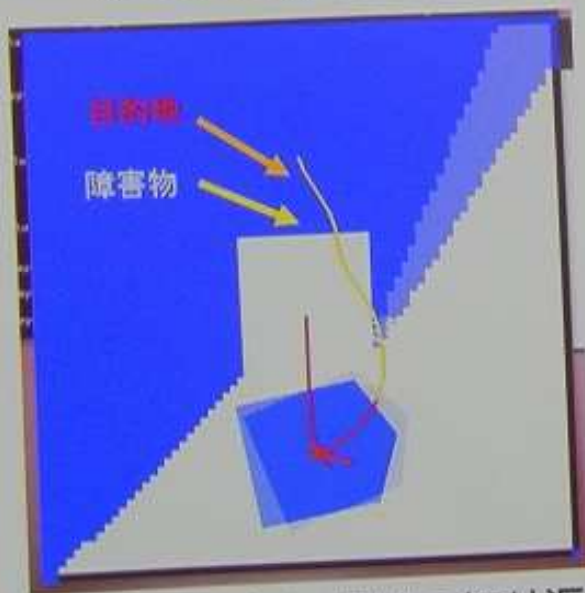
交差点通過時に
左右を確認

観測状態を考慮することで計画のみで動作を生成

視野制限下での経路計画

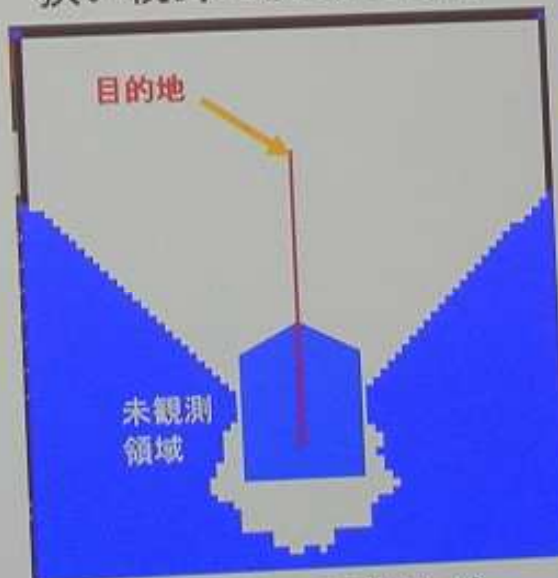
- 経路計画の状態変数に観測状態を付加 (x, y, θ, map)
- 安全を確認してから移動する動作が自然に発生

後ろの目的地への移動



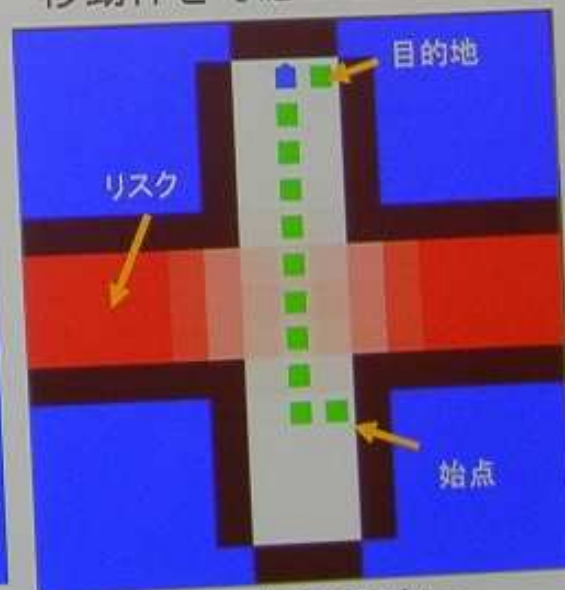
前方の安全な領域で切り返し、
障害物を発見し回避

狭い視野で前方に移動



左右を見る動作が
自然に発生

移動体を考慮し道路を横断



交差点通過時に
左右を確認

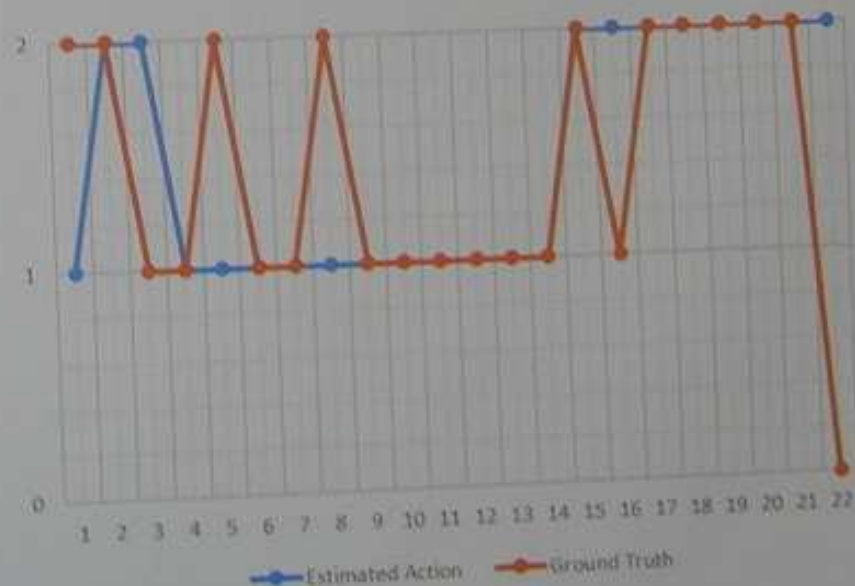
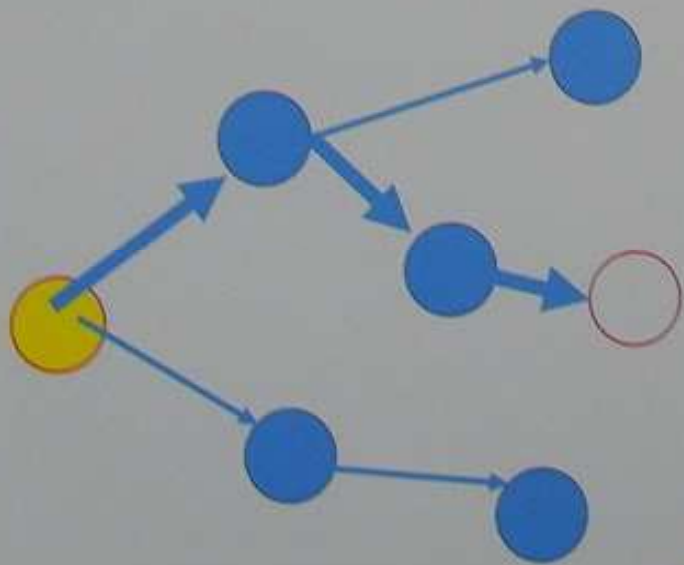
観測状態を考慮することで計画のみで動作を生成

結果から得られた知見

- 動作計画に観測状態を追加するという、シンプルな拡張で左右確認動作等の特徴的な動作を生成
 - 各行動に必要な情報を定義(移動方向が自由空間)
 - 各行動により得られる情報の予測
 - 目的地へ到達する最短コストの経路探索
- 経験的な解法(準最適解)でも良い
 - 予測が完全ではないため最適解は最適ではない
 - 計画に時間をかけるくらいなら動いて情報を得たほうがよい

経路計画問題の深層学習による解法

- 動作計画問題は、評価値が最小となる動作群の組み合わせを求める問題。
 - 最適性の原理から、各状態における最適値を学習すればよい。
 - この状態で、この状態になりたい場合は、この動作をする



A*の結果を学習した例

自律移動機能の学習への置き換え

- 物体認識
 - すでに多くの事例
- 位置推定
 - どの状態にあるかを認識する問題(特定物体認識と類似)
 - Place recognition
- 制御
 - ずれた状態と戻り方の対応付け(Nvidia End-to-End)
 - モデル予測制御の深層学習による高速化
- 経路計画問題
 - 最適性の原理
 - 現在状態と目的状態に対応する解群の圧縮

車の自律化におけるロボティクスと学習

- ・物理・確率モデル等をもとにある種の最適化問題として解いてきたロボティクスは、ある程度の自律移動を実現

- ・自律移動に利用される機能の多くは、学習における最適化問題でも説明可能

画像認識や音声認識のように学習によるロボティクスが性能を超えることも近い？

何が置き換えられ、学習のためにどのようなデータが必要であるかを、両側面から考えていくことが重要