

自動運転バスの操舵制御設計

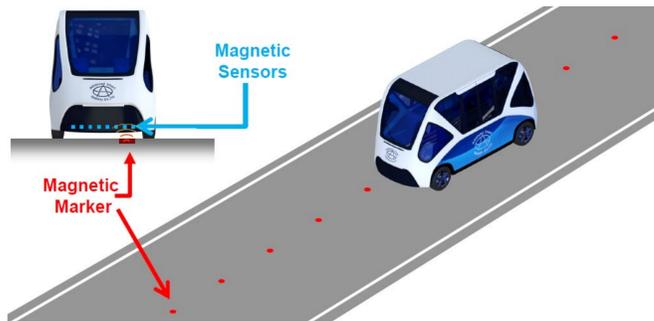
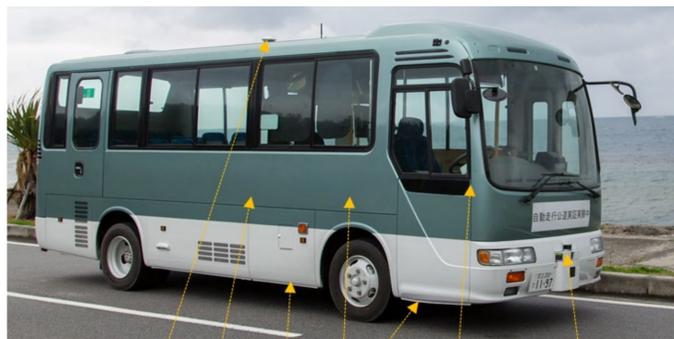
Steering Controller Design of Automated Driving Bus

Partner: Advanced Smart Mobility Co., Ltd. and Aichi Steel Corporation

はじめに Introduction

高齢化や労働者不足が進む先進国において、移動手段の確保を目的とした自動運転バスの開発には大きな期待が寄せられている。しかし、その実現のためには、あらゆる環境に対応できるロバストな自己位置推定、中高速域での車両安定性、センサ故障に備えた冗長性、高齢者や障害者のための正着といった数々の課題が残されている。

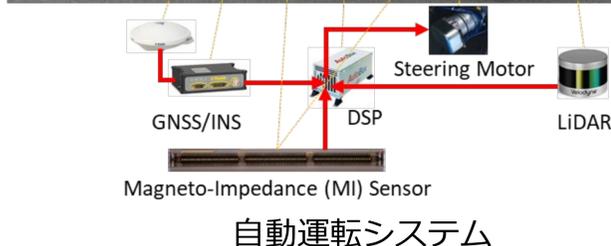
自己位置推定 Localization



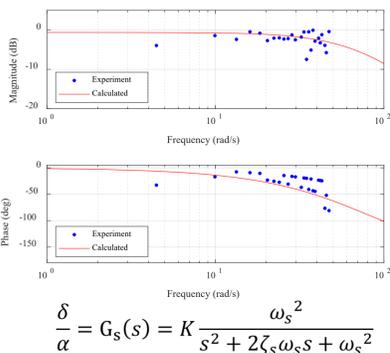
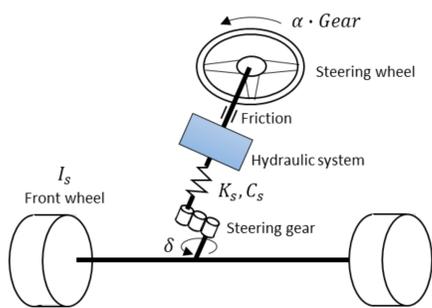
自己位置推定センサ比較

Sensor	Sampling	Accuracy
IMU	Anytime	-
GNSS	10-100 ms	5-15cm
LiDAR	50-200 ms	1-3 cm
MI sensor	On marker	1-3 cm

自己位置推定は、自動運転システムの操舵制御において重要な役割を担う。正確性、ロバスト性、冗長性を考慮して、4種類のセンサを自己位置推定に使用した。



操舵制御 Steering control



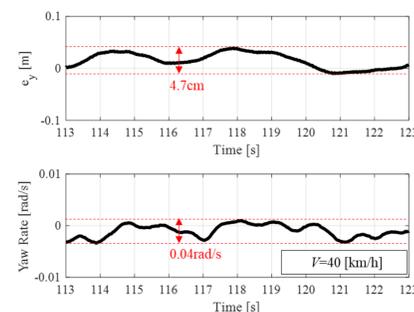
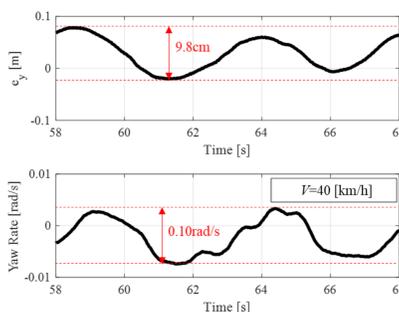
操舵系のモデル化

ハンドル角からタイヤ角までの伝達遅れを測定し、二次遅れ系としてモデル化した。システムの最適な減衰比を得るため、ゲインスケジューリングを含めた6状態量フィードバック制御を提案する。

誤差の定義

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \\ \theta \\ \dot{\theta} \\ \delta \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_1 & -a_2 & -a_3 & b_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -a_4 & -a_5 & -a_6 & b_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_s^2 & -2\zeta_s\omega_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \\ \theta \\ \dot{\theta} \\ \delta \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} + \alpha + \begin{bmatrix} 0 \\ d_1 \\ 0 \\ d_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha = -[K_y \quad K_{\dot{y}} \quad K_{\theta} \quad K_{\dot{\theta}} \quad K_{\delta} \quad K_{\dot{\delta}}][y \quad \dot{y} \quad \theta \quad \dot{\theta} \quad \delta \quad \dot{\delta}]^T$$



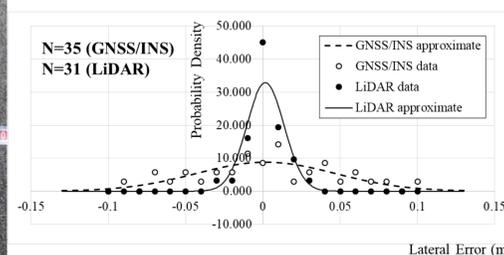
実証実験 Pilot tests



実験条件



正着制御



日本の都市部から郊外までの様々な環境において実証実験を行い、自動運転バスはこれまでに10,000km以上走行している。正着制御においては、1.2cmのばらつきに収めることができた(目標基準は1.25cm)。また、GMPSは雪などの厳しい環境においても高い精度で自己位置推定を行うことができ、ロバスト性が高いことが示された。

Publications

Ando T., Aoki K., and Nakano K., "Design of Steering Controller of Automated Driving Bus," *Proc. International Association of Vehicle System Dynamics (IAVSD)*, Gothenburg, Sweden, Aug. 2019, pp. 1096-1099.

Ando T., Kugimiya W., Hashimoto T., Momiyama F., Aoki K., and Nakano K., "Lateral Control in Precision Docking Using RTK-GNSS/INS and LiDAR for Localization," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2020 (in press).