

GIRAFFE

GYROscopes for Autonomous driving and Flight assistance

Programm / Ausschreibung	, Quantum Austria 1. Ausschreibung (2022)	Status	laufend
Projektstart	01.01.2023	Projektende	31.12.2025
Zeitraum	2023 - 2025	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	Quantum Sensors; Inertial Sensing; Gyroscopes; NV Centers		

Projektbeschreibung

Mit den jüngsten Fortschritten von selbstfahrenden Fahrzeugen steigen die Anforderungen an eine zuverlässige trägheitsbasierte Navigation, unabhängig von externer Satellitenreferenzierung. Ein wesentlicher integraler Bestandteil dieser Systeme sind Gyroskope: Sensoren, die Drehungen und Winkelgeschwindigkeiten um drei orthogonale Achsen erfassen können. Aktuelle massen-produzierte MEMS-basierte Gyroskope, die in Automobilanwendungen verwendet werden, stoßen langsam an ihren inhärenten Grenzen von Drift und Empfindlichkeit und erfüllen daher nicht die Anforderungen an eine Leistung auf Navigationsniveau 1.

Durch den Einsatz von Sensorprinzipien, die sich auf intrinsische Quanteneigenschaften (Spins) fundamentaler Teilchen stützen, kann eine grundlegend bessere Sensorleistung erreicht werden. Das Ziel dieses Projekts ist es, Sensorprinzipien basierend auf der Präzession von Kernspins zu untersuchen und auf einer Festkörperplattform zu realisieren. Die gewählte Plattform besteht aus einem Diamantgitter mit negativ geladenen NV-Zentren und natürlich reichlich vorkommenden stabilen Isotopen wie Kohlenstoff-13 und Stickstoff-14. Bemerkenswerterweise bietet eine solche Plattform ein gut isoliertes Spinsystem mit langen Kohärenzzeiten und optischem Zugang zum Initialisieren und Auslesen der Spinzustände. Erste Realisierungen von Gyroskopen auf der Grundlage von hyperpolarisierten ¹⁴N-Kernspins wurden seit 2019 publiziert und haben sich als vielversprechend für verbesserte Sensorfähigkeiten erwiesen 2-4. Noch sind diese Systeme nicht ausgereift und haben daher noch nicht die Leistungsfähigkeit von Atomgyroskopen erreicht und sind noch nicht in praktischen Anwendungen eingesetzt worden. Dies bietet großen Raum für Verbesserungen sowohl auf grundlegender als auch auf praktischer Ebene der Forschung. Die Ziele des Projekts bestehen hauptsächlich aus zwei Punkten:

- Das erste Ziel besteht darin, die Empfindlichkeit und Drift der Rotationsratenmessung zu verbessern, indem neuartige verbesserte Steuerungs- und Ausleseschemata für Kernspins in einer NV-Zentrum-basierten Plattform entwickelt werden. Unser Ziel hier ist zweierlei: Erstens die Verbesserung der Empfindlichkeit und Drifts bestehender Polarisations-techniken mit Fokus auf ¹⁴N und zweitens die aktuelle Forschung zur Hyperpolarisation von ¹³C-Spins voranzutreiben und neue Quantenprotokolle zu entwickeln, die beispiellose Rotationsempfindlichkeiten und Genauigkeiten ermöglichen würden.
- Das zweite Ziel besteht darin, die Brücke zwischen TRL2-3 und TRL5-6 zu schlagen und so die Technologie aus dem Labor zu den Endbenutzern zu bringen. Zu diesem Zweck ist der Schlüsselaspekt die Miniaturisierung optischer, magnetischer, Hochfrequenz- und elektronischer Subsysteme, die zusammen die Realisierung kompakter und miniaturisierter Gyroskope für die Automobil-, Marine- und Luft- und Raumfahrtsegmente ermöglichen. Das Endziel ist es, die Anwendbarkeit dieser

Sensoren auf den praktischen Anwendungsfall der Automobilnavigation für die autonome Fahrerunterstützung zu demonstrieren.

Wir glauben, dass dieses Projekt langfristig dazu beitragen wird, das in Giraffe entwickelte Sensorsystem weltweit einzigartig zu machen und Österreichs Position in der Landschaft der marktfähigen Quantensensoren deutlich zu stärken sowie die zukünftige Entwicklung von ADAS-Systemen voranzutreiben und zu beschleunigen.

Abstract

With recent advances of autonomous driving vehicles, the demands for reliable inertial based navigation, independent of external satellite referencing are rising. A key integral part of these systems are gyroscopes: sensors capable of detecting rotations and angular velocities around three orthogonal axes. Current mass-produced MEMS based gyroscopes used in automotive applications are reaching their inherent limits of drift and sensitivity and hence do not meet the demand of navigation-grade performance¹.

A new twist to fundamentally better sensing performance can be leveraged by employing sensing principles relying on intrinsic quantum properties (spins) of fundamental particles. The goal of this project is to study sensing principles, based on precession of nuclear spins and realize it in a solid-state platform. The chosen platform comprises of a diamond lattice with negatively charged NV centers and naturally abundant stable isotopes like carbon-13 and nitrogen-14. Remarkably, such a platform provides well isolated spin system with long coherence times and optical access to initialize and readout the spin states. First realization of gyroscopes based on hyperpolarized ¹⁴N nuclear spins have emerged starting from 2019 and have shown promise for improved sensing capabilities²⁻⁴. Still these systems are not mature and have therefore not yet reached the performance of atomic gyroscopes nor have they been utilized in practical applications. This offers large room for improvement at both fundamental and practical levels of research. The goal of the project is mainly twofold:

- The first objective is to improve the sensitivity and drift of rotation rate sensing, by developing novel improved control and readout schemes for nuclear spins in a NV center-based platform. Our target here is twofold: first to improve the sensitivity and drifts of existing polarization techniques focusing on ¹⁴N and second, to advance current research of hyperpolarization of ¹³C spins and to develop new quantum protocols which would allow unprecedented angular rotation rate sensitivities and accuracies.
- A second objective is to establish the bridge between TRL2-3 towards TRL5-6 and thus bring the technology out of the lab to the end-users. To this end, the key aspect is the miniaturization of optical, magnetic, RF and electronic subsystems, which will together allow realization of compact and miniaturized gyroscopes for automotive, naval and aerospace segments. Final objective is to demonstrate the applicability of these sensors in the practical use case of automotive navigation for autonomous driving assistance.

We believe, this project will in the long run help to make the sensor system, developed in Giraffe, unique worldwide and significantly strengthen Austria's position in the landscape of marketable quantum sensors as well as advance and accelerate the future development of ADAS systems.

Projektkoordinator

- Silicon Austria Labs GmbH

Projektpartner

- Beyond Gravity Austria GmbH
- Cosylab JSC, Control System Laboratory

- 4activeSystems GmbH
- Infineon Technologies Austria AG
- Universität Stuttgart
- AVL List GmbH