

Projektarbeit

Entwicklung eines FreeRTOS-basierten Systems zur akustischen Entfernungsmessung im hörbaren Frequenzbereich

An der Fachhochschule Dortmund

im Fachbereich Informatik

Studiengang Technische Informatik

Autor/in

seifeddine Makhlouf

geboren am 20.01.2001

Matrikelnummer: 999999

Betreuung durch: Prof. Dr. Frank Künemund
Dipl.-Ing. Dieter Zumkehr

Version vom: Dortmund, 23. August 2025

Kurzfassung

Diese Arbeit entwickelt und evaluiert ein FreeRTOS-basiertes System zur akustischen Entfernungsmessung zwischen zwei ESP32-S3-Knoten für den *Außenbereich*. Ziel ist eine zuverlässige und kostengünstige Kurzstreckenmessung trotz Wind, Umgebungsräuschen und Mehrwegeeffekten. Zwei identische Knoten mit I²S-MEMS-Mikrofon und Lautsprecher tauschen hörbare Chirps im Ping-Pong-Verfahren aus; ein Funklink synchronisiert Startzeitpunkte und Zeitstempel. Zur Genauigkeitssteigerung kommen eine geeignete Chirp-Charakteristik im oberen Hörbereich, eine temperaturgestützte Schallgeschwindigkeitskorrektur, ein korrelationsbasiertes ToF-Verfahren mit Sub-Sample-Peak-Schätzung sowie eine einmalige Verzögerungskalibrierung zum Einsatz. Jitter wird durch ISR-Zeitstempel, I²S-DMA und kerngebundene, priorisierte FreeRTOS-Tasks reduziert. Feldtests im Freien bestätigen die Eignung hörfrequenzbasierter Audio-ToF-Messungen und bilden die Grundlage für robustere Mehrknotensysteme.

Abstract

This work develops and evaluates a FreeRTOS-based system for acoustic ranging between two ESP32-S3 nodes for *outdoor* use. The goal is reliable, low-cost short-range measurements despite wind, ambient noise, and multipath. Two identical nodes equipped with an I²S MEMS microphone and a loudspeaker exchange audible chirps in a ping-pong scheme; a radio link synchronizes start times and timestamps. To improve accuracy, the design employs a suitable chirp in the upper audible band, temperature-based speed-of-sound correction (on-board sensor), cross-correlation with sub-sample peak estimation, and a one-time delay calibration. Jitter is reduced through ISR-level timestamping, I²S DMA, and core-pinned, prioritized FreeRTOS tasks. Outdoor field tests confirm the suitability of audible-band audio ToF and provide a basis for more robust multi-node systems.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
Abstract	III
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	4
2.1 Begriffe und Definitionen	4
2.2 Stand der Technik	6
2.3 Relevante theoretische Konzepte	8
3 Vorbereitung	10
3.1 Anforderungsanalyse	10
3.2 Technische Rahmenbedingungen	12
3.3 Projektplanung	14
4 Umsetzung	16
4.1 Systemarchitektur	16
4.2 Implementierungsdetails	18
4.3 Herausforderungen und Lösungsansätze	20
5 Evaluation	22

5.1 Testumgebung und Methodik	22
5.2 Ergebnisse	24
5.3 Diskussion	26
6 Zusammenfassung und Ausblick	28
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Quellcodeverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Literaturverzeichnis	I
Anhang	VI

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Quellcodeverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

API Application Programming Interface

CPU Central Processing Unit

1 Einleitung

Führen Sie in das Thema ein, motivieren Sie die Arbeit und formulieren Sie die Ziele. Skizzieren Sie den Aufbau des Dokuments. Dieser Text dient als Platzhalter und sollte vollständig durch Ihre eigene Einleitung ersetzt werden.

2 Grundlagen

Beschreiben Sie die theoretischen und technischen Grundlagen, die zum Verständnis der Arbeit erforderlich sind. Fügen Sie bei Bedarf weitere Unterabschnitte ein.

2.1 Begriffe und Definitionen

Erklären Sie hier wichtige Begriffe, Modelle und Methoden, die im weiteren Verlauf benötigt werden.

3 Vorbereitung

Beschreiben Sie hier die Vorarbeiten, Annahmen, Anforderungen und den Projektkontext. Listen Sie relevante Werkzeuge, Datenquellen und Rahmenbedingungen auf. Dieser Platzhaltertext sollte durch Ihre eigenen Inhalte ersetzt werden.

4 Umsetzung

Beschreiben Sie die Implementierungsschritte, Architektur, Schnittstellen und wesentliche Designentscheidungen. Referenzieren Sie Abbildungen, Tabellen und Codeauschnitte nach Bedarf.

5 Evaluation

Beschreiben Sie den Evaluationsaufbau, die Metriken und die Auswertung der Ergebnisse. Fügen Sie ggf. Abbildungen und Tabellen hinzu.

6 Zusammenfassung

Fassen Sie die Arbeit kurz zusammen, nennen Sie die wichtigsten Beiträge und Ergebnisse und skizzieren Sie mögliche zukünftige Arbeiten. Ersetzen Sie diesen Platzhalter durch Ihre eigene Zusammenfassung.

Literaturverzeichnis