

EMBEDDED WORLD 2024 -

Bonus-Ausgabe!

ESP32-CAM-Programmer

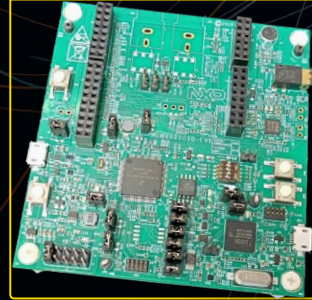
Preiswertes Tool für die Programmierung

ESP32-CAM



Bonus-Ausgabe
embeddedworld
Exhibition&Conference

MIMXRT1010-EVK



NXP i.MX RT1010 Evaluation Kit
Perfekt geeignet für Audio-Anwendungen

Ein intelligenter Objektzähler

Bildererkennung leicht gemacht mit Edge Impulse

buttons

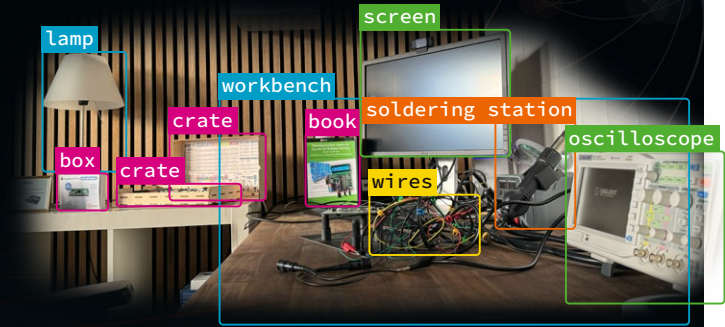


Bonus-Artikel für Profis, Maker und Studenten!

book



Audio-DSP mit dem NXP MIMXRT1010 Development Kit
Eine Einführung in die ARM Cortex M7 basierte Klangverarbeitung



nominees



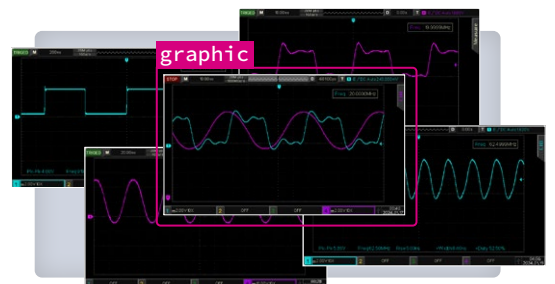
STM32 Wireless Innovation Design Contest
Die nominierten Projekte

S. 4



embedded world Exhibition&Conference
Fragen und Antworten

S. 23



graphic

Benchmark-Test mit Rechteckwellen
Ein Vergleich zwischen ESP32, Pico und anderen Mikrocontrollern

S. 54

Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!



Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv (1970-heute)!
- ✓ 8x Elektor Magazin (gedruckt)
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



Auch erhältlich

Die digitale
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



www.elektormagazine.de/abo



C. J. Abate
Content Director, Elektor

Im Fokus: Embedded und KI

Passend zur März/April-Ausgabe von Elektor und zur Fachmesse embedded world 2024, die vom 9. bis 11. April in Nürnberg stattfindet, haben wir diese digitale Bonus-Ausgabe zusammengestellt. Für alle Messebesucher wird es eine extradicke gedruckte Ausgabe von Elektor geben. Vergessen Sie nicht, sich ein Exemplar zu besorgen und dann am Elektor-Stand (Halle 5, Stand 5-181) vorbeizuschauen, wo viele unserer Ingenieure und Redakteure für die Dauer der Veranstaltung arbeiten werden! Sind Sie neugierig, was in dieser Bonusausgabe Ihres Lieblingsmagazins steht? Wir setzen unser März/April-Thema fort: eingebettete Systeme und künstliche Intelligenz. Das Magazin enthält eine Vielzahl von Artikeln: ein ESP32-CAM-Programmierprojekt, eine Einführung in die Arm Cortex-M7-basierte Soundverarbeitung, einen Testbericht über ein Kit für Audioanwendungen und Motorsteuerung sowie Einblicke in Embedded Systems und KI von Vordenkern aus der Branche, darunter Prof. Dr. Sebastian Steinhorst von der Technischen Universität München.

Nach der Lektüre dieser Bonusausgabe möchte ich Sie ermutigen, sich an den Labortisch zu setzen und sich in neue eigene Projekte zu stürzen. Teilen Sie Ihre Fortschritte auf www.elektormagazine.de/labs teilen. Wenn Sie die embedded world 2024 besuchen, kommen Sie auch am Elektor-Stand vorbei, um mit unseren Ingenieuren zu sprechen. Wir freuen uns darauf, mehr über Ihre Innovationen zu erfahren.

INHALT

- 3 Impressum
- 4 STM32 Wireless Innovation Design Contest: Die Nominierten
- 6 NXP i.MX RT1010 Evaluation Kit
- 10 Open Source und seine Bedeutung für die Elektronikindustrie
- 14 Audio-DSP mit dem NXP MIMXRT1010 Development Kit
- 20 Ethernet-Vernetzung
- 23 embedded world Exhibition&Conference
- 26 Hochwertige Signalanalyse auf jedem Labortisch
- 28 Powerline Communication für die Elektromobilität
- 30 Profilkühlkörper
- 32 ESP32-CAM-Programmer
- 36 Entwicklerboards im industriellen Einsatz
- 38 Sunnyway – Die Antennenspezialisten
- 40 Vorteile von GaN und SiC in der Industrieelektronik
- 42 Ein intelligenter Objektzähler
- 48 Infografik: Embedded und KI
- 52 Die Zukunft der Embedded-Systeme
- 54 Benchmark-Test mit Rechteckwellen

Die Ausgabe März/April 2024 von Elektor ist am Kiosk und im Elektor Store erhältlich. Auch können Sie sich das extradicke Exemplar auf der embedded world Exhibition & Conference 2024 in Nürnberg (9.-11. April) sichern.



Unser Team

Chefredakteur: Jens Nickel (v.i.S.d.P.) | **Redaktion:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Ouafae Hassani, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristam Williams | **Regelmäßige Autoren:** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Grafik & Layout:** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Herausgeber:** Erik Jansen | **Technische Fragen:** redaktion@elektor.de

IMPRESSUM

embedded world 2024 Bonus-Ausgabe
April 2024
ISSN 0932-5468

Das Elektor Magazin wird 8 Mal im Jahr herausgegeben von
Elektor Verlag GmbH
Lukasstraße 1, 52070 Aachen (Deutschland)
Tel. +49 (0)241 95509190
www.elektor.de | www.elektormagazine.de

Für alle Ihre Fragen
service@elektor.de

Mitglied werden
www.elektormagazine.de/abo

Anzeigen

Büsrä Kas
Tel. +49 (0)241 95509178
busra.kas@elektor.com
www.elektormagazine.de/mediadaten

Urheberrecht

© Elektor International Media b.v. 2024

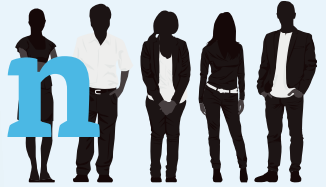
Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent-

oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Feilhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlages und ggf. des Schutzrechtsinhabers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warenzeichengemäß benutzt werden dürfen. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sende- und Empfangseinrichtungen und der elektrischen Sicherheit sind unbedingt zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Aufsätze und sonstigen Beiträge ist ausgeschlossen.



STM32 Wireless Innovation Design Contest:

Die Nominierten



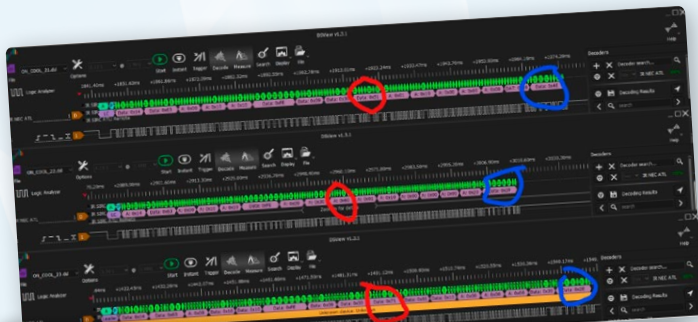
Von der Elektor-Redaktion

Die Jury hat nach stundenlangem Studium aller im STM32 Wireless Innovation Design Contest eingereichten innovativen Projekte, fünf herausragende Projekte nominiert. Diese Projekte stehen beispielhaft für technische Exzellenz, Funktionalität und Kreativität. Herzlichen Glückwunsch an alle Nominierten!

Beim *STM32 Wireless Innovation Design Contest 2024* gibt es insgesamt 5.000 € an Geldpreisen zu gewinnen. Deshalb haben Innovatoren aus der ganzen Welt in den letzten Monaten hart an STM32-Lösungen gearbeitet, um verschiedene kreative draht-

lose Anwendungen zu entwickeln. Am Ende wurden 26 Projekte eingereicht. Das Anwendungsspektrum hat uns dabei ebenso positiv überrascht wie die die technische Qualität. Darüber hinaus wurde die überwiegende Mehrheit der Projekte professionell

dokumentiert. Hut ab! Für die sechsköpfige Jury (STMicroelectronics, Elektor) war es nicht einfach, aus den vielen guten Projekten die besten fünf zu nominieren. Im Folgenden stellen wir Ihnen die nominierten Projekte vor.

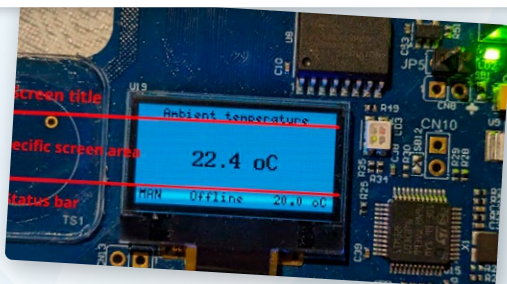


Demokratische IR-Klimaanlage mit Fernbedienung

Eingereicht von tdo

Das Projekt stellt eine innovative Lösung für das kollektive Management von Klimaanlagentemperaturen in gemeinsam genutzten Arbeitsbereichen vor. Mit der STM32WB5MM-DK-Platine in Verbindung mit einer Klimaanlage von Atlantic Fujitsu können die Mitarbeiter über eine Smartphone-App demokratisch über ihre bevorzugte Temperatur abstimmen. Das System arbeitet in zwei Modi: Manuell für direkte Übersteuerungen wie bei einer herkömmlichen Fernbedienung und BLE für Smartphone-basierte Abstimmungen, die sich automatisch an die bevorzugte Temperatur der Mehrheit anpassen.

www.elektormagazine.de/STM32Contest/AC

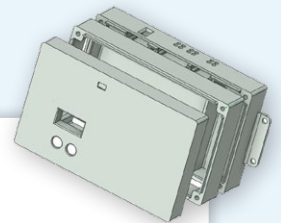


ZigBee-Umweltmesszentrum für Pflanzen

Eingereicht von Alain Romaszewski

Dieses Projekt zielt darauf ab, die Pflege von Zimmerpflanzen oder Gewächshausumgebungen zu revolutionieren. Es integriert eine Reihe von Sensoren zur Überwachung von Bedingungen wie Bodenfeuchtigkeit, Temperatur, CO₂-Gehalt, Luftqualität und Licht und ermöglicht gleichzeitig eine automatisierte Bewässerung und Beleuchtung auf der Grundlage dieser Umgebungsmessungen. In diesem Projekt wird das STM32WB5MM-DK-Kit verwendet, um sich über Zigbee mit einem MQTT-Server zu verbinden, der die Datenverarbeitung und -automatisierung über Node-RED mit einer Webschnittstelle ermöglicht. Ein kundenspezifisches 3D-gedrucktes Gehäuse und ein Hardware-Setup, das verschiedene Sensoren und Aktoren für ein umfassendes Pflanzenpflegemanagement unterstützt, sind Teil des innovativen Designs.

www.elektormagazine.de/STM32Contest/plants



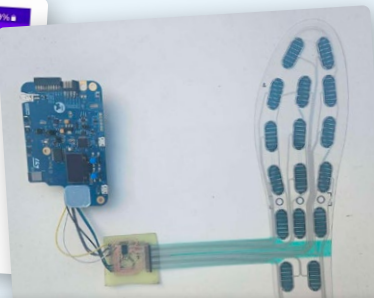
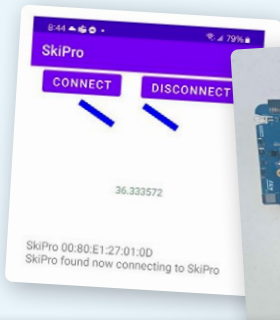


Der Stromzähler, auf den es ankommt

Eingereicht von BDeliers

Im Rahmen dieses Projekts werden herkömmliche Stromzähler, insbesondere die in Frankreich verwendeten Linky-Zähler, in intelligente Geräte umgewandelt, die sich über das Matter-Over-Thread-Protokoll in moderne Smart-Home-Ökosysteme integrieren lassen. Mit dem STM32WB5MM-DK erfasst das Projekt Echtzeitdaten zum Stromverbrauch, einschließlich Strom, Spannung und Gesamtenergieverbrauch und überträgt diese Informationen drahtlos an das Smartphone eines Benutzers. Eine eigens erstellte Platine ist mit dem Stromzähler verbunden, um Daten zu sammeln, die dann vom Mikrocontroller verarbeitet und über das Smart-Home-Netzwerk ausgetauscht werden. Die umfassende Dokumentation des Projekts, einschließlich Schaltplan und Quellcode, ist auf GitHub verfügbar.

www.elektormagazine.de/STM32Contest/meter



BLE Ski- und Snowboard-Leistungsbewertung

Eingereicht von Vir

In diesem Projekt wird das STM32WB5MM Discovery Kit verwendet, um Kantenwinkel und Druckverteilung für Skifahrer und Snowboarder in Echtzeit zu analysieren. Diese Technologie zielt darauf ab, den Anwendern zu helfen, ihre Techniken zu verbessern, indem sie Einblicke in wichtige Leistungskennzahlen bietet, einschließlich der Möglichkeit, höhere Kantenwinkel für besseres Carven zu erreichen und die Fußdruckverteilung zu verstehen, um die Gesamtleistung zu verbessern. Das System enthält eine mobile App zur Visualisierung von Daten, was es zu einem wertvollen Werkzeug für Sportler macht, die ihre Fähigkeiten auf der Piste verfeinern möchten.

www.elektormagazine.de/STM32Contest/ski

Open-Source-Multi-funktions-Variometer für Gleitschirmflieger

Eingereicht von CJZ

Dieses Projekt bietet ein Variometer für Gleitschirm- und Drachenschilder. Es verfügt über GNSS-Positionierung, Beschleunigungsdaten, Temperaturmessung und umfangreiche Flugdatenaufzeichnung, die alle auf dem STM32WB5MM-DK basieren. Das Hardware-Design ist kompakt und robust und ideal für alle Flugbedingungen. Die Software des Geräts, die in C++ entwickelt wurde, ist Open-Source und verwendet effektive Bibliotheken, um eine optimale Funktionalität zu gewährleisten.

www.elektormagazine.de/STM32Contest/variometer



Bekanntgabe der Gewinner: 10. April 2024

Die Jurymitglieder von STMicroelectronics und Elektor werden nun erneut die fünf nominierten Projekte sichten und dann die drei besten für die Preise auswählen. Die offizielle Bekanntgabe findet am Mittwoch, den 10. April 2024, um 17:00 Uhr auf dem ST-Stand (Halle 4A-148) während der *embedded world Exhibition&Conference* in Nürnberg statt. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer, insbesondere die fünf Nominierten, sind herzlich zur Preisverleihung eingeladen. Während der Verleihung werden wir noch einmal auf den Wettbewerb zurückblicken. Wir hoffen, von den Gewinnern zu hören, wie ihre Projekte entstanden sind. Mit dem Code **ew24ELE** können Sie auf der Website der *embedded world* eine kostenlose Eintrittskarte bestellen. Für diejenigen, die nicht persönlich an der *embedded world* teilnehmen können, werden die Gewinner am 12. April ebenfalls auf der Wettbewerb-Internetseite und in verschiedenen Elektor-Newslettern bekannt gegeben.

STM32 Wireless Innovation Design Contest: Details und Preise

Der Wettbewerb forderte die Teilnehmer auf, ihre technische Kreativität und ihre Designfähigkeiten unter Beweis zu stellen, indem sie innovative drahtlose Anwendungen mit STM32-Lösungen von STMicroelectronics entwickelten. Die Jury bewertet die Einreichungen anhand der folgenden Kriterien: Kreativität und Innovation, technische Exzellenz, Funktionalität und Praktikabilität, Ästhetik und Benutzererfahrung, Dokumentation und Präsentation.

Die Jury wählt drei Preisträger aus:

- > 1. Preis: **2.500 €**
- > 2. Preis: **1.500 €**
- > 3. Preis: **1.000 €**



Wir wünschen allen Nominierten viel Glück! ◀

240149-02

STM32 Wireless Innovation

CONTEST

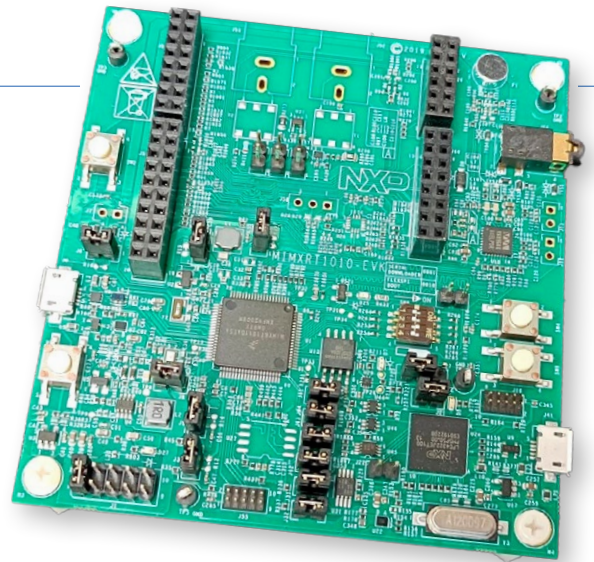
www.elektormagazine.com/st-contest



NXP

i.MX RT1010 Evaluation Kit

Perfekt geeignet für Audio-Anwendungen und Motorsteuerungen



Von Clemens Valens (Elektor)

Das Evaluation Kit MIMXRT1010 (EVK) basiert auf dem Mikrocontroller i.MX RT1010 (MCU) von NXP. Diese MCU ist Teil der Crossover-Familie i.MX RT, die mit leistungsstarken Arm Cortex-M-Kernen ausgestattet ist. Zwar sind die meisten Mitglieder dieser Familie für Echtzeit-Ethernet-Protokolle in industriellen IoT- und Automotive-Anwendungen optimiert; beim RT1010 ist dies nicht der Fall.

Das Evaluation Kit MIMXRT1010-EVK basiert auf dem Mikrocontroller i.MX RT1010 (MCU) von NXP [1]. Diese MCU ist Teil der Crossover-Familie i.MX RT, die mit leistungsstarken Arm Cortex-M-Kernen ausgestattet ist (einige haben sogar zwei). Die meisten Mitglieder dieser Familie sind für Echtzeit-Ethernet-Protokolle in industriellen IoT- und Automobilanwendungen optimiert, aber der RT1010, einer der kleineren Bausteine der Familie, ist eher für universelle Anwendungen geeignet.

Im Inneren der MCU

Der i.MX RT1010 basiert auf einem Arm Cortex-M7-Kern, der mit einer Geschwindigkeit von bis zu 400 MHz arbeitet. Bei leistungsfähigeren Mitgliedern der Familie kommt noch ein Arm Cortex-M4-Core hinzu. Der Prozessor verfügt über 128 KB On-Chip-RAM, das als Tightly Coupled Memory (TCM) oder Allzweck-RAM konfiguriert werden kann. Der SoC verfügt über ein Power-Management-Modul, was die

Stromversorgung des Geräts erheblich vereinfacht. Selbstverständlich gibt es eine Reihe von Schnittstellen, darunter UART, SPI, I²C, I²S und USB. Auch ein ADC und ein Temperatursensor sind vorhanden.

Audio-Anwendungen

Der i.MX RT1010 ist ein universeller Mikrocontroller mit einer leichten Spezialisierung auf Audioanwendungen. Er verfügt über umfangreiche Audiofunktionen, einschließlich SPDIF- und I²S-Audioschnittstellen. Das Entwicklungskit mit der MCU verdeutlicht dies durch die Integration eines Audio-Stereo-Codescs WM8960 von Wolfson, einer Kopfhörerbuchse, Lautsprecheranschlüssen, einem On-Board-Kondensatormikrofon und (unbestückten) Footprints für SPDIF-Buchsen.

Weitere Anwendungen

Neben Audioanwendungen ist der i.MX RT1010 auch sehr gut für Motorsteuerungen geeignet. Hierfür verfügt das EVK über Anschlüsse für PWM-Signale, die vom eFlexPWM-Modul der MCU erzeugt werden, sowie über Analogeingänge zur Messung von Strömen und Spannungen. Der MIMXRT1010-EVK wird auch vom Zephyr RTOS [2] unterstützt.

Weitere Peripherie auf dem EVK

Wie bei Evaluierungskits üblich, ist noch einiges mehr enthalten, um die Anwendungsentwicklung zu erleichtern. Das MIMXRT1010-EVK ist da keine Ausnahme. Neben der bereits erwähnten Audio- und Motorsteuerungsperipherie verfügt das Board auch über einen 128-Mbit-QSPI-Flash-Speicher (für Programm- und Datenspeicherung, da die MCU keinen hat), einen 4-Mbit-LPSPI-Flash-Speicher, USB OTG, eine Benutzertaste und LED sowie einen 6-Achsen-Be-

wegungssensor mit 3-Achsen-Beschleunigungsmesser und 3-Achsen-Magnetometer.

Arduino Shields werden unterstützt!

Buchsenleisten im Arduino-UNO-Stil zur Erweiterung sind ebenfalls verfügbar, allerdings in einer besonderen Form, da sie aus zweireihigen statt aus einreihigen Leisten bestehen. Die inneren Reihen sind mit Arduino-Shields kompatibel, während einige der äußeren Reihen Zugriff auf die Motorsteuerschnittstelle bieten.

Debugging leicht gemacht

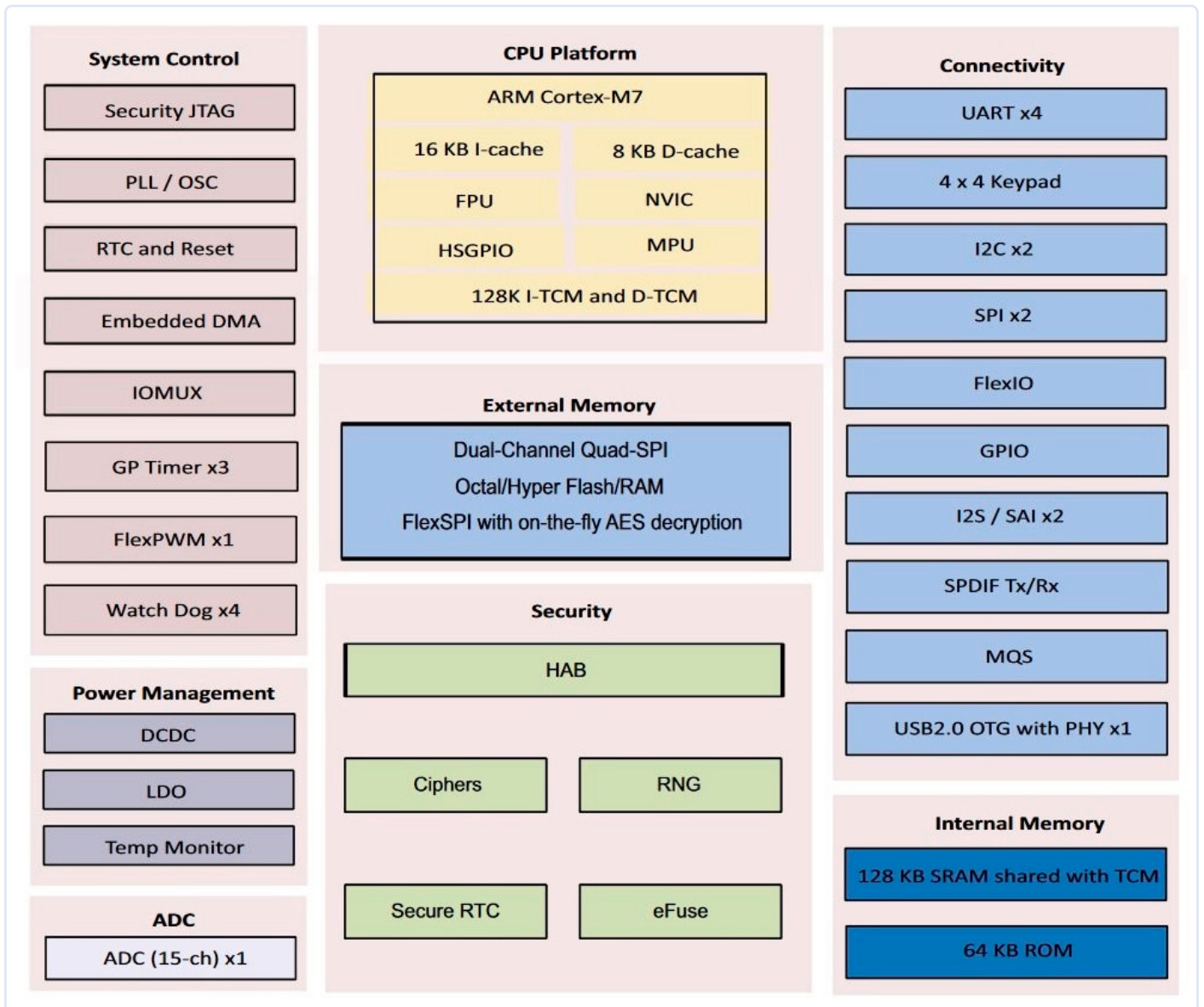
Um die Anwendungsentwicklung zu erleichtern, verfügt das EVK über eine eingebaute Debug-Unterstützung. Neben einem JTAG-Header gibt es auch

eine Freelinek-Schnittstelle (ein Erbe von Freescale) mit einem USB-Anschluss, über den das Board auch mit Strom versorgt wird. Diese Schnittstelle wird von MCUXpresso unterstützt, der auf Eclipse basierenden integrierten Softwareentwicklungsplattform von NXP.

MCUXpresso und Anwendungsbeispiele

Damit kommen wir zur Softwareentwicklung. Wie bereits erwähnt, ist MCUXpresso der einfachste und preiswerteste (da kostenlose) Weg, um mit dem MIMXRT1010-EVK zu entwickeln. Es wird mit einem umfangreichen SDK geliefert, das viele Beispiele für fast alle auf der MCU und dem EVK verfügbaren Peripherieeinheiten enthält. Sie müssen dazu nur das für Sie interessante Beispiel importieren, kompilieren und auf das Board laden.

Bild 1. Block-Diagramm des Mikrocontrollers i.MX RT1010. (Quelle: NXP)



Viele Beispiele gibt es in drei Versionen: *bm*, *lite_bm* und *freertos*. „*bm*“ steht für bare metal (das heißt, ohne ein Betriebssystem wie FreeRTOS). Die *lite*-Beispiele sind Bare-Metal-Beispiele, aber mit einem minimalen USB-Stack. Die komplexeren Beispiele kommen mit etwas Dokumentation, aber tief versteckt in einem Unterordner mit dem Namen der Karte (*evkmimxrt1010*), der auch eine vorkompilierte ausführbare Datei enthält.

Ich habe ein paar Beispiele ausprobiert, und sie haben alle problemlos funktioniert. Nach dem Hochladen kann man den Code sofort ausführen oder debuggen, indem man ihn schrittweise durchläuft oder Haltepunkte setzt.

Eine unerwartete Demonstration

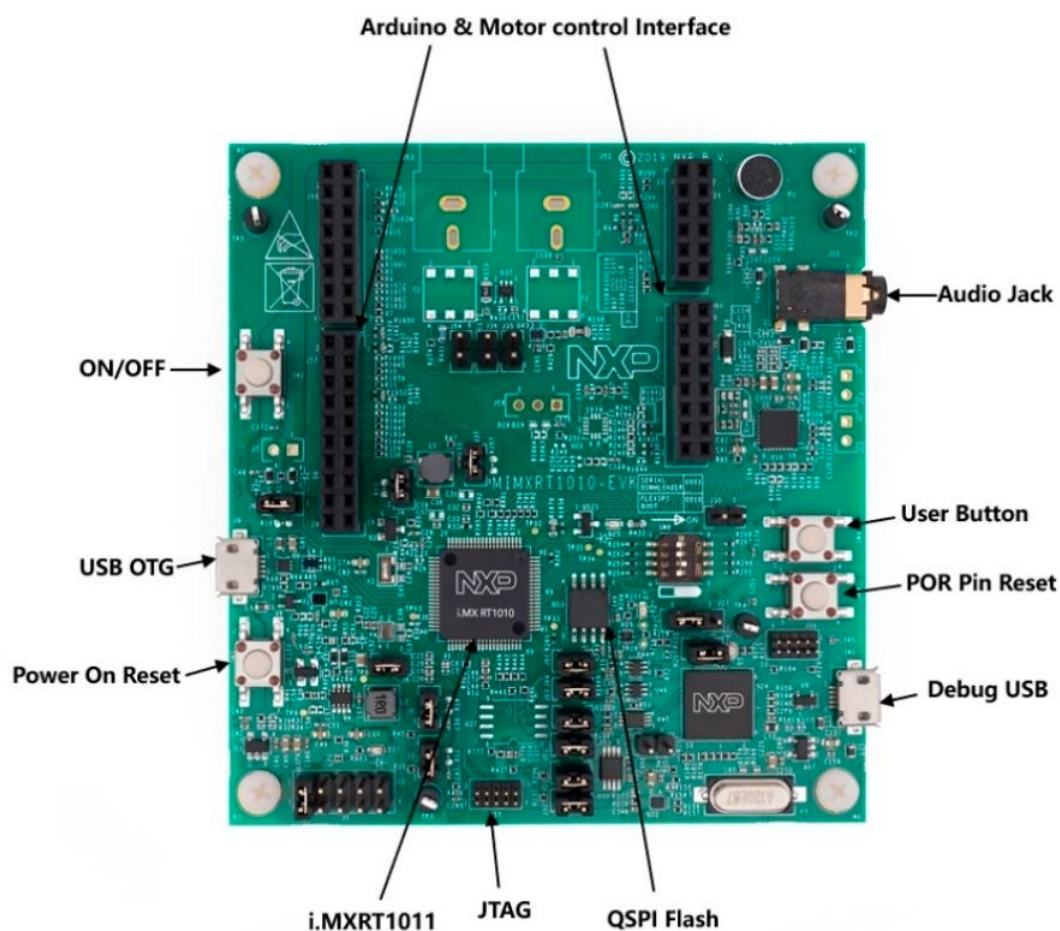
Ein interessantes Beispiel, das ich ausprobiert habe, ist *evkmimxrt1010_dev_audio_generator_bm*, das ein USB-Audiowiedergabegerät emuliert. Nach dem Kompilieren und Hochladen des Codes entdeckt

Windows ein Gerät namens *USB AUDIO DEMO*, dem man zuhören kann. Anstatt jedoch schöne Musik zu spielen, schreit die Demo: „Out! Out! Out! Out! ...“. Natürlich werden das EVK und der Prozessor i.MX RT1010 auch von den etablierten Toolchain-Herstellern unterstützt.

Dokumentation?

Da der Einstieg in einen neuen Prozessor immer etwas abschreckend ist, vor allem, wenn er mit vielen komplexen Peripheriegeräten ausgestattet ist, ist eine gute Dokumentation wichtig. Dies ist leider der Schwachpunkt des MIMXRT1010-EVK. Es gibt nicht viel, und was es gibt, sagt einem nicht viel. Zumindest sind die Designdateien der Platine mit einem Schaltplan im PDF-Format enthalten, so dass man herausfinden kann, wie zum Beispiel die Erweiterungsports verdrahtet sind. Für alles andere sollten Sie das Datenblatt der MCU zu Rate ziehen.

Bild 2. Position der On-Board-Peripherie des MIMXRT1010-EVK. (Quelle: NXP)



WEBLINKS

- [1] Entwicklungspaket Get Started with the NXP i.MX RT1010: <https://elektor.de/get-started-with-the-nxp-i-mx-rt1010-development-bundle>
- [2] Zephyr RTOS: https://docs.zephyrproject.org/latest/boards/arm/mimxrt1010_evk/doc/index.html

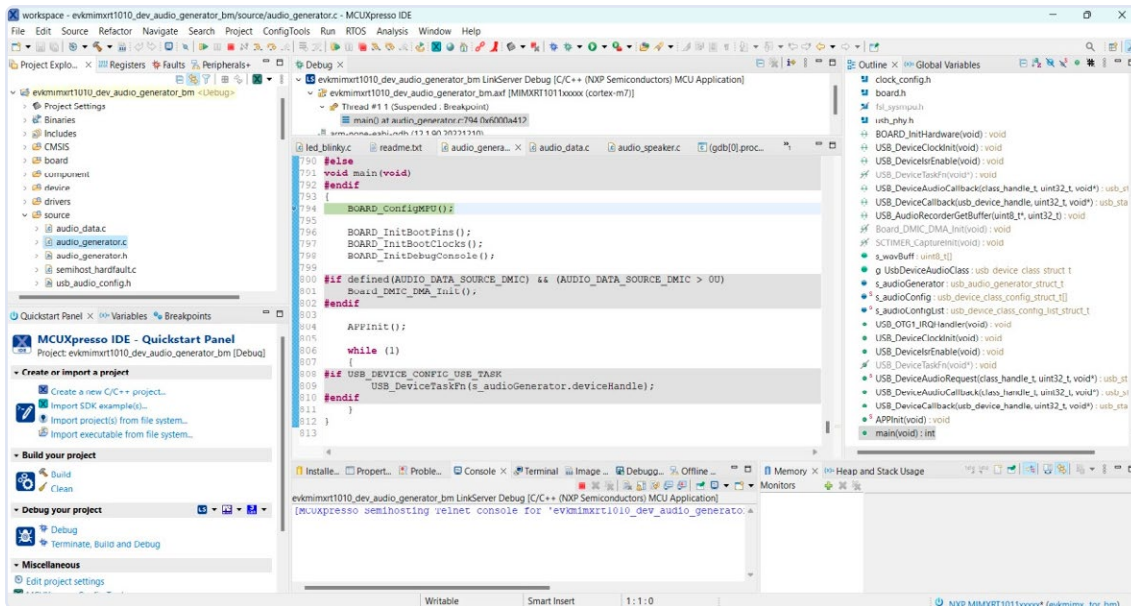


Bild 3. Einzelschritt-Abarbeitung eines Code-Beispiels in MCUXpresso.

Kaufen Sie sich das Buch!

Da es an Dokumentation fehlt, sollten Sie sich das neue Elektor-Buch „Get Started with the NXP iMX RT1010 Development Kit“ [1] von Dogan Ibrahim kaufen. Das Buch beschreibt den Prozessor, das Evaluation Board und die Entwicklung von Anwendungen mit MCUXpresso wesentlich detaillierter als NXP und ist somit eine gute Einstiegshilfe. ◀

Übersetzung von Holger Neumann — 240006-02

Über den Autor

Clemens Valens begann nach einer Karriere in der Schiffs- und Industrieelektronik 2008 bei Elektor als Chefredakteur von Elektor France. Seitdem hatte er verschiedene Positionen inne und wechselte kürzlich in die Produktentwicklungsabteilung. Zu seinen Hauptinteressen gehören Signalverarbeitung und Klangerzeugung.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an den Autor unter clemens.valens@elektor.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

➤ **Dogan Ibrahim, Get Started with the NXP iMX RT1010 (Elektor 2023) (Entwicklungspaket)**
<https://www.elektor.de/20699>



YOUR KEY TO CELLULAR TECHNOLOGY

© eSmart



WURTH ELEKTRONIK
 MORE THAN YOU EXPECT

WE meet @ embedded world
 Halle 2-110

Adrastea-I ist ein Cellular-Modul mit hoher Leistung, extrem niedrigem Stromverbrauch, Multi-Band LTE-M und NB-IoT-Modul.

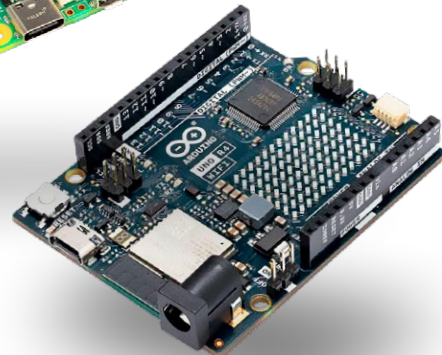
Trotz seiner kompakten Größe verfügt das Modul über integriertes GNSS, integrierten ARM Cortex M4 und 1 MB Flash-Speicher für die Entwicklung von Benutzeranwendungen. Das Modul basiert auf dem leistungsstarken Sony Altair ALT1250 Chipsatz. Das von Deutsche Telekom zertifizierte Adrastea-I-Modul ermöglicht eine schnelle Integration in Endprodukte ohne zusätzliche branchenspezifische Zertifizierung (GCF oder Betreiberzulassung, sofern eine Deutsche Telekom IoT-Konnektivität (SIM-Karte) verwendet wird. Für alle anderen Betreiber bietet das Modul bereits die branchenspezifische Zertifizierung (GCF) an.

www.we-online.com/gocellular

- Kompakte Größe
- Lange Reichweite/weltweite Abdeckung
- Sicherheit und Verschlüsselung
- Multiband Unterstützung

Open Source

und seine Bedeutung für die Elektronikindustrie



Arduino UNO und Raspberry Pi sind zwei bewährte Open-Source-Lösungen. (Quelle: Mouser Electronics)

Von Mark Patrick (Mouser Electronics)

Der Einsatz von Open-Source-Software kann Ingenieuren schnell eine Fülle von Ressourcen zur Verfügung stellen, wodurch sich Entwicklungszeit und -kosten reduzieren lassen. Lässt sich dieser Ansatz auch auf Hardware übertragen? In diesem ersten Artikel einer zweiteiligen Serie erörtern wir, was unter *Open Source* sowohl für Software als auch für Hardware zu verstehen ist, bevor wir uns mit Erfolgsgeschichten aus der Elektronikindustrie beschäftigen.

Immer mehr Entwickler setzen auf standardisierte Open-Source- oder lizenzfreie Software-Lösungen, da Embedded-Lösungen und miniaturisierte Hardware durch neue Einsatzmöglichkeiten, eine bessere Leistung und geringere Kosten immer mehr Verbreitung finden. Angesichts der Komplexität vieler aktueller Implementierungen ist die Entwicklung von Software für Embedded Hardware, wie z. B. Echtzeit-Betriebssysteme (RTOS), zeit- und kostenaufwendig. Durch den Einsatz von Open-Source- oder lizenzfreien Software-Lösungen stehen Entwicklern zahlreiche Ressourcen zur Verfügung, die sofort implementiert werden können und zudem frei verfügbar sind. Auf diese Weise können die Entwicklungszyklen durch den Wissensaustausch verkürzt und die mit der proprietären Entwicklung verbundenen Probleme wie langsame Updates und mangelnde Interoperabilität überwunden werden.

Aber lassen sich diese Vorteile auch auf die Hardware übertragen? Open-Source-Hard-

ware ist schon lange eine komplizierte Angelegenheit mit potenziellen Schwachstellen, wie z. B. fehlendem Schutz des geistigen Eigentums und höheren Bauteilkosten, aber es gibt einige Bereiche, wie z. B. die Ausbildung und das Prototyping, in denen sie bereits unglaublich erfolgreich eingesetzt wird.

Definition von Open-Source-Software und -Hardware

Für viele Menschen ist der Begriff *Open Source* untrennbar mit kostenloser, bedingungslos nutzbarer Software (Freeware) verbunden. In der Realität ist dies jedoch nicht zutreffend. Viele Open-Source-Lösungen sind zwar kostenlos, aber das bedeutet nicht, dass man sie frei nutzen kann. Gleichmaßen sind Produkte mit einer nicht-öffentlichen Source nicht zwangsläufig mit Kosten verbunden, und es gibt wichtige Unterscheidungen zwischen Freeware, Open Source und Closed Source sowie spezifische Nuancen, die variieren,

je nachdem, ob wir uns auf Hardware- oder Software-Systeme beziehen.

Der wichtigste Unterschied, der oft übersehen wird, ist die Lizenzierung. Für Freeware gibt es keine Nutzungsrechte oder Lizenzen. Alle Open-Source-Lösungen sind hingegen lizenziert, und es gibt strenge Definitionen sowohl für Software als auch für Hardware.

Definition von Open-Source-Software

Die Open Source-Initiative (OSI) [1] ist eine in den späten 1990er-Jahren in Kalifornien gegründete gemeinnützige Organisation. Sie verwaltet die Open-Source-Applikationen der Softwarebranche und hat sich zum Ziel gesetzt, das Bewusstsein für die Bedeutung nicht-proprietärer Software zu schärfen und zu fördern.

Software-Lösungen reichen von PC-Applikationen bis hin zu Drahtlos-Protokollen und RTOS und müssen strenge Zehn-Punkte-Kriterien als Bewertungsgrundlage erfüllen, um als Open Source eingestuft zu werden.

Auf dieser Bewertungsgrundlage legt die OSI fest, dass Open-Source-Software frei verfügbar sein, aber im Gegensatz zu Freeware lizenziert sein muss. Unter dieser Lizenz muss der gesamte Quellcode verfügbar und kompilierbar sein und die Weitergabe erlauben. Absichtlich verschleierte Quellcode ist nicht erlaubt, ebenso wenig wie Zwischenformen, etwa die Ausgaben eines Präprozessors oder Übersetzers. Mit einer Open-Source-Lizenz können Entwickler den Code verändern, um eigene abgeleitete Versionen zu erstellen und diese unter



Bild 1. Das OSHWA-Logo auf zertifizierten Open Source-Designs. (Quelle: OSHWA)

denselben Bedingungen wie die ursprüngliche Software weiterzugeben. Die Software darf nicht auf ein bestimmtes Produkt oder eine bestimmte Hardware-Lösung zugeschnitten sein, und sie darf bestimmte Bereiche oder Gruppen nicht diskriminieren. Die Technologie muss neutral sein und darf nicht gegen andere Software verstoßen. Daher muss jede Open-Source-Software, auch wenn sie lizenziert ist, für jeden Nutzer zum Prüfen, Ändern, Verteilen oder Verkaufen verfügbar sein. Systeme wie der Apache Web Server, Zephyr RTOS, Matter und Linux sind allesamt Open Source-Lösungen, deren Entwicklung auf einer Kombination aus Benutzer- und Industriezusammenarbeit beruht.

Definition von Open-Source-Hardware

Die Definition von Open-Source-Hardware geht auf die 2012 gegründete Open Source Hardware Association (OSHWA) [2] zurück. Sie basiert auf der Software-Definition der OSI, enthält jedoch einige weitere Bewertungsgrundlagen, die für eine Open-Source-Zertifizierung erfüllt werden müssen. In Übereinstimmung mit der OSI-Anforderung nach offenem Quellcode verlangt die Open Source Hardware (OSHW) Definition 1.0 [3] die Veröffentlichung von CAD-Designdateien in gängigen Dateiformaten.

Die OSHWA-Definition enthält strenge Vorgaben für Hardware-Lösungen, deren Betrieb von Software abhängig ist, wie z. B. Mikrocontroller (MCUs). Ganz gleich, ob es sich um Embedded-Lösungen oder andere Hardware handelt, muss die benötigte Software ebenfalls Open Source sein. Falls nur Closed-Source-Software zur Verfügung gestellt wird, müssen die Architektur und die Schnittstellen der Hardware dokumentiert werden, damit Entwickler problemlos Software erstellen können, die alle wesentlichen Funktionen erfüllt.

Jede Hardware, die dieser Definition entspricht, muss auch öffentlich zugänglich gemacht werden, sodass jeder die Lösungen analysieren, verändern oder verbreiten kann. Es muss möglich sein, die Hardware anhand der Schaltpläne des Designs zu reproduzieren und das Design selbst unter der gleichen Lizenzvereinbarung weiterzuverbreiten.

Bei den meisten Open Source-Lösungen für Hardware handelt es sich um Mikro-

controllerboards, deren Wert erst durch die Entwicklung einer Anwendung durch den Nutzer entsteht. Beispiele sind der Arduino UNO R4 Minima [4][5], der Raspberry Pi 5 Single-Board-Computer [6][7] und das Adafruit Feather MO Bluefruit LE [8][9].

Zertifizierte Hardware

Zur Unterstützung bei der Entwicklung von Open Source-Lösungen hat die OSHWA das Open Source-Hardware-Zertifizierungsprogramm eingeführt. Diese Zertifizierung bestätigt, dass die Open Source-Hardware-Definition des Projekts mit der OSHWA-Definition von Open Source übereinstimmt.

Mit der Zertifizierung ist das Recht verbunden, das OSHWA-Zertifizierungslogo zu verwenden, sodass Entwickler die Designs leicht identifizieren können. Darüber hinaus wird jedes Design katalogisiert und online mit einer Dokumentation auf der OSHWA-Zertifizierungsseite [10] aufgeführt (**Bild 1**).

Um eine große Verbreitung des Programms zu gewährleisten, wird es von den Entwicklern selbst zertifiziert, und es fallen keine Kosten dazu an. Um die Zertifizierung zu erhalten, sollte ein Design, wo immer es möglich ist, ausschließlich Open-Source-Bauteile verwenden. Die OSHWA räumt jedoch ein, dass dies nicht immer möglich ist, und dass einige Closed-Source-Bauteile von Drittanbietern zulässig sind, wenn keine Open Source-Option verfügbar ist.

Durchsetzung von Open Source

Trotz der klaren Definitionen und des Zertifizierungsprogramms der OSHWA werden die Kriterien nicht immer richtig verstanden oder umgesetzt. Das kann für Entwick-

ler bei der Verwendung des Designs zu einer Reihe von Problemen führen, die von Inkompatibilität bis hin zur Haftung reichen.

Um die Konformität eines mit dem Prüfzeichen zertifizierten Designs zu gewährleisten, fordert die OSHWA Entwickler auf, etwaige Zweifel (zusätzlich zu ihren eigenen Prüfungen) umgehend zu melden, um sie zu untersuchen.

Damit Hersteller die Einhaltung der Vorschriften erreichen oder wiedererlangen können, hat die OSHWA ein zeitbasiertes Sanktionssystem für die unsachgemäße Verwendung des OSHWA-Logos eingeführt. Wenn Hersteller, die im Verdacht stehen, gegen die Zertifizierung zu verstoßen, der OSHWA antworten oder ihre Designs innerhalb eines angemessenen Zeitraums ändern, werden keine Geldstrafen verhängt. Werden die Designs jedoch weiterhin nicht geändert, kann dies zu erheblichen Geldstrafen von bis zu 10.000 Dollars pro Monat führen [11].

Erfolg von Open-Source-Hardware

Es besteht kein Zweifel an der Leistungsfähigkeit von Open Source-Hardware im Bereich Bildung und Entwicklung. Der bereits erwähnte UNO R4 Minima [5] von Arduino ist ein perfektes Beispiel dafür (**Bild 2**).

Der UNO R4 Minima bietet zahlreiche On-Board-Peripheriegeräte, wie z. B. 12-Bit-DAC, OpAmp und CAN-Bus sowie 14 digitale I/O-Pins. Es unterstützt eine Vielzahl von Shields und Trägern. Dieses flexible System wird außerdem von Arduino und der umfangreichen Bibliothek mit Referenzcodes und -projekten der Community unterstützt.



Bild 2. Arduino UNO R4 Minima. (Quelle: Mouser Electronics)

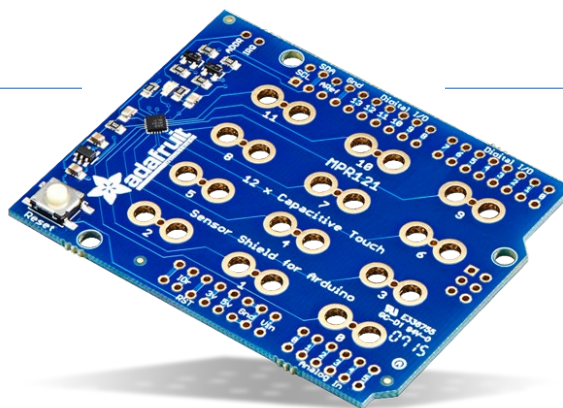


Bild 3. Adafruit 12x Capacitive Touch Shield.
(Quelle: Mouser Electronics)



Über den Autor

Als Direktor für technische Inhalte bei Mouser Electronics in der EMEA-Region ist Mark Patrick für die Erstellung und Verbreitung technischer Inhalte in der Region verantwortlich - Inhalte, die für die Strategie von Mouser zur Unterstützung, Information und Inspiration des technischen Publikums entscheidend sind. Bevor er die Leitung des Bereichs Technical Content übernahm, war Mark Patrick Teil des EMEA Supplier Marketing Teams von Mouser und spielte eine wichtige Rolle beim Aufbau und der Entwicklung von Beziehungen zu wichtigen Fertigungspartnern. Marks frühere Erfahrungen umfassen praktische Ingenieuraufgaben, technischen Support, technischen Halbleitervertrieb und verschiedene Marketingpositionen. Mark ist im Herzen ein „praktischer“ Ingenieur und hat einen erstklassigen Abschluss in Elektrotechnik von der Coventry University. Seine Leidenschaft gilt alten Synthesizern und britischen Motorrädern und er scheut auch nicht vor Wartung und Reparaturen zurück.

Für die Vorserienentwicklung, einzelne Applikationen und Studentenprojekte, wie z. B. eine individuelle SPS oder ein Messgerät, ist der UNO R4 eine ideale Lösung, bei der die Stärken von Open Source zum Nutzen des Entwicklers und Endanwenders eingesetzt werden. Der Erfolg des UNO ist so groß, dass Arduino im Jahr 2021 den Verkauf von über 10 Millionen Boards weltweit mit einer limitierten Auflage feierte [12].

Durch den Open Source-Charakter des UNO R4 Minima ist die einfache Entwicklung einer großen Auswahl von Arduino- und Drittanbieter-Add-Ons, den sogenannten „Shields“, möglich. Das 12x Capacitive Touch Shield 2024 [13] (Bild 3) von Adafruit basiert auf der Technologie der kapazitiven Näherungs-Touchsensoren von NXP Semiconductors [14] und ist mit der neuesten Produktfamilie Arduino UNO R4 kompatibel [15].

Mit diesem Board von Adafruit kann der Arduino UNO RV 4 mit 12 kapazitiven Touchsensoren über einfache Krokodilklemmen verbunden werden. Im Ausbildungs- oder Entwicklungsumfeld ermöglicht dieses Shield die schnelle Evaluierung oder Modifizierung von Lösungen für Applikationen mit Berührungssensoren,

darunter auch Regler und Peripheriegeräte, ohne umfangreiche und kostspielige Neuentwicklungen.

Fazit

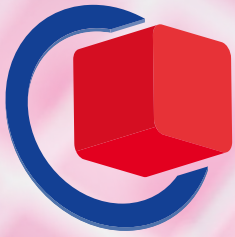
Open Source-Lösungen und eine umfassendere Zusammenarbeit mit der Industrie werden in der Elektronikbranche immer eine wichtige Rolle spielen. Dabei hängt die Gesamtwirtschaftlichkeit jeder Lösung oft von der Applikation ab. Für Lösungen in den Bereichen Entwicklung, Ausbildung und Prototyping können Open-Source-Software und -Hardware zweifellos dazu beitragen, Hindernisse zu überwinden, Projekte zu beschleunigen und eine breitere Zusammenarbeit zu ermöglichen.

Für kommerzielle Lösungen, die auf den Markt gebracht werden sollen, müssen die Vor- und Nachteile von Open-Source-Systemen jedoch vollständig verstanden werden, um ihre tatsächliche Machbarkeit zu bestimmen. Im zweiten Teil dieser Beitragsreihe werden wir den Wert von Open Source-Designs für den Elektronikmarkt, die Herausforderungen von Open-Source-Hardware und den erfolgreichen Einsatz von Open-Source-Lösungen für auf den Markt kommende Produkte untersuchen. ◀

240087-02

WEBLINKS

- [1] Open Source Initiative (OSI): <https://opensource.org>
- [2] Open Source Hardware Association (OSHW): <https://oshwa.org>
- [3] Open Source Hardware (OSHW) Definition 1.0: <https://oshwa.org/definition>
- [4] Arduino Boards [mouser.com]: <https://tinyurl.com/arduino-manufacturer>
- [5] Arduino UNO R4 Microcontroller Board [mouser.com]: <https://tinyurl.com/arduino-uno-rev-4-boards>
- [6] Raspberry Pi [mouser.com]: <https://tinyurl.com/raspberry-pi-manufacturer>
- [7] Raspberry Pi 5 Single Board Computer [mouser.com]: <https://tinyurl.com/raspberry-pi-5-sbc>
- [8] Adafruit [mouser.com]: <https://tinyurl.com/adafruit-manufacturer>
- [9] Adafruit Feather M0 Bluefruit LE Development Board [mouser.com]: <https://tinyurl.com/adafruit-feather-m0>
- [10] OSHWA Certification Webseite: <https://certification.oshwa.org/list.html>
- [11] OSHWA Certification License Agreement: <https://certification.oshwa.org/license-agreement.html>
- [12] Arduino UNO Mini Limited Edition: <https://store.arduino.cc/pages/uno-mini-le>
- [13] Adafruit 2024 12x Capacitive Touch Shield [mouser.com]: <https://tinyurl.com/adafruit-2024-capacitive-touch>
- [14] NXP Semiconductors [mouser.com]: <https://tinyurl.com/nxp-semiconductors>
- [15] Arduino UNO R4 Shield Compatibility: <https://docs.arduino.cc/tutorials/uno-r4-minima/shield-compatibility>



embeddedworld

Exhibition & Conference



CONNECTING THE
EMBEDDED COMMUNITY

9. – 11.4.2024



Get your
free ticket now!

embedded-world.de/code

Use the voucher code **ew24ELE**

Medienpartner

Markt & Technik
30. JAHRESPHASE WICHTIGSTER FÜR ELEKTRONIK

Elektronik

computer &
automation

Elektronik
automotive

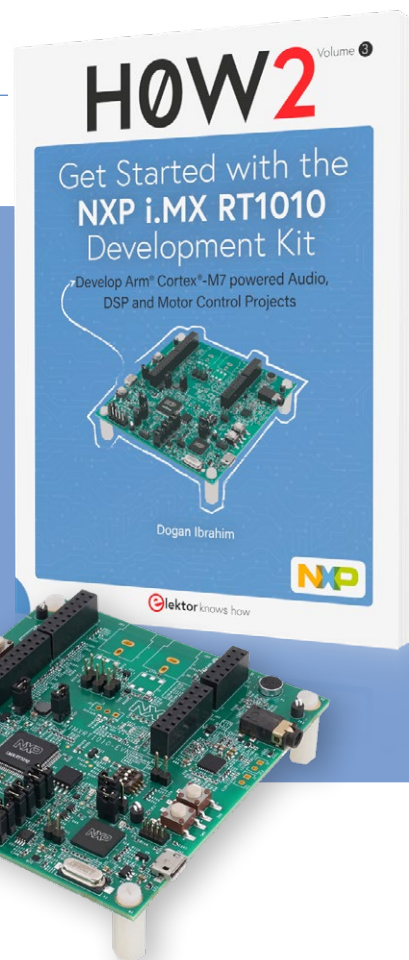
Elektronik
•medical

elektroniknet.de

NÜRNBERG / MESSE

Audio-DSP mit dem NXP MIMXRT1010 Development Kit

Eine Einführung in die ARM Cortex M7 basierte Klangverarbeitung



Von Dogan Ibrahim (Großbritannien)

Das Herzstück des Entwicklungskits MIMXRT1010 von NXP Semiconductors ist die Crossover-MCU i.MX RT1010 mit einem Arm Cortex-M7-Kern, die leistungs- und speicherhungrige DSP-Anwendungen ausführen kann. Die Software für das Entwicklungskit wird mit der beliebten MCUXpresso-IDE erstellt; ein leistungsstarkes SDK sorgt für eine schnelle und wenig aufwendige Programmentwicklung. Finden Sie heraus, ob Sie einfach nur ein DSP-Programmierer bleiben oder ein Fan dieses Entwicklungspakets werden wollen.

Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel ist ein Auszug aus dem 275-seitigen Buch der HOW2-Reihe Get Started with the NXP i.MX RT1010 (Elektor, 2023). Dieser Auszug wurde formatiert und leicht bearbeitet, um den redaktionellen Standards und dem Seitenlayout der Zeitschrift Elektor zu genügen. Der Autor und die Redaktion stehen für Rückfragen gerne zur Verfügung. Die Kontaktinformationen finden Sie im Kasten **Über den Autor**.

Das Akronym DSP hat zwei Bedeutungen: digitaler Signalprozessor oder digitale Signalverarbeitung (processing). Ein digitaler Signalprozessor bezieht sich auf spezielle Mikrocontroller-Hardware, die für die Ausführung spezieller Anweisungen in Echtzeit ausgelegt ist.

DSP-Signalverarbeitung unterstützt ein sehr breites Spektrum, das Signale von sehr niedrigen bis sehr hohen Frequenzen abdeckt. In dem Artikel beschäftigen wir uns nur mit Audiosignalen, die den Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz abdecken. In einer typischen DSP-Anwendung kann das Eingangssignal (zum Beispiel von einem Mikrofon) entweder digital oder analog sein. Beim analogen Eingang wird das Signal über einen ADC (Analog-Digital-Wandler) in digitale Form umgewandelt und zur weiteren Verarbeitung einem Mikrocontroller zugeführt. Das Signal wird dann verarbeitet, beispielsweise gefiltert, um unerwünschtes hochfrequentes Rauschen zu entfernen. Rauschen wird mit speziellen Rauschunterdrückungsalgorithmen unterdrückt, das Frequenzspektrum des Signals wird extrahiert und analysiert, die Signalform wird modifiziert, Audiosignale werden synthetisiert und so weiter. Das resultierende digitale Signal wird mit einem DAC (Digital-Analog-Wandler) wieder in ein analoges umgewandelt und an einen Lautsprecher oder an ein anderes Ausgabegerät gesendet. Die gesamte Signalverarbeitung erfolgt mithilfe von Softwarealgorithmen mit dem Mikrocontroller. Es ist viel einfacher, digitale Signale zu bearbeiten und zu manipulieren als analoge Signale. DSP wird heutzutage von professionellen Muskschaffenden ausgiebig eingesetzt. Auf PCs gibt es viele Plugins, die die Be- und Verarbeitung von bereits aufgenommenen Musikdateien und anderen Audiodateien vereinfachen. Das globale Geschäft im Audio-DSP-Markt wurde im Jahr 2019 auf 11,06 Milliarden US-Dollar geschätzt und wird bis 2027 voraussichtlich 23,43 Milliarden US-Dollar erreichen (Allied Market Research). In diesem Artikel werden wir das MIMXRT1010-EVK-Entwicklungsboard für einige Echtzeit-DSP-Projekte verwenden.

Das SAI-Modul

SAI ist ein serielles Audio-Interface-Modul, das zum Senden und/

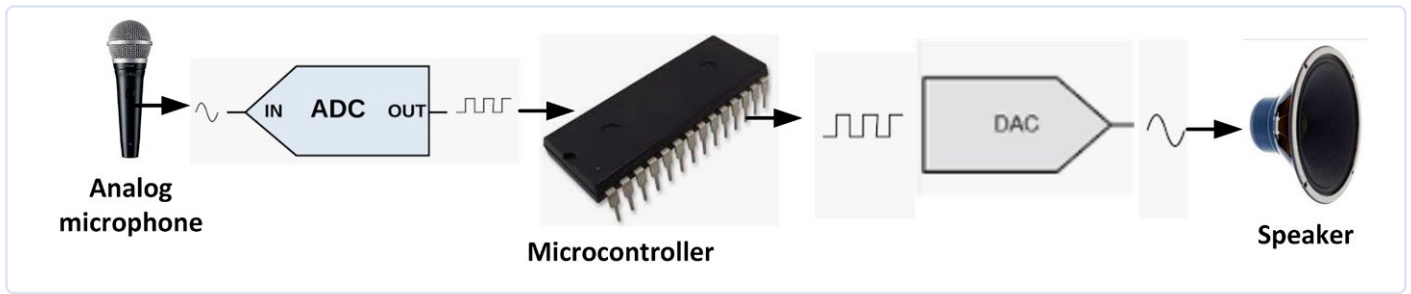


Bild 1. Konventionelles Audio-DSP-System.

oder Empfangen von Audiosignalen verwendet werden kann. Neben I²S werden auch andere Audio-Interfaces unterstützt. Das Entwicklungsboard MIMXRT1010-EVK enthält zwei synchrone SAI-Module, die I²S, AC97, TDM, Codec/DSP-Schnittstellen und die MQS-Schnittstelle für mittlere Audioqualität über GPIO-Anschlüsse unterstützen. Mit MQS werden I²S-Audiodaten von SAI3 in PWM-Signale umgewandelt, die dann externe Lautsprecher ansteuern können. In der Praxis ist dazu noch eine Verstärker-Treiberschaltung erforderlich. Zusätzlich befinden sich auf der Platine eine Kopfhörer-Buchse, Anschlüsse für externe Lautsprecher und ein Mikrofon.

Der I²S-Bus

Das I²S-Protokoll (Inter-Integrated Circuit Sound Protocol) ist ein serieller Busschnittstellenstandard, der üblicherweise digitale Audiogeräte miteinander verbindet. Es wurde 1986 von Philips Semiconductors (heute NXP Semiconductors) eingeführt und dann 1996 und 2022 überarbeitet. Das I²S-Protokoll sendet digitale PCM-Audiodaten (Pulse-Code Modulation) von einem Controller an ein Ziel. Der Bus hat mindestens drei Leitungen: **Takt (Bit)**, **Word Select** und **Datenleitung**. Mit Word Select wird festgelegt, an welchen der beiden Stereokanäle die Daten gesendet werden sollen. Die Leser sollten verstehen, dass I²C und I²S völlig unterschiedliche Busprotokolle sind und nichts miteinander zu tun haben.

Bild 1 zeigt das Blockschaltbild eines herkömmlichen Audio-DSP-Systems ohne I²S-Bus. Hier wird das Audiosignal von einem analogen Mikrofon empfangen. Dieses Signal wird dann mit einem A/D-Wandler in digitale Form umgewandelt. Das resultierende digitale Signal wird dann einem Mikrocontroller zur Verarbeitung zugeführt. Am Ende wird das Signal mit Hilfe eines DAC-Wandlers wieder in analog umgewandelt und einem Lautsprecher zugeführt. In der Regel erhöht ein analoger Verstärker (hier nicht gezeigt) den Signalpegel für den Lautsprecher. In den meisten Niederfrequenzanwendungen können der A/D-Wandler und der DAC Teil des Mikrocontrollers sein. In Hochgeschwindigkeits- und Qualitätsanwendungen allerdings kann es erforderlich sein, externe ADC- und DAC-Wandler in professioneller Qualität zu verwenden.

Bild 2 zeigt das Blockdiagramm eines digitalen Audio-DSP-Systems mit der I²S-Bus-Schnittstelle. Hier kommt ein digitales Mikrofon

zum Einsatz, das mit dem I²S-Bus kompatibel ist. Der Ausgang des Mikrofons, bei dem es sich um ein digitales Signal handelt, wird dem I²S-Buseingang des Mikrocontrollers zugeführt. Das Signal wird vom Mikrocontroller bedarfsgerecht verarbeitet und in digitaler Form an ein I²S-kompatibles Verstärkermodul gesendet. Am Ausgang des Verstärkers liegt ein analoges Signal, das den Lautsprecher treibt.

Die drei I²S-Busleitungen haben zusammengefasst folgende Aufgaben:

Bit clock: Dies ist die serielle Taktleitung, die normalerweise als BCLK bezeichnet wird. Der Takt läuft kontinuierlich.

Word Select: Diese Leitung wird normalerweise mit WS bezeichnet und wählt die Kanäle aus. „0“ entspricht dem linken, „1“ dem rechten Kanal.

Data: Diese Leitung wird in der Regel mit SD oder SDATA bezeichnet und ist die serielle Datenleitung. Die Daten werden im Zweier-Komplementformat gesendet, wobei das MSB-Bit an erster Stelle steht. Sender und Empfänger müssen keine vereinbarte Wortlänge haben. Der Sender sendet, was er hat, und der Empfänger nimmt, was er gebrauchen kann. Neue Datenbits könnten auf der steigenden oder fallenden Flanke des Taktes ausgegeben werden. Sie müssen jedoch mit der steigenden Flanke getaktet werden.

Der Bit-Takt wird für jedes Datenbit gesendet. Die Frequenz dieses Takts ergibt sich aus dem Produkt von Abtastrate, der Anzahl der Bits pro Kanal und der Anzahl der Kanäle. Bei einer typischen Audio-CD ist eine Abtastrate von 44,1 kHz mit 16 Bit Daten die Regel. Bei zwei Kanälen, also Stereo, beträgt die Bit-Taktfrequenz:

$$44,1 \text{ kHz} \times 16 \times 2 = 1,4112 \text{ MHz}$$

Wenn Sie also zwei Kanäle mit hochwertigem Audio senden möchten, benötigen Sie eine Taktrate von 1,4112 MHz. Bei einer Übertragung in Telefonqualität dagegen wird nur mit 8 kHz bei einer Auflösung von 8 Bit abgetastet und es gibt nur einen Kanal. Um Audio in Telefonqualität zu senden, benötigen Sie daher eine Taktfrequenz von nur:

$$8 \text{ kHz} \times 8 \times 1 = 64 \text{ kHz}$$

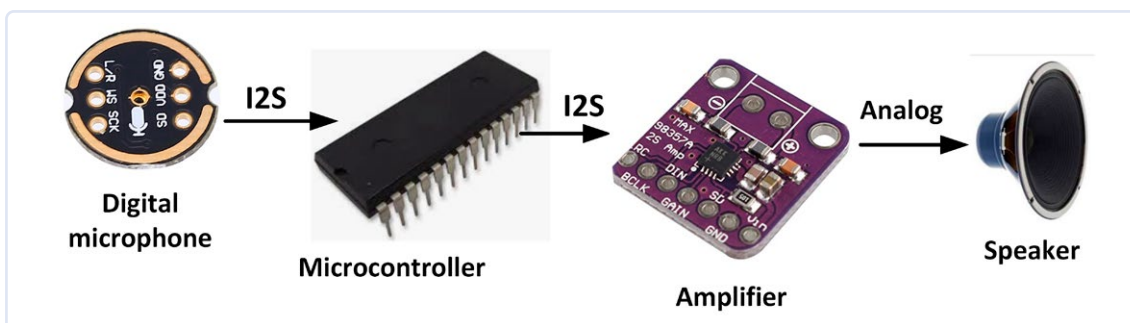


Bild 2. Digitales Audio-DSP-System.

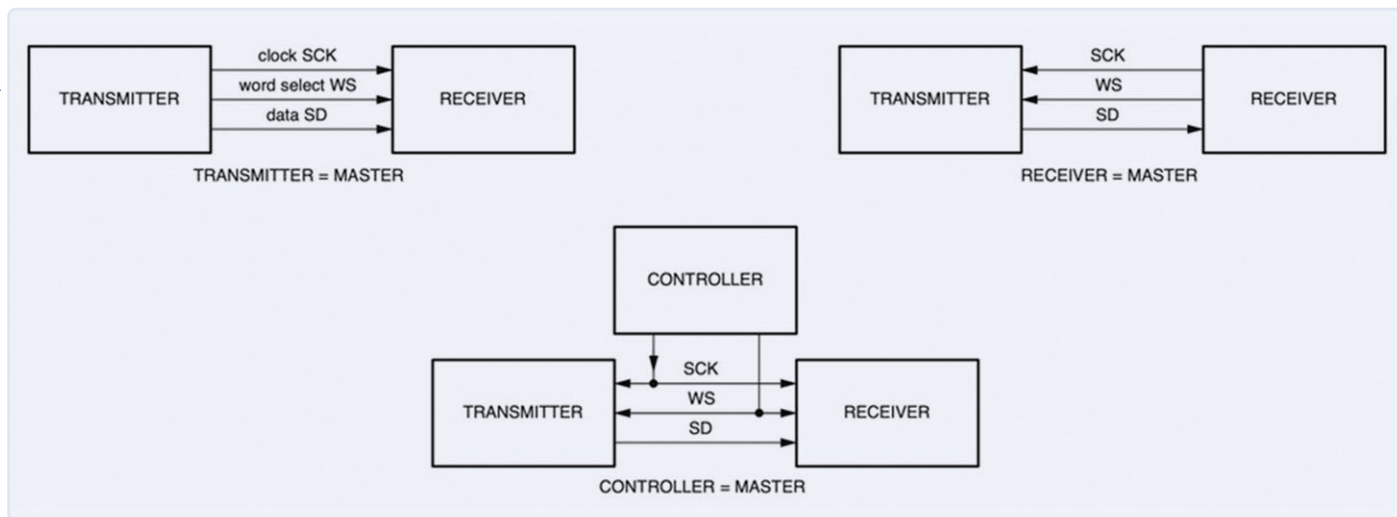


Bild 3. I²S-Konfigurationen (aus der I²S-Spezifikation).

I²S erlaubt bis zu zwei Kanäle auf derselben Datenleitung, die durch das Word-select-Bit ausgewählt werden. Beim 2-Kanal-Stereobetrieb wird der linke Ton im Low-Zyklus des Word-Selects und der rechte Kanal im High-Zyklus übertragen. Beim I²S-Bus können anders als beim I²C-Bus, bei dem mehrere Geräte an derselben Busleitung angeschlossen werden können, nur zwei Kanäle eines Gerätes verwendet werden. Es können nicht mehrere Geräte an den gleichen Bus angeschlossen werden. Die maximale Länge des I²S-Busses ist mit drei Metern angegeben.

Die Takt- und Word-Select-Signale können von einem Empfänger, einem Sender oder einem Controller eines Drittanbieters erzeugt werden (siehe **Bild 3**).

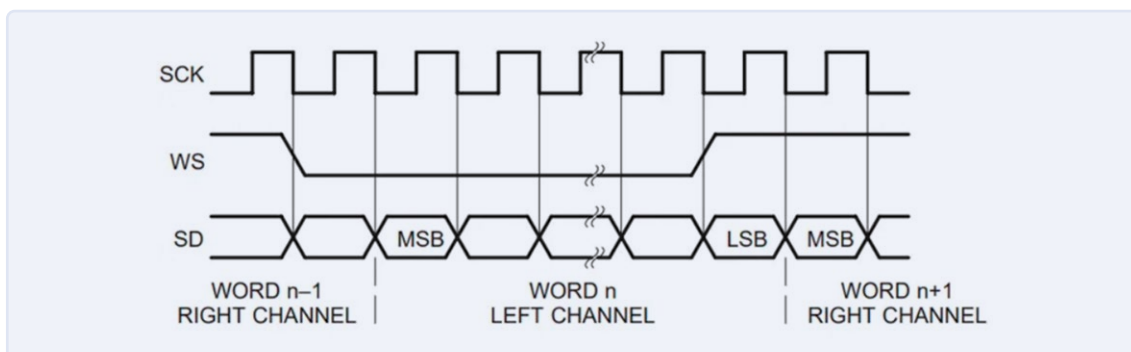
Bild 4 zeigt das Timing des I²S-Busses. Zu den Vorteilen des I²S-Busses gehören:

- Keine Probleme bei der Datensynchronisation, da es nur ein Master-Gerät gibt.
- Ein I²S-Mikrofon benötigt kein analoges Frontend.
- Es werden separate Takt- und Datenleitungen verwendet, was zu einem geringen Jitter führt.
- Weder ADC noch DAC sind erforderlich, da die Signale digital sind.

Die Nachteile des I²S-Busses sind:

- Keine Fehlererkennung oder -korrektur – folglich kann es zu Fehlern in der Kommunikation kommen.
- Aufgrund von Laufzeitverzögerungen kann es bei hohen Taktraten zu Synchronisationsproblemen kommen.
- Es gibt keinen Standard für I²S-Verkabelung oder -Verbinder – die Hersteller verwenden proprietäre Kabel und Steckverbinder.

Bild 4. I²S-Bus-Timing (aus der I²S-Spezifikation).



Der SAI-Bus

Das SAI-Modul auf der Entwicklungsplatine MIXRT1010-EVK enthält einen Sender und Empfänger mit den folgenden Signalen:

- SAI_MCLK: Master-Clock, wird zur Erzeugung des Takts verwendet, Master-Ausgang, Slave-Eingang
- SAI_TX_BCLK: Transmit Bit Clock, Master-Ausgang, Slave-Eingang
- SAI_TX_SYNC: Transmit Frame Sync, Master-Ausgang, Slave-Eingang, L/R-Kanal-Auswahl
- SAI_TX_DATA[4]: Transmit Data, 1-3 geteilt mit RX_DATA[1-3]
- SAI_RX_BCLK: Receiver Bit Clock
- SAI_RX_SYNC: Receiver Frame Sync
- SAI_RX_DATA[4]: Receiver Data Line

Die Takte des SAI-Moduls sind: Audio-Master-Clock, Bus-Clock und Bit-Clock. Das SAI-Modul Frame Sync verfügt über drei Modi:

1. Senden und Empfangen mit eigenem BCLK und SYNC.
2. Asynchron senden, synchron empfangen: Verwenden Sie Transmit (TX) BCLK und SYNC; zuerst transmit enable, disable zum Schließen.
3. Senden synchron, asynchron empfangen: Verwenden Sie Receive (RX) BCLK und SYNC, zuerst receiver enable, disable zum Schließen.

Die Audio-Demo-Projektdateien des MIMXRT1010-EVK

Im MCUXpresso-SDK sind mehrere Audio-Demo-Projektdateien enthalten, die sich in den Demoordnern *demo_apps* und *usb_examples* (**Bild 5**) befinden. Es gibt nur eine Datei (*sai*) in *demo_apps*

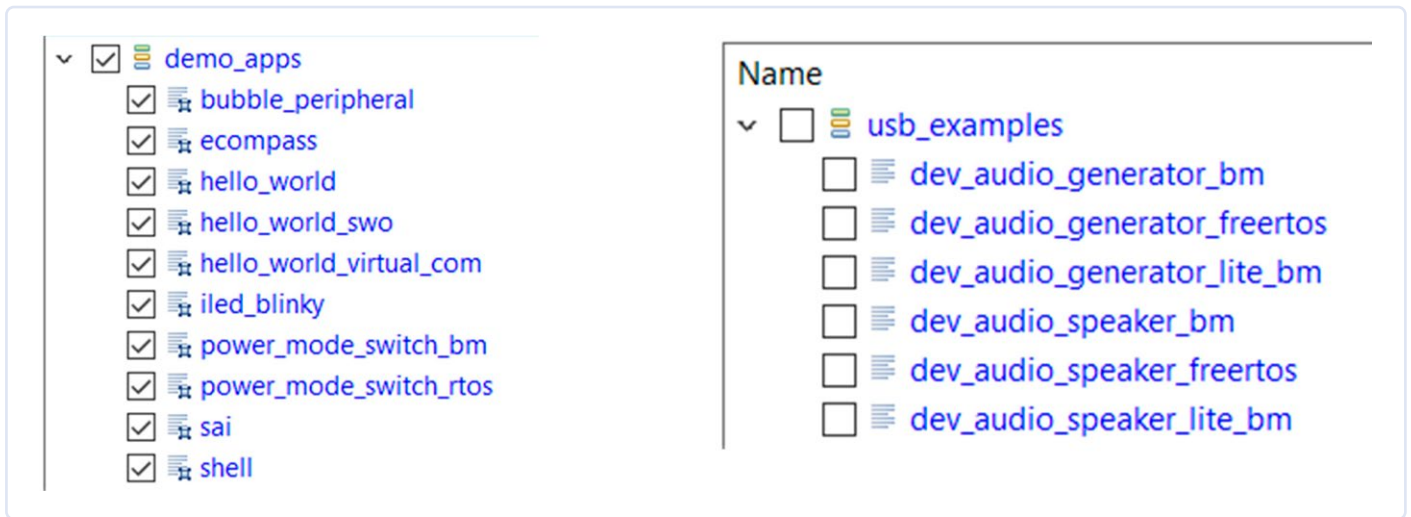


Bild 5. Audio-Demo-Projektdateien.

und sechs Dateien in *usb_examples* (*dev_audio_...*). Sie können diese Projektdateien ändern und in Ihren eigenen Projekten verwenden. Die hier besprochenen Programme sind im Software-Archiv enthalten, das zur Unterstützung des Buch- und Projektpakets veröffentlicht wurde. Das Archiv kann kostenlos im Elektor Store [1] in der Rubrik Bücher heruntergeladen werden. Scrollen Sie auf der Webseite zu *Downloads* und suchen Sie die ZIP-Datei: *Software_Get Started with the NXP i.MX RT1010 Development Kit* (256,87 MB). Laden Sie die Datei herunter und speichern Sie sie auf Ihrem System. Entpacken Sie die Archivdatei und suchen Sie die Beispielprogramme.

Schauen wir uns nun einige Details der Projektdatei *sai* an. Wenn diese Projektdatei im Debugmodus ausgeführt wird, stehen dem Benutzer die folgenden Optionen zur Verfügung:

- Record and Playback at same time (Gleichzeitige Aufnahme und Wiedergabe)
- Playback sine wave (Sinuswelle abspielen)

Sie können das integrierte analoge Mikrofon verwenden, um die Aufnahme aufzunehmen und gleichzeitig abzuspielen. Es gibt auch die Möglichkeit, eine SD-Karte und ein externes digitales

Mikrofon zu verwenden, die jedoch im Code auskommentiert und hervorgehoben ist. Laden Sie zunächst die Projektdateien in den *sai*-Ordner:

- Starten Sie die MCUXpresso-IDE, indem Sie einen Namen für den Arbeitsbereich angeben.
- Klicken Sie auf IDE.
- Klicken Sie im *Quickstart Panel* (Schnellstartbereich) auf *Import SDK Examples* (Beispiele importieren).
- Wählen Sie unter *MIMXRT1010* die *MIMXRT1011xxxxx* aus und klicken Sie auf *Next* (Weiter).
- Klicken Sie zum Erweitern auf *demo_apps* und wählen Sie *sai* aus, um die Projektdateien zu laden. Im Anschluss auf *Next* (Weiter) und dann auf *FINISH* (Fertig) klicken.

Überprüfen Sie, ob die Projektdateien geladen sind. Klicken Sie hier auf *source*, um zu erweitern und die folgenden C-Programme zu sehen:

playbackSineWave.c
recordPlayback.c
sai.c

KEEP IT COOL

TALK TO US @
embeddedworld
Exhibition & Conference

Halle 3A – Stand 334

Kühlösungen für Embedded Systeme und IPC

Extrem kompakt und maximal leistungsstark

www.ctx.eu

sai-Programm: Das Hauptprogramm wird ausgeführt, wenn der Debugger startet. Zu Beginn der Programme werden die benötigten Header-Dateien in das Programm eingebunden und verschiedene CODEC- und Audio-Definitionen deklariert. Die Kopfhörerlautstärke ist auf 100 voreingestellt, was dem Maximalwert entspricht (der Bereich liegt zwischen 0 und 100). Anschließend werden der SAI1-Takt und die Frequenz definiert. Der *wm8960-Codec* wird initialisiert, indem die Route, die linke und rechte Eingangsquelle, die Wiedergabequelle, der I²S-Bus, das Format der Daten (16-Bit-Daten mit 16 kHz Abtastrate) und der *master_slave-Modus* auf „false“ gesetzt werden. Codes, die sich auf die SD-Karte und das externe digitale Mikrofon beziehen, werden hervorgehoben und nicht kompiliert.

Der WM8960-Codec wird mit den folgenden Optionen initialisiert:

```
wm8960_config_t wm8960Config = {
    .i2cConfig = {.codecI2CInstance = BOARD_CODEC_I2C_INSTANCE,
    .codecI2CSourceClock = BOARD_CODEC_I2C_CLOCK_FREQ},
    .route = kWM8960_RoutePlaybackandRecord,
    .leftInputSource = kWM8960_InputDifferentialMicInput3,
    .rightInputSource = kWM8960_InputDifferentialMicInput2,
    .playSource = kWM8960_PlaySourceDAC,
    .slaveAddress = WM8960_I2C_ADDR,
    .bus = kWM8960_BusI2S,
    .format = {.mclk_HZ = 6144000U, .sampleRate =
kWM8960_AudioSampleRate16KHz, .bitWidth =
kWM8960_AudioBitWidth16bit},
    .master_slave = false,
};
```

Dabei bezieht sich *kWM8960_InputDifferentialMicInput2* auf das integrierte analoge Mikrofon und *kWM8960_InputDifferentialMicInput3* auf das Kopfhörermikrofon.

Innerhalb der Hauptprogrammschleife werden die LPI2C- und SAI1-Takte eingestellt und MCLK aktiviert. Die Funktion *CODEC_Init()* initialisiert den Codec. Die Funktion *CODEC_SetVolume()* stellt die Lautstärke auf *DEMO_CODEC_VOLUME* des rechten Kopfhörers ein. Das Programm zeigt die Meldung *SAI Demo Started* auf der Konsole an, initialisiert das SAI, konfiguriert I²S, aktiviert Interrupts zur Behandlung von FIFO-Fehlern und zeigt dann das folgende Menü an (in dem die Optionen für die SD-Karte und das externe digitale Mikrofon deaktiviert sind):

Please select the option:

- Record and Playback at same time (Gleichzeitige Aufnahme und Wiedergabe)
- Playback sine wave (Sinuswelle abspielen)
- Quit (Verlassen)

Wenn Option 1 gewählt wird: Die Karte wird für die Aufnahme/Wiedergabe konfiguriert, indem die Funktion *BOARD_CONFIG_CODEC_FOR_RECORD_PLAYBACK()* aufgerufen wird. Zum Schluss wird die Funktion *RecordPlayback()* aufgerufen (Programm: *recordPlayback.c*), um Audio aufzunehmen und über den Kopfhörer wiederzugeben.

Wenn Option 2 gewählt wird: Die Funktion *BOARD_CONFIG_CODEC_FOR_RECORD_PLAYBACK()* wird aufgerufen, gefolgt von der

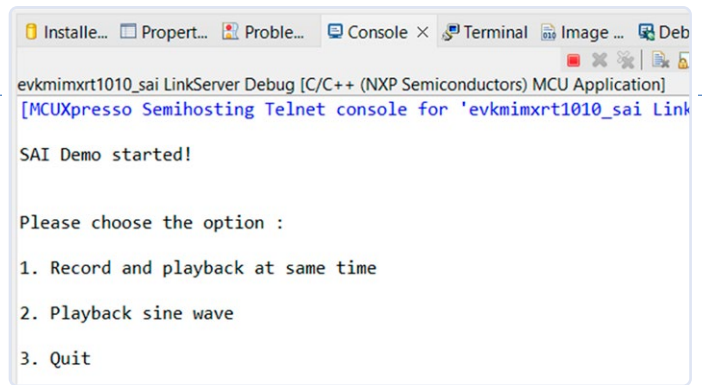


Bild 6. Das Menü.

Funktion *PlaybackSine()* (Programm: *playbackSineWave.c*), um eine Sinuswelle auf dem Kopfhörer abzuspielen.

playbackSineWave(): Diese Funktion hat drei Argumente: *base* (Basisadresse), *frequency* (Frequenz) in Hertz und *duration* (Dauer) in Sekunden. Die Funktion *arm_sin_q15()* wird aufgerufen, um Werte für den trigonometrischen Sinus im q15-Format zu erzeugen. Die erzeugten Sinuswerte werden in *audioBuff()* gespeichert. Dann wird die Frequenz der Daten durch Aufruf der FFT-Funktion *do_fft()* berechnet und auf der Konsole angezeigt. Die Funktion spielt fünf Sekunden lang eine 250-Hz-Sinuswelle ab. Die Funktion *SAI_TransferSendEDMA()* wird aufgerufen, um eine nicht blockierende SAI-Übertragung an den Kopfhörer mithilfe von DMA durchzuführen. Alle in *audioBuff()* vorbereiteten Daten werden übertragen.

recordPlayback(): Diese Funktion hat zwei Argumente: die *base address* (Basisadresse) und *duration* (Dauer) in Sekunden. In diesem Projekt wird die Dauer durch das aufrufende Programm *sai.c* auf 30 Sekunden gesetzt. Diese Funktion ruft *SAI_TransferReceiveEDMA()* auf, um nicht-blockierende Daten mit DMA vom Mikrofon in die Struktur *xfer* zu lesen und diese Daten dann an den Kopfhörer zu übertragen, indem die Funktion *SAI_TransferSendEDMA()* aufgerufen wird, im nicht-blockierenden Modus mit DMA.

Testen (1, 2, 3...)

Die Schritte zum Testen der Audio-DSP-Konfiguration sind:

- Schließen Sie das Development-Kit MIMXRT1010-EVK an Ihren PC an.
- Schließen Sie einen Kopfhörer an die Kopfhörerbuchse an.
- Klicken Sie im *Projekt-Explorer* auf den Projektnamen (*evkmimxrt1010_sai<Debug>*). Klicken Sie auf *Quick Settings SDK Debug Console* und wählen Sie *Semihost console* aus.
- Klicken Sie im *Quickstart Panel* auf *debug*, um die Programme zu laden und mit dem Debuggen zu beginnen.
- Klicken Sie auf *Run* und dann auf *Resume*, um das Programm im Debugmodus zu starten.
- Das Menü in **Bild 6** sollte angezeigt werden. Wählen Sie Option 2, um die 250-Hz-Sinuswelle fünf Sekunden lang zu hören. Möglicherweise stellen Sie fest, dass die Lautstärke sehr gering ist.
- Wählen Sie Option 1 aus. Sprechen Sie mit dem integrierten analogen Mikrofon, dann sollten Sie zeitgleich den Ton über den rechten Lautsprecher des Kopfhörers hören.
- Wiederholen Sie den Test so oft wie gewünscht.
- Klicken Sie auf *Run* und dann auf *Terminate*, um den Debugmodus zu beenden.



Das Dev Kit bietet mit seinen Audio-Codern, der Vier-Wege-Kopfhörerbuchse, dem Anschluss externer Lautsprecher, dem Mikrofon und der Arduino-Schnittstelle hervorragende Konnektivität. Praktischerweise werden mehrere integrierte Debug-Sonden mit dem Kit geliefert, mit denen Sie Ihre Programme debuggen können, indem Sie direkt mit der MCU interagieren. Mit Hilfe des Debuggers können Sie ein Programm in Einzelschritten durchlaufen, Haltepunkte einfügen, Variablen anzeigen, ändern und so weiter. Mit der MCUXpresso-IDE und dem SDK werden in dem Buch viele funktionierende und getestete Projekte entwickelt, die auf Bauteile, Module und Technologien basieren, darunter: LED und LCDs, ADC, I²C-Projekte, SPI-Projekte, UART-Projekte, Motorsteuerung, Audio und, wie Sie (hoffentlich) gesehen und gehört haben, digitale Audioverarbeitung (DSP)! ◀

Übersetzung von Jürgen Kellner — 240019-02

Über den Autor

Prof. Dr. Dogan Ibrahim (d.ibrahim@btinternet.com) hat einen BSc-Abschluss in Elektrotechnik, einen MSc-Abschluss in Regelungstechnik und einen Dokortitel in digitaler Signalverarbeitung. Dogan hat in vielen Industrieorganisationen gearbeitet, bevor er ins akademische Leben zurückkehrte. Prof. Ibrahim ist Autor von über 60 Fachbüchern und über 200 Fachartikeln über Mikrocontroller, Mikroprozessoren und verwandte Bereiche. Er ist *Chartered Electrical Engineer* und *Fellow of the Institution of Engineering and Technology*.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Gerne können Sie sich an den Autor unter d.ibrahim@btinternet.com oder die Elektor-Redaktion unter der E-Mail-Adresse redaktion@elektor.de wenden.

WEBLINKS

[1] Beispielprogramme: <https://elektor.de/get-started-with-the-nxp-i-mx-rt1010-development-bundle>

[2] Get Started with the NXP i.MX RT1010 Development, Bundle inklusive Buch und NXP i.MX RT1010 Development Kit www.elektor.de/20699



Wo Expertise auf Innovation trifft: Das neue Almit-Kompendium 5.0

Erscheint diesen
Sommer!



Lötlexikon, Expertenberichte,
Produckthighlights und mehr

Sichern Sie sich jetzt schon ein kostenloses Exemplar!
www.almit.de/kompendium

Almit GmbH Unterer Hammer 3 64720 Michelstadt +49 (0) 6061 96925 0 www.almit.de info@almit.de



Ethernet-Vernetzung

Gigabit-Ethernet EMV-gerecht realisieren

Von Dr. Heinz Zenkner (Würth Elektronik eiSos)

Gigabit-Ethernet ist gegenwärtig der Vernetzungsstandard schlechthin, sowohl im Büro als auch im Industrieumfeld. HF-technisch und unter EMV-Aspekten gilt es jedoch einige Fallstricke zu vermeiden. Das Gigabit-Ethernet-Referenzdesign von Würth Elektronik hilft dabei.

Gigabit-Ethernet ist ein Kommunikationsstandard, der sich auf breiter Front durchgesetzt hat, sei es im eigenen Zuhause, in Büros oder in Fabriken. Das führt dazu, dass Entwickler von vernetzungsfähigen elektronischen Geräten um die Implementierung einer Gigabit-Ethernet-Schnittstelle nicht umhinkommen. Schaltungsentwickler erhalten mit dem 1-Gigabit-Ethernet-Referenzdesign von Würth Elektronik nun ein optimiertes Schaltungsdesign und -layout mit allen technischen Daten.

Das Referenzdesign RDO16 umfasst zwei Schnittstellen, USB Type C (USB 3.1) und 1-Gigabit-RJ45/Ethernet [1]. Der GB-Ethernet-USB-Adapter basiert auf dem Evaluations-Board EVB-LAN7800LC von Microchip und wurde auf einer 4-lagigen Leiterplatte mit Spannungsversorgung per USB realisiert.

Grundlagen der 1-GB-Ethernet-Schnittstelle

Ethernet wurde zunächst mit 10 Mbit/s über Koaxialkabel und später über ungeschirmte

verdrillte Zweidrahtleitungen mit 10BASE-T weltweit verbreitet. Gegenwärtig sind 100BASE-TX (Fast Ethernet, 100 Mbit/s), Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), 10-Gigabit Ethernet (10 Gbit/s) und 100-Gigabit Ethernet (100 Gbit/s) verfügbar. Für die meisten Zwecke funktioniert Gigabit-Ethernet gut mit einem regulären Ethernet-Kabel, speziell mit den Verkabelungsstandards CAT5e, CAT6 und CAT6a. Diese Kabeltypen folgen dem 1000BASE-T-Verkabelungsstandard, auch IEEE 802.3ab genannt.

Aufgrund verschiedener Faktoren wie dem Overhead des Netzwerkprotokolls, erneuten Übertragungen aufgrund von Kollisionen auf der Übertragungstrecke oder sporadischen Datenfehlern beträgt die nutzbare Datenrate unter normalen Bedingungen maximal 900 Mbit/s. Die durchschnittliche Verbindungsgeschwindigkeit variiert aufgrund vieler Faktoren wie der Hardwarestruktur des PCs, Anzahl der Clients am Router und nicht zuletzt der „Qualität“ der Ethernet-Verkabelung.

Die 1-GB-Ethernet-Schnittstelle arbeitet nach dem Standard 802.3ab-1999 (CL40) und benötigt vier Adernpaare/Kanäle zur Signalübertragung. Somit ergibt sich eine Symbolrate von 125 Megabaud (MBd) mit einer Bandbreite von 62,5 MHz pro Kanal (2 bit pro Symbol). Das GB-Ethernet-Protokoll zeichnet sich durch einige Besonderheiten aus. Der 1000BASE-T (Gigabit Ethernet) PHY führt ein Verbindungs-Konfigurationsprotokoll aus, das als Auto-Negotiation bezeichnet wird. 8-bit-Datenbytes werden in 10-bit-Codegruppen konvertiert, der 8B/10B-Code ist robust und zeichnet sich durch Eigenschaften wie Übergangsdichte, Lauflängenbegrenzung, Gleichstromausgleich und Fehlerrobustheit aus. Alle Einzel-, Doppel- und Dreifach-Bitfehler in einem Frame werden mit 100-prozentiger Zuverlässigkeit erkannt. Die Signalspannung bei 1000BASE-T beträgt durchschnittlich 750 mV differentiell, die Grenzen sind > 670 mV, < 820 mV bei einer Last von 100Ω .

Schnittstellenstruktur und erforderliche Hardware

RJ45-Schnittstellen sind für Voll-duplex-Übertragungen ausgelegt, was eine gleichzeitige Übertragung von Sende- und Empfangsdaten bedeutet. Dies ist möglich, weil der Steckverbinder vier Adernpaare umfasst, wobei immer ein Paar für eine Richtung benötigt wird (Differenzspan-

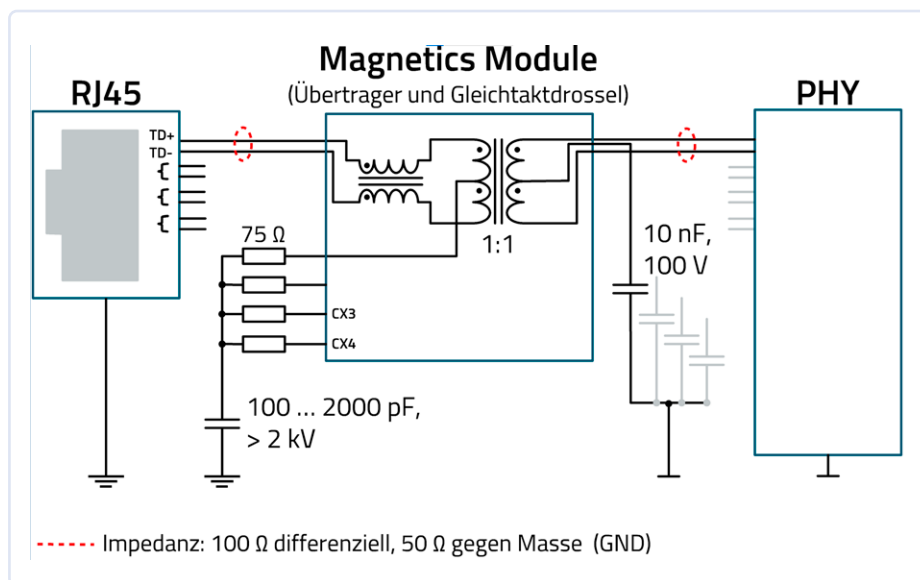


Bild 1. Prinzipschaltung einer 1-GB-Ethernet-Schnittstelle. Im Bild ist nur einer von vier Kanälen dargestellt. (Quelle für alle Bilder: Würth Elektronik eiSos)

nungsprinzip). Grundsätzlich hat UTP (unshielded twisted pair) eine Impedanz von 100 Ω und STP (shielded twisted pair) von 150 Ω (1000BASE-T: IEEE 802.3, beispielsweise Abschnitt 39). Für jeden RJ45-Anschluss wird vom IEEE-Standard eine galvanische Trennung per Übertrager gefordert. Dieser Übertrager schützt die Geräte vor Beschädigung durch Hochspannung auf der Leitung und verhindert Spannungs-Offsets, die durch Potenzialunterschiede zwischen den Geräten auftreten können. In **Bild 1** ist die Prinzipschaltung der Schnittstelle dargestellt.

Ankommend von der RJ45-Schnittstelle gelangt das Ethernet-Signal über die Gleichtakt-drossel zu den Übertragern. In **Bild 1** ist nur einer von vier Kanälen dargestellt. Der Übertrager hat eine Mittelanzapfung, die signaltechnisch betrachtet ein Nullpotenzial darstellt. Unsymmetrien wirken sich als Spannung an der Mittelanzapfung aus und werden über die 75- Ω -Widerstände, die gleichspannungsmäßig über den Kondensator entkoppelt sind, gegen Masse abgeschlossen. Der Übertrager weist ein Übersetzungsverhält-

nis von 1:1 auf. Sekundärseitig gelangt das Ethernet-Signal über die vier Kanäle zum PHY. Auch hier beträgt die Impedanz 100 Ω differenziell beziehungsweise jeweils 50 Ω gegen Masse (GND). Die Mittelanzapfung des Übertragers ist auf der sekundären Seite über Kondensatoren wechsellängsmäßig gegen Masse abgeschlossen.

1-GB-Ethernet-Adapter-Board

Das GB-Ethernet-USB-Adapter-Board ist in zwei verschiedenen Varianten verfügbar. Variante V1.0 umfasst im Bereich der Ethernet-Schnittstelle diskrete Komponenten. Das heißt, das Anpassungsnetzwerk und der Induktivitäten-Block, bestehend aus Gleichtakt-drosseln und Übertragern, sind einzelne Komponenten, die auf der Leiterplatte platziert sind (**Bild 2**). In der Variante V2.0 sind die genannten Komponenten in das Gehäuse der RJ45-Buchse integriert (**Bild 3**).

Blockschaltung im Überblick

Der USB-3.1-Gigabit-Ethernet-Controller LAN7800 verbindet die USB-Schnittstelle mit der Ethernet-Schnittstelle als „Brücke“

(**Bild 4**). Somit sind für die Beschaltung der Schnittstellen lediglich die signaltechnischen Anpassungen und Entkopplungen zu realisieren. USB-seitig wird mit einem DC/DC-Wandler die für den LAN7800 notwendige Versorgungsspannung von 3,3 V erzeugt. Der LAN7800 benötigt zur Speicherung der Firmware ein zusätzliches 4-Kbit-EEPROM.

Komponenten der Blockschaltung

Auf die folgenden Teilkomponenten, Controller, Stromversorgung und USB-3.1-Schnittstelle wird hier nur kurz eingegangen, da der Schwerpunkt dieses Artikels auf der 1-GB-Ethernet-Schnittstelle liegt.

Controller

Der LAN7800 ist ein hochleistungsfähiger USB-3.1-nach-1-GB-Ethernet-Controller mit integriertem Ethernet-PHY. Für die Onboard-Software wurde ein externes 4-Kbit-EEPROM spendiert.

Stromversorgung +5 V auf +3,3 V

Der Controller benötigt eine Versorgungsspannung von 3,3 V. Diese wird hier mit dem Linearregler TLV757P erzeugt. Der LDO (Low-Dropout-Regler) reduziert die Spannung von 5,0 V auf 3,3 V. Die Eingangs- und Ausgangselkos von 10 μ F sorgen für einen stabilen Betrieb, der X7R-Kondensator (100 nF) ausgangsseitig reduziert hochfrequente Störungen.

USB 3.1-Schnittstelle

Die Datenleitungen der USB-Schnittstelle sind mit Gleichtakt-drosseln gegen Funkstörungen und mit TVS-Diodenarrays gegen transiente Überspannungen beschaltet.

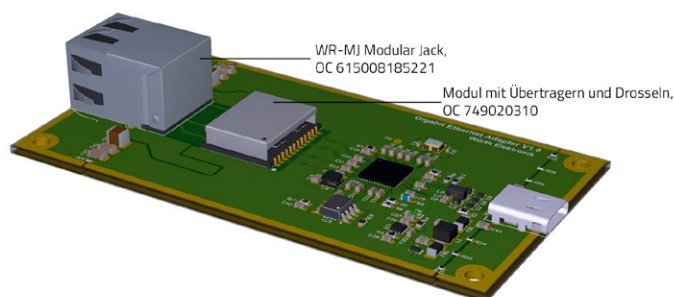


Bild 2. GB-Ethernet-USB-Adapter-Board in der diskreten Variante V1.0: Das Modul mit den Übertragern und Gleichtakt-drosseln ist neben der RJ45-Buchse platziert.

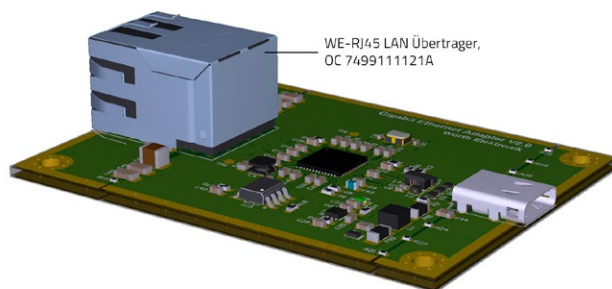


Bild 3. GB-Ethernet-USB-Adapter-Board in der diskreten Variante V2.0: Das Modul mit den Übertragern und Gleichtakt-drosseln ist in der RJ45-Buchse integriert.

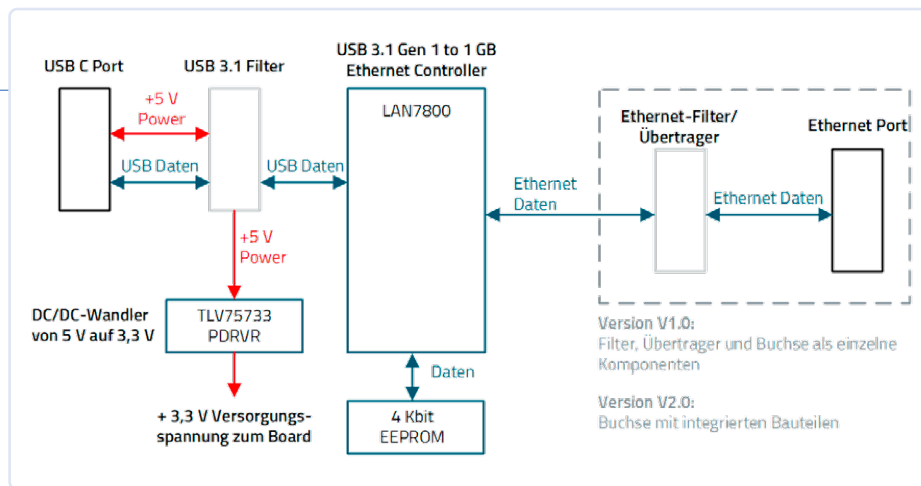


Bild 4. Blockschaltung des GB-Ethernet-USB-Adapter-Boards in beiden Varianten.

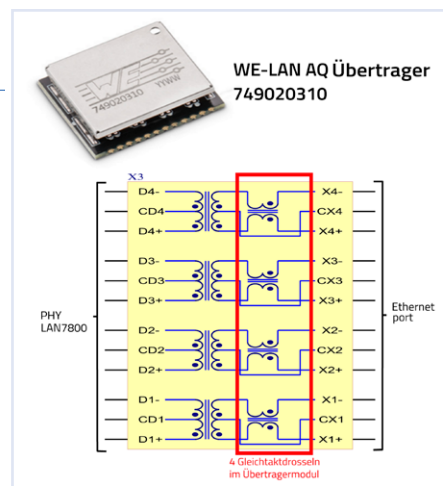


Bild 5. WE-LAN-AQ-Übertrager für die galvanische Trennung zwischen PHY und Ethernet-Netzwerk

Ethernet-Schnittstelle

Der Ethernet-Transformer (LAN-Übertrager) ist die Schnittstelle zwischen Gerät und Ethernet-Kabel. Der Übertrager sorgt für die sicherheitsrelevante galvanische Trennung zwischen Gerät und Kabel und gleichzeitig für die Impedanzanpassung, einerseits zur internen Logik, andererseits an die symmetrischen Adernpaare. Weiterhin schützt der Übertrager das Gerät vor transienten Störungen, unterdrückt Gleichtaktsignale zwischen dem Transceiver-IC und dem Kabel, sowohl vom Gerät nach außen als auch vom äußeren Kabel zur Elektronik im Gerät. Das Bauteil muss natürlich auch die Daten bis zu 1 Gbit/s breitbandig übertragen, ohne das Sendesignal wesentlich zu dämpfen. Um die Anpassung und die EMV-Anforderungen zu erfüllen, sind zusätzliche Komponenten notwendig. Es gibt zwei Ansätze, um die Schnittstelle aufzubauen:

- Der Einsatz eines fertigen Moduls, in dem die Ethernet-Buchse, der Übertrager und die Bob-Smith-Terminierung integriert sind, oben als Variante V2.0 bezeichnet.
- Ein Aufbau mit diskreter Technik, hier Variante V1.0, bei der alle Komponenten aneinander angepasst werden müssen. Diese Lösung bietet mehr Freiheitsgrade. Es ist zwar etwas mehr Designaufwand erforderlich, aber die diskrete Version ist günstiger und es können für spezielle Anforderungen Isolationsspannungen bis 6 kV erreicht werden.

1-GB-Ethernet-Front-End im Detail

Der LAN-Übertrager X3 in **Bild 5** sorgt für eine DC-Trennung zwischen der Elektronik und dem Netzwerkabel. Die Prüfspannung für den Übertrager zwischen Primär- und Sekundärseite beträgt $1.500 V_{RMS}$. Der mittlere Abgriff der primärseitigen Wicklung, also zum Ethernet Port, hat den erwähnten „Bob Smith“-Abschluss. Pro Adernpaar wird hier jeweils ein $75\text{-}\Omega$ -Widerstand zu einem „Sternpunkt“ zusammengeschaltet, das Ganze wird dann galvanisch getrennt und mittels zwei parallel geschalteten 100-pF -Kondensatoren an die Gehäusemasse angeschlossen. In der Literatur findet man häufig Kondensatoren mit einer Kapazität bis zu 2 nF , was bezogen auf den Frequenzbereich einen relativ hohen Wert darstellt. Die Kondensatoren sollten mindestens eine Spannungsfestigkeit von 2 kV haben.

Der „Bob Smith“-Abschluss wird verwendet, um Störungen zu reduzieren, die durch Gleichtaktstromflüsse verursacht werden und um die Anfälligkeit für Störungen durch unbenutzte Adernpaare am RJ45-Anschluss zu reduzieren.

Bob Smith bezog sich auf eine Impedanz von etwa $145\ \Omega$ pro Adernpaar. Aufgrund der Marktverfügbarkeit vieler verschiedener Kabeltypen, Unterschieden in den Basisimpedanzen der verschiedenen Kabeltypen und der Tatsache, dass die Kabel wegen der Verdrillung keine konstante Impedanz über die Länge aufweisen, wurden zusätzlich Gleichtakt-

drosseln implementiert (Bild 5). So sind im Modul X3 jeweils ein Übertrager und eine Gleichtakt-drossel pro Kanal zusammengeschaltet. Diese Drosseln können zwar nicht die Abweichungen der Impedanzanpassung korrigieren, verbessern aber das EMV-Verhalten deutlich. Die Beschaltung der Elemente mit passiven Bauelementen und TVS-Dioden sowie das Platinen-Layout sind im Referenz-Design RDO16 [2] detailliert beschrieben. ◀

240124-02



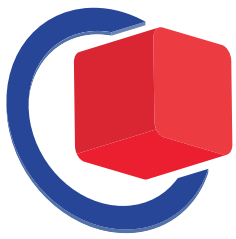
Über den Autor

Dr.-Ing. Heinz Zenkner hat Elektrotechnik mit Schwerpunkt Nachrichten- und Hochfrequenztechnik studiert und promoviert. Er ist seit vielen Jahren öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für EMV. Neben zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen betätigt er sich häufig als Autor in vielen Werken zur EMV. Zusätzlich hat Zenkner an verschiedenen Universitäten, an der IHK und an zahlreichen Seminaren als Dozent gearbeitet. Seit vielen Jahren beschäftigt er sich mit industrieller Elektronik, von der ersten Idee eines Produktes bis hin zur Serienproduktion. Sein besonderes Interesse gilt der drahtlosen Energieübertragung, zu der er theoretisch als auch praktisch eigene Konzepte entwickelt hat.

WEBLINKS

[1] Referenz-Design RD016 – Gigabit Ethernet Front-End: <https://we-online.com/RD016>

[2] Application Note ANP116 – Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV-Gesichtspunkten: <https://we-online.com/ANP116>



embedded world Exhibition & Conference

Fragen der Elektor-Redaktion

Im April wird die *embedded world Exhibition & Conference* in Nürnberg die gesamte Embedded-Community vereinen und einen unvergleichlichen Überblick über die neuesten Innovationen der Branche bieten. Wir haben Benedikt Weyerer (Geschäftsführer der *embedded world*) und Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora (Vorsitzender der *embedded world Conference*) gefragt, was die Teilnehmer von der Veranstaltung erwarten können, um die Zukunft der Embedded-Branche mitzugestalten.



► Bild 1.
Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora
(Vorsitzender der
embedded world
Conference)



► Bild 2. Benedikt Weyerer
(Geschäftsführer
embedded world)

Wie stellen Sie sicher, dass sich die *embedded world Conference* als zentraler Treffpunkt für Experten und Branchenführer entwickelt und damit in den Bereichen neue Technologie und Trends in der Embedded-Branche an der Spitze bleibt? Was erwartet die Besucher der *embedded world 2024*?

Axel Sikora: In der Tat entwickelt sich die Embedded-Community sehr schnell, und damit stellt sich die Herausforderung, nicht nur den Überblick zu behalten, sondern auch neue Anregungen zu geben. Und natürlich gibt es dazu kein einfaches Rezept, sondern es ist eine Kombination verschiedener Aktivitäten mit vielen verschiedenen Ansprechpartnern:

- Es gibt intensive Gespräche mit der Industrie, vor allem im Beirat, die helfen, ihre Ideen einzubringen.
- Wir haben ein Programmkomitee von mehr als 50 erfahrenen Expertinnen und Experten aus angewandter Forschung und Wissenschaft, die das Konferenzprogramm mitgestalten.
- Wir haben einen Lenkungsausschuss aus erfahrenen Experten, die Ideen vorantreiben und die Gesamtqualität sicherstellen.
- Darüber hinaus arbeiten wir mit mehr als 20 weltweiten Gemeinschaften und Verbänden zusammen, die Spezialisten in ihren jeweiligen Bereichen sind. Wir versuchen diese zusammenzubringen und unsere Community aus diesen einzelnen Gemeinschaften zu formen.

Networking und Wissensaustausch sind seit jeher zentrale Aspekte der Veranstaltung sowohl für Besucher und als auch Aussteller. Haben Sie für die Veranstaltung 2024 etwas Besonderes geplant, das Teilnehmern wie Ausstellern helfen wird, sich effektiv zu vernetzen und mit anderen zu interagieren?

Benedikt Weyerer: Besucher und Aussteller der *embedded world* können zum Beispiel im Ausstellerforum und bei den Expertenrunden miteinander in Kontakt treten. Im Jahr 2024 planen wir zudem erstmals ein hochkarätig besetztes Forum mit führenden Persönlichkeiten aus der *embedded world*. Ziel ist es, allgemeine Trends, übergreifende Herausforderungen und sich abzeichnende Chancen zu diskutieren und so den Nutzen der Veranstaltung zu erhöhen.



Quelle:
NürnbergMesse/
Heiko Stahl

Auch das Thema „Promotion“ ist 2024 sehr stark vertreten: Erstmals haben wir zwei Startup-Areas – in Halle 3A und Halle 5 – und ein Investorenforum. Mit diesem neuen Format schlagen wir eine Brücke zwischen der aktiven Startup-Szene in der Embedded-Community und Entscheidern aus der Fertigungs- und Anwenderindustrie, der Forschung und Entwicklung sowie der Finanzwelt (VCs).

Die Teilnehmer der *embedded world Conference* sind gespannt darauf, viele verschiedene Themen und Trends zu diskutieren, darunter Themen wie Hardware, Tools, Anwendungssoftware und IC-Design. Wenn Sie in die Zukunft blicken, was sind einige der Kernthemen oder -technologien, von denen Sie und Ihr Team glauben, dass sie überwiegend auf der Konferenz diskutiert werden?

Axel Sikora: Angesichts der Vielzahl der anhaltenden Trends ist das wirklich eine schwierige Frage! Es ist klar, dass sich die *embedded world* auf die Technologie konzentriert und nicht auf spezielle Anwendungen eingeht. Zu den Hauptthemen gehören sicherlich Legacy-Themen rund um Konnektivität in all ihren verschiedenen Varianten (von kosten- oder leistungsoptimierten kabelgebundenen Systemen bis hin zu Hochleistungs- oder Low-Power-Wide-Area-Networks), Embedded-Sicherheit, Sicherheitsfragen, neuartige CPU- und MCU-Entwicklungen (hauptsächlich rund um RISC-V), neue IC-Architekturen für künstliche Intelligenz (über die wir später sprechen werden), IC- und Board-Level-Schnittstellen, Embedded Vision und sicherlich noch vieles mehr!

Daraus ergibt sich natürlich die Diskussion über übergreifende Herausforderungen, zum Beispiel wie man mit steigender Komplexität umgeht, wie man den Anforderungen an Update- und Reparierbarkeit gerecht wird, wie man regulatorische und rechtliche Anforderungen erfüllt und auch wie man ethische Aspekte im Auge behält.

Nachhaltigkeit und Technologie sind zunehmend miteinander verwoben. Wie thematisiert die *embedded world Exhibition & Conference* die Bedeutung von Nachhaltigkeit in der Embedded-System-Branche? Können Sie uns etwas über Initiativen oder Programme erzählen, die darauf abzielen, Nachhaltigkeit und umweltfreundliche Praktiken innerhalb der Messe zu fördern?

Benedikt Weyerer: Die NürnbergMesse Group ist ständig bestrebt, Nachhaltigkeit und umweltfreundliches Handeln in allen Bereichen zu verbessern und zu fördern. So sind beispielsweise unsere Servicepartner, die für den Standbau zuständig sind, angewiesen, wiederverwendbare und langlebige Produkte, zum Beispiel umweltfreundliche Verbrauchsmaterialien zu verwenden. Darüber hinaus wird 100 % Ökostrom genutzt, um den Wasser- und Energieverbrauch kontinuierlich zu senken. Unser Ziel ist es, Innovationen anzuregen und positive Veränderungen hin zu einer nachhaltigeren Zukunft voranzutreiben.

Welche Maßnahmen und Strategien setzen Sie ein, um eine reibungslose Koordination während der Aufbauphase der *embedded world* zu gewährleisten, angesichts des logistischen Aufwands mit Hunderten von Ausstellern, die sich gleichzeitig aufstellen? Gab es in der Vergangenheit Herausforderungen?

Benedikt Weyerer: Die NürnbergMesse Group hat 2023 auf eine neue, dynamische Messelogsik umgestellt. Mit nur wenigen Klicks können Kunden ihre Zeitfenster für das Be- und Entladen buchen. Damit glättet das System die Hauptverkehrszeiten für die Ein- und Ausfahrt in den Messeraum und innerhalb der Ladehöfe und verkürzt die Wartezeiten für die Spediteure. Eine effiziente Verkehrssteuerung mit dem neuen digitalen Messelogsiksystem bietet den Lkw-Fahrern mehr Komfort, reduziert das Verkehrsaufkommen, den CO₂-Ausstoß auf den Zufahrtsstraßen zum Messegelände und spart den Speditionen Zeit und damit auch Kosten.

Welche Initiativen oder Programme gibt es, um Inklusivität und Vielfalt innerhalb der Embedded-System-Community zu gewährleisten, insbesondere im Hinblick auf die Unterstützung von Frauen in der Branche?

Benedikt Weyerer: Wir sind sehr stolz, dass unser Networking-Event *#women4ew* in die zweite Runde geht. In diesem Jahr konnten wir fünf Referentinnen aus der Tech-Branche gewinnen, die den Teilnehmern in Panel- und Tischgesprächen verschiedene Themen vorstellen werden (Anmerkung: Die Veranstaltung ist offen für alle Interessierten.). Im Anschluss gibt es Raum für Fragen, Networking und Dialog.

Was ist der *embedded award* auf der *embedded world 2024* und was ist der Unterschied zum *Community Choice Award*? Können Sie darüber hinaus zusätzliche Informationen zu den Zulassungskriterien für Unternehmen zur Teilnahme an der Auszeichnung, sowie zu den erwartenden Vorteilen für die Unternehmen nennen?

Benedikt Weyerer: Mit dem *embedded award* werden die innovativsten Produkte aus der Embedded-System-Branche ausgezeichnet. Er wird in acht Kategorien

vergeben. Die Jury hat soeben die diesjährigen Einreichungen erhalten und wählt für jede Kategorie drei Nominierte aus. Und genau darin liegt der Unterschied zum Community Choice Award, der auf #ew24 zum ersten Mal verliehen wird: Der Gewinner des Community Choice Awards wird nicht von der Jury bestimmt. Stattdessen kann die Embedded-Community unter allen Nominierten für ihren Favoriten stimmen.

Welche Trends und Entwicklungen werden Ihrer Meinung nach die Zukunft der Embedded-System-Branche in den kommenden Jahren prägen?

Axel Sikora: Neben den oben genannten Themen stehen wir vor der Herausforderung, dass es nicht ausreicht, sich nur auf ein einzelnes Thema zu konzentrieren, so komplex es auch sein mag. Wir müssen die unterschiedlichen Lösungen kombinieren, sie gegeneinander abwägen und optimale Lösungen finden, um die wachsende Komplexität von Systemen zu meistern, und das alles vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit und der zukunftsfähigen Entwicklung. Daher glauben wir auch, dass die *embedded world* eine einzigartige Veranstaltung ist, die alle verschiedenen Disziplinen auf technologischer Ebene zusammenbringt und deshalb relevanter denn je ist.

Wie wirken sich neue Technologien wie KI, IoT und Edge Computing auf die Entwicklung eingebetteter Systeme und deren Anwendungen aus?

Axel Sikora: Um ehrlich zu sein, würde ich diese Technologien nicht als neu bezeichnen, da es sie schon seit vielen Jahren und sogar Jahrzehnten gibt. Für mich sind es eher Enabling-Technologien. Lassen Sie uns Ihre Liste durchgehen.

- Edge Computing ist der Kern des „eingebetteten“ Ansatzes, bei dem Rechenressourcen in der Nähe des Sensors, des Aktuators und der Anwendung bereitgestellt werden. Klar ist aber auch, dass wir zusammen, im Teamplay, mit einem flexiblen und leistungsstarken Partner aus dem Cloud Computing neue Architekturen und Lösungen erzielen. Für mich ist der sich abzeichnende Trend hier eher das, was wir „Fog Computing“ oder „Liquid Computing“ nennen, bei dem die verschiedenen Ressourcen flexibel und dynamisch genutzt werden können.
- Auch hierfür (aber sicher nicht nur) ist das „Internet of Things“ oder „Embedded Connectivity“ eine Enabling-Technologie. Wir haben sie seit etwa 25...30 Jahren auf der Tagesordnung. Sie sind also schon sehr gereift, aber sie sind sicherlich immer noch revolutionär und innovativ.
- Wenn es um KI geht, möchte ich hervorheben, dass die Vorläuferversammlung der *embedded world* in den 1990er Jahren als „eingebettete Intelligenz“ bezeichnet wurde. Damals war es jedoch eher Fiktion, während wir heute in die Realität



embedded world

Exhibition & Conference

9.–11. April 2024 - Nürnberg, Deutschland

www.embedded-world.de

(Quelle: NürnbergMesse)

Elektor auf der
embedded world:
Halle 5-181

der „eingebetteten KI“ einsteigen, mit unvorhergesehener Rechenleistung an der Edge, aber auch im Zusammenspiel mit der Cloud.

- Interessanterweise sind alle drei Enabling-Technologien voneinander abhängig und treiben sich gegenseitig an: Moderne Embedded-Systeme verbinden intelligente Edge-Geräte mit Cloud-basierter, vollwertiger KI. ◀

240055-02

Über Benedikt Weyerer

Den Weg zur NürnbergMesse fand Benedikt Weyerer eher zufällig. Bevor er zur *embedded world Exhibition & Conference* kam, war er im Eventmanagement tätig und gestaltete das Kultur- und Nachtleben in Bayern und Österreich mit. Auch heute noch profitiert die Embedded-Community von dieser Erfahrung, zum Beispiel bei den legendären Ausstellerpartys am ersten Messetag.

Der gelernte Betriebswirt musste sich zunächst in der Embedded-Branche zurechtfinden. „Am Anfang wusste ich sehr wenig über eingebettete Systeme. Aber ich habe in Prof. Matthias Sturm, unserem ehemaligen Fachberater, einen tollen Mentor gefunden, der mir mit einer erstaunlichen Ruhe und Gelassenheit Wissen vermittelt und alle meine Fragen beantwortet hat“, sagt Weyerer und lacht. „Ohne ihn wäre ich nicht so schnell in diese Branche hineingewachsen.“ Gemeinsam mit dem Event-Team organisiert er seit mehr als zehn Jahren die *embedded world Exhibition & Conference*.

Über Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora

Dr.-Ing. Axel Sikora ist Professor an der Hochschule Offenburg, wo er das Institut für Zuverlässige Eingebettete Systeme und Kommunikationselektronik gegründet hat und derzeit leitet. Darüber hinaus ist er stellvertretendes Vorstandsmitglied der *Hahn-Schickard Association of Applied Research*, einem bedeutenden Forschungsinstitut für Mikrosystemtechnik, wo er den Geschäftsbereich Software Solutions leitet. Er ist maßgeblich an mehreren Technologie-Spin-offs beteiligt. Seit vielen Jahren ist er Vorsitzender der jährlich stattfindenden *embedded world Conference*, der weltweit größten Veranstaltung zum Thema, die nach 20 Jahren in Nürnberg nun auch auf Shanghai und Austin ausgeweitet wird.

12-Bit-Oszilloskope von Siglent

Hochwertige Signalanalyse auf jedem Labortisch

Quelle: Adobe Stock / @ALEXEY FILATOV @ARAMYAN

Ein Beitrag von Siglent

Siglent ist stolz, drei neue Serien von Oszilloskopen auf einmal vorstellen zu können. Diese Geräte wurden entwickelt, um die Signaltreue und Visualisierung sowie die Analyse von erfassten Signalen zu verbessern. Die neuesten Ergänzungen vervollständigen das Sortiment an Oszilloskopen, welche alle mit fortschrittlichen 12-Bit-Analog-Digital-Wandlern (ADCs) ausgestattet sind und den Fokus auf Signalqualität legen. Das nun vervollständigte Angebot hochauflösender Oszilloskope bietet Bandbreiten von 70 MHz bis 4 GHz und erfasst Signale mit einer hervorragenden Integrität. Die Anwendungsbereiche erstrecken sich über Leistungselektronik, EMV- und Frequenzanalyse und Embedded Design.

Entwickelt für Signalqualität

Die neuen Geräte bieten eine Kombination aus geringem Rauschen, Linearität und Kanalisolation, die dem Entwickler am Arbeitsplatz Leistungsfähigkeit und Mehrwert liefern. Der SDS800X HD (**Bild 1**) und der SDS1000X HD (**Bild 2**) sind typischerweise auf nur 70 μ Vrms Rauschen bei 200 MHz Bandbreite spezifiziert [1][2]. Bei allen hochauflösenden Oszilloskopen von Siglent ist der DC-Verstärkungsfehler auf

1,5 % spezifiziert, wobei die Bereiche ≥ 5 mV/div eine grundsätzliche Genauigkeit von 0,5 % aufweisen. Die SDS3000X HD-Serie (**Bild 3**) bietet eine Kanal-zu-Kanal-Isolierung von bis zu 60 dB [3]. Ab 70 MHz und höher können Ingenieure, die schwierige Herausforderungen bei der Entwicklung lösen müssen, dank Siglents Fokus auf Signalqualität und Design jetzt eine hohe Leistungsfähigkeit zu einem fairen Preis erhalten.

Visualisierung

Um die Vorteile der hochauflösenden vertikalen Erfassung zu maximieren, ermöglichen die Oszilloskope von Siglent bei Live-Signalen das gleichzeitige Zoomen in horizontaler und vertikaler Richtung. Gepaart mit dem Vorteil der hohen Speichertiefe, ermöglicht dies eine umfassende Analyse und bringt zahlreiche Erkenntnisse zum Vorschein, die normalerweise verborgen bleiben. Dies wird auch durch die vertikalen Messbereiche unterstützt, die hohe Offsets zulassen. All dies ermöglicht es den Entwicklern, kleine Signalanomalien auch auf höheren Potentialen zu entdecken, indem die Erfassung auf kleinere Bereiche fokussiert werden kann und diese Signalteile in den Fokus rücken. Die Kombination aus Messbereichseinstellung und Zoomfähigkeit gibt einem Ingenieur unübertroffene Möglichkeiten, kleine Signaldetails anzuzeigen und zu analysieren. Für die Visualisierung von Signalen im Frequenzbereich kann aus den rauscharmen 12-Bit-Daten und der „Deep-Memory-FFT“ das Spektrum errechnet werden. Dies bringt weitere Einsichten, welche den Entwickler beim Debuggen und Analysieren von Signalen unterstützen.

Umfangreiche Funktionalität

Ein zusätzlicher hochauflösender Modus namens ERES sorgt für noch mehr Rauschunterdrückung und Flexibilität. Das Äquivalent von bis zu vier zusätzlichen Bits Auflösung steht beim SDS3000X HD zur Verfügung. Durch die Nutzung der hohen Abtastrate und des großen Speichers verbessert dieser Modus die Rauschleistung auf Kosten der Bandbreite weiter, sodass Ingenieure die Leistung ihres Oszilloskops für jede Anwendung optimieren können.

Alle Modelle sind mit mehr als 50 automatisierten Messungen ausgestattet, unterstützen gleichzeitige mathematische Operationen auf vier Kanälen und verfügen über einen Formeleditor, der auch verschachtelte Berechnungen unterstützt. Darüber hinaus sind alle drei Oszilloskop-Serien mit Funktionen wie Maskentest, Bode-Plot, Leistungsanalyse, Suche und serielle Dekodierung ausgestattet. Optional können 16 digitale Kanäle hinzugefügt werden, um die Analyse von Mixed-Signal-Designs zu ermöglichen. Zusammen mit dem isolierten Signalgenerator SAG1021I von Siglent oder einem beliebigen Arbiträr-funktionsgenerator von Siglent kann mit Hilfe des Bode-Plots zum Beispiel der Frequenzgang eines zu testenden Objekts erstellt werden. Ferner können Verstärkung und Phasenlage an allen Punkten der Messkurve leicht ermittelt werden. Mittlerweile kann der gesamte Bode-Plot mithilfe der Datenliste, der Cursormessung und der automatischen Messfunktionen detailliert analysiert werden.

Alle drei neuen Oszilloskope verfügen über hochauflösende Touchscreens (7 Zoll oder 10,1 Zoll), erweiterte Remotesteuerung per Webserver und Datenfunktionen für Netzwerklawerke. Die Kombination aus einer intuitiven Benutzeroberfläche mit mehreren Ein-Knopf-Bedienungen auf der Vorderseite und nahtlosem Fernzugriff verbessert die Betriebseffizienz in jedem Anwendungsmodus erheblich.

In Kombination mit unseren Serien SDS2000X HD und SDS7000A verfügt Siglent über das derzeit breiteste und umfassendste Portfolio an hochauflösenden Oszilloskopen im Bereich von 70 MHz bis 4 GHz. Der Fokus auf Signalqualität, Visualisierungstools und -funktionen bedeutet, dass Siglent unabhängig von der Anwendung leistungsstarke Oszilloskope anbietet, die Signaltreue zu einem unglaublichen Preis liefern. ◀

240146-02



Bild 1. Digitales Speicheroszilloskop SDS824X HD mit einer Bandbreite von 200 MHz und 4 Kanälen.



Bild 2. Das Digitalspeicheroszilloskop SDS1204X HD mit einer Bandbreite von 200 MHz und, dank vier analogen sowie 16 digitalen Kanälen, hervorragender Mischsignal-Analysefähigkeit.



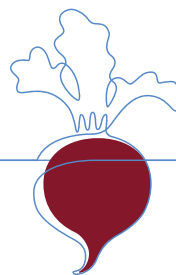
Bild 3. Digitales Speicheroszilloskop SDS3104X HD mit einer Bandbreite von 1 GHz und vier analogen plus 16 digitalen Kanälen für die Hochleistungs-Mischsignalanalyse.

WEBLINKS

[1] SDS800X HD: <https://siglenteu.com/digital-oscilloscopes/sds800x-hd-digital-storage-oscilloscope>

[2] SDS1000X HD: <https://siglenteu.com/digital-oscilloscopes/sds1000x-hd-digital-storage-oscilloscope>

[3] SDS3000X HD: <https://siglenteu.com/digital-oscilloscopes/sds3000x-hd-digital-storage-oscilloscope>



Powerline Communication für die Elektromobilität

Neues PLC-Modul RED-BEET-x 2.0 auf QUALCOMM Basis

Von Christian Nick (Codico)

Codico und 8devices haben eine neue Serie von Modulen entwickelt, die auf Qualcomms neuestem PLC-Chip – dem QCA7006AQ – basieren und den Anforderungen von Elektrofahrzeug-Ladeanwendungen (sowohl für EV als auch EVSE) gerecht werden.

Das HomePlug Green PHY PLC-Modul bietet verbesserte Funktionen, darunter einen erweiterten Betriebstemperaturbereich, AOI während der Produktion und den neuesten Qualcomm Chip. Zusätzlich wird ein neues Evaluationsboard bereitgestellt, um Einsteigern den Start zu erleichtern und etablierten Benutzern die Anpassung ihres nächsten Designs an die erweiterten Funktionen zu ermöglichen.

Internationale Normen ISO/IEC 15118, DIN 70121 und SAE J2847/2 legen die Verwendung von HomePlug Green PHY für die Identifikation, das Laden sowie den Austausch von Abrechnungsinformationen über PnC (Plug and Charge) für AC- und auch für DC-Ladung fest. Gleichzeitig wurde dies für Anwendungen mit bidirektionalem Leistungstransfer (BPT) erweitert.

RED-BEET-X 2.0 (**Bild 1**) ist ein universelles Powerline-Kommunikationsmodul, das dem Benutzer SPI- und Ethernet-Schnittstellen zur Verfügung stellt, um Anwendungen mit höheren Datenraten für HomePlug AV (HPAV) Konnektivität getrennt von HomePlug Green PHY (HPGP) Kommuni-

kation zu ermöglichen. Es bietet das beste Analog-Front-End Rauschverhalten seiner Klasse, Wärmemanagement mit einer maximalen Betriebstemperatur von +105 °C (Umgebungstemperatur) und hohe Qualität durch automatische optische Inspektion während der Herstellung. RED-BEET-x 2.0 bietet, wie seine Vorgänger, ein Wärmeleitpad, um die Wärme vom QCA-Chip nach außen abzuleiten.

Das Modul ist in drei verschiedenen Versionen erhältlich und eignet sich trotz des primären Fokus auf eMobility (EVSE und

PEV) auch perfekt für Smart Grid, Smart Meter, IoT und andere Anwendungen im Bereich der Gebäude-Kommunikation.

> RED-BEET-E 2.0

für Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) – entweder SPI- oder ETH vorkonfiguriert

> RED-BEET-P 2.0

für Plug-in Electric Vehicle (PEV) - entweder SPI- oder ETH vorkonfiguriert

> RED-BEET-H 2.0

für IoT, Smart Grid/Meter, Long Range PLC - ETH vorkonfiguriert

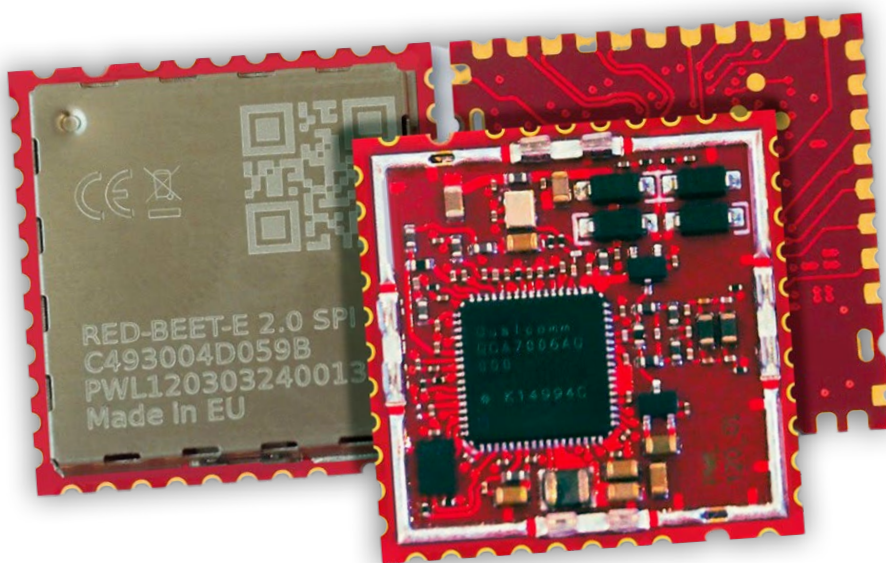


Bild 1. RED-BEET-E 2.0 für Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE).

Alle Module basieren auf dem Qualcomm QCA7006AQ-Chip, der neben der bekannten SPI-Schnittstelle nun auch eine 10/100 Ethernet PHY-Schnittstelle ermöglicht und die Fähigkeit besitzt, sowohl HomePlug AV Firmware als auch HomePlug Green PHY auszuführen. Dieser Chip erfüllt alle Anforderungen der ISO 15118-3 und DIN 70121 Standards für PLC-Anwendungen.

Highlights

- › Basierend auf dem Qualcomm QCA7006AQ All-in-One HPGP/HPAV PLC Chip
- › Entspricht den Normen ISO 15118-3, HPGP und HPAV
- › Vollständige Interoperabilität mit Produkten nach IEEE 1901-Spezifikationen
- › Verwendet OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) und deckt ein Frequenzspektrum von 1,8 MHz bis 30 MHz ab (2 MHz bis 28 MHz in abstrahlenden Leitungen und in der Elektromobilität)
- › Erweiterte PHY-Rate 9,8 Mbps über HPGP (QPSK) und 200 Mbps über HPAV (16, 64, 256, 1024 QAM)
- › Host-Schnittstellen SPI-Slave, Ethernet mit integriertem 10/100 Ethernet PHY, UART
- › Erweiterter Betriebstemperaturbereich: -40 °C bis +105 °C (Umgebungstemperatur)
- › Automotive Grade Komponenten auf dem Modul verwendet
- › Serial Flash mit aktueller HPAV/HPGP Firmware und Konfigurationsdatei (PIB)
- › Verfügbare Konfigurationen EVSE, PEV und IoT/Home Control
- › Stromversorgung 3,3 V DC mit integrierter On-Chip Power Management Einheit
- › Leistungsaufnahme ca. 1 W (SPI) / 1,2 W (Ethernet) (beide bei +25 °C)
- › -95 dBm Analog Front End Rauschverhalten
- › 23,3×23,3 mm, 40-Pin-Gehäuse
- › Halbe Durchkontaktierungen (Vias) zur Ermöglichung von AOI auf dem Host-PCB, verbesserte mechanische Stabilität, vereinfachtes Testen
- › Optische Inspektion zur Verbesserung der Produktqualität

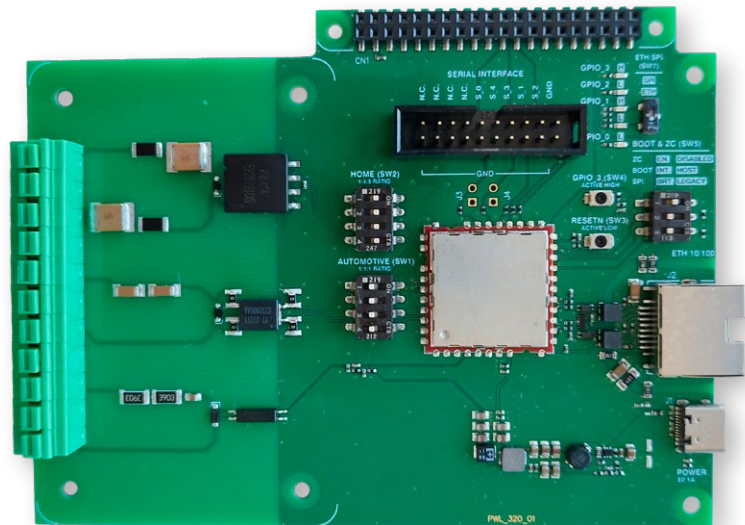


Bild 2. RED-BEET-EVAL-BOARDs für alle Varianten dieser Module.

- › Abnehmbare geklemmte EMV-Abschirmung
- › Lasergravierte Markierung
- › Firmware & Konfiguration auf dem Modul im Serien-Flash
- › Langfristige Verfügbarkeit

Die auf dem Modul verbauten Komponenten erfüllen die Automotive-Qualifikationen AEC-Q100/200, wodurch es selbst für anspruchsvolle Anwendungen im Automobilbereich geeignet ist. Muster sind im Sample Shop von Codico erhältlich.

Die EVSE/PEV-Module werden vorkonfiguriert geliefert, entweder für die Verwendung von SPI- oder Ethernet-Schnittstellen, während die Home-Control (-H) Version Ethernet-vorkonfiguriert sein wird. Zusätzlich können Codico und 8devices neue RED-BEET-EVAL-BOARDs für alle Arten dieser Module bereitstellen (**Bild 2**).

Die Boards verfügen über eine Leitungsanpassung für EV-Charging Anwendungen. Ein Standard-20-Pin-Header-Anschluss steht für die Verbindung zu einem externen Mikrocontroller über SPI zur Verfügung. Dadurch kann man z. B. das Raspberry Pi-Board direkt einstecken, um Flachkabel oder Drähte zu vermeiden.

Für EVSE/PEV bieten diese Boards die Möglichkeit, zwischen dem 1:1:1 Übertrager oder dem 1:1- Übertrager mit auffallend kleinerer Größe zu wählen. Beide Übertrager sind auch im Portfolio von Codico erhältlich. Für Home Control ist das Board mit dem bekannten 1:5:4 Übertrager ausgestattet.

RED-BEET-EVAL-BOARD-E/P 2.0 ist für Anwendungen im Bereich der Elektromobilität konfiguriert, für EVSE & PEV gemäß ISO/IEC15118-3, DIN 70121 und SAE J2847/2.

› RED-BEET-EVAL-BOARD-E 2.0

Für Elektrofahrzeug-Ladeinfrastruktur - EVSE, vorab konfiguriert für ETH

› RED-BEET-EVAL-BOARD-P 2.0

Für Plug-in-Elektrofahrzeuge - PEV, vorab konfiguriert für ETH

› RED-BEET-EVAL-BOARD-H 2.0

Für IoT, Smart Grid/Meter, PLC mit großer Reichweite, vorab konfiguriert für ETH

Alle Produkte sind im Codico Sample Shop erhältlich [1].

Sie wollen mehr erfahren? Besuchen Sie uns von 9.-11. April auf der embedded world 2024 in Halle 3A, Stand 211.

240151-02

WEBLINKS

- [1] Codico Sample Shop: <https://codico.com/shop>

Profil- kühl- körper

Effizientes Thermomanagement
für leistungsstarke Lichtquellen

Ein Beitrag von CTX Thermal Solutions

Bei der Kühlung seiner jüngsten Beleuchtungslösung für Mikroskopieanwendungen und Multispektralkameras verlässt sich die Leistungselektronik Jena GmbH auf extrudierte Kühlkörper von CTX.

Moderne Mikroskopieanwendungen benötigen leistungsstarke Lichtquellen zur Beleuchtung des zu analysierenden Trägermaterials. Auch bei der multispektralen Bildgebung, die für das menschliche Auge Unsichtbares mithilfe unterschiedlicher optischer Filter, Subpixelstrukturen oder speziellen Prismen sichtbar macht, wird eine Beleuchtung in den entsprechenden Wellenlängenbereichen benötigt. Eine solche Hochleistungsleuchte, die für beide Anwendungen besonders gut geeignet ist, ist die kompakte 2-Kanal-LED-Fluoreszenz-Lichtquelle luxyr LED MAGNA (Magna) der Leistungselektronik Jena GmbH (LEJ) (Bild 1) [2]. Das Thüringer Unternehmen ist spezialisiert auf Beleuchtungs- und Leistungselektronik-Lösungen für die Mikroskopie, Halbleiterindustrie, Analytik, Bildverarbeitung und Medizintechnik und realisiert seit über 30 Jahren OEM-Produkte auf höchstem technischem Niveau für namhafte Markenhersteller auf der ganzen Welt. Auch zwei Eigenmarken gehören zum Portfolio der Thüringer. Unter dem Namen LUXYR werden Lichtquellen für anspruchsvolle Beleuchtungsaufgaben vermarktet. Hinter der Markenbezeichnung AMPYR verbergen sich Geräte für die schnelle, zuverlässige Stromversorgung von unterschiedlichsten Lichtquellen.

Die kompakte und mobile Lichtquelle Magna unterstützt sowohl die simultane als auch die separate Lichtausgabe im UV-Wellenlängenbereich und im Bereich des visuellen Lichts – je nach Bedarf – und kann auf Anfrage mit weiteren LED-Typen in anderen Wellenlängenbereichen ausgestattet werden. Anders als vergleichbare

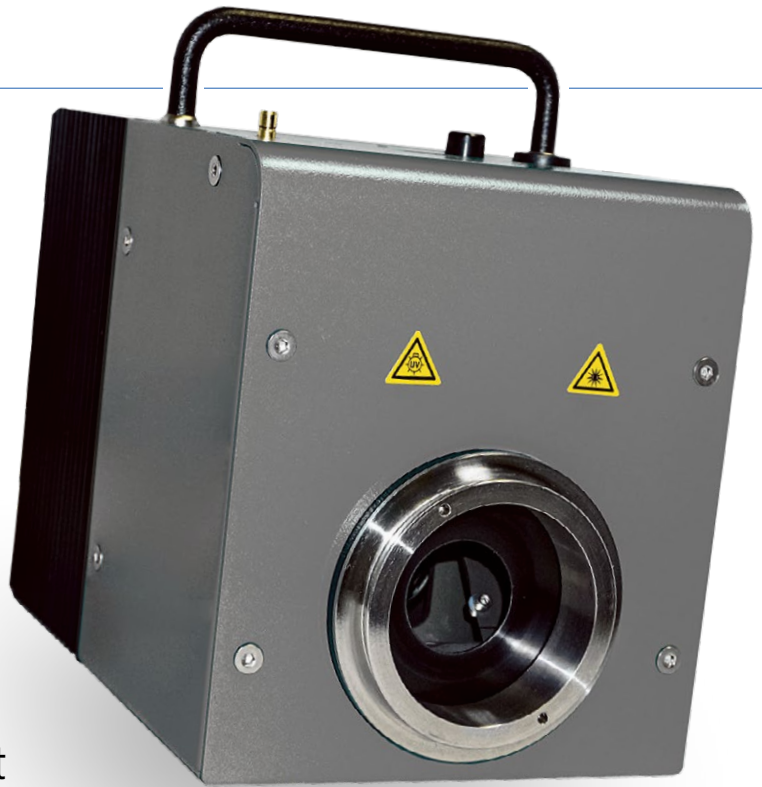


Bild 1. Die kompakte 2-Kanal-LED-Fluoreszenz-Lichtquelle luxyr LED MAGNA unterstützt sowohl die simultane als auch die separate Lichtausgabe im UV- und VIS-Bereich. (Bild: Leistungselektronik JENA GmbH)

Produkte gestattet sie die direkte Einkopplung in Mikroskope. Aufgrund der verwendeten LED-Technologie ist die ausgegebene Lichtintensität sehr hoch und die Magna in der Fluoreszenz-, Hellfeld- und Dunkelfeld-Mikroskopie sowie in der Forensik und der Multispektralen Bildgebung eine echte Alternative zu klassischen Halogen- und Kurzbogen-Kaltlichtquellen.

Profilkühlkörper sichert Funktion

Dafür, dass sich der Kühlkörper trotz hoher Leistung möglichst wenig erwärmt, sorgt pro Lichtquelle ein auf diese Anwendung hin designter, schwarz eloxierter Aluminiumprofilkühlkörper (Bild 2). Der Strangkühlkörper mit neun Kühlrippen führt die Verlustleistung zuverlässig ab und ist als sichtbarer Teil der Lichtquelle auf deren Rückseite montiert. Er misst 106×122×83 mm (L×B×H) und macht damit die Hälfte des Gerätevolumens aus [3].



Bild 2. Der schwarz eloxierte Aluminiumprofilkühlkörper ist ein sichtbares Designelement der luxyr LED MAGNA. (Bild: Leistungselektronik JENA GmbH)

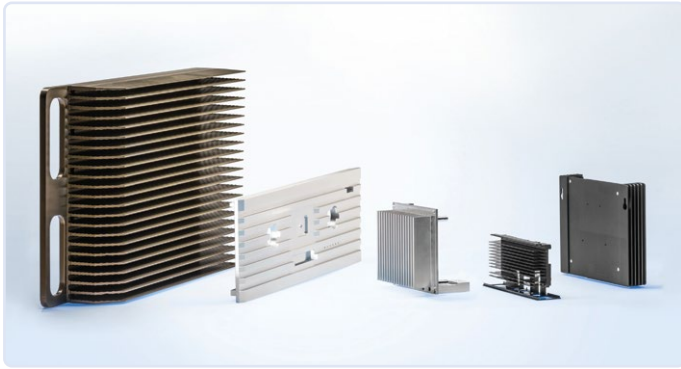


Bild 3. Das Profilkühlkörper-Portfolio von CTX umfasst sowohl Strangkühlkörper auf der Basis von Standardprofilen als auch kundenindividuelle Extrusionskühlkörper. (Bild: CTX Thermal Solutions)



Bild 4. Leistungselektronik effektiv und effizient kühlen – mit Kühllösungen von CTX. (Bild: CTX Thermal Solutions)

Lieferant der Kühlkörper ist die CTX Thermal Solutions GmbH (**Bild 3**) [1]. Da es, abhängig von der Ausrichtung der Lichtquelle am Mikroskop, zwei Varianten der Hochleistungsleuchte gibt, existieren auch zwei verschiedene Ausführungen des Kühlkörpers – eine mit vertikalen und eine mit horizontalen Rippen. Entsprechend variiert die Anordnung der Bohrungen zur Befestigung des Kühlkörpers an der Leistungselektronik der Lichtquelle.

Oberflächenveredelung dient nicht nur der Optik

Der Nettetaler Spezialist für Thermal Management fertigt die extrudierten Kühlkörper nach Zeichnungsvorgabe durch LEJ und veredelt sie mit einer schwarzen Eloxalbeschichtung gemäß DIN17611-E1/EV6-10. Allerdings ist auch jede andere, zum jeweiligen Corporate Design passende farbliche Lackierung, Pulver- oder Eloxalbeschichtung möglich. Dabei dient eine farbliche Oberflächenveredelung nicht nur optischen Zwecken. Besonders dicke Eloxalschichten schützen beispielsweise vor Korrosion, wenn ein Kühlkörper als sichtbarer Geräteteil (oder ein kühlendes Gehäuse) aggressiven Umweltbedingungen ausgesetzt ist. Schwarze Lackierungen, die auch im Infrarotbereich schwarz erscheinen, verbessern die Wärmeabstrahlung des Kühlkörpers. Ist ein Kühlkörper wie im Fall der Magna ein Designelement des Geräts, kommt der einwandfreien Qualität der Oberflächengestaltung eine besondere Bedeutung zu.

Umfassende Beratung und thermische Simulation

Für seinen Kunden LEJ realisierte CTX die benötigten Kühlkörper nach Zeichnungsvorgabe (**Bild 4**). Doch nicht immer ist im Vorhinein klar, welche Kühllösung für die jeweilige Anwendung die richtige ist. Dann berechnen die Experten für das Thermalmanagement von Leistungselektronik den optimalen Kühlkörper bzw. eine passgenaue Kühllösung mit Hilfe einer thermischen Simulation. Basis für die Berechnung sind die Kundenanforderungen und die thermodynamischen Randbedingungen des Systems. Dazu zählen das Design und die zu erwartende Wärmeentwicklung des elektronischen Bauelements, an dem die Verlustleistung auftritt. Auch die Größe des vorhandenen Bauraums sowie die für einen sicheren Betrieb maximal zulässige Oberflächentemperatur des Bauteils werden als Simulationsparameter berücksichtigt. Auf

diese Weise ist schnell ersichtlich, ob ein klassischer Profilkühlkörper die Lösung ist, eine Kombination aus Hochleistungskühlkörper und Lüfter oder ob die Wärmeentwicklung so hoch ist, dass sie sich nur mit einem Flüssigkeitskühlkörper oder einer Heatpipe-Lösung rasch genug abführen lässt. Auch thermische Probleme sind mit einer Simulation frühzeitig erkennbar – so können mehrere Prototypen- und Versuchsdurchläufe während der Entwicklungsphase eingespart werden. Gleichzeitig trägt die Optimierung des Kühlkörperdesigns mithilfe der thermischen Simulation zu einer Reduktion von Kühlkörpermaterial und -gewicht und damit von Kosten bei.

Individueller Logistik- und Lagerservice

Der OEM-Produzent aus Jena bevorratet die benötigten Kühlkörpermengen im eigenen Lager. Für Kunden, die das nicht können oder wollen, übernehmen die Nettetaler Kühlkörperspezialisten auf Wunsch die Lagerhaltung inklusive der gesamten logistischen Abwicklung und liefern nur die jeweils benötigten Stückzahlen just-in-time aus. Grundlage für diesen individuellen Logistikservice sind optimierte Lieferketten und ein unterbrechungsfreier Warenfluss. Um dies zu gewährleisten, nutzt CTX sämtliche Transportmöglichkeiten, betreibt in Nettetal ein großes Reservelager und beliefert Konsignations- und Sicherheitslager. Überdies bietet das Unternehmen seinen Kunden die Nutzung und Pflege ihrer Logistikportale sowie die Integration in deren Kanban-Systeme an. Die Zusammenarbeit der beiden Firmen begann 2010 mit einem kleinen Auftrag für Extrusionskühlkörper. In den Folgejahren lieferten die Nettetaler regelmäßig nach Zeichnungsvorgabe gefertigte Profilkühlkörper auf Basis existierender Extrusionswerkzeuge nach Thüringen – u. a. für die LQ-LED 8-Kanal Mehrkanal-LED-Faserlichtquellen. Die erfolgreiche Zusammenarbeit hat sich bewährt. ◀

240162-02

Die luxy LED MAGNA auf einen Blick

- › Leistungsstarke UV- / VIS-LED-Lichtquelle für trockene, geschlossene Räume
- › Geräuschloser und vibrationsfreier Betrieb
- › Direkte Mikroskopeinkopplung
- › Pulsbetrieb mit TTL-Trigger bis 100 kHz möglich
- › Verschiedene LED-Typen / -Spektrien möglich

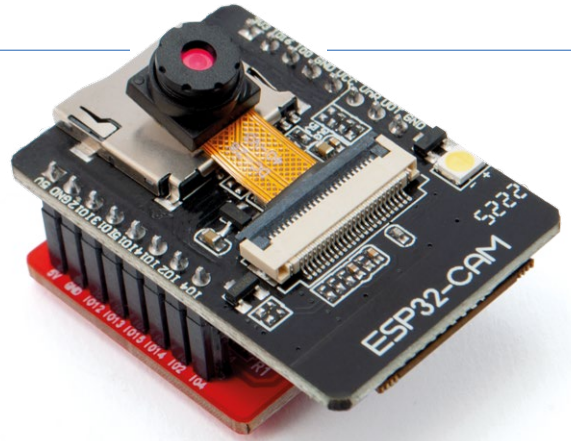
WEBLINKS

[1] CTX Webseite: <https://ctx.eu/>

[2] Leistungselektronik Jena: <https://lej.de/>

[3] Profilkühlkörper von CTX: <https://www.ctx.eu/produkte/kuehlkoerper/profilkuehlkoerper>

ESP32-CAM-Programmer



Passe Dein Modul mit einem preiswerten Tool an

Von Boris Landoni (Italien)

„Einfach und preiswert“ bedeutet nicht immer „ineffektiv“! Das einfache, aber clevere Programmierprojekt lässt sich via USB anschließen und ermöglicht es, die von Espressif veröffentlichten Bibliotheken für die Programmierung über die Arduino-IDE umfassend zu nutzen. Es macht die ESP32-CAM auch für diejenigen zugänglich, die nie vorhatten, ein eigenes Entwicklungssystem zu kaufen.

Das ESP32-CAM-CH340 Entwickler-Board ist eine spezielle Version des beliebten ESP32, ein Entwicklungs- und Prototyping-Board, das auf einem ESP32-SoC (System-on-Chip) basiert. Es besitzt eine Zwei-Megapixel-Kamera (OV2640) mit einstellbarer Bildrate und einem Steckplatz für eine bis zu 4 GByte große miniSD-Speicherkarte. Zudem gibt es einige per Firmware konfigurierbare GPIO-Leitungen zur Anbindung an die Außenwelt. Ferner enthält das Board Anschlüsse für die gängigsten Kommunikationsschnittstellen. Zur Ausstattung gehört auch eine helle LED, die sich beim Fotografieren als Blitz oder beim Filmen als Beleuchtung nutzen lässt. Der Programmer ist im Grunde eine Platine, die das ESP32-CAM-Modul aufnehmen und via USB mit einem PC verbinden kann, um Sketche und möglicherweise einen Bootloa-

der zu laden. Die Platine können wir sowohl als physischen als auch als elektronischen Adapter sehen. Sie ermöglicht die Anpassung der nativen UART-Schnittstelle des Moduls an die gängigere sowie vielseitigere USB-Schnittstelle und verarbeitet einige Steuersignale wie RTS und DTR. Damit wird praktisch umgesetzt, was sonst durch die Verbindung der seriellen Schnittstelle (TXD/RXD) der ESP32-CAM mit einem der klassischen USB-zu-Seriell-Wandlermodul erreicht wird. Gleichzeitig wird das Problem der Spannungsanpassung auf dem Board gelöst.

Das Schaltbild

Wir können diese Details deutlicher sehen, wenn wir den Schaltplan in **Bild 1** analysieren. Er besteht aus dem IC U1, einem Seriell-USB-Wandler vom Typ CH340C, der auch in einigen nicht originalen Arduino-Boards verwendet wird. Der CH340 ist ein Konvertierungschip vom USB-Bus zum klassischen bidirektionalen seriellen DB9-Anschluss. Der CH340 unterstützt den Full-Speed-USB-Modus gemäß der USB-2.0-Spezifikation. Implementierung und Konfiguration sind einfach, da er nur einen Transistor und zwei externe Kondensatoren zur Taktung benötigt, aber auch mit seinem internen Oszillator arbeiten kann. Die serielle Hardware-Schnittstelle ist voll-duplex und unterstützt verschiedene Baud-Raten von 50 Bit/s bis zu 2 MBit/s. Sie arbeitet im DTE-Modus (Data Terminal Equipment) und verfügt über die folgenden Signale, die sich für die Steuerung von Standard-DCE-Modems (Data Communication Equipment) eignen:

➤ RTS (Request To Send): Ausgang, der von der DEE verwendet wird, um das angeschlossene Gerät (in der Regel eine Datenübertragungseinrichtung DÜE) aufzufordern, Daten zu senden.

Die RTS-Leitung wird mit dem CTS des angeschlossenen Geräts verbunden.

- DTR (Data Terminal Ready): Zeigt der DÜE an, dass das Terminal für die Kommunikation bereit ist.
- DCD (Data Carrier Detect / Datenträgererkennung): Zeigt an, dass der von Kommunikationsdaten modulierte Träger erkannt wurde.
- RI (Ring Indicator): Wird von Modems benutzt, um den Computer (oder ein anderes DEE-Gerät) darauf hinzuweisen, dass ein Anruf aus dem öffentlichen Telefonnetz (PSTN) eingeht.
- DSR (Datensatz bereit / Data Set Ready): Wird benutzt, um der DEE anzuzeigen, dass Daten bereit sind.
- CTS (Clear To Send): Wird von der DÜE verwendet, um dem Endgerät (DEE) mitzuteilen, dass die Datenübertragung beginnen kann.

Wie Sie im Schaltplan sehen, werden von diesen Signalen RTS und DTR verwendet, die mit Hilfe von T1 und T2 Q1 das ESP32-CAM-Modul ein- und ausschalten und die IO0-Leitung an Pin 14 auf Low setzen. Dadurch wechselt das Modul in den Programmiermodus. Für die Programmierung benutzen wir natürlich den bidirektionalen TX-RX-Datenkanal des UART-Ports des Moduls. Die USB-Seite von U1 ist mit dem USB-C-Stecker (männlich, für Platinenmontage) verbunden, um die DP- und DN-Bus-Signale zum und vom Konverter zu übertragen. Da wir uns für einen USB-C-Stecker entschieden haben und über ein IC verfügen, das USB 2.0 unterstützt, haben wir die Verbindung gemäß dieses Protokolls konfiguriert. Sie sehen also, dass die Leitungen DP1 und DP2 verbunden sind, ebenso wie DN1 und DN2. Die Verbindungen zwischen diesen Pins lassen sich darauf zurückführen, dass der USB-C-Stecker

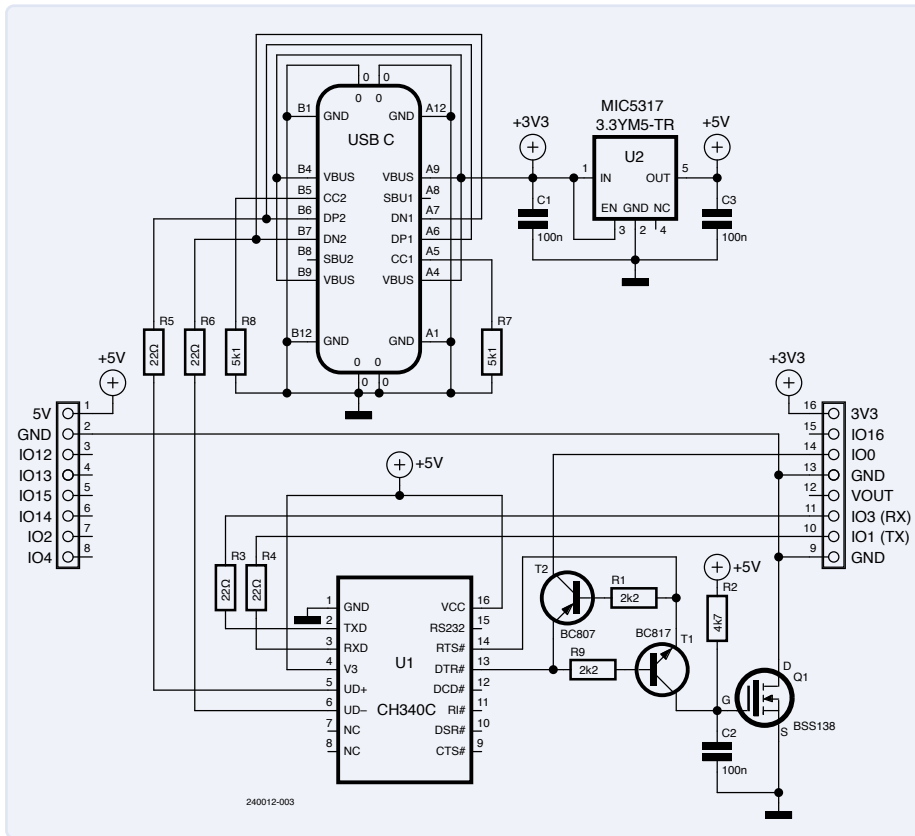


Bild 1. Schaltbild des ESP32-CAM.

symmetrisch ist und sich in beide Richtungen einstecken lässt. Unabhängig davon, wie Sie ihn einstecken, bleiben also die Polarität und die Wirksamkeit der Verbindung gleich.

Außerdem sind die CC1- und CC2-Leitungen des Steckers über zwei Begrenzungswiderstände (R7 beziehungsweise R8) geerdet. Im USB-C-Standard ermöglichen die CC1- und CC2-Pins die Konfiguration des Datenkanals. Sie werden tatsächlich als Konfigurationskanal bezeichnet und sind auch an der Einstellung des Datentransportmodus beteiligt, der in unserem Fall zu USB 2.0 konform ist.

Der integrierte Schaltkreis CH340 arbeitet mit einer Gleichspannung zwischen 3,3 V und 5 V. In dieser Schaltung wird er von IC U2 (Pin 5, OUT) versorgt. Involviert sind auch ein LDO-Spannungsregler MIC5317-3.3, der seinen Eingang von der VBUS-Leitung des USB-C-Steckers (5 V DC) erhält und stabilisierte 3,3 V ausgibt.

Beachten Sie, dass der Chip zwar einen Standby-Modus kennt, der über die EN-Leitung aktiviert wird, aber in dieser Anwendung wird er ständig aktiv gehalten, indem Pin 3 mit Pin 1 (VIN) verbunden wird. Elektrisches Rauschen auf den 3,3 V und den 5 V VBUS Stromversorgungsleitungen wird durch die Keramik Kondensatoren C1 und C3 angemessen herausgefiltert.

Lassen Sie uns nun die serielle RS-232-Seite des CH340 analysieren: Der Chip verfügt über einen Datenkanal, der aus TX- (Übertragung vom Chip zum ESP32-CAM) und RX-

(Empfang der vom ESP32-CAM kommenden Daten) Leitungen besteht, zusätzlich zu den Kommunikationssteuersignalen, die zur Synchronisierung des Datenflusses genutzt werden. Im Einzelnen verwendet die Schaltung nur RTS und DTR, die über ein Netzwerk aus zwei bipolaren Transistoren miteinander verbunden sind. Sie interagieren mit dem ESP32-CAM-Modul und sind über die ESP32-Header (links und rechts im Schaltplan) verbunden. Das ist auf dem Prototyp in **Bild 2** gut zu erkennen.

Die von den Transistoren gebildete Schaltung hat auch den Zweck, das ESP32-CAM-Modul durch den N-Kanal-MOSFET Q1 zu aktivieren. Da dieser Transistor ein Anreicherungstyp ist, schaltet er sich ein, wenn eine Spannung von mindestens 3 V zwischen Gate und Source anliegt. Dadurch werden die Vss-Leitungen geerdet und das Modul somit eingeschaltet. Diese Bedingung tritt immer dann ein, wenn die DTR-Leitung auf einem logischen Low und die RTS-Leitung auf einem logischen High ist, also während des Sendens von Daten.

Werfen wir nun einen Blick auf die verschiedenen möglichen Kombinationen. Ist DTR logisch low und RTS logisch high, sind die Transistoren T1 und T2 beide ausgeschaltet, da beim ersten (einem NPN) der Emitter positiv gegenüber der Basis ist. Beim zweiten Transistor (PNP) ist die Basis positiv gegenüber dem Emitter. Unter diesen Bedingungen ist der MOSFET eingeschaltet, weil sein Gate durch den Widerstand R2 auf 3,3 V (High-Pegel)

gebracht wird, sodass sein Kanal leitend ist. Geht der RTS-Pin ebenfalls auf Null, sind die bipolaren Sperrschichttransistoren (BJTs) immer noch ausgeschaltet, da beide eine V_{BE} von Null haben, weil ihre Basis- und Emitterleitungen auf dem gleichen Potential liegen. Das Gleiche passiert, wenn RTS und DTR beide auf logisch high stehen.

Umgekehrt, geht RTS auf low, während DTR high ist, wird die Basis von T1 positiv gegenüber dem Emitter und der Transistor leitet. Dadurch sinkt die Spannung am Gate des MOSFET auf einige hundert Millivolt, der dann sperrt und das ESP32-CAM-Modul ebenfalls ausschaltet. T2 leitet ebenfalls, da seine Basis in Bezug auf den Emitter negativ wird. Das Modul wird also eingeschaltet, wenn mindestens DTR low ist. Das bedeutet, wenn der Computer dem ESP32-CAM über USB mitteilt, dass er bereit ist, Daten zu übertragen. Das ist unabhängig vom Status der RTS-Leitung. Zusammenfassend lässt sich die Funktion der beiden Transistoren wie folgt beschreiben: T1 wird verwendet, um die Versorgung des ESP32-CAM-Moduls zu steuern, indem er auf die Gate-Vorspannung des MOSFET einwirkt. Bleibt er also ausgeschaltet (RTS ist high oder DTR ist low), wird das Modul mit Strom versorgt. Wird er hingegen eingeschaltet (RTS low und DTR high), entfällt die Masseverbindung des Moduls und der ESP32 wird ausgeschaltet.

T2 fungiert als statischer Schalter zur Steuerung der IO0-Leitung, die mit dem Pin 14 des ESP32-Cam-Anschlusses verbunden ist. Er muss während der Programmierung auf Low gehalten werden. Während des Hochladens der Firmware muss T2 also ausgeschaltet bleiben, während er zu anderen Zeiten leiten muss (ein Zustand, der eintritt, wenn RTS low und DTR high ist), um die IO0-Leitung auf logisch high (+3,3 V) zu bringen.



Bild 2. Das Board nimmt die ESP32-CAM über zwei Buchsenleisten auf.

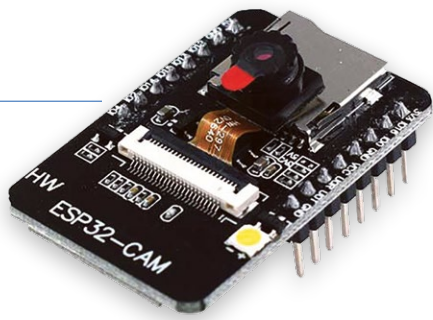
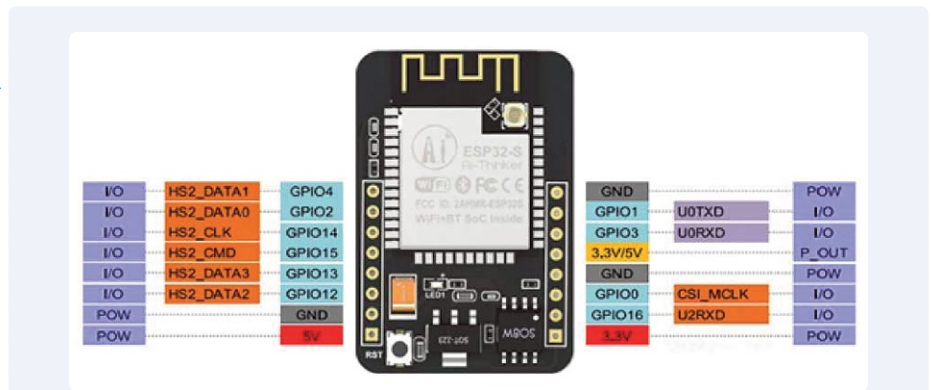


Bild 3. Top-Ansicht des ESP32-CAM-Moduls.

Die Pins U0TXD (TX) und U0RXD (RX), die das Hochladen von Code auf das ESP32-CAM-Modul ermöglichen, sind mit Pin 10 und Pin 11 des ESP32-Headers verbunden. Am Header ist auch eine zweite serielle Leitung, U2RXD (RX), vorhanden (Pin 15), die sich bei Bedarf verwenden lässt. Diese Pins können in Anwendungen auch als GPIO1 (U0TXD) beziehungsweise GPIO3 (U0RXD) verwendet werden, in denen der UART nicht benötigt wird. Für die PC-Steuerung verwendet der CH340-Chip Software-Treiber, die mit dem CH341 kompatibel sind. Die Hardware wird von Windows als CH341 erkannt, wenn dessen Treiber eingesetzt wird.

Praktische Umsetzung

Dieses Programmiergerät ist auf einer minimalen doppelseitigen Leiterplatte aufgebaut, die Sie durch Fotogravur herstellen können, indem Sie mit dem kupferseitigen Leiterbahnlayout beginnen. Das Layout finden Sie auf der Website von Elektor Labs [1]. Drucken Sie das Layout auf Pauspapier oder Acetat aus, um die notwendigen Folien zu erhalten. Sobald die Leiterplatte geätzt und gebohrt ist, müssen Sie mit dem Zusammenbau der wenigen Bauteile fortfahren, alle SMD. Es ist etwas manuelles Geschick und eine Pinzette erforderlich, um sie auf die Pads zu setzen. Sie benötigen auch einen LötKolben mit sehr feiner Spitze (oder eine Heißluft-Lötstation), eine Lupe, etwas Lötdraht mit einem maximalen Durchmesser von 0,5 mm sowie etwas Flussmittelpaste, die Sie vor dem Platzieren der Bauteile auf die Pads auftragen. Beginnen Sie damit, den CH340 wie im Montageplan gezeigt auf den entsprechenden Pads auszurichten. Verzinnen Sie einen Pin in einer Ecke und dann, nachdem Sie sich vergewissert haben, dass der Chip in der richtigen Position ist, einen in der gegenüberliegenden Ecke. Damit fixieren sie ihn. Fahren Sie dann mit dem Verzinnen der verschiedenen Pins



Das ESP32-CAM-Modul

Das ESP32-CAM Development Board ist ein Platinenmodul, das eine Wi-Fi-Schnittstelle (802.11 b/g/n), Dual-Mode Bluetooth (Klassisch und Low Energy), eine kleine Zwei-Megapixel-Kamera (OV2640), einen Steckplatz für eine miniSD-Speicherkarte mit bis zu 4 GByte und neun I/O-Pins integriert. Zudem hat es eine helle LED, die sich als Blitz für Fotos und Videos verwenden lässt.

Das Gerät lässt sich direkt über die Arduino-IDE programmieren und kann in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden. Das sind etwa Geräte zur Hausautomatisierung, zur drahtlosen Steuerung in der Industrie, zur drahtlosen Überwachung, zur drahtlosen Identifizierung via QR-Code und vielen anderen IoT-Anwendungen.

Das Modul enthält einen Wi-Fi-Transceiver nach 802.11 b/g/n und Bluetooth 4.2 LE mit einer Leiterbahnantenne mit 2 dBi Verstärkung (ein u.FL-Antennenanschluss ist ebenfalls vorhanden). Die WLAN-Sendeleistung beträgt etwa 17 dBm für 802.11b (@11 MBit/s), 14 dBm für 802.11g (@54 MBit/s) und 13 dBm für 802.11n. Die Empfangsempfindlichkeit beträgt -90 dBm in CCK bei 1 MBit/s und fällt in MCS7 auf -67 dBm (65 MBit/s, 72,2 MBit/s).

Als Speicher verfügt der SoC über 32 MBit SPI Flash, ein 4 MBit PSRAM sowie einen miniSD-Kartensteckplatz, der bis zu 4 GByte unterstützt. Der SoC kann über verkabelte UART-Schnittstellen mit bis zu 115.200 bps, SPI, I²C und 9 GPIOs mit der Außenwelt kommunizieren. Er unterstützt die Sicherheitsprotokolle WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS. Die integrierte Kamera (eine OV2640) wird am FPC-Anschluss angeschlossen und liefert Bilder in den Formaten JPEG (nur bei der OV2640) und BMP, auch Graustufen. Das Modul unterstützt auch das Kameramodul OV7670.

Das Modul wird von Ai-Thinker hergestellt; es gibt aber auch gleichwertige Lösungen anderer Hersteller auf dem Markt.

von einer Seite zur anderen fort. Der CH340 ist in einem SSOP-20-Gehäuse untergebracht. Obwohl es sich um einen SMD-Chip handelt, lässt er sich ziemlich einfach mit der Hand löten. Prüfen Sie mit der Lupe, ob es zwischen den benachbarten Pins keine Lötbrücken gibt. Falls doch, bestreichen Sie sie mit reichlich Flussmittelpaste und schmelzen Sie dann das Lot erneut, um die Kurzschlüsse zu entfernen. Sobald das erledigt ist, montieren Sie die passiven Bauteile wie Widerstände und Kondensatoren. Im Anschluss folgen der USB-C-Stecker (mit ruhiger Hand und Präzision, da seine Pins sehr nahe beieinander liegen) sowie das IC MIC5317-3.3. Richten sie alles wie auf dem Montageplan gezeigt aus. Beachten Sie, dass auch der Regler U2 auf der Platine in seinem dreipoligen SOT-32-Ge-

häuse richtig herum angebracht werden muss. Achten Sie darauf, die Verankerungslaschen des USB-C-Steckers großzügig zu verzinnen, damit er der mechanischen Belastung durch das Ein- und Ausstecken des Kabels standhält. Bauen Sie die Platine komplett zusammen, indem Sie in die seitlichen Pads Buchsenleisten mit einem Rastermaß von 2,54 mm einsetzen und einlöten. Damit können Sie die ESP32-CAM-Platine anschließen. Die entsprechenden Stiftleisten, die Sie in die seitlichen Pads einlöten müssen, haben Sie bereits bereitgestellt (Bild 3). Denken Sie daran, dass die ESP32-CAM so ausgerichtet werden sollte, dass die Seite des SD-Kartenanschlusses zur Seite des USB-Typ-C-Anschlusses des Demo-Boards zeigt. Sie sehen das deutlich in Bild 4.

WEBLINK

[1] Elektor Labs Website für diesen Artikel: <https://elektormagazine.de/labs/esp-32-cam-programmer>

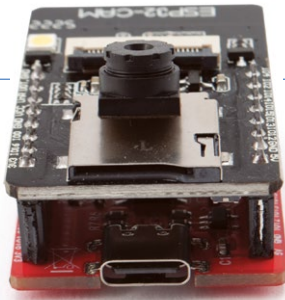


Bild 4. Die ESP32-CAM sollte so eingesetzt werden, dass sich die Buchse für die SD-Karte und der USB-Anschluss auf der gleichen Seite befinden.

Zusammenfassung

Sobald Sie die Lötarbeiten abgeschlossen und überprüft haben, dass alles an seinem Platz ist, ist das Programmer-Board einsatzbereit. Sie können Ihre ESP32-CAM einstecken, wobei Sie auf die Ausrichtung achten müssen (es gibt keine Tasten an den Stiftleisten, sodass das Modul auch versehentlich verkehrt herum eingesteckt werden könnte). Verbinden Sie es über ein USB-A-auf-Micro-USB-B-Kabel mit einem PC und führen die Firmware aus. Damit beginnen Sie mit der Programmierung des Moduls. Das Programmer-Board und die ESP32-CAM ziehen zusammen maximal 360 mA aus dem USB-C-Anschluss. Jeder USB-Anschluss liefert diesen Strom, auch solche, die nicht unbedingt vom Typ C sind. Die Treiber für den USB-Seriell-Wandler sowie viele andere nützliche Ressourcen für dieses Projekt können Sie auf der Website von Elektor Labs herunterladen [1]. ◀

Übersetzung von Jürgen Donauer – 240012-02



Passende Produkte

- > **ESP32-Cam-CH340 Entwicklungsboard**
www.elektor.de/19333
- > **D. Ibrahim, *The Complete ESP32 Projects Guide*, (Elektor 2019)**
www.elektor.de/18860



Über den Autor

Boris Landoni ist ein Experte für Elektronik und ein echter Enthusiast auf diesem Gebiet. Sein Engagement hat ihn zum

Geschäftsführer von Elettronica In (futur-net.it) gemacht, das beliebteste Elektronikmagazin in Italien. Er ist zudem Koordinator von open-electronics.org, einer Plattform, die sich Open-Source-Projekten widmet und Enthusiasten sowie Fachleute zusammenbringt. Ferner ist er technischer Leiter von Futura Elettronica, einem führenden Unternehmen für die Lieferung elektronischer Komponenten an Maker und Profis.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Wenden Sie sich bitte unter redaktion@elektor.de an die Elektor-Redaktion.



Stückliste

Widerstände:

- R3...R6 = 22 Ω
- R7, R8 = 5k1
- R1, R9 = 2k2
- R2 = 4k7

Kondensatoren:

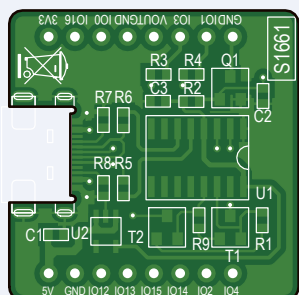
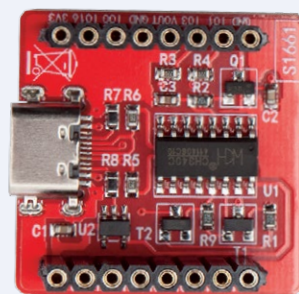
- C1, C2, C3 = 100 n, keramisch

Halbleiter:

- T1 = BC817
- T2 = BC807
- Q1 = BSS138
- U1 = CH340C
- U2 = MIC5317-3.3YM5-TR

Sonstiges:

- USB: Molex USB-Verbindung 2169900002
- Pin-Streifen, weiblich, 8-polig, Raster 2,54 mm
- Platine S1661 (60 × 56 mm – siehe Text)



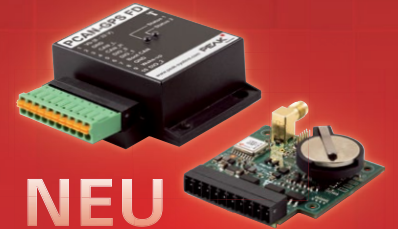
You CAN get it...

Hardware und Software für CAN-Bus-Anwendungen...



embeddedworld
Exhibition & Conference

Besuchen Sie uns:
Halle 1, Stand 304



NEU

PCAN-GPS FD

Programmierbares Sensormodul mit CAN-FD-Anbindung zur Erfassung von Position, Lage und Beschleunigung.



PCAN-Router FD

Programmierbarer Router für CAN und CAN FD mit 2 Kanälen. Erhältlich mit D-Sub- oder Phoenix-Anschlusssteckern



PCAN-USB FD

CAN-FD-Interface für den USB-Port inkl. Software, APIs und Treiber für Windows und Linux.

Irrtümer und technische Änderungen vorbehalten.

www.peak-system.com

Otto-Röhm-Str. 69
64293 Darmstadt
Germany

PEAK
System

Tel.: +49 6151 8173-20
Fax: +49 6151 8173-29
info@peak-system.com

Entwicklerboards im industriellen Einsatz



Von Malte Janssen (Reichelt Elektronik)

Durch Vorteile wie eine kompakte Bauweise, geringen Stromverbrauch und günstigen Einkaufspreis eignen sich Entwicklerboards für eine Vielzahl an Projekten. Auch in der Industrie kommen sie immer häufiger zum Einsatz. Dafür stehen Ingenieuren mittlerweile eine Reihe interessanter Entwicklerboards zur Verfügung – allen voran die Produkte von Arduino. Im Folgenden betrachten wir, welche Kriterien für den industriellen Einsatz erfüllt werden müssen und wie Entwicklerboards heute schon in der Industrie eingesetzt werden können.

Was wird in der Industrie gebraucht?

Der Einsatz von Entwicklerboards im industriellen Umfeld ist herausfordernd. Unter anderem größte Robustheit, verlässliche Leistung – auch bei langer und intensiver Nutzung – sowie Interoperabilität mit gängigen Übertragungsprotokollen und Firmware und Software müssen gewährleistet werden. Wie schneiden Entwicklerboards in dieser Hinsicht ab?

Grundsätzlich muss dabei zwischen zwei verschiedenen Einsatzarten unterschieden werden: der Einsatz in einem Produkt oder der Einsatz im eigenen Unternehmen, zum Beispiel als Steuerungselement im Produktionsprozess.

Entwicklerboards in Produkten

Soll ein Entwicklerboard in einem Produkt verbaut werden, sollten gründliche Vorüberlegungen zum Produkt angestellt werden. Zu Beginn des Produktentwicklungsprozesses müssen die Endanforderungen an das Produkt vollumfänglich definiert werden. Darunter fallen technische Eigenschaften wie Größe, Gewicht, Datenübertragungsraten, Verbindungsprotokolle und mehr.

Zudem muss eine Reihe kommerzieller Gesichtspunkte betrachtet werden, zum Beispiel die Lebensdauer: Wie lange wird die Lebensdauer des geplanten Produkts antizipiert und kann ein Entwicklerboard dieser Zeitspanne gerecht werden? Wichtig sind auch Zusagen der Produzenten hinsichtlich Verfügbarkeit und produzierter Stückzahlen.

Nicht unterschätzt werden darf das Thema der geplanten Vertriebsgebiete, denn bei dem Vertrieb in unterschiedliche Märkte können unterschiedliche Normen und Zertifizierungen gelten. Zum Beispiel ist eine CE-Zertifizierung, die auf europäischen Normen aufsetzt, möglicherweise für den amerikanischen oder asiatischen Markt wertlos. Die Vor-Zertifizierung von zugelieferten Bauteilen ist deshalb hilfreich, entbindet den Hersteller aber nicht von den für die Zertifizierung des Gesamtgerätes erforderlichen Tests. Diese Normen und Zertifizierungen garantieren den sicheren Einsatz des Produkts – etwa im Hinblick auf gefahrenfreie Nutzung bei unterschiedlichen Temperaturen oder variierender Luftfeuchtigkeit.

Nutzung von Entwicklerboards für unternehmenseigene Prozesse

Darüber hinaus können Entwicklerboards aber auch für die Steuerung von Prozessen im Unternehmen selbst eingesetzt werden, zum Beispiel in der Produktion oder im hauseigenen Logistikzentrum. Entwicklerboards können hier teilweise die Aufgaben von Industriesteuerungen übernehmen oder auch die von Sensoren gesammelten Daten vorverarbeiten und an die Cloud oder zentrale Server senden. Dabei entstehen besonders hohe Ansprüche an die Datenübertragungsgeschwindigkeit, Rechenleistung und Arbeitsspeicher. Zudem müssen natürlich industrielle Verbindungsstandards vorhanden sein.

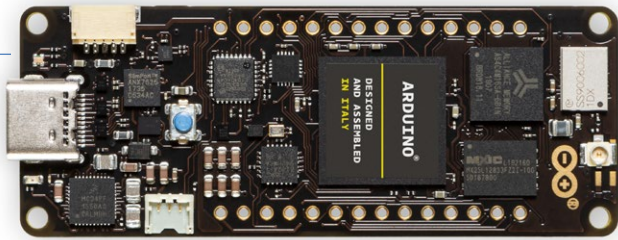


Bild 1. Arduino Portenta H7.

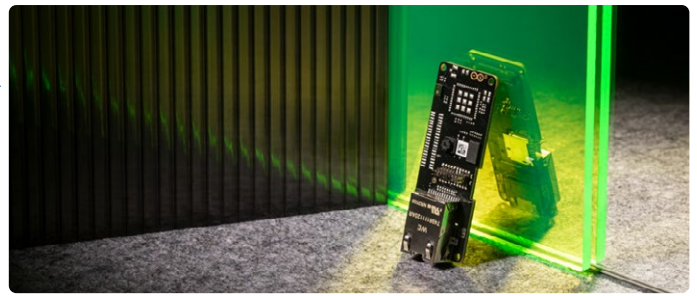


Bild 2. Arduino Portenta Vision Shield.

Entscheidend für den industriellen Einsatz ist die Widerstandsfähigkeit bei extremen Bedingungen, zum Beispiel bei sehr hohen Temperaturen von bis zu 50 °C, Minusgraden oder großen Temperaturschwankungen. Robustheit bei hoher Luftfeuchtigkeit oder eine besonders hohe Widerstandsfähigkeit gegen Stöße oder Vibrationen können gefordert werden.

Was bieten Entwicklerboards jetzt schon?

Können Entwicklerboards, die ursprünglich für Studierende und technikbegeisterte Bastler gebaut wurden, diesen Anforderungen genügen? In den letzten Jahren hat sich viel getan, damit Arduino & Co. auch im industriellen Umfeld bestehen. Beispielsweise sind Entwicklerboards hinsichtlich des Temperaturbereichs sehr flexibel einsetzbar: von 0 °C bis +50 °C liefern sie konsistent hohe Leistung.

Da die Boards in großen Stückzahlen hergestellt werden, erfolgt die Bestückung und der Funktionstest in der Regel unter automatisierten Produktionsbedingungen. Somit können Ingenieure auf eine hohe Produktionsqualität vertrauen. Eine Vielfalt an Hats und Shields gewährleisten zudem hohe Interoperabilität mit industriellen Übertragungsprotokollen und Bussen.

Vor allem sind Entwicklerboards bekannt für ihre einfache Programmierbarkeit und ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten. Die meisten Entwicklerboards bauen auf Open-Source-Code und machen die Arbeit auf diese Weise zugänglich für eine große Community – besonders bei der Entwicklung von Prototypen ein echter Vorteil. Auf der anderen Seite braucht man selbst sichere Kenntnisse, um aus einer Vielzahl an angebotenen Lösungen die richtige zu identifizieren. Zudem darf man nicht vergessen, bei Open-Source-Lösungen die Konformität der Lizenzen für die gewünschte Anwendung zu berücksichtigen. Je nach Kenntnisstand im Unternehmen und Komplexität des Vorhabens muss hier also entschieden werden, welcher der bessere Weg ist.

Diese Entwicklerboards finden bereits Einsatz in der Industrie

Es gibt bereits mehrere Entwicklerboards, die die genannten Merkmale heute schon bieten. Darunter zählt allen voran der Allrounder Arduino Pro – besonders die Modelle Portenta H7 und X8 sowie die zahlreichen Erweiterungen (**Bilder 1, 2, und 3**). Die breite Palette hält für Unternehmen aller Branchen das richtige Produkt bereit, um smarte Lösungen nach ihrem Bedarf zu konzipieren und umzusetzen. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz eines Arduino-Boards in Verbindung mit einem Flüssigkeitssensor. Auf diese Weise gelang es einem kanadischen Startup, die Qualität des Öls in der Schwerindustrie besser einzuschätzen. Oft wird das Öl viel zu früh gewechselt, weil die Qualität von außen schwer festzustellen ist und man Schäden durch verschmutztes Öl vermeiden will. Wenn ein Sensor genaue Angaben über die Qualität des Öls

in der Maschine machen kann, sparen Unternehmen wertvolle Ressourcen und arbeiten zudem nachhaltiger.

Ein weiteres Entwicklerboard, das im industriellen Umfeld bereits häufig Anwendung findet, ist die Raspberry Pi Produktfamilie. Sie glänzt vor allem durch ihre große Entwicklercommunity und die vielen Hats und Shields. Besonders zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang der Revolution Pi, ein auf dem Raspberry Pi basierender industrieller Mini-PC für Automatisierungsaufgaben. Er ist mit hochleistungsfähigen Verbindungsstandards ausgerüstet, besonders robust und passt mit seinem Gehäuse perfekt in DIN-genormte Schaltschränke. So eignet sich der Revolution Pi gut für die Steuerung von Produktionsanlagen oder der Gebäudeautomatisierung.

Doch auch andere Hersteller bieten Entwicklerboards, die im industriellen Umfeld Einsatz finden. Darunter sind zum Beispiel die Espressif ESP8266- und ESP32-Modelle, die sich vor allem einen Namen bei IoT-Projekten gemacht haben. Im Produktportfolio des Herstellers sind nicht nur Boards, sondern auch passende Module und SOCs. Die Adafruit Feather-Serie ist besonders leicht und kompakt, eignet sich somit also für tragbare Geräte.

Fazit

Ursprünglich für den privaten Gebrauch konzipiert, finden Entwicklerboards immer mehr Anwendung in der Industrie. Das hat auch seine Berechtigung, denn sie bringen viele Eigenschaften mit, die industrielle Produktionsprozesse und Betriebsabläufe erleichtern. Dadurch wird Unternehmen neues Potenzial eröffnet. Vor dem Einsatz gilt es aber stets zu beachten, dass industrietaugliche Schnittstellen zu schon bestehenden Prozessen und die erforderlichen Zertifizierungen des Gesamtgeräts berücksichtigt werden. ◀

240152-02

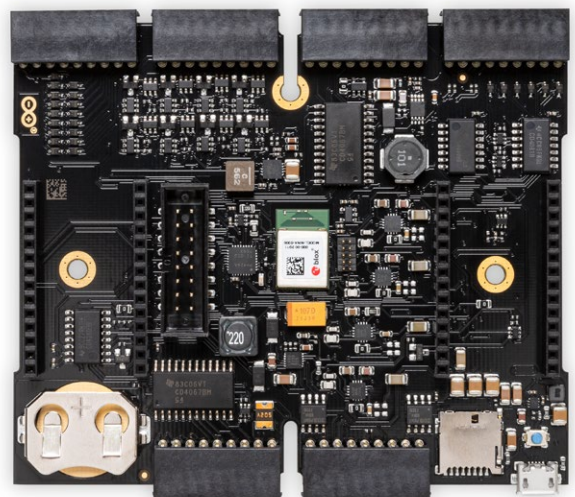


Bild 3. Arduino Edge Control.

Sunnyway

— Die Antennenspezialisten

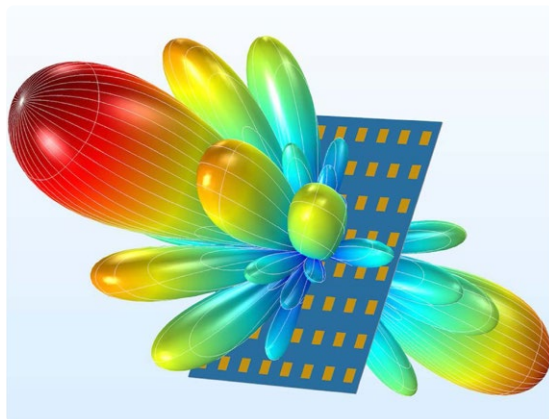
Zehn Fragen und Antworten

Die Fragen hat die Elektor-Redaktion zusammengestellt.

Der weltweit tätige Antennenspezialist Sunnyway ist der führende Hersteller in China - das erste reine Antennenunternehmen, das von dort aus weltweit expandierte. Das Unternehmen bietet in erster Linie Lösungen an, die auf die Kunden und ihre Anwendungen zugeschnitten sind, einschließlich Prüfung, Anpassung und Abstimmung der Antennen. Ein wichtiger Pluspunkt ist die Transparenz: Sunnyway lädt alle Partner und Kunden ein, seine Büros, Forschungs- und Entwicklungszentren und das Werk zu besuchen.

Welche Anwendungsbereiche decken die Produkte von Sunnyway ab? Können Sie Beispiele für spezielle oder schwierige Umgebungen nennen, in denen Ihre Antennen eingesetzt werden?

Sunnyway ist nun 15 Jahre auf dem Antennen-Markt tätig. Die Antennen von Sunnyway sind für eine Vielzahl von Anwendungen geeignet, vom Industriellen IoT über Verkaufsstellen, Gateways, Smart Meter, Tracker und Wearables, bis hin zu Spezialbereichen wie Bergbau und Landwirtschaft. Unsere kundenspezifischen Lösungen sind auch unter



extremen Bedingungen erfolgreich und bieten eine unvergleichliche Zuverlässigkeit und Leistung. So sind unsere Combo-Antennen beispielsweise auf die harten Anforderungen im Bergbau und in der intelligenten Landwirtschaft zugeschnitten und gewährleisten Konnektivität auch in den schwierigsten Umgebungen.

Wie legt Sunnyway bei seinem F&E-Prozess für IoT-Antennenlösungen den Schwerpunkt auf Innovation?

Die Forschung und Entwicklung ist unsere größte Stärke und Teil unseres Strebens nach Innovation. Diese wird durch unsere umfangreichen F&E-Einrichtungen gefördert, darunter drei Entwicklungszentren und über zehn OTA-Kammern - bemerkenswert für einen Hersteller, der auf Antennen spezialisiert ist. Diese Infrastruktur in Verbindung mit Plänen zur Ausweitung unserer F&E-Präsenz in Europa unterstreicht unser Engagement, die IoT-Antennenbranche in die Zukunft zu führen.

Wie erfüllt Sunnyway die spezifischen Anforderungen seiner Kunden auf der ganzen Welt an das Antennendesign?

Sunnyway kennt die einzigartigen Anforderungen unserer weltweiten Kundschaft und ist stolz darauf, maßgeschneiderte Antennenlösungen zu liefern. Unser Ansatz integriert die Erkenntnisse unserer Kunden von der Entwurfsphase bis hin zur Prüfung und Fertigung und gewährleistet ein Produkt, das die Erwartungen nicht nur erfüllt, sondern übertrifft. Im Gegensatz zu anderen Anbietern sind die meisten unserer Produkte auf die spezifischen Bedürfnisse unserer Kunden zugeschnitten.

Wie sieht Sunnyway die Herausforderungen bei der Entwicklung neuer drahtloser Standards wie 5G, NB-IoT und dem kommenden 6G?

Mit neuen drahtlosen Technologien wie 5G, NB-IoT und der Erwartung von 6G nutzt Sunnyway seine umfangreichen F&E-Kapazitäten, um Antennen zu entwickeln. Diese entsprechen nicht nur diesen Standards, sondern setzen auch neue Maßstäbe für Leistung und Zuverlässigkeit.



Wie hat der IoT-Boom die Entwicklungsstrategien für Antennen bei Sunnyway beeinflusst?

Die IoT-Revolution war ein Katalysator für Sunnyway. Sie lenkt unsere Entwicklungsstrategie auf die Entwicklung von Antennen, die ebenso vielseitig wie leistungsstark sind. Da wir das gesamte Spektrum an Frequenzen und Branchen abdecken, gehören wir weiterhin zu den Vorreitern bei Konnektivätslösungen.

Wie wird Nachhaltigkeit in das Design und die Produktion der IoT-Antennen von Sunnyway eingebunden?

Das Ethos von Sunnyway ist ein Bekenntnis zur Nachhaltigkeit. Unsere durchgängige Kontrolle über den Herstellungsprozess ermöglicht es uns, strenge Qualitätsstandards durchzusetzen und gleichzeitig umweltfreundliche Praktiken in der Antennenentwicklung und -produktion zu erproben.

Welche Lösungen bietet Sunnyway zur Bekämpfung von Interferenzen in engmaschigen IoT-Netzen?

Die Antennen von Sunnyway zeichnen sich in der stark frequentierten Landschaft der IoT-Netzwerke durch ihre Fähigkeit aus, Interferenzen zu minimieren. Durch innovatives Design und Materialien stellen wir sicher, dass unsere Antennen selbst in den am höchsten ausgelasteten IoT-Umgebungen zuverlässige Konnektivität ermöglichen.

Auf welche zukünftigen IoT- und Kommunikationstrends ist Sunnyway vorbereitet?

Sunnyway reagiert nicht nur auf aktuelle Trends, sondern nimmt die Zukunft von IoT und Kommunikation vorweg. Mit unseren kontinuierlichen Investitionen in Forschung und Entwicklung bereiten wir uns auf die nächste Welle technologischer Fortschritte vor und stellen sicher, dass Sunnyway als Synonym für modernste Konnektivität erhalten bleibt.

Wie beeinflusst die Zusammenarbeit mit Partnern die Produktentwicklung von Sunnyway?

Kooperation ist der Schlüssel zum Erfolg von Sunnyway, denn unsere Partnerschaften erstrecken sich über Kontinente und Branchen. Diese Kooperationen bereichern unseren Produktentwicklungsprozess, indem sie unsere Lösungen mit einer Vielzahl von Perspektiven und Fachwissen bereichern.

Können Sie uns sagen, wie vielfältig das Kundenportfolio von Sunnyway ist und wie dieses die Kompetenzen Ihres Unternehmens widerspiegelt?

Das vielfältige Kundenportfolio von Sunnyway, mit mehr als 1.000 namhaften Kunden auf der ganzen



Welt, ist ein Beweis für unsere Anpassungsfähigkeit und Kompetenz in verschiedenen Branchen. Von führenden Unternehmen im Automobilsektor bis hin zu bahnbrechenden IoT-Startups - unsere Fähigkeit, die differenzierten Anforderungen einer breiten Kundenbasis zu erfüllen, untermauert unsere Position als Chinas führender Antennenanbieter.

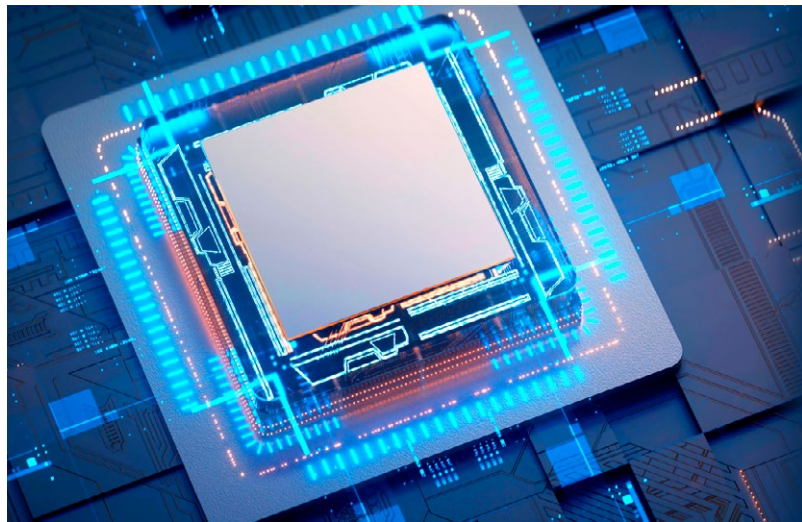
Der Werdegang von Sunnyway ist geprägt von einem unermüdlichen Streben nach Spitzenleistung, Innovation und Kundenzufriedenheit. Während wir weiter expandieren und uns weiterentwickeln, liegt unser Fokus nach wie vor auf der Bereitstellung von maßgeschneiderten, qualitativ hochwertigen Antennenlösungen. Diese erfüllen nicht nur die aktuellen Anforderungen des globalen Marktes, sondern antizipieren auch seine zukünftigen Bedürfnisse. ◀

Übersetzung von Holger Neumann — 240148-02

Vorteile von GaN und SiC in der Industrieelektronik

Ein Beitrag von Farnell

Einer der wichtigsten Trends in der Fertigung ist die Verbesserung der industriellen Energieeffizienz. Da die Welt zunehmend auf elektrische Quellen zurückgreift, läuft dies häufig darauf hinaus, den Betrieb der Leistungselektronik zu verbessern, um beispielsweise maximale Einsparungen durch Investitionen in energieeffiziente Motoren zu erzielen.



Die meisten Elektronikgeräte setzen heute auf Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFETs). MOSFETs steuern die elektrische Leitfähigkeit des Gerätekanals, indem sie die an den Gate-Anschluss angelegte Spannung ändern, wodurch eine Signalverstärkung oder -umschaltung und eine Leistungsverarbeitung ermöglicht werden.

Der Hauptvorteil eines MOSFETs gegenüber herkömmlichen Bipolartransistoren besteht darin, dass sie nahezu keinen Eingangsstrom zur Steuerung des Laststroms benötigen. Sie haben jedoch gewisse Nachteile, darunter eine kurze Lebensdauer und eine hohe Überspannungsanfälligkeit.

Neuere Materialien werden jetzt verfügbar, die wesentliche Verbesserungen gegenüber siliziumbasierten Bausteinen ermöglichen und weniger Verluste und höhere Geschwindigkeiten bei niedrigeren Kosten bieten. Zu diesen neuen Materialien gehören Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN).

Eines der Merkmale dieser neueren Materialien ist ein größeres Bandgap. Dies ist ein Energiebereich in einem Festkörper, in dem keine Elektronen existieren können, und ist einer der Faktoren, wie gut ein Festkörpermaterialelektrizität leiten kann – je größer das Bandgap ist, desto höher ist die Spannung und Temperatur, denen es standhalten kann.

Was ist Galliumnitrid?

Galliumnitrid (GaN) ist ein sehr harter und mechanisch stabiler Halbleiter. Mit einem großen Bandgap von etwa 3,2 eV bietet es eine viel höhere Durchschlagfestigkeit, eine höhere Schaltfrequenz, eine bessere Wärmeleitfähigkeit und einen niedrigeren Widerstand

als siliziumbasierte Alternativen mit Bandgaps von etwa 1,12 eV. Dieses große Bandgap ermöglicht den Einsatz von GaN für optoelektronische Hochleistungs- und Hochfrequenzgeräte. GaN-MOSFETs sind beispielsweise die ideale Basis für Leistungsverstärker für Mikrowellen- und Terahertz-Geräte (THz) in Anwendungen wie Bildgebung und Sensorik sowie HF-Bauelementen und Leuchtdioden (LEDs). Diese Vorteile führen dazu, dass GaN seine Fähigkeit, Siliziumhalbleiter in Leistungsumwandlungs-, HF- und Analoganwendungen zu verdrängen, unter Beweis gestellt hat.

Da GaN-Quarze auf einer Vielzahl von Substraten, einschließlich Silizium, herangezüchtet werden können, kann die vorhandene Silizium-Herstellungsinfrastruktur verwendet werden, einschließlich bestehender Lagerbestände von Siliziumwafern mit großem Durchmesser.

GaN hat mehrere vorteilhafte Eigenschaften im Vergleich zu Silizium. Zum Beispiel einen geringeren Einschaltwiderstand, der zu geringeren Leitfähigkeitsverlusten und damit zu geringeren Energiekosten führt. Da GaN-Halbleiter von Natur aus effizienter sind als Silizium, wird weniger Energie als Wärme verbraucht, was zu kleineren Systemgrößen und damit niedrigeren Materialkosten führt.

Das Material sorgt auch für schnellere Geräte mit höherer Schaltfrequenz, was wiederum den Einsatz kleinerer Induktivitäten und Kondensatoren in Leistungsschaltungen ermöglicht. Eine 10-fache Frequenzerhöhung bringt eine 10-fache Abnahme der Kapazität und Induktivität mit sich, was zu einer wesentlichen Reduktion bei Gewicht, Volumen und Kosten führt. Höhere Frequenzen können auch weniger akustische Geräusche bei Motorantriebsanwendungen

gen erzeugen. Sie können auch eine drahtlose Stromübertragung bei höheren Leistungen und eine größere Übertragung ermöglichen, um Luftspalte zwischen dem Ladeelement und dem geladenen Gerät möglich zu machen.

Mit höheren Schaltfrequenzen und Betriebstemperaturen als Silizium haben GaN-Bausteine geringere Kühlanforderungen und können kleinere Kühlkörper verwenden sowie von der Flüssigkeitskühlung zur Luftkühlung übergehen, wodurch die Notwendigkeit von Ventilatoren entfällt.

GaN-Halbleiter reduzieren auch die Gesamtsystemkosten. Obwohl GaN-Halbleiter im Allgemeinen teurer sind als Silizium, können durch die Reduzierung der Größe und der Kosten von Bauteilen wie passiven induktiven und kapazitiven Elementen, Filtern und Kühlung Einsparungen in der Größenordnung von 10-20 % erzielt werden.

Was ist Siliziumkarbid?

Siliziumkarbid (SiC) ist ein Verbindungshalbleiter aus Silizium und Karbid. Mit einem Bandgap, das bei 3,4 eV dreimal größer ist als Silizium, bietet es mehrere Vorteile, darunter das Zehnfache der elektrischen Durchschlagstromfeldstärke – dies ermöglicht es, viel höhere Spannungen für Leistungsbaulemente zu konfigurieren, die von 600 V bis zu Tausenden von Volt reichen.

SiC ermöglicht es, gleichzeitig hohe Spannungsfestigkeit, niedrigen Einschaltwiderstand, Hochgeschwindigkeitsbetrieb und deutlich höhere Temperaturen zu erreichen, wodurch das Anwendungsspektrum erheblich erweitert wird. Im Wesentlichen ermöglicht SiC eine Leistung, die mit Silizium allein nicht erreichbar ist, was es zum tragfähigsten Nachfolger von Silizium für Leistungsbaulemente der nächsten Generation macht.

Der größte Teil des Widerstandsanteils von Hochspannungsbaulementen befindet sich in der Driftschicht, sodass SiC es ermöglicht, bei äußerst niedrigem Einschaltwiderstand pro Einheitsfläche höhere Haltespannungen zu erzielen – theoretisch kann der Driftschichtwiderstand pro Fläche um das 300-fache gegenüber Silizium bei gleicher Spannungsfestigkeit reduziert werden.

Die Vorteile von SiC und GaN gegenüber herkömmlichem Silizium

Heute denken wir verstärkt darüber nach, wie wir die Generatorleistung am effizientesten in eine Endspannung für eine nahezu unbegrenzte Anzahl von Anwendungen umwandeln können – von industriellen Motorantrieben bis hin zu EV-Batterieladegeräten. Bei der Energieumwandlung werden irgendwann mit ziemlicher Sicherheit Leistungshalbleiterschalter zum Einsatz kommen, von denen Silizium-basierte Typen in Form von Si-MOSFETs und Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs) seit Jahrzehnten der Standard sind.

Die mit der Verwendung von Siliziumschaltern verbundene Verlustleistung ist jedoch seit langem ein Faktor, der zur Ineffizienz des Systems beiträgt. Bis vor Kurzem gab es dafür nur wenige Alternativen.

Wie jedoch bereits gezeigt wurde, weisen SiC- und GaN-basierte Halbleiter Eigenschaften auf, welche die Leistungsumwandlungseffizienz nachweislich verbessern.

Energiesparpotenzial von SiC und GaN für die Industrie

SiC- und GaN-Technologien in Transistoren haben erhebliche Auswirkungen auf wachstumsstarke Märkte.

Zum Beispiel:

- **Elektrofahrzeuge (EVs) und Transport:** Verbesserungen bei der Effizienz führen zu niedrigeren Batteriekosten und mehr Reichweite pro Aufladung.
- **EV-Ladeinfrastruktur:** Eine größere Leistungsbereitstellung und die Reduzierung der Ladezeit um mehr als die Hälfte ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber Lösungen, die nur auf Silizium basieren.
- **Erneuerbare Energie:** SiC-Transistoren reduzieren die Verlustleistung um 50 %, was wiederum direkt die Kosten der Energieerzeugung senkt.
- **Industrielle Netzteile:** Effizienzsteigerungen um bis zu 10 % bei kW-Netzteilen bieten überzeugende OPEX-Verbesserungen wie eine geringere Laufzeit und niedrigere Wartungskosten.
- **5G und Kommunikation:** GaN hat im Vergleich zu Alternativen eine höhere Bandbreite und Leistungsdichte und ist für die globale Entwicklung und Bereitstellung von 5G (und darüber hinaus) von entscheidender Bedeutung.

Fazit

Sowohl GaN- als auch SiC-Chips bieten Vorteile für bestimmte Anwendungen und sind daher nicht direkt konkurrenzfähig. Ihre Eigenschaften bedeuten jedoch, dass jeder Markt jetzt bestimmte Märkte dominiert. So wird erwartet, dass Ladegeräte für Unterhaltungselektronik bis 2026 66 % des GaN-Chipmarktes ausmachen werden, während Kfz-Anwendungen, hauptsächlich BEVs, für bis zu 60 % des SiC-Chipmarktes verantwortlich sein könnten.

Die Vorteile, die sie bei der Energieeffizienz in Verbindung mit der kompakten Größe bieten, revolutionieren die Stromversorgungsoptionen, die jetzt Verbrauchern und der Industrie zur Verfügung stehen, und sind attraktive Plattformen, die wiederum erheblich zu einer nachhaltigeren Energieversorgung und -nutzung beitragen. ◀

240180-02

WEBLINKS

[1] Siliziumkarbid (SiC)-MOSFETs und Module:

<https://de.farnell.com/c/semiconductors-discretes/fets/silicon-carbide-sic-mosfets-modules>

[2] Galliumnitrid (GaN)-FETs: <https://de.farnell.com/c/semiconductors-discretes/fets/gallium-nitride-gan-fets>



Ein intelligenter Objektzähler

Bildererkennung leicht gemacht mit Edge Impulse

Von **Somnath Bera (Indien)**

Entdecken Sie, wie Sie einen Raspberry Pi und eine Kamera mit Hilfe der Edge-Impulse-Plattform in ein intelligentes Werkzeug zur Objektzählung verwandeln können! Dieses unterhaltsame und leicht zugängliche Projekt zeigt, wie einfach es ist, Edge Impulse auf einem Raspberry Pi zu betreiben. Es eignet sich sowohl für Anfänger als auch für erfahrene Enthusiasten.

Edge Impulse ist auf die Bereitstellung von Tools und Plattformen für die Entwicklung von maschinellen Lernmodellen für insbesondere auf eingebettetes Edge-Computing spezialisiert. Edge-Computing bedeutet die Verarbeitung von Daten in der Nähe der Datenquelle anstatt auf einem entfernten Server. Das ist perfekt für die Implementierung auf einem Raspberry Pi! In diesem Beispiel wollen wir kleine Objekte zählen, und zwar gewöhnliche Knöpfe auf gewöhnlichem Stoff.

Plattformen für maschinelles Lernen wie Edge Impulse verwenden so genannte Modelle, das heißt, bestimmte Arten von Algorithmen, die zur Datenanalyse und Mustererkennung eingesetzt werden. Diese Modelle werden darauf trainiert, Muster zu erkennen, Vorhersagen zu treffen oder Aufgaben auf der Grundlage von Eingabedaten auszuführen.

Die Klassifizierung von Objekten ist mit Edge-Impulse-Modellen leicht möglich. Sie können zwischen Menschen und Tieren, zwischen Fahrrädern und Autos und so weiter unterscheiden. Außerdem können Sie eine bestimmte Art von Objekten leicht von anderen Arten von Objekten unterscheiden. Alles, was Sie brauchen, ist eine Kamera von guter Qualität, ausreichend Licht, eine gute Fokussierung und schließlich einen einigermaßen gut gebauten Computer wie einen Raspberry Pi 3 oder Raspberry Pi 4. Dieses Projekt war von Anfang an für die Installation auf Mikro-

controller-Ebene gedacht, einem Espressif ESP32, einem Arduino Nicla Vision oder ähnlichem. Aus diesem Grund wurde es für einen sehr kleinen Zählbereich (120 Pixel × 120 Pixel) mit einem relativ kleinen Knopf als Objekt der Begierde entwickelt. Letztendlich stellte sich heraus, dass diese MCUs selbst für den kleinsten Bereich überhaupt nicht geeignet waren. Die maschinellen Lernmodelle werden auf den Edge-Impulse-Servern vortrainiert, und es wird eine so genannte Modelldatei erstellt, die auf dem eingebetteten Gerät gespeichert wird. Dabei ist die Modelldatei selbst etwa 8 MB groß! Daher wurde das Projekt schließlich auf einem Raspberry Pi installiert, wo es problemlos funktioniert.

Wissen und Weisheit

Wenn Sie Edge Impulse [1] kennen, dann, das können Sie mir glauben, ist die Hälfte der Arbeit bereits erledigt. Für die andere Hälfte müssen Sie Ihr Modell nur noch optimieren, um es auf ein akzeptables Leistungsniveau abzustimmen. Ein Computer-KI-Modell funktioniert, entschuldigen Sie, wie ein Kind. Stellen Sie sich vor, wie Sie Dinge wie „A steht für Apfel“ und „B steht für Ball“ gelernt haben. Man hat Ihnen einen Apfel aus verschiedenen Blickwinkeln gezeigt und Ihnen dann beigebracht, das Objekt „Apfel“ zu nennen. Das Gleiche gilt für „Ball“. Heute können Sie einen Apfel und einen Ball aus allen möglichen Blickwinkeln relativ leicht erkennen! Und auch eine künstliche Intelligenz kann diese Objekte leicht identifizieren.

Stellen Sie sich vor, es gibt einen Korb, in dem apfelgroße Bälle und ballgroße Äpfel gemischt sind, die alle gleich aussehen. Was würden Sie als Kind tun? Da es nur die Begriffe Apfel und Ball kennt, würde es die Objekte einfach nicht unterscheiden können! Auch eine KI würde danebenliegen. Aber stellen Sie sich vor, der Obstkorb steht bei einem Obst- und Gemüsehändler. Dann ist höchstwahrscheinlich keines der Objekte ein Ball, und einige oder alle davon könnten Äpfel sein. Diesen „Trick“, einen Apfel mit einem Obst- und Gemüsehändler in Verbindung zu bringen, nennt man Weisheit, die man weder von einem Kind noch von einer KI erwarten kann, bis man ihm/ihr den Bezug lehrt. Der Mensch lernt im Laufe seines Lebens viele solcher Bezüge, so dass er schließlich weise genug ist, einen Apfel mit einem Obst- und Gemüsehändler in Verbindung zu bringen.

KI entwickelt sich so schnell weiter, dass sie eines Tages ebenfalls über die nötige Weisheit verfügen dürfte. Aber bis dahin muss man

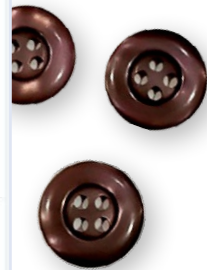
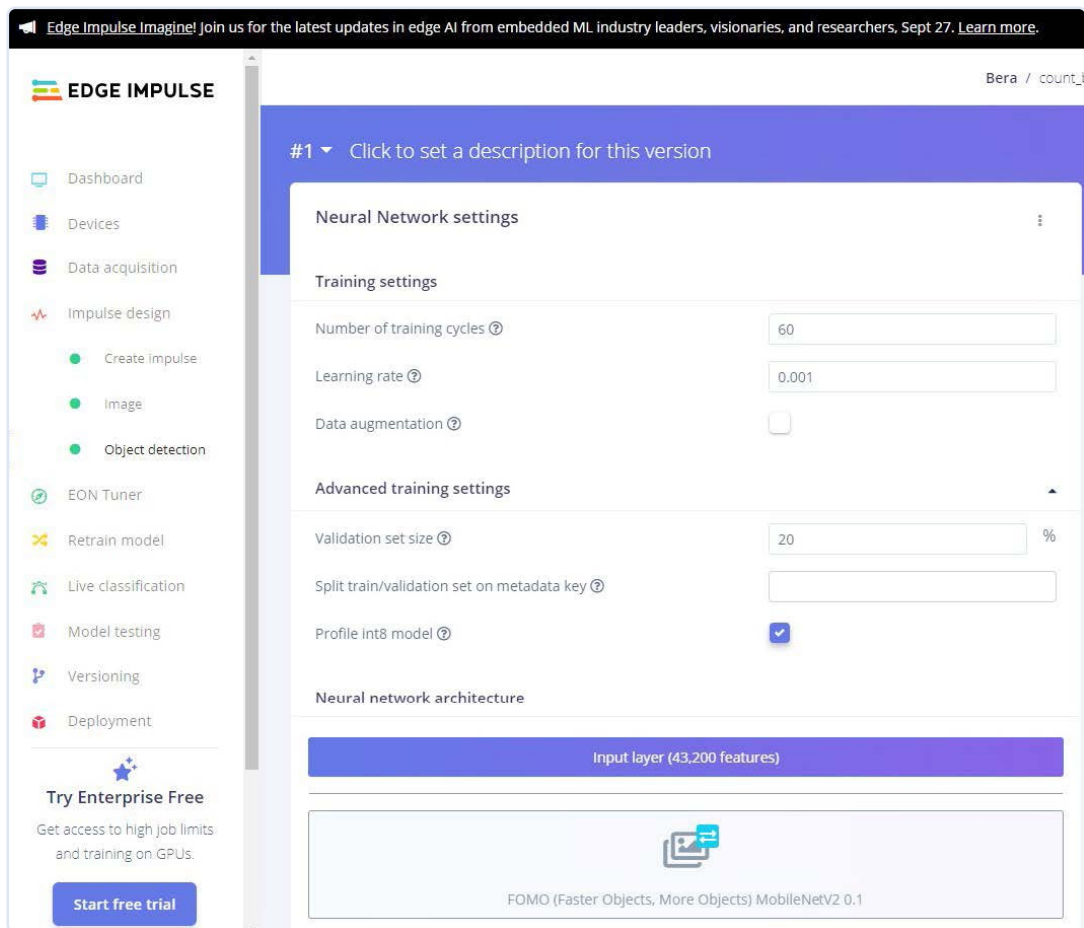


Bild 1. Einstellungen des neuronalen Netzes.

dem ML-Modell für Äpfel und Bälle aus allen möglichen Blickwinkeln beibringen, sie ohne Verwirrung zu erkennen, zum Beispiel durch das Texturprofil eines Apfels, seines Stiels, seine Rillen an der Oberfläche, den Blick von oben und unten und vieles mehr. Auf jeden Fall stehen in Edge Impulse viele verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Fähigkeiten zum Testen und Experimentieren zur Verfügung.

Erste Schritte mit Edge Impulse

Eröffnen Sie zunächst ein Konto bei Edge Impulse [1], wofür Sie eine E-Mail-ID benötigen. Sammeln Sie eine Handvoll ähnlicher Knöpfe. Wenn Sie die Website von einem Raspberry Pi aus öffnen und dessen Kamera verwenden (angeschlossen entweder über USB oder über den Cam-Port), können Sie Bilder der Knöpfe aus verschiedenen Winkeln aufnehmen (was erforderlich ist, wenn das Modell in einem realen Arbeitsfeld eingesetzt werden soll). Edge Impulse bietet auch die Möglichkeit, Ihr Mobiltelefon oder Ihren Laptop als Eingabegerät für die Datenerfassung zu nutzen, was für die Datenerfassung mancher Edge-Impulse-Projekte sehr praktisch ist.

Das Projekt

Das Edge-Impulse-Projekt ist grob gesagt in die folgenden Schritte unterteilt, die alle auf der Edge-Impulse-Website ausgeführt werden müssen.

1. Datenerfassung (data acquisition): Das können Bilder, Töne, Temperaturen, Entfernungen und so weiter sein. Ein Teil der Daten wird als Testdaten abgetrennt, während alle anderen Daten als Trainingsdaten verwendet werden.
2. Impulswurf (impulse design): Der Hauptteil davon wird als

Create Impulse bezeichnet. In diesem Zusammenhang bezieht sich ein „Impuls“ auf eine Art Pipeline oder einen Arbeitsablauf zur Erstellung eines maschinellen Lernmodells. Dieser Impuls umfasst mehrere Stufen, darunter die Anpassung der Eingabeparameter im Zusammenhang mit den gerade erfassten Daten, die Signalverarbeitung, die Feature-Extraktion und das maschinelle Lernmodell selbst. „Features“ sind einzelne messbare Eigenschaften oder Merkmale des beobachteten Phänomens. Im Wesentlichen sind Features die Datenattribute, die von Modellen verwendet werden, um Muster zu erkennen und Entscheidungen zu treffen. Die Impulse-Pipeline ist unterteilt in:

- Eingabeparameter (input parameters): Bild (Breite, Höhe), Ton (Tonparameter)
- Verarbeitungsblock (processing block): Wie werden die Daten verarbeitet?
- Lernblock (learning block): Objektdaten dieses Modells

Sie müssen diese drei Schritte auswählen und konfigurieren.

3. Bildverarbeitung (image processing): Erzeugen von Merkmalen aus den gesammelten Bildern.
4. Objekterkennung (object detection): Wählen Sie Ihr neuronales Netzwerkmodell und trainieren Sie es.

Im letzten Teil, der Objekterkennung, ist Ihre Expertise gefragt (ich würde es eher als Versuch und Irrtum bezeichnen), damit die Genauigkeit des Modells 85 % oder mehr beträgt. Manchmal müssen Sie einige schlechte Bilder (auch Ausreißer genannt) aus dem Modell werfen, um seine Effizienz zu verbessern.

Es gibt eine Handvoll Modelle, die Sie ausprobieren können, um

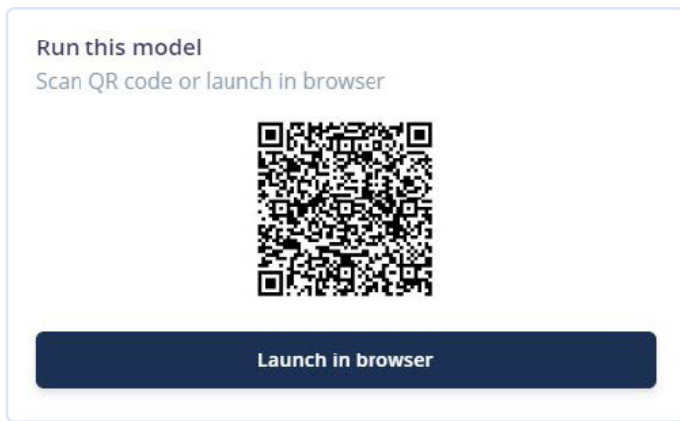


Bild 2. Scannen Sie den QR-Code, um dieses Modell auszuführen.

die Genauigkeit des Modells zu ermitteln. Alles, was über 90 % liegt, ist großartig, aber natürlich sollte es nicht 100 % genau sein! Wenn das der Fall ist, dann stimmt etwas mit Ihren Daten nicht. Es könnten zu wenige Daten oder unzureichende Merkmale vorhanden sein. Überprüfen und korrigieren Sie die Daten und versuchen Sie es erneut! Bei diesem Projekt lag die Genauigkeit bei 98,6 %. Sicherlich war die Anzahl der Daten (etwa 40) gering, aber für ein Einsteigerprojekt ist das ziemlich gut (siehe **Bild 1**). Die Dateien für dieses Projekt sind auf der Elektor-Labs-Webseite des Projekts [4] verfügbar.

Testen des Modells

Sie können Ihr Modell zunächst mit den Testdaten testen. Beginnen Sie dort, und gehen Sie mit Ihrem Gerät dann zu lebensechten Daten über, um zu sehen, ob es funktioniert!

Auf dem Dashboard der Edge-Impulse-Startseite ist die Testfunktion verfügbar. Sie können das Modell direkt im Browser ausführen, oder Sie können es mit Ihrem Smartphone testen. Dazu bietet Edge Impulse einen QR-Code, den Sie mit dem Smartphone scannen können (**Bild 2**). Richten Sie die Kamera auf die Knöpfe (**Bild 3**, **Bild 4** und **Bild 5**) und sehen Sie, ob sie gezählt werden oder nicht!

Einsatz des Raspberry Pi

Um das Modell auf einem Raspberry-Pi-Computer auszuführen, müssen Sie die *.eim-Datei herunterladen. Aber anders als bei Hardware wie Arduino, Nicla Vision oder ESP32, wo man die Datei direkt herunterladen kann, muss man hier zuerst Edge Impulse auf dem Raspberry Pi installieren und innerhalb der Edge-Impulse-Daemon-Software diese Datei herunterladen. Aber keine Sorge, Edge Impulse hat eine ganze Seite der Installation von Edge Impulse auf dem Raspberry Pi gewidmet. Es gibt ein paar Abhängigkeiten, die zuerst installiert werden müssen. Schauen Sie sich [2] an, wo der Vorgang ziemlich gut beschrieben ist. Es ist wirklich ziemlich einfach.

OK, jetzt haben Sie Edge Impulse auf dem Raspberry Pi installiert; der Spaß kann beginnen. Vergessen Sie nicht, den Raspberry Pi mit dem Internet zu verbinden.

Führen Sie im Terminal des Raspberry Pi den Befehl `edge-impulse-linux-runner` aus. Dadurch wird ein Assistent gestartet, der Sie auffordert, sich anzumelden und ein Edge-Impulse-Projekt auszuwählen. Wenn Sie später zwischen den Projekten wechseln möchten, führen Sie den Befehl erneut mit der Option `--clean` aus. Dieser Befehl kompiliert und lädt das KI-Modell Ihres Projekts automatisch herunter und startet es dann auf Ihrem Raspberry Pi. Zeigen Sie der Kamera, die an Ihren Raspberry Pi angeschlossen ist, die Knöpfe, und sie sollte sie zählen. Das ist gut so! Im Folgenden

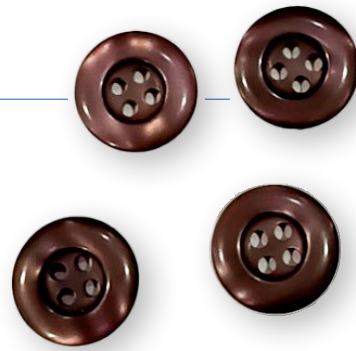


Bild 3. Datenerfassung: Probe-1.



Bild 4. Datenerfassung: Probe-2.



Bild 5. Datenerfassung: Probe-3.

werden wir das System mit Hilfe von Python und einem Sprachsynthesizer modifizieren, der nach dem Zählen die Anzahl der Knöpfe, die er zu zählen hat, ausspricht.

Einsatz des Modells in Python

In der obigen Implementierung würde es so funktionieren, wie es im Edge-Impulse-Modell vorgesehen ist. Damit Sie es für Ihren speziellen Zweck anpassen, zum Beispiel um einen akustischen Alarm auszulösen oder eine LED aufleuchten zu lassen, wenn der Zähler „2 oder mehr“ erreicht, müssen Sie einen anderen Weg finden! Hier kommt Python 3 hinzu, um Ihnen dabei zu helfen, wenn `linux-sdk-python` auf Ihrem Raspberry Pi installiert ist. Das Edge Impulse SDK Software Development Kit (SDK) ist für viele Modelle verfügbar, einschließlich Python, Node.js, C++ und so weiter. Informieren Sie sich auf der SDK-Python-Seite [3]. Sobald `linux-sdk-python` installiert ist, gehen Sie in das Verzeichnis `linux-sdk-python/examples/image` und führen Sie die Python-Datei zur Bilderkennung aus. Lassen Sie sich nicht verwirren: Im Beispielverzeichnis gibt es drei Unterverzeichnisse - jeweils eines für Audiodaten, Bilddaten und benutzerdefinierte Daten. Im Bildverzeichnis ist die Videoklassifizierungsdatei auch für

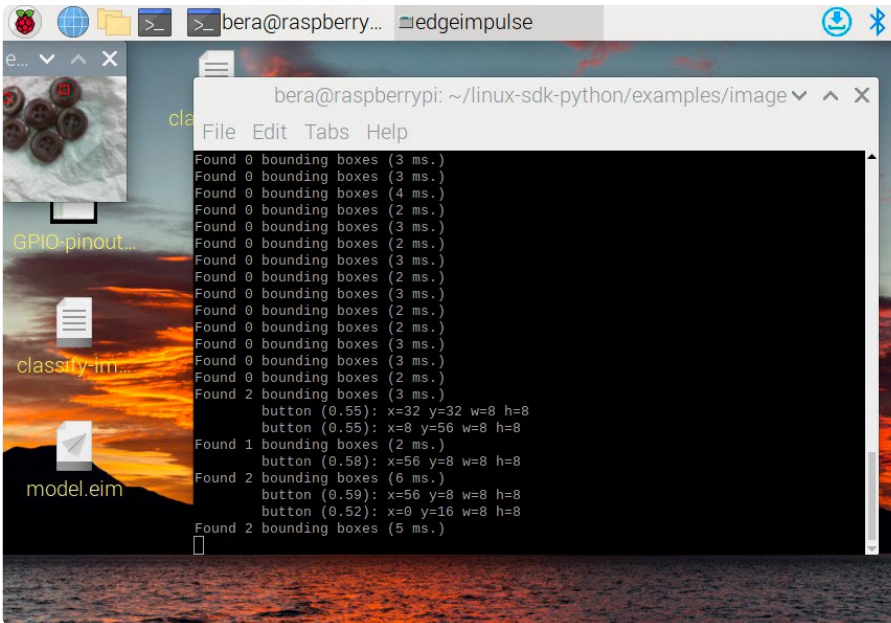


Bild 6. Vier Knöpfe werden wegen unzureichender Fokussierung und Lichtproblemen übersehen.

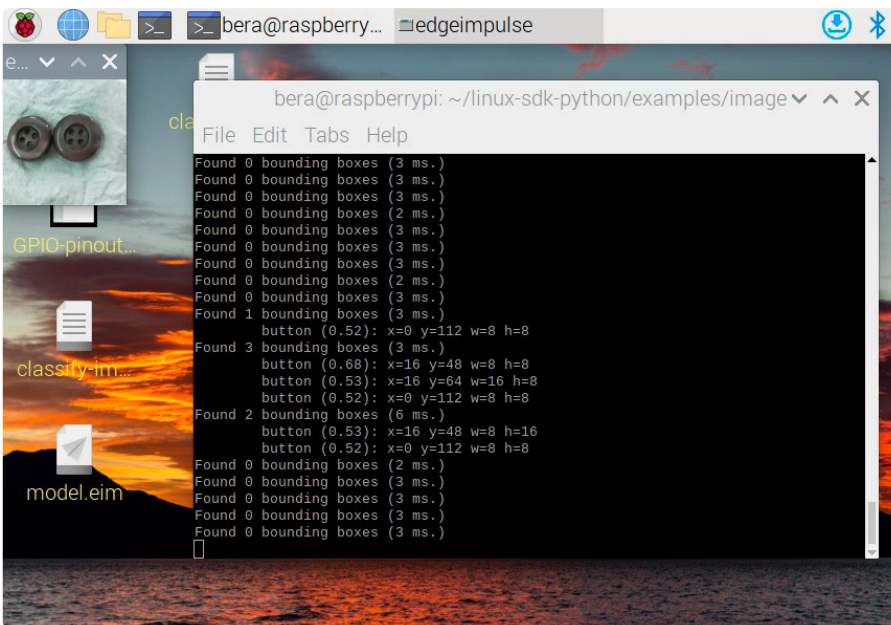


Bild 7. Nachdem ein Knopf entfernt wurde, hat das Modell sie zunächst richtig gezählt.

Videoeingangsdaten verfügbar. Das Verzeichnis `custom` ist für die Anpassung anderer Daten (nur für Experten!). Führen Sie nun den Befehl aus:

```
python3 classify-image.py /home/bera/downloads/model.eim
```

Die Modelldatei `*.eim` ist aus dem jeweiligen Verzeichnis ihres Speicherortes zu laden. Wenn Sie möchten, können Sie sie auch in das SDK-Verzeichnis kopieren! Auf diese Weise müssen Sie die Python-Datei mit der heruntergeladenen `model.eim`-Datei laden. Das Programm findet automatisch das über USB oder den Cam-Port angeschlossene Kameramodul und startet! In der oberen linken Ecke öffnet sich ein kleines Kamera-Fenster (120 × 120), und die identifizierten Knöpfe werden mit einer kleinen roten Markierung versehen. Die identifizierte Anzahl wird im Terminal angezeigt. Achten Sie auf ausreichend Licht und darauf, dass die Kamera für die Knöpfe richtig fokussiert ist. Dies ist besonders bei billigen Kameras wichtig. Wenn Sie das Modell auf Ihrem Smartphone laufen lassen, liefert es weitaus bessere Bilder und zählt viel schneller. Achten Sie dennoch auch hier auf das richtige Licht und die richtige Fokussierung, dann werden Sie bessere Ergebnisse erzielen.

12-bit for Every Bench

SDS3000X HD
High Resolution Oszilloskop
350 MHz ~ 1 GHz

12-bit
HARDWARE

SDS1000X HD
High Resolution Oszilloskop
100 MHz ~ 200 MHz

12-bit
HARDWARE

SDS800X HD
High Resolution Oszilloskop
70 MHz ~ 200 MHz

12-bit
HARDWARE

embeddedworld
Exhibition & Conference

Booth Hall 4, 4-347

Info-eu@siglent.com



Bild 8. Mein Prototyp.

In den obigen Bildschirmfotos des Raspberry Pi ist oben links das kleine 120 × 120-Fenster zu sehen, in dem alle drei Knöpfe vom Modell identifiziert und gezählt werden. Sehen Sie die deutlich sichtbare rote Markierung auf allen drei Knöpfen!

In **Bild 6** fehlen vier Knöpfe, weil der Fokus und das Licht unzureichend sind. Die Kamera hat auch kein Stativ, das man für diese Arbeit verwenden sollte! Deshalb empfehle ich, die Kamera auf einem Stativ zu befestigen, wie bei einem „Mikroskop-Setup“. Achten Sie darauf, dass Sie nicht schräg von oben auf die Objekte schauen. In **Bild 7** habe ich einen Knopf entfernt, und das Modell hat ihn zuerst richtig gezählt. Es zeigte zwei Knöpfe an, aber als ich die Auslösetaste drückte, wurde die Kamera falsch ausgerichtet und verlor die Knöpfe. Die Kamera sollte deshalb über ein langes (Flachband-) Kabel wie in **Bild 8** verfügen, damit sie sich nicht bewegt, wenn man am Computer etwas drückt. Solche Kabel sind unter anderem bei Amazon erhältlich. Sobald die Kamera dann auf einem Stativ befestigt ist und ausreichend (Tages-) Licht auf die Objekte fällt, wird das Modell unfehlbar funktionieren.

Passen Sie Ihr Modell an

Schauen Sie sich bitte die Datei `classify-image.py` an. Es handelt sich um eine einfache Python-Datei, die mit wenig Aufwand angepasst werden kann. In dieser Python-Datei habe ich ein `espeak`-Modul eingefügt, das, sobald ein Knopf oder mehrere gefunden werden, deren Anzahl über einen Lautsprecher ansagt. Um `espeak` auf Ihrem

Raspberry Pi zu installieren, führen Sie den Befehl aus:

```
sudo apt-get install espeak
```

In **Listing 1** ist die Python-Datei einschließlich meiner Änderungen dargestellt. Der offene Sprachsynthesizer `Espeak` ist ein eigenständiges Text-to-Speech-Modul für Python. Er benötigt keine Internet-Verbindung, um zu funktionieren.

Geänderte Ausführung

Sie haben das Python-Programm modifiziert. Wenn Sie die Python-Datei jetzt ausführen, findet sie die Knöpfe (oben links öffnet sich unser kleines Kamerafenster). Die Zahlen werden im Terminalfenster angezeigt und `Espeak` sagt die Anzahl an: „Found five buttons“ und so weiter. Wenn Sie ein Relais ansteuern möchten oder eine LED aufleuchten soll, importieren Sie die GPIO-Bibliothek von Python und feuern dann den zugehörigen GPIO, um (wegen des hohen Spulenstroms über einen Schalttransistor) das Relais anzusteuern.

Nachspiel

Edge Impulse wurde 2019 mit dem Ziel gegründet, Entwicklern die Möglichkeit zu geben, die nächste Generation von intelligenten Geräten zu entwickeln. Seitdem sind KI-gesteuerte Programme und Geräte auf ESP32, Jetson Nano, Raspberry Pi, Orange Pi, Maixduino, OpenMV, Nicla Vision und vielen anderen erschienen. Dieser Trend wird sich in den kommenden Tagen noch verstärken! Vorbei sind die Zeiten der Super- oder der großen Markencomputer. Kleine, modulare Geräte mit geringer Stromaufnahme nehmen diesen Raum schnell ein. Und wer weiß? Vielleicht können wir schon bald die eingebaute Weisheit direkt aus der Verpackung heraus installieren! ◀

RG — 230575-02



Über den Autor

Somnath Bera, ein Maschinenbauingenieur vom Jalpaiguri Govt. Engg. College, Indien, arbeitet als General Manager bei NTPC, dem größten Stromerzeuger des Landes. Er hat eine tiefe Leidenschaft für Elektronik, was durch seine mehr als 60 innovativen Projekte bei Elektor Labs bewiesen wird, von denen schon mehr als zehn in Elektor vorgestellt wurden. Seine Projekte beschäftigen sich oft mit Problemlösungen in Bereichen wie der Abfallwirtschaft und dem Umgang mit natürlichen Ressourcen. Somnath verwendet gerne innovative Ansätze und Plattformen wie Arduino, Raspberry Pi und ESP32 in Verbindung mit verschiedenen Arten von Sensoren und drahtlosen Systemen, um effiziente und kostengünstige Lösungen zu schaffen.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte per E-Mail an den Autor unter berasomnath@gmail.com oder an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

- > **Raspberry Pi 4 B (1 GB RAM)**
www.elektor.de/18966
- > **G. Spanner, Machine Learning mit Python für PC, Raspberry Pi und Maixduino (Elektor)**
Buch, kartoniert, deutsch: www.elektor.de/19981
E-Buch, PDF, deutsch: www.elektor.de/19982
- > **D. Situnayake, Jenny Plunkett, AI at the Edge Rande (O'Reilly)**
Buch, englisch: www.elektor.de/20465



Listing 1: Das Python-Programm nutzt das Tool espeak, um die Anzahl der Knöpfe anzusagen.

```
#!/usr/bin/env python
import device_patches # Device Specific patches - taken care by the software
import cv2 #import Computer Vision
import os
import sys, getopt
import signal
import time
from edge_impulse_linux.image import ImageImpulseRunner
import subprocess #this one have been added by Bera
...
    elif "bounding_boxes" in res["result"].keys():
        print('Found %d bounding boxes (%d ms.)' % (len(res["result"]["bounding_boxes"]),
            res['timing']['dsp'] + res['timing']['classification']))
        if (len(res["result"]["bounding_boxes"])>0):
            exitCode = subprocess.call(["espeak", "-ven+f3", "-a200", " Found %d Buttons" %
                len(res["result"]["bounding_boxes"]) ]) #This one have been added by Bera
...

```

WEBLINKS

- [1] Edge Impulse: <https://edgeimpulse.com/>
- [2]] Installation von Edge Impulse auf dem Raspberry Pi 4: <http://tinyurl.com/ysc6mtuz>
- [3] Linux Python-SDK: <http://tinyurl.com/2bat4w6z>
- [4] Projektseite bei Elektor Labs: <https://t1p.de/mfnqr>

Innovative Embedded- Designs

Besuchen Sie Arrow Electronics
auf der embedded world
in Nürnberg, 9.-11. April
Halle 4A-342

Weitere Informationen:
arrow.com/embeddedworld

ARROW
Five Years Out



Arten von eingebetteten Systemen

Nach Funktion

- > Eigenständige Systeme
- > Echtzeit-Systeme
- > Netzwerk-Systeme
- > Mobile Systeme

Anwendungsfälle

- > Automobilindustrie
- > Unterhaltungselektronik
- > Fertigung
- > Einzelhandel
- > Medien und Unterhaltung
- > Luft- und Raumfahrt, Verteidigung
- > Telekommunikation
- > Sonstige

WEBLINKS

- [1] Embedded, „embedded survey 2023: more IP reuse as workloads surge“, 2023: <https://embedded.com/embedded-survey-2023-more-ip-reuse-as-workloads-surge>
- [2] Accenture, „Technology Vision 2024: Human by design“, Januar 2024: <https://accenture.com/gb-en/insights/technology/technology-trends-2024>

Eine breite Palette von Anwendungen

Eine Umfrage aus dem Jahr 2023 [1] zeigt, dass die meisten eingebetteten Projekte für industrielle Automatisierung, IoT, Kommunikation und Automobilanwendungen entwickelt werden.

Die Umfrageteilnehmer konnten bei der Angabe der Anwendungsarten, an denen sie arbeiten, mehrere Antworten auswählen.



(Quelle: embedded.com / AspenCore Media [1])

Fortgeschrittene Technologie-Fähigkeiten

Aus der gleichen Studie [1] geht hervor, dass eingebettete KI und maschinelles Lernen in laufenden Projekten mit 50 % des Gesamtinteresses eine große Rolle spielen. Eingebettete Bildverarbeitungs- und Sprachfunktionen folgen mit 47 % und 36 % dicht dahinter. Etwa einer von sechs Befragten arbeitet an Projekten mit KI. Dabei nutzen 26 % eingebettete KI, 23 % maschinelles Lernen, 17 % eingebettete Bildverarbeitung und 14 % eingebettete Sprache. Mit Blick auf die Zukunft ziehen 24 % eingebettete KI, 24 % maschinelles Lernen, 19 % eingebettete Bildverarbeitung und 15 % eingebettete Sprache für künftige Projekte in Betracht. Andere Technologien wie Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und modellbasierte Funktionen stoßen ebenfalls auf Interesse.

(Quelle: embedded.com / AspenCore Media [1])

Schlüsseltrends, die die Zukunft der Technologie bestimmen

Der Accenture-Bericht Technology Vision 2024 [2] untersucht die wichtigsten Trends, die die Zukunft der Technologie prägen werden. Einer der ermittelten Trends ist die Veränderung der Art und Weise, wie Menschen mit Informationen umgehen. Anstelle des suchbasierten Modells wird es eine Entwicklung hin zu einem Beratermodell geben, bei dem generative KI-Chatbots direkte und dialogorientierte Antworten liefern. Dieser Trend verändert den Softwaremarkt und die Art und Weise, wie Unternehmen Daten nutzen. Dem Bericht zufolge wird sich Data Poisoning (die Einspeisung bössartiger Daten in maschinelle Lernmodelle) bis 2027 zu einer erheblichen Bedrohung für die Cybersicherheit von Unternehmen entwickeln. Prognosen zufolge werden solche KI-Berater bis 2029 die traditionellen Suchmaschinen beim Suchverkehr überholen.

Ein weiterer Trend, der in dem Bericht aufgezeigt wird, ist die Innovation in der Neurotechnologie und der Verfolgung von Körperbewegungen, die zu einer neuen menschlichen Schnittstelle führen kann, die es der Technologie ermöglicht, Menschen auf tiefere Weise zu verstehen. Dieser auf den Menschen ausgerichtete Ansatz birgt Chancen und Probleme, darunter Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes und die Notwendigkeit aktualisierter biometrischer Standards. Der Bericht prognostiziert für 2026 einen Rennsimulator, der durch Hirnaktivität und Augenbewegungen gesteuert wird, für 2029 die Verabschiedung von Neurorechtsgesetzen durch einen großen Teil der Nationen und für 2035 ein Neurotech-Gerät für Verbraucher, das Träume in Visualisierungen und Text umwandelt.

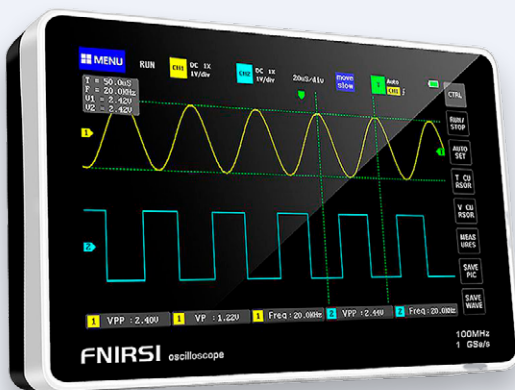
Der Elektor Store

Nie teuer, immer überraschend!

Der Elektor Store hat sich vom Community-Store für Elektor-eigene Produkte wie Bücher, Zeitschriften, Bausätze und Module zu einem umfassenden Webshop entwickelt, der einen großen Wert auf überraschende Elektronik legt.

Wir bieten die Produkte an, von denen wir selbst begeistert sind oder die wir einfach ausprobieren wollen. Wenn Sie einen Produktvorschlag haben, sind wir hier erreichbar (sale@elektor.de).

FNIRSI 1013D 2-Kanal Tablet-Oszilloskop (100 MHz)

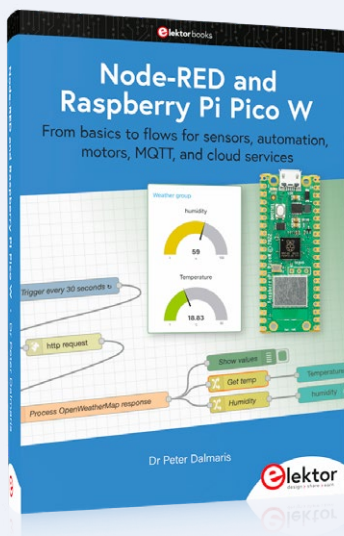


Das FNIRSI 1013D ist ein voll ausgestattetes 2-Kanal Tablet-Oszilloskop mit einem hochauflösenden 7-Zoll-LCD-Bildschirm (800 x 480 Pixel). Das Oszilloskop verfügt über eine Echtzeit-Abtastrate von 1 GSa/s und eine analoge Bandbreite von 100 MHz.

Preis: 159,95 €

Mitgliederpreis: 143,96 €

www.elektor.de/20644



Node-RED and Raspberry Pi Pico W

Dieses Buch ist eine Lernanleitung und ein Nachschlagewerk, mit dessen Hilfe Sie Node-RED, den Raspberry Pi Pico W und MicroPython kennenlernen und Ihr Technologie-Toolkit um diese hochmodernen Werkzeuge erweitern.

Preis: ~~44,95 €~~

Mitgliederpreis: 40,46 €

www.elektor.de/20745



Oxocart Connect Innovator Kit

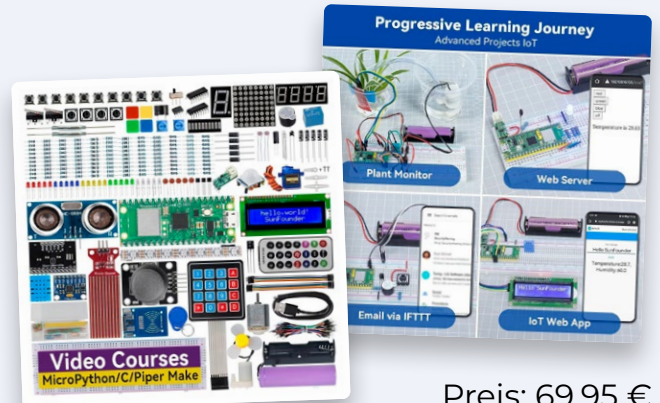


Preis: 89,95 €

Mitgliederpreis: 80,96 €

www.elektor.de/20718

SunFounder Kepler Kit (Ultimate Starter Kit für Raspberry Pi Pico W)



Preis: 69,95 €

Mitgliederpreis: 62,96 €

www.elektor.de/20730

Temperaturgesteuerte Lötstation ZD-931



Preis: 49,95 €

Mitgliederpreis: 44,96 €

www.elektor.de/20623

FNIRSI DSO152 Mini-Oszilloskop (200 kHz)



Preis: 39,95 €

Mitgliederpreis: 35,96 €

www.elektor.de/20642



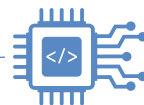
Die Zukunft der Embedded-Systeme

Von Prof. Dr. Sebastian Steinhorst (Deutschland)

Embedded-Systeme sind das Rückgrat der modernen Informationstechnologie - sie ermöglichen energieeffiziente und sparsame Geräte, die von der industriellen Automatisierung über autonomes Fahren und intelligente Haushaltsgeräte bis hin zu den neuesten AR/VR-Headsets für die Unterhaltungstechnologie reichen.

In den letzten zehn Jahren haben wir einen Wandel von isolierten eingebetteten Systemen, die einzelne Geräte versorgen, hin zu einem nahtlos integrierten Internet der Dinge in naher Zukunft erlebt, das durch autonom agierende, intelligent verbundene Geräte ermöglicht wird. Diese Entwicklungen haben die Anforderungen an eingebettete Systeme drastisch verändert. Während Aspekte wie Zuverlässigkeit, Effizienz und Kosteneffizienz nach wie vor im Mittelpunkt stehen, betrachten wir umfangreiche Kommunikationsfähigkeiten sowie Hardwarebe-

schleuniger für Sicherheit und künstliche Intelligenz (KI) als notwendige Merkmale moderner Plattformen. Ebenso werden vertrauenswürdige Ausführungsumgebungen zur Voraussetzung, da Cyberangriffe allgegenwärtig sind. Blicken wir in die nahe Zukunft, so ist zu erwarten, dass mit dem Aufkommen des Quantencomputings die Anforderungen der Post-Quantum-Kryptographie (PQC) berücksichtigt werden müssen und etablierte Systemarchitekturen zur Diskussion stellen. Gleichzeitig verlangen neuartige Anwendungsszenarien wie das medizinische Internet der Dinge (IoT) nach noch mehr Funktionen, wobei beispielsweise die geräteinterne Beschleunigung für homomorphe Verschlüsselung und Zero-Knowledge-Beweise die wachsende Nachfrage nach Technologien zur Verbesserung der Privatsphäre unterstreichen, die auf Augenhöhe mit den Entwicklungen im Sicherheitsbereich behandelt werden müssen. Trotz ständiger Fortschritte im Cloud-Computing bleibt die Verarbeitung „at the edge“ auf absehbare Zeit eine Kernanforderung, die durch die ständig wachsenden Datenmengen, die auf dem Gerät in Echtzeit verarbeitet werden müssen, noch verschärft wird, zum Beispiel




Video- und Audiodaten sowie hochauflösende Sensordaten für KI-basiertes Computing in Augmented-Reality- und autonomen Systemanwendungen. Diese Echtzeitanforderungen fördern neue Forschungsrichtungen in der eingebetteten Wahrnehmung und schaffen Geschäftsmöglichkeiten, sowohl auf der Ebene der eingebetteten Hardware als auch der Software.

Auf der Hardware-Ebene werden die Fortschritte bei Chiplet-Plattformen es uns ermöglichen, ein System-on-Chip (SoC) ohne großen Designaufwand auf eine Anwendung zuzuschneiden, und zwar dank des Konzepts der Kombination vorgefertigter Bausteine, so genannter Chiplets. Spezifische Bausteine machen die Vorteile anwendungsspezifischer integrierter Schaltkreise (ASICs) für kleinere Losgrößen zugänglich und ermöglichen die Auswahl des idealen Satzes von Hardware-Beschleunigern für eine bestimmte Anwendung, was sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus Effizienzperspektive zu Optimierungen führt.

Auf der Softwareebene wird die Nachfrage nach Cybersicherheit zur Einführung neuer eingebetteter Programmierparadigmen und -sprachen führen, um die zertifizierbare Sicherheit in eingebetteten Geräten zu fördern - ein Trend, der durch die aktuellen Bemühungen der Gesetzgebung, zum Beispiel der Agentur der Europäischen Union für Cybersicherheit (ENISA), noch beschleunigt wird. Da das Paradigma des digitalen Zwillinges in alle Anwendungsbereiche vordringt, wird der Forschungsbereich der eingebetteten digitalen Zwillinge mit der virtuellen Darstellung physischer Güter auf Geräte- oder Randebene sicherlich zunehmen.

Eine weitere interessante Entwicklung wird der Übergang von 5G zu 6G mit um Größenordnungen höheren Anforderungen an den Verarbeitungsdurchsatz aufgrund der Kommunikation mit extrem niedrigen Latenzzeiten und hoher Bandbreite sein. Auf der anderen Seite übernimmt Wi-Fi Aspekte von 5G wie Wi-Fi HaLow für eine größere Reichweite sowie Multilink-Konnektivität und fortschrittliche Übergabefunktionen zusammen mit vollständig verwalteten Netzwerken und ultraniedriger Latenz, die für das kommende Wi-Fi 8 erwartet werden. Diese Entwicklungen werden die Anwendung der lizenzfreien Kommunikation in Bereichen ermöglichen, die bisher 5G vorbehalten waren. All diese Aspekte werden die Eigenschaften eingebetteter Plattformen stark beeinflussen und sie vor nie dagewesene Herausforderungen

stellen, wenn es darum geht, eingebettete Betriebsparameter in Bezug auf Energiebudget, Leistungsmetriken und Kosten einzuhalten.

Angesichts all dieser spannenden Trends und der zu bewältigenden Herausforderungen ist es nicht verwunderlich, dass Marktforscher prognostizieren, dass der Jahresumsatz im Bereich der eingebetteten Systeme von derzeit etwa 110 Mrd. USD auf rund 160 Mrd. USD im Jahr 2030 steigen wird [1]. Eingebettete Systeme waren, sind und werden die Hauptantriebskraft für die Umsetzung technologischer Innovationen in Anwendungen sein. Wer mit den Trends Schritt halten kann, hat in diesem dynamischen Bereich also viel zu gewinnen. Lassen Sie uns diese großartige Zukunft gemeinsam gestalten! 

240054-02



Über den Autor

Prof. Dr. Sebastian Steinhorst leitet die Arbeitsgruppe Eingebettete Systeme und Internet der Dinge am Lehrstuhl für Technische Informatik der Technischen Universität München (TUM) in Deutschland. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf Systemarchitekturen, Entwurfsmethodiken und Protokollen für sichere verteilte eingebettete Systeme in den Anwendungsbereichen Internet der Dinge, Industrie 4.0 und autonome Systeme. Er promovierte 2011 in Informatik an der Goethe-Universität Frankfurt am Main, arbeitete von 2011 bis 2016 am TUMCREATE-Forschungszentrum in Singapur und ist seit 2016 Fakultätsmitglied der TUM.

WEBLINK

[1] The Insight Partners, „Embedded System Market Growth Report | 2022-2030“, Oktober 2023:
<https://theinsightpartners.com/reports/embedded-system-market>

Benchmark-Test mit Rechteckwellen

Ein Vergleich zwischen ESP32, Pico und anderen Mikrocontrollern

Von Saad Imtiaz (Elektor)

Angesichts der Schwierigkeiten eines Funktionsgenerators, die Qualität von Rechteckwellen bei hohen Frequenzen aufrechtzuerhalten, werden in diesem Artikel die Fähigkeiten von Mikrocontrollern bei der Erzeugung von Rechteckwellen untersucht. Dabei geht es auch um die Auswirkungen von Software-Umgebungen und des Overheads der Hardware-Abstraktionsschicht.

Bei der elektronischen Signalerzeugung ist das Erreichen präziser Wellenformen eine grundlegende Herausforderung. Funktionsgeneratoren sind oft das Mittel der Wahl, um eine Reihe von Wellenformen, einschließlich Rechteckwellen, zu erzeugen. Ihre Grenzen werden jedoch bei höheren Frequenzen deutlich. Dieses Problem wurde bei einem Funktionsgenerator beobachtet, der bei 20 MHz Schwierigkeiten hatte, die Wellenform aufrechtzuerhalten, und als Ausgangssignal eher eine Sinus- als eine Rechteckwelle lieferte. Diese Erkenntnis veranlasste uns, die Fähigkeiten von Mikrocontrollern (MCUs) zur Erzeugung von Rechteckwellen zu untersuchen und zu prüfen, wie sie im Vergleich zu herkömmlichen Funktionsgeneratoren abschneiden.

Funktionsgeneratoren: das Dilemma der Rechteckwelle

Funktionsgeneratoren sind so konzipiert, dass sie verschiedene Wellenformen über einen breiten Frequenzbereich erzeugen können. Bei höheren Frequenzen, insbesondere ab etwa 20 MHz und darüber, verliert eine Rechteckwelle jedoch ihre Form und verwandelt sich eher in eine Art Sinuswelle. Diese Verzerrung ist in erster Linie auf die Bandbreitenbegrenzung und die inhärenten Anstiegs- und Abfallzeiten der Ausgangsstufe des Generators zurückzuführen. Elektronisch gesehen erfordern die scharfen Ecken einer Rechteckwelle schnelle Spannungsänderungen, die mit steigender Frequenz immer schwieriger aufrechterhalten werden können. Die kapazitiven und induktiven Elemente im Schaltkreis führen zu Verzögerungen, was zu abgerundeten Kanten und einem sinusähnlichen Aussehen führt. **Bild 1** zeigt die mit dem UNI-T UTG962E erzeugte Rechteckwelle bei 20 MHz.

Erzeugen von Rechteckwellen mit Mikrocontrollern

Mikrocontroller bieten eine einfache Alternative für die Erzeugung von Rechteckwellen: Sie können diese durch schnelles Umschalten von GPIO-Pins (General-Purpose Input/Output = Allzweck-Ein-/Ausgabe) erzeugen. Ziel dieses Projekts war es, verschiedene MCUs zu testen, um ihre maximale Frequenz für die Erzeugung sauberer Rechteckwellen zu bestimmen. **Bild 2** zeigt Rechteckwellen bei 20 MHz, die vom

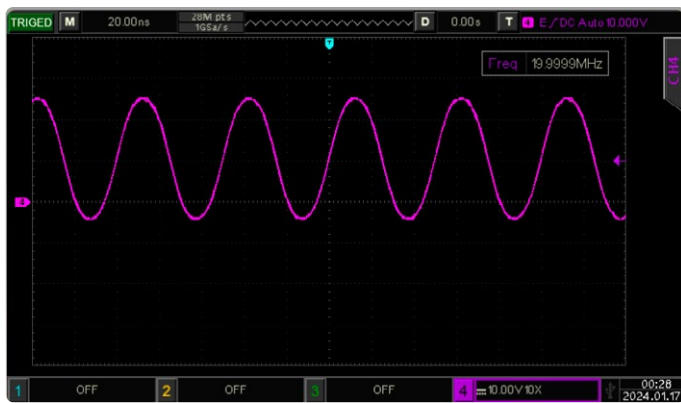


Bild 1. Mit dem Funktionsgenerator UNI-T UTG962E erzeugte Rechteckwelle bei 20 MHz.



Bild 2. Vergleich zwischen Rechteckwellen des ESP32-S2 (türkis) und des UNI-T UTG962E (pink).

ESP32-S2 (türkis) bzw. vom UNI-T UTG962E (pink) erzeugt werden. Wie man sieht, kommt die vom ESP32-S2 erzeugte Wellenform einer Rechteckwelle näher als der Funktionsgenerator.

Core Speed und Pin-Toggle-Speed

Ein wichtiger Aspekt bei MCUs ist die Unterscheidung zwischen der Core Speed (der Taktfrequenz des Prozessors) und der Geschwindigkeit, mit der ein GPIO-Pin umschalten kann. Während moderne MCUs Core Speeds von mehr als 240 MHz aufweisen können, bedeutet dies nicht eine gleiche Frequenz beim Schalten von Pins. Die Pin-Toggle-Speed wird von mehreren Faktoren beeinflusst, darunter die Architektur des Mikrocontrollers, die Effizienz des Codes und die physikalischen Grenzen der Hardware. So begrenzen beispielsweise die Zeit, die ein Signal für die Ausbreitung durch den Chip benötigt, und die Zeit, die ein Pin zum Laden oder Entladen der Kapazität benötigt, die maximal erreichbare Frequenz.

Einfluss der Entwicklungsumgebung

Eine wichtige Beobachtung war der Einfluss der Entwicklungsumgebung auf die Frequenzerzeugung. Die Verwendung der Arduino IDE zum Umschalten von Pins führte zu niedrigeren Frequenzen im Vergleich zur Benutzung nativer MCU-Umgebungen oder direkter Registermanipulation. Dieser Unterschied unterstreicht die Bedeutung der Softwareoptimierung für die Maximierung der MCU-Performance. Wie in **Bild 3** zu sehen ist, wurde der ESP32-C3 mit dem Arduino-Framework programmiert und erreicht nur 914,10 kHz, während in **Bild 4** das gleiche Board mit in ESP-IDF kompiliertem Code läuft und 20 MHz erreicht. Dies zeigt den beträchtlichen Einfluss, den die Entwicklungsumgebung auf die Frequenzerzeugung hat. Diese Diskrepanz lässt sich auf Faktoren wie den Overhead der Hardware-Abstraktionsschicht (HAL), Software-Optimierung, Compiler-Unterschiede, Interrupt-Verarbeitung, Hintergrundprozesse, Taktmanagement und Ressourcenzuweisung zurückführen. Durch den nativen Betrieb dieser Boards kann also einiges an verborgenem Potenzial in den Chips freigesetzt werden, da sie ohne Verwendung zusätzlicher HALs zuverlässiger und effizienter arbeiten.

Methodik des Experiments und Beobachtungen

Im Rahmen des Experiments wurden verschiedene Mikrocontroller zur Erzeugung von Rechteckwellen getestet und die Ausgabe mit einem Oszilloskop gemessen. Der Schwerpunkt lag auf der höchsten Frequenz, bei der jede MCU noch eine echte Rechteckwelle erzeugen konnte. Die Beobachtungen zeigten, dass bei niedrigen Frequenzen scharfkantige Rechteckwellen erzeugt wurden. Mit zunehmender Frequenz begannen die Wellen abgerundete Kanten aufzuweisen, ähnlich wie bei Funktionsgeneratoren, wie in **Bild 5** zu sehen ist. Die meisten Wellen waren jedoch nahe an einer Rechteckwelle, wenn auch in unterschiedlichen Frequenzregionen. Die Wellenform in Bild 5 kann nicht genau sein, da sie bei etwa 60 MHz liegt und das verwendete Oszilloskop eine maximale Abtastfrequenz von 100 MHz hatte. Als allgemeine Faustregel gilt, dass die maximale Abtastfrequenz des Oszilloskops fünfmal höher sein sollte als die gemessene Frequenz. **Bild 6** zeigt ein Balkendiagramm, das die Mikrocontroller und ihre maximalen Ausgangsfrequenzen in verschiedenen Entwicklungsumgebungen darstellt. Der für diesen Test verwendete Code sowie die Screenshots der Oszilloskop-Wellenformen sind unter [1] zu finden.

Fazit und Ausblick

Diese Untersuchung zeigt die inhärenten Einschränkungen bei der Erzeugung von Rechteckwellen auf, unabhängig davon, ob traditionelle Funktionsgeneratoren oder moderne Mikrocontroller verwendet werden. MCUs bieten zwar eine kompakte und vielseitige Alternative für die Erzeugung von Rechteckwellen, doch unterliegen auch sie physikalischen und elektronischen Beschränkungen, die die Qualität der Wellenform bei höheren Frequenzen beeinträchtigen. Die Kerngeschwindigkeit einer MCU stellt eine theoretische Obergrenze dar, aber die tatsächliche Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Wellenerzeugung ist aufgrund der Komplexität der Signalausbreitung und der Hardwarebeschränkungen oft geringer.

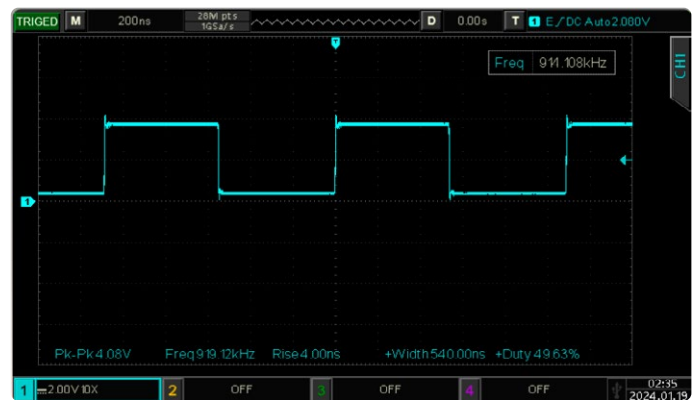


Bild 3. Maximale Frequenz des ESP32-C3-DevKit-M1 mit Code, der mit dem Arduino-Framework kompiliert wurde.



Bild 4. Maximale Frequenz des ESP32-C3-DevKit-M1 mit Code, der mit der ESP-IDF kompiliert wurde.

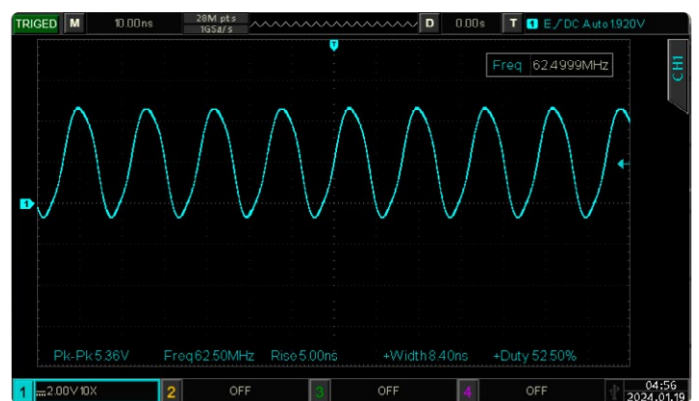


Bild 5. Raspberry Pi Pico W mit 62,5 MHz unter Verwendung einer PWM-Funktion in MicroPython.

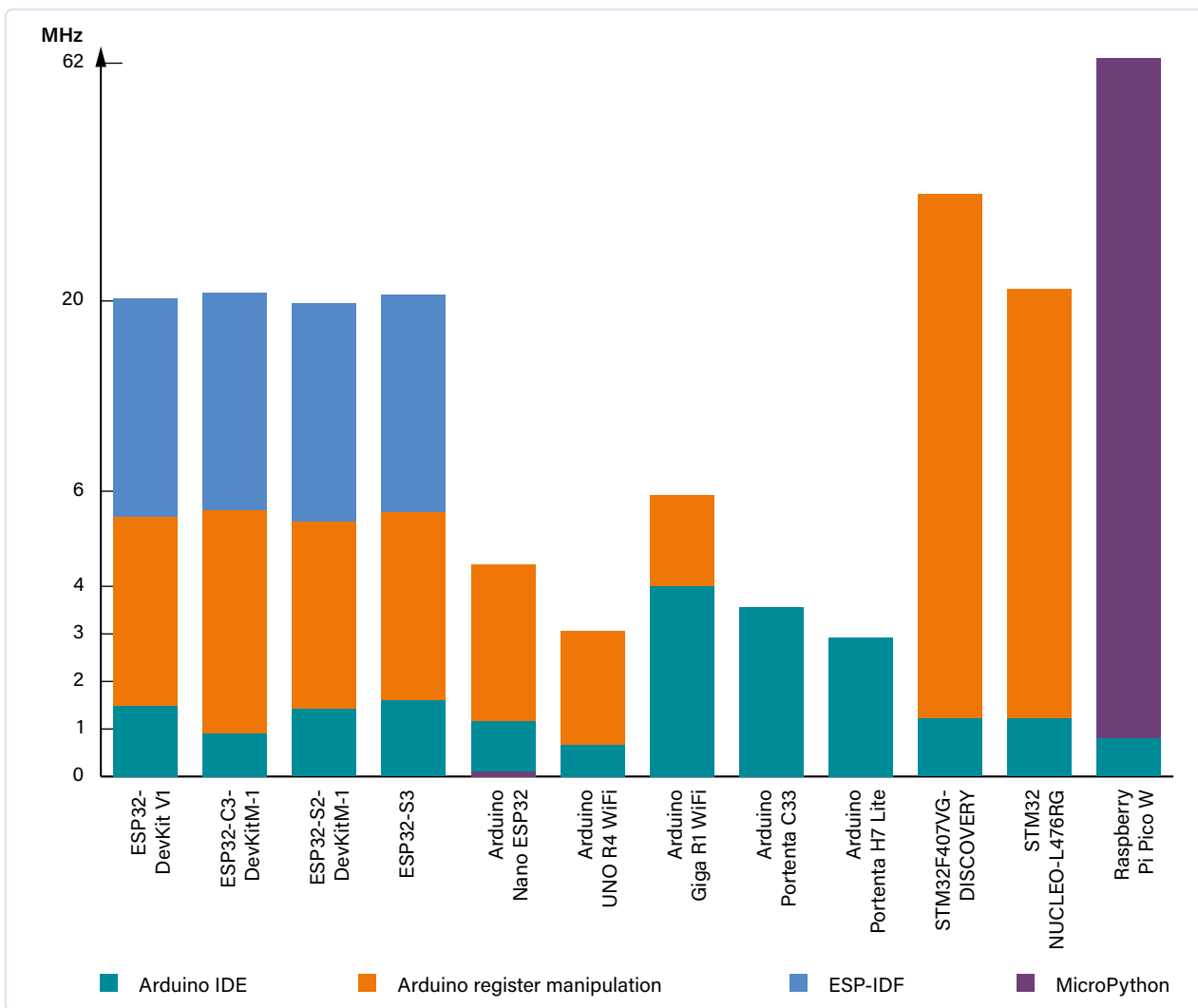


Bild 6. Balkendiagramm mit den maximalen Ausgangsfrequenzen der getesteten Mikrocontroller.

Zukünftige Untersuchungen könnten fortgeschrittene Technologien einbeziehen, wie z. B. die Verwendung von DDS-Chips (Direct Digital Synthesis) mit Mikrocontrollern, die eine bessere Leistung bei der Erzeugung hochfrequenter Rechteckwellen bieten könnten. Wir können auch andere Arten von Tests zur Signal- und Funktionserzeugung mit diesen und weiteren Mikrocontrollern durchführen. Darüber hinaus könnte das Experimentieren mit verschiedenen MCU-Architekturen und Programmier-techniken unser Verständnis für die praktischen Grenzen dieser vielseitigen Geräte für die Erzeugung von Wellenformen erweitern. ◀

Übersetzt von Jörg Starkmuth — 240027-02

Über den Autor

Saad Imtiaz (Senior Engineer, Elektor) ist Mechatronik-Ingenieur mit Erfahrung in den Bereichen Embedded Systems, mechatronische Systeme und Produktentwicklung. Er hat mit zahlreichen Unternehmen in aller Welt, von Startups bis zu Konzernen, bei der Prototypenerstellung und Entwicklung zusammengearbeitet. Saad hat auch einige Zeit in der Luftfahrtindustrie verbracht und ein Technologie-Startup-Unternehmen geleitet. Bei Elektor treibt er die Projektentwicklung im Software- und Hardware-Bereich voran.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter saad.imtiaz@elektor.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

- > **ESP32-S3-DevKitC-1U-N8R8**
www.elektor.de/20697
- > **STM32 Nucleo L476RG Entwicklungsboard**
www.elektor.de/17946
- > **Arduino Pro Portenta X8**
www.elektor.de/20270
- > **PicoVision Raspberry Pi Pico W**
www.elektor.de/20693

WEBLINK

[1] GitHub-Repository mit Code und Screenshots: <https://github.com/Saad-Imtiaz/SquareWaveBenchmark>

WERDEN SIE MITGLIED UNSERER COMMUNITY



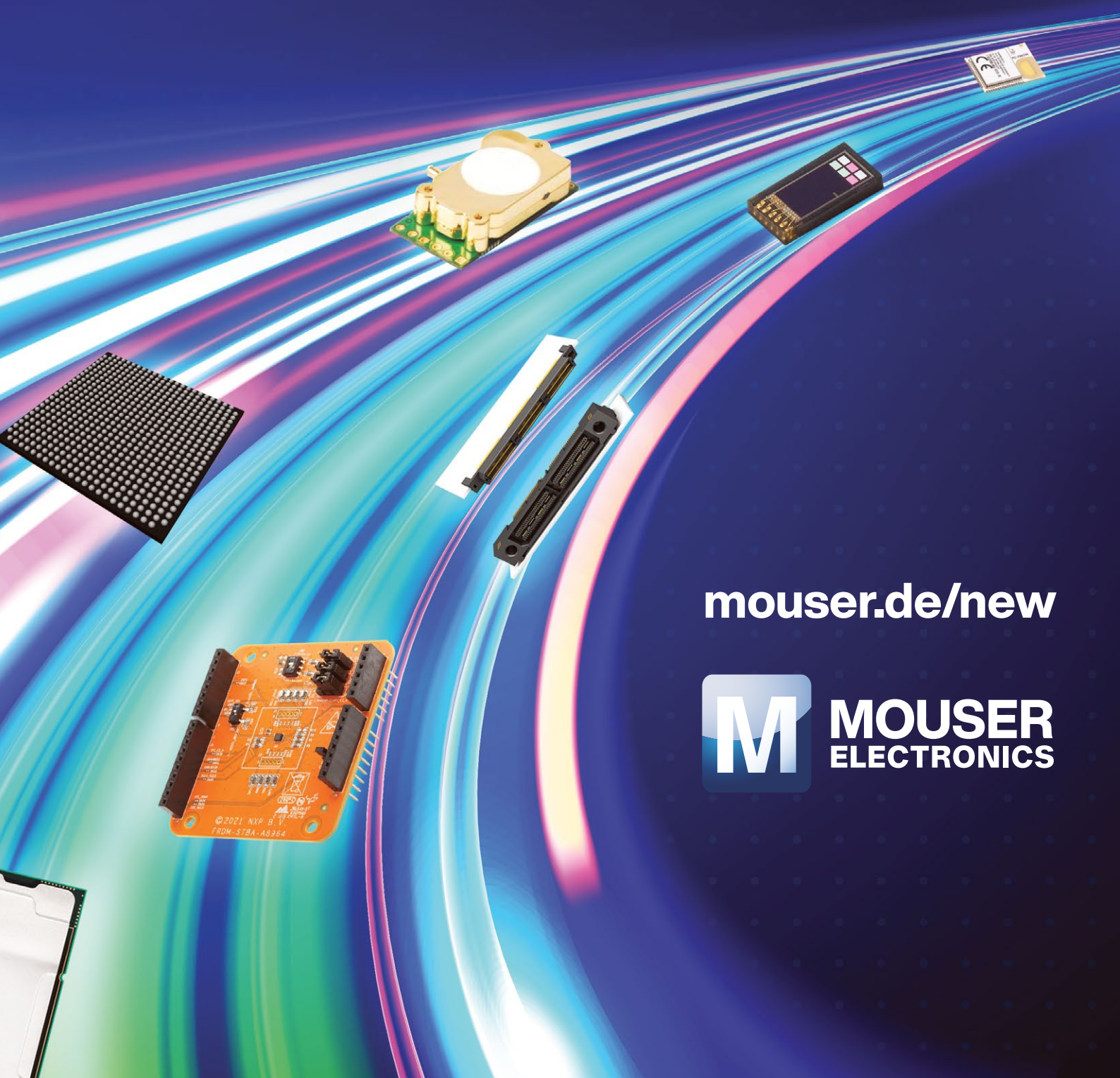
KOSTENLOSER
DOWNLOAD

Melden Sie sich heute an, elektormagazine.de/ezine-24



Volle Kraft voraus

Vertrauen Sie dem führenden Unternehmen für Neuprodukteinführungen™, um Ihre Idee in Rekordgeschwindigkeit umzusetzen



[mouser.de/new](https://www.mouser.de/new)



**MOUSER
ELECTRONICS**