Zutrittskontrolle mit Energy Harvesting aus der Türklinkenbewegung

Prof. Dr. Juan-Mario Gruber, BSc. Patrick Toma
Institute of Embedded Systems, ZHAW, Winterthur, Switzerland

Zusammenfassung

Dieser Beitrag stellt ein energieautarkes System für die Zugangskontrolle mittels Energy Harvesting vor. Das System ist für den Einbau in konventionelle Türen konzipiert. Die Einbaumasse entsprechen einem Standardtürschloss. Das vorgestellte energieautarke System kann herkömmliche Batteriebetriebene elektrische Schlösser ersetzen. Ziel des energieautarken Systems ist es, einen NFC-Tag anhand Umgebungsenergie auszulesen, um eine anschließende Authentifizierung durchzuführen. Bei erfolgreicher Authentifizierung wird die Tür mit einem Motor entriegelt. Es wurde ein funktionierender Prototyp erstellt und damit die Machbarkeit nachgewiesen.

Keywords: Energy Harvesting, Zugangskontrolle, NFC

Einführung

Das Einsatzgebiet von energieautarken Systemen hat sich in den letzten Jahren stark erweitert. Nicht zuletzt dank der energieeffizienteren Elektronik und durch Optimierung der Energy Harvester. Moderne Mikrocontroller und Sensoren benötigen immer weniger Energie, und Energy Harvesting Technologien konvertieren grössere Mengen an Umgebungsenergie. Dieser Trend sorgt für praxisrelevantere Lösungen. Energieautarke Systeme finden immer häufiger Anwendung in verkabelungstechnisch schwer zugänglichen Umgebungen oder als Ersatz für Batterien.

Anwendung und Funktion

In diesem Beitrag wird ein energieautarkes System zur Eintrittsidentifikation an Türen vorgestellt. Als Grundlage wird hier ein elektronisches Schloss verwendet. Handelsübliche elektronische Schlösser besitzen ein Auslesegerät für die Authentifikation und können die Tür entriegeln. Mit solch einem System kann sichergestellt werden, dass nur autorisierte Personen Zugang zu abgesperrten Bereichen erhalten. Für ein Hotelzimmer erhält jeder Gast eine Karte, mit der er eindeutig identifiziert werden kann. Mit dieser Karte ist es möglich das gemietete Zimmer zu betreten, jedoch kein anderes. Solche elektrischen Schlösser benötigen Zugang zu einem Stromnetz oder Batterien.

Das hier entwickelte energieautarke System sammelt die benötigte Energie aus der Drehbewegung der Türklinke und nutzt diese, um die Authentifikation mit anschließender Entriegelung der Tür durchzuführen.

Der Standardablauf zur Entriegelung der Tür beinhaltet folgende Schritte: Karte an das Lesegerät halten, die Türklinke betätigen, Karte auslesen, Tür entriegeln und anschliessen wieder verriegeln. Die einzelnen Schritte und die dazugehörige schematische Energiekurve sind in Abbildung 1 dargestellt. Zur Öffnung der Tür wird die Karte an das Kartenlesegerät gehalten. Beim Betätigen der Türklinke wird die mechanische Energie gesammelt und in elektrische Energie konvertiert. Damit wird die Karte ausgelesen, bei erfolgreicher Authentifizierung die Tür entriegelt und anschliessen wieder verriegelt.

Abb. 1 Standardablauf mit Energiekurve

Systemkonzept und -aufbau

Das energieautarke System besteht aus sechs Komponenten.

Ein Motor mit einem zweistufigen Getriebe dient als Energy Harvester. Ein Spannungsregler wandelt die Ausgangsspannung des Motors in nutzbare 3.3 V um. Diese wird in einem Superkondensator gespeichert und über eine Powermanagementeinheit (PME) verwaltet. Zur Identifizierung dient ein Kartenlesegerät für NFC-Karten (Near Field Communication). Ein

Mikrokontroller übernimmt die Steuerung des Systems. Das Ver- und Entriegeln der Tür erfolgt durch Solenoid Aktuatoren. Abbildung 2 zeigt die einzelnen Komponenten im Zusammenspiel.

Abb. 2 Systemübersicht

Verriegelungssystem

Das Freigabesystem des Prototyps besteht aus zwei Solenoid Aktuatoren (Abbildung 4). Die Ver- und Entriegelung erfolgt durch lineares Verschieben des Türriegels. Der mechanische Aufbau der Solenoid Aktuatoren erzwingt eine lineare Bewegung des Kerns. Sobald ein Strom durch die Zylinderspule des Aktuators fließt, wird ein elektromagnetisches Feld aufgebaut und stößt den ferromagnetischen Kern in die oder aus der Spule. Die Richtung des Stroms bestimmt die Nord- und Südlage des Feldes (Abbildung 3).

Abb. 3 Zusammenhang zwischen Polage und Stromrichtung

Mit dieser Lösung wird keine Linearumsetzung benötigt, wie es bei einem regulären DC-Motor der Fall wäre. Alternativen wie Piezoaktuatoren benötigen meist eine hohe Antriebsspannung, oder haben einen geringeren Wirkungsgrad. Der rot umrandete Aktuator in Abbildung 4 wird verwendet, um die Tür zu entriegeln. Er muss nicht nur die Haft- und Gleitreibung des Türriegels, sondern auch die Feder- und Gewichtskraft des Kerns vom zweiten Aktuator überwinden können. Sobald der Türriegel ganz eingefahren ist, fällt der Kern des zweiten Aktuators

automatisch in die Kerbe und hält den Türriegel im eingefahrenen Zustand. Um die Tür wieder zu verriegeln muss der zweite Aktuator betätigt werden und die Federkraft stößt den Türriegel in die entsprechende Öffnung im Türrahmen und verriegelt somit das Türschloss.

Abb. 4 Der Türriegel und das Entriegelungssystem

Energiequelle und Harvester

Die mechanische Rotationsenergie, die durch das Betätigen der Türklinke anfällt, wird mit einem Motor in elektrische Energie umgewandelt. In [6] wurden viele verschiedene Typen von Motoren getestet. Die Ergebnisse aus der Arbeit haben ergeben, dass sich Schrittmotoren aufgrund der zweiten Spule am Stator besser als Rotationsenergiekonverter eignen als DC-Motoren. Zusätzlich wurde ein linearer Zusammenhang zwischen Rotationsgeschwindigkeit des Rotors und der konvertierten Energiemenge gefunden. Je schneller der Rotor dreht, desto mehr Energie wird konvertiert. Mit dem hier verwendeten Schrittmotor konnte ein Wirkungsgrad von bis zu $\eta = 0.45$ erreicht werden.

Der Schrittmotor ist über ein zweistufiges Getriebe mit der Türklinke verbunden, um den Aktionsradius der Türklinke zu erweitern und mehr Energie konvertieren zu können. Das Übersetzungsverhältnis beeinflusst die Kraft, welche angewendet werden muss, um die Türklinke zu betätigen. Handelsübliche Türklinken benötigen ein Drehmoment von etwa 1.25 Nm. Damit die Klassifizierung EN 12209 [7] eingehalten werden kann, darf das Getriebe im Verbund mit dem Schrittmotor ein maximales Übersetzungsverhältnis von 14.75:1 nicht überschreiten. Für den Prototyp wurde ein Übersetzungsverhältnis von 12:1 gewählt. Damit wird aus den anfänglichen 0.125 Um-

drehung an der Türklinke 1.5 Umdrehungen am Rotor des Schrittmotors.

Spannungswandler - Abwärtswandler

Die Ausgangsspannung des Schrittmotors beträgt bis zu 50 VAC. Für das Embedded System wird 3.3 VDC benötigt. Damit das Spannungsniveau angepasst werden kann, wurde ein Abwärtswandler mit vorgesetztem Brückengleichrichter eingesetzt (Abbildung 5 und Abbildung 6).

Abb. 5 Blockschaltbild der Versorgungsspannung

Abb. 6 Spannungskurven der Spannungsversorgung

Als Spannungswandler wurde ein LT3991 von Linear Technology ausgewählt aufgrund des sehr niedrigen Fließstromes (2.1 μ A) und des Eingangsspannungsbereiches von 4.3 VDC bis zu 55 VDC geeignet.

Energiespeicher

Für die hier betrachtete Anwendung ist der Bauraum stark begrenzt. Gleichzeitig kann der Strom durch die Spulen der verwendeten Solenoid Aktuatoren bis zu 1 A betragen. Daher wird ein Superkondensator verwendet. Der BZ015A104ZSB hat einen äquivalenten Serienwiderstand von 80 m Ω . Bei einer Spannung von 3.3 VDC können Ströme von bis zu 41.25 A fließen.

Powermanagmenteinheit

Die Powermanagmenteinheit (Abbildung 7) ist auf Effizienz ausgelegt. Für die Spannungsüberwachung wird ein Komparator verwendet, dessen Ausgang zum invertierenden Eingang zurückgeführt wird und somit als Schmitt-Trigger geschaltet ist. So liegt am Ausgang

des Komparators entweder V_{CC} oder GND an. Die Widerstände Rs3 und Rs4 erzeugen eine Hysterese am Ausgang.

Abb. 7 Schema der Powermanagmenteinheit

Prototyp des Gesamtsystems

Aus den betrachteten Komponenten wurde das Gesamtsystem prototypisch aufgebaut. Abbildung 8 zeigt ein CAD-Modell des Prototyps. Die Grundstruktur sorgt für die mechanische Stabilität. Sie besteht aus Aluminium und trägt die übrigen Komponenten des Türschlosses. Das zweistufige Getriebe mit Schrittmotor dient als Energy Harvester. Die Anordnung der Zahnräder des zweistufigen Getriebes (3) wurde so ausgelegt, dass die Löcher der Tür mit jenen des Türschlosses übereinstimmen. Der Schrittmotor kann von außen montiert werden, sobald das Türschloss in der Tür eingebaut ist. So ist es möglich das Türschloss zu montieren, ohne eine handelsübliche Tür zu bearbeiten. Das energieautarke Embedded-System enthält das Energiemanagement und steuert den Ablauf. Das Freigabesystem ist mechanisch mit dem Türriegel gekoppelt.

Abb. 8 CAD-Modell des Prototyps

Energiebilanz

Sobald die Türklinke betätigt wird, stehen dem energieautarken System 125 mJ [8] in Form von elektrischer Energie zur Verfügung. Dem gegenüber steht ein Energiebedarf von 58 mJ, der sich aus den einzelnen Schritten zusammensetzt (Abbildung 9).

Abb. 9 Verlauf der Spannung am Kondensator

Das Starten und Initialisieren des Mikrocontrollers benötigt rund 1.1 mJ und das Auslesen der Karte 6.8 mJ. Mit den Low-Power-

Solenoid-Aktuatoren kann die Tür mit 50 mJ entriegelt und anschliessend wieder verriegelt werden. Damit steht eine Reserve von 67 mJ zur Verfügung.

Fazit

Der in diesem Beitrag vorgestellte Prototyp zeigt, dass Energy Harvesting auch für komplexe Systeme mit mechanischen Aktuatoren geeignet ist. Die gesammelte Energie aus der Betätigung der Türklinke reicht aus, um das System zuverlässig zu betreiben. Im aktuellen Stand wird eine Energiereserve von über 50% erreicht. Optimierungen am Energiebedarf ermöglichen eine Anpassung des Übersetzungsverhältnisses des Getriebes, um den Kraftaufwand zur Betätigung der Türklinke zu minimieren.

Literaturverzeichnis

- [1] STMicroelectronics, „<https://www.st.com>,“ 12 Juni 2017. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cr95hf.pdf>. [Zugriff am 08 Mai 2019].
- [2] Adafruit Industries LLC, „<https://cdn-shop.adafruit.com>,“ 2017. [Online]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/324/C140-A+datasheet.jpg>. [Zugriff am 08 Mai 2019].
- [3] Linear Technology, „<https://www.analog.com>“ 1. November 2009. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3991fa.pdf>. [Zugriff am 8 Mai 2019].
- [4] AVX Corporation, „<http://datasheets.avx.com>“ 2018. [Online]. Available: <http://datasheets.avx.com/BestCap.pdf>. [Zugriff am 8 Mai 2019].
- [5] „<https://nordicsemi.com>,“ 10 Oktober 2017. [Online]. Available: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52832_PS_v1.4.pdf. [Zugriff am 8 Mai 2019].
- [6] ZHAW - InES, „Energy Harvesting aus Türklinke - Evaluation“, Winterthur, 2017.
- [7] VSSB, „<http://www.vssb.ch>,“ 1 September 2005. [Online]. Available: <http://www.vssb.ch/?inc=normen/normen.asp>. [Zugriff am 8 Mai 2019].
- [8] ZHAW - InES, „Energy Harvesting aus Türklinke“ Winterthur, 2018.