

Einführung

Eine der wesentlichen Komponenten von Industrie-4.0-Konzepten ist die sichere und robuste Übertragung von Daten. Standard Industrial Ethernet wie PROFINET, Ethernet-IP und Ähnliche werden in fast allen Anwendungsbereichen eingesetzt. Dennoch existieren Nischen, in denen dies nicht ohne Weiteres möglich ist. In manchen industriellen Anwendungen treten sehr hohe Störimpulse auf, die in der Regel durch steile Schaltflanken beteiligter Halbleiterschalter, wie den Betrieb von Frequenzumrichtern, herrühren. Bei Spezialanwendungen wie z. B. der kombinierten kontaktlosen Energie- und Datenübertragung müssen daher äußerst robuste Datenübertragungsverfahren auf dem Physical Layer eingesetzt werden. Als ein solches Datenübertragungsverfahren könnte eine modifizierte Variante der „GreenPHY“-Kommunikation^{[1][2]} in Betracht kommen. Um dies beurteilen zu können, wird eine „End to End“-Modell erstellt, deren erste Ergebnisse skizziert werden.

Kommunikation

„GreenPHY“ ist eine angepasste Variante des HomePlug-Standards und stellt eine proprietäre Erweiterung von IEEE-802.3-Technologien für Powerline-Kommunikation dar^[3]. Entscheidend ist hier der Physical Layer. Als Übertragungskanal wird ein ungeschirmtes Aderpaar verwendet. Dieses Aderpaar kann sowohl als „Live- oder Deadwire“ verwendet werden. Bei der „Live-Wire“-Variante werden die Daten auf dem stromführenden Aderpaar aufmoduliert, mit dem auch die Energieversorgung realisiert wird. Im Gegensatz hierzu wird bei der „Deadwire“-Variante ein zusätzliches Aderpaar verwendet, das keine Spannung führt^[3].

Weiter kommen für den Physical Layer ähnliche Verfahren wie bei der ADSL-Technologie (Asymmetric Digital

Abstract

The Powerline technology “Green Phy” shall be analyzed for industrial use. As a first step, a comprehensive end-to-end simulation is created. This simulates both the transmission channel and the complete physical layer including FEC. Furthermore, a MATLAB calculated packet is put on the line using an arbitrary signal generator for analyzing the data transfer on a real channel used in the industry.

Subscriber Line) zum Einsatz. Die Daten werden mittels OFDM-Verfahren (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) auf mehrere Trägerfrequenzen „verteilt“. Die zu übertragenden Symbole werden so auf die einzelnen Träger moduliert, dass die Informationen in der Phase und nicht in der Amplitude übertragen werden (QPSK-Modulation). Dies sorgt für eine vergleichsweise robuste Kommunikation, die jedoch zulasten der Datenrate geht. Über sogenannte ROBO-Modes (ROBO = ROBust Ofdm) in Verbindung mit Turbo Coding mit der Code Rate $\frac{1}{2}$ wird durch redundantes Übertragen von Informationen die Störfestigkeit weiter erhöht und dieses Verfahren damit für das industrielle Umfeld im Prinzip nutzbar. Es lassen sich maximale Datenraten von bis zu 10 Mbps realisieren^[3].

Protokollspezifische Eigenheiten des Homeplug-Standards, die einen Einsatz aufgrund von hohen Latenzen im industriellen Umfeld unmöglich machen, sind hier „abschaltbar“. Als Beispiel sei die automatische Kanalvermessung des Homeplug-Standards genannt, bei der das gesamte Übertragungsspektrum von allen Teilnehmern in regelmäßigen Abständen gescannt wird, um auf mögliche Störer optimal reagieren zu können.

End-To-End-Modell

Für die Simulation wird ein „End to End“-Modell der Übertragung erstellt. Sämtliche Stufen der Kommunikation werden mit einer MATLAB-Simulation modelliert. Ausgehend von einem Datenstrom, der übertragen wird, wird die Kanal- und Leitungscodierung sowie die Übertragungsstrecke im Detail beschrieben. In der Modellierung werden sämtliche Features des Green-Phy-Standards berücksichtigt.

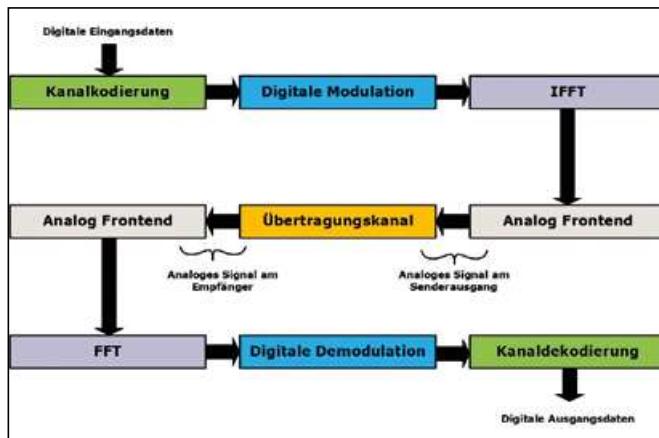


Abbildung 1: Blockschaltbild der Simulation

Beschreibung des Blockschaltbildes:

Kanalkodierung/Kanaldekodierung: Hier wird Forward Error Correction nach dem Green-Phy-Standard eingesetzt, um möglichen Übertragungsfehlern entgegenzuwirken, ohne das Paket nochmals anzufordern. Die Daten werden dabei mithilfe eines Turbo-Coders kodiert, anschließend interleaved, um im letzten Schritt in Abhängigkeit des jeweils eingesetzten ROBO-Modes wiederholt und erneut interleaved zu werden. Der Empfänger nutzt für die Dekodierung der Daten jede der Wiederholungen, um die Wahrscheinlichkeiten der empfangenen Bits zu berechnen.

Digitale Modulation/Demodulation: Hier werden Bitblöcke zusammengefasst und mittels QPSK auf komplexe Symbole abgebildet. Im Empfänger werden die empfangenen komplexen Symbole wieder Bitblöcken zugeordnet.

IFFT/FFT: Der Sender interpretiert die komplexen Symbole als Spektrum und generiert ein zeitdiskretes Signal aus einer festgelegten Anzahl von Symbolen mittels der Inversen Fast-Fourier-Transformation. Der Sender kann

dann durch eine Fourier-Analyse mittels der FFT die komplexen Symbole aus dem zeitdiskreten Signal zurückgewinnen.

Analog Frontend und Übertragungskanal: Am Analog Frontend wird aus dem zeitdiskreten Signal am Sender mittels Sample and Hold ein analoges Signal generiert. Dieses wird durch die Simulation eines Übertragungskanals verändert und am Analog Frontend des Empfängers wieder abgetastet.

Übertragungskanal: Hier wird mit konzentrierten Elementen ein Übertragungskanal in Simulink nachgebildet.

Simulationsergebnisse

Nachfolgend wird das Green-Phy-Signal auf einer Leitung mit additivem weißem Rauschen von 5 dB zur OFDM-Symboleistung simuliert. Senderseitig wurde dabei ein 4-Bit-ADC simuliert.

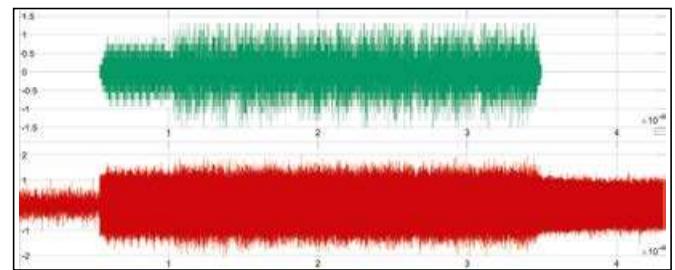


Abbildung 2: Simulation Green-Phy-Signal. Grün: Gesendet, Rot: Empfangen

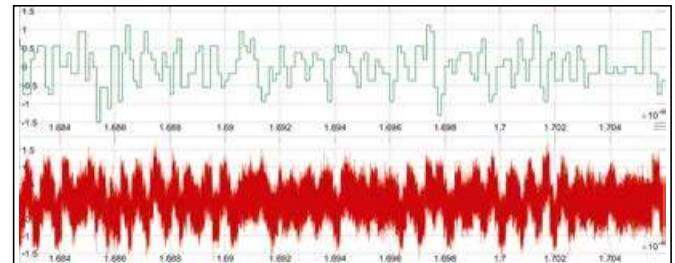


Abbildung 3: Simulation Green-Phy-Signal, Detailansicht. Grün: Gesendet, Rot: Empfangen

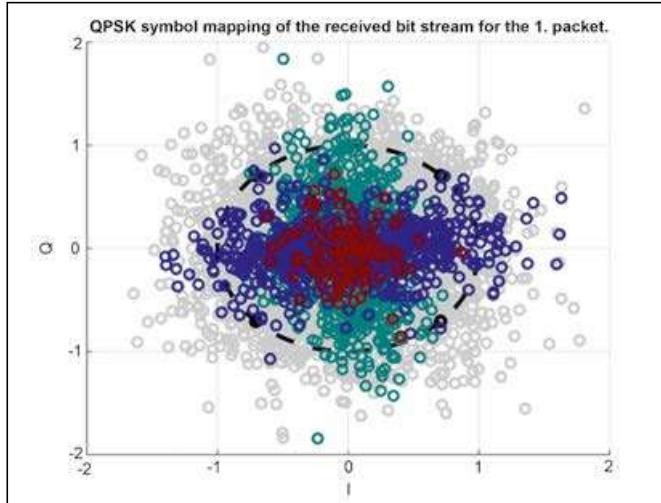


Abbildung 4: Konstellationsdiagramm der simulierten empfangenen QPSK-Symbole. Grau: korrekt empfangene Symbole, Blau: Symbole mit Fehler in der Quadraturkomponente, Türkis: Symbole mit Fehler in der In-Phase-Komponente, Rot: Symbole mit fehlerhaftem I UND Q Anteil

Trotz vieler fehlerhaft übertragener Symbole sind keine Bitfehler nach der Kanaldekodierung aufgetreten.

Vermessung einer realen Leitung

Für eine erste Einschätzung der Übertragungsqualität wurden durch MATLAB berechnete Paketsamples mithilfe eines Arbiträr-Signalgenerators ausgegeben und über eine 100 Meter lange Zweidrahtleitung versendet.



Abbildung 5: Signalgenerator und Oszilloskop angeschlossen an 100 Meter Zweidrahtleitung

Das differentielle Signal wurde dabei über Adapterboards und Coax-Leitungen mit dem Zweidrahtkanal verbunden.

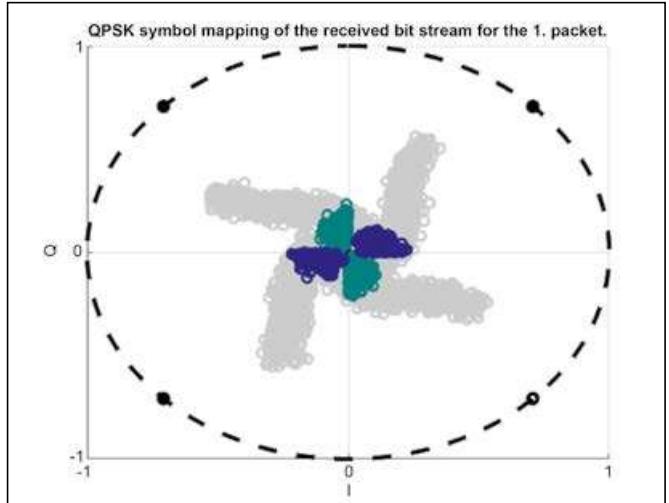


Abbildung 6: Konstellationsdiagramm des empfangenen Signals

Betrachtet man das Konstellationsdiagramm, so stellt man fest, dass das Signal, bedingt durch die Leitungslänge, sehr stark verzerrt wurde. Einige Symbole wurden vom Empfänger dem falschen Quadranten zugeordnet. Durch FEC kommen jedoch alle Nutzdaten fehlerfrei bei der Applikation an.

Referenzen:

- [1] Greephy Introduction; HomePlug Powerline Alliance, <http://www.homeplug.org/tech-resources/green-phy-iot/>
- [2] Whitepaper „Home Plug Green PHY The Standard For In-Home Smart Grid Powerline Communications“, HomePlug Powerline Alliance, [https://www.codico.com/fxdata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614\[1\].pdf](https://www.codico.com/fxdata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614[1].pdf)
- [3] HomePlug Green PHY Specification Release Version 1.1, HomePlug Powerline Alliance; https://www.homeplug.org/media/filer_public/18/b1/18b190c9-4ece-41b4-a94e-4a3a75b64c08/homeplug_gp_spec_v111_tocchap1.pdf

Kontakt:



Alexander Gercikow, M.Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

al.gercikow@oth-aw.de



Maximilian Bauer, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

max.bauer@oth-aw.de



Andreas Fuchs, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.fuchs@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

hp.schmidt@oth-aw.de