Kommunikative Raumbeleuchtung

Autor(en): **Schälli, Othmar / Abt, Reto**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856770

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Kommunikative Raumbeleuchtung

Robuste 100-Mbit/s-Datenübertragung über LED-Leuchten

Die Flut der Multimedia-Services nimmt ständig zu, der Bandbreitenbedarf steigt insbesondere im Bereich der drahtlosen Kommunikation unaufhaltsam. Der Kommunikation in Innenräumen kommt eine immer grössere Bedeutung zu. Da die LED-Raumbeleuchtung die bestehenden Lichtquellen bald ablösen könnte, ist es nicht nur technologisch interessant, sondern auch ökonomisch attraktiv zu prüfen, ob Leuchtdioden nicht auch für Kommunikationszwecke eingesetzt werden könnten.

Othmar Schälli, Reto Abt

Die treibende Kraft für den Versuch, Raumbeleuchtung für Kommunikation zu verwenden, ist der Wunsch, sich frei im Gebäude bewegen zu können, ohne auf die mobilen Begleiter und die damit verbundenen Dienste verzichten zu müssen.

Individuelle Dienste, die darauf basieren, dass der Standort des Individuums bekannt ist, sogenannte «Follow-Me-Services», stellen zusammen mit der steigenden Datenrate, wie sie für HDTV oder Videostreaming nötig ist, erhöhte Anforderungen an ein kabelloses Kommunikationssystem.

Die verschiedenen Inhouse-Übertragungsmedien für die Überwindung der letzten Meter wurden im Rahmen des Forschungsprogramms Omega der EU analysiert.

Es stehen verschiedene Übertragungstechniken zur Verfügung:

- Funkübertragung: das übliche WLAN im ISM-Band um 2,5 GHz oder im 5-GHz-Bereich.
- Neu: Das Ultra-Wide-Band-System im Frequenzbereich von ca. 3–10 GHz.
- Die Lichtübertragung VLC (Visible Light Communication) oder IR (Infrarot).
- Die Übertragung via Stromnetz (Power Line Communication).

Sowohl mit Funktechnik als auch mit Lichtkommunikation können drahtlose Datenübertragungssysteme realisiert werden. Da aber die Verfügbarkeit von Funkkanälen begrenzt ist und zusätzlich die Befürchtungen bezüglich der schädlichen Wirkung von elektromagnetischer Funkstrahlung steigen, sind alternative drahtlose Lösungen gefragt. Sichtbares Licht, das mit weissen Leuchtdioden erzeugt wird, bildet eine solche Alternative.

Was spricht für die Datenübertragung mit sichtbarem Licht? Die Vorteile im Überblick:

- Das Frequenzband (400–700 nm) ist lizenzfrei.
- Keine Interferenzen mit funkbasierten Systemen.
- Ausbreitungseigenschaften erlauben kleine Zellen (Spektrum kann mehrmals verwendet werden).
- Sicherheit (What You See Is What You Send).
- Intuitive «Bedienung» (wo Licht ist, habe ich Empfang).
- Gesundheit (völlig bedenkenlos für Körper und Augen).
- Benützung auch in kritischen Bereichen erlaubt (Flugzeug, Spital, da keine EMV-Störungen).
- Doppelte Nutzung der Infrastruktur: Beleuchtung und Datenübertragungsmedium.

Laufende Forschungsaktivitäten

Im 7. Rahmenprogramm der EU wird im Projekt Omega (Home Gigabit Access) in einem Teilprojekt am Thema «Visible Light Communication» geforscht. Auch haben sich zwei Standardisierungsgruppen gebildet, die diese Form der Kommunikation vereinheitlichen: VLCC Visible Light Communication Consortium (ein japanisches Konsortium), dem Firmen wie Sony, Toshiba, Samsung, Agilent, Casio, Mitsubishi, Hamamatsu und NEC angeschlossen sind, die wiederum in der JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) zusammengeschlossen sind. Die zweite Standardisierungsgruppe ist die Working Group for WPAN 802.15, die in der IEEE in der Task Group 7 an einem Standardentwurf für Visible Light Communication arbeitet.

Was ist möglich?

Das Ziel des Forschungsprojekts an der Hochschule Luzern – T&A im Kompetenzzentrum Elektronik (CCE) war es, die technologischen Möglichkeiten im zukunftsträchtigen Bereich der Inhouse Communication mit sichtbarem Licht auszuloten und systematisch Lösungen für die technischen Herausforderungen zu erarbeiten, damit diese skalierbar für weitere Systementwicklungen in der Industrie zur Verfügung stehen.

Dazu wurde ein Demonstrator entwickelt, der mit sichtbarem Licht (VLC) Broadcast-Informationen, wie sie zur Übertragung von hochauflösendem Fernsehen (HDTV) nötig sind, übertragen kann. Es wurden bewusst ehrgeizige Ziele anvisiert, um die technologischen Grenzen auszuloten und Erfahrungen an der Machbarkeitsgrenze zu gewinnen. Als Eckwerte, die der Demonstrator zu erfüllen hat, galten eine normale Raumbeleuchtung von ca. 400 lx, eine Datenübertragungsstrecke von rund 2,5 m und eine Datenrate von 100 Mbit/s bei Verwendung handelsüblicher weisser LEDs, die für Beleuchtungszwecke konzipiert wurden. Ausserdem sollte die Latenzzeit, also die Zeit, die die Daten von der Quelle bis zum Empfängerausgang brauchen, kleiner als 10 ms sein.

Die Herausforderungen

Als spezifische Herausforderungen stellten sich folgende fünf Faktoren heraus, die anhand der Lösungen erläutert werden.

Eigenschaften der LEDs

Da handelsübliche, nicht spezifisch für die Datenkommunikation entwickelte Leuchtdioden verwendet wurden, waren sie bezüglich der Eigenschaften für die schnelle Datenübertragung nicht spezifiziert. Also wurden Hochfrequenz-Modelle für die Leuchtdioden hergeleitet

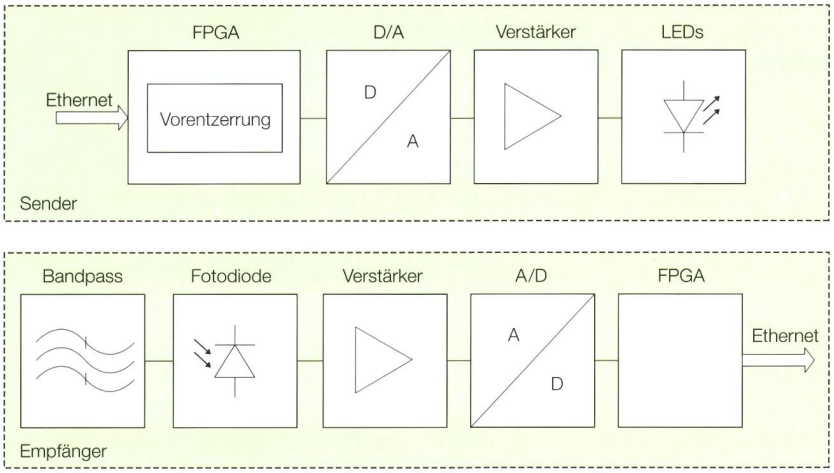


Bild 1 Blockschaltbild Sender (oben) und Empfänger (unten).

HSLU

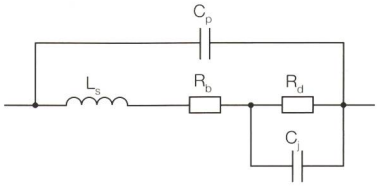


Bild 2 Ersatzschaltung einer LED.

HSLU

und anhand dieser die Leuchtdioden charakterisiert und durch Messungen verifiziert.

Wärmeabfuhr

Es ist allgemein bekannt, dass Leuchtdioden gekühlt werden müssen. Die spezielle Herausforderung bei der hochfrequenten Ansteuerung ist die nötige Kompaktheit der Treiberschaltung mit der LED und deren Kühlung.

Breitbandleistungsverstärker

Zur Ansteuerung der Leuchtdioden ist ein breitbandiger Verstärker (1 kHz – 70 MHz) nötig, der wenig Platz beansprucht und den Strom der Dioden effizient modulieren kann.

Kanaleigenschaften

Der Übertragungsweg bei der Lichtkommunikation – der optische Kanal – stellt eine besondere Herausforderung dar. Einerseits nimmt die empfangbare Lichtenergie sehr schnell mit der Distanz ab, andererseits entstehen aufgrund von Lichtreflexionen Mehrwegempfangsphänomene, und durch Umgebungslicht entstehen Störsignale, die die Übertragung beeinträchtigen.

Rauscharmer Empfänger

Die erwähnten Kanaleigenschaften machen klar, dass die Anforderungen an den Empfänger entsprechend hoch sind. Dabei stehen sich widersprechende Aspekte gegenüber, wie hohe Empfindlichkeit, hoher Dynamikbereich und grosse Fotodiodenfläche versus kleine Kapazität für die nötige hohe Geschwindigkeit der anvisierten Datenrate.

Alle diese Eigenschaften machen den Empfänger zum eigentlichen Stolperstein bei der Realisierung des optischen Übertragungssystems.

Das Übertragungssystem im Überblick

Das Übertragungssystem besteht senderseitig aus einem Modulationsteil, der die Nutzdaten über eine Ethernet-Schnittstelle empfängt und sie entsprechend moduliert (NRZ, Non-Return-to-Zero) und vorentzerrt. Über einen breitbandigen Leistungsverstärker wird das Modulationssignal auf die LEDs eingekoppelt. Die LEDs werden mit einem einstellbaren Biasstrom betrieben, mit dem die mittlere, für das menschliche Auge sichtbare Helligkeit eingestellt wird.

Im Empfänger trifft das durch einen Blaulichtbandpass gefilterte Licht auf eine Fotodiode, die einen zur Lichtmenge proportionalen Strom liefert. Dieser wird dann mit einer speziell entwickelten Transimpedanzverstärker-Schaltung in eine Spannung umgewandelt. Die empfangenen Daten werden wiederum mit einem FPGA aufbereitet und über die Ethernet-Schnittstelle zur Verfügung gestellt (Bild 1).

Hochfrequenzmodell von Power-LEDs

Aus den Impedanzmessungen und dem bekannten physikalischen Aufbau der LEDs konnte eine Ersatzschaltung im Arbeitspunkt modelliert werden. Sie besteht aus drei LED-spezifischen Parametern: der parallelen Gehäusekapazität C_p, der seriellen Induktivität L_s durch die Anschlüsse und das Bonding sowie dem Bahnwiderstand R_b. Hinzu kommen zwei vom Arbeitspunkt abhängige Parameter: der differenzielle Widerstand R_d und die dazu parallele Sperrschichtkapazität C_j (Bild 2).

Ausdehnung der Bandbreite von weissen LEDs

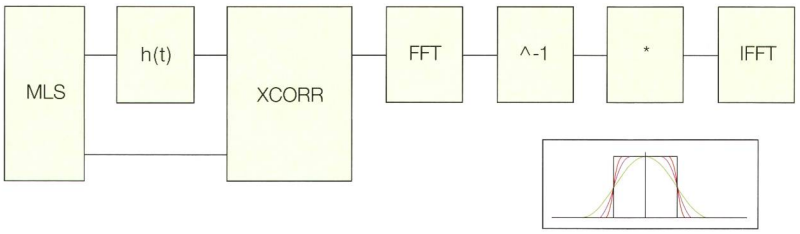
Eine Möglichkeit, weisses Licht mit Leuchtdioden zu generieren, besteht darin, eine blaue LED mit einer zusätzli-

Enclustra

Bild 3 Kostengünstiger Spartan-6-FPGA für Demonstrator.

chen Phosphorschicht auszustatten, die durch das blaue Licht angeregt wird und ein relativ breites weisses Farbspektrum erzeugt. Die optische Bandbreite des gesamten Lichtspektrums einer solchen Weisslicht-LED liegt im Bereich um 1 MHz. Wird beim Empfänger nur der Blaulichtanteil detektiert – was mit einem optischen Bandpassfilter realisiert werden kann –, so erhöht sich die Bandbreite um eine Dekade. Um die geforderte Bandbreite von 60 MHz für eine Basisband-Übertragung (NRZ) mit 100 Mbit/s zu erreichen, ist eine leuchtdiodenspezifische Vorentzerrung mittels digitaler Signalverarbeitung nötig. Ein programmierbarer digitaler Baustein (FPGA) erreicht die nötige Rechenleistung von rund 10^{10} Operationen pro Sekunde, die für das realisierte FIR-Filter nötig sind. Dabei wurde ein kostengünstiger Spartan 6 von Xilinx verwendet **(Bild 3)**.

Die Bestimmung der Filterkoeffizienten des FIR-Filters wurde mit dem direkten Syntheseverfahren durchgeführt, das auf der Basis einer Messung mit dem angepassten Breitbandsignal einer Maximum-Length-Sequenz (MLS) beruht. Dabei wird die Übertragungsstrecke mit der MLS ausgemessen und mit der ursprünglichen MLS korreliert. Die Kreuzkorrelation dieser beiden Signale liefert die Impulsantwort des gesamten Übertragungssystems. Die anschliessende Fouriertransformation liefert das Frequenzspektrum, das nach der Inversion dieses Spektrums noch mit dem gewünschten Frequenzgang des Pulsformungsfilters im Frequenzraum multipliziert wird. Durch eine inverse Fouriertransformation erhält man die gewünschten Filterkoeffizienten **(Bild 4)**.



HSLU

Bild 4 Berechnung der Filterkoeffizienten.

Erzeugen der Signalleistung

Für den Demonstrator wurde ein LED-Spot gewählt, der aus 20 einzelnen, in Serie geschalteten Leuchtdioden besteht, die zusammen nahezu 2000 lm abstrahlen. Über einen Koppler wird das Modulationssignal U_{mpp} von bis zu 24 V vom Leistungsverstärker auf die Leuchtdioden eingekoppelt. Um die anfallende Wärme von über 16 W Verlustleistung abführen zu können, wurde ein Leiterplattenmaterial verwendet, das aus einer Aluminiumbasisplatte, einer elektrischen Isolierung aus Polymeren und Keramik sowie einer Kupferfolie besteht. Mit dieser Leiterplattentechnologie konnten der Verstärker und die Leuchtdioden auf dem gleichen Substrat aufgebaut werden, um die gewünschten thermischen Bedingungen und elektrischen Hochfrequenzeigenschaften zu erreichen.

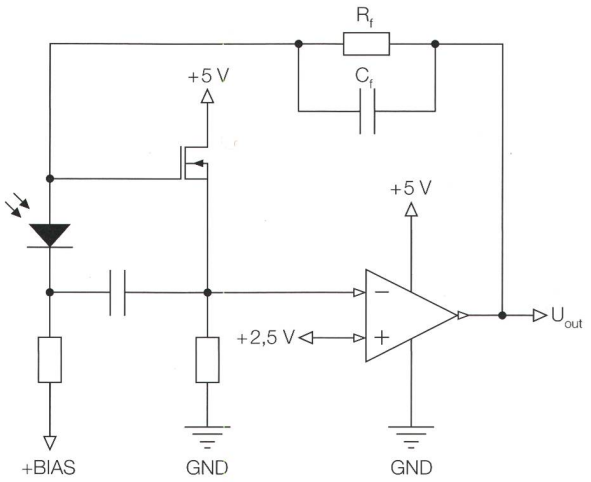
Gegenmassnahmen zu den Kanaleigenschaften

Zwischen Sender und Empfänger sind zwei unterschiedliche Arten der Signalausbreitung möglich – über eine direkte Sichtverbindung «Line-of-Sight» und via Reflektionen. Im Unterschied zu Funkwellen werden Lichtwellen an den meisten Oberflächen im Raum (Wände und Objekte) diffus reflektiert, was eine Vielzahl von möglichen Übertragungsstrecken gibt. Der Effekt der Mehrwegausbreitung (Multipath Propagation) bei einem optischen Signal ist sehr ähnlich dem eines Funksignals – das empfangene elektrische Feld weist Amplituden-Fading auf; das Signal wird dadurch verzerrt.

Da die relative Grösse des Empfängers im Vergleich zur einfallenden Signalwellenlänge des Trägermediums Licht riesig ist, können die Effekte von Multipath Fading (Interferenzen durch Überlagerung von Signalen) vernachlässigt werden. Multipath Dispersion (zeitversetzte Ankunft der Signale beim Empfänger) führt jedoch zu Intersymbolverzerrungen der aufeinanderfolgenden Dateneinheiten bei höheren Übertragungsraten.

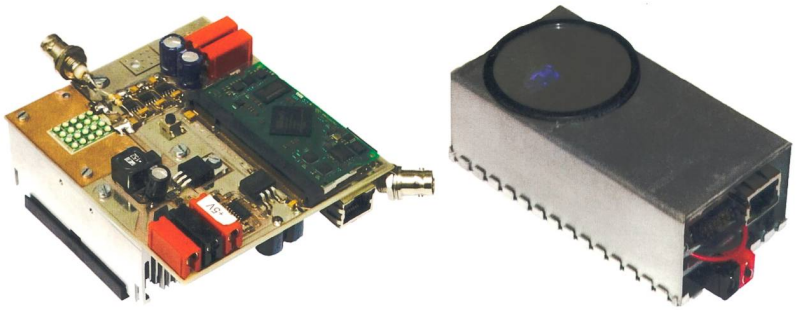
Diese Effekte begrenzen die Übertragungsrate auf etwa 100–200 MBaud/s. Sie können mit einer Empfangsdiode mit Richtwirkung verringert werden.

Hintergrundlicht von der Sonne bzw. von künstlicher Beleuchtung (Leuchtstoff- und Glühlampen) ist gewöhnlich die dominante Quelle von Rauschen und Störungen in einem drahtlosen, optischen Übertragungssystem. Sonnenlicht induziert Schrotrauschen (Shot Noise) im Fotodetektor, das aufgrund der hohen Intensität als zusätzliches Rauschen (additives weisses gausssches Rauschen, AWGN) modelliert werden kann. Leuchtstofflampen können zusätzlich Interferenzen bei Frequenzen bis hin zu 100 kHz verursachen, die jedoch durch eine Codierung (8B10B) und entsprechende Filterung im Empfänger unterdrückt werden können. Damit ist gleichzeitig auch sichergestellt, dass unter allen Bedingungen kein sichtbares Flackern des Lichts entsteht.



HSLU

Bild 5 Schema Empfangsverstärker.



HSLU

Bild 6 Demonstrator-Sender (links) und Empfänger.

Empfängerstruktur

Im Empfänger wird eine handelsübliche Fotodiode mit einer effektiven aktiven Fläche von 150 mm² verwendet. Mittels einer optimierten Bootstrapschaltung wird die Kapazität der Fotodiode von ca. 40 pF dynamisch derart reduziert, dass die nötige Bandbreite von über 50 MHz erreicht wird, und dies bei einem auf den Eingang bezogenen Rauschstrom von 30 nA, was einer Rauschstromdichte von 4 pA/√Hz entspricht **(Bild 5)**.

Das Rauschen in der Empfänger-Elektronik setzt sich aus drei Teilen zusammen: Thermisches Rauschen des Feedbackwiderstands R_f, das Rauschen der FET-Eingangsstufe des Transimpedanzverstärkers und das Rauschen der Bootstrapschaltung. Ab einer Beleuchtungsstärke durch Hintergrundlicht von 1000 lx liegt das Schrotrauschen über dem Rauschen der Empfänger-Elektronik und wird somit dominant.

Mit dem realisierten Demonstrator **(Bild 6)** konnte in einem Laboraufbau eine Bitfehlerrate von 10^{-8} in 2,5 m Entfernung und einer Beleuchtungsstärke von 150 lx beim Empfänger gemessen werden. Der europäische Standard für Bürobeleuchtung sieht eine minimale Beleuchtungsstärke von 400 lx vor. Daraus folgt, dass bei normaler Bürobeleuchtungsstärke die Übertragungsqualität nochmals gesteigert werden kann.

Résumé **Eclairage ambiant communicant**

Transmission robuste de données à 100 Mbit/s à l'aide de lampes LED

Le flot des services multimédia ne cesse de s'amplifier, entraînant une augmentation irrémédiable des besoins en bande passante en particulier dans le domaine de la communication sans fil. L'importance de la communication dans les espaces intérieurs croît de plus en plus. Cet article explique comment l'éclairage ambiant à l'aide de diodes électroluminescentes peut également être utilisé pour la communication et quels avantages cette solution procure. No

Weitere Anwendungsgebiete

Weitere Einsatzgebiete wurden z. B. in Einkaufsläden, Messen oder Museen identifiziert, um lokale Werbe- oder Informationsangebote anzubieten. In Fabriken oder der Medizintechnik gibt es Bedarf für eine Datenübertragung an Orten, an denen Funk nicht erlaubt oder wegen elektromagnetischer Störungen nur eingeschränkt verwendet werden kann. Einige Anwendungsgebiete eröffnen sich im Verkehr. Es wird unterschieden zwischen der Kommunikation Fahrzeug – Infrastruktur oder Fahrzeug – Fahrzeug. LED-Ampeln, Anzeigetafeln und die Strassenbeleuchtung sind mit dieser Kommunikationstechnologie in der Lage, sehr lokale Informationen wie Umfahrungshinweise ans Navigationsgerät im Auto zu senden.

Mit der direkten Kommunikation Fahrzeug – Fahrzeug sind zukünftige intelligente Abstandswarner und Bremsassistenten denkbar, die auf der Basis von mehreren Grössen, die über VLC ausgetauscht werden – Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsaktivität etc. –, angepasst reagieren können.

Das VLCC Consortium hat auch Anwendungen in Einkaufsläden demonstriert, bei denen lokale Verkaufs- und Produktinformationen mit Inhouse-Positionserkennung verbunden wurde, um das Einkaufsverhalten besser zu analysieren.

Die Positionserkennung in Gebäuden basierend auf der optischen Übertragung zu einem mobilen Gerät kann auch für die Orientierung in einem Gebäude, z. B. in einem Flughafen, wertvolle Dienste leisten. Bei einer breiten Einführung einer solchen Technik sind auch weitere Dienste denkbar, die auf dem Wissen der örtlichen Position einer Person basieren, da damit auch das Problem der Inhouse-Personenortung gelöst ist.

Zusammenfassung

Weisslicht-LEDs können gleichzeitig zweifach genutzt werden: zur Raumbeleuchtung und zur drahtlosen optischen Kommunikation, Nachrichtenverteilung und Ortung.

Die Vorteile der optischen Datenübertragung liegen auf der Hand:

- Weltweite Verfügbarkeit als lizenzfreies Medium mit hoher Bandbreite.
- Keine Interferenzen mit herkömmlichen Funktechnologien.
- Die Möglichkeit der räumlichen Wiederverwendung des Übertragungsmediums Licht in kleinen, einfach zu dimensionierenden benachbarten Kommunikationszellen.

Zudem wird die Umwelt nicht mit «Elektrosmog» belastet, der immer mehr von der Bevölkerung als störend wahrgenommen wird.

Die Hochschule Luzern – T&A hat mit diesem Forschungsprojekt die praktische Machbarkeit der VLC bewiesen und ist heute in der Lage, ein VLC-System auf eine spezifische Applikation hin zu dimensionieren. Dabei stehen die nötigen Funktionsblöcke skalierbar zur Verfügung.

Links

- www.ict-omega.eu/publications/deliverables.html
- www.ieee802.org/15/pub/TG7.html
- www.hslu.ch/technik-architektur/t-forschung-entwicklung/t-forschung_entwicklung_elektrotechnik/t-forschung_entwicklung_electronics.htm

Angaben zu den Autoren

Prof. **Othmar Schälli** ist seit 2005 hauptamtlicher Dozent an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur an der Abteilung Elektrotechnik. Er leitet im Kompetenzzentrum für Elektronik Forschungsprojekte in den Bereichen Hochfrequenz, Schaltungstechnik und Nachrichtentechnik. Er ist Leiter der Master Research Unit Elektrotechnik und betreut Masterstudenten als Advisor. Zuvor war er Geschäftsleiter der Engineeringparc AG, Leiter R&D bei der Firma Swissphone Telecommunication, Leiter Technik der Indelco AG und Leiter Secure Radio Systems bei der Crypto AG.
HSLU, 6048 Horw, othmar.schaelli@hslu.ch

Reto Abt schloss sein Masterstudium an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur im Februar 2010 ab. Seine Masterarbeit «Drahtlose, optische Inhouse-Kommunikation» bildete den Grundstein für den Demonstrator, welcher am Kompetenzzentrum für Elektronik entwickelt wurde, wo er auch seit März 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter arbeitet.
HSLU, 6048 Horw, reto.abt@hslu.ch