Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik

Band: 104 (2013)

Heft: 10

Artikel: Transmission robuste de données à 100 Mb/s en utilisant la lumière visible

Autor: Schälli, Othmar / Abt, Reto

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856536

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Transmission robuste de données à 100 Mb/s en utilisant la lumière visible

Transférer des contenus multimédia par le biais de l'éclairage intérieur

La croissance de l'offre en termes de services multimédia induit une augmentation continue des flux de données et donc des besoins en bande passante. À l'intérieur des bâtiments, la transmission sans fil de données à haut débit par la lumière visible représente une solution avec de nombreux avantages pour la communication sur les derniers mètres. En effet, cette technologie émet de façon très locale, donc en assurant une grande sécurité des données, est parfaitement inoffensive et ne provoque aucune perturbation électromagnétique.

Othmar Schälli, Reto Abt

Les divers services multimédia mis à disposition un peu partout de façon permanente engendrent un flux de données en constante augmentation. Les besoins en bande passante qui en découlent suivent une trajectoire similaire, principalement dans le domaine de la connexion sans fil. La communication sur les derniers mètres (à l'intérieur de bâtiments) revêt en particulier une importance de plus en plus prononcée.

Ceci est notamment dû au désir de pouvoir se déplacer librement dans les bâtiments sans avoir à renoncer aux accompagnants mobiles et à leurs fonctions. Mais les services nécessitant la localisation de l'individu, appelés « follow me services », ainsi que ceux gourmands en bande passante, tels que la télévision haute définition ou le streaming vidéo, induisent également des exigences accrues pour le système de communication sans fil.

Motivation

Les différents moyens de communication « inhouse » pour résoudre le problème des derniers mètres ont été analysés dans le projet de recherche Omega (Home Gigabit Access) [1] qui fait partie du 7e programme cadre de l'Union européenne (UE) :

- le WLAN classique dans la bande ISM à 2,5 GHz ou 5 GHz ;
- le nouveau Ultra Wide Band System dans le domaine de fréquences de 3 à 10 GHz ;
- la communication par la lumière visible VLC (Visible Light Communication) ou IR (infrarouge) ;
- la communication par le réseau électrique (Power Line Communication).

Il en résulte que la radiotechnique (WLAN) et la communication par la lumière visible représentent les deux possibilités de communication sans fil.

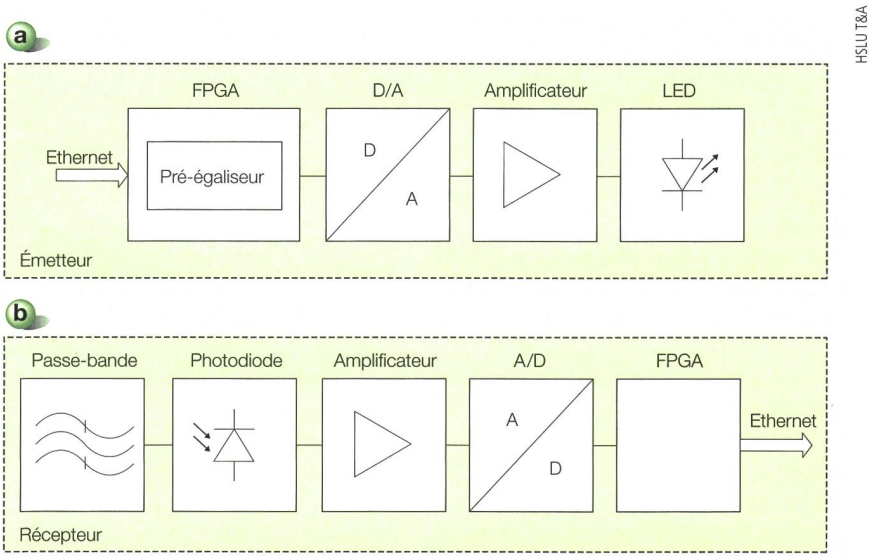
Outre les craintes liées à d'éventuels dégâts causés à la santé par le rayonnement électromagnétique des ondes radio, la disponibilité de canaux de fréquences libres représente la limitation majeure à l'expansion de la radiotechnique. C'est pourquoi des alternatives à ce mode de communication sans fil sont recherchées. La lumière visible avec des LED blanches représente l'une d'entre elles.

Avantages de la transmission par la lumière visible

Les arguments en faveur de la transmission de données par la lumière visible peuvent être résumés comme suit :

- bande de fréquence libre de toute licence (400-700 nm) ;
- aucune interférence avec les systèmes radio ;
- les propriétés de propagation permettent l'utilisation de petites cellules et donc la réutilisation du spectre ;
- sécurité : « wysiwys » (What You See Is What You Send) ;
- utilisation intuitive : la réception est possible là où la lumière est visible ;
- santé : complètement inoffensif pour le corps et les yeux ;
- aucune perturbation électromagnétique : utilisation possible dans des milieux critiques tels que les avions, les hôpitaux, etc.

En outre, cette techologie permet une double utilisation des infrastructures : pour l'illumination et pour la transmission de données.



HSLU T&A

Figure 1 Système de transmission : schéma bloc de l'émetteur (a) et du récepteur (b).

HSLU T&A

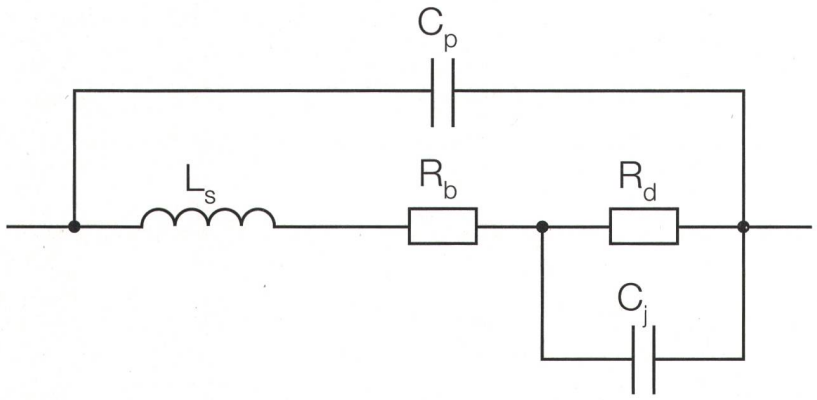


Figure 2 Circuit équivalent d'une LED.

Activités en cours

L'un des sous-projets du programme de recherche Omega est actif dans le domaine de la « Visible Light Communication ». Deux groupes de normalisation se sont également formés afin de normaliser ce mode de communication. Il s'agit des consortiums japonais VLCC (Visible Light Communication Consortium) et JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) auquel des compagnies telles que Sony, Toshiba, Samsung, Agilent, Casio, Mitsubishi, Hamamatsu et NEC se sont rattachées.

Le « task group 7 » du groupe de travail IEEE 802.15 WPAN (Wireless Personal Area Network) travaille également au développement d'un projet de norme pour la technologie VLC [2].

Objectif

Le but du projet de recherche du centre de compétences Electronics (CCE) de la Haute École de Lucerne – Technique et Architecture (HSLU T&A) a été d'étudier les possibilités technologiques de la transmission de données par la lumière visible dans le bâtiment afin que ces développements puissent être mis à la disposition de l'industrie.

Dans cette optique, un démonstrateur qui permet la communication de données par la lumière visible à des débits correspondant à ceux nécessaires à la transmission d'une séquence vidéo en haute définition a été développé. Les objectifs ont été intentionnellement placés très haut de façon à pouvoir identifier les limites de cette technologie.

Les conditions qui se sont imposées pour le développement de ce démonstrateur sont un éclairement intérieur normal d'approximativement 400 lx, une distance de transmission d'environ 2,5 m et un débit de 100 Mbps en utilisant des LED blanches classiques conçues pour l'illumination. Le temps de latence, c'est-à-dire le délai entre le temps de mise à disposition des données par la source et leur réception, doit aussi être inférieur à 10 ms.

Les défis

Les défis spécifiques rencontrés lors de la réalisation de ce démonstrateur ont été les suivants.

Propriétés des LED

Les LED utilisées, de simples LED disponibles dans n'importe quel magasin, ne sont pas spécifiées pour la transmission de données. Des modèles mathématiques haute fréquence ont donc été développés et utilisés pour caractériser ces LED. Des mesures ont ensuite été effectuées pour vérifier ces caractéristiques théoriques.

Refroidissement des LED

Il est bien connu que les LED doivent être refroidies. Le défi rencontré ici concerne la réalisation d'un boîtier compact comprenant le système de commande haute fréquence, les LED et le système de refroidissement.

Amplificateur large bande

Pour commander les LED, un amplificateur large bande (1 kHz-70 MHz) est nécessaire. Il doit être compact et capable de moduler le courant des LED de façon efficace.

Propriétés du canal

Le canal de communication, le canal optique, représente un défi particulier. L'énergie reçue décroît non seulement de façon très rapide avec la distance parcourue, mais surtout de multiples réflexions engendrent des phénomènes de réception à plusieurs chemins. La lumière environnante produit également d'autres perturbations qui peuvent influencer la transmission de données.

Récepteur

Les problèmes évoqués au paragraphe précédent imposent un récepteur avec des propriétés très spécifiques. Des aspects contradictoires doivent être pris en considération pour son développement : d'une part, une haute sensibilité et une bonne dynamique qui nécessitent une photodiode de grande surface, et, de l'autre, une faible capacité indispensable à la transmission à haut débit.

Tous ces compromis font du développement du récepteur le défi majeur de la réalisation de ce système de communication optique.

Réalisation

La réalisation des aspects les plus importants est traitée dans les sections qui suivent.

Enclustra [3]

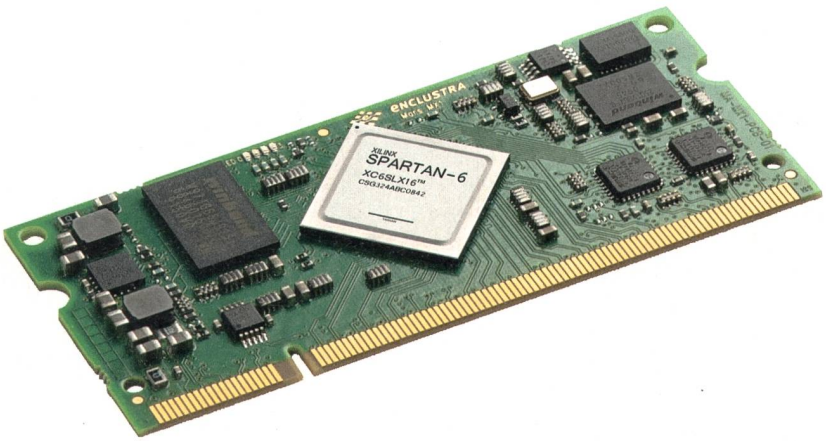


Figure 3 Le FPGA low cost Spartan 6 utilisé pour le démonstrateur.

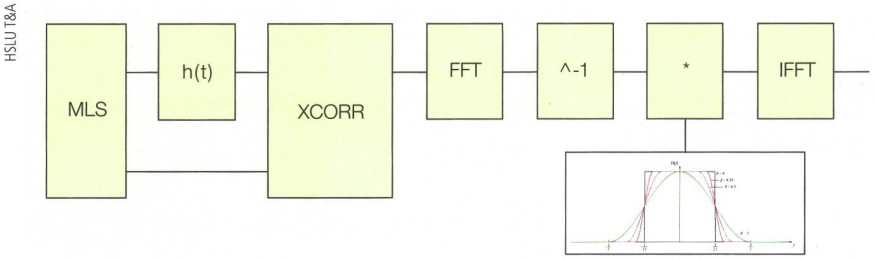


Figure 4 Calcul des coefficients du filtre FIR.

Vue d'ensemble du système de transmission

Le système de transmission **(figure 1)** est composé côté émetteur d'une partie « modulateur » qui reçoit les données utiles grâce à une connexion Ethernet, les module en conséquence (format NRZ, Non Return to Zero) et les précorrige. Le signal de modulation est ensuite couplé aux LED via l'amplificateur de puissance. Ces dernières sont alimentées par un courant de base auquel correspond une illumination normale pour l'œil humain.

Côté récepteur, une photodiode est placée derrière un filtre passe-bande bleu. Celle-ci délivre un courant proportionnel à l'intensité lumineuse. Ce courant va être ensuite transformé en tension par un amplificateur à transimpédance spécial. Les données reçues sont ensuite traitées par un FPGA (field-programmable gate array, un réseau de portes programmables) et dirigées vers une connexion Ethernet.

Modèle haute fréquence des LED de puissance

Un modèle a pu être développé en exploitant les mesures d'impédance ainsi que la structure physique des LED. Ce circuit équivalent **(figure 2)** comprend trois paramètres spécifiques aux LED : la capacité parallèle du boîtier C_p, l'inductance sérielle L_s ainsi que la résistance du circuit R_b. À cela s'ajoutent encore des paramètres qui dépendent du point de fonctionnement : la résistance différentielle R_d et la capacité C_j.

Expansion de la bande passante des LED blanches

Une LED blanche est constituée d'une LED bleue dont la lumière excite une couche additionnelle de phosphore. La bande passante optique d'une telle LED blanche se situe autour d'un megahertz. Elle est augmentée d'une décade en utilisant un récepteur qui capte uniquement la lumière bleue grâce à un filtre passe bande.

Pour obtenir la bande passante à 60 MHz nécessaire à la transmission (NRZ) sur la bande de base à 100 Mbit/s, il a fallu précorriger la lumière émise par les LED grâce à un traitement numérique. Un FPGA programmable permet d'effectuer les 10 gigaopérations par seconde nécessaires à la réalisation du filtre FIR (filtre à réponse impulsionnelle finie). Pour ce faire, un FPGA low cost Spartan 6 de Xilinx est utilisé **(figure 3)**.

La détermination des coefficients du filtre FIR **(figure 4)** a été effectuée par la méthode de synthèse directe basée sur une mesure avec une séquence MLS (Maximum Length Sequence). Le résultat de la transmission d'une telle séquence est corrélé avec la séquence MLS originale. L'autocorrélation de ces deux signaux détermine directement la réponse impulsionnelle du système de transmission complet. La transformation de Fourier subséquente fournit le spectre fréquentiel qui, après inversion, doit encore être multiplié avec la réponse fréquentielle du filtre souhaitée. Les coefficients du filtre sont ensuite obtenus directement par transformation de Fourier inverse.

Réalisation de la puissance du signal nécessaire

Un spot constitué de 20 LED individuelles connectées en série a été choisi pour le démonstrateur. Ce système permet d'atteindre environ 2000 lm. Le signal de modulation (24 V_{pp}) issu de l'amplificateur de puissance est transmis aux LED via un coupleur.

Afin de permettre la dissipation des 16 W de pertes caloriques, un matériau spécial a été utilisé pour le circuit imprimé. Ce dernier est composé d'une plaque de base en aluminium, d'une isolation électrique en polymère et céramique ainsi que d'une couche de cuivre. Grâce à cette technologie, il est possible de monter l'amplificateur et les LED sur le même substrat et ainsi d'atteindre les spécifications thermiques et les propriétés électriques haute fréquence.

Mesures pour les propriétés du canal de transmission

Entre l'émetteur et le récepteur, deux modes de transmission sont possibles : une connexion directe dite « line-of-sight » ou par le biais de réflexions. Contrairement aux ondes radio, les ondes optiques sont réfléchies de façon diffuse sur la plupart des surfaces de la

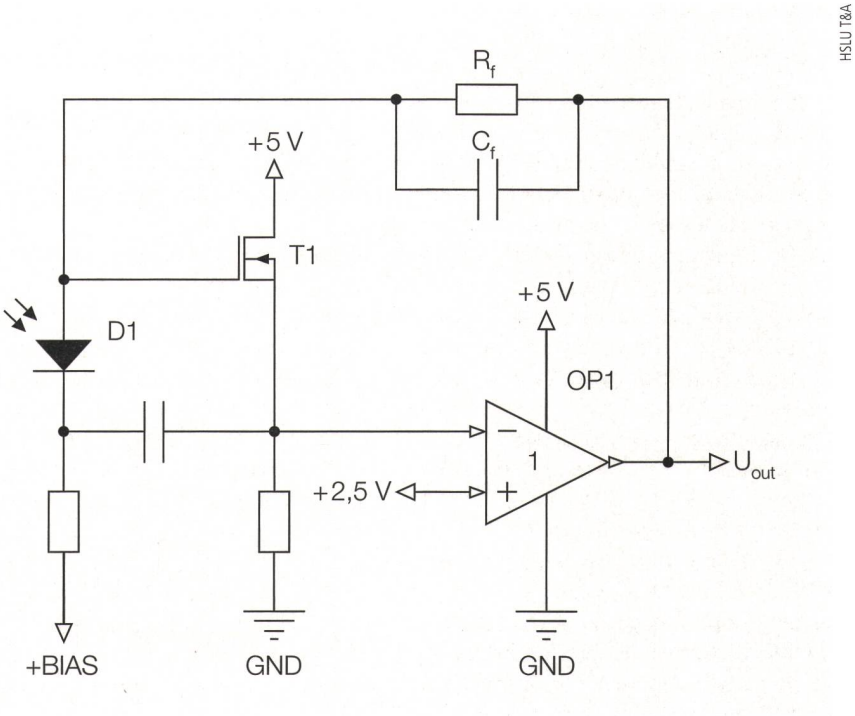


Figure 5 Schéma de l'amplificateur du récepteur.

HSLU T&A

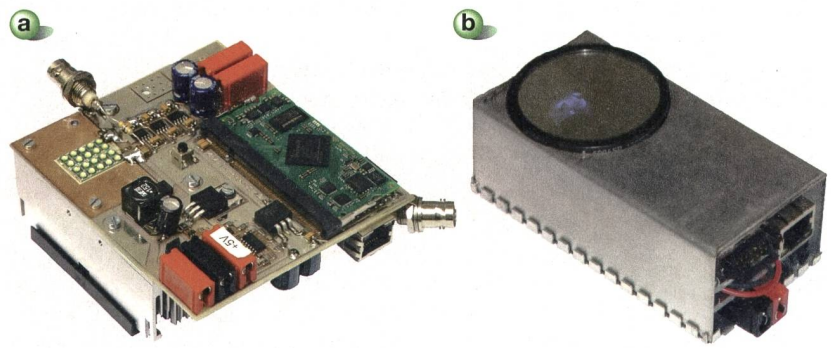


Figure 6 Démonstrateur : émetteur (a) et récepteur (b).

pièce (murs ou objets), ce qui conduit à une multitude de canaux de transmission. L'effet sur un signal optique de cette propagation par plusieurs chemins (multipath propagation) est très similaire à celui exercé sur un signal radio par des interférences (atténuation de l'amplitude du champ électrique et distorsion du signal).

En raison de l'utilisation d'un récepteur avec une surface relativement grande par rapport aux longueurs d'onde des signaux reçus, les effets du « multipath fading » (interférences dues à la superposition de signaux) peuvent être négligés. En revanche, lors de grands débits de transmission, la « multipath dispersion » (arrivée des signaux sur le récepteur avec un décalage temporel) conduit à des distorsions de type ISI (interference intersymbole) des unités de données consécutives. Ces effets limitent la bande passante à environ 100-200 MBaud.

La lumière de fond émanant du soleil et/ou d'autres sources de lumière artificielle représente la source majeure de bruits et de perturbations dans un système optique de transmissions de données. La lumière du soleil induit du bruit quantique (shot noise) dans le photodétecteur, qui peut être modélisé comme un bruit additionnel (AWGN, Additive White Gaussian Noise) en raison de sa haute intensité. Les lampes fluorescentes peuvent créer des interférences additionnelles jusqu'à 100 kHz qui peuvent cependant être atténuées à l'aide d'un encodage (8B10B) et d'un filtre correspondant dans le récepteur.

Structure du récepteur

Une photodiode classique (D1) avec une surface de 150 mm^2 est utilisée dans le récepteur. À l'aide d'un circuit optimisé de type Bootstrap, la capacité de la photodiode d'environ 40 pF peut être réduite de sorte que la bande passante nécessaire de 50 MHz puisse être atteinte (figure 5).

Le bruit dans l'électronique du récepteur provient de trois sources distinctes : le bruit thermique de la résistance de contre-réaction R_f, le bruit de l'étage d'entrée FET (Field Effect Transistor, T1) de l'amplificateur à transimpédance (OP1) et le bruit du circuit Bootstrap. À partir d'un éclairement par la lumière de fond de 1000 lx, le bruit quantique est supérieur au bruit de l'électronique du récepteur et devient dominant.

Grâce au démonstrateur réalisé (figure 6), un taux d'erreur de transmission de 10^{-8} pour une distance de transmission de 2,5 m et un éclairement lumineux de 150 lx au niveau du récepteur a pu être mesuré. Le standard européen pour l'éclairage des bureaux prévoit un éclairement minimal de 400 lx. Il s'ensuit que la qualité de la transmission pourrait être encore augmentée avec un éclairage de type bureau normal.

Perspectives

D'autres domaines d'application de la transmission de données optique ont été identifiés (centres commerciaux, foires, musées, etc.) pour offrir, par exemple, de l'information locale. Dans les unités de production sensibles ou dans le domaine médical, une transmission de données de type non électromagnétique est aussi souvent souhaitée.

Dans les transports, des domaines d'application pourraient également être développés. Il convient alors de différencier la communication de véhicule à véhicule et la communication entre véhicules et infrastructure. Des feux de type LED, des panneaux de signalisation ou l'éclairage public pourraient être utilisés pour transmettre de l'information très locale telle que des itinéraires de contournement à des systèmes de navigation. Dans le cadre de la communication entre véhicules, des systèmes d'assistance au freinage pourraient être imaginés. Ils échangeraient des informations telles que la vitesse, l'accélération ou le freinage instantané et adapteraient leur comportement de façon dynamique à ces informations.

Le consortium VLCC a également démontré l'intérêt de cette technologie pour certains magasins dans lesquels une information locale sur les produits et les données de localisation à l'intérieur du magasin ont été couplées afin de faciliter l'analyse du comportement des acheteurs. La localisation dans le bâtiment sur la base de la transmission optique de données sur un appareil mobile peut en outre constituer une aide précieuse à l'orientation, par exemple, dans un aéroport.

Conclusion

La technologie VLC permet une double utilisation simultanée des LED blanches : pour l'éclairage d'une pièce et la réalisation d'une communication sans fil. La transmission optique de données présente de nombreux avantages dont une disponibilité dans le monde entier, sans licence, avec une haute bande passante et une absence d'interférences avec les ondes radio. De plus, cette technologie ne génère pas de pollution électromagnétique dont la présence dans l'environnement est de plus en plus perçue comme nuisible par la population.

La HSLU T&A a prouvé avec ce projet de recherche la faisabilité de la VLC et est en mesure de mettre sur pied un système de communication optique répondant à des spécifications particulières. Dans cette perspective, les blocs développés pour ce démonstrateur et présentés dans cet article peuvent être adaptés en fonction des applications. Le centre de compétences Electronics (CCE) est un partenaire compétent en mesure de réaliser le transfert technologique de la recherche vers des partenaires industriels désireux de lancer de nouveaux produits innovants sur le marché.

Références

[1] www.ict-omega.eu/publications/deliverables.html.
[2] www.ieee802.org/15/pub/TG7.html.
[3] http://enclustra.com/en/home/.

Informations sur les auteurs

Prof. **Othmar Schälli** est depuis 2005 professeur à la HSLU T&A dans le département d'électrotechnique. Il mène des projets de recherche dans les domaines de la communication et des circuits haute fréquence. Il est responsable du Master Research Unit dans le département d'électrotechnique et supervise des étu-

diants de master. Il a été CEO de Engineeringparc AG et responsable R&D dans diverses compagnies opérant dans les télécommunications.

Hochschule Luzern, Technik & Architektur, 6048 Horw, othmar.schaelli@hslu.ch

Reto Abt a obtenu son master MSE (Master of Science Engineering) à la HSLU T&A en 2010. Son travail de diplôme « Drahtlose, optische Inhaus-Kommunikation » a été le point de départ du démonstrateur présenté dans cet article. Il est maintenant collaborateur scientifique au centre de compétences Electronics.

Hochschule Luzern, Technik & Architektur, 6048 Horw, reto.abt@hslu.ch

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement Prof. Dr Thierry Prud'homme, HSLU T&A, pour la traduction de la version allemande de cet article en français.

Zusammenfassung **Robuste 100 Mb/s Datenübertragung mit sichtbarem Licht**

Übertragung von Multimedia-Inhalten über die Innenbeleuchtung

Die Zunahme des Angebots an Multimedia-Diensten führt zu einer ständigen Erhöhung der Datenströme und damit der erforderlichen Bandbreite. In Innenräumen stellt die drahtlose Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung mit sichtbarem Licht eine Lösung dar, die zahlreiche Vorteile für die Kommunikation über die letzten Meter bietet: Die Übermittlung mithilfe dieser Technologie erfolgt mit grosser Datensicherheit, ist vollkommen unschädlich und verursacht keine elektromagnetischen Störungen.

Mit dem Ziel eines Technologietransfers an die Industrie hat die Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU T&A) einen Demonstrator entwickelt, der Daten mit weissem LED-Licht übertragen kann. Die Datenrate reicht für die Übertragung von hochauflösenden Videosequenzen aus. Dieser Artikel beschreibt die Herausforderungen, die Realisierung des Geräts und die Perspektiven, die diese Technologie bietet. CHe

Anzeige

«Der Netzqualitätsanalyst»

PowerQ4 MI 2592

- Netzqualitätsanalyse nach EN 50160 im 4-Leiternetz
- Echteffektivwertmessung, Spitze und Scheitelfaktor für Spannung und Strom
- Asymmetrie- und Flickermessung
- Oberschwingungsanalyse bis zur 50. Harmonischen, THD-Messung
- Erfassen und Aufzeichnen von Netzereignissen (Abschaltungen, Unterbrechungen, Überspannungen, Einbrüche)

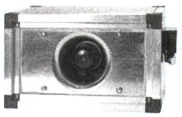
Zeitgleiche Messung + Aufzeichnung von
U • I • P • Q • S • λ • cos φ • THD
Entspricht den Netzqualitätsnormen
IEC 61000-4-30 Kl. S und IEC 61557-12

ELKO SYSTEME AG

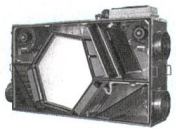
Messgeräte • Systeme • Anlagen
Zur Kontrolle und Optimierung des Verbrauches elektrischer Energie
Brüelstrasse 47 CH-4312 Magden Telefon 061-845 91 45 Telefax 061-845 91 40
E-Mail: elko@elko.ch Internet: www.elko.ch

ANSON **liefert**

Rohrventilatoren
Für direkten Rohranschluss. 10–80 cm Ø. 125–15000 m³/h. Dazu passendes Zubehör:

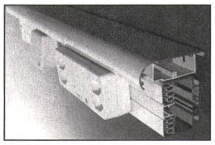
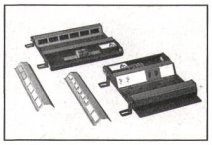
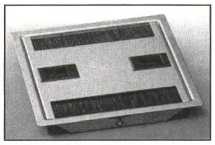


Kanalventilatoren
Rechteckig. 400–7500 m³/h. Vorwärts-/rückwärts gekrümmte Schaufeln, reichhaltiges Zubehör:



ANSON WRG-Ventilatoren
von 230 m³/h bis 15000 m³/h. Geringer Energieverbrauch. Hoher Wirkungsgrad.

ANSON AG 044/461 11 11 **info@anson.ch**
8055 Zürich Friesenbergstrasse 108 Fax 044/461 31 11 **www.anson.ch**

Wie Strom-, Daten- und Telefonleitungen zu Arbeitsplätzen in Büros, Labors und Werkstätten führen?

→ Mit LANZ Brüstungskanal-Stromschienen 63 A
→ Mit LANZ Bodendosen
→ Mit LANZ Doppelboden-Installationsmaterial

Fragen Sie LANZ. Wir haben Erfahrung! Verlangen Sie Beratung und Offerte. lanz oensingen ag CH-4702 Oensingen 062 388 21 21

•M1/8

LANZ **lanz oensingen ag**
CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2
Telefon 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24
www.lanz-oens.com info@lanz-oens.com