

La microtechnologie au service de l'énergie

Autor(en): **Kotrotsios, Georges / Enz, Christian**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **100 (2009)**

Heft 12

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-856430>

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.

La microtechnologie au service de l'énergie

Un atout unique pour l'optimisation de la production, du transport et de l'utilisation de l'énergie

La production, le transport ainsi que l'utilisation de l'énergie dans de nombreux domaines pourraient être optimisés grâce à la surveillance continue de ces processus par le biais d'importants réseaux de capteurs sans fil intelligents munis de systèmes adéquats d'acquisition, de traitement et de communication de données. Si de tels réseaux n'englobent actuellement que quelques dizaines de capteurs, ils pourraient à l'avenir comprendre des centaines, voire des milliers de ces éléments. Pour gérer et minimiser la consommation d'énergie d'une telle quantité de petits consommateurs, il devient alors indispensable de recourir à des technologies telles que la microtechnique et la microélectronique.

La problématique de l'optimisation continue de la génération, du transfert et de l'utilisation de l'énergie est au centre des préoccupations de l'industrie.

L'horlogerie, de ses origines (mécanique) à nos jours (tant mécanique qu'électronique) a constamment poursuivi le même but : l'augmentation de l'autonomie par une gestion appropriée de l'énergie. Plusieurs

Georges Kotrotsios, Christian Enz

produits de consommation consomment aujourd'hui de petites quantités d'énergie qui en s'accumulant constituent une quantité d'énergie considérable. Les systèmes de communication portables ont dû faire face à ce problème d'optimisation depuis leur émergence dans le domaine de la grande consommation. La multiplication des fonctionnalités, telles que la 3^e génération (EDGE, UMTS, HSDPA), les systèmes WiFi, les écrans couleurs, mais surtout l'utilisation comme outil multimédia, a particulièrement accru l'importance de l'autonomie et donc de la consommation électrique.

Actuellement, la microtechnique et la microélectronique contribuent déjà à l'optimisation de la gestion de l'énergie. Ce sont des outils importants, voire indispensables pour faire face à cette problématique. De ce fait, leur rôle et leur importance augmentent constamment.

Il reste cependant à savoir, d'une part, comment gérer et minimiser les tout petits

flux d'énergie requis par chacun de ces petits « consommateurs », c'est-à-dire par tous les systèmes électroniques, portables ou non, sachant que le spectre de leur utilisation s'élargit continuellement, et d'autre part, comment utiliser de manière intelligente ces systèmes miniaturisés, afin de mieux gérer et par conséquent, optimiser les processus de génération, de transport et d'utilisation de l'énergie.

L'objectif de cet article est d'exposer la problématique de la consommation d'énergie d'une multitude de petites sources et surtout d'illustrer les défis et le potentiel actuel et futur de la microtechnologie dans les domaines de la génération et de l'utilisation de l'énergie.

Réseaux de capteurs

La généralisation de l'adoption de la gestion/optimisation de la consommation d'énergie sur tous les systèmes à faible consommation, dans l'industrie pour les capteurs, mais aussi pour le consommateur individuel, peut avoir une influence énorme sur la consommation globale d'énergie. Toutefois, la quantification des économies escomptées est extrêmement complexe, car elle dépend du taux d'adoption par le marché de dispositifs économes en termes d'énergie.

En parallèle, les approches techniques utilisées dans le monde de l'électronique et de la microélectronique doivent être extrapolables au monde des grandes énergies.

En effet, la combinaison de capteurs dédiés (microcapteurs ou capteurs intelligents) avec l'intelligence embarquée, comme des processeurs et des systèmes à très faible consommation, permettrait la réalisation de systèmes distribués qui pourraient optimiser de manière continue les systèmes de production, de transport, ainsi que la consommation d'énergie.

Etant donné son passé microélectronique et son implication actuelle dans des projets de gestion et de production d'énergie, le CSEM, centre d'innovation en microtechnologies, est particulièrement motivé à concentrer ses efforts sur ce sujet.

Systèmes sur circuits intégrés

Dès sa création, le CSEM s'est stratégiquement focalisé sur les applications à faible consommation dans des domaines aussi variés que les systèmes médicaux, les télécommunications sans fil ou les applications horlogères. Cette ligne de conduite a été concrétisée par le développement de systèmes sur circuits intégrés (Systems on Chip ou SoCs), tels que celui illustré dans la figure 1.

La fonction d'un tel SoC est d'intégrer sur le même circuit :

- des interfaces analogique/numérique pour transformer les signaux analogiques des capteurs du monde extérieur en signaux numériques.
- un microprocesseur CoolRisc pour traiter ou prétraiter les données qui proviennent des capteurs.
- de la mémoire.
- des systèmes de transmission sans fil pour transmettre lesdites données.

Un tel système nécessite la conception et la réalisation d'un SoC miniaturisé depuis

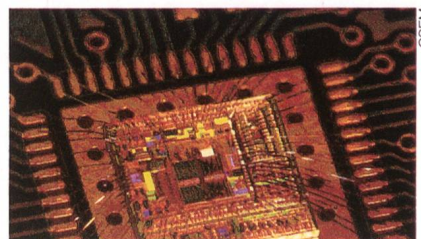


Figure 1 Photographie d'un SoC développé pour la sécurité en domotique, utilisable dans les systèmes de surveillance.

le circuit jusqu'au développement du protocole, niveau de protocole MAC (Medium Access Control), en tant que système globalement optimisé.

Les résultats peuvent être impressionnants: un SoC opérant sur une seule batterie de 1 V ne consomme que quelques μW pour des débits de données de 100 kbit/s. Ce résultat dépasse de loin les performances des systèmes assemblés sur carte («board electronic assembly»: c'est-à-dire l'intégration des éléments discrets sur une carte électronique, en opposition avec l'intégration complète sur un SoC) à basse consommation les plus performants. L'évolution et l'optimisation de tels circuits et protocoles se poursuit aujourd'hui vers des systèmes encore plus performants et plus complexes.

Le terme de «nœud capteur» sera utilisé ci-dessous pour exprimer de manière générique un élément capteur équipé d'un tel SoC. Un ensemble de nœuds capteurs, contrôlé par un protocole adéquat qui permet l'acheminement et l'agrégation des données, est un réseau de capteurs.

Applications dans les systèmes de production d'énergie

Les applications des réseaux de capteurs ont été initialement stimulées par le développement de nouveaux systèmes de production d'énergie.

Les systèmes éoliens ou les systèmes solaires thermiques, comme entre autres les îles solaires que le CSEM s'est employé à développer, nécessitent la surveillance de paramètres critiques pour l'optimisation de

leur utilisation. Par exemple, la mesure des fortes contraintes auxquelles sont soumises les pales des éoliennes permet d'élargir leur fenêtre d'utilisation.

La surveillance continue du fonctionnement des systèmes de gestion et de production d'énergie a été un premier encouragement pour introduire des systèmes à très basse consommation. Evidemment, ce raisonnement est valable pour n'importe quel système de production et de transport d'énergie, dans toutes les activités industrielles, de service ou des utilisateurs individuels.

Certes, les systèmes de production d'énergie fonctionnent de manière satisfaisante aujourd'hui. Mais l'addition de nouveaux capteurs est une demande continue. La double problématique de l'optimisation de la consommation de chacun des nœuds capteurs, ainsi que l'optimisation de l'ensemble, se pose donc de plus en plus dans tout système en relation avec la production, le transfert et la consommation d'énergie.

Les défis soulevés par des réseaux de capteurs sans fil en constante expansion

Aujourd'hui, les systèmes de capteurs englobent quelques dizaines de capteurs au maximum. Cependant, les systèmes futurs nécessiteront la surveillance d'un nombre de nœuds capteurs qui dépasse le millier. Les défis augmentent ainsi de manière exponentielle.

Déploiement

Le premier défi est le déploiement des réseaux de capteurs à très grande densité. Il est difficilement imaginable d'installer des

systèmes filaires pour des réseaux de milliers de capteurs: le coût d'installation (coût de câblage et de main d'œuvre) ainsi que la complexité de l'installation peuvent rendre de tels systèmes prohibitifs. Seule l'approche «sans fil» peut s'avérer réaliste. Mais l'utilisation de systèmes de surveillance sans fil entraîne une série d'autres défis.

La consommation d'énergie de chaque nœud capteur est un deuxième point qui doit être soulevé. Même à très faible consommation, la présence de nombreux capteurs peut augmenter considérablement la consommation d'énergie. L'utilisation de piles devient problématique pour des raisons de logistique, de coût ainsi que pour des raisons environnementales.

La logistique concerne surtout le coût du remplacement des piles (planification et stockage) ainsi que du personnel employé. Ceci est valable pour des nœuds capteurs situés à des endroits accessibles. Le problème se complexifie lorsque les capteurs se trouvent à des endroits difficilement accessibles. La question du remplacement des piles des capteurs installés sur une île solaire en pleine mer démontre l'ampleur du problème.

Volume

Aujourd'hui, une grande majorité des systèmes sans fil est commercialisée sous forme de circuits qui permettent la transmission et la réception de données. La réalisation des fonctions nécessaires (alimentation, conversion et prétraitement des données, communication) nécessite le passage par un assemblage électronique qui, même optimisé, reste modulaire et donc volumineux.

Un tel assemblage modulaire, en dehors de l'aspect volume, présente l'inconvénient de la consommation: un système modulaire consomme toujours plus qu'un système intégré. De plus, une alimentation de 3 V, typiquement deux piles, est nécessaire, ce qui ajoute du volume au système final.

Or, dans le cas de l'utilisation d'un grand nombre de capteurs, le volume pris par ces capteurs et leur circuiterie peut devenir une contrainte majeure.

Consommation

La consommation globale d'un grand nombre de capteurs peut également devenir problématique. Quoique ce ne soit pas la consommation à proprement parlé qui soit un facteur limitant aujourd'hui: un nœud capteur sans fil consomme actuellement environ 100–200 μW , voire beaucoup moins, 10–20 μW pour des éléments capteurs développés par le CSEM [1]. 1000 de ces capteurs peuvent ainsi consommer moins de 1 W, ce qui est tout à fait acceptable.

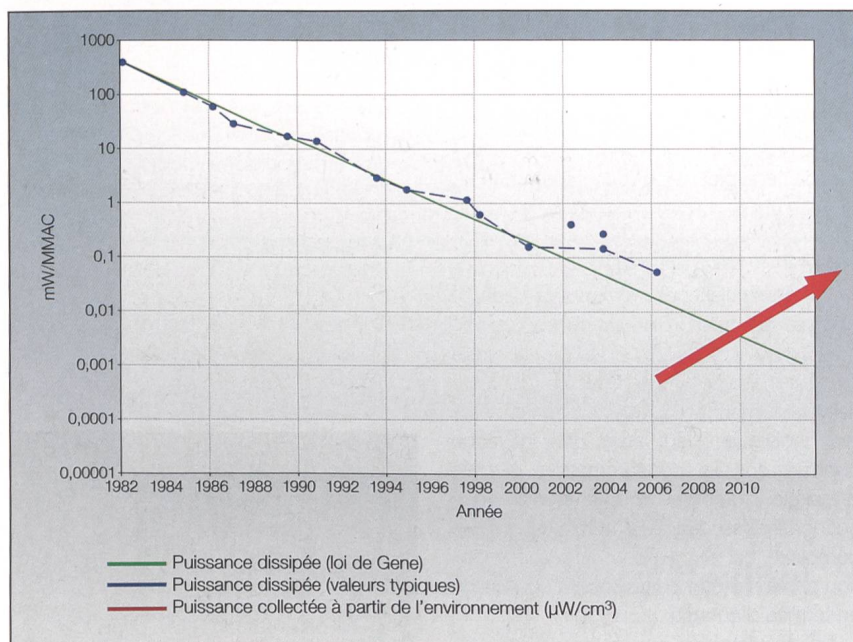


Figure 2 Dissipation de puissance par MMAC (Maintenance Management And Control system ou système de contrôle, gestion et maintenance), autrement dit par circuit microélectronique de traitement de données, en corrélation avec la puissance pouvant être collectée à partir de l'environnement. Etant donné la diversité des méthodes de récolte d'énergie, la flèche rouge est indicative.

	Source	Caractéristiques	Efficacité [η]	Puissance collectée
Photovoltaïque	Intérieur	0,1 mW/cm ²	10–24%	10 μ W/cm ²
	Extérieur	100 mW/cm ²		10 mW/cm ²
Vibration/Mouvement	Domicile	0,5 m @ 1 Hz	La puissance maximale dépend de la source	4 μ W/cm ³
	Industrie	1 m/s ² @ 50 Hz 1 m @ 5 Hz 10 m/s ² @ 1 kHz		100 μ W/cm ³
Energie thermique (p.ex. corps humain)	Domicile	20 mW/cm ²	0,1% 0,3%	25 μ W/cm ²
	Industrie	100 mW/cm ²		0,3–0,5 mW/cm ²
Electromagnétique	GSM	900 MHz	50%	0,1 μ W/cm ²
		1800 MHz		

Tableau I Tableau récapitulatif (indicatif) des sources d'énergie utilisables pour la récupération de l'énergie présente dans l'environnement.

Type de batterie	Couche mince [4]	Médical [5]	Carte à puce [6]
Vendeur	Front Edge Technology	Eagle Picher	Varta Microbattery
Système	Li-LiCoO ₂ secondaire	Li-MnO ₂ primaire (prototypes secondaires)	Li-MnO ₂ primaire
Dimensions [mm ³]	25 × 25 × 0,15	6,73 × 2,37 (diamètre)	29 × 22 × 0,4
Assemblage	Verre mince	Ti soudé, verre	Feuille métallique Assemblage polymère
Capacité [mAh]	0,7	2,7 (à 30 μ A)	25
Autodécharge	2%/an	2%/an	–
Poids [g]	0,19	0,09	0,65
Volume [cm ³]	0,09	0,03	0,25
Cycles	3500 (70%)	–	–
Température maximale	150 °C	–	–
Densité d'énergie [Wh/kg]	13–26	77–233	115–300

Tableau II Tableau indicatif des types de batteries utilisables pour des nœuds capteurs.

Par contre, la contrainte est posée par la logistique: un élément qui consomme une fraction de mW, nécessite un changement de pile par semestre. Si la consommation du même élément est de l'ordre de quelques μ W, le changement de pile ne sera nécessaire qu'après quelques années ou, mieux encore, l'utilisation de piles pourrait être abandonnée, car des systèmes qui peuvent récupérer l'énergie de l'environnement (energy harvesting) seraient suffisants pour alimenter les circuits du nœud capteur. Ceci est un changement capital, non seulement quantitatif mais réellement qualitatif.

Dans la figure 2, deux tendances sont représentées: la première, l'évolution de la dissipation thermique par volume de circuit intégré, ou en d'autres termes la consommation moyenne, est représentée par la courbe bleue. Conformément à la loi de Gene (Gene's law) illustrée par la courbe verte, elle diminue de 50% tous les 18 mois [2]. La deuxième tendance, en rouge, représente la capacité des systèmes de récupération d'énergie présente dans l'environnement. Evidemment, cette courbe est une indication, car comme mentionné ci-dessus, les moyens de récupération d'énergie sont multiples et leur efficacité est très variable.

La figure 2 montre que dans un futur très proche, ces deux tendances se recouperont. La signification est importante. A partir de ce moment, il sera possible de déployer des systèmes sans piles dont les avantages seront multiples. La logistique de changement de piles, en termes de stock et de personnel disparaîtra, avec un fort impact au niveau des coûts. Le risque de pollution environnementale par les piles sera également supprimé. En dehors des aspects environnementaux, ce risque a aussi un coût financier. Les coûts et le temps nécessaire pour le déploiement des capteurs se réduiront, car le degré d'importance associé au placement des nœuds capteurs diminuera. Finalement, la disparition de la pile aura comme conséquence directe la réduction du volume de chaque dispositif.

Sources d'énergie

Le prochain défi est la récupération de l'énergie nécessaire pour alimenter de multiples capteurs. Les moyens sont divers et leur applicabilité dépend fortement de l'application. Le tableau I expose les différentes sources d'énergie qui peuvent être utilisées pour des éléments électroniques.

L'exploitation de ce genre d'énergie est souvent irrégulière dans le temps. Par

exemple, la lumière employée par les éléments photovoltaïques n'est pas toujours présente. Dans un autre cas, les systèmes qui collectent l'énergie de vibrations, dans un véhicule par exemple, ne sont pas opérationnels quand le véhicule est en stationnement.

L'énergie à exploiter doit être présente quand le nœud capteur la nécessite. Ainsi il est important d'emmagasiner l'énergie récupérée, typiquement dans des batteries. La figure 3 illustre l'évolution des moyens de stockage susceptibles d'être utilisés en association avec les systèmes de récupération d'énergie.

Dans un premier temps, une coexistence entre les systèmes de récupération d'énergie équipés de batteries et des piles conventionnelles de plus en plus miniaturisées et plus plates, sera nécessaire. En effet, la transition vers des systèmes complètement autonomes requerra une période transitoire. Ce type de coexistence permettra de déployer prochainement des nœuds capteurs à grande autonomie, tout en gérant la consommation de leur énergie et en minimisant l'impact sur l'environnement.

L'utilisation de piles, comme éléments d'alimentation pour des nœuds capteurs, continuera durant des années. De nouvelles

générations de piles plus minces, plus compactes et plus légères, adéquates pour de tels systèmes miniaturisés, sont présentées dans le tableau II avec quelques caractéristiques importantes, telles que leurs volumes, leurs poids ainsi que la densité d'énergie qu'elles peuvent emmagasiner [3].

Protocole et logiciel de contrôle

Dernier point extrêmement important, le protocole pour gérer un réseau dénombrant autant de capteurs n'existe pas encore. Aujourd'hui, des protocoles à basse consommation pour des réseaux de 20 à 50 capteurs existent. Ces réseaux de capteurs s'autoconfigurent: c'est le réseau qui, en examinant toutes les voies de dissémination de l'information, décide de la voie optimale. Or, le temps de calcul de la voie optimale dépend fortement du nombre de combinaisons possibles. Comme le nombre de combinaisons possibles est une fonction exponentielle du nombre de capteurs, il est évident que de nouvelles approches de mise en réseau doivent être examinées et développées.

Perspectives pour les réseaux de capteurs

L'utilisation prochaine dans des systèmes de productions d'énergie, de réseaux de capteurs réunissant des centaines, voire des milliers de nœuds capteurs, nécessite encore certains développements techniques, bien que certains défis aient déjà trouvé une solution. En effet, l'utilisation de SoCs semble être une excellente solution pour répondre aux exigences suivantes: l'emploi d'une approche «sans fil», ainsi que l'utilisation de systèmes peu gourmands en énergie et aussi peu volumineux que possible.

Par contre, l'énergie nécessaire à un tel nombre de nœuds capteurs devra être délivrée, du moins dans un premier temps, d'une part à l'aide de piles conventionnelles miniaturisées et d'autre part, grâce à des systèmes de récolte d'énergie munis de batteries adéquates permettant le stockage de l'énergie. Quant à la gestion de tels réseaux de capteurs, elle nécessitera encore le développement de nouveaux protocoles.

Capteurs intelligents pour l'optimisation de l'utilisation de l'énergie

Au niveau de l'utilisation de l'énergie par le consommateur, les systèmes de capteurs deviennent de plus en plus intéressants pour des applications comme les maisons intelligentes ou le contrôle de processus industriels. Evidemment, la présence d'une source de courant simplifie les aspects de l'alimentation, surtout quand il s'agit de surveiller la consommation d'ap-

pareils. Cependant, la problématique de l'encombrement de chaque dispositif ainsi que le coût et la maintenance restent des points de considération importants.

En Suisse, diverses solutions sont en élaboration dans ce domaine dans le cadre de l'initiative DigitalStrom qui fédère un nombre important d'acteurs, majoritairement allemands et suisses, autour de la considération de l'optimisation de la consommation [7].

En particulier pour ce genre d'objectif, l'utilisation de capteurs miniaturisés, mais également intelligents, est souvent nécessaire. Par intelligent est entendu la décentralisation du traitement des données: le capteur dispose lui-même de suffisamment d'intelligence embarquée pour extraire la partie utile de l'information in-situ. Une telle décentralisation signifie que moins d'information circule dans le réseau de communication local. Ainsi, indirectement, aussi bien l'énergie que la largeur de bande requises pour la transmission de ladite information sont réduites.

Capteur de vision: un outil pour économiser l'énergie

Les capteurs de visions, qui localement peuvent réaliser des fonctions complexes, sont des outils importants. Les technologies de vision, développées initialement pour des applications en robotique, arrivent aujourd'hui à un niveau d'intégration utilisable pour des applications à grande échelle.

Ces propriétés sont bien illustrées par le circuit IcyCam qui, dans le même circuit intégré réunit des fonctions avancées de vision et de traitement du signal (figure 4). Ce type de dispositif, réalisé en technologie CMOS 0,18 μm , permet une résolution QVGA (Quarter Video Graphics Array: 320x240 pixels), avec une dimension de 14 μm x 14 μm par pixel. Avec une telle résolution, il est évident que cet outil n'est pas un imageur tel qu'on en trouve par exemple dans les caméras habituelles; il s'agit plutôt d'un capteur avec des fonctions dédiées, pour lesquelles la résolution QVGA est de loin suffisante.

Une des applications de cet outil est le contrôle de l'illumination. Aujourd'hui le contrôle de présence se fait par des capteurs infrarouges. L'avantage des capteurs de vision, par rapport aux solutions actuelles, est la détection de la présence d'une personne par rapport à celle d'un animal. Une autre dimension est la possibilité de positionner les personnes dans un espace avec précision et de définir l'orientation de leur mouvement. Une porte automatique ne s'ouvrant que lorsqu'une personne s'avance dans sa direction est un exemple d'utilisation susceptible de générer des économies d'énergie.

Un point important de la fonctionnalité additionnelle de ce type de capteurs, est leur capacité d'identifier le manque de mouvement en différenciant des prises de vue continues dans le temps. Ce genre de fonctionnalité, en dehors des applications de contrôle d'illumination, a des applications directes sur la sécurité des personnes en permettant de réaliser un détecteur de chutes, ceci sans perturber la sphère privée de la personne, puisque vu la faible résolution de ces capteurs de vision, l'identification de la personne est impossible.

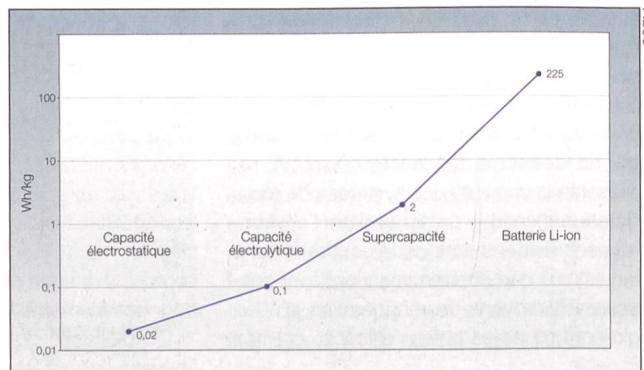
Le projet MINAmI (Micro-Nano Integrated Platform for Transverse Ambient Intelligence Applications) financé par la Commission européenne (programme IST) a permis la mise en évidence de scénarii impliquant des capteurs intelligents et leurs utilisations, telles que celles décrites ci-dessus [8].

Conclusions

Les systèmes de communication sans fil ainsi que les capteurs intelligents et/ou miniaturisés sont des outils de base, que l'industrie de l'énergie a commencé à utiliser pour l'optimisation des systèmes de production, de transport et d'exploitation d'énergie.

Le potentiel de ces outils n'est de loin pas encore exploité, même avec leurs fonctionnalités actuelles. Dans un futur proche, l'introduction de plus en plus d'intelligence dans chaque étape du processus de la gé-

Figure 3 Evolution des capacités des systèmes de stockage d'énergie.



CSEM

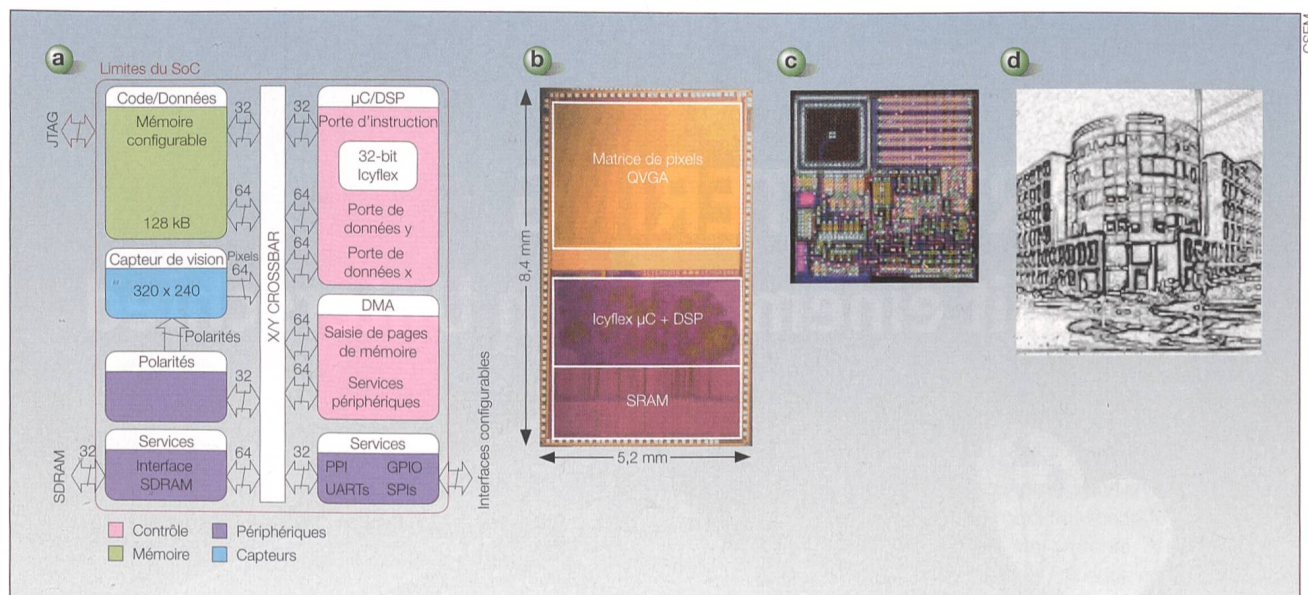


Figure 4 Circuit de vision.

a) Schéma de base. b) Photographie du circuit. La zone dorée est constituée de 320×240 pixels. c) Plan de conception d'un pixel individuel: chaque pixel de 14 µm×14 µm est composé d'une partie photosensible et de son électronique associée. d) Image de contraste du bâtiment principal du CSEM (sortie du capteur de vision en temps réel).

nération, de la transmission et de l'utilisation de l'énergie, entraînera une augmentation exponentielle du nombre de points de mesure. Les capteurs déployés auront davantage de capacité de traitement embarquée, afin d'extraire localement la partie essentielle de l'information avant de la communiquer.

Cette tendance nécessitera des développements techniques importants de la miniaturisation et de la mise en réseau de ces éléments, surtout au niveau de la production de l'énergie (supply-side). Ceci est certes valable pour des systèmes matures, typiquement des systèmes de production d'énergie thermique ou hydraulique, mais encore davantage pour des nouveaux systèmes de production à base d'énergies alternatives, tels que les îles solaires du CSEM.

Au niveau de l'utilisation dans des environnements domestiques, publics et industriels, des capteurs avec une intelligence de plus en plus évoluée seront nécessaires.

L'optimisation de l'ensemble de l'utilisation de l'énergie, du niveau de l'unité individuelle au niveau holistique (du «smart appliance», vers le «smart home» et finalement le «smart grid»), nécessite de plus en plus d'éléments individuels (capteurs intelligents tels que les capteurs de vision) pour les intégrer dans des systèmes globaux. Ces éléments peuvent être considérés comme des blocs de construction (building blocks) qui, intégrés dans les réseaux et dans la maison intelligente, peuvent jouer un rôle décisif pour leur optimisation.

L'interaction active entre les divers acteurs semble une nécessité pour, à la fois mieux exploiter l'immense potentiel des éléments existants ou en phase finale de

développement, mais aussi pour orienter les efforts de la R&D de telle manière qu'elle puisse servir les besoins de l'industrie de l'énergie de manière optimale.

Références

- [1] C.C. Enz, A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, T. Melly, and V. Peiris: «WiseNET: An Ultralow-Power Wireless Sensor Network Solution», IEEE Computer Magazine, vol. 37, no. 8, pp. 62–70, Aug. 2004.
- [2] G.A. Frantz: «The Third Wave of the Digital Revolution», 2007 CIE/USA-DFW Annual Convention, August 25, Richardson, Texas, US; www.cie-dfw.org/Convention2007/2007postconventionpublication/Gene%20Frantz_082507.ppt
- [3] MEDEA+ report on «Energy Autonomous Systems: Future Trends in Devices, Technology and Systems», 2008.
- [4] J.B. Bates, N.J. Dudney, B. Neudecker, A. Ueda, and C.D. Evans, «Thin-Film Lithium and Lithium-Ion Batteries», Solid State Ionics, Vol. 135, pp. 33–45, 2000.
- [5] C. Brand, «A Micro Battery for Low Power Applications», NanoPower Forum 2007, San Jose, USA, June 4–6th, 2007.

- [6] M. Nathan, D. Golodnitsky, V. Yufit, E. Strauss, T. Ripenbein, I. Shechtman, S. Menkin, and E. Peled, «Three Dimensional (3D) Thin Film Micro Batteries», DTIP of MEMS and MOEMS 2005, Montreux, Suisse, 1–3 juin, 2005.

[7] www.digitalstrom.org.

[8] www.fp6-minami.org.

Informations sur les auteurs

Georges Kotrotsios est ingénieur électricien de l'Université d'Aristote de Thessalonique, Grèce. Il a un doctorat en optoélectronique de l'INPG, Grenoble, France, ainsi qu'un MBA en Management de Technologie de l'EPFL/HEC-UNIL, Lausanne. Depuis 2005, il est en charge du Business Développement au CSEM, Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA.

CSEM, 2000 Neuchâtel, gko@csem.ch

Christian Enz est ingénieur électricien diplômé de l'EPFL. Il a un doctorat en conception de circuits intégrés de l'EPFL. Depuis 1999, il est au Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA (CSEM) où il occupe le poste de vice-président en charge de la division «Integrated and Wireless Systems». Il est également professeur à l'EPFL où il enseigne la conception de circuits et systèmes intégrés.

CSEM, 2000 Neuchâtel, christian.enz@csem.ch

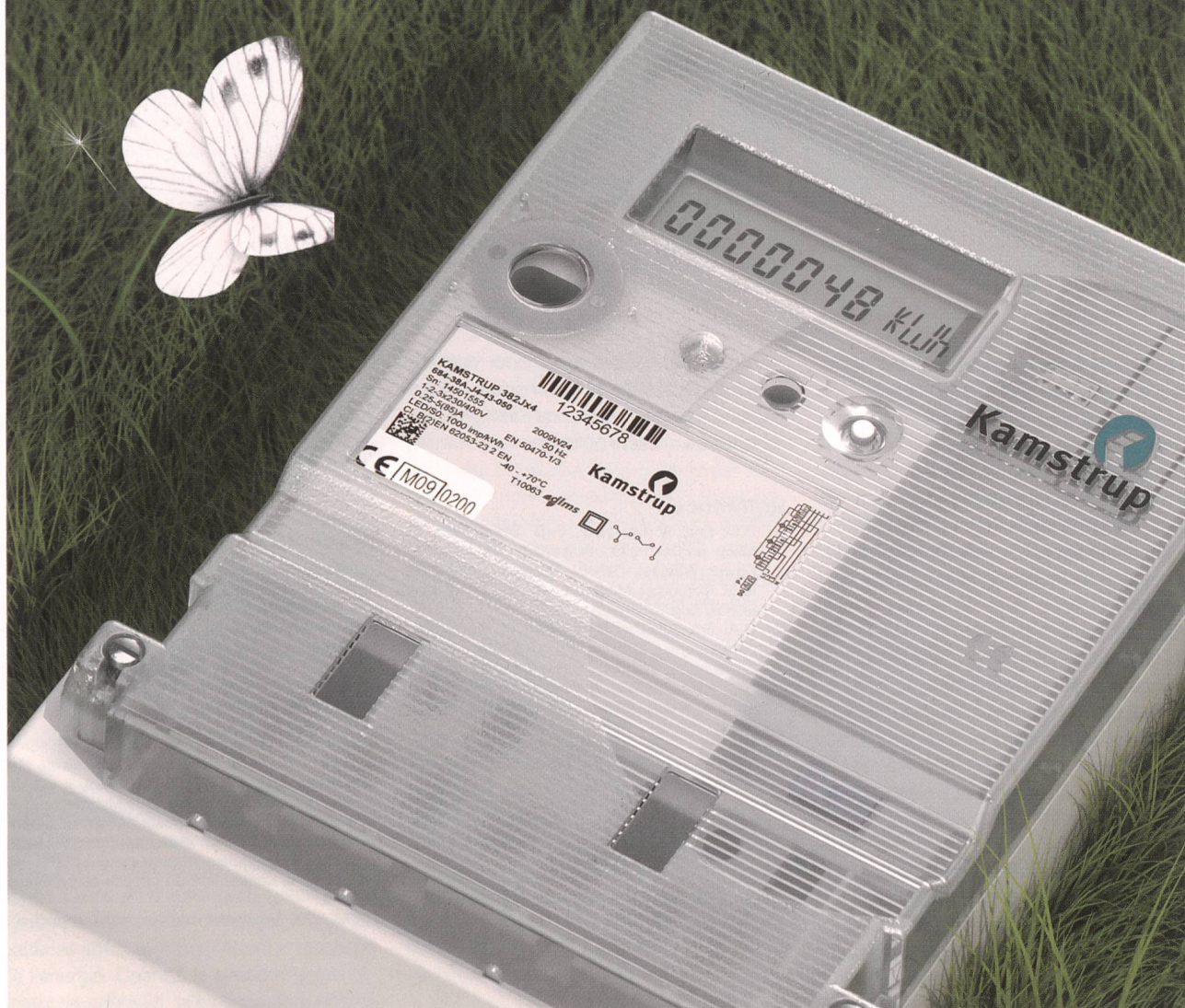
Zusammenfassung

Die Mikrotechnologie im Dienste der Energie

Einziger Trumpf in der Optimierung der Produktion, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie. In vielen Bereichen liessen sich die Produktion, der Transport und die Nutzung elektrischer Energie durch die kontinuierliche Überwachung dieser Vorgänge mittels umfangreicher, drahtloser Sensorennetzwerke mit geeigneten Erfassungs-, Verarbeitungs- und Kommunikationssystemen optimieren. Umfassen solche Netze heute erst ein paar Dutzend Sensoren, so könnten sie künftig aus Hunderten oder gar Tausenden solcher Elemente bestehen. Um den Energieverbrauch einer solchen Anzahl Kleinverbraucher verwalten und minimieren zu können, wäre alsdann der Einsatz von Technologien auf dem Gebiete der Mikrotechnik und Mikroelektronik unerlässlich.

SMART METERING

– mit einem grünen Unterschied



Weltweit ersetzen Energieversorger mechanische Stromzähler durch Smart Meters, um die Energieeffizienz zu erhöhen und die Kosten zu verringern. Smart Meters liefern Echtzeitdaten über den Energieverbrauch und steigern das Energiebewusstsein.

Aber selbst Smart Meters verbrauchen Energie – einige mehr, andere weniger. Warum denn nicht den Smart Meter wählen, der einen wirklich grünen Unterschied ausmacht?

Die neue Generation von Kamstrup Haushaltszählern gibt dem Energiesparen einen neuen Sinn.

Die neue Smart Meter-Generation von Kamstrup – **jetzt mit Wireless M-Bus** – ist mit den modernsten Funktionen ausgerüstet, die Energiesparen und CO₂-Reduktion fördern. Zudem ist der Kamstrup Smart Meter wegen seines extrem niedrigen Eigenverbrauchs selbst eine grüne Lösung.

Mehr erfahren auf: www.thegreendifference.info

