La récolte d'énergie pour les micro- et nanosystèmes autonomes

Autor(en): **Briand, Danick / Ionescu, Adrian**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft 6

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857306

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

La récolte d'énergie pour les micro- et nanosystèmes autonomes

Un des piliers du projet pilote européen « Guardian Angels »

Le projet « Guardian Angels » a pour but de développer des systèmes intelligents interconnectés destinés à veiller sur nous et notre environnement pour une meilleure qualité de vie. Ils auront la capacité de mesurer de multiples paramètres biologiques, d'offrir accès à une réalité augmentée et/ou de servir d'assistants intelligents pour la conduite de véhicules. Pour assurer leur autonomie énergétique, il faudra réduire leur consommation à l'extrême, mais aussi développer des dispositifs novateurs leur permettant de puiser dans leur environnement l'énergie dont ils auront besoin.

Danick Briand, Adrian Ionescu

Dans le cadre de son initiative pour les technologies émergentes et futures (FET), la Commission européenne (CE) a lancé le programme FET Flagship dans le but d'encourager des recherches visionnaires pouvant potentiellement déboucher sur des avancées importantes et des bénéfices majeurs pour la société et l'industrie européenne. Deux projets phares (Flagship) seront sélectionnés fin 2012. Chacun bénéficiera d'un financement pouvant aller jusqu'à 100 millions d'euros par an et ce, sur au moins dix ans.

Dans un premier temps, la CE a retenu six projets pilotes qui ont chacun reçu des fonds pour étudier et préparer une candidature au statut de projet Flagship : parmi eux, le projet « Guardian Angels for a Smarter Life » [1]. Ce dernier, qui réunit 60 partenaires institutionnels et industriels en provenance de 16 pays, est coordonné par le professeur Adrian Ionescu de l'EPFL et le professeur Christofer Hierold de l'ETHZ.

Le projet « Guardian Angels »

Le but de « Guardian Angels (GA) » consistera à créer une génération novatrice de systèmes intelligents et autonomes qui pourront agir comme de véritables anges gardiens pour les personnes, de l'enfance à la vieillesse. Il s'agira de systèmes de systèmes interconnectés –

Guardian Angels [1]

Figure 1 L'informatique actuelle est soit statique (serveurs), soit mobile (smartphones, ordinateurs portables, etc.). Les GA se situeront à un troisième niveau (cercle extérieur) sous la forme d'une nouvelle classe de technologie « zero-power » intelligente et interconnectée qui nous suivra au quotidien. Ils pourront communiquer non seulement entre eux, mais aussi avec les dispositifs de la passerelle et le nuage.

Guardian Angels [1]

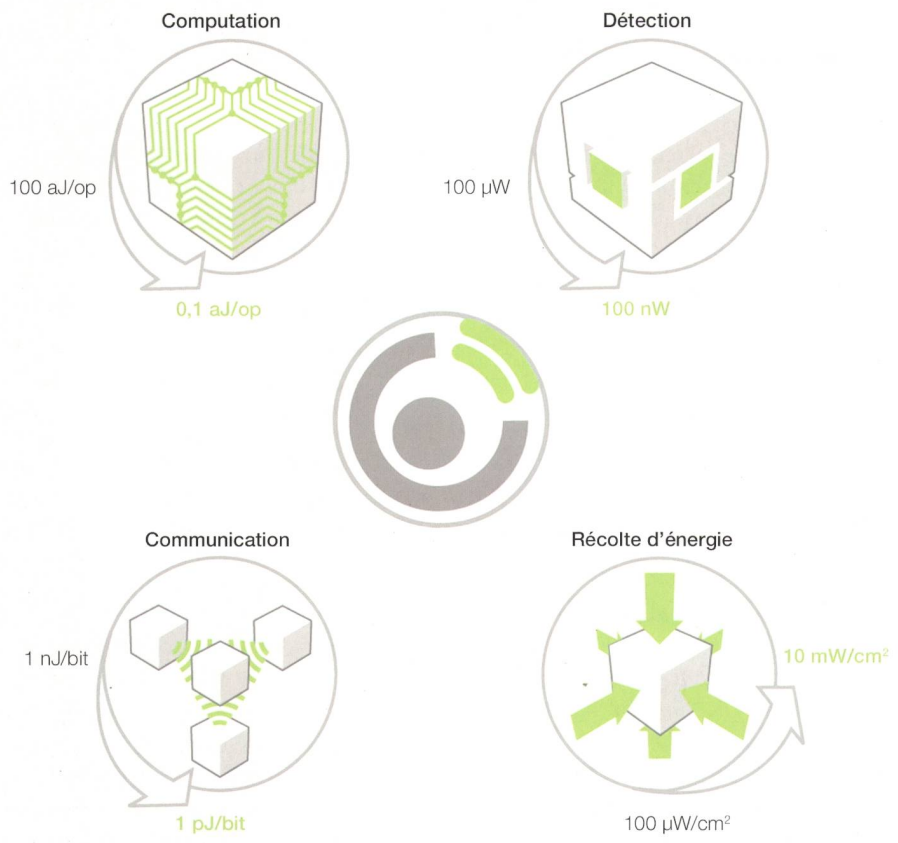


Figure 2 Les nouvelles technologies de détection, de computation, de communication et de récolte d'énergie, permettant de réduire la consommation d'énergie ou d'accroître le gain énergétique, sont à la base des éléments qui composeront les systèmes de systèmes GA. Un système d'opération spécifique et des techniques de communication et de sécurité des données (cercles concentriques) seront combinés aux composants matériels pour la réalisation de ces GA.

non seulement entre eux, mais aussi au travers de couches passerelles, à des téléphones mobiles, tablettes ou ordinateurs portables – qui permettront détection, computation (calcul assisté par ordinateur) et communication **(figure 1)**. Les anges gardiens existeront par exemple :

- Sous forme de « peau électronique » intégrant des systèmes quasi invisibles pour le contrôle des paramètres biologiques.
- En tant qu'interface homme/machine capable de capter les états émotionnels pour des applications d'assistance complexes.
- Comme assistant intelligent pour la conduite de véhicules en intégrant une communication entre différents GA afin d'améliorer la sécurité.
- Sous forme de réseaux de capteurs autonomes en énergie positionnés sur le corps afin de préserver la santé et contrôler les efforts physiques.
- En tant qu'outil de diagnostic environnemental pour une sécurité renforcée et une meilleure efficacité énergétique.
- Sous forme de robots autonomes pour la prévention, la sécurité ou des missions de sauvetage.

Ces systèmes de systèmes peuvent déjà être considérés comme l'avenir des réseaux de capteurs sans fils [2]. De plus, de par leur fonctionnalité, ils pourront également inclure les composants de l'Internet des objets [3].

Faisabilité et fonctionnalité de systèmes de systèmes

Le projet GA démontrera la faisabilité et la fonctionnalité de systèmes de systèmes au travers de trois générations prédéfinies de démonstrateurs :

- Les GA physiques qui contrôleront l'état physique et/ou physiologique des individus pratiquant du sport, en rééducation, ou simplement en surveillant leur santé au quotidien, tout en tenant compte du contexte de leur activité. Avec un fort accent sur la prévention et le diagnostic précoce, ces dispositifs permettront de maintenir les soins abordables et accessibles à tous.
- Les GA environnementaux qui observeront les conditions ambiantes afin de détecter les menaces environnementales et seront en mesure de communiquer les uns avec les autres pour élargir leur base de données. En les couplant aux capteurs physiques du paragraphe précédent, il sera possible de corréler l'état physique d'une personne avec le contexte environnemental.
- Les GA émotionnels : ces appareils percevront les troubles émotifs ou affectifs et fourniront ainsi des fonctions utiles pour les personnes handicapées. Ils pourront aussi servir à développer une nouvelle génération d'assistants conducteurs intelligents pour les applications automobiles et aériennes. Associés à une haute sécurité des données et à une procédure d'identification renforcée, les GA émotionnels conduiront certainement à de nouveaux paradigmes sociétaux qui permettront une amélioration de la cognition, de la communication et de la prévention.

Une condition essentielle à remplir consistera à développer de nouvelles technologies électroniques afin d'assurer l'autonomie énergétique de ces systèmes de systèmes.

Les contraintes énergétiques

L'exigence « zero power » du projet GA présente deux facettes :

- Le développement de systèmes ultra-faible puissance dont la consommation en énergie soit aussi proche que possible des limites théoriques.

■ L'acquisition d'énergie à travers la récolte.

Les futurs appareils auront la capacité de récolter de l'énergie dans des environnements très divers et de stocker ce qui est nécessaire pour les fonctions du système.

La réduction de la consommation énergétique

Les défis scientifiques et technologiques du projet comprennent l'élaboration d'une chaîne innovante dans le domaine de la consommation ultrafaible d'énergie permettant de réduire jusqu'à trois ordres de grandeur la consommation énergétique par rapport aux technologies de pointe actuelles. Les objectifs scientifiques concernent la recherche fondamentale et impliquent l'identification des principes sous-jacents ainsi que le développement de matériaux, dispositifs, architectures de systèmes, algorithmes et technologies de communication, dans le but de repousser les limites de la consommation d'énergie actuelle pour chacune des fonctions élémentaires composant les GA (figure 2):

■ Energie de calcul: il faudra réduire l'énergie par commutation binaire de 100 000 k_BT à 10-100 k_BT (ou de 100 aJ [1] à 0,1 aJ par opération). Cette recherche implique de nouveaux commutateurs basés sur des mécanismes physiques différents de ceux des transistors à effet de champ conventionnels, de même que de nouvelles architectures. L'objectif est de réduire l'alimentation des circuits logiques à une tension comprise entre 1 V et 0,2 V, avec un courant de fuite négligeable, ce qui permettra de réduire au moins d'un facteur 100 la puissance consommée.

■ Energie de détection: il s'agira de réduire l'énergie par événement de détection (incluant la première étape de l'interface de l'électronique d'acquisition) de 100 µW à 100 nW. Les très petites dimensions des dispositifs et la consommation ultrafaible en énergie entraînent des limitations dues au bruit et font apparaître des défis en termes de temps de réponse, de sélectivité et de stabilité. Ces économies d'énergie, combinées à l'utilisation des nanotechnologies, permettront la multidétection ou la formation de matrices de capteurs dans un seul système intelligent. La fusion des données, c'est-à-dire l'utilisation simultanée des données provenant de plusieurs capteurs, jouera un rôle capital.

■ Energie de communication: les technologies potentielles pour approcher la limite de 1 pJ/bit sont basées sur des systèmes à bande ultralarge « ultra-wideband (UWB) » avec une diversité de techniques de pointe, telles que de puissants codes de correction à faible taux d'erreur et des techniques de communications coopératives. D'autres solutions économes en énergie sont prévues au niveau architectural.

Parallèlement, le projet vise à explorer et repousser les limites de l'énergie fournie par les récupérateurs. Ces derniers devront fonctionner à la fois en milieux intérieur et extérieur, et permettre d'atteindre les niveaux d'énergie nécessaires pour l'autonomie des systèmes GA, c'est-à-dire 100 fois supérieurs à l'état de l'art.

La récolte d'énergie

Aujourd'hui, les batteries représentent la source d'énergie dominante pour les dispositifs électroniques. Cependant, outre leur impact sur l'environnement, leur utilisation peut être gênante en raison de leur capacité de stockage d'énergie limitée et leur durée de vie finie. Pour ces raisons, des sources d'énergie alternatives ont été recherchées. Une approche prometteuse, connue sous le nom de récolte d'énergie, consiste à recueillir l'énergie de l'environnement et à la convertir en électricité utilisable. La figure 3 résume les quantités d'énergie disponibles pour différentes sources.

L'énergie solaire

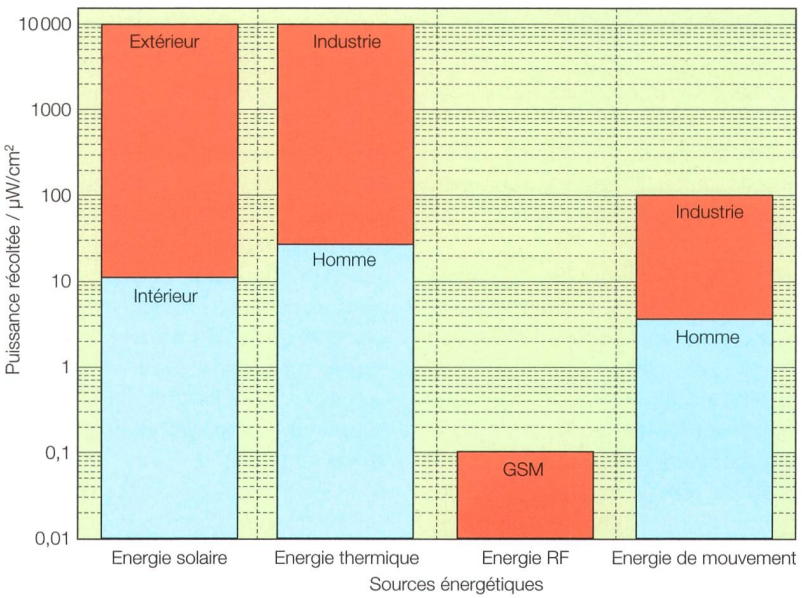
Les systèmes exploitant l'énergie solaire ou lumineuse sont les plus couramment considérés comme source de récupération d'énergie. Les cellules photovoltaïques offrent une excellente densité de puissance lors d'une exposition directe à la lumière du soleil. L'énergie lumineuse disponible à l'intérieur est cependant sensiblement réduite.

Les ondes électromagnétiques

Une autre approche consiste à récolter la puissance de propagation des signaux RF (radiofréquence) émis par des champs électromagnétiques élevés tels que les signaux de télévision, les tours de téléphonie cellulaire et les réseaux d'ondes radio sans fil (GSM, Wi-Fi). L'énergie RF peut être extraite de l'air et convertie en une tension continue utilisable par un circuit de conversion de puissance intégré à une antenne de réception. Cependant le niveau de puissance récupérable est restreint car l'énergie RF propagée diminue rapidement à mesure que la distance à la source augmente.

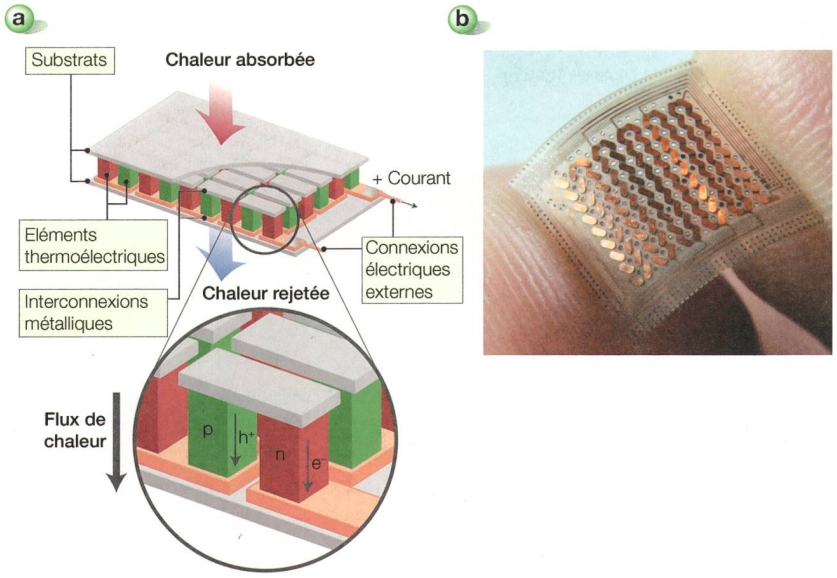
L'énergie thermique

Les gradients de température existant dans la nature et le corps humain ont la capacité de produire de l'électricité. Le générateur thermoélectrique le plus élémentaire consiste en un thermocouple constitué de deux blocs de différents matériaux reliés par une bande métallique (figure 4). La différence de tempéra-



EPFL: adapté de [4]

Figure 3 Puissances approximatives d'énergie disponible par cm² pour quatre différents types de sources.



(a) California Institute of Technology [6] – (b) greenTEG

Figure 4 (a) Un dispositif thermoélectrique génère une tension lorsqu'il y a une différence de température, les porteurs de charge diffusant du côté le plus chaud au côté le plus froid. (b) Exemple d'un générateur thermoélectrique miniaturisé réalisé par greenTEG [5] sur un substrat souple.

ture entre la partie inférieure et la partie supérieure des jambes se traduit par un courant électrique (effet Seebeck). Généralement, les jambes sont faites de semiconducteurs fortement dopés de types p et n pour une meilleure performance, alliant bonne conduction électrique et bonne résistance thermique (afin de maintenir le gradient de température). Pratiquement, un récupérateur d'énergie thermoélectrique est une thermopile qui est constituée de nombreux thermocouples connectés électriquement en série et thermiquement en parallèle.

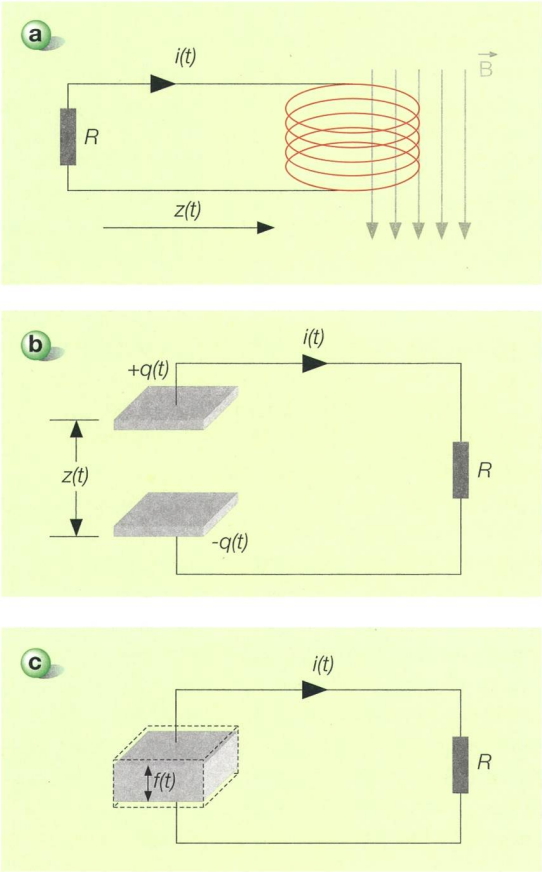
La plupart des recherches portent sur l'optimisation de matériaux thermoélectriques nanostructurés et de leur géométrie afin de produire suffisamment de puissance et de tension à partir de différences de température aussi réduites que 5-10 °C. Un des défis consiste à maintenir le gradient de température entre la région chaude et froide à si petite échelle, notamment lors d'une utilisation sur le corps humain.

L'énergie mécanique

Une des méthodes de récolte d'énergie les plus efficaces consiste à convertir l'énergie mécanique des mouvements ou des vibrations en énergie électrique à l'aide, par exemple, de transducteurs électromagnétiques, électrostatiques ou piézoélectriques (figure 5). La conversion relève de deux mécanismes : l'application directe de la force et l'utilisation des forces d'inertie agissant sur une masse.

Les transducteurs électromagnétiques, difficiles à miniaturiser, ont à l'échelle microscopique une impédance de charge très élevée et ne génèrent que de faibles tensions. Les générateurs électrostatiques nécessitent pour leur part l'application d'un potentiel au démarrage et ne délivrent qu'une faible densité de puissance, mais ils ont l'avantage de s'intégrer plus facilement aux technologies CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Les récupérateurs piézoélectriques présentent quant à eux l'avantage d'une meilleure densité de puissance générée à faible échelle.

La multiplicité des sources d'énergie mécanique (machines industrielles, transports, structures de génie civil, appareils électroniques portatifs, etc.) a favorisé un développement rapide des transducteurs électromécaniques au cours des dernières années, que ce soit à l'échelle macroscopique avec des produits déjà commercialisés ou microscopique en s'appuyant sur les technologies des microsystèmes (figure 6). La quantité d'énergie générée par les excitations extérieures mécaniques dépend spécifiquement de l'amplitude de la vibration ou de la force, de la fréquence de la source et de l'efficacité du transducteur. Pour optimiser le rende-



EPFL-Samlab

Figure 5 Principes de fonctionnement de différents types de transducteurs pour la récolte d'énergie mécanique : (a) électromagnétique (induction électromagnétique régie par la loi de Faraday), (b) électrostatique (une capacité variable initialement chargée voit ses plaques se rapprocher et s'éloigner) et (c) piézoélectrique (polarisation électrique sous l'action d'une contrainte mécanique par l'effet piézoélectrique direct).

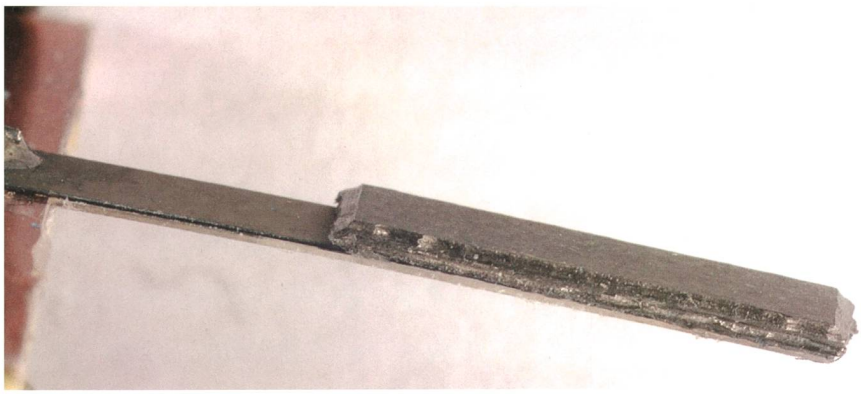
ment des récupérateurs d'énergie de type résonant, il est impératif que leur fréquence de résonance soit ajustée à celle de la vibration mécanique dans l'environnement.

L'alimentation en énergie récoltée des GA

Un système autoalimenté par la récolte d'énergie comprend généralement des récupérateurs d'énergie, un élément de stockage d'énergie (batterie, supercapacité), une unité de gestion de l'alimentation et une charge offrant différentes fonctionnalités. Une unité idéale de gestion ne devrait consommer pratiquement aucune puissance tout en offrant de multiples fonctions clés, telles que la recherche du point de fonctionnement maximum du récupérateur, la régulation de tension, une capacité adéquate de stockage de l'énergie et l'exploitation intelligente de l'énergie disponible. La capacité des circuits électroniques à démarrer avec des tensions d'alimentation extrêmement faibles est également un élément essentiel pour les systèmes « zero power ».

La récolte d'énergie pour les « Anges Gardiens »

Pour les GA qui devront être portés par des individus, les récupérateurs d'énergie devront idéalement atteindre une densité de puissance allant jusqu'à 10 mW/cm^2 (ou cm^3), tout en étant souples, légers et minces pour être facilement fixés à des surfaces non planes. La recherche en microtechnologie et nanotechnologie visera à développer des cellules solaires ainsi que des générateurs thermoélectriques et piézoélectriques répondant à ces exigences, qui pourront être combinés pour assurer l'alimentation énergétique des GA.



EPFL-Samlab

Figure 6 Récupérateur piézoélectrique d'énergie de vibrations mécaniques fabriqué sur un substrat souple (PEN ou polynaphtalate d'éthylène, 15 x 3 mm^2) par laminage d'une feuille piézoélectrique de PZT et ajout d'une masse en tungstène pour diminuer la fréquence de résonance à 105 Hz. Une puissance de 3,6 µW peut être générée sous une accélération de 0,5 g [7].

Les cellules solaires organiques

Les cellules solaires organiques sont classées comme « cellules solaires excitoniques », en référence à la création d'excitons avec une certaine énergie de liaison dans une matrice active polymérique par absorption de lumière [8]. La principale raison de l'intérêt suscité par le photovoltaïque organique consiste en son potentiel pour la réalisation à faible coût, avec des procédés simples, d'une source d'énergie renouvelable flexible. Si les performances de ces cellules ont augmenté de façon constante pour atteindre actuellement un rendement de conversion dépassant les 7–8 %, leur stabilité et leur production devront également être encore optimisées pour assurer leur succès.

Les générateurs thermoélectriques

L'efficacité des matériaux thermoélectriques est liée au facteur de mérite :

$$ZT = \sigma S^2 T / \kappa$$

où σ est la conductivité électrique du support, S le coefficient de Seebeck, T la température et κ la conductivité thermique. En vue d'atteindre de grandes valeurs de ZT, il est nécessaire d'avoir un dispositif ou matériau ayant une conductivité électrique élevée et un grand coefficient de Seebeck, mais une conductivité thermique faible.

Pour les semi-conducteurs massifs (bulk), ZT est inférieur à 1. Par contre, la nanotechnologie permet la réalisation de matériaux présentant un $ZT > 1$ à température ambiante grâce à des super réseaux de courte périodicité ou des matériaux massifs avec des nanostructures intégrées [9]. Des nanofils semi-conducteurs impliquant un désordre aléatoire ou des défauts artificiels seront aussi étudiés pour une utilisation potentielle en tant que dispositifs thermoélectriques efficaces.

Les générateurs piézoélectriques

Récemment, des nanogénérateurs piézoélectriques sur substrat souple à base de nanofils de ZnO ont révélé des performances des plus intéressantes. Une tension de plus d'un volt a pu être générée avec des millions de nanofils intégrés sur un substrat polymérique [10]. Il a été montré à la fois de façon théorique et expérimentale que les nanostructures piézoélectriques ont des propriétés piézoélectriques supérieures à celles des mêmes matériaux sous forme massive ou

Zusammenfassung **Energiegewinnung bei autonomen Mikro- und Nanosystemen**

Ein Pfeiler des europäischen Flaggschiff-Projekts «Guardian Angels»

Ziel des Projekts «Guardian Angels» ist die Entwicklung intelligenter, untereinander vernetzter Systeme, die uns und unsere Umwelt überwachen sollen, um eine bessere Lebensqualität zu ermöglichen. Die Systeme werden in der Lage sein, zahlreiche biologische Parameter zu messen, eine bessere Wahrnehmung der Umgebung zu erlauben bzw. als intelligente Assistenten das Führen von Fahrzeugen zu unterstützen. Damit sie sich selbst mit Energie versorgen können, ist nicht nur ihr Verbrauch stark zu verringern (um bis zu 3 Grössenordnungen), sondern es müssen auch technologische Lösungen entwickelt werden, mit denen sie die notwendige Energie aus ihrer Umgebung gewinnen können.

Dieser Artikel stellt das Projekt «Guardian Angels» mit seinen Zielen und energetischen Herausforderungen vor. Zudem werden die verschiedenen für die Energiegewinnung allgemein verwendeten Energiequellen und Prinzipien mit ihren Vor- und Nachteilen erläutert. Ein Abschnitt beschäftigt sich schliesslich eingehender mit der konkreten Energieversorgung der «Guardian Angels» und den Wegen, die beschritten werden, um flexible und leichte Energiewandler zu entwickeln, mit denen die gegenwärtige Leistungsdichte um den Faktor 100 erhöht werden kann.

CHe

de film mince. Il est important de noter que théoriquement, à l'échelle nanométrique, de l'énergie mécanique peut être récoltée à n'importe quelle fréquence si une déformation a lieu. Ce qui est un avantage en comparaison aux technologies MEMS (Microelectromechanical systems) qui opèrent sur le principe de la résonance et qui, lorsqu'elles sont adaptées aux basses fréquences des mouvements du corps humain (~1-10 Hz), demeurent encombrantes.

Conclusions

Pour assurer l'autonomie énergétique des GA, il faudra d'une part réduire la consommation énergétique à l'extrême et d'autre part développer des systèmes de récolte d'énergie innovants en privilégiant des matériaux nanostructurés souples et légers.

Les avantages du développement de technologies permettant la consommation ultrafaible d'énergie sont nombreux et se trouvent au-delà des applications immédiates dans les systèmes intelligents. Les nouvelles technologies électroniques qui seront développées dans ce projet réduiront la consommation en énergie des systèmes de systèmes : les économies estimées pourraient représenter une valeur de plus de 7 % du produit intérieur brut (PIB) mondial, comme l'ont estimé des analystes d'IBM en 2010 [11].

Références

[1] www.ga-project.eu/.
[2] J. Yick et al. : Wireless sensor network survey. Computer Networks 52, pp. 2292-2330, 2008.
[3] H. Chaouchi, ed. : The Internet of things : connecting objects. Wiley-ISTE, 2010.
[4] R.J.M. Vullers et al. : Micropower energy harvesting. Solid-State Electronics 53 (7), pp. 684-693, 2009.
[5] http://greenteg.com/.
[6] G.J. Snyder and E.S. Toberer : Complex thermoelectric materials. Nature Materials 7, pp. 105-114, 2008.
[7] A. Vasquez Quintero et al. : Vibration energy harvesting on plastic foil by lamination of PZT thick sheet. Proceedings of MEMS 2012, Paris, France, pp. 1289-1292, 2012.
[8] B. O'Regan and M. Graetzel : A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films. Nature 353, pp. 737-740, 1991.
[9] R. Venkatasubramanian et al. : Thin-film thermoelectric devices with high room-temperature figures of merit. Nature 413, pp. 597-602, 2001.
[10] S. Xu et al. : Self-powered nanowire devices. Nature Nanotechnology 5, pp. 366-373, 2010.
[11] D. Gil : Building a smarter planet : the next agenda for technology. Présentation au 8th International Workshop on Future Information Processing Technologies (IWFIPT), Kyoto, Japan, 2010.
[12] http://samlab.epfl.ch/enviromems.
[13] http://nanolab.epfl.ch/.

Informations sur les auteurs

Dr **Danick Briand** est ingénieur physicien titulaire d'un Master de l'Ecole polytechnique de Montréal et depuis 2001 d'un doctorat de l'Université de Neuchâtel en microtechnologie. Il dirige actuellement une équipe à l'EPFL dans le domaine des MEMS énergétiques et environnementaux (EnviroMEMS [12]). Il est particulièrement actif au niveau de la recherche et de l'enseignement dans le domaine des PowerMEMS et de la génération et récolte d'énergie au niveau microscopique et nanoscopique.

EPFL-STI-IMT Samlab, 2002 Neuchâtel, danick.briand@epfl.ch

Pr **Mihai Adrian Ionescu** de l'EPFL codirige le projet « Guardian Angels for a Smarter Life » avec Pr Christofer Hierold de l'ETHZ. Il a reçu le titre de docteur de l'Institut Polytechnique de Bucarest en Roumanie et de l'Institut National Polytechnique de Grenoble en 1997. Il a effectué des séjours au CEA-Leti (Commissariat à l'Energie Atomique-Laboratoire d'électronique des technologies de l'information), CNRS, Grenoble et à l'Université de Stanford (USA) en 1998 et 1999. Il est actuellement professeur associé et directeur du Laboratoire des dispositifs nanoélectroniques (Nanolab [13]). Ses domaines d'expertise recouvrent les nanotechnologies et les appareils nanoélectroniques.

EPFL-STI-IEL Nanolab, 1015 Lausanne, adrian.ionescu@epfl.ch

[1] 1 aJ = 1 attoJoule = 1×10^{-18} J.

Anzeige

Raumabschirmungen
gegen Magnetfelder von Bahn- und Hochspannungsleitungen

Magnetfelder bleiben draussen: Schutz für Mensch und Technik.

Ihr kompetenter Partner für Abschirmungen.

systron
Magnetfeld-Abschirmtechnik

Systron EMV GmbH · 8635 Dürnten
Tel. 055 250 53 20 · Fax 055 250 53 21
www.systron.ch

Gain experience!

Praktikanten
von heute können
Ihre Spezialisten
von morgen sein!

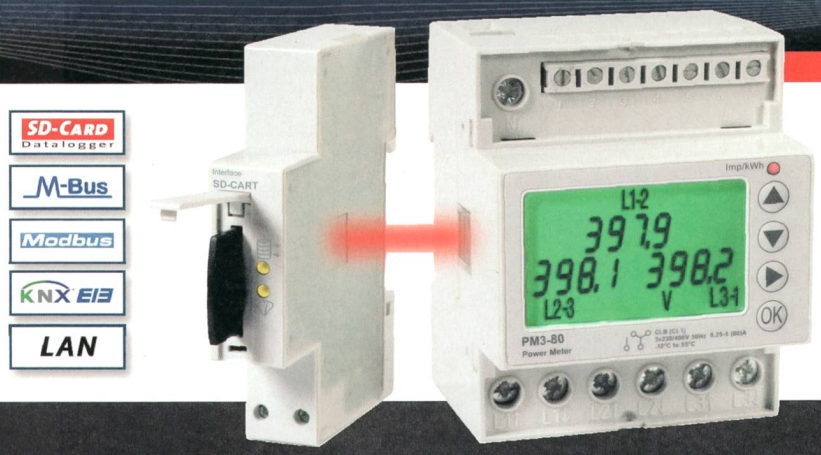
Profitieren Sie von unserer unabhängigen und kostenlosen Praktikanten-Stellenplattform!

www.elektro-praktikum.ch

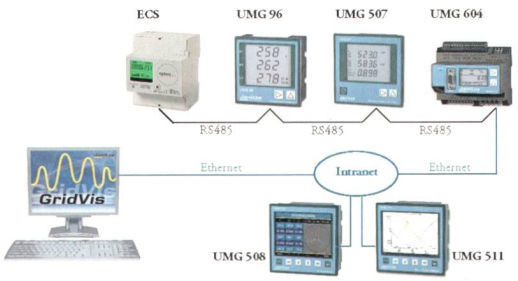
powered by electrosuisse

Auf einen Blick statt rummgeklickt!
Gebäudetechnik leicht gemacht...

Ausführliche Informationen unter www.optec.ch



Applikations-Beispiel



ECS-PM • Dreiphasige Multimesszähler

Die Power Meter sind ideale Messgeräte für den Einsatz in der Verteilertechnik. Sie zeigen auf einen Blick bei allen drei Phasen die wichtigsten Parameter an. Versionen mit S0-Impulsausgang sowie Kommunikationsanschluss mit Optec Modultechnik sind erhältlich.

- Digitales Display
- Alle drei Phasen auf einen Blick:
  - I - U - PF - Hz - P - Q - S und Wirkenergie
- Bezug u. Abgabe (Export u. Import)
- Kommunikationsfähig

optec
energie ist messbar

Optec AG • Guyer-Zeller-Strasse 14
CH-8620 Wetzikon ZH

Telefon: +41 44 933 07 70
Telefax: +41 44 933 07 77
Mail: info@optec.ch