

## **Les structures intelligentes ont besoin d'une détection robuste et sophistiquée**

*Antti Viitanen - Business Development Manager, MEMS sensors, Murata Elektronik GmbH*

*Nous sommes tous très dépendants des infrastructures qui nous entourent, qu'il s'agisse d'anciens bâtiments et constructions encore utilisés ou de projets de génie civil sophistiqués qui introduisent de nouvelles infrastructures dans nos villes surpeuplées, et nous devons par ailleurs préparer l'avenir.*

*En général, plus tôt les changements et les problèmes peuvent être détectés, plus le coût des travaux pour y remédier sera bas. Cependant, la détection des moindres changements nécessite une technologie extrêmement précise, fiable et robuste même dans des environnements difficiles.*

*Dans cet article technique, Murata se penche sur la nécessité de surveiller la santé des structures impliquées dans les nombreuses applications de notre monde moderne. L'article examine ensuite certaines des technologies sophistiquées MEMS qui font avancer ce secteur.*

Les bâtiments et les structures sont importants pour nous en tant que société, qu'il s'agisse de grandes structures comme les ponts et les tunnels faisant partie de nos réseaux de transport, les tours dans lesquelles nous vivons et travaillons ou d'autres ouvrages de génie civil tels que les barrages hydroélectriques. Il y a également de nombreuses structures plus anciennes qui existent depuis des centaines d'années et que nous continuons à entretenir en raison de leur valeur historique.

Cependant, de nombreux facteurs peuvent affecter ces structures, entraînant de petits changements – presque imperceptibles – qui, s'ils ne sont pas traités, peuvent causer des dommages, voire des défaillances ou des effondrements potentiellement catastrophiques, entraînant la destruction de la structure et mettant des vies en danger. Plusieurs de ces causes peuvent être naturelles: tremblements de terre, avalanches, surcharge neigeuse ou plus simplement le sol sur lequel la structure est construite qui se déforme avec le temps. Dans d'autres cas, la cause peut être d'origine humaine; une mauvaise qualité de fabrication ou des matériaux défectueux, ou encore les vibrations dues à la circulation ou à des travaux de construction à proximité n'en sont que trois exemples.

Afin de pouvoir alerter rapidement sur les problèmes potentiels et qu'ils puissent être analysés et traités à temps, de nombreuses structures importantes mettent actuellement en œuvre un système de surveillance de l'état de santé des structures (*Structural Health Monitoring*, SHM). Grâce à la mise en place de capteurs sophistiqués, les parties critiques d'une structure donnée peuvent être surveillées, même à distance, ce qui permet aux ingénieurs en bâtiment d'être avertis du moindre mouvement.

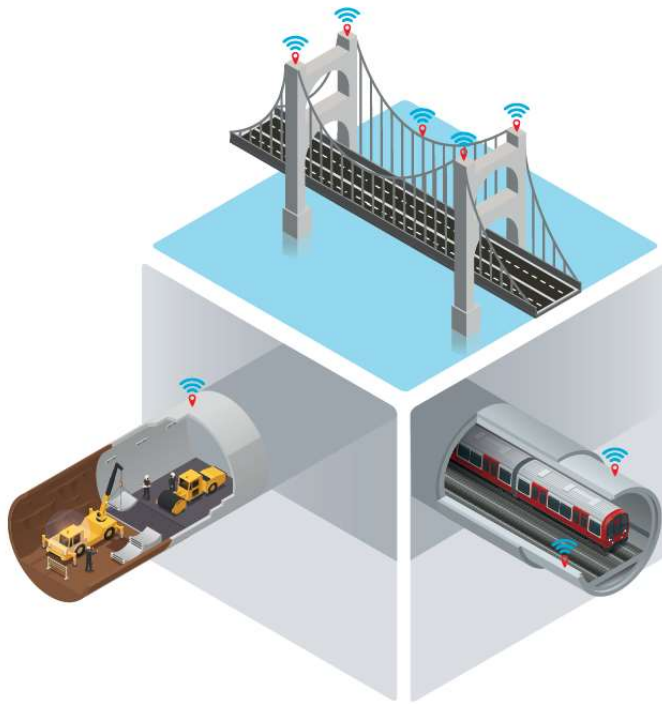


**Figure 1: Les technologies SHM sont utilisées pour surveiller les structures en surface et souterraines.**

De fait, il est de plus en plus courant que de grands projets d'infrastructure, tels que le *London Crossrail* ou le projet d'extension de la *Blue Line* à Bangkok, implémentent le SHM pour surveiller le projet ainsi que l'environnement et les structures environnantes. En particulier dans les villes modernes surpeuplées, les projets d'infrastructure impliquent souvent de creuser des tunnels à travers des zones urbaines de haute densité – alors même que sous terre il y a du danger dû aux tunnels existants, aux conduites d'égout et de câbles et autres aménagements qui doivent être évités. Le nouveau tunnel pourrait bien passer sous des rivières, des autoroutes, des ponts et des ouvrages importants, qui pourraient tous être affectés par des forages trop rapprochés ou par les vibrations causées par les énormes tunneliers.

Typiquement, un capteur SHM se compose de l'élément capteur lui-même et d'un élément mécanique tel qu'une barre ou une plaque conçue pour être fixée directement à la structure.



**Figure 2: Exemple d'un capteur SHM d'inclinaison par faisceau**

Le SHM sera utilisé pour surveiller le nouveau tunnel lui-même afin de s'assurer de sa stabilité, ainsi que celles des autres tunnels situés à proximité, de même que la stabilité de la surface et des structures importantes. Dans le cas du *London Crossrail*, le nouveau tunnel passait à quelques mètres des tunnels de métro existants et à proximité de *Big Ben*, la célèbre tour d'horloge, où les ingénieurs se seraient inquiétés si la structure se déplaçait de plus de 30 mm à la suite des travaux.

### **Les défis d'un SHM précis**

Étant donné que le SHM implique la surveillance de changements de seulement quelques millimètres dans des structures pouvant mesurer des centaines de mètres, et ce souvent dans des endroits inhospitaliers et isolés, le développement de capteurs SHM présente de nombreux défis.

La précision de l'élément de détection est essentielle pour pouvoir mesurer les moindres petits changements occasionnés, de même que la répétabilité – si la structure ne bouge pas, le capteur doit pouvoir l'indiquer. De même, l'élément sensible doit être stable dans le temps et ne pas se dégrader, ce qui pourrait générer une fausse indication de mouvement.

Comme les mouvements et les signaux sont faibles et souvent transmis sur des distances relativement longues (par exemple du sommet d'une tour au niveau du sol), un bon rapport signal/bruit est nécessaire pour pouvoir extraire des informations précieuses de tout signal même en présence de bruit.

Comme les capteurs sont généralement installés à l'extérieur, ils sont soumis aux fluctuations de température en fonction de leur emplacement et des conditions météorologiques, qui peuvent être aggravées en cas de montage dans un boîtier scellé.

La fiabilité est une autre exigence évidente. Bien que la défaillance d'un capteur soit relativement facile à détecter, le remplacement d'une unité défectueuse peut s'avérer coûteux, car ils sont souvent installés dans des endroits assez inaccessibles nécessitant un équipement d'accès spécialisé, ou dans des endroits très éloignés.

Dans de nombreux endroits où des capteurs SHM sont installés, une alimentation fiable n'est pas forcément disponible ou un câblage peut ne pas être autorisé en raison de la nature historique du bâtiment. C'est pourquoi une faible consommation d'énergie est une condition essentielle dans ces applications.

### **Les technologies SHM les plus récentes**

Au cœur de nombreux systèmes SHM modernes se trouve un petit accéléromètre basé sur la technologie MEMS (*Micro Electro-Mechanical System*). En termes simples, il s'agit d'une masse suspendue à des ressorts qui réagit aux changements d'accélération, y compris celle de la pesanteur terrestre lorsque le capteur est incliné. Ces mouvements affectent les valeurs de capacité des dispositifs capacitifs étroitement accouplés et fournissent une sortie électrique proportionnelle à l'accélération subie par l'élément de détection.



**Figure 3: L'accéléromètre à 3 axes SCA3300 de Murata est basé sur la technologie capacitive éprouvée 3D-MEMS**

Le SCA3300 est un accéléromètre/inclinomètre industriel à 3 axes de Murata Electronics qui peut être utilisé dans de multiples applications SHM pour effectuer les mesures d'angle et de vibration des structures. Basé sur la technologie 3D-MEMS capacitive éprouvée de Murata (Murata fabrique plus de 40 millions d'éléments de détection par an), le SCA3300 est conçu, fabriqué et testé pour répondre à des exigences élevées de stabilité, de fiabilité et de qualité. Il est capable de mesurer une large plage d'accélérations comprises entre  $\pm 6g$  et les utilisateurs peuvent sélectionner des plages de mesure aussi étroites que  $\pm 1,5g$  pour améliorer la résolution. Une faible densité de bruit de seulement  $40 \mu g/\sqrt{Hz}$  permet d'effectuer des mesures à haute résolution.

Le dispositif présente une excellente stabilité de distorsion dans le temps, assurant une bonne surveillance à long terme des structures et les relevés ne sont pas affectés de manière significative par les fluctuations de température grâce à une performance de décalage de température de  $\pm 15 mg$ . L'élément de détection est amorti mécaniquement pour procurer la meilleure robustesse en présence de vibrations et le dispositif est résistant aux chocs, permettant son utilisation dans des environnements difficiles.

En plus de l'élément de détection MEMS, le boîtier en plastique scellé (mesurant seulement 7,60 mm x 8,60 mm x 3,30 mm) contient un ASIC à signal mixte qui traite la sortie de l'élément de détection et la transmet via l'interface SPI intégrée.

Le SCA3300 peut fonctionner à des températures ambiantes allant de -40°C et +125°C et ne consomme que 1,2 mA en fonctionnement, permettant ainsi un fonctionnement sur piles dans des endroits éloignés ou inaccessibles. Comme l'appareil n'a besoin d'être mis sous tension que lorsqu'une mesure est en cours, une longue durée de vie est possible même avec les piles les plus petites.

L'inclinomètre analogique mono-axe à haute performance SCA103T est lui aussi basé sur la technologie 3D-MEMS capacitive avancée de Murata et est donc similaire au SCA3300. Ce composant est couramment utilisé dans les outils de nivellement portatifs et autres instruments de nivellement.



**Figure 4: Le SCA103T est l'inclinomètre le plus précis et disponible en production de masse**

Le SCA103T est l'inclinomètre le plus précis au monde en production de masse. Il permet des mesures allant jusqu'à  $\pm 30^\circ$  dans une plage de températures allant de -40° C à +125° C avec une résolution de  $0,0013^\circ$ . Dans la plage de -40° C à +85° C, la sortie n'est affectée que par la température de  $\pm 0,002^\circ / ^\circ \text{C}$ . Les densités de bruit sont exceptionnelles à seulement  $7 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ , contribuant de manière significative aux niveaux élevés de précision.

Comme le SCA3300, le SCA103T offre une résistance aux chocs et un amortissement mécanique pour limiter la réponse en fréquence à 8-28Hz, éliminant ainsi les vibrations à haute fréquence.

Le SCA103T possède une sortie analogique ratiométrique qui offre les plus hauts niveaux de précision pour les applications les plus exigeantes.

## **Résumé**

SHM est une partie essentielle de notre monde moderne, surveillant les structures à mesure qu'elles vieillissent ou pendant les périodes de construction à proximité. Grâce à la technologie SHM précise et fiable, les ingénieurs en structure peuvent surveiller les modifications et ajuster les calendriers de maintenance ou concevoir les réparations nécessaires, garantissant ainsi une longue durée de vie et un fonctionnement sûr.

La technologie 3D-MEMS capacitive de Murata a fait ses preuves dans des dizaines de millions d'appareils et constitue le cœur d'une gamme d'accéléromètres et d'inclinomètres offrant des performances, une précision et une fiabilité inégalées sur le marché. Ces dispositifs polyvalents et à faible consommation d'énergie contribuent de manière significative à l'amélioration de la surveillance SHM tout en étant faciles à utiliser pour les concepteurs d'outils et d'équipements SHM.