

MEMS, étudier de près le mouvement

Mark Patrick, Mouser Electronics

Parmi tous les capteurs basés sur la technologie des microsystèmes électromécaniques (MEMS), ceux qui prennent des mesures inertielles ont probablement la plus longue histoire. Il y a plus de 30 ans, les chercheurs ont commencé à explorer l'usage de minuscules cantilevers utilisés comme accéléromètres dans des sondes destinées à être envoyées dans l'espace.

Comme la technologie MEMS était devenue plus adaptée à la production en série, l'industrie automobile a rapidement utilisé les accéléromètres pour améliorer les systèmes de sécurité. Un accéléromètre peut avertir un microcontrôleur d'une soudaine augmentation de la force g dans une direction particulière. Ce signal peut permettre de déclencher un airbag et d'augmenter la tension de la ceinture de sécurité.

Le lancement de la console de jeux Nintendo Wii a conduit à l'adoption massive des accéléromètres dans les appareils destinés au grand public en révélant à quel point les capteurs de mouvement pouvaient être importants dans le domaine du divertissement. Les accéléromètres intégrés dans les manettes permettaient au système d'interpréter les mouvements et de les replacer dans un environnement virtuel. Les joueurs pouvaient par exemple faire des mouvements de balancement pour essayer de frapper une balle dans un jeu de sport (tennis ou golf par exemple).

Peu après, l'iPhone d'Apple a montré que les gestes pouvaient également être intégrés dans les appareils d'électronique grand public pour créer des interfaces utilisateur plus intuitives. Ce faisant, les fabricants de téléphones portables ont amélioré la convivialité de leurs produits. Aujourd'hui, les smartphones contiennent non seulement des accéléromètres multiaxes mais également des gyroscopes. L'alliance de ces deux types de capteur permet aux logiciels de déterminer plus facilement comment le téléphone bouge et de réagir de manière appropriée à ces mouvements.

Les accéléromètres et les gyroscopes fonctionnent différemment. Les premiers

détectent les mouvements linéaires, tandis que les seconds captent les mouvements rotationnels. Des différences de conception des MEMS permettent d'interpréter ces modes de mouvement indépendamment l'un de l'autre. Un accéléromètre MEMS contient un dispositif qui réagit à l'accélération dans une direction spécifique. Certaines conceptions font appel à l'effet piézoélectrique. Voici comment fonctionne cette technique : des cristaux piézoélectriques sont déposés sur une poutre qui peut bouger à une seule extrémité. Lorsque la poutre ploie, les cristaux subissent une pression et génèrent en réaction une tension électrique qui est récupérée par un circuit de lecture.

Une autre approche consiste à utiliser les changements de capacité qui se produisent lorsqu'une poutre conductrice est installée (de façon à laisser un espace vide entre les deux) au-dessus d'un substrat conducteur. À mesure que l'accélération perpendiculaire augmente, le mouvement de la poutre par rapport au substrat entraîne un changement de capacité.

Plutôt que de se servir d'une poutre qui bouge par rapport à un substrat, les gyroscopes MEMS utilisent généralement des éléments qui bougent les uns par rapport aux autres. La configuration du « diapason » est l'une des plus communes. Elle consiste en deux masses qui oscillent et bougent constamment dans des directions opposées. Tandis que l'ensemble du système tourne, la force de Coriolis s'exerçant sur chaque masse agit également dans des directions opposées. Le résultat obtenu est un changement de capacité proportionnel à la vitesse angulaire. Néanmoins, si l'accélération linéaire est appliquée aux deux structures mobiles, celles-ci bougeront dans la même direction et aucun changement de capacité ne sera enregistré.

Grâce en partie à l'usage combiné des accéléromètres et des gyroscopes dans de nombreux systèmes destinés au grand public, la demande en capteurs inertiels et de mouvement continue de croître fortement. Le cabinet d'analystes Markets & Markets estime qu'à l'horizon 2022, les ventes d'accéléromètres et de gyroscopes atteindront 3,5 milliards de dollars. Cette croissance s'appuiera non seulement sur les appareils électroniques portables, mais également sur les applications du domaine de la robotique (à la fois industrielles et grand public). Étant donné qu'ils possèdent plusieurs membres, les robots industriels et domestiques sophistiqués ont

potentiellement besoin de nombreux capteurs de mouvement inertiel.

Comme nous avons besoin de gérer des signaux de mouvement provenant de plusieurs directions, les accéléromètres à trois axes continuent de dominer le marché de la détection de mouvement linéaire. Il existe néanmoins de nombreux types d'accéléromètre spécialisés dans les besoins particuliers des marchés verticaux. Certains se concentrent sur les chocs et les vibrations sur un ou deux axes. C'est le cas des accéléromètres utilisés dans les airbags. Le dispositif [ADXL195](#) d'Analog Devices, par exemple, est un accéléromètre à deux axes qui peut mesurer les accélérations allant jusqu'à 120 g avec une bande passante de 408 Hz. Ce capteur peut donc gérer les déplacements soudains importants et se sert de sa précision de 14 bits pour distinguer les différents types de choc.



Figure 1 : illustration des divers usages de la détection de mouvement.

D'autres accéléromètres, tels que les capteurs d'inclinaison, sont conçus pour détecter les subtils changements d'orientation. Ils sont utilisés dans les applications telles que le suivi de satellites et la mesure de distance. Pour répondre au besoin de prendre le moins de place possible, le dispositif [SCA3300-D01](#) de Murata inclut

quatre éléments MEMS tels qu'un accéléromètre trois axes et un inclinomètre. Le SCA3300-D01 permet par exemple de contrôler et de stabiliser des plateformes mobiles dans les usines d'industrie lourde. Afin de faciliter l'intégration, l'appareil comporte un dispositif de traitement des signaux qui utilise un signal mixte ASIC émettant des changements de force via une interface numérique SPI.

Les gyroscopes servent à détecter les gestes, mais ils jouent également un rôle important dans des applications telles que la stabilisation des caméras et des capteurs d'image. Le dispositif [L20G2020ISTR](#) de STMicroelectronics est un gyroscope à deux axes conçu spécialement pour cet usage. Il signale les rapides changements d'angle au système hôte via une interface SPI. Le logiciel intégré au système peut utiliser ces signaux pour ajuster le contenu reçu image par image et produire des vidéos fluides et agréables à regarder.

Des appareils tels que l'[ICM-20602](#) de la gamme MotionTracking d'InvenSense allient des accéléromètres et des gyroscopes pour permettre une détection de mouvement à six axes dans de nombreux champs d'application. Logés dans des boîtiers de 3,0 mm x 3,0 mm x 0,75 mm, ces dispositifs possèdent chacun un processeur de mouvement numérique intégré pour éviter au processeur hôte d'effectuer le calcul des algorithmes de traitement des mouvements - ce qui améliore les performances du système. Le micrologiciel qui accompagne la gamme de produits MotionTracking permet d'adapter les fonctions de détection à des applications spécifiques. L'appareil [ICM-20648](#), par exemple, est conçu pour les dispositifs wearables qui se portent au poignet et peut notamment calculer le nombre de pas, classifier les activités et reconnaître les gestes afin d'améliorer l'interface utilisateur du système.



Figure 2 : puce d'accéléromètre/gyroscope ICM-20648 d'InvenSense pour les appareils portables.

L'un des principaux avantages de l'utilisation simultanée des accéléromètres et des gyroscopes est la compensation des erreurs. Même si les accéléromètres sont conçus pour détecter les mouvements linéaires, ils peuvent (grâce à des adaptations arithmétiques appropriées) détecter des changements dans les axes x , y et z pour déduire la rotation. Grâce à d'autres manipulations, et bien qu'ils soient au départ conçus pour détecter les changements de direction et de rotation, les gyroscopes peuvent indiquer si le mouvement linéaire signalé par un accéléromètre est réel ou non.

Les erreurs causées par la force gravitationnelle terrestre s'avèrent être l'un des problèmes auxquels peuvent être confrontés les accéléromètres utilisés sans capteur supplémentaire. Un logiciel peut compenser cette influence en essayant de débarrasser les signaux dynamiques de cette force constante en la filtrant. Dans la pratique, il peut néanmoins être difficile de la supprimer entièrement à cause du risque potentiel de confondre de longues périodes d'accélération avec cette force

constante.

Les accéléromètres sont également sujets au bruit à haute fréquence causé par la vibration du système et des composants MEMS eux-mêmes. Les filtres passe-bas permettent de traiter ce bruit, mais même avec ces dispositifs, des erreurs de mesure peuvent survenir lorsque les accéléromètres sont utilisés sur une longue période.

Les gyroscopes sont également affectés par différentes sources de bruit. Contrairement aux accéléromètres qui sont affectés par le bruit à haute fréquence, les gyroscopes sont le plus souvent confrontés à des erreurs de dérive à basse fréquence. Cette dérive est problématique car le logiciel enregistre les mesures d'un gyroscope au fil du temps, ce qui mène à une hausse constante des erreurs directionnelles.

Dans les modules et systèmes à six axes qui rassemblent plusieurs capteurs, les différents signaux peuvent être utilisés pour se compenser entre eux et pour optimiser les possibilités offertes par la fusion de capteurs. Des techniques telles que les filtres de Kalman et les filtres particulaires sont un moyen mathématique permettant de collecter des mesures de capteur disparates et d'interpréter les résultats dans un vecteur de mouvement unique. Ces filtres prennent en compte des facteurs tels que l'incertitude de mesure pour garantir le fait que les appareils présentant beaucoup d'erreurs sur une certaine mesure soient « écartés » au profit de dispositifs connus pour être plus fiables.

Comme la technologie MEMS ne cesse de s'améliorer, la sensibilité et l'exactitude des capteurs inertiels vont continuer à se perfectionner. Ces progrès vont permettre de construire des systèmes mécatroniques et robotiques hautement réactifs ainsi que des dispositifs destinés à l'Internet des objets (IdO) capables de comprendre nos mouvements et nos gestes. Les accéléromètres sont certes l'un des plus anciens types de capteur MEMS, mais ils représentent l'avenir.