

Zastosowania czujników inercyjnych MEMS

Układy scalone wykonane w technologii MEMS są używane już od około dwudziestu lat. Początkowo były to głównie czujniki przyspieszenia i ciśnienia stosowane w samochodach. Jednak odkąd te układy zagościły w kontrolerach gier i smartphone'ach, dopiero wtedy pojawiła się świadomość możliwości nowej technologii. Dostępne w handlu akcelerometry i żyroskopy wykonane w technologii MEMS są gotowe do przeobrażenia sposobu użytkowania różnorodnych produktów konsumenckich za pomocą pięciu typów ruchów, które mogą sygnalizować: drgań, uderzeń, pochylenia i obrotu. W artykule opisano próbkę tego, co jest możliwe.

Przesunięcie, drgania, uderzenie i pochylenie są różnymi manifestacjami przyspieszenia w różnych okresach (rysunek 1). Obrót, piąty tryb sygnalizowania rodzaju ruchu, jest innego rodzaju. Zazwyczaj konstruktorzy nie myślą o tych rodzajach ruchu jako odmianach przyspieszenia i hamowania. Aby dostrzec pełne możliwości, dobre będzie niezależne omówienie każdego z tych rodzajów ruchu.

Fizyczne podstawy działania

Przyspieszenie (włączając w to przemieszczenia takie jak zmiana pozycji i orientacji) jest miarą zmiany prędkości w jednostce czasu. Prędkość, wyrażona w metrach na sekundę (m/s), zawiera czas przemieszczenia i kierunek ruchu. Przyspieszenie jest mierzone w metrach na sekundę do kwadratu (m/s²). Jeśli ma ono wartość ujemną, to jest nazywane spowalnianiem lub hamowaniem.

Jeśli rozważa się przyspieszenie w różnych przedziałach czasu, to wibracje mogą być traktowane jako naprzemienne przyspieszenie i spowolnienie, które są bardzo szybkie i mają charakter okresowy. Nieco inny charakter ma uderzenie. Pojawia się ono gwałtownie, ale inaczej niż wibracje, zachodzi tylko raz. Gdy następuje zmiana pochylenia obiektu, to ruch jest odnoszony do kierunku działania siły grawitacji. Jest on – w porównaniu z wibracją i uderzeniem – bardzo powolny.

Ponieważ te pierwsze cztery tryby pomiaru ruchu zawierają przyspieszenie, to są one mierzone za pomocą jednostki g, tj. składowej siły, którą grawitacja ziemiska wywiera na obiekt znajdujący się na powierzchni Ziemi (1 g = 9,81 m/s²). Akcelerometr MEMS wykrywa pochylenie poprzez pomiar efek-

tu oddziaływania siły grawitacji w różnych osiach. W przypadku akcelerometru 3-osowego, trzy odseparowane wyjścia mierzą przyspieszania w osiach X, Y i Z.

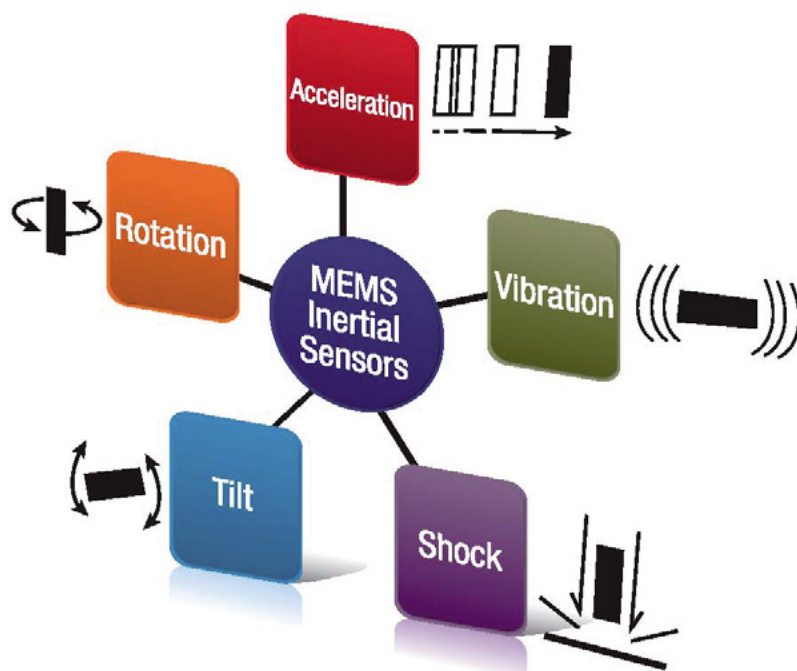
Akcelerometry, które dziś mają największy udział w rynku, używają do pomiaru przyspieszenia kondensatorów różnicowych, których pojemność jest mierzona i przekształcana w napięcie lub w liczbę binarną (w akcelerometrach z wyjściem cyfrowym), a następnie przekazywana do mikroprocesora podejmującego odpowiednie działania. Najnowsze osiągnięcia technologii doprowadziły do produkcji miniaturowych kondensatorów MEMS o zróżnicowanej czułości

Dodatkowe informacje:

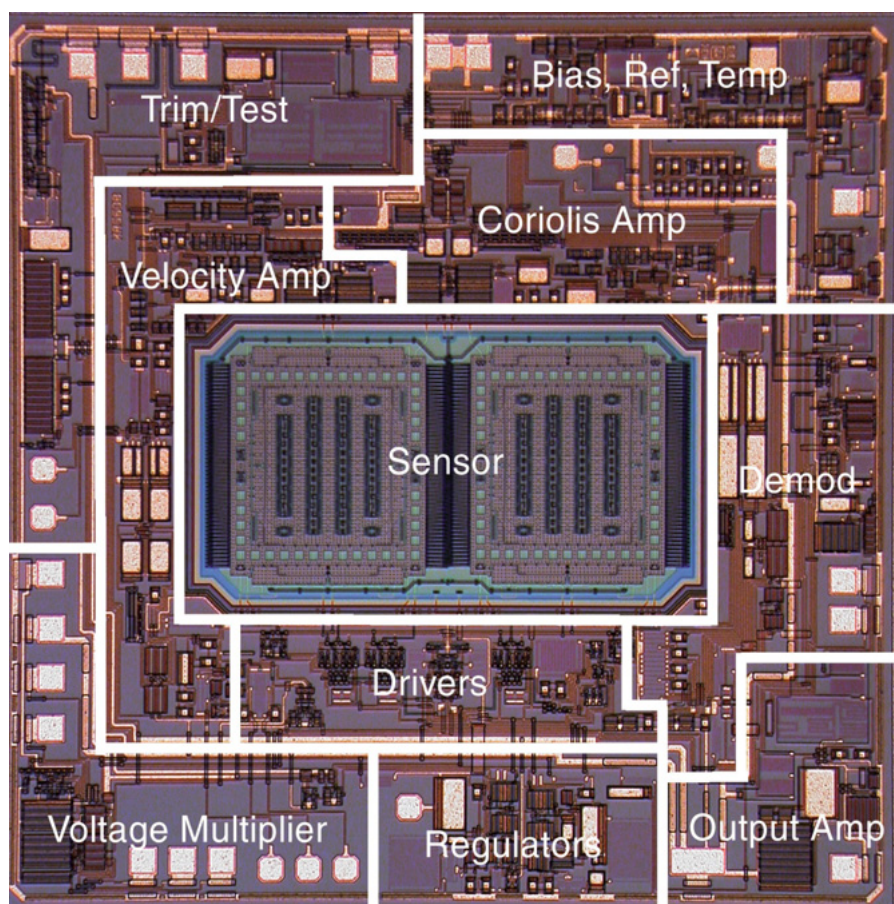
Artykuł przygotowany przez Farnell we współpracy z Analog Devices. Bogatą ofertę produktową układów iMEMS można znaleźć na stronie internetowej <http://pl.farnell.com/>

i o wiele szerszym paśmie przenoszonych częstotliwości, co powiększyło obszar potencjalnych zastosowań. Czujniki o stosunkowo niedużym przyspieszeniu granicznym (poniżej 20 g) są używane w aplikacjach, które wykrywają ruch człowieka. Czujniki o dużym, maksymalnym przyspieszeniu są używane do wykrywania ruchu maszyn lub pojazdów, tj. ruchów, które ze względu na szybkość nie mogą być wykonywane przez człowieka.

Przemieszczenie, wibracje, uderzenie i pochylenie należą do ruchów liniowych. A jak wykryć i zmierzyć obroty? Ten piąty typ ruchu znacznie różni się od pozostałych czterech, ponieważ obiekt może się obracać, natomiast siła grawitacji G oddziałująca na czujnik może się zmieniać lub nie. Aby zrozumieć dlaczego tak jest, wyobraźmy sobie sensor 3-osiowy, którego oś pomiaru przyspieszenia Z jest skierowana równolegle do kierunku siły grawitacji, natomiast osie X i Y są do niego prostopadłe (równoległe do powierzchni Ziemi). W takiej sytuacji czujnik osi Z wskaże 1 g, natomiast osi X i Y – 0 g.



Rysunek 1. Pięć rodzajów ruchu rozpoznawanych przez czujniki



Fotografia 2. Żyroskop z rodziny iMEMS produkcji Analog Devices

Teraz obróćmy sensor wzdłuż osi Z. Pomimo obrotów czujniki X i Y nadal będą wskazywały 0 g, natomiast czujnik X poda 1 g.

Ponieważ w niektórych aplikacjach wymagany jest pomiar obrotów oraz innych form ruchu, żyroskop został zintegrowany w układzie od pomiaru inercyjnego (IMU). Łączy on w sobie wieloosiowy żyroskop i wieloosiowy miernik przyspieszenia.

Przyspieszenie a zarządzanie zasilaniem

Ponieważ za pomocą przyspieszenia można wykrywać ruch i przemieszczenie, jest możliwe wykrywanie faktu podnoszenia i odkładania urządzenia elektronicznego, np. telefonu czy odtwarzacza MP3. Gdy wykrywany jest ruch, akcelerometr generuje przerwanie służące do automatycznego załączenia lub wyłączenia funkcji urządzenia. Różne kombinacje wykrytych ruchów mogą powodować, że urządzenie pozostaje aktywne lub przechodzi w stan obniżonego poboru energii. W związku z tym, że użycie akcelerometru eliminuje konieczność np. naciskania przez użytkownika klawisza w celu podtrzymania aktywności urządzenia, taka funkcja znacznie poprawia komfort użytkownika. Co więcej, baterie mogą być dłużej użytkowane. Już dziś wiele telefonów komórkowych wyłącza podświetlenie LCD, gdy zostaną podniesione do ucha.

Wibracje a oszczędzanie energii

Niewielkie zmiany drgań są głównym objawem źle dopasowanych części mechanicznych, zużycia łożysk i innych problemów z mechanizmami. Bardzo małe czujniki MEMS, o szerokim paśmie przenoszenia, mogą być używane do pomiarów wibracji silników w wentylatorach, kompresorach itp. Dzięki temu można wymieniać pewne podzespoły, zanim dojdzie do poważnych awarii. Takie czujniki mogłyby też mierzyć zmiany drgań i dzięki temu umożliwić odpowiedź na pytanie, czy maszyna działa efektywnie.

Wykrywanie pochylenia dla precyzji operacji

Wykrywanie pochylenia może być zastosowane w interfejsach rozpoznających gesty. Na przykład w branży budowlanej ręka nieużywana do kontroli urządzenia może służyć do sterowania koszem podnośnika czy platformą, na której stoi operator lub po prostu do przytrzymywania się ze względów bezpieczeństwa.

W tym przypadku 3-osiowy akcelerometr wykrywa „obrót” zmianę inklinacji w stosunku do kierunku siły grawitacji, wykrywanie zmian jej wektora i określenie, czy ruch odbywa się w kierunku zgodnym, czy przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Wykrywanie pochyłu oraz np. uderzenia mogłyby umożliwić operatorowi kontrolowanie

większej liczby funkcji za pomocą jednej ręki.

Pomiar pochylenia jest również konieczny, gdy trzeba skompensować położenie urządzenia. Przykładem może być kompas elektroniczny w przenośnym urządzeniu do nawigacji GPS. Powszechnie wiadomo, że kompas wskazuje błędnie, jeśli nie jest umieszczony dokładnie równoległe do powierzchni Ziemi. W wagach przemysłowych pochylenie platformy pomiarowej w odniesieniu do powierzchni Ziemi musi być skalkulowane w celu dokładnego pomiaru ciężaru. Czujniki ciśnienia, takie jak używane w samochodach i maszynach przemysłowych, również podlegają wpływowi grawitacji, ponieważ zawierają membrany, których ugięcie zmienia się w zależności od pozycji zamontowania sensora. We wszystkich opisanych sytuacjach można zastosować akcelerometr MEMS do pomiaru pochylenia czujnika i skompensowania wynikającego z tego błędu pomiarowego.

Obszar zastosowań czujników MEMS znacznie powiększa się, gdy czujnik obrotu zostaje połączony z innymi rodzajami czujników inercyjnych. Niektóre IMU zawierają wieloosiowy akcelerometr, wieloosiowy żyroskop i dla zwiększenia precyzji pomiaru – wieloosiowy magnetometr. Takie IMU zapewniają pomiar o sześciu stopniach swobody (6DoF), umożliwiając uzyskanie wysokiej rozdzielczości pomiaru niezbędnej dla medycznych urządzeń diagnostycznych, przyrządów chirurgicznych, protez oraz do systemów tzw. nawigacji inercyjnej.

Czujniki IMU mogą przydać się również w mniej oczywistych zastosowaniach. Można ich na przykład użyć do śledzenia ruchu golfisty podczas uderzenia w celu jego rejestracji. Pozwala to na skorygowanie błędów techniki, a zapisu można użyć też do celów porównawczych lub treningowych.

Kolejny etap

Czujniki przyspieszenia MEMS mają ogromną liczbę potencjalnych zastosowań związanych z detekcją pięciu podstawowych ruchów. Umożliwiają budowę przyjaznych interfejsów użytkownika minimalizujących zużycie energii, wyeliminowanie przycisków i elementów sterowania, kompensację położenia i oddziaływania siły grawitacji lub innych, bardziej wyrafinowanych operacji.

Firma Analog Devices wykonała kolejny krok na drodze rozwoju czujników MEMS. Z czujnikiem zintegrowano procesor sygnałowy, który umożliwia łatwe zastosowanie czujnika w aplikacji bez konieczności implementacji skomplikowanych algorytmów oceny sygnałów. Nowa technologia nosi nazwę iMEMS (fotografia 2).