

### XXIII. Czujniki ciśnienia i ogniwa obciążnikowe

Czujniki ciśnienia są ewolucją prostego przycisku. Prosty przycisk ma dwa stany, włączone lub wyłączone, które można wykorzystać do wyzwalania prostych akcji atomowych w grze wideo, takich jak strzelanie z broni lub otwieranie drzwi. Jednak proste przyciski nie są w stanie poinformować programu, w jaki sposób Ty, użytkownik, trafiasz w ten przycisk. Uderzyłeś to szybko? Ledwo to dotykałeś? Jedyne, co program może zinterpretować, to fakt, że faktycznie kliknąłeś przycisk. Dzięki czujnikom ciśnienia program ma możliwość rozpoznania, w jaki sposób użytkownik nacisnął przycisk. Ta informacja może być wykorzystana jako wejście przyrostowe, na przykład gracz podnoszący broń palną przed naciśnięciem przycisku, aby aktywniej strzelać. Dodatkowo, czujniki ciśnienia mogą być używane do tworzenia nowatorskich form urządzeń wprowadzanych przez człowieka. Podczas gdy wrażliwość na nacisk nie jest niczym niezwykłym na bardziej tradycyjnych rynkach gier konsolowych, istnieje również niedawne dążenie do przeniesienia czujników na urządzenia z ekranem dotykowym, takie jak konsola do gier Nintendo DS i telefon komórkowy. Czułe na dotyk ekrany dotykowe są obecnie poza najnowszym stanem techniki, więc najpierw omówimy tradycyjne metody, które już są szeroko stosowane. Oprócz czujników ciśnienia, niektóre nowe konsole do gier wykorzystują czujniki obciążenia, aby umożliwić graczowi wykorzystanie zmian w jego wadze ciała jako sygnału wejściowego. Metoda, za pomocą której gromadzone są dane oraz sposób określania środka ciężkości, zostanie omówiona w tej części. Wreszcie, niektóre smartfony zawierają obecnie barometr, czujnik ciśnienia mierzący ciśnienie atmosferyczne. Zostanie również omówione, do czego służy i jaki rodzaj informacji może dostarczyć.

#### Pod presją

Jak omówiono w części 3, ciśnienie jest siłą działającą na obszar. Wyobraź sobie betonowy blok siedzący na stalowej płycie. Masa bloku będzie równomiernie rozłożona na obszarze styku, tworząc nacisk na stalową płytę. Gaz i ciecz mogą również wywierać presję. Ciężar powietrza dociskającego do nas to tak zwane ciśnienie atmosferyczne. Omówmy krótki przykład obliczania ciśnienia, aby zilustrować związane z nim pojęcia. Ciśnienie ma wiele różnych jednostek, ale wszystkie z nich można zrównać z siłą podzieloną przez obszar. W tym rozdziale będziemy trzymać Newtona na metr kwadratowy, ponieważ jest to najłatwiejsze do wizualizacji. Jednostka pochodna SI (jednostka miary składająca się z innych podstawowych jednostek) nosi nazwę Pascal, która wynosi zaledwie  $1 \text{ N} / \text{m}^2$ .

#### Przykładowe skutki wysokiego ciśnienia

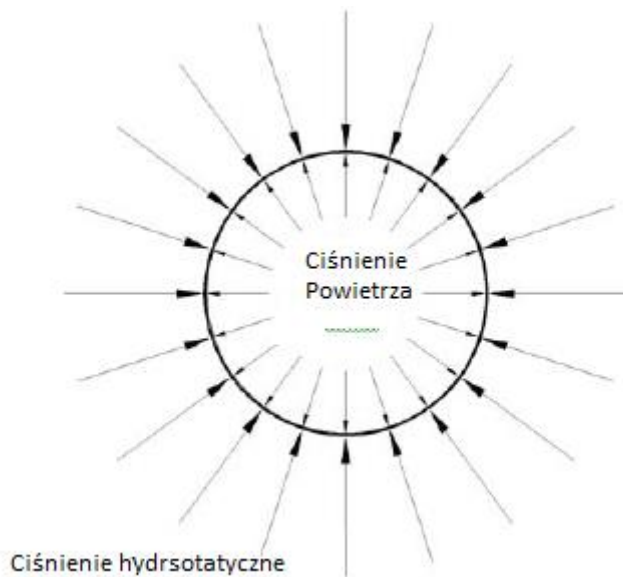
W części 3 omówiliśmy koncepcję pływalności i jej wpływ na hydrostatyczny nacisk. Tutaj pokażemy ogromne siły, jakie może spowodować ciśnienie hydrostatyczne na zanurzonym obiekcie. Wyobraźmy sobie, że mamy stalową kulę wypełnioną normalnym ciśnieniem atmosferycznym na poziomie morza lub około  $101\,000 \text{ N} / \text{m}^2$ . Chociaż wydaje się, że to dużo, twoje ciało jest wykorzystywane do radzenia sobie z tą presją, więc nawet nie zauważysz tego na co dzień! Teraz weźmiemy tę piłkę i wrzucimy ją do rowu Marianas, najgłębiej znanej części oceanu. Głębokość wody wynosi tutaj około 10 900 metrów. Wzór do obliczania ciśnienia spowodowanego wodą (ciśnienie hydrostatyczne) wynosi:

$$P(h) = \rho \times g \times h$$

gdzie  $\rho$  jest masową gęstością wody,  $g$  jest siłą wywołaną grawitacją, a  $h$  jest wysokością słupa wody nad obiektem. Przyjmujemy tutaj standardową gęstość dla słonej wody,  $1025 \text{ kg} / \text{m}^3$  i obliczamy ciśnienie:

$$P(10\,900) = (1025 \text{ kg} / \text{m}^3) \times (9,8 \text{ m} / \text{s}^2) \times (10900 \text{ m}) = 109\,490\,500 \text{ N} / \text{m}^2$$

Rysunek 23-1 pokazuje, jak ciśnienia działają na naszą stalową kulę.



Oczywiste jest, że ciśnienie wody działające na kulę jest znacznie większe niż ciśnienie atmosferyczne, które uwieźliśmy w środku przed zatopieniem go. Należy również pamiętać, że ciśnienie zawsze działa normalnie na powierzchnię. Jeśli przyłożysz siłę do wierzchołka obiektu, będziesz miał problemy z modelowaniem właściwego efektu, ponieważ wierzchołek nie ma dobrze zdefiniowanej normalnej. Możemy to przewyciężyć jedynie poprzez wywieranie nacisku na powierzchnie wielokątów lub uśrednianie kierunku nacisku po obu stronach wierzchołka. Wracając do naszego przykładu, różnica ciśnień netto na stalowej kuli wynosi:

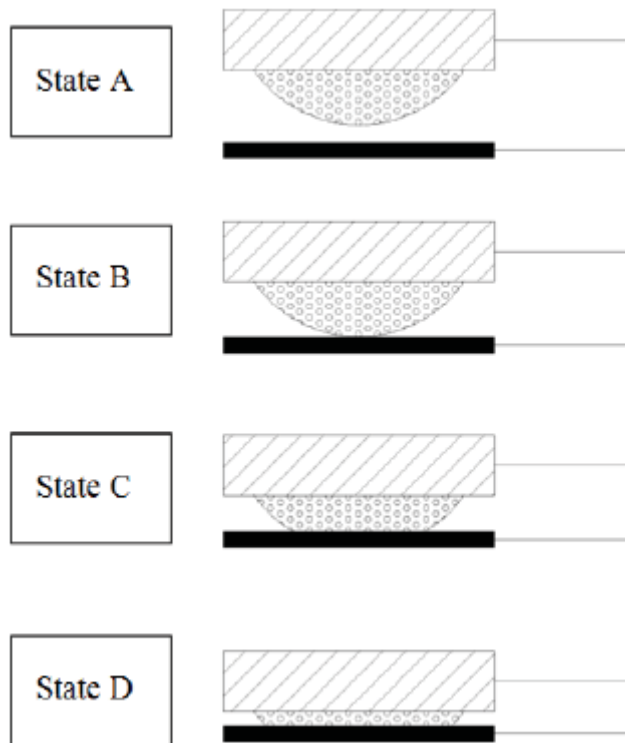
$$P(\text{woda}) - P(\text{powietrze}) = 10\,949\,100 \text{ N / m}^2 - 101\,000 \text{ N / m}^2 = 10\,848\,100 \text{ N / m}^2$$

To jest ciśnienie, które czułbyś, gdyby 1870 słoń stało na tafli 1 metra kwadratowego na tobie. Gdyby nasza stalowa kula miała ściany, które były zbyt cienkie, aby wytrzymać tę różnicę ciśnienia, implikowałyaby się. Aby przedstawić to wszystko w perspektywie, stalowa kulka w kosmosie miałaby różnicę ciśnień wynoszącą tylko 1 atmosferę wypychającą. Jest zatem o wiele trudniej zaprojektować konstrukcję, aby przejść na dno morza, niż iść na Księżyc. Rzeczywiście, więcej mężczyzn postawiło stopę na powierzchni Księżyca niż na dnie morza. Gdyby piłka była otwarta na morze, ciśnienie działałoby jednakowo po każdej stronie stalowej granicy. Bez różnicy ciśnień nie byłoby siły, by zmiażdżyć piłkę; jednakże nadal będzie występowała kompresja samej skorupy stalowej.

### Miażdżenie przycisków

W poprzednim przykładzie podkreślono kilka ważnych pojęć dotyczących ciśnienia ogólnie rzecz biorąc, zwykle nie jest to rodzaj ciśnienia wykorzystywanej jako wejście do gry. Najczęstszymi typami czujników ciśnienia, jakich doświadczasz w grach wideo, są czułe na nacisk przyciski, które pośrednio mierzą nacisk wywierany przez użytkownika na przycisk i konwertują go na względną wartość. Zarówno Sony, jak i Microsoft włączyły kontrolery wrażliwe na nacisk (znane również jako analogowe) do kontrolerów na konsole PlayStation i Xbox. Metoda, za pomocą której można wykryć, jak mocno użytkownik naciska przycisk, jest bardzo prosta lub bardzo złożona. Skoncentrujemy się na metodzie firmy Sony, która jest bardzo elegancka. Typowy przycisk to tylko dwa styki rozdzielone izolatorem, najczęściej powietrzem. Po naciśnięciu przycisku górny styk przesuwają się w dół i dotyka dolnego styku. To kończy obwód, powodując skok napięcia, który urządzenie interpretuje jako naciśnięcie przycisku. To kolejny przykład cyfrowego czujnika - jest włączony lub wyłączony. Przyciski kontrolera Sony działają nieco inaczej. W stanie A na rysunku 23-2 widzimy, że przycisk nie jest jeszcze wciśnięty i istnieje szczelina powietrzna pomiędzy przewodem pełnym a kopulastym przewodem elastycznym. W stanie

B przycisk jest wciśnięty przy minimalnym nacisku, a kopuła ledwo się styka. Przycisk jest teraz aktywowany. Jeśli użytkownik kontynuuje naciskać mocniej przycisk, kopuła odchyła się i zwiększa obszar kontaktu ze stałym przewodnikiem; im większy obszar styku, tym większa przewodność połączenia. Powoduje to wzrost prądu płynącego w obwodzie. Mierzając ten wzrost prądu, sterownik wie, jak daleko w dół przycisku jest naciskany. W stanie D na rysunku 23-2 przycisk znajduje się na granicy ruchu i kopuła została odchylona do maksymalnego obszaru styku.



Różnica między tym maksimum a minimum wymaganych do wykrycia kontaktu determinuje bezwzględne najniższe i najwyższe ciśnienie, które przycisk może rozróżnić. Na przykład założmy, że gdyby przycisk był całkowicie wciśnięty, prąd zarejestruje się w  $I_{max}$ . Jeśli przycisk nie byłby naciśnięty w ogóle, oczywiście prąd wynosiłby 0. Jeśli nazywamy prąd  $I(t)$  przez dowolny czas,  $t$ , widzimy, że stosunek  $I(t) / I_{max}$  daje niewymienną ilość dla tego jak daleko w dół przycisk jest wciśnięty. Podczas tej operacji sprzęt przekształca napięcie analogowe na cyfrową reprezentację odpowiednią do wprowadzenia do programu. W przypadku przykładu Sony ta wartość jest obliczana przez sprzęt i przekazywana jako część strumienia danych ze sterownika z wartościami szesnastkowymi między 0x00 i 0xFF lub innymi słowami liczbami całkowitymi od 0 do 255 w systemie dziesiętnym. Oznacza to, że podróż każdego przycisku jest podzielona na 255 części, które twój program może zarejestrować. Podczas gdy 255 indywidualnych przyrostów wykracza poza ludzką zdolność kontrolowania nacisku palca, różne zakresy nacisku mają praktyczne zastosowanie w grach. Na przykład, możesz zaprogramować swój przycisk, aby podnieść broń przy wciśniętym do połowy (0 do 127), przyłożyć broń do ramienia z większym naciskiem (od 127 do 250) i strzelać, gdy jest całkowicie wciśnięty (250 do 255). Oczywiście te wartości musiałyby być dostrojone do pożądanego poziomu czułości. Innym przykładem może być sterowanie przepustnicą w samochodzie za pomocą wartości od 0 do 255 jako mnożników ciągu. Innym zastosowaniem poznania pozycji przycisku będzie śledzenie go w czasie. Z historią pozycji w czasie można różnicować, aby uzyskać prędkość i ponownie, aby uzyskać przyspieszenie. Umożliwiłoby to programowi rozróżnienie przycisku, który jest powoli obniżany lub szybko obniżany. Większość sprzętu nie pomaga tutaj, więc będziesz musiał przechowywać wartości i obliczyć prędkości w dowolnych przyrostach odpowiednich dla twojego programu. Ponieważ

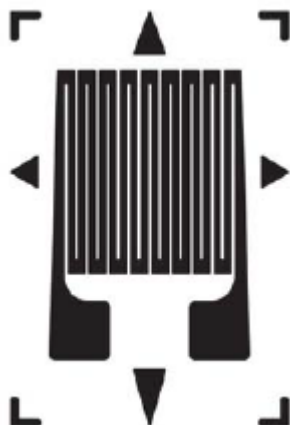
wykrywanie prędkości w czasie rzeczywistym może obciążać użytkownika wprowadzaniem danych w czasie rzeczywistym, najlepiej wykorzystać dane wejściowe do czegoś, czego użytkownik nie musi stale kontrolować. Wyobraź sobie, że musisz przytrzymać przycisk wciśnięty pod odpowiednim ciśnieniem w grze przez dłużej niż kilka minut; Teraz czuję skurcze mojego nadgarstka. Jednak przycisk ciśnienia jest przydatny dla wielu wejść. Na przykład, jak daleko można przycisnąć przycisk, można użyć do cofnięcia główki puttera, a prędkość, z jaką przycisk zostanie zwolniony, może być wykorzystana do określenia prędkości, z jaką putter zostanie przeniesiony z powrotem na piłkę.

### Ogniwo obciążnikowe

Poza zwykłymi przyciskami istnieją inne nowatorskie sposoby używania czujników ciśnienia, aby umożliwić użytkownikowi interakcję z grami. Na przykład Nintendo Wii używa urządzenia peryferyjnego na pokładzie wagi w oparciu o komórki ładujące, aby wykryć postawę osoby.

### Małe łuski

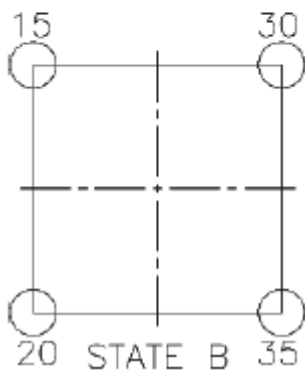
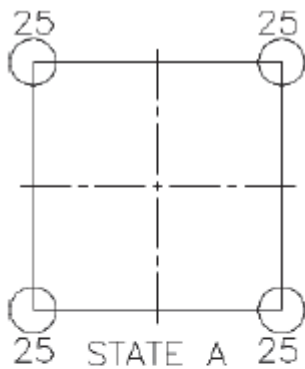
Komórki obciążeniowe działają inaczej niż opisane wcześniej przyciski czułe na nacisk, ale podobnie jak przyciski czułe na nacisk, są dostępne w różnych typach, z których wszystkie mierzą obciążenie naciskając na nie. Najpopularniejszy sposób i ten, którego używamy na tablicy kontrolnej Nintendo, którą omówimy wkrótce, jest nazywany miernikiem naprężenia. Wskaźnik tensometryczny, jak można się domyślić, nie mierzy bezpośrednio siły, ale mierzy jak duże obciążenie ma ten miernik. Szczep jest miarą tego, jak sztywne ciało odkształciło się niezależnie od ruchu ciała sztywnego. Chociaż istnieje kilka pojęć napięcia w mechanice kontinuum, ten, o który tutaj chodzi, jest często określany mianem szczepu inżynierskiego. Ten typ odkształcenia określa ile deformuje się element konstrukcyjny w porównaniu do jego pierwotnej lub spoczynkowej długości. Normalizujemy to poprzez podzielenie zmiany długości na resztę długości. Testując materiał, można opracować krzywą zależności naprężenia od odkształcenia, która odnosi się do tego, ile stresu potrzeba, aby spowodować pewien stopień odkształcenia. Gdy znane jest ciśnienie powodujące naprężenie, można określić wielkość obciążenia. Teraz możesz się zastanawiać, w jaki sposób miernik naprężenia mierzy ilość, jaką nogi Wii kompresują, gdy na nich stoisz. Jednym z najbardziej powszechnych elektronicznych czujników tensometrycznych jest piezorezystancyjny czujnik tensometryczny. Najprostszym przykładem piezorezystancyjnego miernika naprężenia byłby pojedynczy drut. Jeśli chcesz wydłużyć przewód z jego długości spoczynkowej, powierzchnia przekroju zmniejsza się. Powoduje to wzrost oporu elektrycznego drutu. Po zmierzeniu oporu spoczynkowego można wykorzystać różnicę, aby określić, jak długo drut się wydłuży. Znając właściwości mechaniczne drutu, można również określić siłę potrzebną do rozciągnięcia drutu. Aby zapewnić czułość tensometrów bez długich liniowych elementów druczianych, materiał przewodzący jest często układany w sposób wrażliwy na odkształcenia, jak pokazano na rysunku 23-3.



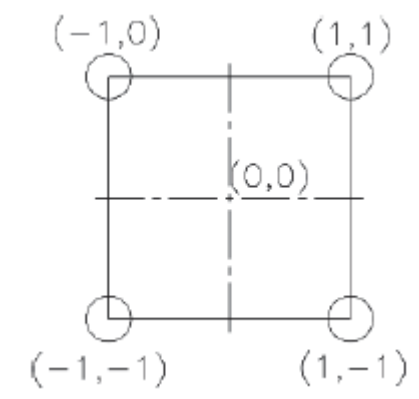
Ta pętla w tył i w przód przewodu zapewnia dużą czułość bez zwiększania fizycznej przestrzeni zajmowanej przez czujnik. Tutaj długość reszty byłaby 18 razy dłuższa niż fizyczna długość czujnika.

### Środek ciężkości

Tablica ma cztery nogi, z których każda mieści czujnik obciążenia. Płyta wykorzystuje tensometry podobne do tych omówionych wcześniej. Te wskaźniki wydłużają się, gdy na nie działa siła. Wydłużenie zmienia rezystancję elektryczną obwodu, którego paski są częścią, i to jest zgłaszane z powrotem do sterownika. Rysunek 23-4



pokazuje dwa wyjścia czujnika. Pierwszy polega na tym, że użytkownik stoi tak, że jej środek ciężkości znajduje się nad środkiem deski. Drugi stan pokazuje, jakie czujniki deski mierzyłyby po przesunięciu środka ciężkości przez użytkownika. Łatwo jest intuicyjnie rozpoznać, że środek ciężkości musi znajdować się nad środkiem tablicy w stanie A i w prawym dolnym rogu w stanie B. Jednakże, aby uzyskać dokładny położenie środka ciężkości w stanie B, będziemy musieli zrobić trochę więcej pracy. Po pierwsze: musimy zdefiniować układ współrzędnych. Pokazano to na rysunku 23-5



Ten układ współrzędnych jest arbitralny. Jeśli tablica nie jest idealnym kwadratem, na przykład z płytą Wii, to należy odpowiednio zmienić współrzędne czujników wagowych. Teraz, kiedy zdefiniowaliśmy położenie środka płytki i położenie czujników wagowych, możemy wykorzystać średnią ważoną do obliczenia położenia środka ciężkości użytkownika. Masa, jaką podajemy każdej wartości zależy od tego, jaka waga użytkownika znajduje się na każdym z czterech rogów. Ciężar ten "pociągnie" środek ciężkości w kierunku położenia komórek obciążenia, zgodnie z definicją w naszym układzie współrzędnych. To, ile każdego czujnika obciążenia wyniesie matematycznie środek ciężkości, zależy od ciężaru obsługiwanej w tym miejscu. Oprócz określenia środka ciężkości, możesz użyć tych informacji, aby dowiedzieć się, co jeszcze robi użytkownik, aby spowodować dystrybucję obciążenia. Po obliczeniu środka ciężkości, Wii używa tego, co Nintendo nazywa tabelą stanów określających ruch, aby odgadnąć, jakie ruchy wykonuje użytkownik. Tabela koreluje stosunek sumy wartości obciążenia do ciężaru ciała użytkownika i położenia środka ciężkości, aby określić orientację ciała. Na przykład Wii może stwierdzić, czy obie stopy użytkownika znajdują się na planszy, czy też użytkownik przyspiesza część nogi.

## Barometry

Kontynuując naszą eksplorację metod wprowadzania nowych użytkowników, szczególnie na szybko dojrzewającym rynku gier mobilnych, teraz omówimy interesujące włączenie do najnowszych smartfonów: barometr. W przeciwieństwie do przycisków i płyt balansowych, których czujniki ciśnienia tylko pośrednio obsługują ciśnienie, barometry mierzą bezpośrednio ciśnienie płynu, które atmosfera wywiera na czujnik. Czujniki stosowane obecnie w telefonach komórkowych są piezorezystywnymi systemami mikroelektromechanicznymi (MEMS) i są bardzo dokładne. Membrana jest następnie łączona ze sztywnym materiałem, takim jak stal lub szkło. Ponieważ próbujemy zmierzyć absolutne ciśnienie, to wiązanie jest szczelne. Wykorzystanie materiału, który nazywa się monokrystalicznym krzemem półprzewodnikowym w celu utworzenia pustki, zapewnia, że cała membrana działa podobnie jak piezorezystancyjny czujnik tensometryczny. Teraz mamy sytuację podobną do stalowej kuli w oceanie, tylko tym razem jest to mała kulka krzemowa w oceanie powietrza otaczającego ziemię. Kiedy czujnik zostanie przesunięty głębiej lub płytko w oceanie atmosferycznym, ciśnienie na zewnątrz membrany zmienia się. Powoduje to zmianę różnicy ciśnień i siłę wywieraną na membranę krzemową. Siła ta powoduje ugięcie, które zmienia opór piezorezystywnego materiału i dlatego może być zmierzone przez czujnik. Ta część zostanie obsługiwana przez sprzęt i zakodowaną wartość przesłaną do systemu operacyjnego. Aby dać ci przykład, w systemie operacyjnym Android API ma publiczną metodę `getAltitude (float p0, float p)`, aby określić wysokość, w metrach, między ciśnieniem czujnika a ciśnieniem na poziomie morza. Zwykle odczytuje bieżące ciśnienie atmosferyczne,  $p$ , z czujnika, słuchając, że interfejs wywołujący interfejs zwrotny metody interfejsu jest nieważny na urządzeniu `SensorChanged` (zdarzenie `SensorEvent`). Tutaj zdarzenie klasy zawiera wartości czujników, dokładność tych wartości, odniesienie do samego czujnika i znacznik czasu dla zdarzenia. Ciśnienie podane w hektopaskalach (hPa) lub  $100 \text{ N/m}^2$ . Ciśnienie na poziomie morza,  $p_0$ , do którego to jest porównywane, jest uzyskiwane z internetowej bazy danych lub ustawiane na stałe `SensorManager.PRESSURE_STANDARD_ATMOSPHERE`. Ponieważ presja na poziomie morza zmienia się w zależności od warunków pogodowych, uzyskujemy większą dokładność, pobierając ją z pobliskiego lotniska lub innej stacji meteorologicznej przez Internet. Aby uzyskać zmianę wysokości między dwoma punktami, musisz powtórzyć ten proces dwa razy w następujący sposób:

```
float altitude_difference =
```

```
getAltitude (SensorManager.PRESSURE_STANDARD_ATMOSPHERE,
```

```
pressure_at_point2) -
```

```
getAltitude (SensorManager.PRESSURE_STANDARD_ATMOSPHERE,  
pressure_at_point1);
```

Na początku może wydawać się dziwne, że twój telefon komórkowy ma barometr; jednak zdolność barometru do wykrywania ciśnienia powietrza pozwala na dobre odgadnięcie wysokości. Jak pokazano w części 22, w celu określenia pozycji za pomocą GPS musisz rozwiązać czterowymiarowy zestaw równań liniowych. Czas potrzebny do rozwiązania tych równań może zostać znacznie zmniejszony, jeśli wiesz, od którego miejsca należy zacząć. Obecnie pozycja, z której telefon komórkowy jest podłączony do twojego telefonu, jest używana jako punkt wyjścia. Korzystanie z barometru pozwala urządzeniu na odgadnięcie jego wysokości w celu dalszego skrócenia czasu uzyskania poprawki GPS. Podczas gdy czujnik został dołączony do określonego celu, można go również dostosować jako urządzenie wejściowe. Na przykład Bosch BMP180, który jest obecnie uwzględniany w urządzeniach, ma dokładność plus minusz jeden metr. W rzeczywistości Mapy Google zapewniają teraz kierunki w pomieszczeniach, w tym wiedząc na jakim piętrze jesteś na lotniskach i w centrach handlowych. Funkcję tę można wykorzystać w celu ułatwienia gry opartej na lokalizacji, omówionej w części 22, nadając jej większą rozdzielczość w wymiarze pionowym. Można go również użyć do ustalenia, czy użytkownik trzyma telefon blisko stóp lub głowy, co dodatkowo zwiększa czułość omawianą w części 21. Oczywiście może być również wykorzystany do prognozowania pogody i umożliwienia zmiany w życiu wpływają na wydarzenia w grze.