



Calibrating Accelerometers

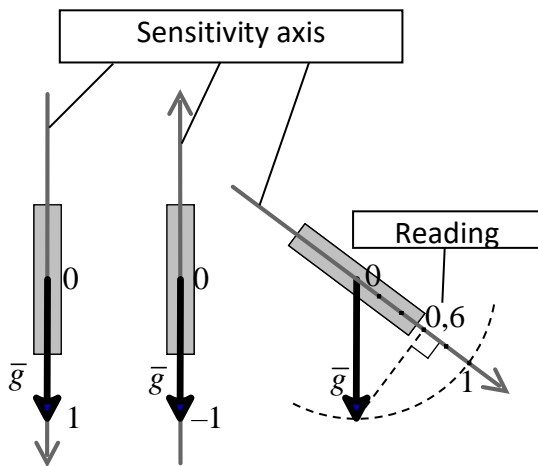


Figure C.1

Modern smart electronic devices can function as a navigator, or a pedometer, and can recognize whether their user walks or runs, goes by car or by bus; they can determine the orientation of the device in space and position the image on the screen accordingly. In solving all these and many other tasks, so-called *accelerometers* are used. The simplest (single-channel) accelerometer has a specific direction, its *sensitivity axis*. When this sensitivity axis is perfectly downwards vertically, a *motionless* accelerometer will record the reading of exactly $1g$ where g denotes the acceleration of gravity. In general, the readings of a motionless accelerometer allow one to calculate the deviation of its axis from downwards vertically, i.e. from the direction of gravity. If several single-channel accelerometers are attached to the device, then its orientation in space as a whole can be determined from the positions of the accelerometer axes.

However, it is impossible to make a perfect accelerometer, avoiding defects completely. Defects in sensors lead to errors in readings such as the systematic shift of all readings by a certain amount and their proportional change, i.e. increase or decrease of a certain number of times. Defects in mounting or manufacture of the sensors in the accelerometer case can lead to a slight deviation of their sensitivity axes from the axes of the case.

To find out exactly how a particular accelerometer distorts its readings, and make a digital correction of these distortions, the calibration procedure is carried out. One method of calibration is to take the accelerometer readings in several precisely fixed positions of its case and, using these data, create a formula that links the accelerometer readings subjected to the distortion with its position. This formula can then be used to determine the orientation of the accelerometer in an arbitrary position.

Your team's task is to suggest formulas/models that allow you to calculate the expected readings of real (having defects) accelerometers given the position of their case in the space. To create the formulas/models, use the provided calibration data sets.

The task has three versions with increasing difficulty depending on the number of single-channel sensors. Each of the versions contains an additional task, which can increase the overall assessment of your work if performed correctly, provided that the main task has been solved. In this task, you have to solve the inverse problem too, i.e. to create formulas and/or describe a method that allows one to calculate the spatial position of the case of an accelerometer set given their real readings.

In all versions, readings of the accelerometers are taken when they are *on a motionless fixed position*, with unit of measurement being g , the acceleration of gravity. The readings are given as a sequence of values measured at small equal intervals of time as their common case is set at given fixed positions and then turned from position to position (given in Excel files `xC_f_eng`). Given the imperfection and noise, even for the same position measurements will differ. On the other hand, the reading of an ideal (non-distorted) accelerometer



directed vertically downwards should be equal to 1, and for the axis directed upwards, it will be -1 ; while for a tilted one, it should be equal to the projection of vector \vec{g} onto its axis. The fixed positions used for the measurements are described by the projections of vector \vec{g} onto the axes of ideal accelerometers in these positions, which are given in the Excel files `xC_g_eng`. (See **Figure C.1.**)

Version 1.0 Single-channel accelerometer

In this task, the sensitivity axis is assumed to coincide exactly with the axis of accelerometer's case. Its readings are measured in two positions:

- the axis directed vertically downwards;
- the axis directed vertically upwards.

Also, it is assumed that the position of the accelerometer changes only in one (vertical) plane, i.e. it is completely determined by the angle between its sensitivity axis and the downward direction.

Data: files `1C_f_eng.xls` and `1C_g_eng.xls`.

Version 2.0 Double-channel accelerometer

Here the accelerometer consists of two single-channel accelerometers X and Z, which are rigidly connected into a single unit attached to their common case so that their axes are directed along the X and Z axes of the case. However, due to mounting defects, they slightly deviate from these directions in the XZ plane. Their readings are measured in four positions of the case described in a separate file by the projections of the vector \vec{g} on the case axes (in each position one of the X and Z axes is directed exactly up or down).

In this task, we assume that the position of the accelerometer changes only in its XZ plane, while its Y axis is horizontal and stays put.

Data: files `2C_f_eng.xls` and `2C_g_eng.xls`.

Version 3.0 Three-channel accelerometer

The accelerometer consists of three single-channel ones, rigidly connected into a single unit set in the case so that the three sensitivity axes are directed along the X, Y, and Z axes of the case, but because of mounting defects, the two triples of axes do not coincide exactly. See **Figure C.2**. The accelerometer readings are measured in 20 positions described in a separate file.

In this task, there are no restrictions on the possible positions of the accelerometer.

Data: files `3C_f_eng.xls` and `3C_g_eng.xls`.



Figure C.2



Note 1. If you have solved version 2 or 3 of the task, then it may not be necessary to solve the previous ones. Thus, having solved version 2, you may skip version 1, and having solved version 3, you may skip tasks 1 and 2.

Note 2. In the files `xC_g_eng.xls`, the lines with the projections of \bar{g} on the axes of the case go in the same order as the case positions change during the measurements.

Hint. To understand how to extract necessary information from the measurement data, plot and study the graphs of accelerometer readings as a function of time.

Submission: Your solution paper should include a 1-page Summary Sheet. The body cannot exceed 20 pages for a maximum of 21 pages with the Summary Sheet inclusive. The appendices and references should appear at the end of the paper and do not count towards the 21 pages limit.

Acknowledgement goes to Huawei for creating this problem and advancing basic education for humanity.



校准加速度计

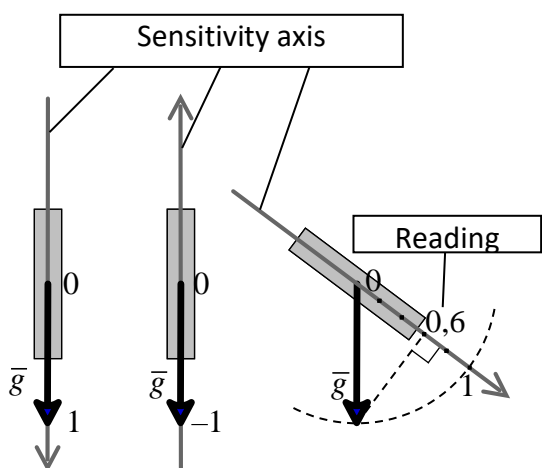


图 C.1

现代智能电子设备可以用作导航仪或计步器，并且可以识别用户是走路，跑步，还是乘车；设备可以确定其在空间中的方向，并相应地将图像定位在屏幕上。在解决所有这些和许多其他任务时，会用到所称的加速度计。最简单的（单通道）加速度计具有特定的方向，即灵敏度轴（Sensitivity Axis）。当此灵敏度轴理想地垂直向下时，静止的加速度计将精确录得 $1g$ 的读数，其中 g 表示重力加速度。通常，静止加速度计的读数可用来计算其轴线垂直向下方向上的偏离，即与重力方向的偏差。如果将多个单通道加速度计附于设备上，则可以根据各个加速度计轴的所有位置确定设备在空间中的总体方向。

然而，要制造出完全避免缺陷的完美的加速度计是不可能的。传感器缺陷导致读数误差，例如，所有读数系统性地偏移一定的量以及在比例上的变化，即一定次数的增加或减少，都会导致误差。将传感器安装或加工在加速度计时的缺陷，会导致灵敏度轴与设备壳体轴线的轻微偏差。

要确切发现特定的加速度计如何扭曲其读数，并且对这些失真进行数字校正，则要执行校准的程序。一种校准方法是在加速度计外壳的几个精确的固定位置上取得加速度计的读数，并利用这些数据创建一个公式，将有

偏差的加速度计读数与其位置联系起来。然后，该公式可用于确定加速度计在任意位置上的方向。

您团队的任务是提出公式/模型，在加速度计壳体空间位置给定的条件下，计算实际（有偏差的）加速度计的预期读数。您可使用所提供的校准数据集，来创建公式/模型。

该任务有三个版本，依据单通道传感器的数量，其难度递增。每个任务版本都包含一个附加任务，如果主要任务已得到解决，附加任务的正确执行，将会提高对你方案的总体评估。在此附加任务中，您得解决逆问题，即创建公式/模型，或描述一种方法，以令我们可用给定的加速度计组的实际读数计算出加速度计组的壳体所在的空间位置。

在所有版本中，都是当加速度计处于静止的固定位置时，取得加速度计的读数，测量单位为 g ，即重力加速度。读数是按照小的相等时间间隔测量得到的一系列数值，测量时将壳体置于给定的固定位置，然后从一个位置转到另一个位置（数据在 Excel 文件 `xC_f_eng` 当中）。鉴于不完美性与噪声，即使在相同的位置，测量值也会有差别。另一方面，垂直向下指向的加速度计的理想（非失真）读数应等于 1，对于向上指向的轴，读数应为 -1；而对于倾斜的轴，它应等于向量 \vec{g} 在其轴上的投影。用于测量的固定位置乃是通过向量 \vec{g} 在这些位置中的理想加速度计轴上的投影来描述，这些位置数据在 Excel 文件 `xC_g_eng` 中给出。（见图 C.1。）



任务版本 1.0 单通道加速度计

在此任务中，假设加速度计灵敏度轴与其壳体轴完全一致。其读数在两个位置测量：

- 轴垂直向下；
- 轴垂直向上。

而且，假设加速度计的位置仅在一个（垂直）平面中变化，即它完全由其灵敏度轴与向下方向之间的角度确定。

数据：文件 1C_f_eng.xls 以及 1C_g_eng.xls.

任务版本 2.0 双通道加速度计

这里的加速度计由两个单通道加速度计 X 和 Z 组成，这两个加速度计刚性地连接到单独单元中，并附着于它们的公共壳体，使得它们的轴沿着壳体的 X 和 Z 方向的轴定向。然而，由于安装缺陷，它们在 XZ 平面中略微偏离这些方向。它们的读数是通过壳体的四个位置测量得到，见于单独的文件中所描述的向量 \vec{g} 在壳体轴上的投影（在每个位置，X 和 Z 轴都可精确地向上或向下指向）。

在此任务中，我们假设加速度计的位置仅在其 XZ 平面中变化，而其 Y 轴是水平的并保持所放置的位置。

数据：文件 2C_f_eng.xls 以及 2C_g_eng.xls.

任务版本 3.0 三通道加速度计

加速度计由三个单通道加速度计组成，它们刚性连接到单独的单元中，并置于壳体中；三个灵敏度轴沿着壳体的 X、Y 和 Z 轴定向，但由于安装缺陷，这两套三元组轴并不完全一致。见图 C.2。如单独文件所描述的，加速度计读数是在 20 个位置测量得到。在此任务中，对加速度计的可能位置不设限制。



图 C.2

数据：文件 3C_f_eng.xls 以及 3C_g_eng.xls.

注 1. 如果您已解决了任务版本 2.0 或 3.0，则可不必要解决之前的任务。因此，在完成任务 2.0 后，您可以跳过版本 1.0；在解决了任务 3.0 后，您可以跳过任务 1.0 和 2.0。

注 2. 在各文件 xC_g_eng.xls 中，测量时向量 \vec{g} 在壳体轴上的投影线的顺序与壳体位置变化的顺序相同。

提示：要了解如何从测量数据中提取必要的信息，可绘制并研究加速度计读数对时间函数的图像。

提交：您的团队提交的论文应包含 1 页“总结摘要”，其正文不可超过 20 页（总页数限于 21 页以内）。附录和参考文献应置于正文之后，不计入 21 页之限。

感谢 华为创设本赛题及支持人类基础教育进步。



校準加速度計

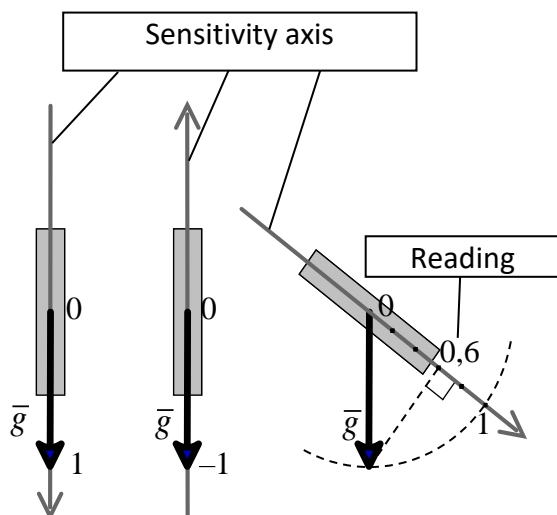


圖 C.1

現代智能電子設備可以用作導航儀或計步器，並且可以識別用戶是走路，跑步，還是乘車；設備可以確定其在空間中的方向，並相應地將圖像定位在屏幕上。在解決所有這些和許多其他任務時，會用到所稱的加速度計。最簡單的（單通道）加速度計具有特定的方向，即靈敏度軸（Sensitivity Axis）。當此靈敏度軸理想地垂直向下時，靜止的加速度計將精確錄得 $1g$ 的讀數，其中 g 表示重力加速度。通常，靜止加速度計的讀數可用來計算其軸線垂直向下方向上的偏離，即與重力方向的偏差。如果將多個單通道加速度計附於設備上，則可以根據各個加速度計軸的所有位置確定設備在空間中的總體方向。

然而，要製造出完全避免缺陷的完美的加速度計是不可能的。傳感器缺陷導致讀數誤差，例如，所有讀數系統性地偏移一定的量以及在比例上的變化，即一定次數的增加或減少，都會導致誤差。將傳感器安裝或加工在加速度計時的缺陷，會導致靈敏度軸與設備殼體軸線的輕微偏差。

要確切發現特定的加速度計如何扭曲其讀數，並且對這些失真進行數字校正，則要執行校準的程序。一種校準方法是在加速度計外殼的幾個精確的固定位置上取得加速度計的讀數，並利用這些數據創建一個公式，將有

偏差的加速度計讀數與其位置聯繫起來。然後，該公式可用於確定加速度計在任意位置上的方向。

您團隊的任務是提出公式/模型，在加速度計殼體空間位置給定的條件下，計算實際（有偏差的）加速度計的預期讀數。您可使用所提供的校準數據集，來創建公式/模型。

該任務有三個版本，依據單通道傳感器的數量，其難度遞增。每個任務版本都包含一個附加任務，如果主要任務已得到解決，附加任務的正確執行，將會提高對你方案的總體評估。在此附加任務中，您得解決逆問題，即創建公式/模型，或描述一種方法，以令我們可用給定的加速度計組的實際讀數計算出加速度計組的殼體所在的空間位置。

在所有版本中，都是當加速度計處於靜止的固定位置時，取得加速度計的讀數，測量單位為 g ，即重力加速度。讀數是按照小的相等時間間隔測量得到的一系列數值，測量時將殼體置於給定的固定位置，然後從一個位置轉到另一個位置（數據在 Excel 文件 `xC_f_eng` 當中）。鑑於不完美性與噪聲，即使在相同的位置，測量值也會有差別。另一方面，垂直向下指向的加速度計的理想（非失真）讀數應等於 1，對於向上指向的軸，讀數應為 -1；而對於傾斜的軸，它應等於向量 \vec{g} 在其軸上的投影。用於測量的固定位置乃是通過向量 \vec{g} 在這些位置中的理想加速度計軸上的投影來描述，這些位置數據在 Excel 文件 `xC_g_eng` 中給出。（見圖 C.1。）



任務版本 1.0 單通道加速度計

在此任務中，假設加速度計靈敏度軸與其殼體軸完全一致。其讀數在兩個位置測量：

- 軸垂直向下；
- 軸垂直向上。

而且，假設加速度計的位置僅在一個（垂直）平面中變化，即它完全由其靈敏度軸與向下方向之間的角度確定。

數據：文件 1C_f_eng.xls 以及 1C_g_eng.xls.

任務版本 2.0 雙通道加速度計

這裡的加速度計由兩個單通道加速度計 X 和 Z 組成，這兩個加速度計剛性地連接到單獨單元中，並附著於它們的公共殼體，使得它們的軸沿著殼體的 X 和 Z 方向的軸定向。然而，由於安裝缺陷，它們在 XZ 平面中略微偏離這些方向。它們的讀數是通過殼體的四個位置測量得到，見於單獨的文件中所描述的向量在殼體軸上的投影（在每個位置，X 和 Z 軸都可精確地向上或向下指向）。

在此任務中，我們假設加速度計的位置僅在其 XZ 平面中變化，而其 Y 軸是水平的並保持所放置的位置。

數據：文件 2C_f_eng.xls 以及 2C_g_eng.xls.

任務版本 3.0 三通道加速度計

加速度計由三個單通道加速度計組成，它們剛性連接到單獨的單元中，並置於殼體中；三個靈敏度軸沿著殼體的 X、Y 和 Z 軸定向，但由於安裝缺陷，這兩套三元組軸並不完全一致。見圖 C. 2。如單獨文件所描述的，加速度計讀數是在 20 個位置測量得到。在此任務中，對加速度計的可能位置不設限制。



圖 C. 2

數據：文件 3C_f_eng.xls 以及 3C_g_eng.xls.

注 1. 如果您已解決了任務版本 2.0 或 3.0，則可不必要解決之前的任務。因此，在完成任務 2.0 後，您可以跳過版本 1.0；在解決了任務 3.0 後，您可以跳過任務 1.0 和 2.0。

注 2. 在各文件 xC_g_eng.xls 中，測量時向量在殼體軸上的投影線的順序與殼體位置變化的順序相同。

提示：要了解如何從測量數據中提取必要的信息，可繪製並研究加速度計讀數對時間函數的圖像。

提交：您的團隊提交的論文應包含 1 頁“總結摘要”，其正文不可超過 20 頁（總頁數限於 21 頁以內）。附錄和參考文獻應置於正文之後，不計入 21 頁之限。

感謝 華為創設本賽題及支持人類基礎教育進步。