

Калибриране на MEMS Акселерометри

Курсов проект на:

Никола Тотев

по

Приложение на Математиката за
Моделиране на Реални Процеси

Съдържание

Резюме	1
Въведение	4
Запознаване с акселерометри	2
MEMS акселерометри	2
Видове грешки	2
<i>Constant Bias</i>	3
<i>Scaling Errors</i>	3
<i>Errors due to the non-orthogonality of the axes</i>	
Математически модел.....	4
Входни данни	2
Очакван резултат	2
Детайли калибрация.....	2
Използвани методи за калибрация.....	2
<i>Метод на НМК</i>	3
<i>Метод на Нютон</i>	3
Резултати	2
Практически приложения	4
Приложения в индустрията	2
Приложения в роботиката	2
Пример проект по „Практическа роботика и умни неща“	3
Заклучения	4



Резюме



В рамките на този проект се запознавам с различите видове акселерометри. Задълбочавам се в разглеждането на MEMS акселерометри, как функционират, за какво се използват, какви грешки могат да се наблюдават при използването и начини за калибриране на тези грешки.

В следващите точки разглеждам всяка една от тези теми поотделно, като повече внимание обръщам на математическия модел и приложенията на акселерометрите в роботиката.

За математическия модел основни точки са анализирането на входните и изходните данни получени от алгоритъма за калибрация, както и методите използвани при калибрацията на входните данни.

2. Въведение

- Запознаване с акселерометри

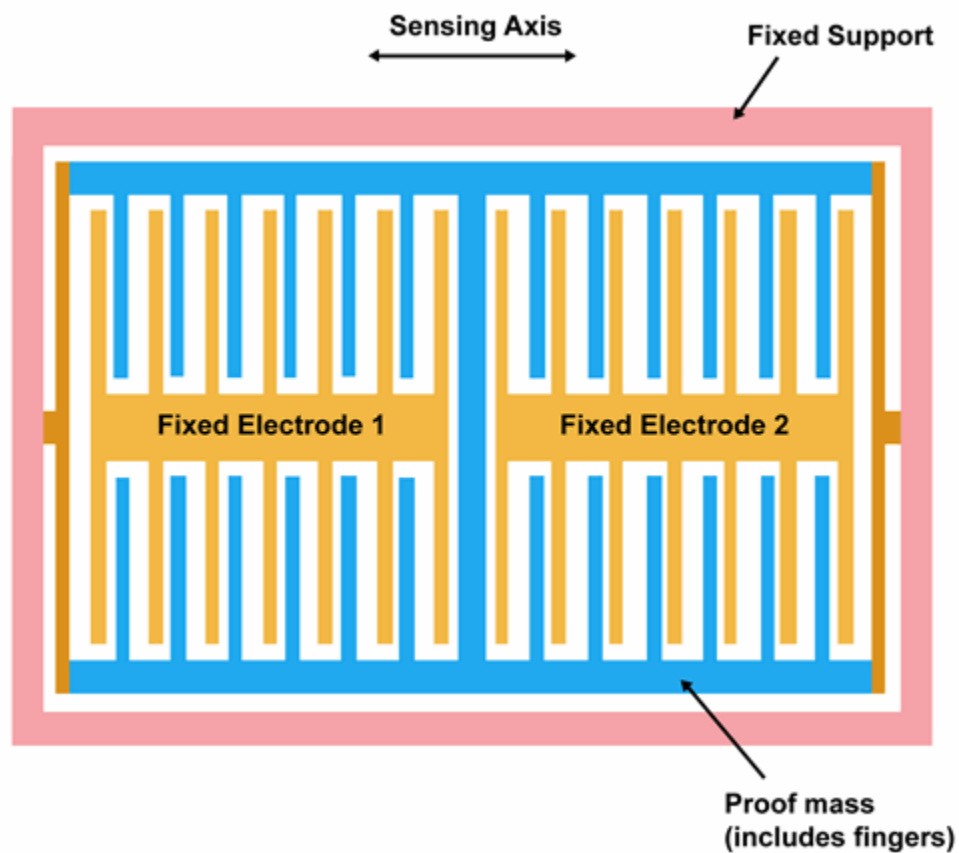
Акселерометрите са вид сензори, които измерват ускорение. Има множество различни начини по които може да се измери ускорение, но основните видове са следните:

- piezoelectric
- piezoresistive
- capacitive accelerometers
- MEMS Accelerometers


- MEMS акселерометри

MEMS акселерометрите са един от многото видове, като едно от предимствата са им, че имат малки размери и лесно могат да бъдат използвани в проекти където има ограничено място.

MEMS е съкращение за ***Microelectromechanical systems*** и такъв вид акселерометри се изработва от силиций.




Фигур 

На *фигура 1* е показано начина на работа на MEMS акселерометър. 

- Видове грешки

Като всяко измервателно устройство и при акселерометрите ~~има~~ различни видове грешки които се наблюдават. Примери са грешки, които се появяват заради условията при, които работи акселерометъра или електромагнитен шум. В този проект се фокусирам върху грешки които се получават при производството на сензорите. Тези грешки включват:

- ~~Constant Bias~~

Това е някакъв постоянен офсет, който възниква при производство. При такава грешка, при положение на покой сензора може да показва ускорение различно от ~~(X, Y, Z)~~ (0, 0, 9.8) 

- Scaling Errors


Тази грешка означава, че данните които идват от сензора са в неизвестна за нас мерна единица, (вместо m/s например)

- Errors due to the non-orthogonality of the axes

Тази грешка е отново грешка, която се появява при производството на сензора и както се показва в името означава, че осите X, Y, Z не са ортогонални една на друга и това води до неправилни измервания.

3. Математически модел

- Входни данни

Като входни данни използвам dataset от една статия.  Първоначалния план беше да използвам данни от собствен сензор, но това не се реализира, защото при по-задълбочено проучване на сензорите, които мога да закупя се оказа, че те се калибрират от производителя.

В *таблицы 1 & 2* показвам данните преди калибрация както и нормата им.

Uncalibrated		
X	Y	Z
0.686143985	9.693013241	0.146230973
0.307313184	-9.555131822	0.121707371
10.20588166	0.146627372	0.293913142
-9.235730337	0.149835656	-0.153514714

Таблица 1

Norms Before Calibration
9.71837
9.56085
10.2112
9.23822
9.72837

Таблица 2

- Очакван резултат

Когато сензора се намира в покой и е успореден на равнината XY , очакваните данни са $(X, Y, Z) = (0, 0, 9.8)$ или нормата на вектора (X, Y, Z) да бъде 9.8. От таблиците 1.1 & 1.2 се вижда, че при сурови данни – данни директно от сензора, това условие не е изпълнено. Целта на този проект е да разработи математически модел, който обработва данните по такъв начин, че да се стигне до норма на калибрираните вектори 9.8.

- Детайли за калибрацията

Както беше обяснено в предишната точка едно условие, което показва дали данни от сензор са калибрирани е дали нормата на вектора (X, Y, Z) е 9.8. Това условие използвам за да калибрирам данните.

Ако искаме да разберем дали данни са калибрирани, може да го направим като вземем следната разлика

$$(\text{vector norm}) - 9.8^2$$

Ако това дава нула, означава, че данните са калибрирани. Това ще го означа като $Err(M, B)$. Това може да се разглежда като грешката от калибрацията.

Сега е момента да разгледаме начина по който данните се калибрира

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{pmatrix}}_M \cdot \begin{pmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \\ \hat{Z} \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix}}_B$$

Уравнение 1

В уравнение 1 са показани:

- Вектора $\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$ – той представлява калибрираните данни.
- Матрицата M – тази матрица се грижи за ортогоналността на осите X, Y, Z както и за мащаба. По диагонала са коефициентите за мащаба, а останалите са за ортогоналността
- Вектора $\begin{pmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \\ \hat{Z} \end{pmatrix}$ – представлява суровите данни от сензора.

- Вектора В – този вектор се грижи за коригирането на офсета.

Очевидно е, че след прости операции с матрици стигаме до следните уравнения:

$$X = M_{xx}x_i + M_{xy}y_i + M_{xz}z_i + B_x$$

$$Y = M_{yx}x_i + M_{yy}y_i + M_{yz}z_i + B_y$$

$$Z = M_{zx}x_i + M_{zy}y_i + M_{zz}z_i + B_z$$

Уравнение 2

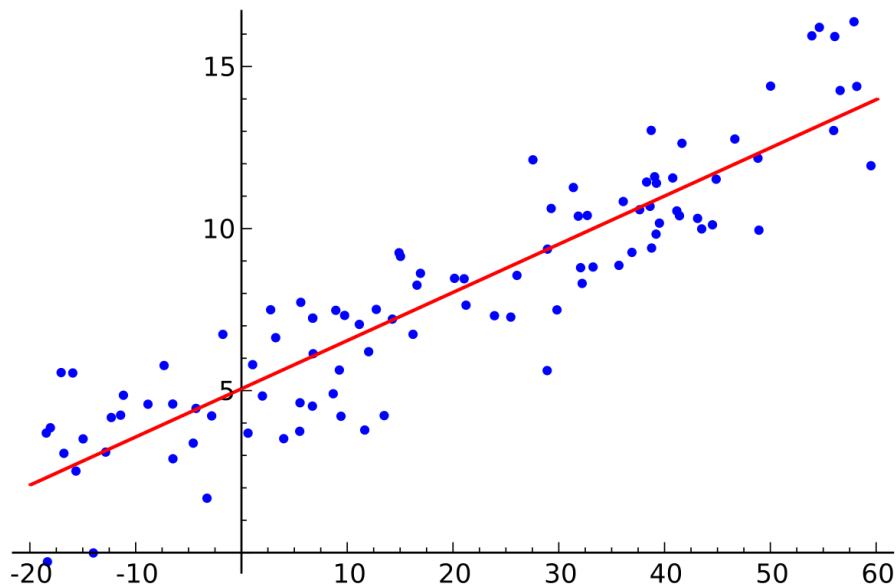
Това са стойностите за вектора $\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$. За него може да

намерим норма и замествайки в **уравнение 1**. Ако нямаме коефициентите от матрицата М и вектора В за да калибрираме вектора минимизираме грешката за да ги получим. Това е показано в **уравнение 3**.

$$Err(M, B) = \sum_{i=1}^n (M_{xx}x_i + M_{xy}y_i + M_{xz}z_i + B_x)^2 + (M_{yx}x_i + M_{yy}y_i + M_{yz}z_i + B_y)^2 + (M_{zx}x_i + M_{zy}y_i + M_{zz}z_i + B_z)^2 - g^2$$

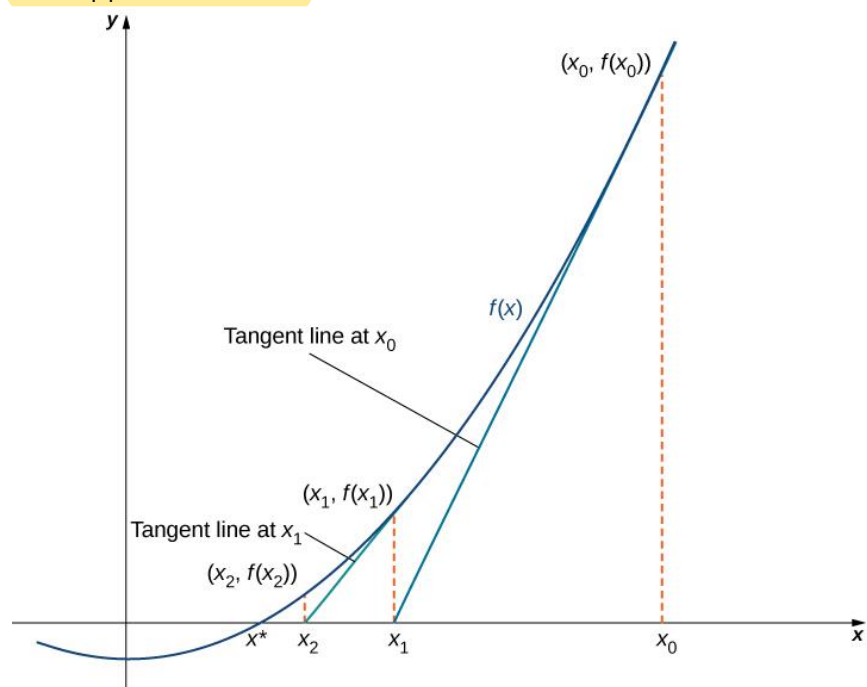
Уравнение 3

- Използвани методи при калибрация
За минимизирането на **уравнение 2** има различни варианти, като първоначално се спрях на метода на най-малките квадрати, а след това използвам метода на Нютон.
- Метод на НМК



- Метод на Нютон

Втория начин по който минимизирам уравнение 3 е чрез метода на Нютон.



За да мога да го използвам, направих собствена имплементация на този метод във Wolfram Mathematica. Този метод е популярен за минимизиране на функции. Намирам частните производни на уравнение 3 които са 12 на брой и нелинейни. Използвайки метода на Нютон, но вместо за едно уравнение, за система, намирам коефициентите, за които уравнение 3 се минимизира.

- Резултати

Norms After Calibration (LSM)
9.79577
9.7911
9.80487
9.79417
9.7825

Таблица 4

Norms After Calibration (NM)
9.79577
9.7911
9.80487
9.79417
9.7825

Таблица 3

Таблицы 3 & 4 показват нормите след калибрацията на векторите. Както се вижда имплементацията на Метода на Нютон (МН), която съм направил извежда еднакви резултати като Метода на Най-Малките Квадрати (МНМК), който използва вградени функции за минимизация.

M Matrix Values (LSM)		
1.00432	-0.0247	-0.0738
0.01773	1.01322	-0.0892
0.07967	0.08645	0.99275

Таблица 5

M Matrix Values (NM)		
0.22671	0.07337	0.97174
0.60662	0.7872	-0.1967
-0.772	0.64003	0.12634

Таблица 6

Таблиците 5 & 6 показват стойностите на матрицата М. Както описах по-горе това са коефициентите при които грешката (уравнение 3) е най-малка. Вижда се, че тук вече има разлика между МНМК и МН.

B Matrix Values (LSM)
-0.488037
-0.0814727
0.0155627

Таблица 7

B Matrix Values (NM)
-0.0558736
-0.35741
0.337929

Таблица 8

Таблиците 7 & 8 показват стойностите на вектора B, като отново както при матрицата M и тук има разминаване между стойностите получени с МНМК и МН.

Calibrated (LSM)		
X	Y	Z
-0.0487887	9.73885	1.05333
0.0473013	-9.76837	-0.665145
9.73665	0.22181	1.13312
-9.75604	-0.0796934	-0.859694

Таблица 9

Calibrated (NM)		
X	Y	Z
0.952926	7.66039	6.03053
-0.568964	-7.71673	-5.9995
2.55426	5.89126	-7.40974
-2.28789	-5.81181	7.54415

Таблица 10

Таблиците 9 & 10 показват данните след калибрация, съответно с МНМК и МН. Отново се виждат разлики между двата метода.

Въпреки разликите, в матрицата M и вектора B, от нормите ясно се вижда, че данните са калибрирани.

4. Практически приложения

5. Заключение

//подобно на резюмето

// резултати от двата метода