

РАЗПОЗНАВАНЕ НА СИТУАЦИИ С ПОМОЩТА НА ИНЕРЦИАЛНИ СЕНЗОРИ

Емил ЙОНЧЕВ, Росен МИЛЕТИЕВ, Румен АРНАУДОВ

iontchev@vtu.bg, miletiev@tu-sofia.bg, ra@tu-sofia.bg

гл.ас инж. Емил Йончев, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
гл.ас. д-р инж. Росен Милетиев, проф. д-р инж. Румен Арнаудов, Технически Университет – София
БЪЛГАРИЯ

Резюме: В статията се разглежда метод за откриване и разпознаване на конкретни ситуации възникващи при транспортни средства, на базата на сравняване на данни от инерциална измервателна система. Използваните инерциални сензори са произведени по технологията Micro ElectroMechanical Systems – MEMS. Те са с малки габарити, с ниска цена и не са под контрола на държавни органи заради техните ниски параметри. Това налага допълнителна обработка на получаваните от тях данни. Разпознаването на ситуация се извършва на базата на намиране на стойността на корелационната функция между данните от конкретните ситуации и зададен критерий за оценка.

Ключови думи: MEMS, инерциален сензор, акселерометър

Въведение

Микромеханичните акселерометри намират приложение в много области на човешкия живот. Едно от първите им приложения са в автомобилостроенето за управление на въздушната възглавница [1], в устройствата за записване на инциденти [2], в системите за сигурност против преобръщане [3], за защита на дисковите устройства на компютрите [4], в средствата за автоматизация и контрол на процесите, в системите за навигация [5], [6], [7], [8].

Често акселерометрите се наричат силови сензори или специфични сензори на сила (ССС)[9]. Наричат се така защото този тип сензори не измерват всъщност ускорение. Това най-добре се проверява от разглеждане на свободното падане на тяло, на което са монтирани СССР. Докато тялото се ускорява с $g = 9.81\text{m/s}^2$, СССР ще отчетат стойност нула [4]. Това е така защото гравитационната сила действа по равно на всяка маса, така, че няма относително преместване на сеизмичната маса спрямо тялото на сензора. Специфичната сила и ускорението са идентични само в

среда, свободна от гравитация, каквато не съществува в нашата планетарна система. Така, че за да се отчете само тя, е необходимо да се премахне гравитационната сила или нейните проекции при наклонено тяло спрямо местния хоризонт. Поради това в каталожните данни стойността на сигнала на изхода се дава спрямо земното ускорение g .

Входно въздействие за акселерометър може да бъде наклон, инерциално ускорение, ударно въздействие или вибрации. Честотата на тези въздействия може да бъде до десетки килохерци. На потребителя е предоставена възможност да избира широчината на честотната лента на изходния сигнал на акселерометъра. Този избор оказва влияние на прага на шума и определя разрешаващата способност на акселерометъра (най-малката стойност на входното въздействие, която може да бъде отчетена). Шумът представлява бял Гаусов шум, който се разпределя равномерно в честотната лента на сигнала и се задава като $[\mu\text{g}\sqrt{\text{Hz}}]_{rms}$ (пропорционален на корен квадратен от честотната лента). Тъй като това е основният фактор, ограничаващ

разделителната способност на сензора, трябва винаги да се избира лента, максимално тясна за конкретно приложение. Стойността на шума, се определя с израз (1):

$$(1) \quad Noise_{RMS} = (X \mu g / \sqrt{Hz}) (\sqrt{BW.1,6}).$$

За откриване на отделните събития може да се използва обработка на сигнала в честотна област [12] или статическа обработка от по – висок ред [13].

За акселерометрите на фирма ST [10] параметъра плътност на шума е със стойности по-малки от $50 [\mu g \sqrt{Hz}]_{rms}$. В повечето случаи е по-удобно да се използва пиковата стойност на шума. Тя се дава в справочните данни като 2, 4, 6, 8 пъти $Noise_{RMS}$ и % от времето, в което шума надвишава номиналната пикова стойност. Тази стойност дава добра оценка за неточността на единично измерване.

В структурата на някои акселерометри е предвидена възможност за определяне на посоката на въздействие – в положителна или отрицателна посока, детектиране на свободно падане, активиране след като стойността на ускорението в избрана посока превиши предварително зададена стойност [1], [10]. За настъпване на едно от горните събития обикновено се предвижда генериране на сигнал за прекъсване. Комбинацията на този сигнал със съдържанието на определени регистри и подходяща програма предоставя възможности за гъвкави решения, като например разпознаване на събитие, превишаващо определено ускорение за определено време [11]. За разпознаване на посоката на действие на силата в акселерометъра LIS3LV02DQ на фирмата ST [10] са предвидени седем регистра, с които се кофигурират праговете на сигнала в положителна и отрицателна посока. Има възможност да се зададе хистерезис и в двете посоки, да се запази съдържанието на регистра с отчетената посока, да се разреши или забрани генерирането на сигнал за прекъсване. Когато силата е по-голяма от зададените прагове, се изработва сигнал за прекъсване и има възможност да се съхранят данните и впоследствие да бъдат прочетени. Тази функция е полезна когато се отчита наклон и той се променя сравнително бавно. При необходимост да се определи посоката на краткотрайни еднократни въздействия върху акселерометъра е възможно да не се отчете

или отчете грешна посока. Това би се случило при неправилно подбрани прагови стойности или невзети предвид характеристики на допълнителни системи включени във веригата между въздействието и акселерометъра. За да се елиминират посочените случаи, се предлага метод за разпознаване на посоката на действие на сила върху акселерометър.

1. Описание на метода

Методът е разработен на базата на алгоритъма на „диференциалните ускорения“ (2), използван в системите за защита на дискове на компютри [4].

$$(2) \quad \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dY}{dt} \right)^2 < праг$$

Импулсната характеристика на акселерометрите е с форма, като на динамична система от втори ред с постепенно затихване, което се определя от конструктивните им характеристики [9]. Поради това при разпознаване на посоката на сила е важно да се подчертае първоначалният момент от промяната в стойностите на изхода на акселерометъра така, че да може максимално ясно да се получи посоката на първото отклонение от установената стойност. За тази цел се предлага да се използва първата производна на получаваните данни (3).

$$(3) \quad \hat{y}_n = \frac{y_n - y_{n-1}}{\Delta t},$$

където $\Delta t = \frac{1}{fd}$ е периода между два отчета,

fd е честотата на дискретизация.

След получаване на производните на сигналите се търси корелацията между тях. Използваната формула за изчисляване стойността на корелацията е (4):

$$(4) \quad R_{xy}(m) = \frac{\sum_{n=1}^{N-m-1} x(n).y(n+m)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x(n)^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N y(n)^2}} = R_{yx}(-m) \frac{\sum_{n=1}^{N-m-1} y(n).x(n-m)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x(n)^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N y(n)^2}},$$

където N е броят на отчетите на сигнала, а m са броят на стъпките, за които се изчислява взаимната корелация. След нормиране спрямо нормализираната енергия на всеки от сигналите, получената стойност на корелационната функция е в границите -1, 1.

При извършване на изчисленията е необходимо двата вектора с данни да са с еднаква дължина. Когато те са с различна дължина, към по-късия се добавят нули. Тъй като дефазиранието на сигналите е неизвестно,

е необходимо изчислението на корелацията да се извършва в по-голям брой различни закъснения, с цел да се установи максималната стойност на корелационната функция.

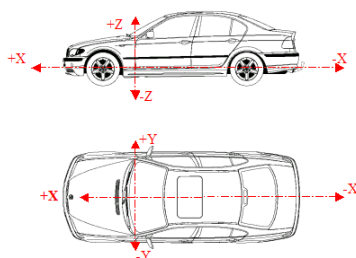
При определяне на посоката на силата се търси най-вече корелацията между формите на сигналите, като определянето на връзката по отношение на амплитудата е поставена на по заден план. С намирането на първата производна се извършва високочестотна филтрация на сигнала и се премахва постоянната съставка, което е необходимо за получаване на по-точна оценка.

Критерият за извършване на оценката е знакът и стойността на корелационната функция

2. Експериментални резултати

За да може да се извърши разпознаването е необходимо предварително да се запише сигнал от сила, която въздейства върху акселерометъра от определена посока. В следствие всеки сигнал, които се получава от акселерометъра, след предварителна обработка по определен алгоритъм се търси корелацията му със записания еталонен сигнал и на базата на зададен критерии се определя от коя страна е било приложено въздействието.

За получаване на необходимите данни и проверка на работоспособността на метода се използва инерциалният модул, описан в [14]. Той е монтиран на лек автомобил, приблизително до масовия му център, с ориентация на осите на акселерометъра и осите на автомобила, както е показано на фиг.1.

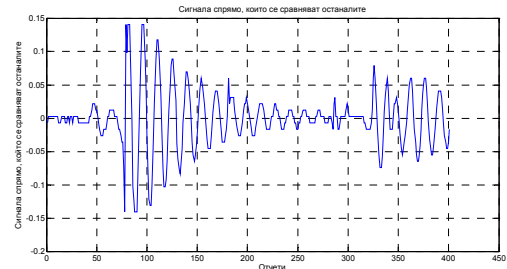


Фиг. 1 Ориентация на осите на автомобила

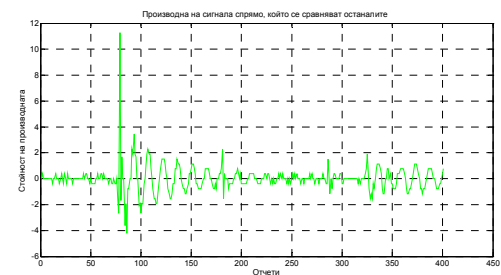
Поставената задача е да се разпознае посоката, от която се отваря или затваря врата на автомобила, без да се различава дали е предна или задна. Изходните отчети се получават с честота 40Hz и се съхраняват в енергонезависимата памет или при връзка с персонален компютър, директно в указания

файл. След записване на сигнала се отстраняват стойностите, които превишават пределната грешка три пъти т.е. $|y_{si}| > 3\sigma$, където σ е намерената стойност на стандартното отклонение.

На фиг. 2а е представен сигналът от акселерометъра по оста Y, след извършване на тази обработка. Това е сигналът, спрямо който се сравняват останалите сигнали. На фиг.2б е графиката на неговата производна.

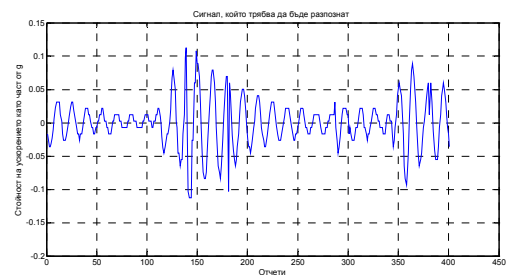


(а)

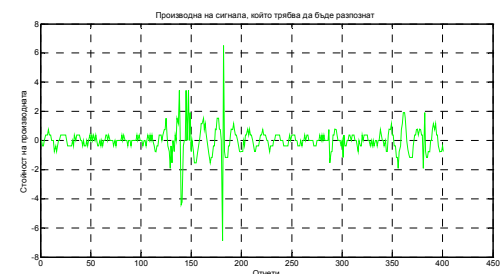


(б)

Фиг. 2 Форма на сигнала – еталон



(а)

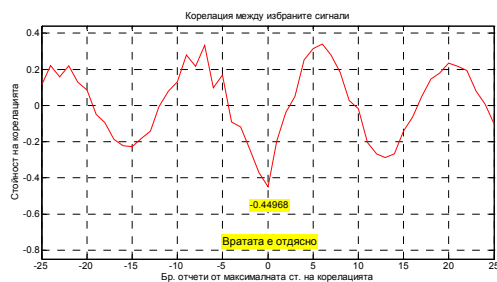


(б)

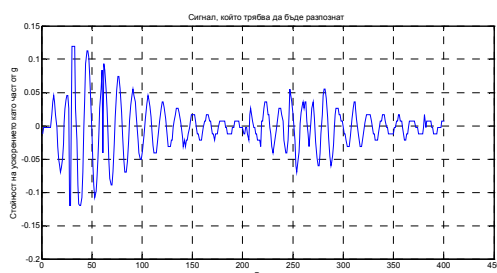
Фиг. 3 Форма на сигнала за разпознаване

Сигналът, който трябва да бъде разпознат (получен е от врата, разположена отлясно) и неговата производна, са представени съответно на фиг.3а и 3б.

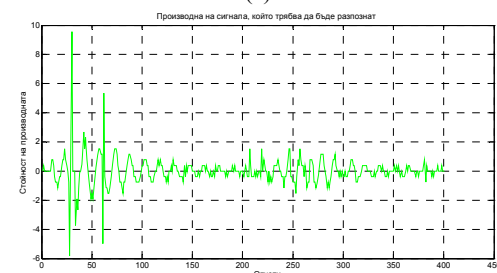
След изчисляване на корелационната функция на сигналите, показани на фиг.2б и фиг.3б, е направена оценка на стойността на функцията. Полученият резултат е показан на фиг.4.



Фиг. 4 Взаимнокорелационна функция на двата сигнала



(а)



(б)

Фиг. 5 Форма на сигнала за разпознаване от противоположната посока на този от фиг.3



Фиг. 6 Корелационна функция на двата сигнала и оценката

На фиг. 5а е представени сигнал от врата разположена от лявата страна, а на фиг.5б неговата производна. На фиг.6 е представена графиката на корелационната функция и получената оценка.

3. Заключение

Предлаганият метод за определяне посоката на сила е по универсален пред използване на праговите стойности задавани в регистрите на акселерометъра. Не се изисква изпълнението на предварителни настройки на системата, като например, да се отчита наклона на терена където се намира транспортното средство и извършване на корекции в получените резултати.

Резултатите от разпознаването са достоверни. При използване на праговите стойности, поради самия принцип на действие и характера на получаваните сигнали от акселерометъра, често сигналът от противоположната посока е с по-голяма стойност. Това би довело до преминаване или на грешния праг или и на двата зададени прага и невъзможност да се определи посоката.

4. Литература

- [1] <http://www.analog.com>
- [2] Kowalick Tom, Chair of the IEEE 1616 Working Group, mvedr@ieee.org, Standardized Event Data Recorders for Crashes Promise to Improve Highway Safety
- [3] Rollover warning of articulated vehicles based on a time-to-rollover metric, Bo-Chiuan Chen1 Huei Peng
- [4] Using dual-axis accelerometers to protect hard disk drives, Wenshuai Liao, Yiming Zhao
- [5] <http://www.leica-geosystems.com>
- [6] <http://www.imar-navigation.de>
- [7] <http://www.microstrain.com>
- [8] <http://www.applanix.com>
- [9] Anthony Lawrence, Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance, and Control, Springer, 1998
- [10] <http://www.st.com/>
- [11] AN2768 Application note, LIS331DL, ST
- [12] Росен Милетиев, Емил Йончев – “MEMS базирана система за измерване на линейни ускорения и премествания за целите на вибродиагностиката,” *trans & MOTAUTO '08*, 18-20 септември, Созопол, 2008
- [13] Bekiarska Snejana, Damianov Damian, “High-Order Statistics application for speech identification and overlap detection”, *ISRSSP-2007*, Sofia, pp. 59-63
- [14] Emil Iontchev, Rossen Miletiev, Event data recorder for land vehicles and cargo, Trans-mech-art-chem, Moscow, 2008

SITUATIONS RECOGNITION BY MEANS OF INERTIAL SENSORS

Emil IONCHEV, Rossen MILETIEV, Rumen ARNAUDOV
iontchev@vtu.bg , miletiev@tu-sofia.bg, ra@tu-sofia.bg

*Emil Ionchev, Higher School of Transport “T.Kableshkov”, Sofia,
Rossen Miletiev, Rumen Arnaudov, Technical University of Sofia
BULGARIA*

Abstract: *The paper considers the method for detection and recognition of specific situations which appear in the vehicles on the basis of a data comparison of the inertial measurement system. Inertial sensors are manufactured by technology called Micro ElectroMechanical Systems – MEMS. They are distinguished with small dimensions, low price and they come out of government control due to the lower technical parameters. This requires additional processing of data obtained from them. The recognition of a situation is based on finding the value of the correlation function between the data from specific situations and set criteria for evaluation.*

Key words: *MEMS, inertial sensor, accelerometer*