

طراحی و نمونه‌سازی دستگاه شتاب‌سنج سه‌محوره

مونا حافظی*، حیدر صادقی**، علی بنائی***

* کارشناس ارشد تربیت بدنی و علوم ورزشی

*** استاد دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی

*** دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۲/۹

چکیده

از آنجا که فناوری در تأمین ایمنی، اندازه‌گیری و ارزیابی و به‌تبع آن بالابردن سطح عملکرد مهارت‌های ورزشی مؤثر است، همگام با توسعه تکنولوژی، در حوزه ورزش نیز ساخت تجهیزات مورد توجه قرار گرفته است. هدف این تحقیق طراحی شتاب‌سنج سه‌محوره بود. جهت ساخت این دستگاه از سه عدد سنسور شتاب‌سنج برای سنجش شتاب، سه عدد سنسور ژيروسکوپ برای سنجش سرعت زاویه‌ای، یک عدد میکروکنترلر برای تبدیل اطلاعات آنالوگ به دیجیتال، حافظه نیمه‌هادی برای ذخیره اطلاعات نمونه‌برداری‌شده، باتری قابل شارژ و برنامه نرم‌افزاری در محیط Matlab استفاده شد. بعد از طراحی و ساخت دستگاه شتاب‌سنج، برای تعیین روایی، نتایج دستگاه با مقدار ثابت $9.8m/s^2$ (شتاب جاذبه زمین) در هر سه محور مقایسه شد در بررسی پایایی و ثبات هماهنگی، آزمون تست شد و تست مجدد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق به دلیل ویژگی خاص دستگاه شتاب‌سنج طراحی‌شده که قابلیت نمونه‌برداری طولانی‌مدت به صورت **offline** دارد و بی‌سیم است، می‌تواند برای سنجش شتاب ورزشکاران مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شتاب، شتاب‌سنج، روایی، پایایی.

مقدمه

اگرچه شاهد توسعه تکنولوژی در حوزه علوم ورزشی، با هدف اندازه‌گیری، کمک به آموزش بهتر مهارت‌ها، ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی هستیم، در بسیاری مواقع به دلیل هزینه بالای خرید دستگاه‌های اندازه‌گیری یا عدم امکان استفاده از آن‌ها در فعالیت‌های میدانی، با محدودیت مواجه هستیم. از همین رو، تلاش برای ساخت دستگاه‌های اندازه‌گیری ارزان، در دسترس، و با قابلیت اندازه‌گیری دقیق فعالیت مورد توجه طراحان دستگاه‌های اندازه‌گیری است.

در بررسی کینماتیکی فعالیت‌های ورزشی از شتاب‌سنج برای اندازه‌گیری تغییرات سرعت ورزشکار و تحلیل حرکات استفاده شده است. زیرا تحلیل شتاب از طریق شتاب‌سنج ساده و ارزان و راحت است. خروجی آن قابل تعبیر است و می‌تواند جایگزین روش‌های پیچیده تحلیل پارامتر شتاب شود. برای مثال، به‌منظور شبیه‌سازی حرکت انسان رباتی ساخته شده که آن از شتاب‌سنج‌های ساخت شرکت XSENS برای ثبت شتاب و شناسایی حرکات بدن انسان استفاده شده است. لفرتون (۱۹۹۱) شتاب وارد به اندام را مورد ارزیابی قرار داد (۱)، در حالی که موونیلسون (۱۹۹۸) از شتاب‌سنج برای توان‌بخشی استفاده کرد. موونیلسون شتاب خم‌شدن زانوی آسیب‌دیده را با زانوی سالم سنجید و راه‌رفتن افراد سالم و ناسالم را تفکیک کرد و مدعی شد که این دستگاه قابلیت طبقه‌بندی اختلالات جزئی‌تری را دارد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری کمکی جهت تشخیص اختلال و بررسی روند درمان به کار گرفته شود (۲). لوینگ (۲۰۰۰) در تحقیق خود از شتاب‌سنج جهت تحلیل چرخش موقعیت بازو (۳) استفاده کرد. فیسیکوویس (۲۰۰۱) و ماتی و همکارانش (۲۰۰۴) به ترتیب از شتاب‌سنج برای تحقیقات ارزیابی حرکتی و سنجش فعالیت‌های روزانه استفاده کردند (۴، ۵). سرینیواسن و همکارانش (۲۰۰۷) از شتاب‌سنج جهت تعیین میزان شتاب در لحظه افتادن افراد مسن استفاده کرده‌اند (۶). در تحقیق دیگری که به کوشش بن‌لو (۲۰۰۷) در کالج لندن انجام شد، دستگاه دور سینه، کمر یا گوش ورزشکار متصل شد و سپس تحلیل حرکات بدن در حین دویدن و نحوه گام برداشتن او مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات نشان می‌دهد که شتاب‌سنج‌های ساخته‌شده برای ارسال داده‌ها از کاربر به بخش جمع‌آوری داده‌ها نیاز به ارتباط آنلاین دارند که برقراری این ارتباط عمدتاً به دو صورت امکان‌پذیر است: ۱. برقراری ارتباط بین کاربر و دستگاه جمع‌آوری داده‌ها به صورت بی‌سیم. در این نوع ارتباط محدودیت فاصله بین کاربر و دستگاه جمع‌آوری داده‌ها وجود خواهد داشت. ۲. برقراری ارتباط بین کاربر و دستگاه جمع‌آوری داده‌ها به صورت فرستنده-گیرنده بی‌سیم. در این نوع ارتباط کاربر باید فرستنده‌ای به خود متصل کند. در این نوع ارتباط محدودیت برد وجود خواهد داشت. از همین رو، ساخت دستگاهی با قابلیت حافظه داخلی جهت ثبت اطلاعات، بدون سیم و نمونه‌برداری طولانی‌مدت به صورت آفلاین جهت تأمین نیازهای تحلیل مهارت‌های ورزشی در محیط آزمایشگاه یا در سطح میدانی ورزشی ضروری به نظر آمد. برای مثال، ثبت شتاب دوندان ماراتون که مسافت طولانی را می‌پیماید، با این روش امکان‌پذیر خواهد بود. هدف این

تحقیق طراحی و ساخت دستگاه شتاب‌سنج سه‌محوره‌ای بود که قابلیت جمع‌آوری اطلاعات را در زمان طولانی به صورت آنلاین داشته باشد و امکان استفاده آن در فعالیتهای میدانی فراهم باشد.

روش‌شناسی

در طراحی شتاب‌سنج، سنسوری از شرکت Analog Devices با شماره قطعه ADXL330 برای سنجش شتاب در سه جهت عمود برهم؛ سه عدد ژيروسکوپ^۱ با شماره قطعه ADXRS401 برای سنجش تغییرات زاویه‌ای؛ و یک عدد میکروکنترلر با شماره قطعه ATMEGA64 استفاده شد. این میکروکنترلر اطلاعات آنالوگ سنسورها را به اطلاعات دیجیتال تبدیل می‌کند، اطلاعات را برای ذخیره‌شدن در حافظه نیمه‌هادی از نوع SPI آماده می‌کند و همچنین اطلاعات نمونه‌برداری شده را بازیافت و به کامپیوتر شخصی منتقل می‌کند. باتری قابل شارژ از نوع Li-Ion مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از باتری سبب می‌شود که دستگاه شتاب‌سنج متصل به بدن ورزشکار برای مدت طولانی بدون اتصال سیم کار کند. برنامه‌ای نیز در محیط نرم‌افزاری MATLAB نوشته شد. این برنامه برای پردازش اطلاعات ضبط‌شده استفاده می‌گردد (۷). برای ساخت این دستگاه از اجزای الکتریکی سنسور شتاب‌سنج، سنسور سرعت زاویه‌ای، میکروکنترلر، حافظه نیمه‌هادی، باتری قابل شارژ و برنامه نرم‌افزاری استفاده شد. به طور خلاصه، شتاب‌سنج ساخته‌شده با این مشخصات فنی طراحی شد: باتری دستگاه (نوع 3.7V Li-Ion قابل شارژ) در ابعاد 7×4×2 cm با وزن تقریبی ۵۰ گرم. برای برقرار کردن ارتباط با کامپیوتر از پورت سریال RS232 استفاده شد. نوع کانکتور روی دستگاه miniUSB بود. حداکثر زمان نمونه‌برداری در نسخه فعلی حدود ۸ دقیقه (قابل افزایش تا ۳۰ دقیقه با افزایش حجم حافظه داخلی) با نرخ نمونه‌برداری ۱۲۵ نمونه در ثانیه بود. شتاب قابل اندازه‌گیری $\pm 3g$ در سه محور عمود برهم (حدود $\pm 29m/S^2$) با سرعت زاویه‌ای قابل اندازه‌گیری 75deg/s در سه محور عمود برهم با پاسخ فرکانسی (حداکثر تغییرات شتاب) ۵۰ هرتز بود. این اجزا روی صفحه مدار چاپی نصب شد و در جعبه‌ای کوچک با ابعاد 7×4×2 cm قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱. دستگاه اندازه‌گیری شتاب

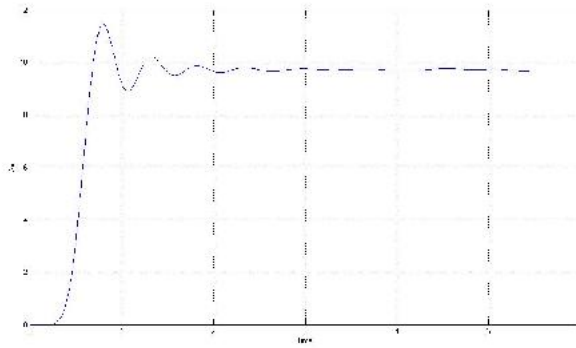
1. Gyroscope

با نصب این جعبه کوچک به بدن ورزشکار، اطلاعات مربوط به شتاب در سه جهت و تغییرات زاویه نسبت به حالت عمودی در سه جهت عمود برهم، در حافظه نیمه‌هادی ذخیره می‌شوند. با توجه به ظرفیت حافظه می‌توان به ضبط اطلاعات برای مدت طولانی پرداخت. پس از اتمام فعالیت حرکتی ورزشکار، مدار فوق از طریق پورت سریال (RS232) به کامپیوتر متصل و اطلاعات ذخیره‌شده به داخل کامپیوتر منتقل می‌شود. در کامپیوتر برنامه‌ای تحت محیط MATLAB برای پردازش اطلاعات خوانده‌شده از حافظه میکروکنترلر نوشته شد.

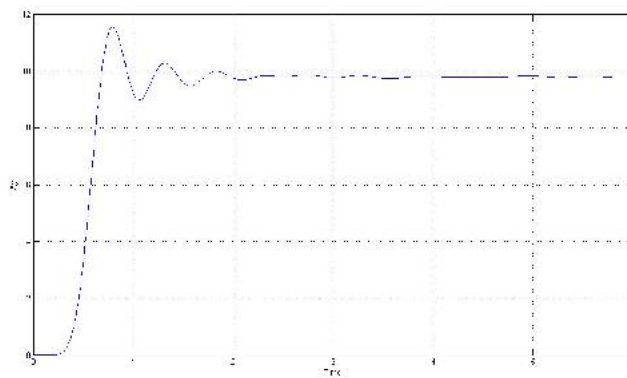
پاسخ دینامیکی سیستم تغییرپذیر است. به این معنا که در مرحله مونتاژ برد الکترونیکی دستگاه، خازن‌هایی به سنسور شتاب‌سنج متصل می‌شوند که تعیین‌کننده پهنای باند فرکانسی سیستم یا، به عبارت دیگر، تغییرات دینامیکی آن و سرعت پاسخ‌دهی سیستم به این تغییرات هستند. در این تحقیق مقدار ۵۰ هرتز انتخاب شد که برای حرکات ورزشی عدد مناسبی است. البته از آنجا که حد بالای این پهنای باند به وسیله نرخ نمونه‌برداری محدود می‌شود که باید کمتر از ۶۲ هرتز باشد، توصیه می‌شود تا حد امکان پهنای باند فرکانسی کم در نظر گرفته شود تا کاهش نویز را شاهد باشیم. بعد از طراحی و ساخت دستگاه شتاب‌سنج، شتاب جاذبه زمین به مقدار معین 9.8 m/s^2 شد. به منظور تعیین روایی دستگاه شتاب اندازه‌گیری شده در هر سه محور هنگامی که محورها عمود بر سطح زمین قرار می‌گیرند یادداشت و با عدد ۹.۸ مقایسه شد. برای بررسی پایایی و ثبات هماهنگی، از آزمون تست و تست مجدد و از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی روایی هم‌زمان استفاده شد.

یافته‌ها

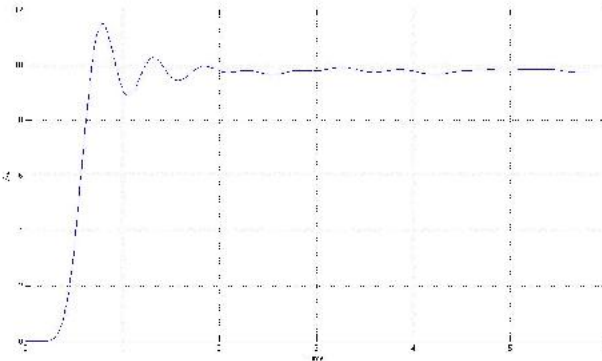
هدف دستگاه شتاب‌سنج ساخته‌شده، سنجش و اندازه‌گیری شتاب در سه محور عمودبرهم X, Y, Z بود. بنابراین، شتاب‌سنج به تفکیک در سه مرحله به طور ساکن در راستای شتاب جاذبه زمین به‌گونه‌ای قرار گرفت که در هر مرحله یکی از محورهای X, Y, Z عمود بر سطح زمین قرار گیرد. همان‌طور که در شکل ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، شتاب‌های ثبت‌شده مقدار 9.8 m/s^2 است. این داده‌ها نمایانگر روابودن دستگاه شتاب‌سنج ساخته‌شده است. آزمون تست و تست مجدد نیز تکرار شد و ثبات هماهنگی نمایانگر پایابودن دستگاه شتاب‌سنج بود. با توجه به اینکه در این تحقیق به منظور بررسی روایی هم‌زمان، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است، ارتباط مثبت معناداری بین آزمون‌ها در هر سه تکرار تست در سطح $a = 0.001$ (سطح اطمینان ۰/۹۹۹) وجود داشت. بنابراین، با سطح اطمینان ۰/۹۹ می‌توان مدعی شد که شتاب‌سنج دارای روایی ملاک از نوع هم‌زمان است. به طوری که میزان ارتباط در سطح $a = 0.001$ معنی‌دار است. نتایج به‌دست‌آمده از پایایی دستگاه شتاب‌سنج نشان می‌دهد که این دستگاه برای سنجش شتاب معیار عینی کاملی است.



شکل ۲. اندازه‌گیری شتاب جاذبه زمین در جهت محور X



شکل ۳. اندازه‌گیری شتاب جاذبه زمین در جهت محور Y



شکل ۴. اندازه‌گیری شتاب جاذبه زمین در جهت محور

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق ساخت دستگاه شتاب‌سنج خطی سه‌محوره‌ای بود که به ثبت شتاب در حافظه داخلی خود می‌پردازد و امکان ذخیره شتاب ورزشکار را به مدت طولانی دارد. در طراحی سخت‌افزاری این شتاب‌سنج سعی شده آرایش قطعات به گونه‌ای باشد که برد الکترونیکی سبک، کوچک و به راحتی قابل تست و تعویض باشد. مقایسه دستگاه نمونه در این تحقیق با محصولات مشابه نشان می‌دهد که محصول شرکت xsens با نام تجاری xbox master از لحاظ سخت‌افزاری شباهتی با دستگاه نمونه‌سازی شده در این تحقیق دارد. xbox master بسته‌ای حاوی پنج عدد MTx است و هر MTx مشابه شتاب‌سنج ساخته شده در این تحقیق است. این MTxها به وسیله سیم به ارسال‌کننده Bluetooth متصل می‌شوند. گیرنده Bluetooth اطلاعات را دریافت و نهایتاً برای پردازش به کامپیوتر منتقل می‌کند. برتری دستگاه نمونه‌سازی شده در این تحقیق نسبت به MTx داشتن حافظه داخلی است که اطلاعات را در خودش ضبط می‌کند و نیازی به وجود فرستنده - گیرنده نیست، در صورتی که در محصول MTx لازم است گیرنده در حداکثر فاصله معینی از فرستنده قرار داشته باشد؛ در دستگاه ما چنین محدودیتی وجود ندارد. محصول شرکت Nike با نام تجاری Nike+ در واقع یک گام شمار است و ساختار سخت‌افزاری آن بسیار ساده‌تر از دستگاه نمونه‌سازی شده در این تحقیق است. محصول شرکت ایرانی کیا با نام تجاری AG100 مشابه دستگاه نمونه‌سازی شده در این تحقیق است، با این تفاوت که کاربرد صرفاً آزمایشگاهی دارد. بررسی قابلیت روایی سنجی و پایایی سنجی

شتاب‌سنج، نشان داد که شتاب‌سنج مذکور قادر به ثبت شتاب ورزشکار در میدان‌های ورزشی است. ضمن اینکه مزیت اصلی آن امکان نمونه‌برداری به صورت آفلاین است و چون نیازی به اتصال شتاب‌سنج به کامپیوتر در حین تست وجود ندارد، به راحتی می‌توان تست‌های میدانی طولانی‌مدت را انجام داد. برای مثال می‌توانیم شتاب‌سنج را به قفسه سینه یک دوندۀ ماراتن متصل کنیم و از او بخواهیم در زمان "شروع" حرکت دکمه استارت و در پایان دکمه "توقف" را فشار دهد. با انتقال داده‌ها به کامپیوتر، تغییرات شتاب دوندۀ خصوصاً در جهت روبه‌جلو طی زمان دویدن بررسی می‌شود. برای انجام تست‌های میدانی که نیاز به ثبت داده خارج از محیط آزمایشگاهی دارد به کارگیری شتاب‌سنج ساخته‌شده در تحقیق توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج تحقیق و به دلیل ویژگی خاص دستگاه شتاب‌سنج طراحی‌شده، که قابلیت نمونه‌برداری طولانی‌مدت را به صورت آفلاین دارد و بی‌سیم نیز هست، استفاده از آن برای سنجش و ثبت شتاب ورزشکاران در میدان‌های ورزشی (خارج آزمایشگاه) مفید خواهد بود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات آقای مهدی احمدیان و محمدرضا اصغری که در ساخت دستگاه شتاب‌سنج همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- 1- Lafortune, A.M. (1991). Three-dimensional acceleration of the tibia during walking and running, J Biomech. 877-886.
- 2- Moe-Nilssen R. (1998). A new method for evaluating motor control in gait under real- life environmental conditions. Part 1: The instrument. Clin Biomech. 13(4-5): 320-327
- 3- Luinge, H.J. (2000) Inertial sensing of human movement, Twente University Press.
- 4- Mayagoitia, R.E., Veltink, P.H. (2002). Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems. J Biomech. 35(4): 537-542
- 5- Mathie, M. J., Lovell, N.H., Coster., A.C.F., Celler., B.G. (2004). Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer. Med Bio Eng Comput., 42, 679-687
- 6- Srinivasan, S., Jun Han, Lal, D. and Gacic, A. (2007) "Towards automatic detection of falls using wireless sensors", 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, pp.1379 – 1382.

۷- جباریه، علیرضا، آموزش گام به گام MATLAB 6.5، نشر و پخش آیلا، ۱۳۸۳

Design and fabrication of three axes accelerometer

Hafezi, M¹., Sadeghi, H²., Banai, A³.

¹ M.Sc. of Physical Education and Sport Sciences

² Ph.D., Faculty of Physical Education and Sport Science, Kharazmi University

³ Ph.D., Faculty of Electric, Sanati Sharif University

Abstract

Technology can provide safety in physical practices and improving the performance of these activities, so manufacturing of equipments for these purposes has been considered widely. The aim of the present paper was design and fabrication of three-axis accelerometer. Three acceleration sensors, three gyroscopes for angular velocity measurement, a microcontroller for converting analog data to digital, a semiconductor memory for storing the sampled data, a rechargeable battery and a spreadsheet in MATLAB environment have been used. In order to examine the validity of fabricated instrument, the earth gravity acceleration in three perpendicular axes have been measured and compared with 9.8m/S^2 . In order to examine the reliability of the fabricated accelerometer the ICC and test-re-test method have been used. The results showed that the accelerometer has both reliability and validity. Due to its special features, it enables us to sample in the offline mode and wireless manner. Such system may be used for measuring the acceleration of the athletes in wide variety of applications.

Keywords: Acceleration, Accelerometer, Validity, Reliability.