

УДК 621.396

Акселерометрический метод измерения суставных перемещений

Греченева А.В., Кузичкин О.Р., Дорوفеев Н.В.

В данной статье рассматривается новый подход в области гониометрических измерений и диагностики опорно-двигательного аппарата. Рассматриваемый подход основан на применении акселерометрического метода измерения суставных перемещений. В статье приведены основные тригонометрические соотношения для вычисления угла поворота биокинематической пары на основании нахождения вектора полного ускорения. Обосновано применение двухкоординатных акселерометров дифференциального типа, обеспечивающих возможность определения вектора полного ускорения по четырём значениям ускорений в двух системах координат. Описаны основные преимущества акселерометрического метода и выявлена основная причина возникновения погрешностей при проведении измерений по данной методике. Определены основные проблемы применения акселерометрических методов при регистрации вектора полного ускорения с помощью двухкомпонентных акселерометров дифференциального типа и найдены пути их решения.

Ключевые слова: гониометрия, акселерометрический датчик, угол поворота, система диагностики, опорно-двигательный аппарат, суставные перемещения.

Accelerometer method for measuring joint movements

Grecheneva A.V., Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V.

This paper deals with a new approach in the field of goniometric measurements and diagnostics of the musculoskeletal system, which is based on the application of accelerometer method for measuring joint movements. The basic trigonometric ratios to calculate the rotation angle of biokinematic pairs, based on identifying the complete acceleration vector, are given. The application of a differential-type XY accelerometer, providing the possibility to define a complex acceleration vector based on four acceleration values in the XY systems, is considered. The basic advantages of the accelerometer method are described, as well as the main reason of errors in the measurements by this method is presented. The major problems of accelerometer method application for complete acceleration vector registration using two-component differential-type accelerometers are identified, and the ways to combat the problems are specified.

Keywords: goniometry, accelerometer, rotation angle, diagnostic system, musculoskeletal system, joint movement.

Введение

Диагностика опорно-двигательного аппарата человека является первостепенной задачей на этапе определения курса реабилитации и восстановительной методики.

Повысить точность, эффективность и надёжность средств гониометрических измерений позволяет замена традиционных механических гониометров и угломеров электронными системами с микропроцессорным управлением. Перспективным подходом в создании гониометрического оборудования является

применение инерционных систем контроля на базе акселерометрических преобразователей.

Целью работы является создание нового подхода к достижению высокоточных гониометрических измерений, изучение возможности применения акселерометрического метода для измерения суставных перемещений.

Акселерометрический метод измерения суставных перемещений

Принцип применения акселерометров для измерения угла поворота φ , основан на изме-

-рении вектора полного ускорения \vec{a} общей точки О кинематической пары в двух системах отсчета [1]. При этом вектор полного ускорения \vec{a} определяется измерением четырёх значений ускорений в двух системах координат $a_{x1}, a_{y1}, a_{x2}, a_{y2}$, полученных при помощи двухкомпонентных акселерометров дифференциального типа, закреплённых на соседних звеньях диагностируемого сустава (рис.1).

Ускорение общей точки О биокинематической пары не связано с углом поворота φ , а определяется только параметрами общего движения объекта и самой точки О. В результате измерений значений ускорения для каждого акселерометра в двух системах координат на выходе получают четыре сигнала, пропорциональные ускорению общей точки кинематической пары \vec{a} :

$$\left. \begin{aligned} a_{x1} &= K_{x1} a \cos(\varphi_A) \\ a_{y1} &= K_{y1} a \sin(\varphi_A) \\ a_{x2} &= K_{x2} a \cos(\varphi_B) \\ a_{y2} &= K_{y2} a \sin(\varphi_B) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где φ_A и φ_B - углы между направлением вектора ускорения общей точки О кинематической пары \vec{a} и измерительными акселерометрическими системами (\vec{x}_A, \vec{y}_A) и (\vec{x}_B, \vec{y}_B) соответственно;

$K_{x1}, K_{y1}, K_{x2}, K_{y2}$ - коэффициенты преобразования соответствующих акселерометров.

Исходя из соотношений (1) и на основании связей между компонентами вектора линейного ускорения, при движении объекта и смещении акселерометров на угол $\varphi = \varphi_A - \varphi_B$, последний можно определить по формулам [2]:

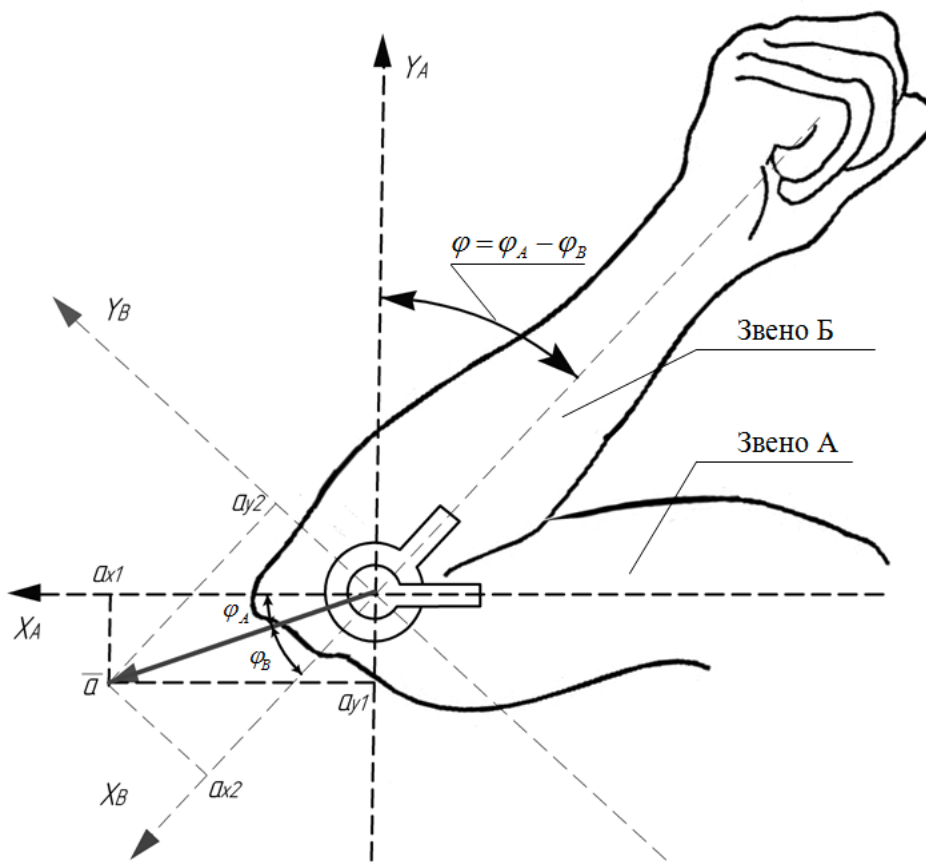


Рис. 1. Акселерометрический метод измерения угла поворота

$$\sin \varphi = \frac{a_{x2} a_{y1} / K_{x2} K_{y1} - a_{y2} a_{x1} / K_{y2} K_{x1}}{(a_{x1} / K_{x1})^2 + (a_{y1} / K_{y1})^2},$$

$$\cos \varphi = \frac{a_{x2} a_{x1} / K_{x2} K_{x1} + a_{y2} a_{y1} / K_{y2} K_{y1}}{(a_{x1} / K_{x1})^2 + (a_{y1} / K_{y1})^2}. \quad (2)$$

При технической реализации данного подхода возникают трудности его практического применения, обусловленные громоздкими вычислениями и нестабильностью системы к влиянию мультипликативных помех. При их практической реализации появляется ряд существенных источников погрешностей измерения угла, определяемых нелинейностью соотношений (2) и возможной разбалансировкой и нестабильностью коэффициентов преобразования акселерометров. Решением данной проблемы является применение фазометрического метода [3].

Заключение

Таким образом, применение акселерометрического метода измерения угловых суставных перемещений определяется простыми тригонометрическими соотношениями и позволяет:

- повысить точность и чувствительность измерений;
- исключить возможность свободного хода биокинематической пары, так как по данной методике угол поворота объектов определяется путем преобразования направления мгновенного

вектора ускорения в фазу синусоидального колебания;

- минимизировать стоимость практической реализации данного метода, за счет применения двухкоординатных акселерометров.

Литература

1. Демиденко В.П., Попов Г.М., Пупенин А.В. и др. Устройство для измерения параметров углового движения. // Патент №93026518 (РФ) G01P15/00, заявл. 19.05.1993; опублик. 20.12.1996.
2. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров. – М.: Наука, 1986.
3. Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р. Проблемы мультипликативной нестабильности дифференциальных измерительных преобразователей электромагнитного поля // Вопросы радиоэлектроники, 2010, Т.1, №1. – С. 117-122.

References

1. Demidenko V.P., Popov G.M., Pupenin A.V. et al. Ustrojstvo dlja izmerenija parametrov uglovogo dvizhenija [Apparatus for measuring angular movement] RF Patent №93026518 G01P15/00. Publ. 20.12.1996.
2. Bronstein I., Semendyaev K.A. Handbook on mathematics for engineers. – Moscow: Science, 1986.
3. Dorofeev N.V., Kuzichkin O.R. Problemy mul'tiplikativnoj nestabil'nosti differencial'nyh izmeritel'nyh preobrazovatelej jelektromagnitnogo polja [Problems multiplicative volatility differential transducers electromagnetic field] // Voprosy radiojelektroniki [Questions electronics], vol.1, №1, 2010. – P. 117-122.

Статья поступила в редакцию 3 марта 2015 г.

Греченева Анастасия Владимировна – студентка факультета «Радиоэлектроники и компьютерных систем» по специальности 200102.65 «Приборы и методы контроля качества и диагностики» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Кузичкин Олег Рудольфович – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: electron@mivlgu.ru

Дорофеев Николай Викторович – кандидат технических наук, зав. кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

Grecheneva Anastasiya Vladimirovna – Student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Kuzichkin Oleg Rudolfovich – Prefessor, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: electron@mivlgu.ru

Dorofeev Nikolay Viktorovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru