

УДК 53.082.782

МАКЕТ МАГНИТНОЙ ЛОКАЦИИ НА БАЗЕ МАГНИТОРЕЗИСТИВНОГО КОМПАСА

© 2020 г. С. И. Касаткин¹, П. А. Поляков², О. П. Поляков^{1,2}, Н. В. Плотникова¹,
К. А. Савельев¹, В. С. Шевцов^{1,2,*}, В. А. Ромакин¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления
имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, физический факультет, Москва, Россия

*E-mail: vs.shevtcov@physics.msu.ru

Поступила в редакцию 30.08.2019 г.

После доработки 16.09.2019 г.

Принята к публикации 28.10.2019 г.

Представлены результаты исследований по разработке макета магнитной локации на базе магнито-резистивного компаса. Показана работоспособность доработанных алгоритмов и программного обеспечения для расчета пространственных и угловых координат магнитного диполя, электронной части макета магнитной капсулы. Разработано программное обеспечение по обработке данных и их трехмерной визуализации для траектории движения магнитного диполя и показаны возможности применения в САПР.

DOI: 10.31857/S0367676520020155

ВВЕДЕНИЕ

Одним из примеров появившихся возможностей решать недоступные ранее научно-технические задачи в связи с развитием микроэлектроники и появлением новых измерительных и вычислительных комплексов является развитие теории магнитной локации на основе использования набора тонкопленочных анизотропных магнито-резистивных (АМР) датчиков магнитного поля или компасов для определения пространственных и угловых координат магнитного диполя [1–4].

Такие системы могут иметь различные применения, в том числе в медицине для определения местоположения в теле пациента различных капсул [5, 6], в качестве пространственно-векторной компьютерной мыши, позволяющей расширить функциональные возможности обычной компьютерной мыши и т.д.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ МАГНИТНОЙ ЛОКАЦИИ

Основные положения теории магнитной локации изложены в [1]. Требуется разместить в некоторой области пространства определенное количество трехосевых АМР-датчиков и провести измерение компонент вектора напряженности магнитного поля \vec{H} . Возникает вопрос: сколько требуется датчиков или измерений компонент магнитного поля,

чтобы однозначно определить радиус-вектор местоположения диполя \vec{r} и вектор его магнитного момента \vec{p} при решении некорректной обратной задачи магнитостатики?

Использование малого количества датчиков делает задачу очень чувствительной к начальным данным. Одним из способов исключения этого недостатка является использование большего количества датчиков. Нами было показано, что возможно создание компактного устройства, содержащего 9 датчиков (три трехосевых датчика), которые размещены в трех точках пространства.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МАКЕТА

Одной из проблем предыдущих макетов магнитной локации было его недостаточное быстродействие, что ограничивало возможность работы с объектом в режиме реального времени. В связи с этим нами был доработан алгоритм и программное обеспечение программы расчета местоположения магнитного диполя. Результат первого расчета определяет пространственные и угловые координаты, а также магнитный момент диполя. Затем эти данные используются при определении только координат диполя. Это допустимо, т.к. параметры магнита не изменяются в процессе измерений. Данный алгоритм позволил в несколько раз сократить время расчета координат диполя.

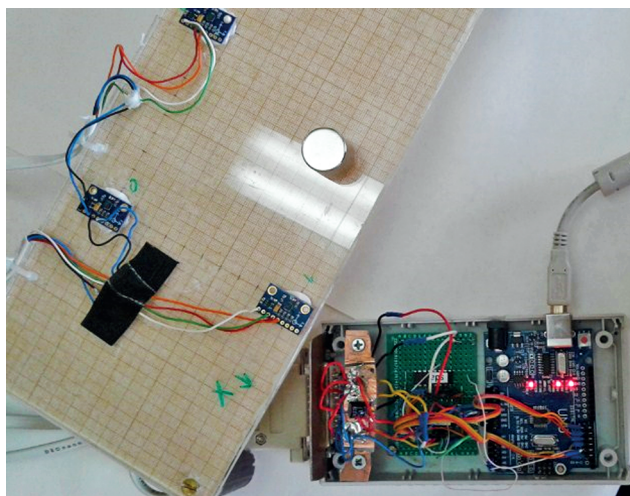


Рис. 1. Фотография конструкции стенда с тремя трехосевыми АМР-датчиками, платой микроконтроллера и магнитом.

Макет состоит из исследуемого объекта, трех компасов, содержащих по 3 АМР-датчика с АЦП, блока предварительной обработки сигналов с датчиков и платы микроконтроллера (рис. 1). В состав макета входит персональный компьютер (ПК) со специализированной программной системой (СПС), которая определяет показания датчиков на каждом шаге траектории магнита. По этим показаниям производятся вычисления положения и ориентации магнита (обратная задача), которые далее используются для визуализации траектории движения магнита на 3D-модели.

В качестве компаса была выбрана микросхема Honeywell HMC5883L, включающая трехосевой АМР-датчик серии 118X высокого разрешения, а также 12-битный АЦП, обеспечивающий точность 1° – 2° . Чип имеет размеры 3×3 мм и обменивается данными по интерфейсу I²C.

В среде разработки Arduino было написано программное обеспечение, позволяющее управлять режимами работы датчика, а также принимать показания датчика в виде цифрового сигнала. Питание и

передача данных между платой Arduino и компьютером осуществлялось при помощи последовательного интерфейса USB 2.0.

Аппаратная платформа Arduino Uno R3 не поддерживает возможность одновременного подключения нескольких одинаковых датчиков по шине I²C. Для реализации такой возможности были использованы 8-канальные аналоговые мультиплексоры CD4051BE с цифровым управлением. Данные мультиплексоры имеют три двоичных входа управления, с помощью которых можно управлять одним из 8 каналов для подключения к выходу. Таким образом, данный способ позволяет одновременно подключать к Arduino до 8 одинаковых датчиков.

Также было разработано программное обеспечение (ПО) для определения положения магнитного диполя по показаниям трех магнитных компасов. Программное обеспечение включает следующие блоки (рис. 2): блок приема показаний датчиков от платы “Arduino” по последовательному порту RS-232; блок обработки показаний компасов (для устранения случайных выбросов применяется медианный фильтр, для усреднения показаний – экспоненциальное скользящее среднее); блок расчета положения магнитного диполя (положение автоматически пересчитывается после проведения всех необходимых измерений); блок, предназначенный для отображения показаний магнитных датчиков до и после фильтрации, а также для визуализации трехмерной схемы расположения датчиков и расчетного положения диполя; интерфейс пользователя, позволяющий указывать текущее положение тройки датчиков и тип проводимых измерений (с магнитом или без него), изменять параметры цифровых фильтров, запускать измерения для указанного расположения тройки датчиков или загружать показания из ранее записанного файла, изменять точку наблюдения за трехмерной схемой.

Макет позволяет решать несколько задач. Он рассчитывает и показывает траекторию движения магнита в пространстве с системой координат. Ориентация магнита в пространстве указывает вершина конуса на текущей точке траектории

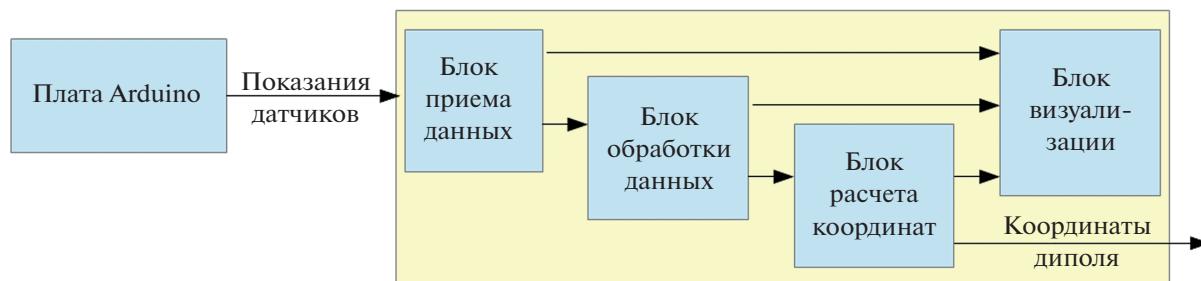


Рис. 2. Блок-схема программного обеспечения.

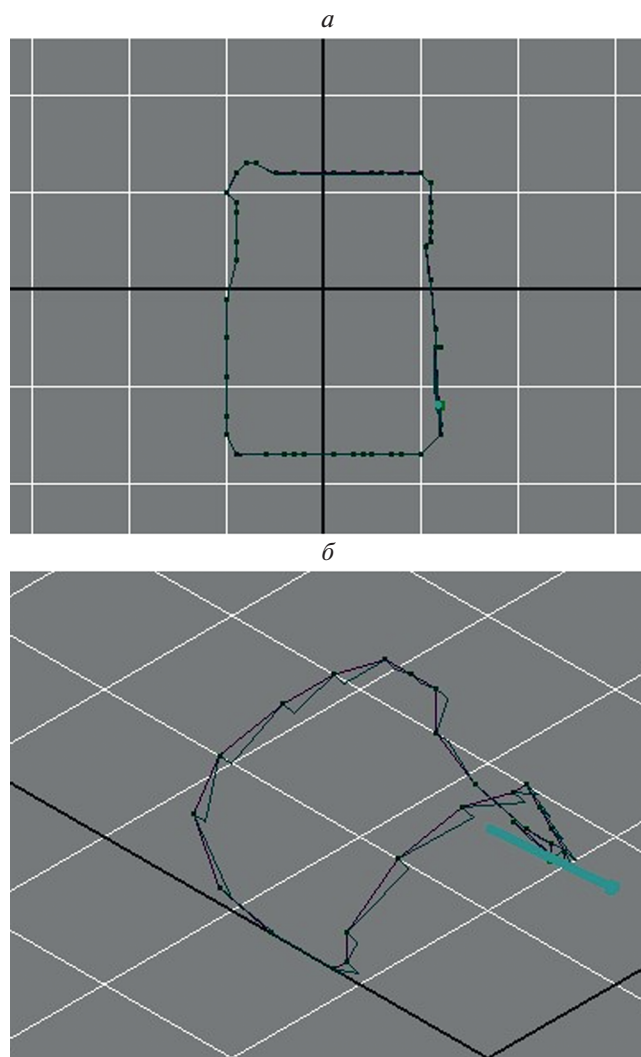


Рис. 3. Визуализация траектории движения магнита в пространстве: вид сверху (а), вид сбоку (б).

магнита. На рис. 3а показан пример траектории магнита, на котором видно отсутствие выбросов в траектории, т.е. отсутствие неправильных решений. На рис. 3б изображена траектория трехмерного объекта. Кроме того, можно рассматривать исследуемый трехмерный объект с различных положений и направлений, а также проводить с ним манипуляции. Эти задачи возникают в различных областях: САПР, видеоигры, управление система-

ми объектов в тяжелых эксплуатационных условиях с ограниченной видимостью и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате доработки метода магнитной локации на базе проведенных ранее работ представлен макет с новым программным обеспечением. Показана работоспособность доработанных алгоритмов для расчета пространственных и угловых координат магнитного диполя и обработки данных, получаемых одновременно с 9-ти датчиков. Продемонстрирована возможность визуализацией траектории магнитного диполя и изменяющей ориентацию объемной модели в качестве возможного приложения для САПР. Для измерения были применены современные компасы с трехосевыми АМР-датчиками. Для связи с компьютером использована плата с микроконтроллером “Arduino”.

Проведенные исследования показали, что определение пространственных и угловых координат магнита производится с точностью не хуже 0.5 см в режиме реального времени. Частота полного цикла работы макета от измерения магнитных полей до следующего их измерения приблизительно составляет 12 Гц. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение характеристик и возможностей макета магнитной локации, а также на поиск возможности его применения в различных прикладных задачах.

Данная работа была поддержана Фондом развития теоретической физики и математики “БАЗИС”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин С.И., Плотникова Н.В., Поляков О.П. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2018. Т. 82. С. 1085; Kasatkin S.I., Plotnikova N.V., Polyakov O.P. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2018. V. 82. P. 983.
2. Артамонов Е.И., Балабанов А.Б., Касаткин С.И. и др. // Датчики и системы. 2012. № 12. С. 2.
3. Касаткин С.И., Муравьев М.А., Плотникова Н.В. и др. // Автомат. и телемех. 2009. № 6. С. 141.
4. Kasatkin S.I., Polyakov O.P., Rusakova N.E. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 2006. V. 305. P. 361.
5. Wang X., Meng M.Q.-H. // Int. J. Inform. Acquis. 2005. V. 2. P. 113.
6. Mukhopadhyay S.C., Gupta G.S. Smart sensors and sensing technology. Berlin: Springer, 2008. 201 p.