

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.421.2:550.380.84

Миклашевский  
Андрей Владимирович

Целочисленные алгоритмы обработки сигналов в электронном компасе

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 02 «Радиотехника, в том числе системы и устройства  
радионавигации, радиолокации и телевидения»

---

Научный руководитель  
Саломатин Сергей Борисович  
Кандидат технических наук,  
Доцент

---

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

С самого своего появления инерциальные навигационные системы обладают одним большим преимуществом, перед другими навигационными системами. Это преимущество – автономность. Возможность продолжать получать информацию о собственном местоположении в отсутствии внешних ориентиров, или сигналов, поступающих извне. Долгое время системы инерциальной навигации были очень дороги и использовались, в основном, лишь в судостроении и специальных задачах, имеющих военную или научную направленность. Однако с развитием микроэлектроники, и появлением микроэлектромеханических систем (МЭМС) стали доступны недорогие инерциальные датчики имеющие компактные размеры и небольшую цену в сравнении устройствами, использующимися в дорогой военной технике или космических кораблях. С момента появления МЭМС датчики сильно уступали более традиционным инерциальным датчикам в точности. С развитием МЭМС технологии точность датчиков увеличивается, а их размеры и цена становятся все меньше. И за время своего развития МЭМС датчики находят все большее применение в задачах ориентации и инерциальной навигации. Ими оснащаются мобильные телефоны, они используются для захвата и анализа человеческих движений, они устанавливаются в производственное оборудование для контроля качества его работы и существует еще много других сфер применения инерциальных МЭМС датчиков.

Электронный компас также находит свое применение в задачах инерциальной навигации и может быть, как самостоятельным элементом навигационной системы, так и дополнительным элементом, повышающим точность всей системы в целом. Электронным компасом обычно называют либо сам МЭМС-датчик, который включает в себя помимо магниточувствительных элементов, цепи фильтрации и обработки сигналов, цепи температурной компенсации, специализированный процессор для обработки результатов, так и комплекс датчиков, работающих совместно.

МЭМС датчики обладают рядом погрешностей, а также подвержены внешним и внутренним шумовым воздействиям. Поэтому перед использованием их предварительно необходимо откалибровать. Калибровка устраняет некоторые типы погрешностей и шумов, а для устранения других типов шумов необходимо применять методы цифровой обработки сигналов. Это может быть как простая фильтрация показаний отдельных датчиков, так и смешивание показаний отдельных датчиков в единой математической модели. Так, например, акселерометр позволяет определить углы крена и тангажа, но не позволяет определить угол рыскания, для этого используется магнетометр. В свою очередь показания акселерометра используются для компенсации угла наклона магнетометра, который вносит ошибку в его показания.

Поэтому при построении инерциальной системы навигации необходимо произвести анализ основных факторов, влияющих на точность измерений инерциальных датчиков, используемых для получения навигационной

информации. Зная основные источники погрешностей, при помощи предварительной калибровки датчиков можно устранить влияние этих факторов. Основным параметром любой навигационной системы является точность, а проблемы калибровки инерциальных датчиков является отдельным развивающимся направлением, поэтому выбранная тема исследования является актуальной.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы магистерской диссертации:**

Рассмотрение и учет инструментальных погрешностей и факторов, влияющих на точность измерений электронного компаса, и последующее их устранение при помощи калибровки, является целью данной работы. А так как точность является ключевым параметром в любой навигационной системе, то эта тема является актуальной.

### **Цель работы:**

Исследование существующих алгоритмов калибровки инерциальных датчиков и разработка на их основе методики калибровки электронного компаса.

Исследование влияния угла наклона электронного компаса на его показания и алгоритмов для компенсации этого влияния.

### **Задачи исследования:**

Анализ существующих технологий и датчиков для создания электронного компаса.

Исследование основных инструментальных погрешностей инерциальных МЭМС датчиков и шумовых воздействий, которым они подвержены.

Составление математических моделей датчиков на основе анализа их инструментальных погрешностей и шумовых воздействий.

Рассмотрение и применение алгоритма компенсации угла наклона компаса.

Рассмотрение алгоритмов калибровки электронного компаса и разработка методики калибровки.

Проведение экспериментального исследования и оценка влияния калибровки на показания электронного компаса.

### **Объект исследования и предмет исследования:**

Объектом исследования является электронный компас, а предметом - алгоритм и методика калибровки электронного компаса, а также алгоритм компенсации угла наклона компаса.

### **Положения выносимые на защиту:**

Математические модели инерциальных датчиков в составе электронного компаса.

Алгоритм компенсации угла наклона электронного компаса.

Алгоритм и методика калибровки электронного компаса.

### **Апробация результатов диссертации:**

Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы докладывались на 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в 2017 году.

### **Структура и объем диссертации:**

Диссертационная работа состоит из титульного листа, содержания, введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы – 60 страниц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В первой главе рассмотрены теория магнитного поля Земли. Произведен анализ датчиков, используемых для определения ориентации, а также проанализированы погрешности, которыми они обладают. Рассмотрен метод наименьших квадратов, лежащий в основе алгоритма калибровки датчиков. А также углы Эйлера, используемые для ориентации датчика в пространстве.

Во второй главе представлена структурная схема электронного компаса и математические модели датчиков, используемые для калибровки. Рассмотрен алгоритм, используемый для калибровки инерциальных датчиков, и алгоритм компенсации угла наклона компаса.

В третьей главе представлена схема эксперимента, в соответствии с которой проводилась калибровка датчика, а также рассмотрены полученные результаты и сделаны выводы.

В приложениях приведен исходный код используемой для калибровки программы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ основных типов датчиков, используемых для определения положения, а также исследованы их основные погрешности и шумовые воздействия, которым они подвержены.

2. На основе этого анализа разработана структурная схема электронного компаса и математические модели датчиков, которые используются для калибровки.

3. Исследованы основные алгоритмы для калибровки инерциальных датчиков, а также компенсации угла наклона компаса.

4. С учетом особенностей работы алгоритмов была составлена методика калибровки компаса. Полученные результаты показывают, что на выходе неоткалиброванного датчика присутствуют смещения показаний относительно нуля, которые удастся скомпенсировать при помощи калибровки датчиков.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА**

[1-А] Миклашевский А. В. Методы повышения точности измерений электронного компаса / А. В. Миклашевский // 53-я научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР–Минск, 2017.