

Исследование зависимости погрешностей волоконно-оптического гироскопа от внешних воздействий методами машинного обучения

Научный руководитель – Забейайло Михаил Иванович

Меркелов Алексей Александрович

Студент (магистр)

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

E-mail: merkelov@phystech.edu

1. Сегодня с развитием и ростом разнообразия техники все более критичной оказывается проблема идентификации и устранения сбоев в штатном режиме работы аппаратуры. Все высокотехнологичные устройства, от сотового телефона до электронных плат космического аппарата подвержена различным факторам воздействия: перепадам температуры, давлений, ускорениям и пр. И если происходит сбой, ключевым вопросом является идентификация его причин. Обычно для этого используется так называемый *root cause analysis* [3], средствами которого выполняется поиск ключевого фактора, приведшего систему к сбою. Однако, в целом ряде важных случаев этот метод не дает надежного результата, например, когда сбой является результатом воздействия нескольких «равноправных» факторов.

2. Пример ситуации такого типа - задача обнаружения увеличения погрешности волоконно-оптического гироскопа в инерциальных навигационных системах (ИНС). При увеличении погрешности чувствительного элемента возрастает навигационная ошибка, которая, в случае ИНС, имеет свойство накапливаться. На чувствительные элементы ИНС воздействуют такие факторы, как температура, внешние электромагнитные поля, линейные ускорения, угловые скорости и пр. Кроме того, у волоконно-оптических гироскопов существуют специфичные для подобных приборов погрешности, возникающие из-за оптических нелинейностей в оптоволокне. Данная задача является объектом многих исследований, где анализируется зависимость погрешности от того или иного фактора. [1,2] Однако работ, в которых строилась бы зависимость от всех вышеперечисленных факторов, по существу нет. В настоящее время контроль погрешности гироскопов и её компенсация при решении задачи навигации осуществляется только средствами ИНС, которые, в свою очередь, малоспособны реагировать на "случайные" (не систематические) изменения погрешности, а точной модели погрешности, учитывающей воздействие всех внешних факторов, нет.

3. В представляемом исследовании для решения данной задачи как ключевые факторы влияния были выделены: температура, линейные ускорения, внешние электромагнитные поля (в частности, напряженность магнитного поля), нелинейность масштабного коэффициента и его зависимость от температуры и угловой скорости объекта, спектральная плотность шумов, влияние оптических нелинейностей (в частности, влияние разности мощностей световых пучков в оптоволокне). В докладе, как альтернатива традиционному подходу (где формируется модель «физики» изучаемого явления в виде той или иной системы уравнений), представлен вариант сведения решаемой проблемы к специальной задаче *машинного обучения (ML)*, где выявление причин возникновения изучаемой погрешности основано на анализе сходства прецедентов (примеров штатных (с погрешностью в пределах допущенной) и нештатных (с погрешностью выше допущенной) режимов работы гироскопа), формализованного как алгебраическая операция. (При этом «физическая» интерпретируемость порождаемых в процессе машинного обучения зависимостей

позволяет отбрасывать артефакты, минимизируя характерные для *ML* эффекты так называемого *переобучения*).

4. Обучающая выборка для *ML* была сформирована из целенаправленно собранных экспериментальных данных - результатов фиксации влияний тех или иных факторов на изменение анализируемой погрешности. (При этом для спектральной плотности шумов и оптических нелинейностей данные эмпирических исследований были дополнены результатами теоретических расчетов). В ходе решения были получены зависимости погрешности гироскопа от различных сочетаний факторов влияния. Итоговым результатом стала *эмпирическая модель «причинности»* влияния названных факторов на эффект возникновения погрешности. Разумеется, полученная модель дает упрощенное видение, однако адекватно отражает «физику» исследуемого явления и демонстрирует эффективность предложенного нестандартного метода (машинного обучения на прецедентах) в решении исходной задачи.

5. Предложенный подход может применяться в инерциальной навигации как для оценки корректности текущей работы оборудования, так и для предупреждения ошибок навигации, вызванных увеличением погрешности гироскопа.

Источники и литература

- 1 Антонова М.В.; Матвеев В.А. Модель погрешностей волоконно-оптического гироскопа // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2014.– № 3. – С. 73.
- 2 Павлов Д.В. Методы идентификации мультипликативной погрешности волоконно-оптического гироскопа // Прикладная фотоника. – 2015. – Т. 2 № 4. – С. 322.
- 3 QualityDigest.com: <https://www.qualitydigest.com/inside/quality-insider-article/root-cause-analysis-part-1-technique.html>