

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Гонтарь Д.А.(Университет ИТМО, ЦНИИ Электроприбор),
Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Драницына Е.В.
(Университет ИТМО, ЦНИИ Электроприбор)

В данной работе предложен метод компенсации температурной погрешности в выходном сигнале ВОГ с помощью модифицированной полиномиальной регрессии от нескольких переменных.

Введение. Одной из основных проблем при создании высокоточных ВОГ является чувствительность выходного сигнала к температуре.

ВОГ чрезвычайно чувствителен к изменениям температурного поля. Для создания ВОГ класса навигационной точности необходимо точно компенсировать влияние температуры на выходной сигнал ВОГ.

Постановка задачи. Погрешность выходного сигнала ВОГ, вызванную температурой, можно раз делить на две части: мультипликативную и аддитивную. Основные источники погрешностей ВОГ, вызванных изменением температуры, и механизм их возникновения, представлены ниже.

Составляющие мультипликативной погрешности, или погрешности масштабного коэффициента (МК), вызванные: изменением площади оптического контура; нестабильностью длины волны источника света; изменением коэффициента преломления волокна; изменением электрооптического коэффициента модулятора МИОС.

Составляющие аддитивной погрешности (смещение нуля): смещение электрического нуля, вызванное нестабильностью характеристик электронных компонент ВОГ при изменении температуры; термооптическое смещение нуля (эффект Шупе), возникающее из-за того, что при растяжении участка волокна под действием тепла в контуре встречные волны приобретают разные фазовые набеги; эластооптическое смещение нуля, вызванное зависимостью коэффициента преломления от напряженно-деформированного состояния волокна.

Проблема влияния изменения температуры на выходной сигнал ВОГ, помимо различных конструктивных решений и применения термостатирования может быть решена введением алгоритмической температурной компенсации выходного сигнала.

Существует множество методов алгоритмической компенсации, но одними из наиболее популярных являются методы с использованием методов машинного обучения. Целью машинного обучения является частичная или полная автоматизация решения аналитических задач.

Среди таких методов встречаются: линейная регрессия, логистическая регрессия, полиномиальная регрессия, хребтовая регрессия, регрессия лассо, искусственные нейронные сети, байесовские сети доверия, генетические алгоритмы, метод роя частиц

Многие из этих методов при незначительной доработке и адаптации возможно использовать для повышения точности ВОГ, но самым часто применяемым является полиномиальная регрессия.

Для повышения точности полиномиальной регрессионной модели степень полинома можно увеличить, но это сильно повысит вычислительную сложность полученной модели, может повлечь за собой непредсказуемое поведение на границах интервала, а также снизит обобщаемость полученной модели. Поэтому требуется повысить точность полиномиальной модели не увеличивая степень полинома. Также, полученная модель должна быть способна учитывать как аддитивную (смещение нуля), так и мультипликативную составляющую погрешности (нестабильность масштабного коэффициента) и описывать зависимость выходного сигнала ВОГ от температуры и скорости ее изменения.

В данной работе будет рассмотрена попытка улучшить точность компенсации с помощью полиномиальной регрессии, путем добавления в полином дополнительных переменных, отвечающих за совместное влияние температуры и скорости изменения температуры на выходной сигнал ВОГ

Полиномиальная регрессия. Полиномиальная регрессия — это форма регрессионного анализа, в которой взаимосвязь между независимой переменной x и зависимой переменной y моделируется как полином n -й степени в x .

Формулой такого полинома будет:

$$P(x) = c_0 + c_1x^1 + \dots + c_nx^n, \quad (1)$$

где x - переменная, c_i – фиксированные коэффициенты.

При необходимости найти зависимость от нескольких переменных, при условии, что переменные независимы находится сумма полиномов:

$$P(x_1, \dots, x_m) = P(x_1) + \dots + P(x_m). \quad (2)$$

Но формула (2) не может описать влияние переменных друг на друга, что иногда становится проблемой, например тогда, когда изменение температуры влечет за собой изменение чувствительности гироскопа к скорости изменения температуры.

В данной статье предлагается вместо формулы (2) использовать для описания зависимости от двух переменных формулу:

$$P(x_1, x_2) = x_1^0(c_0x_2^0 + \dots + c_{n-1}x_2^n) + x_1^1(c_nx_2^0 + \dots + c_{2n-2}x_2^{n-1}) + \dots + x_1^n(c_{(n+1)(n+2)}x_2^0). \quad (3)$$

В формуле (3) появляются слагаемые, учитывающие совместное влияние переменных на выходной сигнал ВОГ, что должно повысить точность температурной компенсации при наличии такого влияния.

Коэффициенты полиномов вычислялись с помощью метода наименьших квадратов.

Моделирование. В нашем случае x_1, x_2 - температура и скорость изменения температуры соответственно.

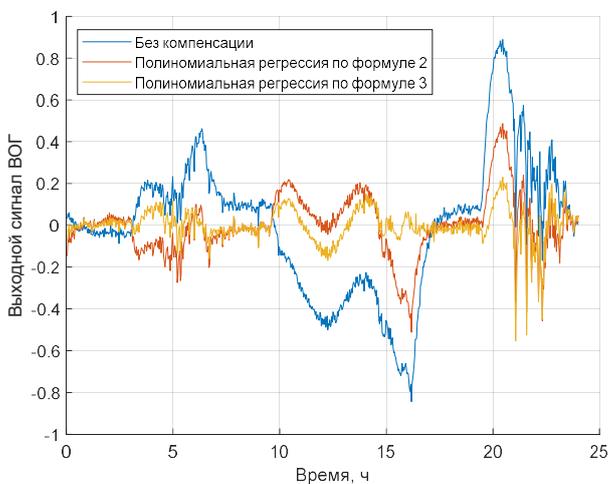


Рисунок 1. Выходной сигнал ВОГ до и после компенсации

Теперь получим коэффициенты полиномов (2), (3) для данных о смещении нуля и масштабного коэффициента выходного сигнала ВОГ, полученных в результате термоиспытаний на поворотном одноосном стенде с термокамерой. И произведем компенсацию. Результаты компенсации обоими методами, а также некомпенсированный выходной сигнал ВОГ представлены на рисунке 1. Стандартные отклонения методов (СО) представлены в таблице 1. Данные представлены в относительно максимального смещения нуля некомпенсированного сигнала.

Таблица 1

	Полиномиальная регрессия по формуле 2	Полиномиальная регрессия по формуле 3	Некомпенсированный сигнал
СО	0.1520	0.0921	0.3278

Выводы. Как видно из графика и таблицы использование модифицированной формулы для описания полинома повышает точность компенсации выходного сигнала ВОГ в 1.6 раз и при этом не повышает степени полинома.