

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/39-147

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гонтарь Д.А., Драницына Е.В. Выбор температурной модели волоконно-оптического гироскопа с помощью генетического алгоритма // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2022. №3

УДК 681.51

DOI: 10.24412/2541-9269-2022-3-17-21

ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОЙ МОДЕЛИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Гонтарь Д.А.¹, Драницына Е.В.¹

¹Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Россия, Санкт-Петербург

SELECTION OF A TEMPERATURE MODEL OF A FIBER-OPTIC GYROSCOPE USING A GENETIC ALGORITHM

Gontar D.A.¹, Dranitsyna E.V.¹

¹ITMO University, AO «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Russia, Saint-Petersburg

Аннотация. Предложен метод выбора экономичной в вычислительном отношении температурной модели волоконно-оптического гироскопа на основе полиномиальной регрессии с использованием генетического алгоритма.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, температурная модель, генетический алгоритм

Abstract. A method for choosing a computationally economical temperature model of a fiber-optic gyroscope based on polynomial regression using a genetic algorithm is proposed.

Keywords: fiber-optic gyroscope, temperature model, genetic algorithm

Введение. Одной из основных проблем при создании высокоточных волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) является чувствительность смещения нуля его выходного сигнала к изменению температуры. Как известно [1, 2], температурный дрейф ВОГ вызван несимметричным изменением термоупругого состояния оптического волокна, смотанного в катушку. Существует множество технологических решений, направленных на снижение температурного дрейфа ВОГ, которые, однако, не могут исключить его полностью, особенно при значительной длине контура. В этом случае прибегают к алгоритмической компенсации остаточной зависимости смещения нуля выходного сигнала ВОГ от температуры. Исходными данными для обучения моделей являются измерения одного или нескольких датчиков

температуры (ДТ), распределенных по внешнему контуру катушки [3,4]. Существуют различные модели компенсации температурного дрейфа ВОГ. Наиболее распространены линейные, которые учитывают зависимость от температуры, измеренной одним [4,5] или несколькими ДТ и ее производных по времени [6]. При этом могут использоваться различные температурные модели для нагрева и охлаждения [7]. При увеличении длины волоконного контура зависимость смещения нуля приобретает нелинейный характер, что приводит к необходимости использования нелинейных моделей зависимости от температуры, скорости ее изменения, а также их произведения [8]. Особую популярность в последнее время приобретает использование нейронных сетей для компенсации температурной зависимости выходного сигнала ВОГ от температуры и скорости ее изменения [9,10]. Усложнение моделей компенсации температурного дрейфа ВОГ приводит к неизбежному увеличению вычислительной сложности их реализации в системах реального времени.

Целью настоящей работы является выбор вычислительной экономичной температурной модели, уступающей по эффективности полной модели не более, чем на 10 %, путем исключения составляющих, вносящих малый вклад в эффективность температурной модели. Для того чтобы исключить из модели составляющие, необходимо оценить их вклад в погрешность выходного сигнала. Эта задача не является тривиальной, так как вклад каждой составляющей невозможно оценить независимо от других составляющих модели. Для оценивания вклада каждой из компонент авторами доклада был разработан генетический алгоритм, который позволяет снизить вычислительную сложность модели температурной зависимости смещения нуля ВОГ без значительных потерь в эффективности компенсации.

Генетический алгоритм снижения вычислительной сложности температурной регрессии волоконно-оптического гироскопа. В качестве исходной модели компенсации температурной зависимости смещения нуля ВОГ использовалась полиномиальная регрессия, учитывающая зависимость от температуры и ее первой и второй производных по времени, а также их произведений:

$$U(T, \dot{T}, \ddot{T}) = \sum_{i,j,k}^{0..n} c_{i,j,k} \cdot T^i \cdot \dot{T}^j \cdot \ddot{T}^k, \quad (1)$$

где n – степень полинома, T - температура катушки, измеренная одним ДТ или рассчитанная как среднее по нескольким ДТ, \dot{T}, \ddot{T} - первая и вторая производные температуры по времени, $c_{i,j,k}$ - коэффициенты полинома, i, j, k - значения степени, в которую возводится T, \dot{T}, \ddot{T} . Значения i, j, k выбираются в интервале от 0 до n , таким образом, чтобы их сумма не превышала n .

Суть работы предлагаемого генетического алгоритма заключается в

направленном переборе комбинаций составляющих модели (1). Алгоритм включает в себя этапы: создание начальной популяции; расчет функции силы особи; отбор наиболее сильных особей; скрещивание отобранных особей и получение потомков; мутация потомков; новая итерация алгоритма с потомками в качестве начальной популяции [11]. На этапе расчета функции силы особи происходил подбор коэффициентов каждой из представленных в популяции моделей методом наименьших квадратов, оценка эффективности моделей и их вычислительной сложности. В качестве меры вычислительной сложности использовалось количество операций умножения, используемых в модели температурной компенсации. Мерой эффективности выступало среднеквадратическое отклонение (СКО) погрешности выходного сигнала ВОГ на проверочной выборке (или наборе проверочных выборок) после вычитания температурной модели, коэффициенты которой определялись на обучающей выборке. В качестве критерия оптимальности был выбран минимум вычислительной сложности модели при снижении СКО погрешности выходного сигнала ВОГ не более чем на 10% по отношению к модели, включающей все коэффициенты. Благодаря проверке сложности вычисления предпочтение будет отдаваться наиболее простым моделям, что позволит отсеять компоненты, вносящие малый вклад в точность компенсации, тем самым снижая вычислительную сложность полученной модели.

Результаты работы предложенного алгоритма представлены в таблице 1. Данные представлены относительно максимального смещения нуля некомпенсированного сигнала. В таблице приведены СКО погрешности выходного сигнала без использования температурной компенсации и с использованием полной модели (1) при $n = 5$, включающей в себя 55 коэффициентов. После оптимизации предложенным генетическим алгоритмом модели (1) при $n = 5$, модель включает в себя всего 5 коэффициентов и имеет следующий вид:

$$U(T, \dot{T}, \ddot{T}) = c_1 \cdot T^2 \cdot \dot{T} + c_2 \cdot T \cdot \dot{T} + c_3 \cdot T \cdot \ddot{T} + c_4 \cdot T + c_5 \cdot \ddot{T}. \quad (2)$$

СКО погрешности выходного сигнала с использованием, упрощенной генетическим алгоритмом модели (2) также представлено в таблице 1.

Таблица 1

Метод компенсации	СКО, о.е.	Снижение СКО, раз	Количество коэффициентов	Вычислительная сложность
Без компенсации	0.263	1	0	0
Полная модель (1)	0.082	3.2	55	210
Модель, упрощенная генетическим алгоритмом (2)	0.091	2.9	5	9

Из таблицы видно, что предложенный алгоритм позволяет выбрать экономичную в вычислительном отношении модель, в которой количество операций умножения снижено с 210 до 9, при незначительной потере в точности компенсации.

Заключение. Предложен генетический алгоритм, позволяющий выбрать экономичную в вычислительном отношении модель температурной зависимости смещения нуля ВОГ без значительных потерь в эффективности компенсации.

Литература

1. Lefevre H.C. The Fiber-Optic Gyroscope, Second edition. London: Artech House, 2014.
2. Shupe D.M. Thermally induced nonreciprocity in the fiber-optic interferometer / D.M. Shupe // Applied optics. 1980. 19. P. 654-655.
3. Quatraro E. High performance FOG for non temperature stabilized environment / E. Quatraro and others. // Inertial Sensors and Systems. 2011. P. 1.1-2.14.
4. Драницына Е.В., Егоров Д.А., Унтилов А.А., Дейнека Г.Б., Шарков И.А., Дейнека И.Г. Снижение влияния изменения температуры на выходной сигнал волоконно-оптического гироскопа // Гироскопия и навигация. 2012. № 4. С. 10-20.
5. Никифоровский Д.А., Смирнов Д.С., Деинека И.Г., Никитенко А.Н., Рупасов А.В. Исследование зависимости показаний волоконно-оптического гироскопа от температуры окружающей среды при высоких скоростях изменения температуры // Материалы 32-й конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова. СПб., 2020. С. 21-25.
6. Никифоровский Д.А., Дейнека И.Г., Шарков И.А., Мешковский И.К.Ю. Метод компенсации температурного дрейфа волоконно-оптического гироскопа с использованием корреляционных связей между показаниями гироскопа и нескольких датчиков температуры // Гироскопия и навигация. Том 30. №2 (117), 2022. С. 71-80. DOI 10.17285/0869-7035.0092.
7. Вахрамеев Е.И., Галягин К.С., Ошивалов М.А., Савин М.А. Методика численного прогнозирования и коррекции теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа // Приборостроение. 2017. №1.
8. Gontar D.A., Dranitsyna E. V. Improving the Efficiency of Fiber-Optic Gyro Temperature Sensitivity Compensation // 29th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS). IEEE, 2022. P. 1-3.
9. Климкович Б.В. Влияние случайной погрешности температурных датчиков на качество температурной компенсации смещения нуля ВОГ нейронной сетью // Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28, № 4. С. 53-70.
10. Gontar D.A., Dranitsyna E. V. Compensation for the Temperature Dependence of the FOG Output Signal // IOP. International Workshop Navigation and Motion Control (NMC 2021). 2022. P. 1-5.

11. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы / Под. ред. Тарасевич Ю.Ю.
Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. С. 1-86.