

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Гавенчук А. В.¹, Кузнецов В. Н.¹, Ахмеров А. Х.¹, Васильев А. С.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Дейнека И. Г.¹

¹Университет ИТМО

avgavenchuk@itmo.ru

Введение

В современных прецизионных механических системах наблюдается значительный рост требований к точности позиционирования преобразователей линейных перемещений [1]. Одним из препятствий на пути к повышению точности являются геометрические несовершенства направляющих электромеханических подвижек, которые приводят к отклонению ориентационных углов, задающих положение подвижной платформы в пространстве. При этом колебания платформы увеличивают погрешности расчётов перемещений линейных энкодеров. Традиционные подходы к компенсации такого рода ошибок основываются на математических моделях, характеризующих геометрию поверхностей [2]. Однако такие подходы зачастую не учитывают динамические изменения параметров системы. Перспективным направлением решения данной проблемы является переход к data-driven подходам с использованием концепции краевых вычислений, позволяющей реализовывать обработку данных локально, то есть непосредственно на самом устройстве [3].

Основная часть

В настоящей работе предлагается новый подход к алгоритмической компенсации ошибок оптических линейных относительных энкодеров, вызванных угловыми отклонениями подвижной платформы. Аппаратная часть предлагаемого решения заключается в интеграции в систему инерциального измерительного модуля (IMU) для регистрации угловых скоростей и ускорений. Предварительные исследования показали наличие линейной зависимости между ориентационными углами и ошибкой позиционирования энкодера, что позволяет использовать модели множественной регрессии для компенсации. Однако существенным недостатком MEMS-сенсоров является высокий уровень шумов, который оказывает значительное влияние на точность линейных моделей.

Для устранения этого недостатка используется шумоподавляющий одномерный свёрточный автоэнкодер. Нейросетевая модель обучается восстанавливать «чистый» сигнал, полученных с IMU ориентационных углов, используя в качестве эталонных данные, полученные с помощью лазерного интерферометра. Очищенный от шума сигнал поступает на вход регрессионной модели, вычисляющей поправку положения для энкодера. Одной из особенностей предлагаемого решения является возможность его реализации на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), что позволяет локально выполнять полный цикл обработки в режиме реального времени.

Выводы

Результаты экспериментальной апробации на стенде с подвижкой Thorlabs LTS300C подтвердили высокую эффективность предлагаемого подхода. Применение автоэнкодера позволило повысить отношение сигнал/шум данных инерциального модуля на ~18 дБ. Внедрение компенсирующей поправки привело к снижению среднеквадратичной ошибки позиционирования в среднем с 37 мкм до 5 мкм.

Полученные результаты подтверждают возможность создания автономных интеллектуальных датчиков, способных компенсировать механические несовершенства системы в режиме реального времени без передачи данных во внешнюю среду.

Литература

1. Li R. et al. Real-time trajectory position error compensation technology of industrial robot //Measurement. – 2023. – Т. 208. – С. 112418.
2. Tang H., Duan J., Zhao Q. A systematic approach on analyzing the relationship between straightness & angular errors and guideway surface in precise linear stage //International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2017. – Т. 120. – С. 12-19.
3. Chinta S. Edge AI for real-time decision making in IoT networks //International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. – 2024. – Т. 12. – №. 9. – С. 11293-11309.