

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Физико-механический институт

**Отчёт по лабораторным работам 1 и 2**

по дисциплине «Интервальный анализ»

**«Калибровка чипа быстродействующей аналоговой памяти PCI  
DRS4»**

Выполнил  
студент гр. 5040102/30201

Завьялов И.В.

\_\_\_\_\_

Проверил  
доцент, к.ф.-м.н.

Баженов А.Н.

\_\_\_\_\_

Санкт-Петербург  
2024

# Содержание

<b>1</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Теория</b>	<b>2</b>
2.1	Первый подход: нахождение $\arg \max(\text{Tol})$ . . . . .	2
2.2	Второй метод: нахождение оценки при помощи твинной арифметики . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Результаты</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Заключение</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Код и ресурсы</b>	<b>8</b>

# 1 Постановка задачи

В рамках данной лабораторной работы рассматривается калибровка чипа быстродействующей аналоговой памяти PCI DRS4, который используется в области солнечной энергетики. Этот чип оснащён 8 каналами, каждый из которых содержит 1024 ячейки памяти. Каждая ячейка включает конденсаторы для хранения заряда и электронные ключи для записи сигналов и считывания напряжений через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Ячейки объединены в кольцевые буферы, которые обеспечивают эффективное управление записями и чтением данных.

## Процесс калибровки

1. **Ввод напряжения:** В чип подаётся известное напряжение  $X$ .
2. **Считывание значений:** Для каждого значения  $X$  операция повторяется 100 раз, и считываются полученные значения  $Y$  через АЦП.
3. **Линейная регрессия:** Предполагается линейная зависимость между  $X$  и  $Y$  в виде:

$$Y = B_0 \cdot X + B_1$$

Проводится линейная регрессия для определения коэффициентов  $B_0$  и  $B_1$ .

## 2 Теория

### 2.1 Первый подход: нахождение $\arg \max(\text{Tol})$

Измеренные значения  $Y$  имеют погрешности, поэтому каждое значение  $Y$  следует рассматривать не как точку, а как интервал неопределённости. Центральное значение интервала совпадает с измеренным  $Y$ , а радиус интервала равен:

$$\epsilon = \frac{1}{16535}.$$

Это отражает точность АЦП, используемого в чипе.

Поскольку показания с разных ячеек независимы, можно рассмотреть любую ячейку из всех 8192 (8 каналов по 1024 ячейки). Для выбранной ячейки у нас есть 100 пар значений  $(X, Y)$ , где  $X$  находится в диапазоне  $[-0.5, 0.5]$ , а  $Y$  представлено интервалами с шириной  $\frac{2}{16535}$ .

Для нахождения точечной оценки коэффициентов калибровки используется функционал  $\text{Tol}$ , который измеряет степень соответствия модели данным с учётом погрешностей:

$$\text{Tol}(x, A, B) = \min(\text{rad}(b_i) - |\text{mid}(b_i) - (A \cdot x + B)|),$$

где:

- $\text{rad}(b_i)$  — радиус интервала измерения  $Y_i$ ,
- $\text{mid}(b_i)$  — центральное значение интервала измерения  $Y_i$ ,
- $A$  и  $B$  — текущие оценки коэффициентов  $B_0$  и  $B_1$ .

Допусковое множество решений определяется как набор всех параметров  $x$ , для которых функционал  $\text{Tol}$  положителен:

$$\{x \in \mathbb{R}^n \mid \text{Tol}(x, A, B) \geq 0\}.$$

Это означает, что модель полностью согласуется с измеренными данными, учитывая погрешности.

В случаях, когда система уравнений оказывается несовместной, необходимо увеличить радиусы интервалов измерений до тех пор, пока система не станет совместной. Это достигается путём "расширения" интервалов  $Y$ , что позволяет функционалу  $\text{Tol}$  стать неотрицательным для всех измерений.

## 2.2 Второй метод: нахождение оценки при помощи твинной арифметики

### Недостатки первого метода

- **Расширение интервалов:** При увеличении интервалов возникает значительная погрешность, так как интервалы растягиваются в обе стороны.
- **Точечная оценка:** Первый метод предоставляет лишь точечную оценку коэффициентов  $B_0$  и  $B_1$ , что может быть недостаточно информативно.

Используется твинная арифметика для более точной оценки параметров. Основные шаги метода:

### 1. Группировка данных:

- Для каждого значения  $X$  собирается 100 значений  $Y$ .
- Для каждой группы значений строится боксплот Тьюки, который позволяет определить внешние и внутренние оценки значений  $Y$ .

**2. Построение интервалов:** На основе боксплотов формируются интервалы для  $Y$  для каждого  $X$ .

**3. Распознающий функционал Tol:** Функционал Tol создаётся на основе новых интервалов:

$$\text{Tol}(x, A, B) = \min(\text{rad}(b_i) - |\text{mid}(b_i) - (A \cdot x + B)|),$$

где  $\text{rad}(b_i)$  и  $\text{mid}(b_i)$  определяют радиус и центральное значение интервала  $Y_i$ , а  $A$  и  $B$  — текущие оценки коэффициентов.

#### 4. Условия:

- Если  $\text{Tol}(\arg \max(\text{Tol})) = 0$ , то найденные коэффициенты считаются оптимальными.
- Если  $\text{Tol} > 0$ , то возвращается множество коэффициентов, удовлетворяющих этому условию.
- Если  $\text{Tol} < 0$ , то соответствующие строки из матрицы  $A$  и вектора  $b$  исключаются, и процесс повторяется для достижения совместимости системы.

## 3 Результаты

В ходе эксперимента каждому датчику в чипе были присвоены соответствующие коэффициенты  $B_0$  и  $B_1$  в зависимости от его положения (координаты канала и ячейки).

Результаты для датчиков с координатами  $(3, 600)$  и  $(3, 500)$  изображены на рисунках 1-6.

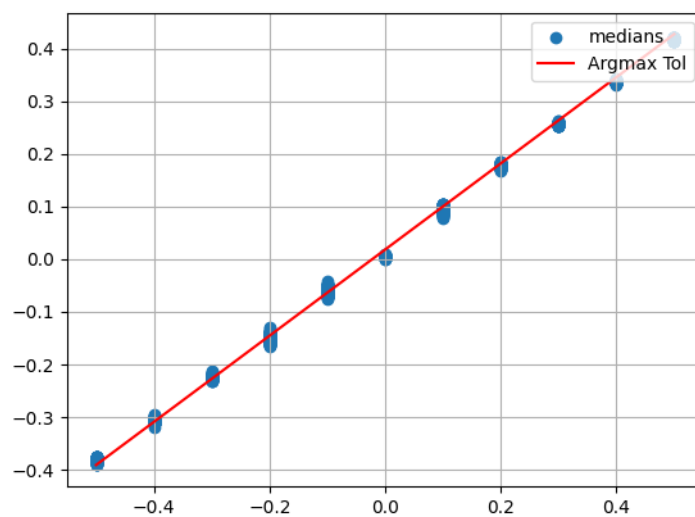


Рис. 1: Регрессионная прямая для датчика (3, 600) полученная методом  $\arg \max(\text{Tol})$

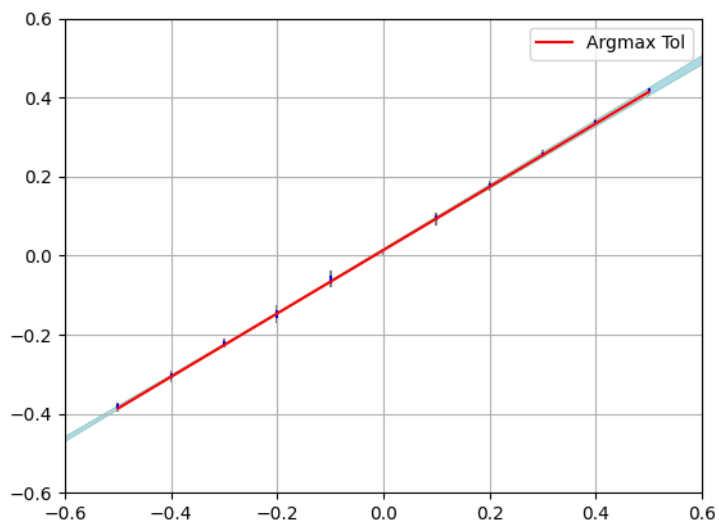


Рис. 2: Регрессионная прямая для датчика (3, 600) полученная вторым методом

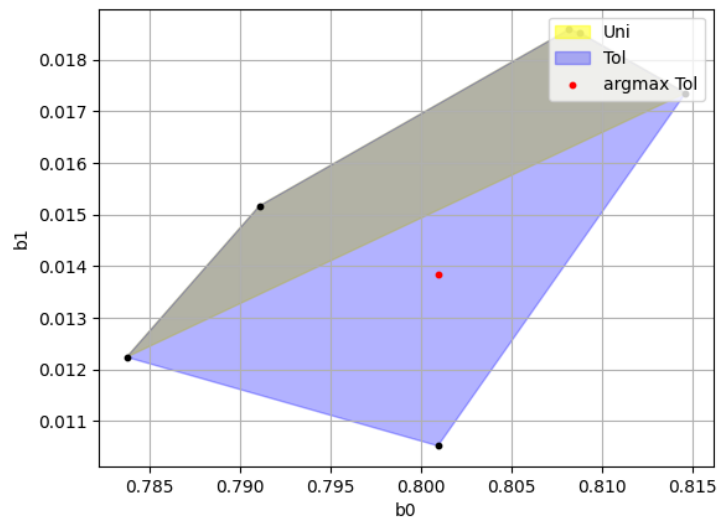


Рис. 3: Tol, Uni и  $\text{argmax Tol}$  для датчика (3, 600)

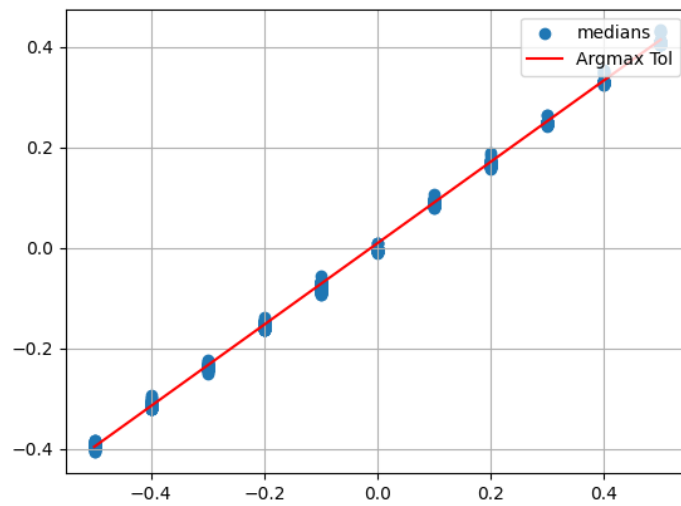


Рис. 4: Регрессионная прямая для датчика (3, 500) полученная методом  $\text{arg max}(\text{Tol})$

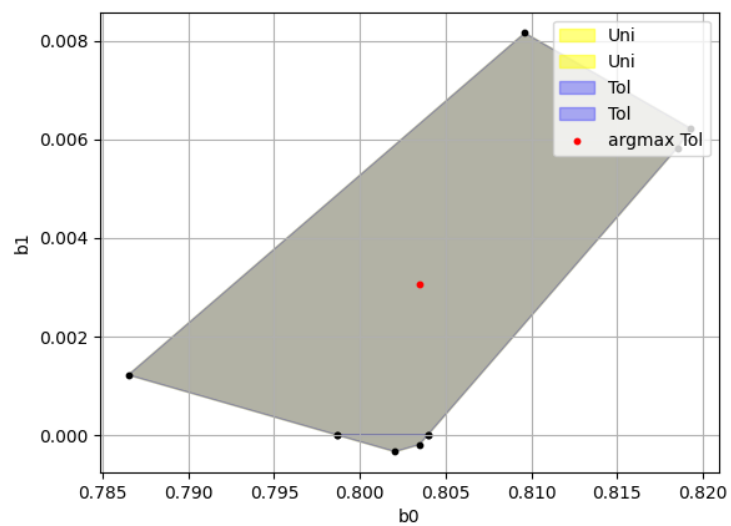


Рис. 5: Регрессионная прямая для датчика (3, 500) полученная вторым методом

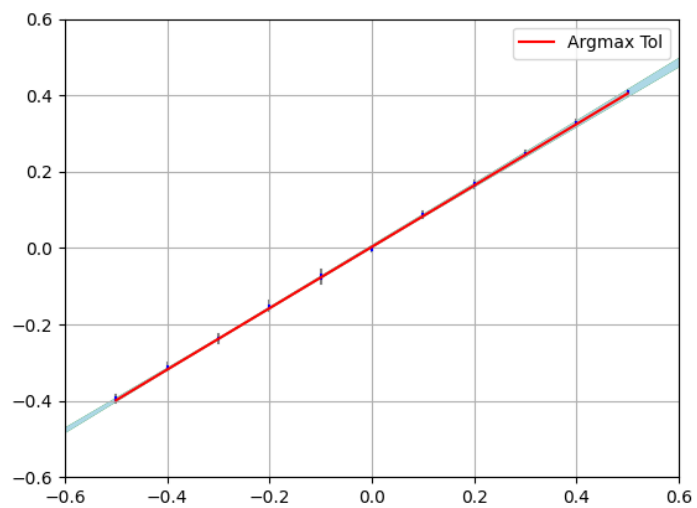


Рис. 6: Tol, Uni и argmaxTol для датчика (3, 500)



Анализ представленных графиков и результатов показал, что оба метода калибровки выполняют свою работу корректно. Хотя результаты двух методов близки, небольшие различия могут быть обусловлены особенностями каждого подхода:

- **Первый метод:** Позволяет быстро получить точечные оценки коэффициентов, но может приводить к значительным погрешностям при расширении интервалов.
- **Второй метод:** Обеспечивает более точные оценки и устойчивость к выбросам благодаря использованию твинной арифметики и более аккуратному подходу к обработке данных.

Кроме того, различия в количестве выбросов между датчиками указывают на необходимость дополнительного анализа причин таких отклонений, возможно, связанных с техническими характеристиками конкретных ячеек или каналов чипа.

## 4 Заключение

В ходе лабораторной работы были изучены и реализованы два метода калибровки чипа PCI DRS4 с использованием интервального анализа. Оба подхода показали свою эффективность в условиях погрешностей измерений, но второй метод с твинной арифметикой продемонстрировал большую точность и устойчивость к выбросам. Эти методы позволяют учитывать неопределённость данных и обеспечивают надёжную калибровку параметров модели, что важно для точной работы аналогово-цифровых преобразователей в системах солнечной энергетики.

## 5 Код и ресурсы

Код проекта доступен в публичном репозитории на GitHub.  
<https://github.com/IlyaZawyalow/intval>