

УДК 21.3.049.77–048.24:537.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ

С.А. САЛАХЛЫ, А.Н. ОСИПОВ, В.С. ГАВРИЛЕНКО, Е.А. ЗУЕВ

*Белорусский государственный университет информатики и электроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В статье предложен подход к моделированию помехоустойчивого алгоритма для измерения концентрации глюкозы в крови с использованием кодов Баркера и псевдослучайных последовательностей. Основное внимание уделено повышению точности измерений в условиях высокого уровня шумов, что особенно важно для энергоэффективных подкожных глюкозных сенсоров, работающих на низкой интенсивности флуоресценции. Разработанный метод направлен на улучшение соотношения сигнал/шум и предназначен для применения в системах непрерывного мониторинга глюкозы (CGM).

Ключевые слова: алгоритм измерения глюкозы, подкожные глюкозные сенсоры, помехоустойчивость, псевдослучайная последовательность, флуоресцентный метод, моделирование, белый шум, точность измерения глюкозы, непрерывный мониторинг глюкозы.

MODELING OF THE GLUCOSE MEASUREMENT ALGORITHM

S.A. SALAHLY, A.N. OSIPOV, V.S. GAVRILENKO, E.A. ZUEV

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. The article proposes an approach to modeling a noise-resistant algorithm for measuring blood glucose concentration using Barker codes and pseudorandom sequences. The main attention is paid to improving the accuracy of measurements in conditions of high noise levels, which is especially important for energy-efficient subcutaneous glucose sensors operating at low fluorescence intensity. The developed method is aimed at improving the signal-to-noise ratio and is intended for use in continuous glucose monitoring (CGM) systems.

Keywords: glucose measurement algorithm, subcutaneous glucose sensors, noise immunity, pseudorandom sequence, fluorescent method, modeling in python, white noise, glucose measurement accuracy, continuous glucose monitoring.

Введение

Системы непрерывного мониторинга глюкозы (CGM) постепенно становятся стандартом для пациентов, нуждающихся в постоянном контроле уровня сахара в крови. Эти устройства обеспечивают постоянную обратную связь, позволяя оперативно реагировать на изменения уровня сахара в крови. В то же время создание энергоэффективных и точных сенсоров, способных работать в условиях низкого уровня флуоресценции, остается сложной задачей, требующей инновационных решений.

Методика проведения моделирования

Проблема точного измерения уровня глюкозы осложняется шумами, которые возникают при работе с низкоэнергетическими сенсорами. Для преодоления этой трудности был предложен метод, основанный на использовании псевдослучайных последовательностей и кодов Баркера. Коды Баркера представляют собой короткие последовательности двоичных чисел, известные своей способностью минимизировать автокорреляцию, что делает их идеальными для применения в системах, требующих высокой помехоустойчивости. В данном методе флуоресцентный сенсор облучается по псевдослучайной схеме, что позволяет получить отклик в форме сигнала, модулированного этой последовательностью.

Сначала генерируется входной сигнал, представляющий собой заданную m -последовательность. Этот сигнал, используемый для моделирования облучения геля в сенсоре, вызывает флуоресценцию, интенсивность которой пропорциональна амплитуде облучающего сигнала. Программа затем добавляет белый шум к модулированному сигналу, моделируя реальные условия измерений, где шум существенно влияет на точность определения концентрации глюкозы. Шумовые искажения вызывают проблемы при обработке сигнала, что делает применение помехоустойчивых алгоритмов особенно важным.

На следующем этапе сигнал умножается на код Баркера. Код Баркера помогает усилить сигнал относительно шума, так как его структура позволяет компенсировать нежелательные колебания, вызванные шумом. Затем выполняется суммирование результатов, что позволяет выделить информацию о концентрации глюкозы, сохраняя высокое отношение сигнал/шум. Эта методика особенно эффективна при низкой интенсивности флуоресценции, что актуально для энергосберегающих сенсоров.

Заключительный шаг алгоритма заключается в вычислении итоговой величины концентрации глюкозы путем интеграции полученного сигнала. Итоговая амплитуда сигнала используется для оценки уровня глюкозы, что позволяет сравнить результаты с фактическими данными и оценить точность предложенного метода. Таким образом, предлагаемый алгоритм успешно решает задачу повышения помехоустойчивости, а использование псевдослучайных последовательностей делает его особенно эффективным для низкоэнергетических сенсоров.

Результаты моделирования

Для иллюстрации процесса был разработан код на языке Python, который моделирует все этапы алгоритма. На первом графике (рисунок 1) показан входной сигнал, представляющий собой синусоидальный сигнал, смоделированный для изучения поведения флуоресцентного отклика.

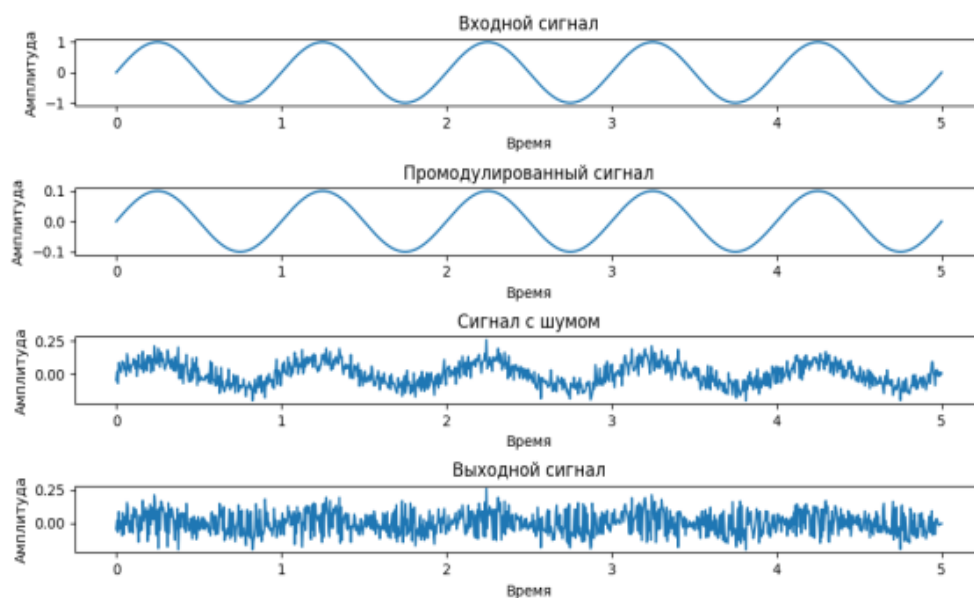


Рис. 1. Процесс модуляции и фильтрации сигнала

Далее, во втором графике, представлен промодулированный сигнал, который был ослаблен, чтобы отразить низкую интенсивность флуоресценции, характерную для низкоэнергетических сенсоров. Этот шаг имитирует ограниченность энергии в реальных устройствах и позволяет пронаблюдать влияние слабых сигналов на точность измерения.

Третий график демонстрирует результат добавления шума к сигналу и отражает реальные условия измерения, где сигнал оказывается под влиянием помех. Этот этап позволяет

показать, как шум ухудшает соотношение сигнал/шум и насколько затрудняется точное измерение концентрации глюкозы.

На заключительном графике представлено применение кода Баркера, который, будучи наложен на шумный сигнал, улучшает его помехоустойчивость. Этот процесс имитирует умножение промодулированного сигнала на код Баркера, что усиливает полезный сигнал и снижает влияние шума. Выходной сигнал после обработки с помощью кода Баркера обладает улучшенным отношением сигнал/шум, что делает его пригодным для дальнейшей обработки и получения более точного значения концентрации глюкозы.

В заключении алгоритма проводится суммирование итоговых значений, что позволяет вычислить концентрацию глюкозы. Результат, представленный на последнем графике, иллюстрирует улучшенное качество сигнала и демонстрирует эффективность предложенного алгоритма.

Заключение

Разработанный алгоритм моделирования измерения уровня глюкозы с применением кодов Баркера и псевдослучайных последовательностей демонстрирует высокую помехоустойчивость и низкое энергопотребление, что делает его пригодным для использования в современных медицинских сенсорах. Дальнейшее тестирование на реальных данных необходимо для окончательной оценки его надёжности и точности.

Список литературы

1. Комплект системы Eversense E3 CGM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://global.eversenseddiabetes.com/patienteducation/eversense-user-guides/>
2. Обзор существующих методов и аппаратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://global.eversenseddiabetes.com/patient-education/eversense-user-guides/>
3. Процедура введения датчика и подготовки пациента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://global.eversenseddiabetes.com/healthcare-providers/healthcare-provider-resource-page/#toggle-id-1>
4. Система постоянного мониторинга глюкозы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.diacheck.ru/product/sistemapostoyannogo-monitorirovaniya-glyukozy-ipro2-model-mmt-7745>
5. Датчик компании Abbott [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.freestylelibre.ru/libre/products/sensors.html>
6. Датчик компании Dexcom, CGM-система G4 Platinum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dexcom.by/пошаговаяинструкция-по-установке-nightscout/>
7. Medtronic с платформами MiniMed 640G и 530G [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.medtronicdiabetes.com/ru-RU/support/manuals>