



УДК 621.38

ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ СЕРДЦЕБИЕНИЯ: УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ

Валидов Азамат Рафисович

студент 4-го курса, направление «Медицинская физика»

Орлов Алексей Вениаминович

доцент, кандидат технических наук,

Стерлитамакский филиал Уфимского Университета Науки и Технологий

Россия, г. Стерлитамак

Аннотация. В статье кратко рассмотрены принципы работы оптического датчика сердечного ритма, основанного на фотоплетизмографии. Описаны состав датчика, способы измерения пульса, основные этапы обработки сигнала и факторы, влияющие на точность измерений. Показано, что технология широко применяется в фитнес-браслетах, смарт-часах и медицинских приборах.

Ключевые слова: фотоплетизмография, датчик пульса, оптический датчик, фитнес-браслет, смарт-часы, измерение сердечного ритма, пульсоксиметрия, обработка сигнала.

OPTICAL HEARTBEAT SENSORS: DESIGN AND OPERATING PRINCIPLE

Validov Azamat Rafisovich

4th-year student, Medical Physics

Orlov Alexey Veniaminovich

Associate Professor, PhD in Engineering,

Sterlitamak Branch of the Ufa University of Science and Technology

Sterlitamak, Russia

Abstract. This article briefly examines the operating principles of an optical heart rate sensor based on photoplethysmography. The sensor composition, pulse measurement methods, main stages of signal processing, and factors affecting measurement accuracy are described. It is shown that this technology is widely used in fitness bands, smartwatches, and medical devices.

Keywords: photoplethysmography, pulse sensor, optical sensor, fitness band, smartwatch, heart rate measurement, pulse oximetry, signal processing.

Контроль сердечного ритма — одна из ключевых задач современной медицины и спортивной физиологии. Ещё несколько десятилетий назад измерение пульса требовало специализированного оборудования или ручного подсчёта ударов. Сегодня крошечный датчик на

запястье умных часов способен непрерывно отслеживать сердцебиение с высокой точностью. Основу подавляющего большинства таких устройств составляет технология фотоплетизмографии (ФПГ, англ. photoplethysmography, PPG) — неинвазивный оптический метод регистрации изменений объема крови в тканях.

Оптические датчики сердечного ритма сегодня встроены в фитнес-браслеты, смарт-часы, пульсоксиметры, медицинские мониторы и даже смартфоны. Понимание принципов их работы необходимо как инженерам, проектирующим подобные устройства, так и пользователям, желающим правильно интерпретировать получаемые данные.

Фотоплетизмография основана на том, что при каждом сокращении сердца изменяется объем крови в сосудах, а вместе с ним — оптические свойства ткани. Во время систолы кровенаполнение увеличивается, а в диастолу уменьшается, поэтому интенсивность отражённого или прошедшего через ткань света периодически меняется. Основным оптически активным компонентом крови является гемоглобин, поглощающий свет в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Различают два режима измерения: трансмиссионный и рефлексный. В трансмиссионном режиме свет проходит через ткань, а в рефлексном — отражается от неё, что позволяет использовать датчики на запястье и других участках тела. Именно рефлексный режим наиболее распространён в носимых устройствах, поскольку он удобен для повседневного мониторинга.

Оптический датчик сердечного ритма обычно включает светодиод, фотодиод, усилитель и аналого-цифровой преобразователь. В потребительских устройствах часто применяются зелёные светодиоды, так как они обеспечивают хороший контраст пульсового сигнала и позволяют точно отслеживать ЧСС. В медицинских приборах нередко используют красный и инфракрасный свет, особенно когда требуется одновременно оценить насыщение крови кислородом.

Фотодиод преобразует отражённый свет в электрический сигнал, который затем усиливается и оцифровывается. Так как полезная пульсовая составляющая очень мала по сравнению с постоянной, система требует малошумящей электроники и точной оптической компоновки. Для повышения качества измерений применяются экранирование, геометрическое разнесение источника и приёмника, а также использование нескольких светодиодов разной длины волны.

Сырой сигнал фотоплетизмограммы содержит постоянную и переменную составляющие. Постоянная часть связана со статическими тканями, а переменная отражает пульсовую волну, по которой определяют частоту сердечных сокращений. Для выделения полезного сигнала применяются фильтрация, нормирование и поиск пиков, после чего рассчитываются интервалы между сердечными сокращениями.



Главной проблемой носимых датчиков остаются артефакты движения. При физической активности полезный сигнал может искажаться из-за смещения датчика и тряски руки. Для компенсации помех используются акселерометры, адаптивные алгоритмы и методы машинного обучения. Дополнительно по форме пульсовой волны можно оценивать вариабельность сердечного ритма и некоторые другие физиологические параметры.

Оптические датчики сердечного ритма стали важной частью современной медицины и носимой электроники. Их работа основана на фотоплетизмографии — удобном и безопасном методе, позволяющем непрерывно регистрировать пульс и дополнительные физиологические показатели. Дальнейшее развитие технологии связано с повышением точности измерений, улучшением компенсации движения и расширением набора диагностических возможностей, включая анализ стресса, вариабельности ритма и других параметров.

Список литературы:

1. Рогаткин Д.А. Физические основы оптических методов неинвазивной медицинской спектрофотометрии // Медицинская физика. — 2007. — № 1 (33). — С. 4–18.
2. Фёдоров В.В., Ильницкий А.Н. Фотоплетизмография в диагностике нарушений периферического кровообращения // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. — 2010. — Т. 9, № 4. — С. 101–106.
3. Лоцилов Ю.А. Неинвазивные методы мониторинга жизненно важных функций организма. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 240 с.
4. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement // Physiological Measurement. — 2007. — Vol. 28, No. 3. — P. R1–R39. — DOI: 10.1088/0967-3334/28/3/R01.
5. Tamura T. Current progress of photoplethysmography and SpO₂ for health monitoring // Biomedical Engineering Letters. — 2019. — Vol. 9, No. 1. — P. 21–36. — DOI: 10.1007/s13534-019-00097-w.
6. Mendelson Y. Pulse oximetry: theory and applications for noninvasive monitoring // Clinical Chemistry. — 1992. — Vol. 38, No. 9. — P. 1601–1607.