

УДК 534.292

**АППАРАТ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРАПИИ.
КОНТРОЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И МОНИТОРИНГ
ПОЛОЖЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА**

Ю.А. Андронникова, П.В. Сорокин

Томский политехнический университет

E-mail: juliasemushkina@gmail.com

Андронникова Юлия Александровна, бакалавр техники и технологии по направлению «Биомедицинская инженерия», магистр кафедры промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.

E-mail:

juliasemushkina@gmail.com

Область научных интересов: ультразвуковая дефектоскопия.

Сорокин Павел Владимирович, доцент, преподаватель кафедры промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.

E-mail: spv@tpu.ru

Область научных интересов: ультразвуковой неразрушающий контроль, математическое моделирование.

Ультразвуковая терапия применяется для лечения многих заболеваний, но любое воздействие на организм нарушает процессы, протекающие в нем, поэтому нужно контролировать величину дозы воздействия. При контроле минимальной и достаточной дозы нужно учитывать человеческий фактор, который влияет на угол и скорость передвижения ультразвуковой манипулы. Данные параметры влияют на количество дозы излучения, дошедшей до нужного места. Контроль передвижения и положения манипулы осуществляется с использованием определения движения, основанного на принципе работы лазерной мыши, и угла ввода ультразвука путем встраивания в систему акселерометра. При симбиозе методики контроля и программного обеспечения можно свести к минимуму человеческий фактор и уменьшить воздействие ультразвука на человеческий организм до определенной нормы и производить обучение работе с ультразвуковой аппаратурой.

Ключевые слова:

Ультразвуковая терапия, контроль перемещения, мониторинг наклона, ультразвуковая манипула, акселерометр, лазерный контроль.

Введение

Впервые в медицине ультразвук начали применять в качестве метода лечения в конце 1920-х – начале 1930-х годов. На заре эры ультразвука эта методика считалась панацеей от всех болезней. Применялся ультразвук для излечения от суставных болей, язв желудка, экземы, астмы, тиреотоксикоза, геморроя, недержания мочи, слоновости и даже стенокардии.

В настоящее время ультразвук используют практически во всех сферах медицинской терапии [1]: в травматологии и ортопедии – для лечения последствий травм органов опорно-двигательного аппарата; в урологии – воздействие на пораженный орган с помощью внутрисполостных излучателей; в гинекологии – применяют внеполостные и полостные (влагалищные) методики; в офтальмологии – при свежих рубцах кожи и век, иридоциклитах, склеритах, инфильтратах и свежих помутнениях роговицы, частичной атрофии нерва зрительной системы, пигментном поражении сетчатки; в дерматологии – при трофических изменениях кожи, нейро-дермитах, рубцово-спаечных процессах; в отоларингологии – для лечения заболеваний уха, горла и носа. Используют лабильную (проводят на кожу области поражения) или стабильную (эндонозально) методику. Также ультразвук нашел применение в стоматологии: при артрите, гайморите, ограничении движений жевательных мышц, пародонтите, пародонтозе, а также для обработки простых и гнойных ран.

Основы ультразвуковой терапии

Ультразвуковая терапия основана на применении в лечебных целях механических колебаний высокой частоты – от 15...20 до 3000 кГц; наиболее часто используются частоты от 880 до 3000 кГц [2]. В зависимости от частоты излучения изменяется и глубины проникновения

ультразвука в среду: при частоте излучения 3 МГц проникновение осуществляется на глубину 1...2 см (лечение заболеваний и дефектов кожи), при 800 кГц – проникновение на глубину 4...6 см, а при 22 кГц – проникновение на глубину 8...10 см, которое используется для лечения глубоко расположенных тканей (мышц, внутренних органов) [3].

Терапия ультразвуком характеризуется не только частотой ультразвукового сигнала, но и его интенсивностью. В медицине принято выделять несколько групп интенсивностей [4]:

- 1) малая ($0,05...0,40 \text{ Вт/см}^2$) – озвучивание сегментарных зон, точек акупунктуры, при лечении детей и пожилых пациентов, в остром периоде заболевания;
- 2) средняя ($0,5...0,8 \text{ Вт/см}^2$) – подострые и хронические фазы патологического процесса, обезболивающее действие, рассасывание плотных инфильтратов, спаек, для ультрафонофореза;
- 3) большая ($0,9...1,2 \text{ Вт/см}^2$) – дробление конкрементов, лечение рубцов.

Специфика воздействия ультразвука

Воздействие ультразвуком в терапевтических целях опирается на тепловые и нетепловые эффекты ультразвуковых волн.

К тепловым эффектам относится нагрев глубоко расположенных тканей. Благодаря высокому поглощению ультразвука тканями с большими молекулами, каковыми являются ткани, содержащие коллаген, прослеживается заметное нагревание последних, что чаще всего и используется при физиотерапии. При таком воздействии происходит:

- *увеличение растяжимости коллагенсодержащих тканей.* Позволяет восстановить мягкую ткань, увеличить эластичность рубцовой ткани благодаря уменьшению контрактуры, возникающей из-за повреждений и ограничивающей движения;
- *повышение подвижности суставов.* Для нагрева сустава, который окружен большим слоем мягких тканей, ультразвук подходит больше, так как он лучше других форм энергии, вызывающей разогрев, проникает в мышечную ткань;
- *болеутоляющее действие.* При ультразвуковой терапии обезболивающий эффект может быть как длительным, так и кратковременным.
- *изменения кровотока.* Благодаря местному расширению сосудов увеличивается поступление кислорода в ткань и, следовательно, улучшаются условия, в которых находятся данные клетки;
- *уменьшение мышечного спазма.* Данный эффект обусловлен успокаивающим действием повышения температуры на нервные окончания.

Нетепловые эффекты делятся на периодические и непериодические. Периодические эффекты возникают из самой природы колебательного процесса звукового поля и могут рассматриваться как микромассаж, непериодические – это акустические течения, которые возникают в интенсивном звуковом поле в газах и жидкостях. Данные течения возникают при неоднородностях поля и возле препятствий по пути распространения звуковой волны. Они могут оказывать влияние на среду около мембран, изменяя тем самым градиенты концентраций и воздействуя на диффузию ионов через мембраны [3].

Контроль перемещения и мониторинг положения ультразвукового датчика

Ультразвуковая терапия является эффективной при лечении широкого спектра заболеваний, но в настоящее время диагностика положительного результата проводится лишь после проведения сеансов, что является неудобным как для врача, так и для пациента, снижая эффективность и увеличивая количество лечебных процедур. Для повышения эффективности терапевтического эффекта, обеспечения защиты от ожогов в случае задержки манипулы на одном месте длительное время и минимализации вводимого ультразвукового излучения в человеческий организм необходимо проводить контроль перемещения и положения манипулы, тем самым исключая человеческий фактор.

Контроль перемещения ультразвукового излучателя основан на принципе действия лазерной мыши. С помощью светодиода и оптической системы, фокусирующей его свет, под ма-

нипулой освещается участок поверхности. Свет, отраженный от этой поверхности, собирается оптической системой и попадает на сенсор процессора обработки изображений (рис. 1). Оптический сенсор делает снимки поверхности с высокой частотой. Причем микросхема (оптический сенсор) не только делает снимки, но и сама их обрабатывает, так как имеет в своем составе две части: систему получения изображения и интегрированный DSP-процессор для обработки снимков.

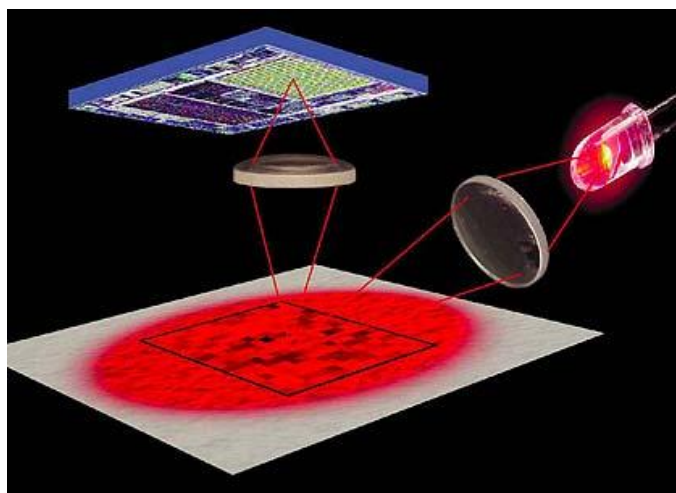


Рис. 1. Принцип работы лазерной мыши

На основе анализа череды снимков DSP-процессор вычисляет конечные показатели, которые характеризуют изменение направления перемещения мыши вдоль осей X и Y , и передает результаты вовне по последовательному порту [5]. Данный метод является решением для контроля перемещения излучателя, но имеет и недостаток – невозможность контроля положения пьезоизлучателя, т. е. его угла наклона, который, в свою очередь, характеризует угол ввода излучения, что также влияет на результат лечения.

Для контроля наклона излучателя используется трехосный акселерометр, который позволяет определять ускорение, действующее в направлении осей X , Y , Z .

На сегодняшний день используются три технологии построения акселерометра [6]:

- *пьезоэлектрические акселерометры* – имеют широкий частотный диапазон (от нескольких Гц до 30 кГц), могут использоваться для измерения как удара, так и вибрации;
- *пьезорезистивные акселерометры* – имеют малый диапазон чувствительности, поэтому подходят для детектирования ударов;
- *акселерометры на переменных конденсаторах* – имеют высокую чувствительность, узкую полосу пропускания (от 15 до 3000 Гц) и обладают прекрасной температурной стабильностью. Используются для измерений низкочастотной вибрации, движения и фиксированного ускорения.

Поскольку при ультразвуковой терапии движения нужно осуществлять очень плавно, то перемещения в единицу времени будут незначительными, поэтому целесообразно использовать акселерометр на переменных конденсаторах.

Принцип действия емкостного акселерометра основан на изменении емкости чувствительного элемента с электродами при перемещении инерционной массы, являющейся его составной частью, под действием ускорения. Ускорение изменяет расстояние d между обкладками и, следовательно, емкость конденсатора. Датчик преобразует изменение емкости в выходной сигнал. Таким образом, емкостной сенсорный элемент представляет собой два фиксированных электрода, между которыми подвешена подвижная обкладка, нагруженная инерционной массой, являющейся общим электродом емкостного полумоста (рис. 2) [7].

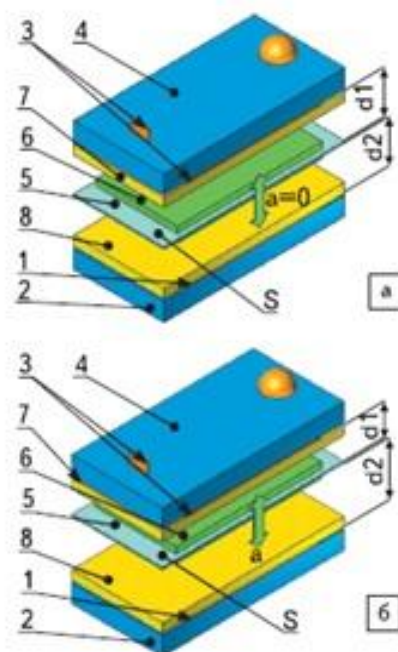


Рис. 2. Иллюстрация измерительного принципа дифференциального емкостного акселерометра: *а, б* – физическая модель измерительной структуры: 1, 3 – неподвижные металлические обкладки; 2, 4 – зафиксированные печатные платы; 5 – подвижная обкладка; 6 – инерционная масса; 7, 8 – слои диэлектрика; *S* – фиксированная площадь перекрытия обкладок; *d1, d2* – переменные расстояния между обкладками; *а* – состояние покоя; *б* – под действием ускорения

Данный модуль может быть состыкован с уже существующими устройствами для ультразвуковой терапии (рис. 3).

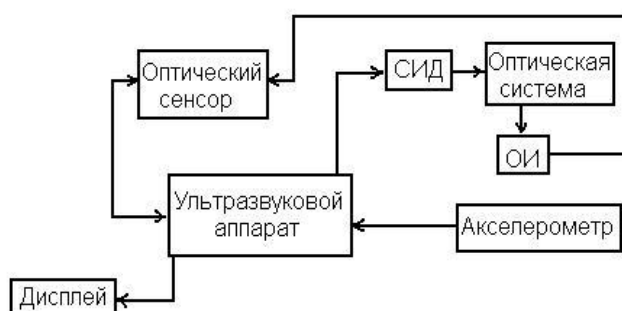


Рис. 3. Структурная схема модуля и его взаимодействия с ультразвуковой системой

С помощью оптической системы, светоизлучающего диода (СИДа) и оптического сенсора осуществляется контроль перемещения манипулы в одной плоскости. Оптический сенсор по каналу USB передает обработанную информацию ультразвуковому аппарату, который, анализируя и преобразуя данные, выводит на экран картинку облучаемого органа и прогресс вводимой дозы излучения в единичную область путем изменения цвета данной области на дисплее. Система контроля передвижения манипулы подпитывается от ультразвукового аппарата.

Для контроля положения излучателя применяется модуль с акселерометром, который также передает данные об угле ввода излучения в ультразвуковой аппарат.

Заключение

Таким образом, благодаря акселерометру и оптическому сенсору можно контролировать перемещение и производить мониторинг положения ультразвуковой манипулы.

При симбиозе данной методики контроля и программного обеспечения можно реализовать контроль дозы вводимого излучения путем отображения на экране области для лечения (одним цветом), которая при достигнутой вводимой дозе излучения будет менять свой цвет. Данная методика позволит свести к минимуму человеческий фактор и уменьшить воздействие ультразвука на человеческий организм до определенной нормы.

Также благодаря этому модулю можно производить обучение персонала работе с ультразвуковой аппаратурой: правильности перемещения и наклона манипулы в определенной области ввода излучения, количеству времени, необходимого для воздействия ультразвука на зону лечения без ввода лишней дозы излучения, достигая тем самым положительных результатов и соблюдая принцип «не навреди».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваш доктор / Ультразвуковая терапия (УЗТ). – URL: http://www.vashdoctor-omsk.ru/Fizioterapiya__massaj/Ultrazvukovaya_terapiya__UZT (дата обращения: 14.12.2014)
2. ДГВМУ / Теоретические основы ультразвуковой терапии. – URL: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=131537> (дата обращения 15.12.2014)
3. Хилл К. Применение ультразвука в медицине: Физические основы. – М.: Мир, 1989. – 568 с.
4. U-SONIC.ru / Воздействие ультразвука на живые системы. Ультразвук и биологические системы. – URL: <http://u-sonic.ru/book/export/html/964> (дата обращения 13.12.2014).
5. IXBT / С точки зрения оптических мышей... – URL: <http://www.ixbt.com/peripheral/mice-sensor.shtml> (дата обращения 14.12.2014).
6. Сенсорика / Как правильно выбрать акселерометр. – URL: <http://www.sensorica.ru/docs/art2.shtml> (дата обращения 13.12.2014).
7. Компоненты и технологии / Автомобильные акселерометры. Ч. 4. Развитие технологий и элементной базы емкостных акселерометров. – URL: http://kit-e.ru/articles/sensor/2006_3_10.php (дата обращения 15.12.2014).

Поступила 26.01.2015 г.