

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ СИМПТОМОВ COVID-19 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WI-FI

Володин Д.С.¹, Киреев К.В.²

¹Володин Дмитрий Сергеевич – студент четвертого курса факультета информационных технологий и электроники Пензенского Государственного Университета

²Киреев Кирилл Васильевич – студент четвертого курса факультета информационных технологий и электроники Пензенского Государственного Университета

г. Пенза, Российская Федерация

Аннотация: нынешняя атипичная пневмония – CoV-2, более известная как COVID-19, превратилась в серьезную пандемию с опасными для жизни клиническими проявлениями и высоким уровнем смертности. В этой статье исследуется возможность мониторинга частоты дыхания (RR) пациентов с COVID-19 с использованием широко доступной технологии в домашних условиях – Wi-Fi. Используя сигналы Wi-Fi на дому, мы предлагаем Wi-COVID, технологию для мониторинга пациента и отслеживания RR для поставщика медицинских услуг.

Ключевые слова: COVID-19, сигналы Wi-Fi, сквозная система, частота дыхания.

COVID-19 SYMPTOM DETECTION SYSTEM USING WI-FI

Volodin D.S.¹, Kireev K.V.²

¹Volodin Dmitry Sergeevich – fourth-year student of the Faculty of Information Technology and Electronics of Penza State University

²Kireev Kirill Vasilevich – fourth-year student of the Faculty of Information Technology and Electronics of Penza State University

Penza, Russian Federation

Abstract: the current SARS-CoV-2, better known as COVID-19, has become a serious pandemic with life-threatening clinical manifestations and a high mortality rate. It is also important to develop technologies using the Internet that can help track and

monitor diagnosed COVID-19 patients from their homes. This article explores the possibility of monitoring the respiratory rate (RR) of patients with COVID-19 using a widely available technology at home – Wi-Fi. Using Wi-Fi signals at home, we offer Wi-COVID, a technology for patient monitoring and RR tracking for a healthcare provider.

Keywords: COVID-19, Wi-Fi signals, end-to-end system, respiratory rate.

УДК 62-768

Коронавирус – это большое семейство вирусов, которые могут заражать человека и распространяться среди людей во многих странах [1]. Клинический спектр инфекции COVID-19, по-видимому, широк, охватывая бессимптомную инфекцию, легкое заболевание верхних дыхательных путей и тяжелую вирусную пневмонию с дыхательной недостаточностью и даже смертью [2]. Легочная функция, такая как частота дыхания (RR), тестирование является способом измерения влияния COVID-19. RR-это количество вдохов, которые человек делает за минуту, которая обычно измеряется, когда человек находится в состоянии покоя. RR просто включает в себя подсчет количества вдохов в течение одной минуты, основываясь на том, сколько раз поднимается грудная клетка [3]. RR может увеличиваться при лихорадке, болезни и других заболеваниях. Для случаев COVID-19 RR важен для определения легочной активности пациентов, поскольку аномальные измерения могут указывать на ухудшение состояния пациента [4].

Измерение RR обычно включает в себя опыт практикующего врача, поэтому оно обычно выполняется в больнице. Однако из-за клинической чрезвычайной ситуации, вызванной COVID-19, RR и легочный функциональный анализ диагностированных лиц увеличивает риск заражения. Из-за высокого риска развития у диагностированных пациентов тяжелого респираторного дистресса желательно наблюдение за этими пациентами в режиме реального времени. Даже Управление по контролю за продуктами и лекарствами (FDA) разрешило использовать устройства для дистанционного мониторинга жизненно важных показателей пациента [5]. К сожалению, существует ограниченное

количество инструментов, доступных для мониторинга в режиме реального времени на дому, и большинство из них требует использования носимых устройств (например, часов, наручников, ремней и т.д.) или инвазивных технологий (например, камер).

Чтобы избежать неудобств, связанных с использованием носимых и инвазивных устройств для мониторинга жизненно важных показателей, были предложены некоторые бесконтактные технологии. Преимущества бесконтактного зондирования включают непрерывный мониторинг даже в ночное время. Пациенту не нужно знать о самом устройстве во время сна, где носимые устройства могут быть помехой. Большинство бесконтактных технологий мониторинга основаны на датчиках силы, тензодатчиках, многоканальных инфракрасных датчиках-матрицах, датчиках давления, датчиках вибрации и частоте отношения. Среди них одной из самых интересных технологий является частота отношения (RF), потому что эта технология использует распространение электромагнитных волн, которые могут быть извлечены из технологии Wi-Fi, которая есть почти у всех дома. Тем не менее, ни один из существующих подходов, использующих Wi-Fi для оценки RR, не включает в себя полную структуру для анализа пациента в режиме реального времени и передачи информации практикующему врачу для немедленного реагирования.

В этой статье исследуется возможность мониторинга RR у пациентов с COVID-19 с использованием неинвазивной технологии в режиме реального времени и на дому. Wi-COVID - платформа, которая использует доступные сигналы Wi-Fi, генерируемые часто используемым оборудованием дома, для мониторинга пациентов с COVID-19. Кроме того, используя сигналы Wi-Fi на дому, предлагается неинвазивная и не пригодная для ношения технология для мониторинга пациента и сообщения о RR поставщику медицинских услуг в режиме реального времени. Предлагаемая сквозная структура включает в себя: 1) платформу для обнаружения и оценки RR, использующую только информацию о сигнале Wi-Fi дома; 2) сквозной дизайн системы для

отслеживания RR пациента в режиме реального времени для поставщика медицинских услуг.

Неинвазивное или ненавязчивое зондирование особенно интересно для получения информации, связанной со здоровьем. Среди различных подходов к измерению медицинской информации, особенно показателей жизнедеятельности и распознавания активности, беспроводное зондирование привлекает все большее внимание из-за повсеместного распространения беспроводных радиоустройств. Как правило, сигналы Wi-Fi собираются с беспроводной сети. Плата модуля Wi-Fi с использованием определенного программного обеспечения API [6].

Методы сбора и распознавания на основе Wi-Fi обычно включают один из трех подходов: использование уровня радиосигнала (RSS), использование информации о состоянии канала (CSI) или использование частоты информации о модулированной непрерывной волне (FMCW). RSS предоставляет крупнозернистую информацию о каналах связи [7] и может быть легко измерена с помощью большинства беспроводных устройств, поскольку сбор RSS предполагается почти всеми беспроводными чипами. RSS-это измерение мощности радиосигнала на принимаемом конце. Подходы, основанные на RSS, были широко изучены и достигли хорошей производительности для идентификации различных видов деятельности. Например, отслеживание объектов и их местоположение, поведение за рулем, подсчет толпы, распознавание жестов рук и т.д. Однако, поскольку RSS является крупнозернистым и может быть легко поврежден многолучевым эффектом, эти системы RSS часто требуют передачи по прямой видимости (LOS), что приводит к ограниченной точности обнаружения активности в помещении.

Для повышения точности измерения Wi-Fi CSI стал хорошей альтернативой. CSI содержит больше подробной информации благодаря своей высокой размерной структуре, таким образом, она может поддерживать мелкозернистые приложения классификации [8]. CSI может быть выражена в виде сложной матрицы, где каждая запись представляет амплитудную и фазовую

характеристику канала передачи сигнала. Таким образом, амплитуда сигнала CSI количественно определяет ослабление мощности сигнала после многопутевого эффекта (аналогично силе сигнала) [8]. Была разработана множественная система мониторинга деятельности с использованием вариаций и статистика КОБ; например, маленьких рук движений, деятельность человека в помещении, признание поведения человека, для мониторинга трафика, обнаружения пожара и др.

Другая категория методов беспроводного пассивного зондирования опирается на информацию FMCW, встроенную в принятые сигналы, для отслеживания изменений отраженных объектов для обнаружения движения или мониторинга жизненно важных показателей [8]. ToF – это основанный на времени протокол измерения дальности, который направлен на обеспечение высокой информации о точном позиционировании. Некоторые приложения, использующие ToF, включают обнаружение жизненно важных признаков, паттерны усиления, местоположение и т.д. Основная проблема заключается в том, что беспроводные зондирующие системы на основе ToF полагаются либо на большие полосы пропускания зондирования, либо на специально разработанные частотно-модулированные сигналы непрерывной волны (FMCW). Таким образом, эти ToF не могут быть реализованы на готовых устройствах Wi-Fi, и их способность обнаруживать несколько событий в помещении еще не изучена.

Первоначальные методы, основанные на RSS, использовались для определения местоположения людей внутри зданий с использованием статических беспроводных сетей. Совсем недавно были предложены некоторые системы мониторинга дыхания, основанные на коммерческом готовом передатчике-приемнике. RSS не является чувствительным индикатором для надежного отслеживания минутного движения грудной клетки. Выдох и вдох вызывают очень небольшие изменения в RSS, и эти изменения могут быть легко загрязнены другими факторами и шумом окружающей среды. Абдельнассер и др. предложили полную архитектуру для извлечения сигналов дыхания из

шумных Wi-Fi RSS. Были решены различные проблемы, такие как устранение шума, вмешательство в работу людей, внезапные движения пользователей, а также обнаружение аномальных ситуаций дыхания. Структура утверждает, что обнаружение ситуаций апноэ с точностью более 96%. Структура включает в себя экстрактор дыхательных сигналов, который использует частотный спектр, полученный путем применения быстрого преобразования Фурье (FFT) к скользящему окну необработанного сигнала Wi-Fi, и полосовой фильтр для ограничения частот до тех, которые находятся в диапазоне нормального дыхания человека (от 0,1 до 0,5 Гц) [9]. RR, наконец, оценивается как частота с максимальной величиной в диапазоне RR человека.

Несмотря на то, что RR был извлечен с помощью информации Wi-Fi на основе RSS, поскольку RSS является крупнозернистым, он имеет множество ограничений. Например, точность может быть уменьшена и повреждена эффектом многолучевости. В беспроводных датчиках из-за отражений в приемник поступает несколько копий одного и того же сигнала, каждая из которых подвергается различным задержкам и затуханиям. Этот эффект известен как многолучевость. По этой причине система зондирования на основе RSS часто требует прямой видимости (LOS) передачи, что означает, что человек должен быть ближе к системе ЛОС, что приводит к ограниченной точности обнаружения активности в помещении. Однако RSS оказался нечувствительным незначительным движениям грудной клетки из-за дыхания, поскольку изменения RSS, вызванные выдохом и вдохом, настолько малы, что они могут быть легко заглушены шумом окружающей среды [10].

В то время как методы, основанные на RSS, оказываются работоспособными только тогда, когда субъект находится близко к ЛОС, методы, основанные на CSI, кажутся более привлекательными, поскольку они могут захватывать RR субъекта на расстоянии, что делает его жизнеспособным для долгосрочного мониторинга RR. В целом, методы, основанные на CSI, можно разделить на три категории:

- 1) CSI на основе фазы;

- 2) CSI на основе спектра;
- 3) CSI на основе спектрограммы высокого разрешения.

Для эффективной оценки RR предлагается подход CSI на основе спектрограмм высокого разрешения для структуры Wi-COVID. Предлагаемый подход сочетает в себе передовые методы предварительной обработки сигнала для эффективного извлечения целевой составляющей сигнала и спектрограмму высокого разрешения для получения точной и динамической оценки RR.

Первым шагом обработки CSI является устранение шумовых помех. В собранных данных CSI могут произойти аномально внезапные изменения из-за оборудования и окружающей среды. Предлагается использовать Фильтр Хэмпеля для подавления сильных аномальных амплитуд, следующих за Wi-Sleep и WiHACS. Шум, особенно выбросы амплитуды, будут уничтожены и заменены скользящей средней соседних выборок данных. Кроме того, фильтр Хэмпеля также может устранить влияние недействительных выборок данных CSI, вызванных зондированием или передачей данных. После удаления выбросов применяется полосовой фильтр, который является обычным методом, пропускающий только компоненты сигнала между определенными частотными полосами. Поскольку деятельность дыхания человека попадает в определенную полосу частот сигналов CSI, полосовой фильтр может эффективно устранять низкочастотные и высокочастотные шумовые помехи [11].

Частотно-модулированная непрерывная волна (FMCW) впервые была использована для обнаружения дыхания человека с помощью акустических сигналов путем измерения смещения движения грудной клетки во время дыхания. Этот подход использует тот факт, что беспроводные сигналы зависят от движения в окружающей среде, включая движения грудной клетки из-за вдоха и выдоха и вибрации кожи из-за сердцебиения. В частности, он передает маломощный беспроводной сигнал и измеряет время, необходимое для отражения сигнала обратно на устройство. Время отражения зависит от расстояния отражателя до устройства и изменяется по мере перемещения отражателя. Основываясь на этой идее, подход использует радиолокационную

технику, называемую FMCW для разделения отражений, поступающих от объектов, на различные сегменты в зависимости от расстояний между этими объектами и устройством. Теоретически процедура состоит из 1) изолирования отражения от разных пользователей и устранения отражений, которые исходят от мебели или стен с помощью FMCW в качестве фильтра; 2) идентификация отражений, включающих RR и частоту сердечных сокращений, путем определения различных расстояний перемещения от устройства и измерения результирующих изменений фазы отраженного сигнала. Если получены вариации периода, они предполагают дыхание или сердце, в зависимости от частоты; и 3) извлечение RR и частоты сердечных сокращений путем выполнения БПФ. Пик на выходе БПФ будет соответствовать доминирующей частоте, которую они принимают за RR. Однако вышесказанный подход требует специализированного и дорогостоящего оборудования и не может дать точную оценку, если два человека находятся слишком близко друг к другу.

Позже Арсалан и др. [12] попытались улучшить оценку RR и сердцебиения с помощью радара FMCW. Для повышения стабильности и точности обнаруженных RR и частоты сердечных сокращений авторы использовали отслеживание сигнала сердцебиения на основе фильтра Калмана. После предоставления первоначальной приблизительной оценки применяемая полоса пропускания полосового фильтра последовательно сужается и пределы фильтра постоянно обновляются до текущей частоты сердечных сокращений цели. Сегменты измерений со случайными движениями тела автоматически идентифицируются и, следовательно, игнорируются для обновления фильтра Калмана. Однако этот подход не был непосредственно применен к сигналам, поступающим от Wi-Fi и сложных устройств, которые будут использоваться.

В целом, подходы Wi-Fi на основе FMCW требуют специально разработанных сигналов передачи, высокой скорости звучания и больших антенных решеток, огромной полосы пропускания передачи (более 1,7 ГГц). Они не могут быть интегрированы с коммерческим Wi-Fi, а также требуется калибровка устройств и специально разработанного оборудования [8]. По этим

причинам подход, основанный на FMCW, не подходит для долгосрочного мониторинга, а его сложная настройка неосуществима для наблюдения за пациентами.

COVID-19 создал огромные проблемы для системы здравоохранения во всем мире. Возможность удаленного мониторинга RR в режиме реального времени с помощью неинвазивного зондирования может обеспечить более точные оповещения о внезапных изменениях и потенциально выявляют ухудшение состояния пациента. Если RR ухудшается, данные, отправленные через безопасную облачную платформу, могут позволить практикующим врачам эффективно выполнять общую сортировку, такая как помещение пациентов в самоизоляцию, перевод пациентов в больницы, управление населением с высоким уровнем риска, даже если у них нет симптомов, и т.д.

Каркас Wi-COVID состоит из трех слоев. Слои обеспечивают абстракцию в процессе распознавания, поскольку можно отделить сигналы от устройств Wi-Fi в “чувствительном слое”, используя коммерческое устройство, обработать и оценить RR от сигналов CSI, используя предложенный метод в “обрабатывающем слое” с использованием облака, и обеспечить визуализацию в реальном времени и оповещение с использованием потоковой базы данных и мощной визуализации в “слое монитора”.

Чувствительный слой платформы Wi-COVID состоит из готового устройства Wi-Fi и Raspberry Pi, который действует как точка доступа Wi-Fi (AP). Используется чип BCM43455C0 WiFi, используемый в Raspberry Pi 4, для извлечения CSI кадров Wi-Fi с модуляцией OFDM на основе каждого кадра с полосой пропускания до 80 МГц. В общем случае сигналы точки доступа Wi-Fi могут быть собраны с помощью определенного программного обеспечения API, такого как Nexmon [13].

Для извлечения RR пациентов с COVID-19 человек должен находиться в зоне покрытия Wi-Fi и в режиме отдыха (либо спать на кровати, либо сидеть, либо стоять без ходьбы). Фаза пакетов данных достаточно точна, чтобы различить небольшие движения тела, вызванные дыханием. Если человек

находится в соседней комнате со стеной посередине, мы все еще можем получать радиочастотные сигналы, и некоторые фильтры, такие как фильтр Хампеля [7, 4], необходимы для удаления выбросов и лишней информации. Информация собирается с помощью Raspberry Pi 4 в каждом сценарии, что гарантирует дешевый способ обработки информации Wi-Fi. Как только информация из CSI извлечена, устройство готово к обработке извлечения RR. Обратите внимание, что все методы извлечения дыхания выполняются на месте, что означает, что обработка производится внутри Raspberry Pi.

После извлечения информации CSI устройство выполняет метод для оценки RR. RR непрерывно извлекается из информации, поступающей от CSI, и результаты отправляются в облако для визуализации. Процесс передачи осуществляется безопасным способом. Эта идея позволяет хранить потоковые данные простым способом и может быть визуализирована с помощью стандартных инструментов. При таком типе настройки фреймворк позволяет собирать данные из разных комнат или домов в одну и ту же базу данных, а также визуализировать нескольких пользователей одновременно, что расширяет функциональные возможности системы.

Поскольку результаты RR пациента хранятся в облаке, поставщик медицинских услуг может получить доступ к информации о пациенте в режиме реального времени. Когда система обнаруживает “необычное” дыхание, оно вызывает сигнал тревоги на панели мониторинга, который позволяет поставщику медицинских услуг визуализировать текущее состояние пациента. Кроме того, практикующий может визуализировать прошлые данные с помощью выбора диапазона дат. Затем фреймворк позволяет визуализировать как текущую RR, так и историческую информацию, что помогает процессу принятия решений.

Пациентам с COVID-19 с незначительными, умеренными или отсутствующими симптомами, как правило, предписывается проводить самокарантин дома. Согласно протоколу самокарантина CDC [14], если человек с диагнозом COVID-19 живет с другими людьми в одном доме, этот человек должен быть изолирован в отдельной комнате.

CSI описывает, как радиочастотный сигнал распространяется и показывает комбинированный эффект, например, рассеяния, затухания и затухания мощности с расстоянием с бесплатным Wi-Fi. Каждый CSI отображает амплитуду и фазу поднесущей. Амплитуды CFR данных CSI принимаются в качестве входных данных для мониторинга RR.

Первым шагом является удаление выбросов. В собранных данных CSI есть некоторые резкие изменения амплитуд CFR, которые, очевидно, вызваны не движением человеческой груди, а внешним шумом.

После удаления выбросов и снижения шума применяется полосовой фильтр для извлечения компонента дыхания. Теперь можно очень ясно наблюдать колебания дыхания. Однако из-за различных пространственных размещений антенных решеток каждый канал представляет различную информацию, CSI распространялась с разных путей. Это является причиной того, что, хотя они представляют одну и ту же информацию, каналы CSI не полностью перекрываются друг с другом. Поэтому мы применяем PCA для извлечения основного компонента сигнала.

По сравнению с другими современными подходами, Wi-COVID является единственным, который использует простые и недорогие устройства для оценки RR по сигналам Wi-Fi. В настоящее время Wi-COVID является единственным решением, которое может предупредить одышку, чтобы помочь предупредить поставщиков медицинских услуг. Характерные особенности включают в себя:

- Извлечение CSI: желательно использовать сигналы Wi-Fi и извлекать информацию CSI. Можно использовать готовые устройства для контроля дыхания;
- Оценка RR: Подход обязательно должен измерять дыхание, чтобы определить состояние пациента;
- Предупреждение об одышке: подход должен генерировать предупреждение, когда во время мониторинга происходит изменение дыхания. Эти изменения могут указывать на ухудшение состояния пациента;

- Вычисления на месте: Чтобы сделать подход легким и сэкономить пропускную способность во время вычислений, необходимо выполнять тяжелые задачи непосредственно в распространяющемся устройстве;

- Устройство для АР: Тип используемого устройства должен быть доступным и недорогим для конечного пользователя, в данном случае пациента COVID-19.

В этой статье представлена Wi-COVID, система мониторинга частоты дыхания (RR) пациентов с COVID-19 с использованием неинвазивной технологии в режиме реального времени и на дому. Предлагаемая структура использует доступный сигнал Wi-Fi, генерируемый часто используемым оборудованием дома, для мониторинга пациентов с COVID-19. Оценка RR производится с использованием PCA и метода высокочастотной спектрограммы с высоким разрешением. Одышка оценивается с помощью статистических методов и методов изменения частоты. Результаты передаются в режиме реального времени на облачный сервер, где происходит настройка инструмента визуализации, который позволяет практикующему врачу следить за пациентом в режиме реального времени и проверять текущие и исторические значения дыхания.

Список литературы

1. CDC, Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Situation Summary, library Catalog: www.cdc.gov (Apr. 2020)
2. F. Zhou, T. Yu, R. Du, G. Fan, Y. Liu, Z. Liu, J. Xiang, Y. Wang, B. Song, X. Gu, Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China, The lancet ISBN: 0140-6736 Publisher: Elsevier
3. Pulmonary Function Laboratories: Advice Regarding COVID-19, library Catalog: www.thoracic.org
4. M. Tenhunen, E. Elomaa, H. Sistonen, E. Rauhala, S.-L. Himanen, Emfit movement sensor in evaluating nocturnal breathing, Respiratory physiology & neurobiology 187 (2) (2013) 183–189, iSBN: 1569-9048 Publisher: Elsevier;
5. O. o. t. Commissioner, Coronavirus (COVID-19) Update: FDA allows expanded use of devices to monitor patientsâ vital signs remotely, library Catalog: www.fda.gov Publisher: FDA (Mar. 2020);

6. F. Gringoli, M. Schulz, J. Link, M. Hollick, Free your csi: A channel state information extraction platform for modern wi-fi chipsets, in: Proceedings of the 13th International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization, 2019, pp. 21–28;
7. Z. Yang, Z. Zhou, Y. Liu, From rssi to csi: Indoor localization via channel response, ACM Computing Surveys (CSUR) 46 (2) (2013) 1–32;
8. Q. Xu, Y. Han, B. Wang, M. Wu, Indoor events monitoring using channel state information time series, Things Journal 6 (3) (2019) 4977–4990;
9. W. Q. Lindh, M. Pooler, B. M. Dahl, J. Morris, Delmar’s comprehensive medical assisting: administrative and clinical competencies, Cengage Learning, 2013;
10. X. Liu, J. Cao, S. Tang, J. Wen, P. Guo, Contactless respiration monitoring via off-the-shelf wifi devices, IEEE Transactions on Mobile Computing 15 (10) (2015) 2466–2479;
11. A. Tataraidze, R. Olesyuk, M. Pikhletsy, Can we monitor breathing during sleep via wi-fi on smartphone, in: 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, 2019, pp. 6710–6713;
12. M. Arsalan, A. Santra, C. Will, Improved contactless heartbeat estimation in fmcw radar via kalman filter tracking, IEEE Sensors Letters 4 (5) (2020) 1–4;
13. M. Schulz, D. Wegemer, M. Hollick, Nexmon: Build your own wi-fi testbeds with low-level mac and phy-access using firmware patches on off-the-shelf mobile devices, in: Proceedings of the 11th Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental evaluation & CHaracterization, 2017, pp. 59–66;
14. CDC, Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), library Catalog: www.cdc.gov (Feb. 2020).