

Применение сверхширокополосных радаров ближнего радиуса действия

С.В. Самков, С.Н. Павлов
samkov@uwbgroup.ru, pavlov@uwbgroup.ru

Московский Авиационный Институт (технический университет)
г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 16А

В докладе рассмотрены принципы построения сверхширокополосного (СШП) радара, предназначенного для обнаружения и бесконтактного измерения параметров движения объектов на малых дальностях (десятки сантиметров – единицы метров), дано описание его структурной схемы, характеристик и основных результатов испытаний макетного образца.

Проведен анализ областей применения СШП радаров такого типа, который показал, что они могут быть использованы практически всюду, где требуется высокая точность дистанционного наблюдения за движущимися объектами на небольших расстояниях. Более подробно рассмотрено применение радаров такого типа в медицине и смежных областях.

Введение

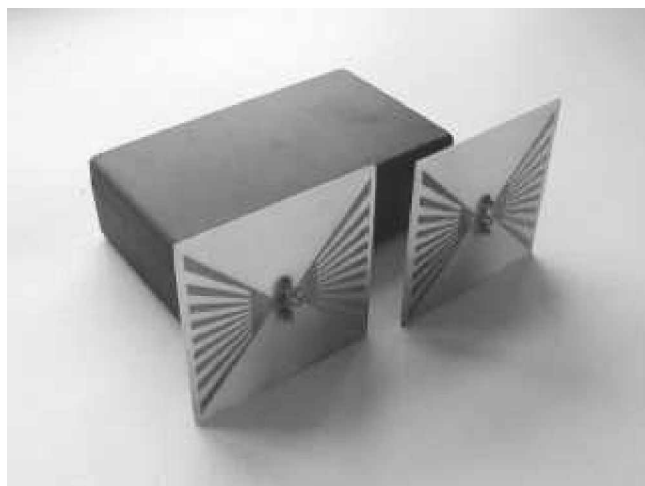
Анализ областей применения СШП радаров такого типа показал, что они могут быть использованы практически всюду, где требуется высокая точность дистанционного наблюдения за движущимися объектами на небольших расстояниях. СШП радар может применяться на автотранспорте для предотвращения столкновений при движении и парковке. В устройствах охраны – в качестве датчиков охранной сигнализации для обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемую территорию. В клиниках или в домашних условиях – для дистанционного измерения параметров сердечной и дыхательной деятельности человека и сбора статистики основных параметров жизнедеятельности. Радар такого типа позволяет производить неразрушающий контроль строительных конструкций, вести поиск скрытых коммуникаций в старых зданиях и сооружениях.

Ниже рассмотрены радары такого типа, их применение для медицинских целей и для оценки психофизиологического состояния человека.

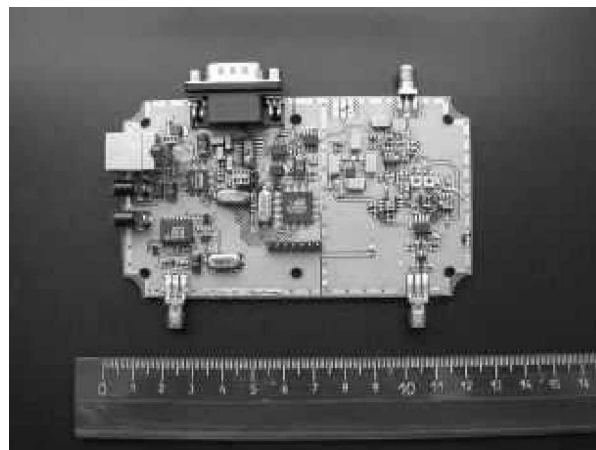
Описание СШП радара

Представленный радар разработан по заказу Industrial Technology Research Institute (Taiwan) и предназначен для дистанционного измерения физиологических параметров человека – частоты дыхания и сердечных сокращений.

Внешний и внутренний вид (печатная плата) этого СШП радара показаны на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1 – Внешний (а) и внутренний (б) вид СШП радара

Характеристики радара:

- Дальность действия – 0.1-3 м;
- Импульсная мощность видеоимпульсов, возбуждающих передающую антенну – 0.4 Вт;
- Средняя мощность видеоимпульсов, возбуждающих передающую антенну – 240 мкВт;
- Длительность видеоимпульсов, возбуждающих передающую антенну – 300 пс;
- Частота следования видеоимпульсов, возбуждающих передающую антенну – 2 МГц;
- Центральная частота спектра излучаемых импульсов – 1 ГГц;
- Длительность излучаемых радиоимпульсов по уровню 0.1 от максимума – 4 нс;
- Потенциальная разрешающая способность по дальности – 0.5 м;
- Длительность импульса стробирования приемника – 250-300 пс;
- Чувствительность приемника – -77дБм;
- Динамический диапазон приемника – 34 дБ;
- Диапазон доплеровских частот выделяемых сигналов – 0.16-40 Гц;

Структурная схема макета

Структурная схема макета радара представлена на рис. 2. Задающий генератор вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой 2 МГц. Эти импульсы поступают в формирователь импульсов передатчика и через регулируемую линию задержки – в формирователь импульсов стробирования приемника.

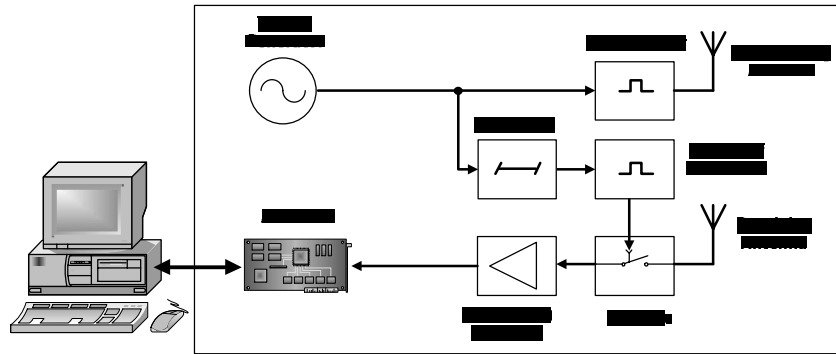


Рис. 2 – Структурная схема СШП радара

В этом варианте радара длительность излучаемого радиоимпульса по уровню 0.1 от максимума составила примерно 4 нс. Ширина спектра мощности излучаемых сигналов по уровню 0.5 от максимума $f_{0.5}$ составила около 300 МГц. Потенциальная разрешающая способность радара по дальности $\Delta R = \text{тизл}$ равна:

$$\Delta R = \frac{c}{2\Delta f_{0.5}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 3 \cdot 10^8} = 0.5 \text{ м}$$

Приемник радара открывается опорными импульсами, имеющими длительность около 250-300 пс. Таким образом, ширина рабочей зоны этого варианта радара топ намного меньше его разрешающей способности по дальности ΔR и составляет 7.5-9 см.

Низкочастотный аналоговый сигнал, несущий информацию о движении объекта, с выхода фильтра поступает на плату аналогово-цифрового преобразователя и далее в персональный компьютер, где осуществляется цифровая фильтрация дискретного сигнала радара и вывод результатов обработки на дисплей монитора.

Результаты экспериментов и возможные области применения радаров такого типа.

1. Комплексный анализ деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем человеческого организма.

На рис. 3 представлены результаты дистанционных измерений физиологических параметров человека. На рисунке (а) внизу, показана временная диаграмма суммарных сигналов сердца и

дыхания, снятая с помощью радара. На рисунках (с) внизу, показана временная диаграмма сигналов сердца после фильтрации сигналов дыхания. Вверху, на рисунках (а) и (с) показаны контрольные электрокардиограммы, одновременно снятые с этого же человека.

На рисунках (b, d) представлены амплитудно-частотные спектры выходных сигналов радара (жирная линия) и электрокардиограмм (тонкая линия).

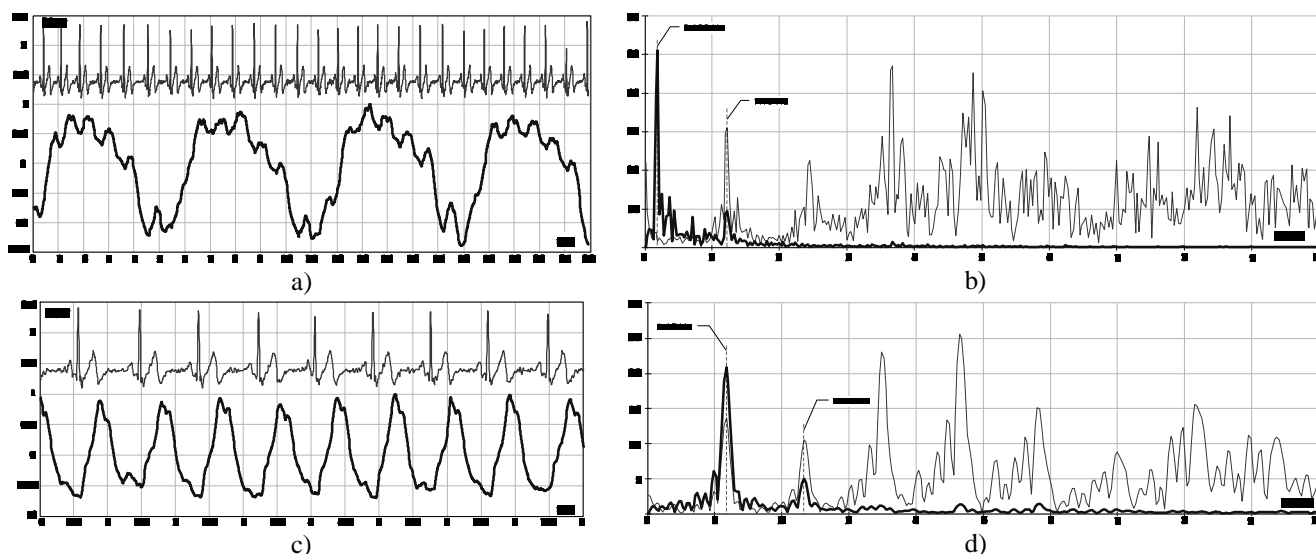


Рис. 3 – Временные диаграммы и амплитудно-частотные спектры дыхания и работы сердца

Амплитуда выходных сигналов радара на рисунках (а) прямо пропорциональна амплитуде движения грудной клетки и сердца, а частоты первых гармоник соответствует частоте дыхания и сердцебиения. Рисунки (с) показывают точное совпадение ритма сердца, снятого с помощью радара и электрокардиографа.

2. Оценка динамики работы отдельных составляющих внутренних органов человека.

Был проведен эксперимент, схема которого приведена на рис. 4. Целью эксперимента было подтверждение возможности разрешения радаром составных частей сердца человека и построение радиолокационной картины динамики его работы. Эксперимент проводился следующим образом: радар поочередно устанавливался в каждую позицию, и проводилась серия измерений на различных дальностях. Одновременно производилось измерение контрольной электрокардиограммы. Полученные данные обрабатывались по интенсивности движения на каждой дальности в диапазоне частот от 0.4 до 2 Гц за время 10 секунд. Выбор такой интегральной характеристики обоснован использованием в эксперименте одного макета радара, вследствие чего, измерения проводились не одновременно, поэтому не было возможности точно синхронизировать полученные данные с разных позиций и дальностей. Результаты приведены на рис. 4.

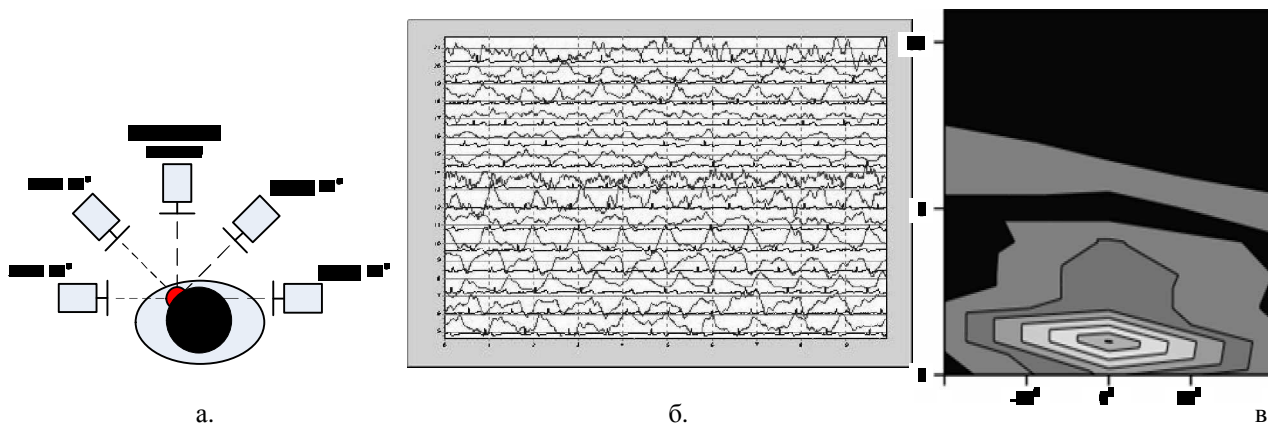


Рис. 4. Результаты эксперимента: а. – схема эксперимента; б. – сигналы радара с одной из позиций; в. – псевдотрехмерная картина динамики работы сердца и внутренних органов.

Результаты эксперимента показывают потенциальную возможность оценки динамики работы отдельных органов человеческого тела. Использование нескольких радаров при совместной обработке их данных может позволить, в будущем, создать систему «радиолокационного томографа». Однако, для подобной системы необходимо существенно повысить разрешающую способность каждого радара.

3. Дистанционная оценка психофизиологического состояния человека.

Данная задача крайне актуальна для контроля состояния людей, выполняющих монотонную работу, требующую предельной концентрации (машинисты поездов, автоводители, диспетчеры авиaperевозок и т.д.). Для оценки возможности проведения такого мониторинга был проведен следующий эксперимент: с испытуемого одновременно снимались следующие показатели:

- электроэнцефалограмма;
- электрокардиограмма;
- данные с СШП радара.

Во время эксперимента в специальной звукоизолированной и затененной комнате человеку с монитора демонстрировался специальный видеоряд с целью максимально быстро утомить испытуемого и ввести в состояние сна. Специалистами-психофизиологами, по электроэнцефалограмме, регистрировались пограничные состояния перехода человека ко сну, оценивалась возможность разделения этих состояний по электрокардиограмме, и сравнивались показания радара с кардиограммой по основным психофизиологическим показателям: *Moda* – наиболее часто встречающийся RR – интервал за исследуемый промежуток времени, *Mean* – среднее значение RR – интервалов за исследуемый промежуток времени, количество RR – интервалов за исследуемый промежуток времени, *LF/HF* – отношение средних мощностей в средней и в высокой областях спектра кривой вариабельности сердечного ритма. Схема измерений с помощью радара и результаты эксперимента показаны на рис. 5.

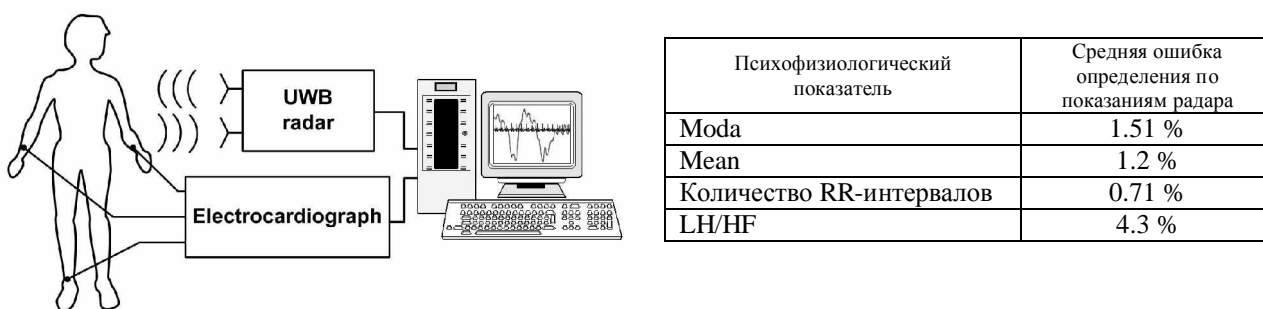


Рис. 5. Схема измерений и результаты эксперимента.

Результаты эксперимента показывают потенциальную возможность применения такого рода радаров и для решения подобных задач.

4. СШП радар для оценки состояния сосудистой системы человека

Для этой цели СШП радар был модернизирован для работы на сверхмалых дальностях и уменьшения его габаритных размеров. Радар предназначен для оценки состояния сердечно сосудистой системы человека. Внешний вид радара с кабелями для его подключения к компьютеру показан на рис. 5. Радар с помощью ремешка закрепляется на запястье руки пациента, как показано на рис. 5.



Рис. 4 – Внешний вид радара и способ его крепления.

Радар регистрирует перемещение стенок радиальной артерии и по интерфейсу USB в реальном масштабе времени передает получаемую информацию на персональный компьютер для цифровой фильтрации, анализа, отображения получаемых результатов и их архивирования.

Результаты экспериментов: на рис. 6 представлена временная диаграмма сигналов, получаемых с помощью этого радара, снятых с двух человек.

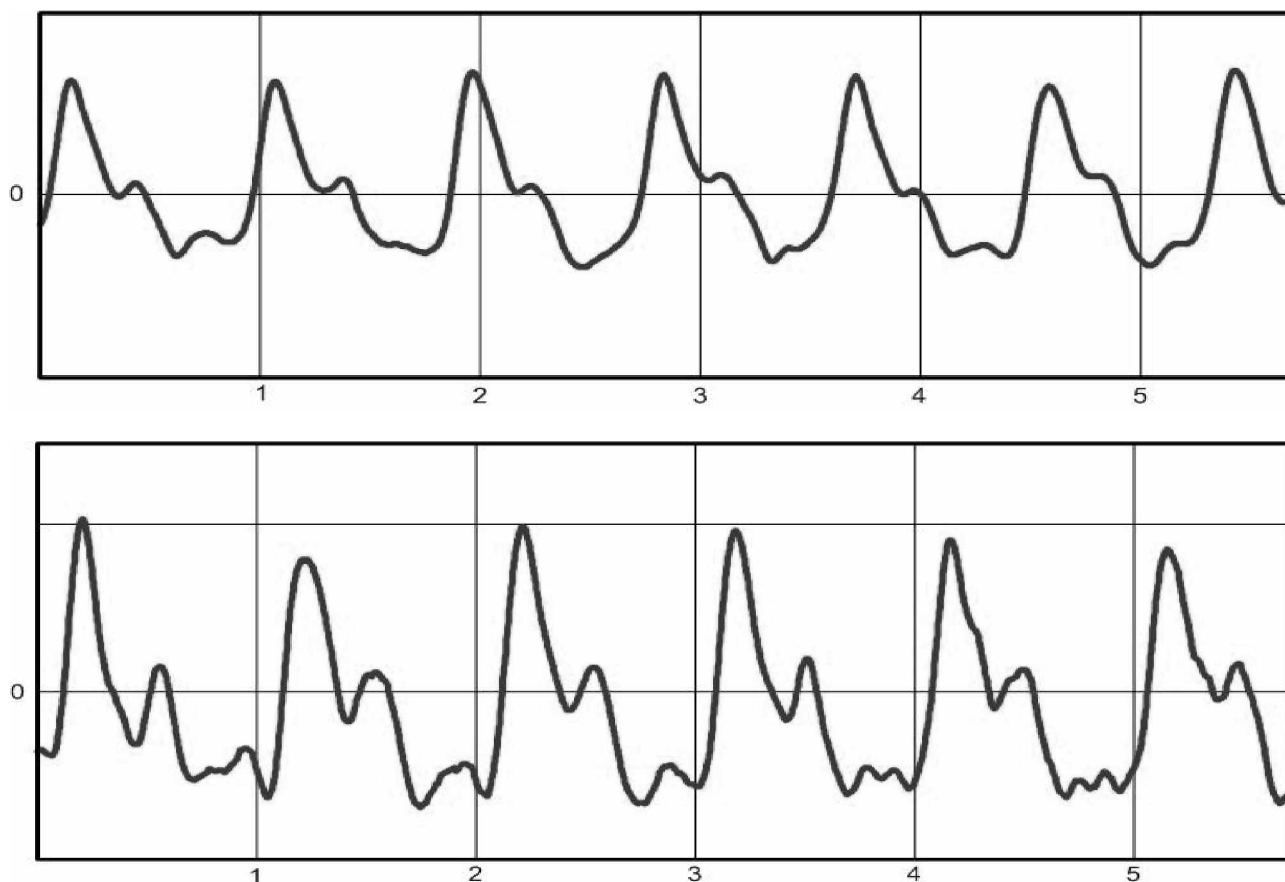


Рис. 6. Сигналы радара для двух испытуемых.

На основе рассмотренного радара будет создана система, состоящая из двух радаров для комплексной оценки состояния сердечнососудистой системы человека по скорости распространения пульсовой волны по кровеносным сосудам в теле человека. Также из этих кривых, по соотношениям между прямой и отраженной волнами (два ярко выраженных максимума от каждого сердечного сокращения на рис. 6).

Заключение

Приведенный выше обзор областей применения СШП радаров подтверждает возможность их применения во всех тех случаях, когда необходимо дистанционное наблюдение за движущимися объектами на небольших расстояниях с высокой точностью. Появление подобного рода аппаратуры в медицинских учреждениях может существенно упростить диагностику и лечение самых разнообразных заболеваний. Использование такой аппаратуры на рабочих местах людей, выполняющих ответственную и требующую постоянного внимания работу, позволит уменьшить риск чрезвычайных происшествий из-за «человеческого фактора». В данной работе рассмотрены лишь некоторые возможности применения сверхширокополосных радаров, на самом же деле, простор для их использования гораздо шире.

Литература

1. Igor Ya. Immoreev, "Ultra-Wideband Radar: new opportunities, unusual problems, system features", Proceeding of Moscow State Technical University, pp 25-26, December 1998.
2. Enrico M. Staderini, "UWB Radars in Medicine", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, January 2002