

Совершенствование методов обнаружения движущихся объектов за оптически непрозрачными преградами

С.В. Иода¹, Я.О. Васильев¹, В.Н.Марчук²

¹ ООО «Вектор-С»

141190, Московская обл., г. Фрязино ул. Институтская, 10-11

E-mail: iodavs@fryazino.net

² Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН 141190 Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1

E-mail: marchuk_vn@mail.ru

Рассмотрены различные типы радаров обнаружения движущихся объектов за оптически непрозрачными преградами, проанализированы используемые ими типы сигналов, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: радиолокация, методы, сигналы, радары, обнаружение

Improvement of methods for detecting moving objects behind optically opaque barriers

S.V. Ioda¹, Ya.O. Vasiliev¹, V.N. Marchuk²,

¹ "Vector-S" LLC.

² V.A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS, Fryazino Branch.

Various types of radars for detecting moving objects behind optically opaque barriers are considered, the types of signals used by them, their advantages and disadvantages are analyzed.

Keywords: radar, methods, signals, detection

Введение

В настоящее время для сокращенного обозначения радаров для обнаружения людей за оптически непрозрачными преградами часто используется название Стеновизор (или прибор тактической разведки / чрезстенного видения). Он представляет собой особую разновидность радиолокатора. Маломощная РЛС оснащенная процессором обработки сигналов и устройством визуализации результатов помещается в компактном корпусе, пригодном для переноски и быстрого развертывания. Такие изделия предназначаются для использования в условиях различной застройки с целью изучения обстановки за преградами. Таким образом, стеновизор – это компактный, портативный радар, предназначенный для обнаружения живых объектов за стенами и другими оптически непрозрачными неметаллическими преградами. Благодаря своей технологии [1-3], прибор способен обнаруживать местоположение живых объектов, как в движении, так и в покое, основываясь только на фиксации дыхания.

Способность стеновизора обнаруживать живых объектов и их местоположение за оптически непрозрачными средами делают прибор подходящим для многоцелевого использования в системах безопасности, для антитеррористических, спасательных и охранных мероприятий:

- при проведении оперативных мероприятий силовыми структурами для обнаружения живых людей за стенами и мониторинга их перемещения, для выявления скрытого провоза людей и животных в контейнерах, вагонах, автофургонах;
- при проведении спасательных мероприятий структурами МЧС при стихийных бедствиях, природных и техногенных катастрофах, для обнаружения живых людей под завалами и лавинами, в горящих и задымленных зданиях;
- при проведении охранных мероприятий помещений и территорий для обнаружения несанкционированного проникновения людей и техники, контроля доступа, мониторинга внутреннего перемещением людей, охраны периметров.

Типы радаров для обнаружения людей за оптически непрозрачными преградами

Данный тип радаров может отличаться как типом используемых сигналов, так и мерностью отображаемого пространства. Различаются одномерные (определяется только расстояние до обнаруживаемого объекта), двумерные (определяются координаты на плоскости), квазитрехмерные (определяются координаты на трех плоскостях).

Первыми, наиболее простыми в разработке и использовании были одномерные стеновизоры, в которых измерялось только расстояние до обнаруженного объекта. Наиболее характерным образцом этого класса устройств является Xaver 100 (Рис.1). Недостатком такого устройства является сложность идентификации множественных целей и характера их движения. Так пространственно-разнесенные цели, но находящиеся на одинаковом расстоянии от прибора, будут сливаться в одну (Рис.2). Поэтому в устройствах такого рода, как правило, отображается только одна цель – ближайшая. Таким образом, данный тип приборов может иметь ограниченное применение: например, для фиксации несанкционированного проникновения злоумышленников на охраняемый объект.

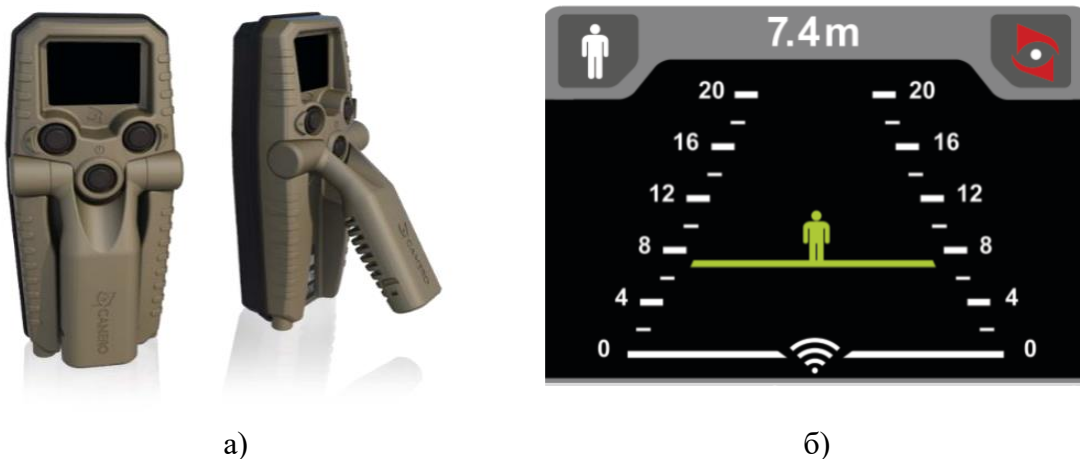


Рис. 1. Внешний вид прибора Xaver-100 (а) и его панели отображения (б).

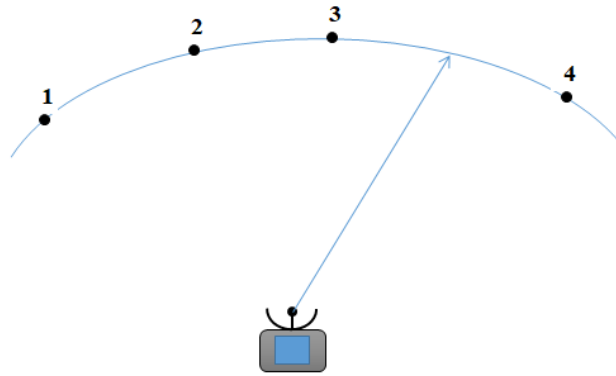


Рис. 2. К иллюстрации недостатков одномерного стеновизора

Следующий тип стеновизоров – это приборы с двумерным отображением пространства обнаружения целей. Как правило, такие приборы отдельно определяют расстояние до цели и угловое направление, поэтому естественным видом для них является полярная система координат, как в приборе Данник 4 [3-5] (Рис.3.а). Однако в последнее время появились приборы с отображением в прямоугольной декартовой системе (РО-400 [6] (Рис.3.б)) и даже в комбинированной, когда на малых расстояниях отображение в полярной системе, как в приборе Xaver 400 (Рис.3.в)[7,8].

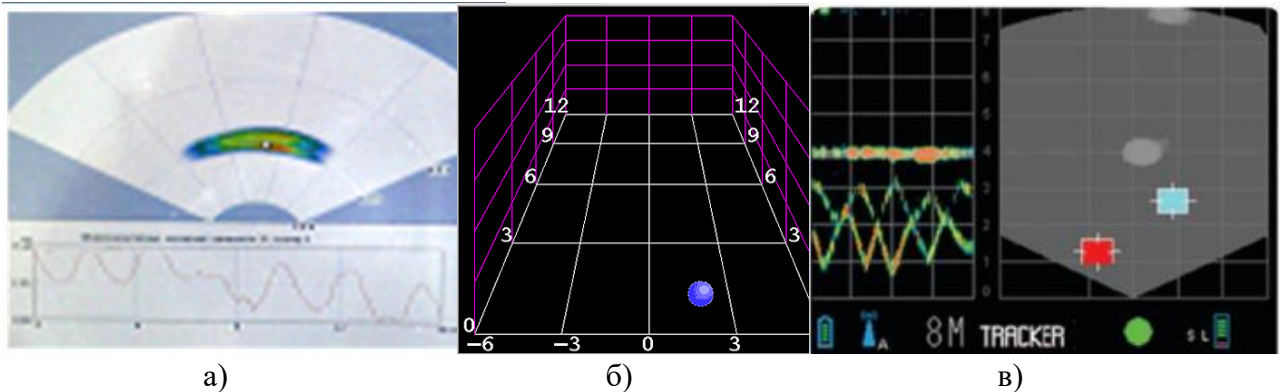


Рис. 3. Отображение результатов обработки сигнала стеновизоров в различных системах координат а) полярная (Данник-5); б) прямоугольная (РО-400); в) комбинированная (Xaver-400)

Третий вид стеновизоров, это радары с квазитрехмерным отображением результатов (Рис.4) [9]. Как правило, происходит сканирование объектов в нескольких параллельных горизонтальных плоскостях: на уровне головы, на уровне туловища и на уровне ног. Полученные результаты позволяют проанализировать ситуацию в исследуемом помещении и определить, кто свободно перемещается, кто сидит или лежит на уровне пола (вероятно заложники). Полученной информации может быть достаточно для принятия решений при контртеррористических операциях. Следует отметить, что для построения столь детальных изображений требуется переход в область высоких частот (в данном случае 800 МГц), а значит, данный тип стеновизоров может использоваться только для очень тонких стен и практически неприменим для бетонных перекрытий.

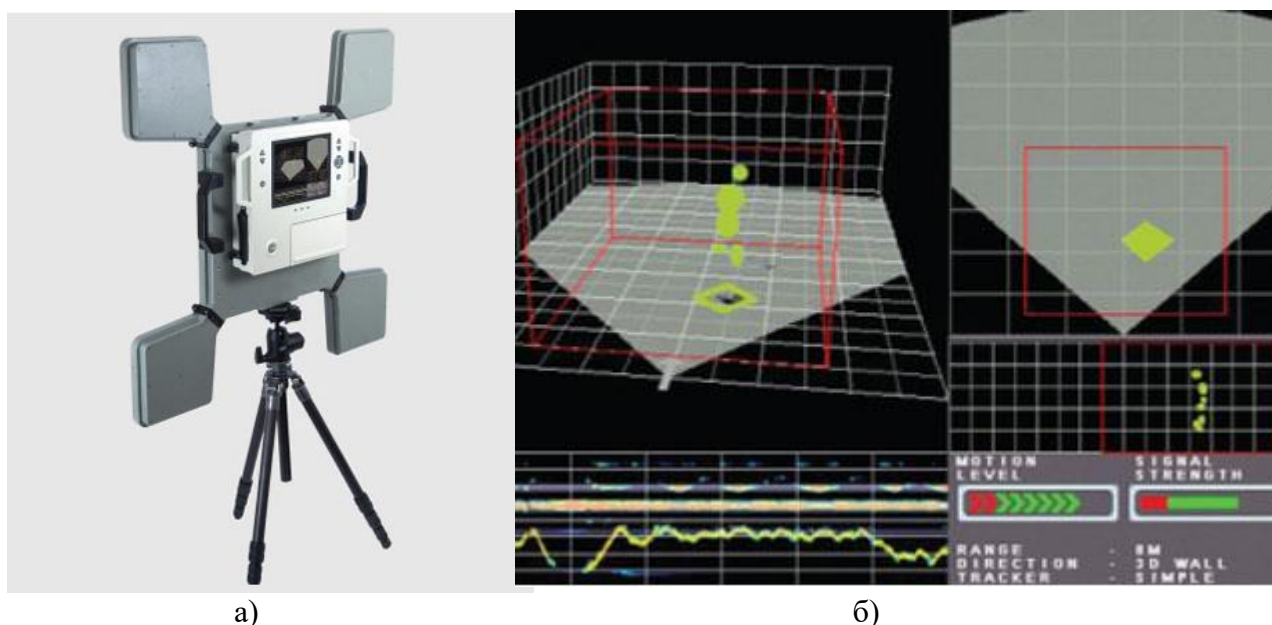


Рис. 4. Внешний вид прибора Xaver-800 (а) и его панели отображения (б) [9].

Стеновизоры можно также разделить на несколько типов по принципу работы, то есть по типу используемых сигналов и, соответственно, способам их обработки.

Сначала опишем основные проблемы, возникающие при разработке стеновизоров. Разрешающая способность по дальности зависит от полосы частот: чем шире частотный диапазон, тем выше точность определения дальности до объекта обнаружения. Угловое разрешение также косвенно зависит от частоты: выше рабочая частота, тем меньше размер единичного элемента антенной решетки и, соответственно, тем больше таких элементов поместится на заданном размере прибора (определяемом по принципу разумной целесообразности) и тем лучше будет разрешающая способность по углу. Но, с другой стороны, ослабление радиосигнала в стенах пропорциональна их частоте, поэтому на очень высоких частотах проводить зондирование проблематично и приходится идти на различные ухищрения с модуляцией сигналов.

Коротко-импульсные (КИ) сигналы с заполнением из нескольких периодов несущей частоты, наиболее просты для формирования сигнала. Этот вид сигналов оптимально подходит для обнаружения единичных целей в однородной среде. В случае множественных целей (больше 5) возможно возникновение проблем из-за интерференции сигналов на входе приемного устройства (при наложении сигналов). Разрешение по дальности достигается применением фазового детектора, и определяется в основном не длительностью импульса, а его фронтом, так как резкое изменение фазы сигнала легко зафиксировать. Такие сигналы традиционно используются в одномерных системах, где определяется лишь расстояние до цели, но не направление на него. В случае двумерных систем угловое разрешение обеспечивается использованием фазированных антенных решеток. Проблема состоит в том, что с ростом расстояния угловой размер сектора (и неопределенность угловой координаты цели) увеличивается. Заметим, что этот тип сигналов неприменим для использования в режиме георадара из-за большого количества неоднородностей в грунте, на каждой из которых будет происходить изменение фазы сигнала.

СШП-сигнал, сверхширокополосный сигнал, состоящий из одного периода колебаний. Традиционно такие сигналы используются в георадарах. Преимуществом является относительная простота формирования сигнала. Прием и обработка таких сигналов с

использованием стробоскопических приемников в настоящее время отлажена и проблем не вызывает. Другим преимуществом является возможность использовать сравнительно низких частот, что позволяет работать сквозь толстые стены. В первых версиях приборов использовалось радарограммное представление результатов, неочевидное для восприятия неподготовленных пользователей. Насколько известно, в настоящее время система определения координат цели автоматизирована разработчиками. Проблема может возникать при определении координат нескольких целей одновременно.

ЛЧМ-сигнал – сигнал с линейной частотной модуляцией позволяет с одной стороны использовать длинные сигналы для повышения энергии сигнала путем его накопления, с другой стороны увеличивать разрешающую способность по дальности за счет широкой полосы частот. Излучение и прием ЛЧМ сигналов более сложное, чем импульсных, однако на данный момент эта технология отработана вплоть до изготовления готовых узлов. Вероятно, эта же технология может позволить существенно улучшить определение координат целей в двумерном и трехмерном пространстве.

Ниже приведена таблица, в которой собраны характеристики наиболее известных стеновизоров. Заметим, что разработчики не всегда указывают тип используемого сигнала, его можно определить лишь косвенным образом. В этом случае тип сигнала сопровождается знаком вопроса.

Таблица 1. Виды используемых сигналов в стеновизорах.

| Название прибора | Разработчик | Тип сигнала | Метрика |
|--------------------|-----------------------|--------------|---------|
| XAVER-100 | XAVER | КИ | 1d |
| XAVER-400 | XAVER | КИ или ЛЧМ? | 2d |
| XAVER-800 | XAVER | СШП? | 2.5d |
| ПиКор | КБОР | СШП | 1d |
| РО-900 | Логис | СШП | 1d |
| РО-400 | Логис | СШП | 1d |
| РО-400-2d | Логис | СШП | 2d |
| Данник-4/ Данник-5 | СКБ ИРЭ | КИ | 2d |
| Радиодозор М-400 | ТГУ | ЛЧМ или СШП? | 2d |
| ND-SV003 | NovoQuad | СШП | 2d |
| Prism 200 | Cambridge Consultants | СШП | 2d и 3d |

Выводы

В работе приведены описания различных типов стеновизоров, их сравнительные преимущества и недостатки. Приведены типы используемых и перспективных сигналов, предложены методы их улучшения. С точки зрения авторов, наиболее перспективным направлением следует считать использование коротких ЛЧМ-сигналов с последующей их цифровой обработкой в режиме реального времени.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН № 075-01133-22-00.

Литература

1. Средства обнаружения людей за стенами. // [Электронный ресурс]. URL: <http://bnti.ru/index.asp?tbl=02.03.03> (дата обращения: 01.03.2023)

2. Baranoski E J 2008 Through-wall imaging: Historical perspective and future directions *Journal of the Franklin Institute*, 345(6) P. 556–569.
3. Бажанов А.С., Иода С.В., Марчук В.Н., Матвеев В.И. Перспективы создания новых типов радиоволновых приборов для противодействия терроризму // Сборник трудов VIII Всероссийские Армандовские чтения, 26-28 июня 2018 г., Муром, МиВЛГУ, С. 499-503.
4. Радиолокатор для обнаружения людей за стенами "Данник-5" // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sdbireras.ru/produkcziya/blizhnyaya-radiolokacziya/radiolokator-dlya-obnaruzheniya-lyudej-za-stenami-dannik-5> (дата обращения: 01.03.2023)
5. «Данник-5» в ФГУП СКБ ИРЭ РАН // [Электронный ресурс]. URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-163245.html> (дата обращения: 01.03.2023)
6. Н.П. Семейкин, В.В. Помозов, А.В. Дудник, А.Н.Титов Запреградный радар-обнаружитель с функцией 2-D. III Всероссийские Армандовские чтения // Муром, 25–27 июня 2013 года с.226-229.
7. Xaver 400 (X-400) // [Электронный ресурс]. URL:http://mercury-pro.ru/pdf/xaver_400.pdf (дата обращения: 01.03.2023)
8. Xaver 400 (X-400) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.camero-tech.com/xaver-products/xaver-400/> (дата обращения: 01.03.2023)
9. Xaver TM 800 [Электронный ресурс]. URL: <https://camero-tech.com/xaver-products/xaver-800/> (дата обращения: 21.03.2023)
10. Zhang W, Amin M G, Ahmad F, Hoorfar A and Smith G E Ultrawideband impulse radar through-the-wall imaging with compressive sensing // *International Journal of Antennas and Propagation* .2012.V. 2012(3)11.
11. Hussain M G M Principles of high-resolution radar based on nonsinusoidal waves-Part II: Generalized ambiguity function *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* .1989. 31(4), P.369–375.
12. Способы выявления людей и движущихся объектов за барьером и устройством для его реализации 2008 (Russian Federation Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks) Patent no 2384860 [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2384860C2/en> (дата обращения: 11.03.2023)
13. Carrara W G, Goodman R S and Majewski R M 1995 *Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms* (Boston: Artech House).
14. Ralston T S, Marks D L, Carney P S and Boppart S A 2008 Real-Time Interferometric Synthetic Aperture Microscopy *Optics Express*, V.16, N.4, P 2555–2569.
15. Charvat G L, Kempel L C, Rothwell E J, Coleman C and Mokole E L 2010 A Through-Dielectric Radar Imaging System *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, V.58, N.8, P 2594–2603.