

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАССИВНОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ НА ЕГО ТЕЛЕ ПРЕДМЕТОВ

Трофимов В.А., Трофимов В.В., Варенцова С.А.

МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

vatro@cs.msu.ru

Аннотация: доклад посвящен демонстрации возможности создания системы технического зрения с целью обнаружения скрытых на теле человека предметов, используя естественное излучение тела человека в области миллиметровых и субмиллиметровых длин волн. В литературе такие терагерцовые системы называются пассивными системами. Они интенсивно развиваются в последние годы в связи с решением проблемы антитеррора в аэропортах, на железнодорожных вокзалах и метро. Пассивные терагерцовые системы потенциально позволяют увидеть скрытый под одеждой предмет, но состав его (компоненты входящих в предмет веществ) определить не могут. Современные терагерцовые системы видения на основе пассивного терагерцового излучения обладают рядом недостатков, прежде всего связанных с качеством изображения и ограничением на размеры предметов, которые можно на их основе различить. В рамках проводимых нами исследований удалось существенно улучшить эти две характеристики систем видения. В основе этого лежит компьютерная обработка терагерцовых изображений с помощью оригинальных частотных фильтров.

Ключевые слова: пассивное терагерцовое излучение, компьютерная обработка терагерцовых изображений, быстродействие, влияние упаковочных материалов на структуру спектров вещества.

Введение

В настоящее время ТГц излучение широко применяется в задачах антитеррора [1-18]. Оно обладает хорошо известными преимуществами, главным из которых является то, что ТГц излучение не является ионизирующим. Оно также проникает сквозь упаковочные материалы (за исключением металлических контейнеров). Недостаток же использования этого излучения состоит в его интенсивном поглощении парами воды, что осложняет применения ТГц излучения на практике для задач обнаружения и идентификации веществ.

Условно применение ТГц излучения в этой области можно разделить на три принципиально различных метода обнаружения веществ: пассивный, активный и с подсветкой объекта ТГц излучением.

Пассивный метод заключается в использовании естественного излучения тела человека для обнаружения скрытых под одеждой предметов на его теле. Это очень перспективный метод и безопасный при его использовании в реальных условиях на транспорте, метро, в аэропортах и т.д. Основная трудность в их реализации на практике заключается в плохом качестве изображений, получаемых в настоящее время в различных лабораториях мира. Именно решению данного вопроса (получение существенно лучшего качества изображений по сравнению с достигнутым качеством в коммерческих и научных установках) посвящена наша работа и данный доклад. Важно также подчеркнуть, что пассивные системы не предоставляют возможность идентификации веществ.

Суть метода с подсветкой состоит в использовании облучения тела человека для обнаружения скрытых под одеждой предметов на его теле. Это излучение используется только для создания изображения скрытых предметов. Такие системы, бесспорно, также перспективны. Однако они дороже по сравнению с пассивными ТГц системами. Качество изображений, получаемых в настоящее время в различных лабораториях мира, в системах с подсветкой также плохое, как и для пассивных систем. Поэтому проблема достижения хорошего качества терагерцовых изображений является фундаментальной и ее решение имеет широкую область при-

менения: как в пассивных установках на основе естественного излучения человека, так и в ТГц системах с подсветкой.

Суть активного метода состоит в облучении предмета ТГц излучением и в последующем анализе прошедшего или отраженного ТГц импульса с целью сопоставления полученной информации с эталонной базой. На основе этого сопоставления осуществляется обнаружения и идентификация веществ. Одной из главных проблем здесь является поглощение воды, обусловленное влажностью воздуха и предметов, через которое проходит ТГц излучение. Имеет место и другие существенные проблемы: выбор метода идентификации, метода оценки совпадения данных от предмета с данными от эталона.

Нами разработан и реализован метод анализа спектральной динамики в терагерцовом диапазоне частот, позволяющий получать двумерную подпись веществ, уникальную для каждого вещества. В настоящее время, это наиболее эффективный метод для обнаружения и идентификации веществ на основе активных терагерцовых систем. Решены также проблемы, связанные с получением спектральной динамики в окнах прозрачности атмосферы для терагерцового излучения. Существенным результатом на пути практической реализации данного метода явилась также показанная в наших работах возможность получения информации о частотах поглощения терагерцового излучения веществом из анализа субимпульса следующего за основным отраженным от образца терагерцовым импульсом. Следует также подчеркнуть, что мы впервые решили проблему влияния нерегулярного упаковочного материала обнаружение и идентификацию веществ. Все решения реализованы в многочисленных физических экспериментах, которые выполнены в зарубежных лабораториях.

1. Требования к интеллектуальной системе технического зрения.

Предположим мы располагаем техническим устройством, которое может формировать изображение, используя естественное терагерцовое излучение человека. Такие устройства сейчас коммерчески доступны. Однако они обладают целым рядом ограничений. Тогда создаваемая интеллектуальная система технического зрения должна удовлетворять некоторым требованиям, чтобы быть используемой на практике.

Прежде всего, она должна работать в реальном времени: обработка изображения должна происходить за время, не превышающее 1 секунды. Следует подчеркнуть, что имеющиеся коммерчески доступные пассивные терагерцовые системы формируют изображение также примерно за 1 секунду.

Другое требование связано с контрастностью изображений предметов. Она должны быть достаточно высокой, чтобы у оператора (на начальном этапе эксплуатации таких систем всеми предполагается использование человека в качестве эксперта) не утомлялось внимание. В дальнейшем идентификация предметов предполагается осуществляться автоматически.

Очевидно, что дальность, на которой система может увидеть предмет, зависит от размера предмета, если число пикселей на создаваемом изображении будет оставаться неизменным. Современные коммерчески доступные системы позволяют, как правило, увидеть предметы с размерами, порядка пяти сантиметров по каждому измерению. Поэтому разрабатываемая система интеллектуального зрения должна позволять видеть предметы с размером порядка 2 сантиметров на расстояниях около трех метров.

Для практики применения интеллектуальных систем технического зрения было бы полезно возможность получения информации о нахождении внутри человеческого тела различных предметов, а также органов человека. В этом случае открываются потенциальные возможности обнаружения контейнеров с запрещенными веществами внутри тела человека, что дает возможность решения многих стоящих проблем.

С точки зрения эксплуатации системы технического видения предметов, скрытых на теле человека, должна быть возможность увеличения отдельных элементов изображения без потери качества изображения, то есть простое растягивания изображения здесь неприменимо. Естественно, что быстроедействие системы в этом случае снижается.

Перечисленные выше требования легли в основу создаваемой нами интеллектуальной системы технического зрения, и она им удовлетворяет при использовании одного процессора

стандартного современного компьютера. Поэтому в случае необходимости существует потенциальная возможность ускорить работы программы за счет распараллеливания выполнения программы.

За основу взята реальная пассивная терагерцовая установка, производящее изображение с 5000 пикселей. Однако, разрабатываемая программа не привязана к какой-либо конкретной технической платформе и может быть использована для любой коммерчески доступной установки создания терагерцового изображения на основе пассивного излучения тела человека.

2. Краткое описание работы интеллектуальной системы технического зрения.

В настоящем пункте опишем инсталляцию и дадим краткое описание разработанной программы, реализующей техническое зрение скрытых предметов на теле человека. Вся обработка и пересылка файлов осуществляется автоматически. Однако, предусмотрен также режим ручного управления обработкой файлов. В ряде ситуаций это может быть предпочтительным.

При установке необходимо создать четыре директории, показанные на Рис.1. В директорию **Initial** поступают файлы от пассивной терагерцовой



Рис. 1. Директории и программа, осуществляющая техническое зрение

поступают файлы от пассивной терагерцовой

установки для их обработки программой. В директорию **Treatment** отсылаются обработанные программой файлы для их хранения в различных директориях, соответствующих различным фильтрам. Их необходимость обусловлена тем, что различные предметы требуют обработки разными фильтрами, чтобы их увидеть. Часто используется последовательное действие нескольких фильтров. После обработки поступившего файла он из директории **Initial** автоматически отсылается в директорию **End**.

Директория **Archive** используется хранения всех файлов, поступивших в программу и обработанных в предыдущие дни. Она содержит в частности две поддиректории (Рис.2). Очевидно, при первом запуске программы на данном компьютере все директории пусты. В даль-



Рис. 2. Поддиректории директории **Archive**.

нейшем в поддиректориях **End**, **Treatment** директории **Archive** хранятся исходные изображения, поступившие от терагерцовой системы, и обработанные программой изображения в предыдущие день. Они переписываются в директорию **Archive** автоматически при изменении даты компьютера на следующие сутки. Так, если программа уже запускалась на данном компьютере, то директория **Archive** выглядит, как изображено на Рис.3. В каждой из

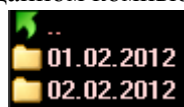


Рис. 3. Поддиректории директории **Archive**.

этих поддиректорий содержатся директории, изображенные на Рис.2.

В отношении директорий **Initial** и **Treatment** в основной директории (Рис.1) возможны две ситуации. Первая из них является такой. Если по каким-то причинам обработка файлов их директории **Initial** была прервана в текущем сеансе. Тогда при новом запуске программы файлы в этих директориях остаются при условии сохранения текущей даты. Файлы из директории **Initial** отправляются на обработку, и программа работает в обычном режиме.

Вторая ситуация реализуется, если при новом запуске программы изменилась дата на компьютере. Тогда файлы из основной директории **Treatment** записываются в автоматически созданные директории архива, имеющие имя предыдущей даты, а файлы из директории **Initial** будут обрабатываться.

После создания соответствующих директорий запускаем основную программу, имеющую имя, например, **Auto_pic.exe**, как показано на Рис.1. Тогда на экране компьютере появится картинка, изображенная на Рис. 4. В верхнем углу изображены каталоги директории, которая в данном случае является корневой, а ниже окно показывает все имеющиеся место файлы в этой директории.

На экране также появится несколько кнопок. Часть из них опишем сейчас. Кнопки **dx** и **dy** позволяют увеличить размер изображения, поступающего с пассивной терагерцовой установки,

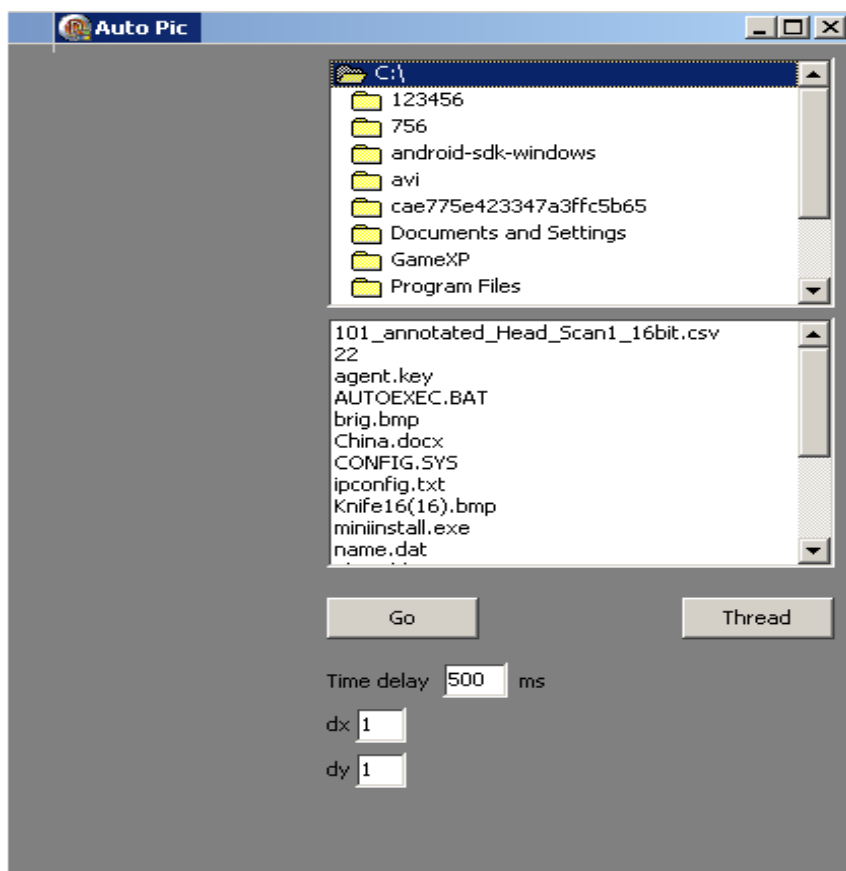


Рис. 4. Вид экрана компьютера после запуска программы **Auto_pic.exe**.

без практически потери его качества. Иногда эта опция бывает необходимой при анализе изображений, содержащих малые предметы, либо при значительном удалении объекта от установки. Эта опция позволит существенно улучшить качество представления предмета. Однако, обработка изображения при этом замедлится.

Еще одна опция **Time delay** позволяет выбрать время задержки изображения на экране компьютера при его автоматической обработке. Под автоматической обработкой понимается ситуация, когда программа непрерывно контролирует содержание директории **Initial** и обрабатывает файлы по мере их поступления с терагерцовой установки. В принципе, возможен вариант программы, когда смена обработки файла происходит вручную.

В дереве каталогов находим директорию **Initial**. Она пустая, если программа запущена



Рис. 5. Папка **Initial**, в которую поступают файлы от терагерцовой установки.

в первый раз, либо предыдущий сеанс обработки данных был закончен успешно. В противном случае в этой директории появятся имена файлов, оставшихся от предыдущего сеанса.

Для запуска обработки программой поступивших изображений необходимо нажать кнопку , которая запускает поток, отвечающий за анализ директории **Initial** на наличие в ней файлов, а затем нажимаем кнопку . После этого программа находится в режиме ожидания поступления файлов в директорию. При появлении файла в этой директории сначала появляется исходное изображение (Рис.6, изображение внизу), а затем

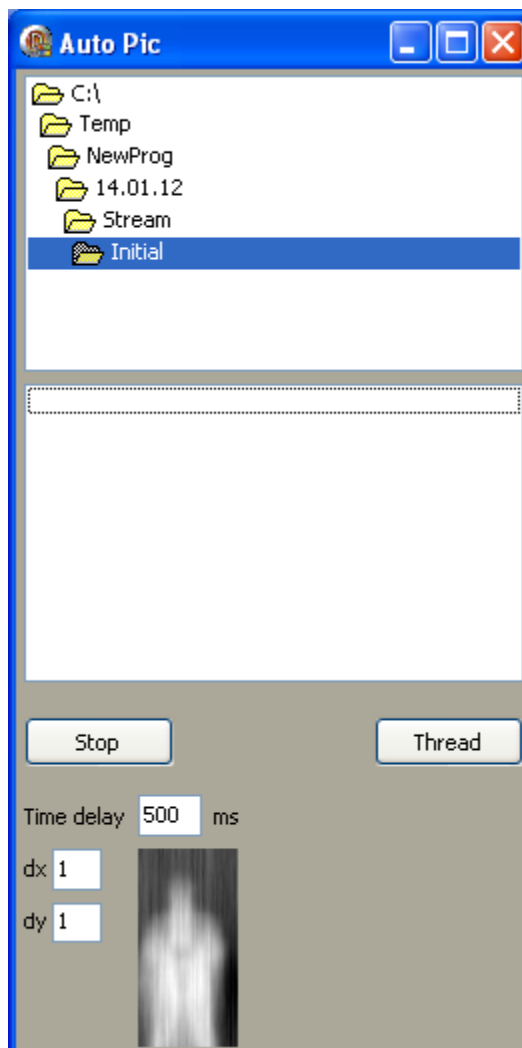


Рис. 6. Изображение, появляющееся при поступлении файла от терагерцовой установки в папку **Initial**.

через некоторое время, которое зависит от числа пикселей на изображении (для 5000 пикселей это время составляет менее 1 секунды) появляются обработанные изображения (Рис.7). Для примера на Рис.6,7 представлены исходные терагерцовые изображения человека, скрывающегося под одеждой пятисантиметровую металлическую пластину. Она практически невидна на исходном снимке. Заметим, что расстояние от приемника до человека 3.2 метра. Каждый из рисунков в таблице рисунков (слева) соответствует обработке исходного изображения разным фильтром. Нетрудно видеть, что на части из них отчетливо видна пластина. Кроме того, видны черты лица (глаза, рот, нос). Поэтому существует дальнейшая возможность улучшения качества изображения тела человека, его лица, уши. Важно подчеркнуть, что при обработке изоб-

ражения, не содержащего предмета, настройки нашего фильтра позволяли видеть внутренние органы человек. Это позволяет в дальнейшем надеяться на возможность видения предметов, проглоченных человеком, либо хирургически внедренных в его тело.

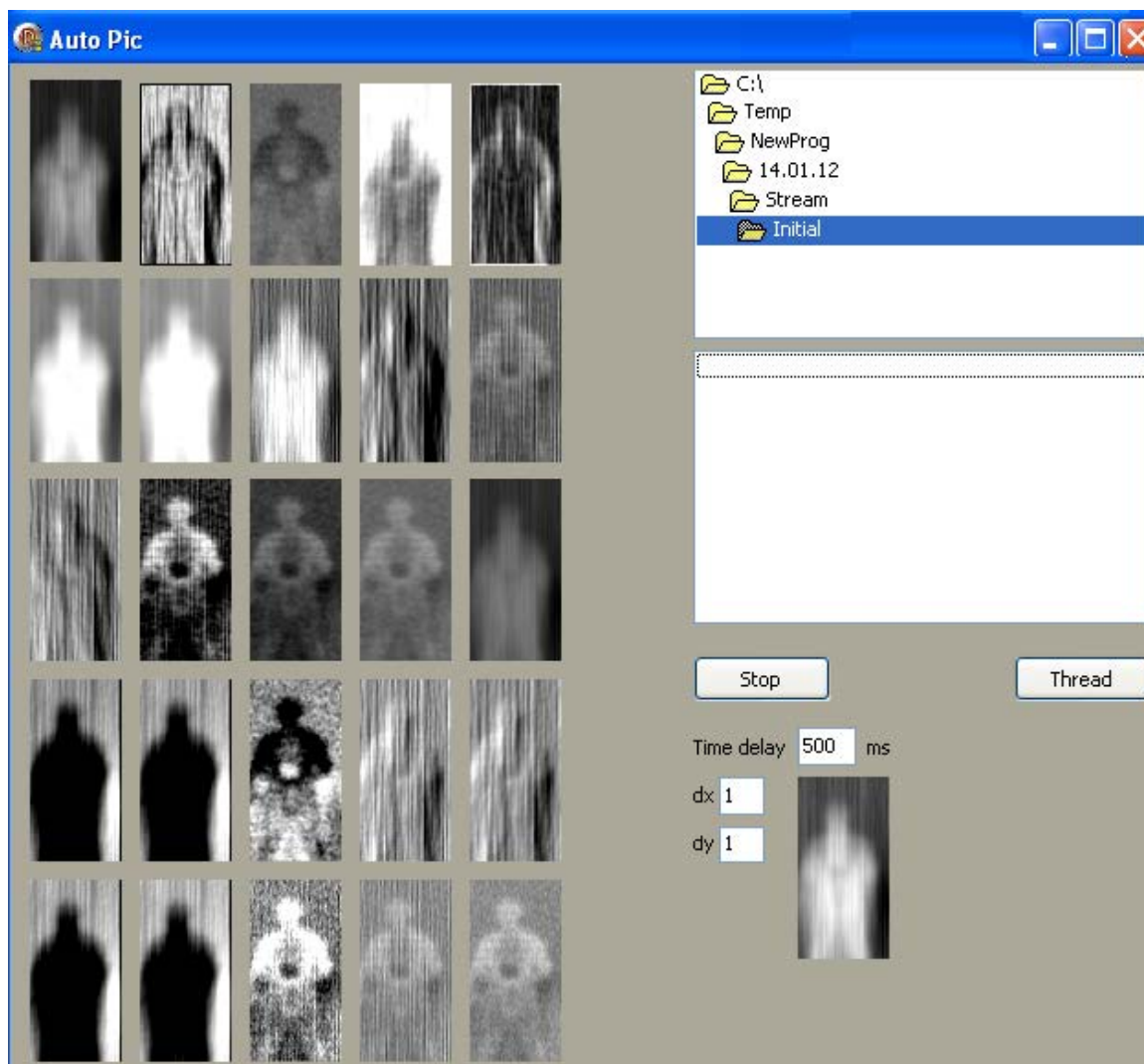

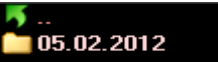


Рис. 7. Изображения (25 штук), появляющиеся после обработки программой исходного изображения от терагерцовой (справа внизу) установки.

После обработки через определенное время задержки исходное изображение перемещается в директорию **End**, в которой автоматически создается директория  текущей даты.

Обработанные изображения сохраняются в папки **Treatment**, в которой также при первом запуске программы на текущий день автоматически создается директория с текущей датой . В этой директории автоматически создаются поддиректории, название которых соответствует номеру окна. Нумерация происходит с верхнего левого окна.

Важно подчеркнуть, что программа остается активной до момента выхода из нее. Это означает, что при поступлении от терагерцовой установки новых данных в директорию **Initial**, программа автоматически их обрабатывает. Закрытие программы происходит стандартным образом.

В заключение отметим, что текущая версия программы может обрабатывать файлы с расширением bmp, png, jpg в формате 8 bit 16 bit 24 bit 32 bit.

3. Выводы

Таким образом, разработанная интеллектуальная система технического видения предметов, скрытых под одеждой человека, использующая его естественное излучение в терагерцовом частотном диапазоне. Ее быстродействие превосходит быстродействие работающих в реальном времени пассивных терагерцовых систем, которые выдают одно изображение за секунду. Поэтому при установке имеющейся программы для обработки изображений от терагерцового приемника какого-либо замедления работы этой системы не будет.

Разработанная программа полностью автоматизирована, легко управляема и обладает широкими потенциальными возможностями. Уже в настоящей версии она позволяет получать изображение скрытых под одеждой предметов с четкими их границами (металлических пластин, жидкой взрывчатки, пистолета, ножа) за 1 секунду. Такого качества изображений и возможности увидеть предметы с размеров в два сантиметра с расстояния трех метров не демонстрировал ранее никто.

Разработанная программа позволяет видеть частично внутренние органы человека. Это открывает потенциальную возможность применения пассивных терагерцовых систем для обнаружения предметов, находящихся внутри человеческого тела.

4. Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант номер 11-07-13139-офи-м-2011-РЖД).

Литература

1. TeraView Corporation Internet site. <http://www.teraview.com>
2. Tera-photonics Laboratory, RIKEN Sendai, Internet site. <http://www.riken.jp>
3. ThruVision Systems' website. <http://www.thruvision.com>
4. Brijot' website. <http://www.brijot.com>
5. IARD Sensing Solutions Internet site. <http://www.iard.co.il>
6. Zomega Terahertz Corporation Internet site. <http://www.zomega-terahertz.com>
7. Yujiri L., Shoucri M., Moffa P. Passive millimeter wave imaging // IEEE Microwave Magazine. Vol. 39. 2003 г., №5, P. 39-50.
8. Clark S.E., Lovberg J. A., Weg C.A., Martin C.A., Kolinko V. Passive millimeter-wave imaging for airborne and security applications // Proceedings of SPIE. Vol. 5077. 2003 г., P. 16-21.
9. Wang N.N., Qiu J.H., Deng W.B. Development status of millimeter wave imaging systems for concealed detection // Infrared Technology. Vol. 31. 2009 г., №3, P. 129-135.
10. Von Spiegel W., Weg C.A., Henneberger R., et al. Illumination aspects in active terahertz imaging// IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 58. 2010 г., № 7, P. 2008–2013.
11. Appleby R., Anderton R.N. Millimeter-wave and Submillimeter-wave Imaging for Security and Surveillance// Proceedings of IEEE. Vol. 95. 2007 г., № 8, P. 1683 – 1690.
12. Appleby R., Anderton R.N., Thomson N.H., et al. The design of a real-time 94-GHz passive millimeter-wave imager for helicopter operations// Proceedings of SPIE. Vol. 5619. 2004 г., P. 5619-38.
13. Zhuang Z., Qiu J. H., Xie F., et al. Quasi optics design and measurement of millimeter wave imaging// Equipment Environmental Engineering. Vol. 6. 2009 г., № 4, P. 890-897.
14. Chen C.H., Prather D.W., Siegel P.H. Design of a 600 GHz fresnel lens antenna for passive and active imaging// IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2007 г., P. 4385-4388.
15. Ito H., Yamamoto H., Muramoto Y., Ishibashi T. Reflection-geometry sub-terahertz-wave imaging for biological materials using an integrated photonic transceiver// Technical Program of Conference “2011 Optics+Photonics”. 2011 г., P. 136.
16. Kopeika N. S., Abramovich A., Levanon A., Rozban D., Akram A., et al. Mm wave and THz imaging using very inexpensive neon-indicator lamp detector focal-plane arrays// Technical Program of Conference “2011 Optics+Photonics”. 2011 г., P. 136.
17. Federici J.F., Schulkin B., Huang F., Gary D., Barat R., Oliveira F., Zimdars D. THz imaging and sensing for security applications - explosives, weapons and drugs// Semicond. Sci. Technol. Vol. 20. 2005 г., P. S266–S28.

18. *Trofimov V.A., Trofimov V.V, Deng Chao, Zhao Yuan-meng, Zhang Cun-lin, Zhang Xin.* Possible way for increasing the quality of imaging from THz passive device// Proceedings of SPIE. Vol. 8189. 2011 г., P. 81890L.
19. *Huang T.S. (editor).* Picture Processing and Digital Filtering. Topics in applied physics. Vol.6.- Berlin: Springer-Verlag, 1975 г., P.289.
20. *Andrews H.C., Hunt B.R.* Digital Image Restoration.- NJ: Prentice Hall, Inc., 1977 г., P.238.
21. *Lim J.S.* Two-Dimensional Image and Signal Processing.- NJ: Prentice Hall, Inc., 1990 г., P.321.
22. *Pitas I., Venetsanopoulos A.* Nonlinear Digital Filters: Principles and Applications.- Boston, MA: Kluwer Academic Publishers,1990 г., P.352.
23. *Mitra S., Sicuranza G.* Nonlinear Image Processing.- San Diego, CA: Academic Press, 2000 г., P.423.
24. *Pratt W.* Digital Image Processing.- NY: John Wiley & Sons, 2001 г., P.382.
25. *Aubert G., Kornprobst P.* Mathematical Problems in Image Processing: Partial Differential Equations and the Calculus of Variations.- NY: Springer Verlag, 2002 г., P.198.
26. *Jahne B.* Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Application.- CRC Press 2004 г., P.204.
27. *Chan T., Shen J.* Image Processing and Analysis - Variational, PDE, wavelet, and stochastic methods.- Philadelphia, PA: SIAM, 2005 г., P.212.
28. *Arce G.* Nonlinear Signal Processing: A Statistical Approach.- Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2005 г., P.186.
29. *Acharya T., Ray A.* Image Processing: Principles and Applications.- Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2005 г., P.500
30. *Umbaugh S.* Computer Imaging: Digital Image Analysis and Processing.- CRC Press, 2005 г., P.400.
31. *Russ J.C.* The image processing handbook.- CRC Press, 2011 г., P.410.
32. *Katkovnik V., Egiazarian K., Astola J.* Local Approximation Techniques in Signal and Image Processing.- Bellingham, Washington: SPIE Press, 2006 г., P.350.