

А.В. Клоков, В.П. ЯКУБОВ, С.Э. ШИПИЛОВ, В.И. ЮРЧЕНКО
**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ
РОБОТОВ НА ОСНОВЕ РАДИОВИДЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОКУСИРУЮЩИХ ЛИНЗ ЛЮНЕБЕРГА**

Клоков А.В., Якубов В.П., Шипилов С.Э., Юрченко В.И. Разработка системы технического зрения для роботов на основе радиовидения с использованием фокусирующих линз люнеберга.

Аннотация. В докладе представлена разработка методики проектирования однопозиционных модулей активного радиовидения для систем радиолокационного контроля различных объектов и обеспечения систем технического зрения в условиях плохой видимости, которая также может быть использована для визуализации скрытых под одеждой человека опасных предметов в условиях интенсивного пассажиропотока. В основу заложена технология управляемой фокусировки излучения с использованием интеграции линзы Люнеберга и автодиновых датчиков.

Ключевые слова: техническое зрение, радиовидение, линза Люнеберга, автодин, фокусировка излучения, синтезирование апертуры.

Klokov A.V., Yakubov V.P., Shipilov S.E., Yurchenko V.I. Development of the Vision Systems Based on Radiowave Using a Luneburg Lens Focusing for Robots.

Abstract. The report presents the development of the design methodology of active radio-wave single-position modules for radar control systems of various facilities and the provision of technical vision systems in low visibility conditions, which can also be used for visualizing dangerous objects hidden beneath a person's clothing in heavy passenger traffic. It is based on the focusing technologies of radiowave radiation with the Luneberg lens and the autodyne sensors.

Keywords: vision systems; radiovision; Luneburg lens; autodyne; radiowave focusing; synthetic aperture.

1. Введение. Под активной системой радиовидения понимается радиолокационная система микроволнового диапазона, используемая для выборочного секторного или полного обзора окружающего пространства с целью визуализации скрытых в ручной клади, под одеждой человека или в багаже предметов, представляющих потенциальную опасность. В сравнении с оптическими системами, системы радиовидения дают возможность получать изображения объектов практически независимо от метеоусловий и естественной освещенности, на значительном удалении и одновременно в широкой зоне обзора, в том числе объектов, невидимых в оптическом диапазоне волн [1-6]. Активность системы призвана обеспечить существенно более высокий уровень отношения сигнал-шум по отношению к пассивным системам, использующим контраст собственного радиотеплового излучения человека и скрытых предметов. При этом уровень излучения, приходящегося на человека, ниже предельно допустимых норм и находится на уровне меньшем, чем для излучения работающих сотовых телефонов [7-16].

Использование линз Люнеберга позволяет существенно упростить аппаратную фокусировку излучения в широком диапазоне углов. Требуемая разрешающая способность имеет порядок 1 см, что обеспе-

чивается сочетанием двух дополняющих друг друга подходов — механического углового сканирования и синтезирования большой апертуры. Комплексование подходов реализуется на основе алгоритмов томосинтеза, которые специально разрабатываются для данного комплекса [9, 12, 14, 15].

Актуальным является использование предлагаемой системы радиовидения для обеспечения подвижных роботов в условиях недостаточной видимости. Система найдет применение для обеспечения управлением транспортными средствами в условиях плохой видимости, например, в тумане или в дымовых завесах, а также при обеспечении управления и развязки интенсивных транспортных потоков [17-23].

2. Состав модуля радиовидения. Для достижения заданных параметров электронного модуля пассивного радиовидения (ЭМПР) используется оригинальная технология, основанная на многокурсовой одновременной фокусировке сигналов двумя цилиндрическими линзами: диэлектрической линзой и линзой Люнеберга. При этом раздельно, но одновременно на аппаратном уровне идет фокусировка во взаимно ортогональных плоскостях — вертикальной и горизонтальной. Это существенно усиливает регистрируемые сигналы и снижает технические требования на чувствительность датчиков для их регистрации в каждом из каналов, причем одновременно, независимо и при полном круговом обзоре. Немаловажным для надежности обстоятельством является простота и технологичность конструкции. Основные требования к параметрам опытных образцов электронного модуля пассивного радиовидения приведены в таблице №1.

Таблица 1. Требования к параметрам ЭМПР

№	Наименование параметра	Значение
1	Рабочая частота в середине полосы приема, ГГц.	35
2	Расстояние до границ охраняемого объекта, м.	10-500
3	Угловая зона обзора, град.	до 360
4	Скорость сканирования, кадров/с.	5-10
5	Количество каналов в приемной матрице, шт.	48
6	Диаметр апертуры приемной антенны, м.	1,0
7	Минимальный различаемый контраст радиоизображений, °К.	0,5
8	Пространственное разрешение (в режиме сверхразрешения), м.	1,5 (0,5)

В состав унифицированного ЭМПР должны входить:

- ◆ антенный элемент с линзой Люнеберга;
- ◆ коммутатор;
- ◆ эквивалент нагрузки;
- ◆ входной усилитель;
- ◆ детектор;
- ◆ регулируемый аттенюатор;
- ◆ видеоусилитель;
- ◆ термостабилизатор.

3. Линза Люнеберга. В основе разрабатываемой конструкции ЭМНР лежит идея использования плоской линзы Люнеберга волноводного типа (рисунок 1). На этом рисунке приведен действующий вариант такой линзы диаметром 16 см для рабочей частоты 35 ГГц. Достижимый реально при этом коэффициент усиления линзы равен 20 дБ. При увеличении ее диаметра до 1 м коэффициент усиления поднимется 28 дБ.

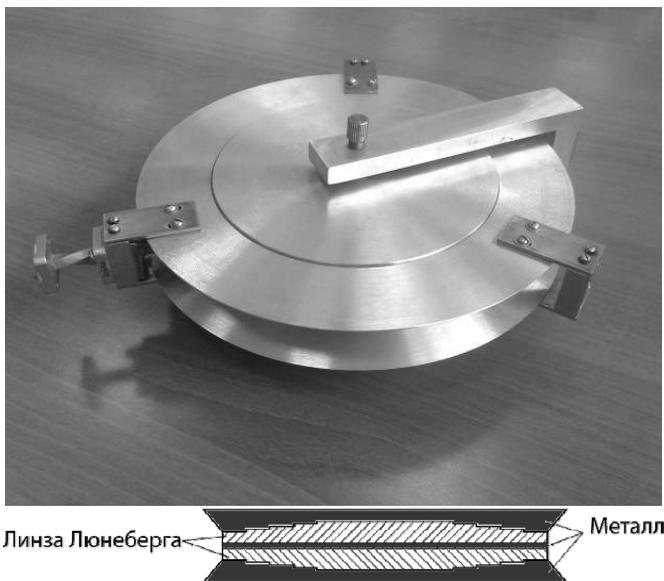


Рис. 1. Двухслойная линза Люнеберга

Отличительной особенностью такой линзы Люнеберга является возможность высокой локализации излучения в горизонтальной плоскости с шириной диаграммы направленности (ДН) порядка $1,3^\circ$ и относительно широкой ДН в вертикальной плоскости 30° (рисунок 2).

Предлагаемая на рисунке 1 конструкция линзы Люнеберга двухслойная. Для исключения взаимного и затеняющего влияния облучатели размещаются по периметру линзы в секторе 90° по 12 штук на расстоянии 6,5 см друг от друга. Четырехсекторная структура из двух линз Люнеберга, расположенных друг над другом, позволяет задействовать 48 независимых датчиков излучения и перекрывать сектор обзора 360° в азимутальной плоскости. Все датчики опрашиваются параллельно, т.е. одновременно. Получающиеся лучи разделены по азимуту между собой зазорами — «мертвыми зонами» шириной порядка 5° . Эти зазоры можно устранить, например, путем использования «этажерки» из пяти параллельных линз, повернутых на 1° каждая

следующая относительно предыдущей. Тот же самый эффект можно достигнуть простым вращением изначальной пары двухслойных линз вокруг вертикальной оси. Для обеспечения скорости сканирования 5-10 кадров/с достаточным является вращение со скоростью 5-10 об/мин. Это минимально достаточная скорость. При большей скорости вращения достигается большая скорость кадровой развертки.

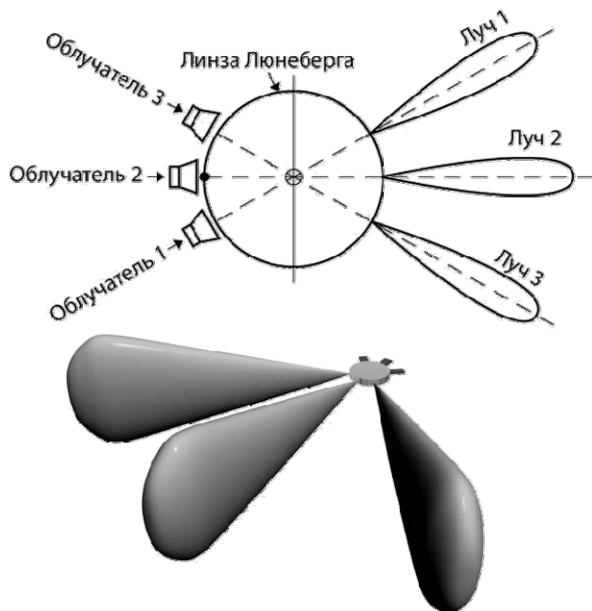


Рис. 2. Диаграммные свойства линзы Люнеберга

Необходимая чувствительность ($0,5 \text{ }^\circ\text{K}$) достигается с использованием гетеродинного приемника на основе балансного смесителя. Усиленный сигнал промежуточной частоты поступает на видеодетектор и далее через АЦП передается на вход ПЭВМ, где обрабатывается. Полоса пропускания 1 ГГц (3% от несущей частоты) при времени накопления $0,1 \text{ с}$ обеспечивает в двухполосном режиме радиометрическое усиление порядка 43 дБ . При коэффициенте шума смесителя вместе с УПЧ до 10 дБ ($T_{ш} = 3000 \text{ }^\circ\text{K}$) ожидаемая радиометрическая чувствительность составит $0,15 \text{ }^\circ\text{K}$, что вполне достаточно для реального обеспечения необходимой чувствительности. Поскольку круговой обзор осуществляется достаточно быстро (до 10 кадров в секунду), и важна лишь относительная контрастность деталей изображения, а не их абсолютное значение, то особой термостабилизации не требуется [24-26].

Обеспечиваемое линзой Льюнеберга диаметром 1 м угловое разрешение составляет $1,3^\circ$ в азимутальной плоскости. Этому соответствует пространственное разрешение 1,5 м на расстоянии 70 м от охраняемого объекта. Такая величина определяется по результатам измерений с реальной линзой Льюнеберга. Если оценку углового разрешения сделать по дифракционному пределу для выбранной частоты излучения 35 ГГц, то получается величина $0,5^\circ$. Пространственное разрешение порядка 1,5 м тогда достигается на расстоянии 175 м от охраняемого объекта. Для обеспечения лучшего пространственного разрешения применим метод сверхразрешения, основанный на применении винеровской фильтрации с использованием функции размытия точки и регуляризации. При этом в зависимости от уровня мешающих шумов пространственное разрешение может быть реально увеличено в 3-10 раз.

4. Цилиндрическая линза. Для получения развертки в вертикальном направлении может быть использована цилиндрическая диэлектрическая линза (рисунок 3), внутри которой размещается рассмотренная ранее вращающаяся «этажерка» из линз Льюнеберга. Фокальная поверхность цилиндрической линзы совмещается с боковой цилиндрической поверхностью «этажерки» из линз Льюнеберга. Каждая линза Льюнеберга отвечает за горизонтальную развертку в заданной строке. Номер строки определяется вертикальным сдвигом положения линзы Льюнеберга на фокальной поверхности цилиндрической диэлектрической линзы. В качестве материала для изготовления цилиндрической линзы может быть использован, например, полиэтилен высокого давления или искусственный диэлектрик.

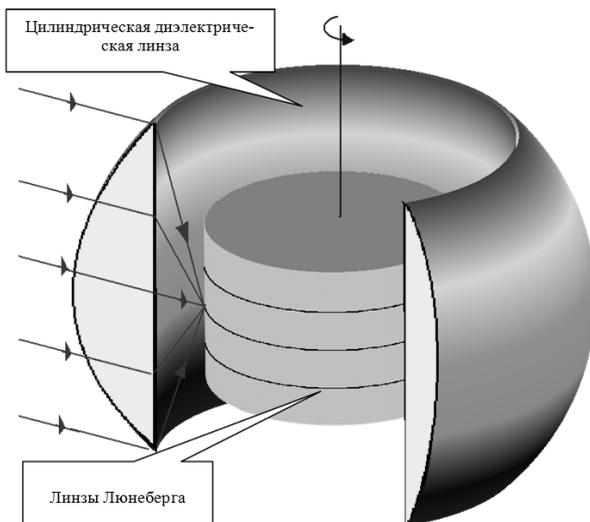


Рис. 3. Цилиндрическая диэлектрическая линза для вертикальной развертки

Назначение предлагаемой системы — контроль подступов и самой территории промышленных объектов, а также обеспечения управления транспортными средствами в условиях плохой видимости. Такие системы призваны обеспечить радиовидение всех объектов, отличающихся по форме и ориентации в пространстве. Изготовленная радиоволновая система может работать в пассивном режиме. Информационным параметром при этом будет выступать радиояркостная температура объектов обзора. В условиях плотного потока транспортных средств системы пассивного обзора окружающего пространства, установленные на самих транспортных средствах, способны стать техническим способом предотвращения столкновений и аварийных ситуаций в условиях сильных туманов, дымок и дымовых завес при ограниченной видимости или при полном ее отсутствии в оптическом диапазоне, например, зимой или в периоды стихийных бедствий.

5. Заключение. Использование линзы Люнеберга в конструкции существенно улучшает аэродинамические характеристики радиоволновых систем технического зрения, и это допускает ее применение и на аэрокосмических носителях. К тому же повышается радиоволновая скрытность изделия. При установке предлагаемой системы на крыше транспортного средства металлический корпус крыши практически не влияет на его работоспособность. Важно, что линзы изготавливаются из легких материалов, например, вспененного полистирола, что допускает существенное уменьшение массы.

ЭМНР способны стать частью полного томографического обзора окружающего пространства для всепогодных систем безопасности и автоматического наведения электронных средств защиты гражданских и военных объектов, например, танков в период боевых действий. Важнейшим достоинством предлагаемой системы является его универсальность, 100% безвредность для человека и скрытность для средств радиоразведки.

Подводя итог, можно сказать, что разрабатываемая система технического зрения с линзой Люнеберга сможет внедриться в различные области и отрасли гражданского и военного применения, а также стать самостоятельным инновационным товаром. Переход на ультразвуковое излучение позволит использовать этот подход для построения систем подводного звуковидения.

Литература

1. *Berthold K.P. Horn.* Robot Vision // MIT Press. 1986. 480 p.
2. *Batchelor B.G., Whelan P.F.* Intelligent Vision Systems for Industry // Springer-Verlag, 1997. 456 p.
3. *Demant C., Streicher-Abel B., Waszkewitz P.* Industrial Image Processing: Visual Quality Control in Manufacturing // Springer-Verlag. 1999. 369 p.

4. *Gonzales R.C. and Wintz P.A.* Digital Image Processing // Longman Higher Education. 2001. 976 p.
5. *Pham D.T. and Alcock R.J.* Smart Inspection Systems: Techniques and Applications of Intelligent Vision // Academic Press. 2003. 221 p.
6. *Davies E.R.* Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. 3rd edition // Morgan Kaufmann. 2004. 800 p.
7. *Якубов В.П., Шитилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В.* Радиоволновая томография: достижения и перспективы // Томск: НТЛ. 2014. 264 с.
8. *Антипов В.Б., Манаков А.М., Суханов Д.Я., Цыганок Ю.И., Якубов В.П.* Исследование широкополосных приемо-передающих модулей для синтеза радиоизображений // Известия вузов. Физика. 2010. Т.53. № 9/2. С.145–146.
9. *Разинкевич А.К., Якубов В.П., Шитилов С.Э., Пинчук Р.В.* Радиотомография удаленных объектов Радиотомография удаленных объектов // IV Всероссийская конференция «Радиокоммуникация и радиосвязь». 2010. С. 139–142.
10. *Сатаров Р.Н. и др.* Коммутируемая сверхширокополосная антенная решетка для радиотомографии // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т.55. № 8. С. 26–30.
11. *Суханов Д.Я., Якубов В.П., Рубаненко А.С.* Двумерное радиовидение с использованием доплеровского радиолокатора и линейного переизлучателя // Известия высших учебных заведений. Физика. 2010. Т. 53. № 9/2. С. 94–95.
12. *Федянин И.С. и др.* Система радиовидения на основе решетки микроволновых датчиков // Контроль. Диагностика. 2012. № 13. С. 141–145.
13. *Федянин И.С., Кузьменко И.Ю., Шитилов С.Э., Якубов В.П.* Радиовидение с использованием микроволновых доплеровских датчиков // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 9. С. 220–221.
14. *Якубов В.П., Шитилов С.Э., Сатаров Р.Н.* Сверхширокополосное зондирование за диэлектрическими преградами // Известия высших учебных заведений. Физика. 2010. Т. 53. № 9. С. 10–16.
15. *Якубов В.П., Шитилов С.Э., Сатаров Р.Н.* Сверхширокополосная томография движущихся объектов за диэлектрическими преградами // Контроль. Диагностика. 2011. Спецвыпуск. С. 89–91.
16. *Якубов В.П., Шитилов С.Э., Суханов Д.Я., Разинкевич А.К.* Сверхширокополосная томография удаленных объектов // Дефектоскопия. 2012. № 3. С. 59–65.
17. *Якубов В.П., Шитилов С.Э., Суханов Д.Я.* Микроволновая томография радионепрозрачных объектов // Дефектоскопия. 2011. № 11. С. 62–68.
18. *Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г.* Распространение радиоволн // М.: ЛЕНАНД. 2009. 496 с.
19. *Якубов В.П., Беличенко В.П., Фисанов В.В.* Основы электродинамики излучения и его взаимодействие с веществом. Томск: НТЛ. 2010. 296 с.
20. *Суханов Д.Я., Якубов В.П.* Применение сигналов с линейной частотной модуляцией в трехмерной радиотомографии // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. № 4. С. 115–119.
21. *Пинчук Р. и др.* Пространственно-частотное синтезирование в микроволновой томографии // Известия высших учебных заведений. Физика. 2010. Т. 53. № 9/2. С. 108–109.
22. *Федянин И.С., Якубов В.П., Шитилов С.Э., Клоков А.В.* Радиотомография по неполным данным // Контроль. Диагностика. 2011. № 11. С. 51–54.
23. *Якубов В.П., Шитилов С.Э., Суханов Д.Я.* Радио и ультразвуковая томография скрытых объектов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 8. С. 20–25.
24. *Федянин И.С., Кузьменко И.Ю., Шитилов С.Э., Якубов В.П.* Радиовидение с использованием решетки микроволновых доплеровских датчиков // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 9/2. С. 270–271.

25. *Юрченко В.И., Шаповал Л.Г., Юрченко Н.М.* Диоды Ганна из прошлого в будущее // Электронная промышленность. 2014. № 1. С. 23–28.
26. *Юрченко В.И.* Развитие датчиков СВЧ диапазона // Современная электроника. 2010. № 5. С. 34–35.

References

1. Berthold K.P. Horn. Robot Vision. MIT Press. 1986. 480 p.
2. Batchelor B.G. and Whelan P.F. Intelligent Vision Systems for Industry. Springer-Verlag. 1997. 456 p.
3. Demant C., Streicher-Abel B., Waszkewitzp. Industrial Image Processing: Visual Quality Control in Manufacturing. Springer-Verlag. 1999. 369 p.
4. Gonzales R.C., Wintzp. A. Digital Image Processing. Longman Higher Education. 2001. 976 p.
5. Pham D.T. and Alcock R.J. Smart Inspection Systems: Techniques and Applications of Intelligent Vision. Academic Press. 2003. 221 p.
6. Davies E.R. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Morgan Kaufmann. 3rd edition. 2004. 800 p.
7. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya., Klovok A.V. *Radiovolnovaya tomografiya: dostizheniya i perspektivy* [Radio-wave tomography: achievements and prospects]. Tomsk: NTL. 2014. 280 p. (In Russ.).
8. Antipov V.B., Manakov A.M., Sukhanov D.Ya., Tsyganok Yu.I., Yakubov V.P. [Study broadband transceiver modules for the synthesis of radio images] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2010. vol. 53. no. 9/2. pp. 145–146. (In Russ.).
9. Razinkevich A.K., Yakubov V.P., Shipilov S.E., Pinchuk R.V. [Tomography of distant objects]. *IV Vserossiiskaja konferentsija "Radiolokatsiya i radiosvyaz"* [Proceedings of the IV Russian Conference "Radiolocation and radio communications"]. 2010. pp. 39–142. (In Russ.).
10. Satarov R.N. et al. [Switched ultrawideband antenna array for radio tomography] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika. – Russian Physics Journal*. 2012. vol. 55. no. 8. pp. 26–30. (In Russ.).
11. Sukhanov D.Ya., Yakubov V.P., Rubanenko A.S. [The two-dimensional radio-wave imaging using doppler radar and linear re-radiator] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2010. vol. 53. no. 9/2. pp. 94–95. (In Russ.).
12. Fedyanin I.S. et. al. [The system of radio vision with using doppler sensors]. *Kontrol'. Diagnostika. – Testing. Diagnostics*. 2012. no. 13. pp. 141–145. (In Russ.).
13. Fedyanin I.S., Kuz'menko I.Yu., Shipilov S.E., Yakubov V.P. [Radiovision by using doppler microwave sensors]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2012. vol. 55. no. 9. pp. 220–221. (In Russ.).
14. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Satarov R.N. [Ultra-wideband sensing behind of dielectric barriers] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2010. Vol. 53. no. 9. pp. 10–16. (In Russ.).
15. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Satarov R.N. [Ultra-wideband tomography of moving beyond the barrier objects]. *Kontrol'. Diagnostika – Testing. Diagnostics*. 2011. no. Sp. pp. 89–91. (In Russ.).
16. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya., Razinkevich A.K. [Ultrabroad-band tomography of remote objects]. *Defektoskopiya – Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2012. no. 3. pp. 59–65. (In Russ.).
17. Yakubov V.P. Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya. [Microwave tomography of radiopaque objects]. *Defektoskopiya – Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2011. no. 11. pp. 62–68. (In Russ.).
18. Yakovlev O.I., Yakubov V.P., Uryadov V.P., Pavel'ev A.G. *Rasprostranenie radiovoln* [Radiowave propagation]. Moscow: LENAND. 2009. 496 p. (In Russ.).

19. Yakubov V.P., Belichenko V.P., Fisanov V.V. *Osnovy elektrodinamiki izlucheniya i ego vzaimodeystviye s veshchestvom* [Fundamentals of radiation electrodynamics and its interaction with matter]. Tomsk. 2010. 296 p. (In Russ.).
20. Sukhanov D.Ya., Yakubov V.P. [Application of linear frequency modulated signals in three-dimensional radio tomography]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki – Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*. 2010. vol. 80. no. 4. pp. 115–119. (In Russ.).
21. Pinchuk R. et. al. [Spatial-frequency synthesizer in microwave tomography]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2010. vol. 53. no. 9/2. pp. 108–109. (In Russ.).
22. Fedyanin I.S., Yakubov V.P., Shipilov S.E., Klokov A.V. [Incomplete Data Tomography]. *Kontrol'. Diagnostika – Testing, Diagnostics*. 2011. no. 11. pp. 51–54. (In Russ.).
23. Yakubov V.P., Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya. [Radio and ultrasonic tomography of hidden objects]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2012. vol. 55. No 8. pp. 20–25. (In Russ.).
24. Fedyanin I.S., Kuz'menko I.Yu., Shipilov S.E., Yakubov V.P. [Radiovision using an array of microwave doppler sensor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*. 2012. vol. 55. no. 9/2. pp. 270–271. (In Russ.).
25. Yurchenko V.I., Shapoval L.G., Yurchenko N.M. [Gunn diodes - from the past to the future]. *Elektronnaya promyshlennost' – Electronic industry*. 2014. no. 1. pp. 23–28. (In Russ.).
26. Yurchenko V.I. [The development of microwave sensors]. *Sovremennaya elektronika. – Modern electronics*. 2010. no. 5. pp. 34–35. (In Russ.).

Клоков Андрей Владимирович — к-т техн. наук, доцент кафедры радиофизики, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ). Область научных интересов: радиолокация, геолокация, обработка радиолокационных изображений. Число научных публикаций — 30. 701-kav@mail.tsu.ru; пр. Ленина, 36, Томск, 634050; р.т.: +7(3822)413-675.

Klokov Andrey Vladimirovich — Ph.D., associate professor of radiophysics department, National Research Tomsk State University (TSU). Research interests: radiolocation, geolocation, image processing. The number of publications — 30. 701-kav@mail.tsu.ru; 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia; office phone: +7(3822)413-675.

Юрченко Василий Иванович — начальник отдела, АО "Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов" (АО «НИИПП»). Область научных интересов: физика органических и неорганических полупроводников и полупроводниковых приборов, мощные диоды Ганна, датчики магнитных полей на полимерах. Число научных публикаций — 120. yurchenko_vi@niipp.ru, <https://mail.niipp.ru>; ул. Красноармейская, 99а, Томск, 634034; р.т.: 89050892821, Факс: 8(3822)288221.

Yurchenko Vasilii Ivanovich — head of the department, JSC «Research Institute of Semiconductor Devices» (“NIIPP”). Research interests: physics of organic and inorganic semiconductors and semiconductor devices, powerful Gunn diodes, sensors of magnetic fields on polymers. The number of publications — 120. yurchenko_vi@niipp.ru, <https://mail.niipp.ru>; 99a, Krasnoarmeiskaya street, Tomsk, 634034, Russia; office phone: 89050892821, Fax: 8(3822)288221.

Шипилов Сергей Эдуардович — доцент кафедры радиофизики, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ). Область научных интересов: разработка методов радиоволновой томографии на основе сверхширокополосного зондирования, разработка систем фокусировки излучения с использованием антенных

решеток. Число научных публикаций — 56. s.shipilov@gmail.com; пр. Ленина, 36, Томск, 634050; р.т.: +7(3822)413-675.

Shipilov Sergey Eduardovich — Ph.D., associate professor of radiophysics department, National Research Tomsk State University (TSU). Research interests: development of methods of radiowave tomography based on ultra-wideband sensing, development of radiation focusing systems using antenna arrays. The number of publications — 56. s.shipilov@gmail.com; 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia; office phone: +7(3822)413-675.

Якубов Владимир Петрович — д-р физ.-мат. наук, академик Российской академии естественных наук, заведующий кафедрой радиофизики, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ). Область научных интересов: статистическая радиофизика, обратные задачи, электродинамика, томография. Число научных публикаций — 130. yvlp@mail.tsu.ru; пр. Ленина, 36, Томск, 634050; р.т.: +7(3822)413-675, Факс: +7 3822412583.

Yakubov Vladimir Petrovich — Ph.D., Dr. Sci., professor, academician of the Russian academy of natural sciences, head of radiophysics department of radiophysics faculty, National Research Tomsk State University. Research interests: statistical physics, electrodynamics, inverse problems. The number of publications — 130. yvlp@mail.tsu.ru; 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia; office phone: +7(3822)413-675, Fax: +7 3822412583.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант р-а № 16-48-700879).

Acknowledgements. This research is supported by RFBR (grant r-a 16-48-700879).

РЕФЕРАТ

Клоков А.В., Якубов В.П., Шипилов С.Э., Юрченко В.И. **Разработка системы технического зрения для роботов на основе радиовидения с использованием фокусирующих линз люнеберга.**

Рассматривается возможность развития систем технического зрения на основе использования однопозиционных модулей активного радиовидения, включающих в себя приемо-передающие СВЧ модули автодиодного типа и набор плоских двухслойных линз Люнеберга волноводного типа. Использование «этажерки» из этих линз обеспечивает управляемый практически полный обзор окружающего пространства. Каждая линза имеет диаметр 16 см и на для рабочей частоте 35 ГГц создает фокусировку излучения в горизонтальной плоскости в секторе $1,3^\circ$, а использование многослойной «этажерки» из вращающихся линз Люнеберга с закрепленными на них датчиками позволяет перекрыть сектор обзора 360° в азимутальной плоскости. В вертикальной плоскости сканирование может обеспечить либо использование специальной конструкции цилиндрической линзы, либо использование технологии апертурного синтеза. Проведенные оценки показывают возможность достижения обзора пространства с частотой смены кадров 5-10 Гц. Предлагаемая система призвана обеспечить управление подвижного робота в условиях плохой видимости на суше и на море, но может быть использована и под водой с переходом на ультразвуковое излучение.

SUMMARY

Klokov A.V., Yakubov V.P., Shipilov S.E., Yurchenko V.I. **Development of the Vision Systems Based on Radiowave Using a Luneburg Lens Focusing for Robots.**

The possibility of the development of vision systems based on the use of single-position of active radio vision modules, including UHF transiving modules autodyne type and a set of two-layer planar waveguide Luneburg lens. Using the "stack" of the lens provides a controlled overview of the surrounding area. Each lens has a diameter of 16 cm and an operating frequency of 35 GHz focusing in the horizontal plane in the sector $1,3^\circ$, and the use of multi-layer "stack" of rotating Luneburg lenses with sensors attached to them allows viewing 360° sector in the azimuth plane. The vertical scanning can provided a special use of the cylindrical lens structure, or using aperture synthesis technology. The estimates indicate the possibility of achieving the view space with frame rates of 5-10 Hz. The proposed system is designed to provide a mobile robot control in poor visibility conditions on land and at sea, but can also be used under water with ultrasonic radiation.