

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ
МОЛОДЕЖНОЙ КОНКУРС-КОНФЕРЕНЦИИ

ОПТИЧЕСКИЕ
И
ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

25-27 сентября 2017 года
Академгородок, Новосибирск

Председатель конференции:

академик **А.М. Шалагин**, ИАиЭ СО РАН

Программный комитет:

академик **А.М. Шалагин**, ИАиЭ СО РАН – председатель;

О.И. Потатуркин, ИАиЭ СО РАН;

Л.В. Ильичев, ИАиЭ СО РАН;

член-корр. **С.А. Бабин**, ИАиЭ СО РАН;

С.К. Турицын, НГУ;

П.Л. Чаповский, ИАиЭ СО РАН;

М.Н. Филиппов, ИАиЭ СО РАН;

К.И. Будников, ИАиЭ СО РАН;

В.Е. Зюбин ИАиЭ СО РАН.

И.А. Лобач, ИАиЭ СО РАН.

Организационный комитет:

И.А. Лобач, ИАиЭ СО РАН, НГУ – председатель;

Е.И. Донцова, ИАиЭ СО РАН – секретарь;

А.Ю. Ткаченко, ИАиЭ СО РАН;

Е.А. Злобина, ИАиЭ СО РАН;

А.Е. Беднякова, ИВТ СО РАН, НГУ;

С.С. Болдова, ИАиЭ СО РАН;

В.А. Симонов, ИАиЭ СО РАН;

И.Д. Ватник, ИАиЭ СО РАН;

Т.В. Лях, ИАиЭ СО РАН, НГУ;

М.А. Городилов, ИАиЭ СО РАН.

Спонсоры:



Институт автоматки и
электрометрии СО РАН

N* Новосибирский
государственный
университет
***НАСТОЯЩАЯ НАУКА**



Контактная информация секретаря:

E-mail: potcon2017@gmail.com

Internet: <https://vk.com/potcon>

Телефон: 7 (383) 330 68 32

Программа молодежной конкурс-конференции «Оптические и информационные технологии 2017»

25 сентября 2017 г.

Конференц-зал Института автоматике и электрометрии

- 09:00 – 09:30 Регистрация
- 09:30 – 9:35 Открытие конференции
- 09:35 – 10:15 **Приглашенный доклад. Лектор - Андрей Дубатов**
National Instruments
«Подход National Instruments к решению современных задач измерений и автоматизации»

«Информационные технологии» (12 минут презентация, 3 минуты на вопросы)

Конференц-зал Института автоматике и электрометрии

- 10:15 – 10:30 **Дмитрий Нефедов**
«Методы хранения и отображения данных в системах на базе микроконтроллеров»
- 10:30 – 10:45 **Татьяна Лях**
«Разработка промышленных алгоритмов управления сложными технологическими объектами с использованием виртуальных лабораторных стендов»
- 10:45 – 11:300 **Дмитрий Краснов**
«Апробация языка IndustrialC на примере разработки ПО микроконтроллера в системе автоматизации установки УВН-71П-3»

11:00 – 11:15 **Кофе-брейк**

- 11:15 – 11:30 **Михаил Городилов**
«Система регистрации и отображения на базе ПК общего назначения»
- 11:30 – 11:45 **Руслан Абашин**
«Исследование статистических методов обнаружения малоразмерных объектов на зашумлённом изображении»
- 11:45 – 12:00 **Анна Артюшенко**
«Разработка алгоритма выделения низкоконтрастных элементов изображения на основе кратномасштабного анализа»
- 12:00 – 12:15 **Евгений Смирнов**
«Количественный колориметрический анализ следов выстрела по цифровой фотографии мишени»
- 12:15 – 12:30 **Кирилл Бронников**
«Гиперболические метаматериалы как основа для систем»
- 12:30 – 12:45 **Александра Димова**
Моделирование движения квадрокоптера со смещённым центром тяжести

12:45 – 14:00 **Обед**

- 14:00 – 14:15 **Юлия Горбачева**
«Разработка алгоритма томографии бинарного объекта»

14:15 – 14:30	Владимир Кузьменко «Разработка сглаживающего фильтра двумерных проекций в задаче томографии»
14:30 – 14:45	Екатерина Меркулова «Оценка психологических качеств по показаниям электроэнцеалограммы»
14:45 – 15:00	Наталья Слепцова «Сравнительный анализ методов фильтрации шумов с различными статистическими свойствами»
15:00 – 15:15	Федор Минаков «Метод уменьшения погрешности терагерцовых измерений на основе совмещения ТГц импульсов»
15:15 – 15:30	<i>Кофе-брейк</i>
15:15 – 17:00	<i>Welcome party, неформальное общение, оптические шахматы</i>

26 сентября 2017 г.

Конференц-зал Института автоматики и электрометрии

Секция «Оптика и Фотоника» (12 минут презентация, 3 минуты на вопросы)

- 9:30 – 9:45 **Наталья Осинцева**
«Исследование терагерцовых бесселевых пучков с орбитальным угловым моментом с помощью дифракционных и интерференционных методов»
- 9:45 – 10:00 **Олег Камешков**
«Дифракция закрученных пучков на периодических структурах»
- 10:00 – 10:15 **Владислава Булгакова**
«Биологические плазмонные сенсоры на основе одномерных субволновых решеток»
- 10:15 – 10:30 **Вадим Гусев**
«Исследование оптических свойств ДНК методом эллипсометрии в терагерцовом диапазоне»
- 10:30 – 10:45 **Юлия Зайцева**
«Исследование методом комбинационного рассеяния света конформационных гидрофобных хвостов везикул DMPC при фазовом переходе»
- 10:45 – 11:00 *Кофе-брейк*
- 11:00 – 11:45 **Приглашенный доклад. Лектор – Илья Беседин**
НИТУ МИСиС
«Квантовые метаматериалы из сверхпроводниковых электрических схем»
- 11:45 – 12:00 **Людмила Басалаева**
«Эффекты резонансного взаимодействия оптического излучения с массивами кремниевых нанопилларов»
- 12:00 – 12:15 **Юлия Карпегина**
«Исследование стеклования и кристаллизации в растворах глицерин-вода методами калориметрии и комбинационного рассеяния света»
- 12:15 – 12:30 **Алексей Кузнецов**
«Исследование одиночных молекул в полимерных средах»
- 12:30 – 12:45 **Елена Сажина**
«Исследование зарядового состояния цитохромов в замораживаемых преимплантационных эмбрионах мыши методом резонансного комбинационного рассеяния света»
- 12:45 – 13:00 **Алексей Новокрещенов**
«Влияние паразитного магнитного поля на магнитооптические резонансы в газовой ячейке, наполненной парами атомов рубидия и буферным газом»
- 13:00 – 14:00 *Обед*
- 14:00 – 14:45 **Приглашенный доклад. Лектор – Денис Харенко**
Институт автоматики и электрометрии СО РАН
«Роль эффекта вынужденного комбинационного рассеяния в волоконных лазерах с синхронизацией мод»

14:45 – 15:00	Ростислав Епифанов «Управление движением мобильной колесной платформы»
15:00 – 15:15	Дмитрий Коваленко «Оптимизация режимов стабилизации частоты в атомных часах, основанных на эффекте когерентного пленения населённостей»
15:15 – 15:30	Дмитрий Ледовских «Кинетика отражения полупроводникового быстродействующего зеркала в широком диапазоне интенсивностей излучения»
15:30 – 15:45	Антропов Александр «Эрбиевый фемтосекундный волоконный лазер с каплеобразным резонатором регулируемой длины»
15:45 – 16:00	Алексей Кохановский «Управление пиковой мощностью импульсного излучения в режиме синхронизации мод волоконного лазерного резонатора с нормальной дисперсией»
16:00 – 16:15	<i>Кофе-брейк</i>
16:00 – 17:00	<i>Постерная сессия</i>

Список постерных докладов

Анастасия Воликова	«Особенность нерадиационных процессов в кристаллах Yb:YAG»
Роман Ильенков	«Лазерное охлаждение атомов на часовых переходах: бимодальное распределение атомов»
Артём Бударных	«Лазер со случайно распределенной обратной связью на основе двухсердцевинного волоконного световода: теория и эксперимент»
Роман Дробышев	«Изучение временных характеристик динамических решеток в волоконном лазере с самосканированием частоты»
Алина Ткаченко	«Стабилизация диапазона сканирования в волоконном лазере с самосканированием частоты»
Ирина Зайцева	«Спектроскопические исследования фазового перехода в сегнетоэлектрическом кристалле $Sr_xBa_{1-x}Nb_2O_6$ »
Алексей Берёза	«Борновский ряд для задачи рассеяния электромагнитной волны на параллельных цилиндрах»

27 сентября 2017 г.

12:00 – 16:00	Культурно-развлекательная программа
16:00 – 16:30	Награждение победителей, закрытие конференции

СЕКЦИЯ
“ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗАШУМЛЁННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Р.С. Абашин¹, А.В. Лихачев²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт автоматики и электрометрии СО РАН

abashin.r.s@gmail.com

Рассматривается задача обнаружения объектов малого размера на сильно зашумлённых изображениях. Предполагается, что шум некоррелированный и имеет в каждой точке одинаковое распределение с известной функцией плотности вероятности $f_{\xi}(x)$. В основе предлагаемого метода лежит проверка статистической гипотезы о принадлежности выборки значений на изображении, попавших в окно фильтра, распределению $f_{\xi}(x)$. Для этого используется критерий χ^2 , [1]. При каждом положении окна вычисляется параметр Z :

$$Z = n \sum_{i=1}^m \frac{(v_i - P_i)^2}{P_i} \quad (1)$$

Здесь предполагается что размах выборки разбит на m интервалов; v_1, \dots, v_m – частоты попадания в них элементов выборки; P_1, \dots, P_m – вероятности попадания в те же интервалы, вычисленные по функции плотности $f_{\xi}(x)$; n – объём выборки. Известно, что Z имеет χ^2 -распределение. Чтобы проверить гипотезу берётся достаточно малая вероятность p_0 , и определяется критическое значение Z_C из уравнения

$$P(Z \geq Z_C) = \int_{Z_C}^{\infty} f_{\chi^2}(x) dx = p_0, \quad (2)$$

где $f_{\chi^2}(x)$ – функция плотности χ^2 -распределения. Если реализация величины Z , полученная по выборке, превосходит или равна Z_C , то распределение считается не согласующимся с выборочными данными, и гипотеза отвергается. В противном случае гипотеза принимается.

В разработанном алгоритме, реализующем предлагаемый метод, изображение обрабатывается посредством квадратного скользящего окна, размер которого зависит от предполагаемого размера объекта. С одной стороны, нужно, чтобы окно было достаточно большим, чтобы обеспечить объём выборки, необходимый для получения надёжного результата. С другой – его площадь не должна намного превосходить площадь объекта, чтобы эффект от присутствия последнего мог быть достоверно установлен. Величины, вычисленные по формуле (1), заносятся в элементы двумерного массива с индексами равными координатам пикселя, где располагается центр окна. Таким образом, по окончании сканирования получается ещё одно изображение, представляющее собой распределение параметра Z . После этого для всех положений окна, задаётся единая вероятность p_0 и по ней из (2) определяется критическая величина Z_C . Далее значения Z сравниваются с Z_C . Если для какого-нибудь элемента массива окажется $Z \geq Z_C$, то это будет означать, что окно, занимающее соответствующее положение, с вероятностью $1 - p_0$ покрывает объект.

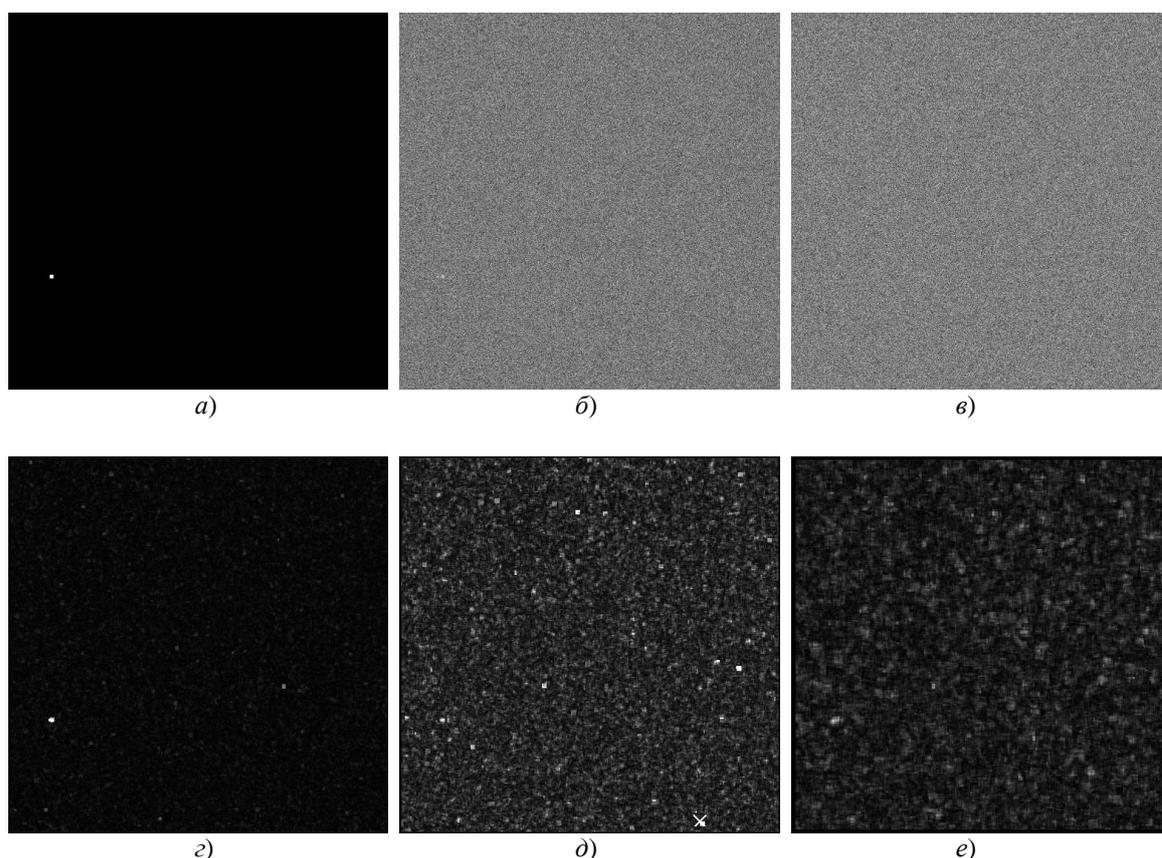


Рис.1. Результаты численного моделирования

Разработанный метод исследовался путём вычислительного эксперимента. На рис. 1,а представлено модельное изображение, имеющее 1025×1025 пикселей. Искомый объект – квадрат размером 9×9 с амплитудой 1. Рис. 1,б,в – изображения с шумом соответственно 50% и 100% от амплитуды объекта. Рис. 1,г – распределение параметра Z , уровень шума 50%, окно фильтра 11×11 , число m равно 9. Критическое значение Z_c , вычисленное по формуле (2) при $p_0 = 0.05$, равно 15.51. Величина Z в области объекта составляют около 17.4, остальные Z не превосходят девяти. Рис. 1,д,е – распределения Z , уровень шума 100%, окно фильтра 11×11 и 25×25 соответственно. На рис. 1,г–е белыми крестиками помечены места, в которых метод определил наличие объекта. По проведённому численному моделированию был сделан вывод, что при высоком уровне шума, 100% и более, результат существенно зависит от размера окна. Его целесообразно увеличивать до значений порядка $1/40$ от размера изображения.

1. В.С. Пугачев, «Теория вероятностей и математическая статистика», М.: Наука, 1979.

Научный руководитель – к.т.н. Е.В. Прохоренко.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ НИЗКОКОНТРАСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРАТНОМАСШТАБНОГО АНАЛИЗА

А.В. Артюшенко¹, А.В. Лихачев²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт автоматики и электрометрии СО РАН

artyshenkoanna@gmail.com

Рассматривается задача обнаружения низкоконтрастных структур на зашумлённых изображениях. В основе предлагаемого подхода лежит кратномасштабное представление сигналов. Пусть $s(x)$ – одномерный сигнал, рассматриваемый как элемент гильбертова пространства; $\varphi_{m,k}(x) = 2^{m/2}\varphi(2^m x - k)$ и $\psi_{m,k}(x) = 2^{m/2}\psi(2^m x - k)$ взаимосвязанные ортонормированные автомодельные базисы. Имеет место следующее разложение, [1]:

$$s(x) = \sum_{k=0}^{2^n-1} c_{n,k} \varphi_{n,k}(x) + \sum_{m=n}^{M-1} \left(\sum_{k=0}^{2^m-1} d_{m,k} \psi_{m,k}(x) \right). \quad (1)$$

Здесь $c_{n,k} = \langle s(x), \varphi_{n,k}(x) \rangle$ и $d_{m,k} = \langle s(x), \psi_{m,k}(x) \rangle$ – соответственно масштабирующие и детализирующие коэффициенты; угловыми скобками обозначается скалярное произведение. Если сигнал оцифрован и имеет N отсчётов, число M определяется равенством $N = 2^M$. При этом n может принимать значения от нуля до $M - 1$.

Коэффициенты различных уровней связаны следующими соотношениями

$$c_{m-1,k} = (1/\sqrt{2})(c_{m,2k} + c_{m,2k+1}), \quad d_{m-1,k} = (1/\sqrt{2})(c_{m,2k} - c_{m,2k+1}); \quad (2a)$$

$$c_{m,2k} = (1/\sqrt{2})(c_{m-1,k} + d_{m-1,k}), \quad c_{m,2k+1} = (1/\sqrt{2})(c_{m-1,k} - d_{m-1,k}). \quad (2b)$$

На практике часто базисными функциями $\varphi_{m,k}(x)$ выбираются прямоугольные импульсы, при этом базис $\psi_{m,k}(x)$ образуют вэйвлеты Хаара. Обычно в этом случае в качестве высших масштабирующих коэффициентов берутся значения самого сигнала, т.е. $c_{M,k} = s_k$. Далее все остальные масштабирующие и детализирующие коэффициенты определяются по формулам (2a).

Предположим, что изображение $N \times N$ пикселей искажено стационарным аддитивным шумом с дисперсией σ^2 . В отсутствие шума оно содержит достаточно большой фрагмент фона, с амплитудой f_0 , на котором располагаются включения, размера порядка $l \ll N$. Разность значений включений и фона Δ равна δ . В работе предлагается метод увеличения Δ путём преобразования коэффициентов разложения (1). Положим $n = M - [\log_2 l] - 1$, где квадратные скобки означают целую часть числа. Представим каждую строку изображения в виде (1) и проведём замену: $d_{M-1,k} \rightarrow 0$, $d_{n,k} \rightarrow \alpha d_{n,k}$. Зануление детализирующих коэффициентов высшего порядка обеспечивает подавление высокочастотного шума. Изменение же низших коэффициентов производится для повышения контраста деталей изображения, имеющих размер порядка l пикселей.

Для получения оценки параметра α допустим, что для рассматриваемой строки $l = 2^{M-n-1}$, а левый край неоднородности приходится на пиксель с номером $k'l - 1$. Тогда

$$c_{n+1,2k'}^0 = 2^{(M-n)/2} (f_0 + \delta), \quad c_{n+1,2k'+1}^0 = 2^{(M-n)/2} f_0; \\ d_{n,k'}^0 = 2^{1/2} (c_{n+1,2k'}^0 - c_{n+1,2k'+1}^0) = 2^{(M-n-1)/2} \delta. \quad (3)$$

Здесь верхний индекс «0» означает, что коэффициенты вычисляются в отсутствие шума. При наличии шума значения $c_{m,k}$ и $d_{m,k}$ являются случайными величинами. Нетрудно показать, что если шум центрированный, то их математические ожидания равны соответственно $c_{m,k}^0$ и $d_{m,k}^0$. А если шум некоррелированный, то дисперсия независимо от порядка m будет равна σ^2 .

Используя последнее из уравнений (3), запишем выражение для Δ :

$$\Delta = \xi = 2^{(n-M+1)/2} d_{n,k'}. \quad (4)$$

Из сказанного выше следует, что ξ является случайной величиной с математическим ожиданием $M\{\xi\} = \delta$ и дисперсией $D\{\xi\} = 2^{n-M+1} \sigma^2$. При умножении $d_{n,k'}$ на α мы приходим к случайной величине ξ_α с математическим ожиданием $M\{\xi_\alpha\} = \alpha\delta$ и дисперсией $D\{\xi_\alpha\} = 2^{n-M+1} \alpha^2 \sigma^2$. Величину α будем искать, исходя из условия

$$M\{\xi\} + \sqrt{D\{\xi\}} = M\{\xi_\alpha\} - \sqrt{D\{\xi_\alpha\}}. \quad (5)$$

Откуда получаем

$$\alpha = \left(M\{\xi\} + \sqrt{D\{\xi\}} \right) / \left(M\{\xi\} - \sqrt{D\{\xi\}} \right) = \left(\delta + 2^{(n-M+1)/2} \sigma \right) / \left(\delta - 2^{(n-M+1)/2} \sigma \right). \quad (6)$$

Предполагается, что знаменатель в (6) положительный.

Пример работы алгоритма представлен на рис. 1.

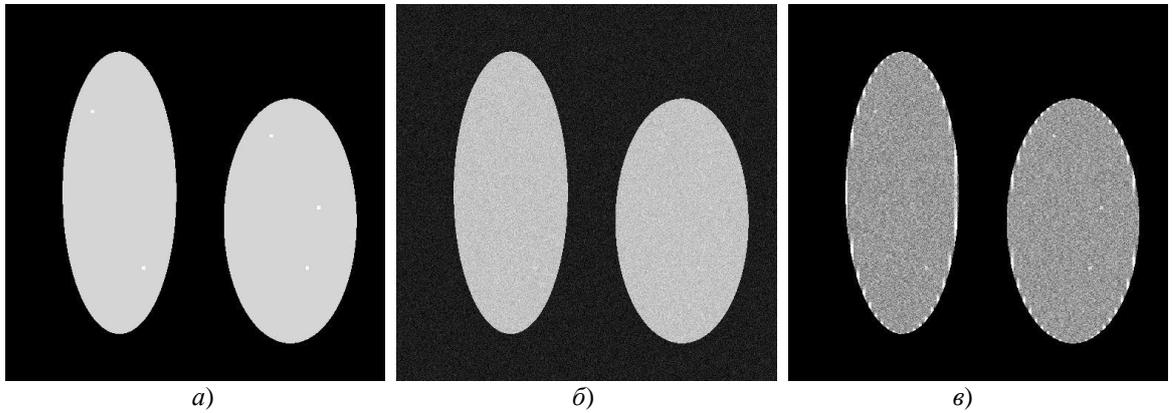


Рис.1.: а) исходное изображение; б) изображение, шум $\sigma = 0.75\delta$; в) результат фильтрации

1. И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло, «Вейвлеты и их использование», Успехи физических наук, 171, 465-501 2001.

Научный руководитель – д.т.н. А.В. Лихачев

ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СУБВОЛНОВОГО РАЗРЕШЕНИЯ

К.А. Бронников

Новосибирский государственный университет
Сколковский институт науки и технологий
bronnikovkirill@gmail.com

Интерес к метаматериалам (м.-м.) – средам, чьи необычные оптические свойства определяются субволновой структурой – не угасает в исследовательском сообществе. Одним из многообещающих типов м.-м. являются гиперболические м.-м. (ГММ), которые представляют собой одноосные анизотропные среды с противоположными по знаку компонентами симметричного тензора диэлектрической проницаемости ($\hat{\epsilon} = \text{diag}[\epsilon_o, \epsilon_o, \epsilon_e]$, где $\epsilon_o > 0$, $\epsilon_e < 0$, либо $\epsilon_o < 0$, $\epsilon_e > 0$), за счет чего они имеют дисперсионное соотношение гиперболического вида. Такие среды привлекают внимание всё большего круга исследователей благодаря относительной простоте производства и возможностью работать в видимом диапазоне электромагнитного спектра. Среди их примечательных свойств – отрицательное преломление, усиление эффекта Парсела.

В ходе работы было проведено численное моделирование распространения света в немагнитных ГММ двух типов по отдельности, а также в сборке. Результаты расчетов показывают наличие эффекта отрицательного преломления для ТМ-волн и резонансной частотной зависимости оптических свойств изучаемых материалов. В докладе также дан обзор текущих исследований по данной теме и рассмотрены потенциальные области применения ГММ, при этом основное внимание уделено системам визуализации сверхвысокого разрешения. Рассмотрен вариант конфигурации подобной системы для использования в микроскопии.

Научные руководители – к.ф.-м.н. Драчёв В.П., к.ф.-м.н. Достовалов А. В.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТОМОГРАФИИ БИНАРНОГО ОБЪЕКТА

Ю.С. Горбачева¹, А.В. Лихачев²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт автоматики и электрометрии СО РАН

gorbachevayuliya0@gmail.com

Рассматривается задача реконструкции изображения внутренней структуры в сечении объекта, имеющего два значения плотности g_1 и g_2 . С математической точки зрения она сводится к определению функции двух переменных $g(x, y)$ по набору интегралов от неё вдоль прямых линий: $p(l, \varphi)$, где l – расстояние от прямой до начала координат, φ – угол наклона её нормали к оси X . В случае параллельной схемы сканирования $g(x, y)$ вычисляется по формуле обращения преобразования Радона, [1]:

$$g(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^\pi \int_{-\infty}^{\infty} |\omega| P(\omega, \varphi) \exp(i\omega(x \cos \varphi + y \sin \varphi)) d\omega d\varphi, \quad (1)$$

где $P(\omega, \varphi)$ – преобразование Фурье по первой переменной от $p(l, \varphi)$. Вследствие численной реализации (1) а также из-за наличия шумов получаемое изображение оказывается не бинарным. При этом яркость пикселей является случайной величиной, принимающей значения из конечного интервала. На рис. 1,а приведены примеры её гистограмм: 1 – реконструкция по данным $p(l, \varphi)$ без шума, 2 – по данным с шумом 2% после сглаживания регуляризирующими сплайнами.

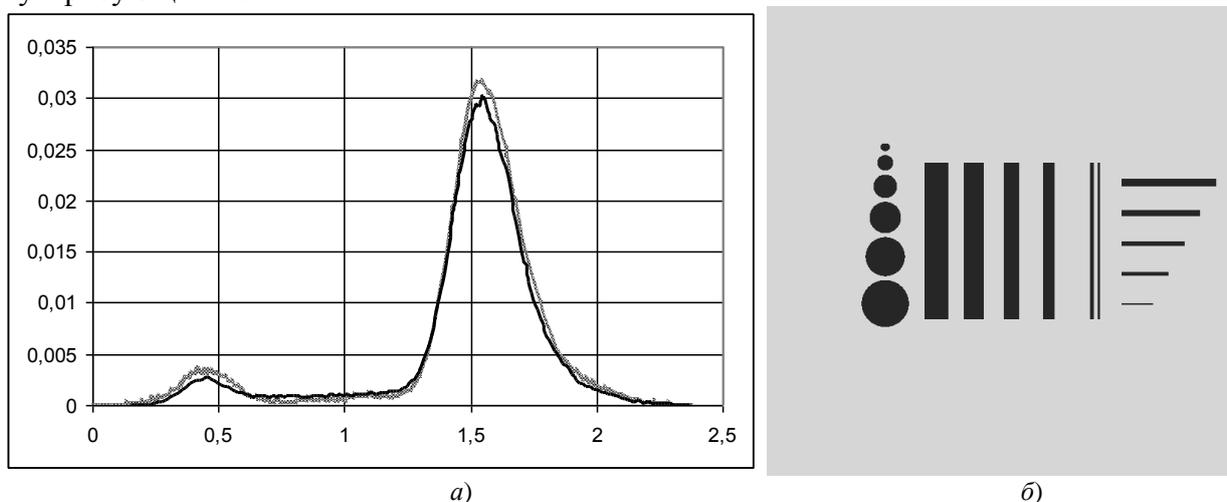


Рис.1.: а) распределения пикселей по амплитуде; б) математический фантом.

Предлагается каждому пикселю полученного изображения присваивать одно из двух значений: единица, если его яркость больше некоторой критической величины ε_c , и ноль в противном случае. Для определения ε_c разработан следующий метод. Как видно из рис.1,а распределение является двумодальным. Возьмём выборки значений в пикселях вблизи первой и второй моды. Будем считать элементы каждой выборки независимыми. Согласно (1), значения изображения получается путём суммирования с весами большого количества данных $p(l, \varphi)$, которые в общем случае содержат случайную составляющую. Поэтому на основании теоремы Ляпунова можно предположить, что обе выборки принадлежат нормальным распределениям. Пусть f_1 и f_2 – их функции плотности, а μ_1, μ_2 и σ_1^2, σ_2^2

соответственно оценки их математических ожиданий и дисперсий, полученные по выборкам. Величину ε_c будем находить из условия $f_1(\varepsilon_c) = f_2(\varepsilon_c)$, т.е.

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left\{-\frac{(\varepsilon_c - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left\{-\frac{(\varepsilon_c - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right\} \quad (2)$$

Из выражения (2) получается квадратное уравнение для определения ε_c . За величину порога берется корень, удовлетворяющий условию $\mu_1 < \varepsilon_c < \mu_2$.

В работе гипотезы о том, что распределения тёмных и ярких пикселей являются нормальными, проверялись по критерию χ^2 , [2]. По результатам проведённого вычислительного эксперимента было получено согласование при пяти – восьми процентном уровне значимости отклонения.

На рис. 2 представлены томограммы центральной части математического фантома, которая изображена на рис. 1,б. Число ракурсов – 360. Рис. 2,а – данные без шума, остальные – уровень шума 2%. Рис. 2,б – реконструкция по формуле (1) без регуляризации. Рис. 2,в – сглаживание данных $p(l, \varphi)$ сплайнами. Рис. 2,г – результат применения предлагаемого метода к изображению на рис. 2,в.

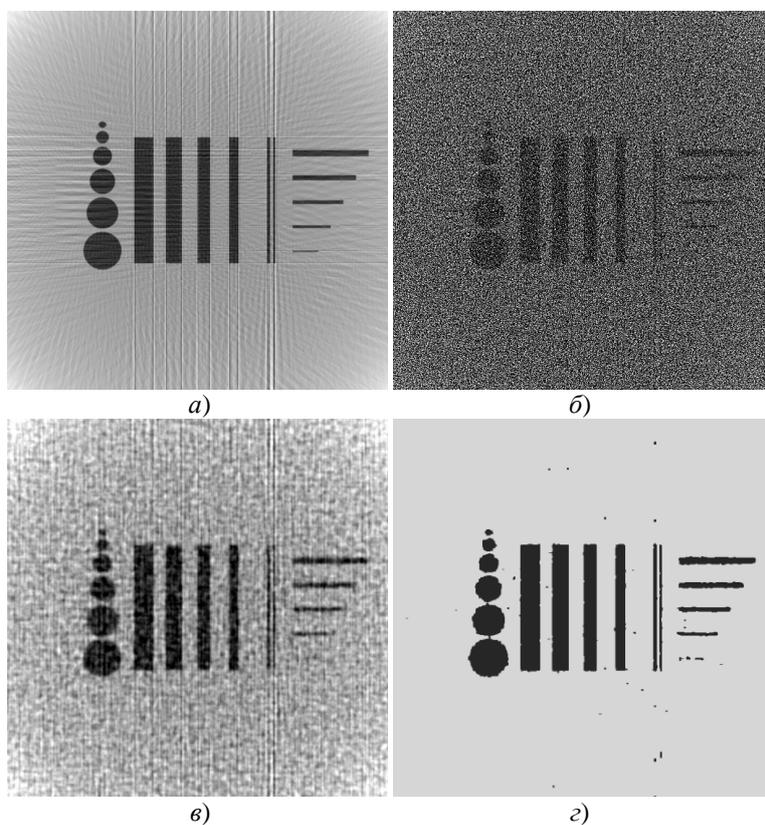


Рис.2. Результаты реконструкции

1. Ф. Наттерер, «Математические аспекты компьютерной томографии», М.: Мир, 1990.
2. В.С. Пугачев, «Теория вероятностей и математическая статистика», М.: Наука, 1979.

Научный руководитель – д.т.н. А.В. Лихачев

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ И ОТОБРАЖЕНИЯ НА БАЗЕ ПК ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.Н. Артиков, М.А. Городилов, Б.С. Долговесов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
gorodilovm@gmail.com

В разрабатываемой системе регистрации и отображения требуется записывать не менее восьми видеопотоков в разрешении до 1920x1080 при частоте 60 кадров в секунду. Параметры видеопотоков могут динамически меняться в процессе записи. Допускается использовать сжатие с потерями. Одновременно с этим необходимо воспроизводить ранее записанные видео из архива и отображать на нескольких устройствах вывода комбинированный формат из этих потоков. Существуют дополнительные ограничения на размер устройства регистрации и отображения. Более подробно задача описана в работе [1].

В качестве решения предлагается использовать ПК общего назначения, оснащенного графическим адаптером Nvidia GeForce GTX 1080 архитектуры Pascal [2], который будет использоваться для кодирования, декодирования в формате H.264 и формирования сцены для отображения. Из-за особенностей архитектуры [3] кодирование и декодирование практически не оказывают влияния друг на друга, что также было подтверждено экспериментально.

Для подобных GPU существует программное ограничение на одновременное количество сессий кодирования – допускается не более двух сессий одновременно, не зависимо от количества подобных устройств в одном ПК [4]. Максимальное разрешение одного потока для кодека H.264 не должно превышать 4096x4096. Чтобы обойти это ограничение, входные видеопотоки объединяются в два видеопотока, каждый из которых составлен из комбинации нескольких входных видеопотоков. Метаинформация о расположении потоков внутри кадра сохраняется и учитывается при воспроизведении. Используется именно два видеопотока, поскольку невозможно упаковать все восемь источников в один кадр без искажений. Также использование двух потоков позволяет лучше использовать аппаратные средства при кодировании, так как на данном GPU установлены две микросхемы для кодирования.

Исходя из данных представленных в [4], производительности кодирования достаточно для поставленной задачи. Дополнительно произведена проверка производительности системы с учетом накладных расходов на генерацию общего видеопотока, которая подтвердила, что производительности достаточно для кодирования в режиме реального времени.

Так же рассматривался вариант использования технологии Intel Quick Sync Video на современном процессоре Intel Core™ i7-7700, но его производительности оказалось недостаточно.

1. Б.С. Долговесов, М.А. Городилов, М.Ю. Шадрин, «Особенности построения системы оперативного отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов», Труды 5-й Международной научной конференции «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i для задач мониторинга и безопасности (SCVRT1516)» (Московская обл., г. Протвино. 21 - 24 ноября 2016). АНО «ИФТИ»

2. https://international.download.nvidia.com/geforce-com/international/pdfs/GeForce_GTX_1080_Whitepaper_FINAL.pdf

3. <https://developer.nvidia.com/nvidia-video-codec-sdk>

4. Nvidia Video Codec SDK 7.1, NVENC_DA-06209-001_v08.pdf.

Научный руководитель – к.т.н. Б.С. Долговесов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА СО СМЕЩЕННЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ

А.С. Димова

*Новосибирский государственный университет
Институт автоматике и электрометрии СО РАН
salat77@mail.ru*

В последние годы значительно расширилась сфера практического применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В частности, БПЛА предоставляют ряд преимуществ для геофизических исследований, и поэтому всё чаще их используют для решения многих задач данной отрасли.

Одной из задач аэрогеофизики является измерение слабых магнитных полей, которые могут помочь в поиске новых месторождений, но, поскольку датчики для измерения этих полей высокочувствительны, данные будут искажаться за счёт сигналов управления БПЛА. Одним из решений данной проблемы является идея закрепления датчика на подвесе, который представляет собой трос или стержень, для уменьшения сторонних помех.

В данной работе рассматривается задача моделирования движения квадрокоптера с грузом, подвешенным на невесомом стержне в центре масс. В качестве решения данной задачи мы использовали метод Лагранжа, основываясь на работе [1]. Были рассмотрены модели с жёстко связанным с центром масс квадрокоптера и с шарнирно-закреплённым стержнем. Результаты моделирования выявили появление колебаний груза и был предложен подход для их уменьшения.

В работе рассматривается движение квадрокоптера в вертикальной плоскости, таким образом система имеет три степени свободы, за обобщенные координаты примем x, z - координаты центра масс квадрокоптера, θ - угол тангажа, γ - угол наклона стержня относительно вертикали. После рассмотрения сил, действующих на квадрокоптер, и стержень получены уравнения движения, промоделировано движение квадрокоптера с параметрами приближенными к реальному аппарату.

Для расчёта уравнений движения мы воспользовались уравнениями Лагранжа второго рода, которые связывают производные Лагранжиана с обобщёнными координатами и силами. В итоге мы получили уравнения движения по всем координатам. Далее средствами Python были промоделированы полученные уравнения с учётом известных значений масс квадрокоптера и груза, момента инерции квадрокоптера и длины стержня.

Для изучения колебаний груза мы задали фиксированный угол тангажа $\theta_{ref} = 0.3$ и каждые 20 секунд изменяли угол на противоположный, т.е. квадрокоптер двигался прямолинейно, со сменой направления движения. Возникающие при этом значительные колебания угла γ (Рис.1) удалось почти полностью компенсировать с помощью ПИД-регулятора (Рис.2).

$$u_3 = -k_1 * (\theta - \theta_{ref}) - k_2 * d\theta - l_1 * \gamma + l_2 * d\gamma$$

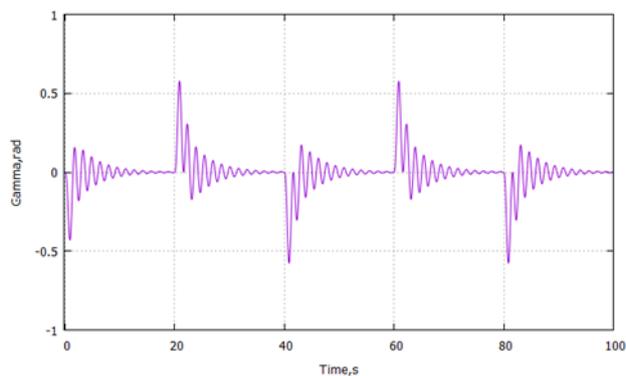


Рис. 1. Колебания γ при частоте изменения направления 20

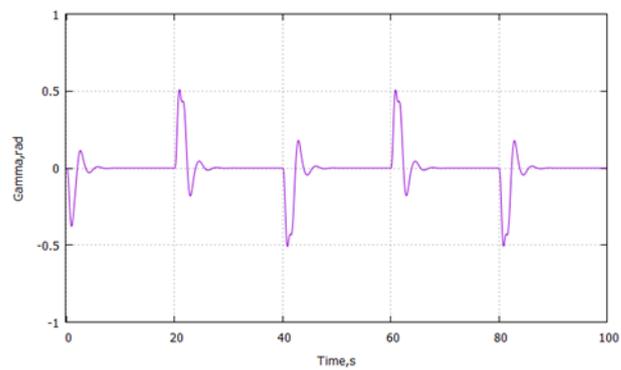


Рис. 2. Колебания γ с применением ПИД

Результаты проделанной работы выявили появления колебания угла γ , которые удалось значительно уменьшить с помощью ПИД-регулятора. Однако полностью избавиться от них не удалось, поэтому следующим этапом работы является создание более совершенного регулятора, который бы учёл модель движения аппарата.

1. Jinhyun Kim · Min-Sung Kang · Sangdeok Park, Accurate Modeling and Robust Hovering Control for a Quad-rotor VTOL Aircraft, 2009

Научный руководитель – к.т.н. К.Ю. Котов

АПРОБАЦИЯ ЯЗЫКА INDUSTRIALC НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ПО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ УВН-71П-3

Д.В. Краснов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
student13204@mail.ru

В последнее время при разработке систем промышленной автоматизации широкое применение получили встраиваемые системы на базе микроконтроллерных платформ Arduino. Для встраиваемых систем характерны многие свойства, присущие промышленным алгоритмам управления: событийность, обеспечение параллельно исполняющихся процессов и цикличность. Особенностью систем на базе микроконтроллеров является необходимость обработки аппаратных прерываний. Традиционные методы программирования микроконтроллеров в процедурном или объектно-ориентированном стиле на языках Си\Си++ и языке ассемблера плохо подходят для специфики алгоритмов управления [1].

В настоящий момент развиваются методики процесс-ориентированного программирования на микроконтроллерах. Процесс-ориентированное программирование предоставляет возможность унифицированного описания встраиваемых систем в виде набора взаимодействующих конечных автоматов [2]. Для программирования микроконтроллеров ИАиЭ СО РАН был разработан процесс-ориентированный язык IndustrialC.

В работе рассмотрена апробация языка IndustrialC на примере автоматизации управления установкой вакуумного напыления УВН-71П-3. Разработана процесс-ориентированная архитектура ПО микроконтроллера, состоящая из 4 гиперпроцессов и 7 процессов. ПО микроконтроллерной части системы автоматизации реализовано на языке IndustrialC. Выявлены особенности языка и транслятора IndustrialC. Предложено добавить в транслятор предупреждения о недостижимых состояниях. Выявлена потребность в механизме обработки таймаутов, исполняющихся внутри прерываний микроконтроллера. Результаты апробации позволяют определить дальнейшее развитие языка и транслятора.

1. Лях Т.В., Зюбин В.Е., Сизов М.М. Опыт применения языка Reflex при автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Промышленные АСУ и контроллеры, № 7, 2016. С. 37-43.

2. Розов А.С., Зюбин В.Е. Расширенная модель гиперпроцесса для программирования микроконтроллеров // Промышленные АСУ и контроллеры, № 9, 2016. С. 34-38.

Научный руководитель – А.С. Розов

РАЗРАБОТКА СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА ДВУМЕРНЫХ ПРОЕКЦИЙ В ЗАДАЧЕ ТОМОГРАФИИ

В.Д. Кузьменко¹, А.В. Лихачев²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт автоматизации и электрометрии СО РАН

wtraktorman94@gmail.com

Рассматривается проблема подавления шума в данных для задачи трёхмерной лучевой томографии. Предполагается, что реконструкция проводится по N двумерным параллельным проекциям $f_i(u, v)$, [1]. Каждое направление сканирования определяется полярным углом θ_i и азимутальным углом φ_i , см. рис. 1,а. Согласно [1], оценку искомой функции $g(x, y, z)$ в произвольной точке A можно получить по формуле

$$g(A) \approx C \sum_{i=1}^N F_{\theta_i, \varphi_i}(A_{\perp}). \quad (1)$$

Здесь через A_{\perp} обозначена ортогональная проекция точки A на плоскость регистрации; $F_{\theta_i, \varphi_i}(u, v)$ – результат фильтрации функции $f_i(u, v)$ двумерным фильтром высоких частот с характеристикой $|\omega| = \sqrt{\omega_u^2 + \omega_v^2}$; C – нормировочная константа.

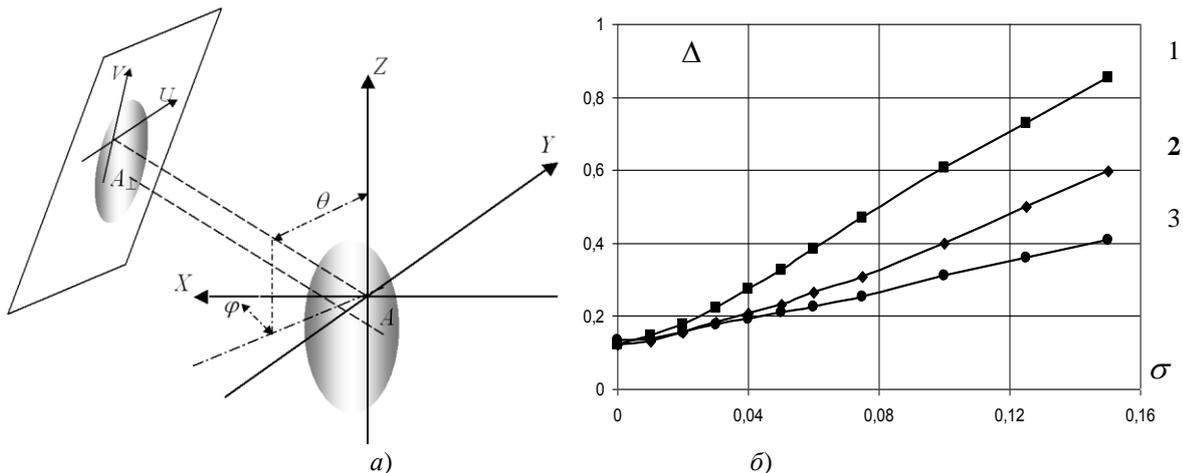


Рис.1.: а) к определению двумерной проекции; б) зависимости ошибки от уровня шума.

При умножении Фурье-образа сигнала на модуль частоты меняется его спектральная плотность мощности $W_{\xi}(\omega)$, в том числе, усиливается высокочастотная составляющая шума. По теореме Винера-Хинчина, $W_{\xi}(\omega)$ стационарного случайного процесса получается путём преобразования Фурье его корреляционной функции $R_{\xi}(p)$. В связи с этим форма $R_{\xi}(p)$ оказывает существенное влияние на результат реконструкции. Этот вопрос исследовался в [2, 3] для двумерной томографии. Было получено, что в случае, когда $R_{\xi}(p)$ является кривой Гаусса, величина ошибки реконструкции значительно ниже по сравнению с шумами других типов. В [3] был предложен следующий метод регуляризации. Проекции $f_{\varphi}(p)$ обрабатываются цифровым фильтром

$$f_{\varphi}^F(i) = w_0 f_{\varphi}(i) + \sum_{j=1}^n w_j f_{\varphi}((i-j)) + \sum_{j=1}^n w_j f_{\varphi}((i+j)). \quad (2)$$

Коэффициенты w_j , находятся из условия близости корреляционной функции шума после фильтрации (2) к заданной функции $G(i) = D_{\xi}^F \exp(-\lambda^2 i^2)$. Параметры D_{ξ}^F и λ не фиксированы, путём их варьирования производится регуляция степени сглаживания. В частности, для некоррелированной аддитивной помехи при $n = 1$ было получено

$$\begin{cases} w_0 = 1 - \frac{2}{3} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{3}{2}(1 - \beta)} \right) \\ w_1 = \frac{1}{3} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{3}{2}(1 - \beta)} \right) \end{cases}, \quad (3)$$

где через β обозначено отношение дисперсий шума до и после фильтрации.

В настоящей работе проведено обобщение описанного метода для двумерных проекций. Функции $f_i(u, v)$, заданные на квадратной сетке интерполируются на сетку в полярных координатах (r, ψ) . После этого для каждого угла ψ_j применяется фильтрация (2) по радиальной переменной. Далее осуществляется обратный переход от координат (r, ψ) к координатам (u, v) . Преобразованные проекции фильтруются путём умножения их спектра на модуль частоты. Затем производится суммирование по формуле (1).

Зависимости среднеквадратичной ошибки реконструкции от корня из дисперсии шума, полученные посредством вычислительного эксперимента, представлены на рис. 1, б. Математический фантом $g(x, y, z)$ является шаром с параболическим распределением плотности, количество ракурсов наблюдения N равно 36. Кривая 1 – без подавления шума, кривая 2 – усреднение в скользящем окне 5×5 , кривая 3 – предлагаемый метод.

1. Ф. Наттерер, «Математические аспекты компьютерной томографии», М.: Мир, 1990.
2. А. В. Лихачев, Ю. А. Шибяева, «Зависимость точности томографической реконструкции от корреляционной функции шума в проекционных данных», Цифровая обработка сигналов, 2, 28-34, 2015.
3. А. В. Лихачев «Разработка сглаживающих фильтров проекционных данных в задачах двумерной томографии», Цифровая обработка сигналов, 3, 55-60, 2016.

Научный руководитель – д.т.н. А.В. Лихачев

РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

Т.В. Лях, В.Е. Зюбин

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет
antsys_nsu@mail.ru*

Одной из ключевых проблем, возникающих при создании АСУ сложными технологическими объектами, является проблема тестирования и верификации управляющих алгоритмов. Стоимость ошибок при создании таких алгоритмов необычайно высока: ошибки чреваты неисправностями на объекте, нештатными ситуациями и авариями. Это влечет за собой существенные финансовые потери. При столь строгих требованиях к безопасности, накладываемых на управляющие алгоритмы, эти алгоритмы отличаются высокой логической сложностью. Это связано с большим количеством связей между логическими частями алгоритма. При управлении технологическим объектом приходится одновременно учитывать состояние множества его элементов – количество этих элементов зачастую превышает количество объектов, которыми в состоянии одновременно оперировать программист. Эти элементы взаимодействуют друг с другом, что еще больше увеличивает количество зависимостей, которые должен отслеживать алгоритм управления.

Перспективным направлением для программирования систем управления сложными технологическими объектами видится использование предметно-ориентированных языков. Одним из таких языков программирования является процесс-ориентированный язык Рефлекс. Язык Рефлекс предназначен для создания управляющих алгоритмов в области промышленной автоматизации и робототехнике.

Однако, при всем удобстве использования языка Рефлекс, остаётся вопрос о тестировании и верификации разработанного алгоритма управления. Запуск неотлаженного алгоритма на объекте управления чреват нештатными ситуациями или даже авариями на объекте. В то же время, так как промышленные алгоритмы управления предполагают постоянное взаимодействие с объектом управления, считывание значений датчиков и контроль состояния объекта, отладка алгоритма невозможна без объекта управления.

Для верификации алгоритма управления было предложено использовать четыре взаимодействующих алгоритмических блока (гиперпроцесса), которые запускаются в заданном порядке и формируют очереди сообщений друг для друга, а также значения входных портов и фактических параметров (рис. 1):

1. Алгоритм управления (АУ) – алгоритмический блок, реализующий логику работы разработанного алгоритма управления.
2. Виртуальный объект управления (ВОУ) – алгоритмический блок, реализующий логику работы объекта управления. ВОУ имитирует данные, поступающие алгоритму управления от АЦП, а также данные, поступающие алгоритму от цифровых устройств ввода (DI).
3. Блок верификации (БВ) – алгоритмический блок, отвечающий за проверку выполнения конкретного набора требований при заданном сценарии работы АУ и ВОУ. БВ поочередно проверяет наборы непротиворечащих друг другу темпоральных требований и сообщает об ошибках выполнения при работе алгоритма. БВ верифицирует исключительно алгоритмический блок.

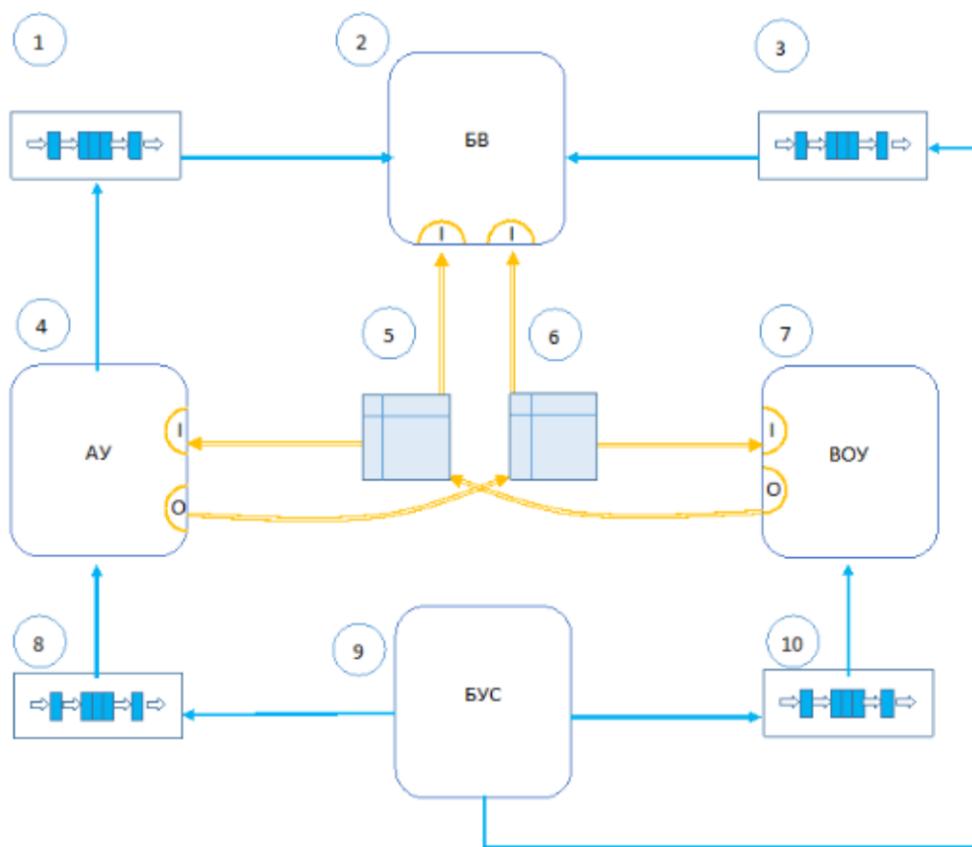


Рис. 1. Схема взаимодействия алгоритмических блоков для верификации алгоритма управления

4. Блок управления сценариями (БУС) – алгоритмический блок, задача которого – устанавливать АУ, ВОУ и БВ в соответствующий режим работы и «проигрывать» predetermined сценарии работы. Для АУ БУС имитирует команды, поступающие от интерфейса оператора, тем самым имитируя ручное управление. Для ВОУ БУС формирует очередь входных сообщений, в котором сообщает ВОУ, в каком режиме на данный момент происходит верификация (штатный режим или имитация поломок). Также УС сообщает объекту об изменениях в окружающей среде. Для БВ УС формирует сообщения, которые оповещают БВ о том, по какому сценарию сейчас работает АУ и ВОУ, и, соответственно, какие требования в данный момент необходимо верифицировать.

В статье обсуждается специфика алгоритмов управления сложными технологическими объектами. Описываются трудности верификации алгоритмов управления и специфика моделирования поведения объектов управления. Предлагается метод разработки управляющих алгоритмов сложными технологическими объектами, основанный на применении процесс-ориентированного языка Рефлекс для описания алгоритма управления, моделирования поведения объекта управления и изменений окружающей среды, внешних событий и имитации работы оператора. Для верификации требований используется гиперавтомат, описанный на языке Рефлекс.

1. Зюбин В.Е. «Си с процессами» – язык программирования логических контроллеров // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 12. С. 31–35.

Научный руководитель – д.т.н. В.Е. Зюбин

ОЦЕНКА ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПО ПОКАЗАНИЯМ ЭЛЕКТРОЭНЦЕАЛОГРАММЫ

Е.А. Меркулова

НИИ физиологии и фундаментальной медицины СОМН, г. Новосибирск, Россия
merkaterine@gmail.com

В статье описываются подход к автоматизированной обработке данных ЭЭГ, разработанный в Институте молекулярной биологии и биофизики СОМН.

Научные работы по использованию технологий биоуправления показывают их высокую эффективность при формировании навыков управления психофизиологическими состояниями. Вопросы совершенствования технологий биоуправления привлекают внимание специалистов. Основные направления работ: автоматизация измерений и обработки данных, удешевление за счет использования ЭЭГ, повышение точности анализа. В Институте молекулярной биологии и биофизики СОМН организован тренинг на основе технологии биологической обратной связи [1]. Во время тренинга предполагается постоянная оценка прогресса человека в управлении своим психофизиологическим состоянием по данным ЭЭГ [2] – индивидуальным спектральным характеристикам 16-ти канальной записи (стандартной схеме 10-20 ЭЭГ без центральных каналов Cz, Oz, Fz). Несмотря на то, что использование ЭЭГ существенно удешевляет стоимость работ по сравнению МРТ, оценка производится преимущественно вручную и характеризуется большой трудоемкостью и низкой точностью.

Похожий подход для обработки ЭЭГ данных используется в НИИ ФФМ СО РАМН в лаборатории дифференциальной психофизиологии. Сопоставляются различные психологические характеристики с данными ЭЭГ записей [4]. Данные записываются на разных приборах: «Neuroscan» и «Brain Product» с 120 и 128 каналами соответственно.

Цель работы – оценка удобства использования MATLAB для обработки показаний ЭЭГ.

В НИИ МББ СОМН в эксперименте предлагается выполнить серию заданий: «закрытые глаза», «открытые глаза», пять сеансов «замедление пульса в состоянии релакса», «закрытые глаза», пять сеансов «замедление пульса в стрессовой ситуации», «закрытые глаза». Длительность выполнения заданий фиксирована и составляет одну/две минуты. Во время выполнения серии заданий производится запись ЭЭГ сигнала [3].

В НИИ ФФМ СОМН во время эксперимента предлагается выполнить серию психологических тестов при выполнении которых производится запись ЭЭГ сигнала и сопутствующих психологических характеристик, таких как время реакции на определенные задания, точность выполнения заданий, тип реагирования на определенные стимулы и т.д.. Длительность выполнения заданий фиксирована и составляет от 15ти минут до получаса.

При обработке полученных данных производится унификация записей с приборов «Neuroscan» и «Brain Product». Это объединение необходимо для дальнейшего статистического анализа в программе MATLAB и в программе sLoreta (статистический анализ с локализацией источников). При увеличении объема выборки данных с помощью предоставленных данных лабораторией физиологии когнитивной деятельности НИИ ФФМ СО РАМН записей ЭЭГ, была произведена интерполяция ЭЭГ-данных из лаборатории дифференциальной психофизиологии с электродов Cz и Fpz для увеличения числа каналов при проводимом анализе данных. В итоге, после унифицирования и интерполирования, общее число каналов составило 60.

Приведенные алгоритмы были реализованы средствами пакета MATLAB [5]. В НИИ ФФМ СО РАМН совместно с пакетом MATLAB использовался пакет EEGLAB <https://sccn.ucsd.edu/EEGLAB/index.php> - свободный плагин MATLAB. При использовании MATLAB уменьшилась трудоемкость и время отладки. При использовании EEGLAB эти

параметры снизились и быстродействие повысились. Плагин EEGLAB обладает встроенными полезными функциями. К недостаткам EEGLAB: возможность использования встроенных функций весьма ограничена узким спектром задач.

Таким образом, было показано, что контроль испытуемых может быть автоматизируем, и обработка ЭЭГ данных в программе MATLAB сохраняет достаточную точность записей эксперимента.

Разработанное программное обеспечение может быть также использовано для диагностики психологических качеств в других областях, например, при предрейсовом медицинском осмотре или оценке психологических качеств при приеме на работу.

1. М. Б. Штарк и др., “Биоуправление в клинической практике” Неврол. Журнал 5, 52–56, (2000)

2. С.А. Исайчев. “Использование технологий биоуправления для формирования и развития профессионально важных качеств в спорте ” ОТ ИСТОКОВ К СОВРЕМЕННОСТИ: 130 лет организации психологического общества при Московском университете: Сборник материалов юбилейной конференции: В 5 томах: Том 4 / Отв. ред. Богоявленская Д. Б. 4, 424–427 (2015).

3. D. Posthuma et al, “Are Smarter Brains Running Faster? Heritability of Alpha Peak Frequency, IQ, and Their Interrelation” Behavior Genetics Vol 31, No. 6, 567–579 (2001).

4. Г.Г. Князев и др. “ЭЭГ-корреляты спонтанной мыслительной активности и автобиографических воспоминаний” ВЕСТНИК НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ: ПСИХОЛОГИЯ №2, т.8, 136-138 (2014).

5. Е.А. Меркулова “Оценка профессиональных качеств спортсменов по показаниям ЭЭГ” ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ №1, т.9, 112-113 (2017)

Научный руководитель – д.б.н. Г.Г. Князев

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ТГц ИМПУЛЬСОВ

Ф.А. Минаков

*Новосибирский государственный университет
Институт автоматики и электрометрии СО РАН
minakovfa95@gmail.com*

В терагерцовом диапазоне частот (0,1–10 ТГц) электромагнитного излучения лежат спектры поглощения полупроводников, нелинейно-оптических кристаллов, белков, ДНК и взрывчатых веществ, что позволяет проводить их идентификацию и получать информацию об их структуре.

Для получения терагерцовых спектров в ИАиЭ СО РАН создана система широкополосной импульсной спектроскопии. В такой системе излучение фемтосекундного лазера разделяется на два канала: генерации и детектирования терагерцовых импульсов. Длина второго канала изменяется при помощи оптической линией задержки, которая представляется собой линейный позиционер с закрепленным на нем уголковым отражателем. В первом режиме позиционер перемещается с небольшим шагом, который соответствует временной задержке ~100 фс, позволяя поточечно просканировать терагерцовый импульс. В другом режиме сканирования позиционер перемещается непрерывно с одновременной регистрацией терагерцового сигнала.

В рамках работы исследовано влияние различных факторов на измерения терагерцовых импульсов в системе терагерцовой спектроскопии. Показано, что люфт позиционера оптической линии задержки приводит к систематическому временному сдвигу последовательно измеренных ТГц импульсов (рис. 1). Аналогичная проблема возникает и в режиме непрерывного сканирования, из-за задержки сбора данных при сканировании в разных направлениях, а также из-за отсутствия абсолютной привязки к положению позиционера в момент прихода данных. При усреднении импульсов, сдвинутых относительно друг друга во временной области, без предварительной обработки возникает большая погрешность.

Для уменьшения погрешности предложено совмещать импульсы перед усреднением во временной области. Для приведения серии ТГц импульсов к эталонному предложено использовать взаимнокорреляционную функцию. В «наивном» методе эталонным импульсом считается первый. Рассчитанное для каждого импульса в серии положение пика этой функции определяет временную задержку, на которую его необходимо сдвинуть для совмещения с эталонным. В методе полной взаимной корреляции подсчитываются временные задержки каждого импульса с каждым, и итоговый сдвиг определяется по формуле из [1] на основе $N(N-1)/2$ сравнений.

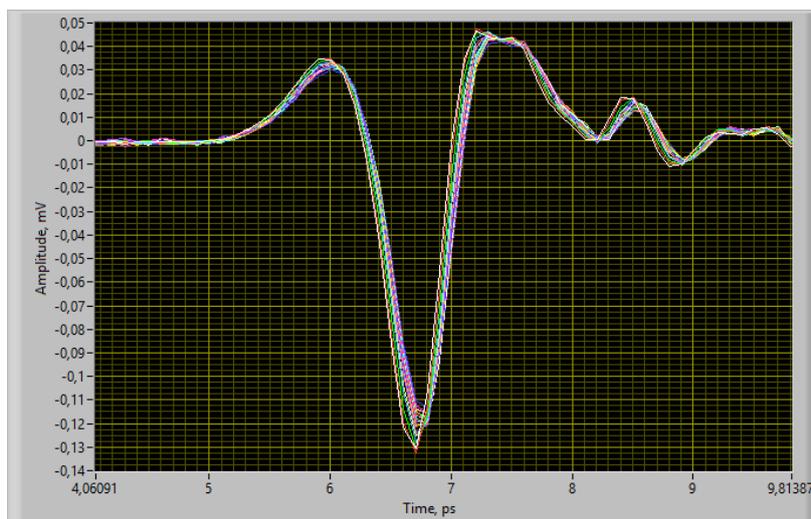


Рис. 1. 26 импульсов, полученных при последовательном сканировании одного образца.

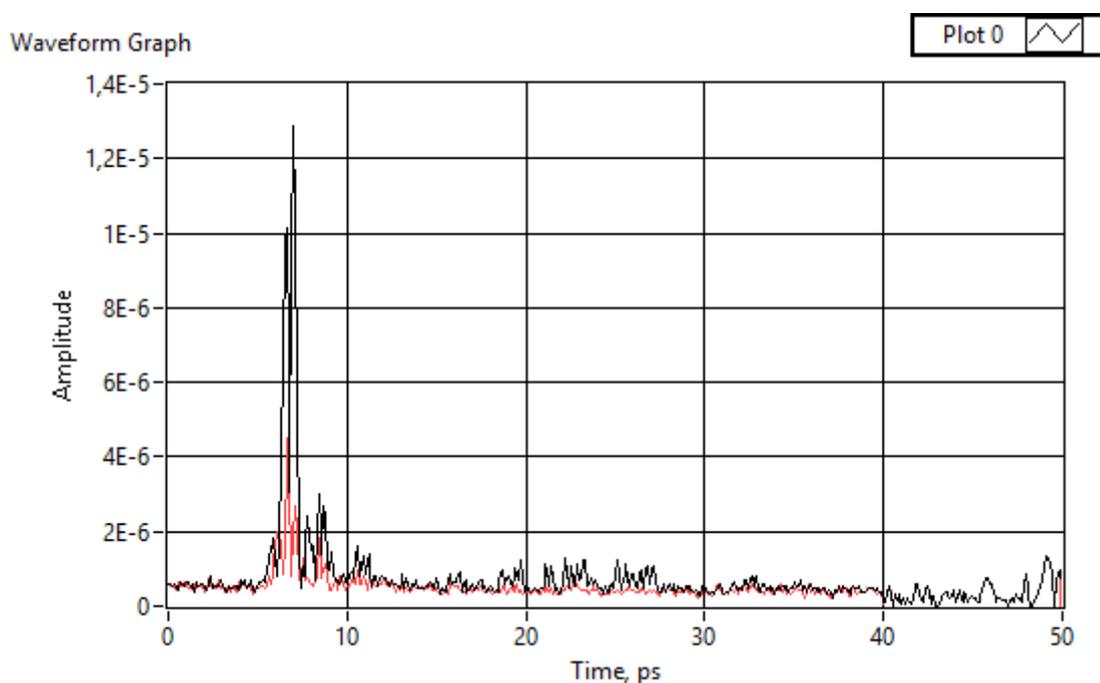


Рис. 2. Среднеквадратичное отклонение импульсов без приведения к эталонному (белый) и с ним (красный).

На основе данных методов реализованы программы для коррекции ТГц импульсов во временной области и дальнейшего их усреднения. Их применение для тестовых данных поточечного сканирования позволило уменьшить максимальное значение среднеквадратичного отклонения более чем в два раза. Рассмотренные методы также могут быть использованы для других режимов сканирования, в которых требуется совмещение нескольких ТГц импульсов по временной области.

1. K. J. Coakley and P. Hale, "Alignment of noisy signals," *IEEE Trans. Instrum. Meas.* vol 50, no. 1 pp. 141 – 149, March 2001.

Научный руководитель – к.т.н. Мамрашев А.А.

МЕТОДЫ ХРАНЕНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Д.В. Нефедов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
dminefyodov@yandex.ru

Применение открытых микроконтроллерных платформ (ОМП) в задачах автоматизации позволяет снижать издержки эксплуатации встраиваемых систем по сравнению с обычными персональными компьютерами (ПК) за счёт низкого энергопотребления, компактности, отсутствия активных систем охлаждения, и, как следствие, необходимости постоянного контроля и обслуживания. Но так как ОМП имеют гораздо более ограниченные аппаратные ресурсы, при разработке программного обеспечения таких систем требуется использование специализированных методик программирования, отличных от используемых на ПК. В работе рассматривается практическая задача разработки подсистемы хранения и отображения данных для метеосервера на базе ОМП Seeeduo. Описаны разработанные методы, позволяющие обеспечить равномерный износ памяти, а также фильтрацию и графическое отображение данных в системе на базе 8-битного микроконтроллера.

В Институте автоматики и электрометрии СО РАН установлено наружное электронное табло ПК-Электроникс ОЗАК-280-Pt-485, показывающее время, температуру и давление. Для интеграции табло в информационную сеть Института ранее был разработан метеосервер на ОМП Seeeduo Mega v1.23. Метеосервер, принимающий погодные данные с табло через интерфейс RS-485, позволяет пользователям посылать на него HTTP-запросы и получать в ответ изображение с текущими значениями температуры и давления.

У пользователей данного сервиса существует потребность просматривать не только текущую, но также и архивную информацию о погоде, собранную за продолжительные периоды времени. Для этого необходимо разработать подсистему архивирования погодных данных, аналогичную таким системам, как сервис Института ядерной физики СО РАН и «Температура около НГУ», использующим ПК. На основе рассмотренных аналогов поставлены требования к подсистеме: требуется обеспечить хранение погодных данных, собранных за последние сутки, месяц и год в энергонезависимой памяти, и отображение данных в виде графиков. Кроме того, метеосервер должен сохранять работоспособность после перебоев питания и не нуждаться в обслуживании, что позволит снизить совокупную стоимость владения им. При разработке системы необходимо учитывать ограниченность ресурсов микроконтроллера: 4 Кб EEPROM, 8 Кб SRAM, 128 Кб flash-памяти [1]. Помимо этого, требуется обеспечить работоспособность метеосервера в условиях одновременной работы с табло, обработки пользовательских запросов и вывода отладочной информации на ПК.

Работа с параллельно происходящими процессами/событиями в ПО метеосервера обеспечивается благодаря использованию технологии процесс-ориентированного программирования [2].

Для хранения погодных данных решено использовать энергонезависимую память EEPROM объёмом 4 Кб. Память имеет ограниченное количество циклов стирания-записи (100 000 циклов для каждой ячейки), поэтому для продления срока эксплуатации износ ячеек должен быть максимально равномерным. Для этого можно использовать предложенную производителем микроконтроллера стратегию кольцевого буфера [3]. Данная стратегия имеет недостаток - при наличии нескольких массивов данных, обновляемых с различной частотой, износ ячеек памяти будет равномерным только внутри каждого буфера, но в целом - ячейки, используемые под более часто обновляемые буферы, изнашиваются быстрее. Для

устранения этого недостатка разработана стратегия двухуровневого разночастотного кольцевого буфера, обеспечивающая полностью равномерный износ памяти при достаточно длительном сроке эксплуатации.

Ввиду невозможности отрисовки изображений с графиками на метеосerverе из-за нехватки памяти, отображение графиков предложено производить в веб-браузере пользователя. Разработана легковесная графическая JavaScript-библиотека, позволяющая отображать графики на стороне клиента. По запросу конкретного графика пользователю передаётся HTML-страница, содержащая информацию о погоде в настоящий момент, HTML-элемент canvas (где создаётся растровое изображение с графиком), ссылки на другие графики и сайт Института, а также ссылку на разработанную JavaScript-библиотеку. Библиотека хранится на метеосerverе во flash-памяти объёмом 128 Кб и передаётся пользователю по отдельному HTTP-запросу.

В ходе обзора аналогов обнаружена проблема зашумлённости графиков – это происходит из-за неидеальности датчиков и из-за отсутствия обработки данных. Определены способы борьбы с этой проблемой – отрисовка на графике опорных точек и соединение их кривыми Безье (интерполяция), а также усреднение данных при записи в память и при формировании опорных точек (фильтрация).

В результате работы реализована подсистема, расширяющая функциональность метеосerverа возможностью вывода архивных данных о погоде. Разработанная стратегия хранения данных на основе двухуровневого кольцевого буфера обеспечивает равномерный износ энергонезависимой памяти и продление срока эксплуатации системы. Показано, что использование тега canvas в сочетании с разработанной JavaScript-библиотекой позволяет отображать данные в графическом виде в условиях ограниченности объёма памяти метеосerverа. В продолжение работы планируется рассмотреть возможность хранения настроек метеосerverа в памяти EEPROM совместно с архивными данными.

1. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V Datasheet // Atmel [Электронный ресурс]. - 2014. - 435 p., Режим доступа: http://www.atmel.com/ru/ru/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

2. Rozov A.S., Zyubin V.E. PROCESS-ORIENTED APPROACH IN MCU PROGRAMMING // American Journal of Control Systems and Information Technology. 2013. Т. 1. № 1. С. 18-21.

3. AVR101: High Endurance EEPROM Storage // Atmel [Электронный ресурс] – 2002. – 5 p., Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc2526.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

Научный руководитель – А.С. Розов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ ШУМОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Н.С. Слепцова¹, А.В. Лихачев²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт автоматики и электрометрии СО РАН

sle.nat@yandex.ru

В работе путём вычислительного эксперимента исследуются некоторые процедуры фильтрации коррелированного и некоррелированного шума. На рис. 1,а представлен модельный сигнал, на рис. 1,б,в – этот же сигнал после добавления некоррелированной и коррелированной помехи соответственно. В качестве последней взят фликкерный шум, спектральная плотность мощности и корреляционная функция которого определяются как

$$W(\omega) = \sigma^2 / |\omega|, \quad \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2; \quad R(\tau) = \sigma^2 / \pi (\text{Ci}(\omega_1/\tau) - \text{Ci}(\omega_2/\tau)). \quad (1)$$

Здесь через $\text{Ci}(x)$ обозначен интегральный косинус. Для получения фликкерного шума использовалась авторегрессионная модель третьего порядка [1].

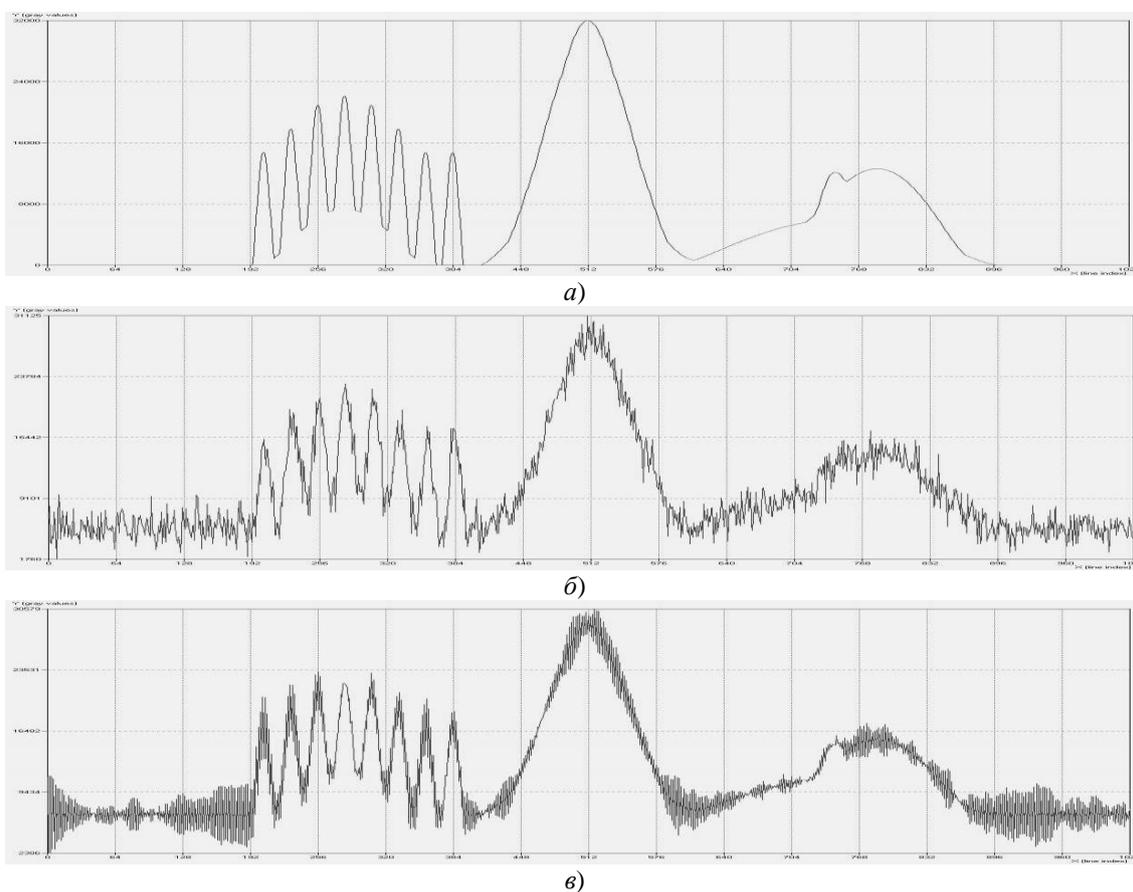


Рис.1. Модельный сигнал без шума (а) и с шумом (б,в)

Были получены следующие результаты. Для всех рассмотренных процедур при одинаковом значении дисперсии нормированное среднеквадратичное отклонение Δ фильтрованного сигнала от модельного в случае коррелированного шума ниже на 35 – 50%. При этом с увеличением дисперсии Δ для него растёт медленнее. Наименьшее отклонение было получено для сглаживания регуляризирующими сплайнами [2]. Применение медианного фильтра проиллюстрировано на рис 2,а,б, а сплайнов – на рис 2,в,г. Белый шум (корень из дисперсии равен 5% от максимального значения сигнала) – рис 2,а,в, фликкерный шум (с

такой же дисперсией) – рис 2,б,г. Значения Δ для рис 2,а-г равны соответственно 0.174, 0.135, 0.094, 0.061.

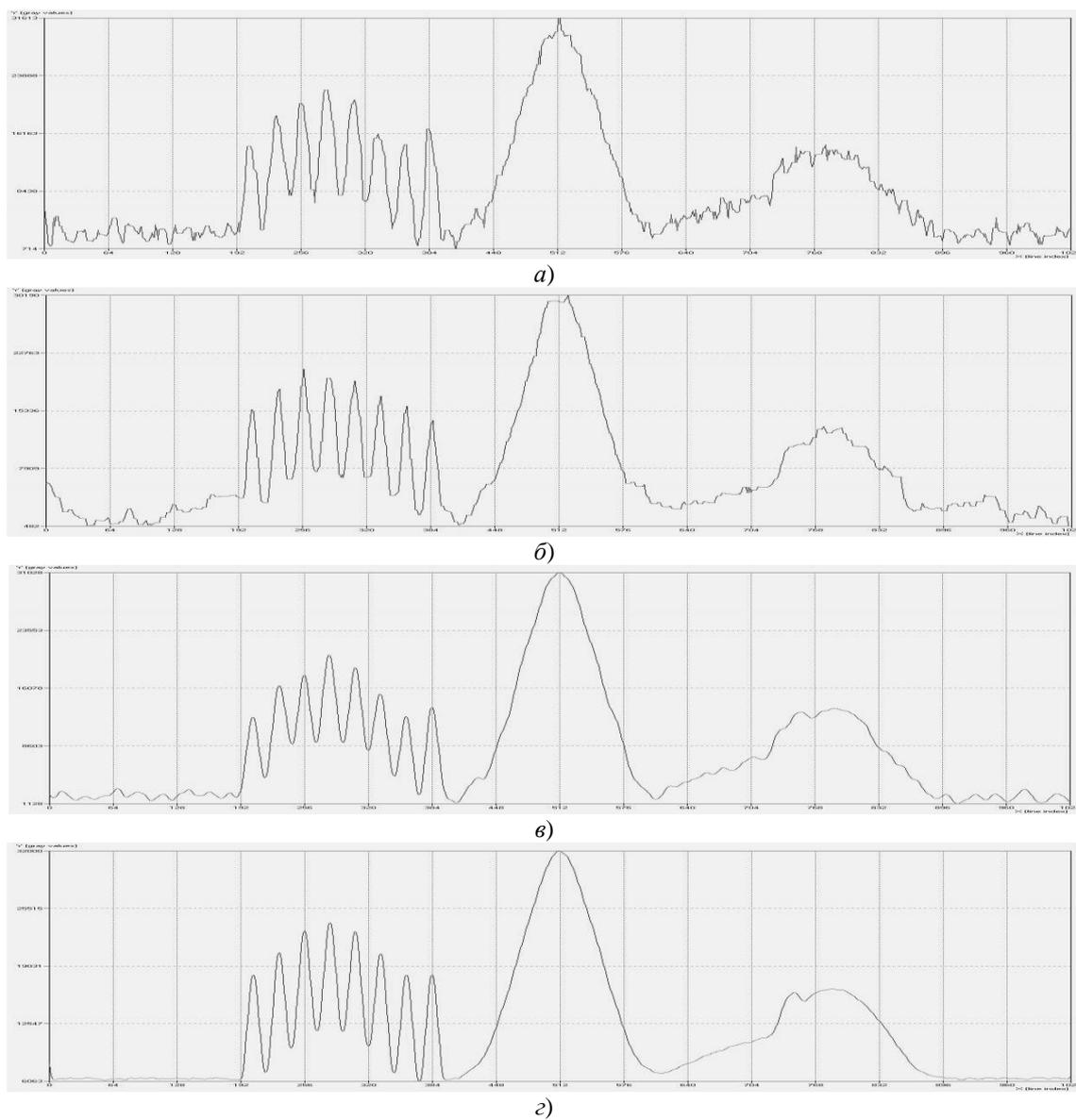


Рис.2. Результаты фильтрации шума

1. Р. В. Хемминг, «Цифровые фильтры», М.: Недра, 1987.
2. В. А. Василенко, «Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы», Новосибирск: Наука, 1983.

Научный руководитель – д.т.н. А.В. Лихачев

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛЕДОВ ВЫСТРЕЛА ПО ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ МИШЕНИ

Е.С. Смирнов¹, И.Г. Пальчикова^{1,2}, И.В. Латышов³, В.А. Васильев³, А.В. Кондаков³

¹*ФГБУН Конструкторско-технологический институт научного приборостроения
СО РАН*

²*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*

³*Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации*
evgenii.s.smirnov@yandex.ru

Современная экспертная практика нуждается не только в выявлении и фиксации следов выстрела, но и в количественном подсчёте и анализе базовых характеристик следов выстрела, определяемых закономерностями явления выстрела, внешней баллистикой выстрелянного снаряда, механизмом образования следов. Развитие методов компьютерного зрения и разработка специальных методов обработки цифровых изображений для баллистической экспертизы и трасологии является актуальной задачей. Производство экспертных исследований следов выстрела требует создания профильных колориметрических программно-технических решений, которые включают в себя осветитель, цифровую регистрирующую систему, сопряжённую с компьютером, и специализированную программу обработки исходных данных исследуемого следа выстрела.

Применение устройств технического зрения является бесконтактным, дистанционным и неразрушающим способом измерения, который не приводит к утрате объекта исследования, либо необратимому изменению его свойств в ходе работы специалиста, что позволяет отнести такой метод к числу приоритетных в экспертных оценках. При решении ряда научно-технических задач, например, сортировка объектов по цвету [1]; определения качества мясного сырья [2] предпочтение отдаётся цветовым портативным анализаторам, таким, как разработанный нами цветовой анализатор [3]. Результативность применения метода колориметрического анализа для ряда научно-технических задач [4] на практике подтверждается, поэтому можно говорить о возможной перспективе эффективного применения анализатора цвета при изучении следов выстрела, в области судебно-баллистической экспертизы.

Целью работы является изучение возможностей использования цветового анализатора цифрового изображения в процессе экспертного исследования следов выстрела. Мы изучаем возможности использования совокупных цветовых характеристик, таких как доминирующая длина волны (ДДВ) и насыщенность цвета (НЦ) для количественного описания дополнительных следов выстрела на цифровой фотографии мишени.

Цветная цифровая камера «ВИДЕОСКАН-2-415/Ц» выступает в качестве основного элемента измерительного блока цветового анализатора. Цветовой анализатор выполнен в непрозрачном металлическом корпусе и имеет собственную встроенную светодиодную подсветку (питание по *USB*), способную работать в двух режимах. Так же возможно использовать внешнюю подсветку, а связь с ПК осуществляется посредством *USB*-подключения. Работа анализатора требует двух портов *USB* на ПК.

В процессе вычислительного эксперимента по изучению возможностей анализатора была выявлена необходимость его цветовой калибровки. Поэтому нами предложена процедура корректировки алгоритма вычисления ДДВ, основанная на внесении поправок в вычисляемые с помощью спектрального локуса значения ДДВ. Такой подход повышает достоверность и точность определения спектральных цветов в изображении следов выстрела.

Анализ следов выстрела включает в себя фотографирование (в том числе с усреднением по нескольким одинаковым изображениям) мишеней, задание фонового изображения, нормировку фото мишеней на фон. Указывается область интереса, применяется необходимый набор операций, таких как изменение контраста, вычисление

ДДВ и НЦ. Результат представляется и сохраняется в различных форматах. К примеру, работа алгоритма позволяет находить, визуализировать, выделять, проводить расчёт области поражения, а так же выполнять объективный количественный анализ базовых характеристик следов выстрела, таких как размер входного отверстия и пояска обтирания, размеры общей зоны отложения копоти выстрела, размеры центральной и периферийной зон отложения копоти выстрела и соотношения их площадей, размеры зон осыпи зёрен пороха и частиц металла оболочки пуля.

В ходе вычислительного эксперимента исследовалась тканевая х/б мишень со следами выстрела от пистолета ПМ на дистанции 5 см, рис. 1а,б. Использование алгоритмов цветового анализатора позволило обработать изображение (рис. 1б) и визуализировать картину мишени (рис. 1в), по которой определялись базовые характеристики следов выстрела. Обсчёт изображений мишени позволил создать карты значений ДДВ и НЦ их визуализация представлена на рис. 1г,д.

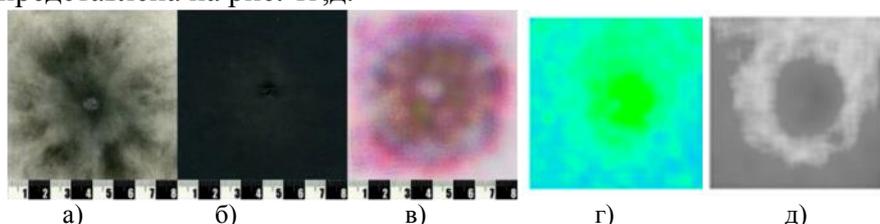


Рис. 1. Фото мишени со следами близкого выстрела от пистолета ПМ на дистанции 5 см: а) на светлой ткани, б) на тёмной ткани; в) визуализация следов выстрела на мишени из темной ткани, полученная с помощью цветового анализатора. Наложена масштабная линейка (см). Двумерная (100×100 пикс) карта распределения ДДВ (г) и НЦ (д) по области интереса на изображении.

Предложенные алгоритмы позволяют находить, выделять, визуализировать, проводить подсчёт области поражения, выполняя объективный количественный анализ базовых характеристик следов выстрела. Проведённые исследования подтверждают перспективность применения колориметрического анализа цифровых фотографий следов выстрела.

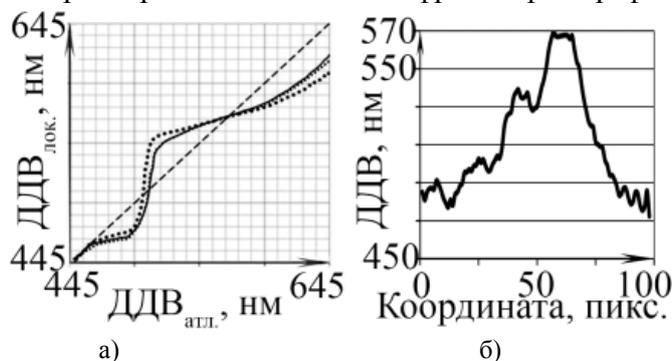


Рис. 2
а) график сравнения эффективности передачи цвета различными камерами (точечная и сплошная линии), пунктир – цветопередача без искажений;
б) «срез» распределения значений ДДВ по координатам изображения отверстия на изображении мишени.

1. М.А. Завьялова, Ю.В. Обидин. «Быстродействующий колориметрический метод для автоматической классификации алмазов по цвету», *Вестник СГГА*. - 2010. - Вып. 2(13) - С. 101 - 106.

2. А.Ф. Алейников, И.Г. Пальчикова, Ю.В. Обидин, В.С. Глянченко, Е.С. Смирнов, Ю.В. Чугуй, А.Н. Швыдков «Установки для экспресс-оценки свежести мяса», *Достижения науки и техники АПК*, 4, 74-77, (2013)

3. И.Г. Пальчикова, Е.С. Смирнов «Особенности цветовой калибровки измерительных систем», *Интерэкспо Гео-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 08 – 18 апреля 2014 г. Новосибирск: Международная научная конференция «СибОптика-2014»: сб. материалов в 2 т., 1, 128-134, (2014)*

4. Р. Гонсалес, Р. Вудс, «Цифровая обработка изображений», *Москва: Техносфера*, 1104 с., (2012)

Научный руководитель – д.т.н. И.Г. Пальчикова

СЕКЦИЯ
“ОПТИКА И ФОТОНИКА”

ЭРБИЕВЫЙ ФЕМТОСЕКУНДНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С КАПЛЕОБРАЗНЫМ РЕЗОНАТОРОМ РЕГУЛИРУЕМОЙ ДЛИНЫ

А.А. Антропов¹, Б.Н. Ньюшков^{1,2}, Н.А.Коляда¹, В.С.Пивцов^{1,2}

¹*Институт лазерной физики СО РАН*

²*Новосибирский государственный технический университет*

aaa.theses.confs@gmail.com

Волоконные лазеры – одно из передовых направлений лазерной физики. Они находят применение в промышленности, биомедицине, обработке материалов, фундаментальной науке и в многих других областях [1,2]. В свою очередь волоконно-оптические лазеры с синхронизацией мод кажутся предпочтительнее объемных твердотельных импульсных лазеров, поскольку волоконно-оптические технологии обеспечивают легкую настройку, состоят из схожих, либо одинаковых волоконных элементов и имеют достаточно компактные оптические схемы, т.е. реализованы преимущественно за счет доступных коммерческих волоконных элементов и самого оптоволокна. Разработка новых волоконно-оптических лазеров с синхронизацией мод в значительной степени зависит от расширения волоконно-оптической элементной базы и новых конфигураций резонаторов, что позволяет достичь желаемых параметров выходных импульсов для имеющихся задач. Такие лазеры обычно проектируются по линейно-кольцевым схемам [3,4], конфигурациям в виде восьмерки [5,6], Y-, θ -, γ -образные [7,8], «yin-yang» [9] или другим [10-12].

В данной работе продемонстрирован новый тип конфигурации резонатора эрбиевого волоконно-оптического лазера с синхронизацией мод, который назван каплевидным из-за своей схематической схожестью с каплей воды. Данный резонатор реализован на основе коммерческого сдвоенного волоконнооптического коллиматора, позволяющего относительно просто изменить конструкцию кольцевого резонатора внося в него воздушный зазор, являющейся линией задержки, длину которого можно непрерывно регулировать в пределах нескольких миллиметров (например, с использованием пьезокерамики). Такой тип резонатора сочетает в себе преимущества как кольцевой конфигурации, так и гибридной (линейно-кольцевой).

Высококачественная фемтосекундная импульсная генерация была получена в экспериментальном каплевидном волоконном эрбиевом лазере, в котором режим синхронизации мод достигается за счет эффекта нелинейной эволюции состояния поляризации в волокне. В режиме синхронизации мод максимальная длительность импульса составила ~ 450 фс. Частота повторения импульсов ~ 25 МГц. В перспективе, возможность регулировать расстояние между коллиматором и зеркалом позволит активно стабилизировать частоту повторения импульсов.

Волоконно-оптические лазеры с предлагаемой конфигурацией резонатора возможно применять в метрологических или других областях, где требуется высокая стабильность частоты повторения импульсов или её синхронизация с внешним сигналом.

1. Иванов А.А., Алфимов М.В., Желтиков А.М.. Фемтосекундные импульсы в нанофотонике., Успехи Физических наук, 2004, том 174 №7. с. 743-763
2. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика. Москва, 2008.
3. Denisov V I, Ivanenko A V, Nyushkov B N and Pivtsov V S 2008 Femtosecond fibre laser with a hybrid linear-ring cavity Quantum Electron. 38 801–2
4. Nyushkov B N, Denisov V I, Kobtsev S M, Pivtsov V S, Kolyada N A, Ivanenko A V and Turitsyn S K 2010 Generation of 1.7-uJ pulses at 1.55um by a self-modelocked all-fiber laser with a kilometers-long linear-ring cavity Laser Phys. Lett. 7 661–5

5. Fedotov Y S, Ivanenko A V, Kobtsev S M and Smirnov S V 2014 High average power mode-locked figure-eight Yb fibre master oscillator *Opt. Express* 22 31379–86
6. Guy M J, Noske D U and Taylor J R 1993 Generation of femtosecond soliton pulses by passive mode locking of an ytterbium-erbium figure-of-eight fiber laser *Opt. Lett.* 18 1447–9
7. Nyushkov B N, Ivanenko A V, Kobtsev S M, Turitsyn S K, Mou C, Zhang L, Denisov V I and Pivtsov V S 2012 Gamma-shaped long-cavity normal-dispersion modelocked Er-fiber laser for sub-nanosecond high-energy pulsed generation *Laser Phys. Lett.* 9 59–67
8. Zhao Y, Min S, Wang H and Fleming S 2006 High-power figure-of-eight fiber laser with passive sub-ring loops for repetition rate control *Opt. Express* 14 10475–80
9. Chernysheva M, Mou C, Arif R, AlAraini M, Rümmele M, Turitsyn S and Rozhin A 2016 High power Q-switched Thulium doped fibre laser using carbon nanotube polymer composite saturable absorber *Sci. Rep.* 6, 24220
10. Yoshida E, Kimura Y and Nakazawa M 1992 Laser diode-pumped femtosecond erbium-doped fiber laser with a sub-ring cavity for repetition rate control *Appl. Phys. Lett.* 60 932–4
11. Walbaum T and Fallnich C 2011 Multimode interference filter for tuning of a mode-locked all-fiber erbium laser *Opt. Lett.* 36 2459–61
12. Walbaum T, Löser M, Gross P and Fallnich C 2011 Mechanisms in passive synchronization of erbium fiber lasers *Appl. Phys. B* 102 743–50

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Б.Н. Нюшков

ЭФФЕКТЫ РЕЗОНАНСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МАССИВАМИ КРЕМНИЕВЫХ НАНОПИЛЛАРОВ

Л.С. Басалаева, Ю.В. Настаушев, Ф.Н. Дульцев

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН
basalaeva@isp.nsc.ru

Сильное резонансное рассеяние белого света отдельными кремниевыми нанопроволоками было впервые экспериментально исследовано группой Linyou Cao в 2010 году [1]. В 2015 г. ученые из Швейцарии определили, что возможность управления расстоянием между нанокристаллами является дополнительным механизмом настройки отражательной способности локальных участков кожи хамелеона [2]. Используя свойство резонансного рассеяния света отдельными кремниевыми нанопилларами можно получить широкий диапазон видимого цвета [1, 3]. Таким образом, исследование и создание оптических фильтров и дисплеев на основе нанопилларов с изменяемыми в широких пределах спектральными характеристиками представляет собой актуальную научную задачу. В данной работе были сформированы упорядоченные массивы кремниевых нанопилларов посредством электронной литографии и реактивного ионного травления [4]. Были измерены спектры отражения структур нанопилларов в видимом и ближнем ИК диапазонах. Исследована зависимость оптических свойств от геометрии массива нанопилларов и их формы (диаметр нанопилларов от 50 нм до 250 нм, высота нанопилларов от 100 нм до 800 нм, период от 400 нм до 2 мкм). Электронная литография проводилась на установках Pioneer и Raith 150 (Raith GmbH). В качестве маски для травления кремния использовался полимер (негативный резист ma-N2403). Было установлено, что одиночный нанопиллар в зависимости от диаметра поддерживает определенные Ми резонансы. В измеренных спектрах отражения фиксировались один или несколько минимумов отражения (значение коэффициента отражения в отдельных минимумах достигало 3%). Причем положение каждого минимума отражения менялось при изменении диаметра кремниевых нанопилларов. Наблюдался сдвиг положения минимумов отражения в более длинноволновую область спектра при увеличении диаметра кремниевых нанопилларов. Наблюдался сдвиг положения минимумов в коротковолновую область спектра при уменьшении периода кремниевых нанопилларов в микромассивах с одинаковым диаметром нанопилларов. Установлено, что при взаимодействии оптического излучения видимого диапазона с упорядоченным массивом нанопилларов диаметром от 100 до 250 нм также наблюдается явление интерференции света на зазоре, по толщине равном высоте нанопилларов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-32-00269 мол_а) и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-42-543293. Работа выполнена на оборудовании ЦКП “Наноструктуры”.

1. Linyou Cao, Pengyu Fan, Edward S. Barnard, Ana M. Brown and Mark L. Brongersma, «Tuning the color of silicon nanostructures», *Nano Lett.*, **10** (7), 2649, 2010.
2. Jeremie Teyssier, Suzanne V. Saenko, Dirk van der Marel, and Michel C. Milinkovitch, «Photonic crystals cause active colour change in chameleons », *Nat. Commun.*, **10** (6), 6368, (2015).
3. Kwanyong Seo, Munib Wober, Paul Steinvurzel, Ethan Schonbrun, Yaping Dan, Tal Ellenbogen, Kenneth B. Crozier, «Multicolored Vertical Silicon Nanowires», *Nano Lett.*, **11** (4), 1851 (2011).
4. Л.С. Голобокова, Ю.В. Настаушев, Ф.Н. Дульцев, Н.В. Крыжановская, Э. И. Моисеев, А.С. Кожухов, А.В. Латышев, «Оптические и электрофизические свойства кремниевых нанопилларов», *ФТП*, **49** (7), 961-965 (2015).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Ю.В. Настаушев

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАЗМОННЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОДНОМЕРНЫХ СУБВОЛНОВЫХ РЕШЕТОК

В.В. Булгакова^{1,3}, В.В. Герасимов^{1,2}, Б.Г. Голденберг¹, А.Г. Лемзяков¹, А.М. Малкин⁴

¹*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

³*Новосибирский государственный технический университет*

⁴*Институт прикладной физики РАН*

vbulgakova573@gmail.com

Поверхностные плазмоны (ПП) - это комбинация неоднородной ТМ-волны и волны индуцированных свободных зарядов, распространяющиеся вдоль поверхности металл-диэлектрик, и затухающие по нормали к поверхности в обоих направлениях.

Терагерцовый (ТГц) диапазон, к которому относятся длины волн от 30 до 300 мкм, перспективен для многих областей науки. Особое значение ТГц диапазон имеет для биологии и медицины, т.к. ТГц излучение является неионизирующим, и вращательные и колебательные моды межмолекулярных связей многих биологических веществ лежат в данном спектральном диапазоне [1]. Актуальной задачей на сегодняшний день является создание терагерцовых сенсоров на основе поверхностных плазмонов. Поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль гофрированной поверхности в англоязычной литературе называют “spoof” плазмонами. Из-за высокой локализации поле spoof-плазмонов эффективно взаимодействует с веществом, позволяя определять малые примеси в веществе.

В данной работе были проанализированы характеристики ТГц spoof-плазмонов, распространяющихся вдоль одномерных прямоугольных субволновых решеток на плоской поверхности с диэлектрическим веществом в канавках. Найдены оптимальные параметры решеток (период, ширина и глубина канавок) при длине волны излучения $\lambda = 130$ мкм для зондирования полярных и неполярных растворов. Изготовлены образцы методом ультрафиолетовой и многопучковой электронно-лучевой литографии. Исследована смачиваемость образцов водой и этанолом и измерены коэффициенты пропускания ПП вдоль решеток на ТГц излучении Новосибирского лазера на свободных электронах. Показано, что неглубокие решетки наиболее предпочтительны для создания плазмонных сенсоров.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 14-50-00080), РФФИ (№ 16-32-00678 и 16-02-00890), а также с использованием оборудования Новосибирского ЦКП ЦСТИ.

1. Peter H. Siegel, *Terahertz technology in biology and medicine*, IEEE Transactions on microwave theory and techniques, V. 52, N. 10, P. 2438-2447, (2004).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. В.В. Герасимов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДНК МЕТОДОМ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

И.А. Азаров^{1,3}, В.А. Гусев^{2,3}, Б.А. Князев^{2,3}, Ю.Ю. Чопорова^{2,3}, В.А. Швец^{1,3}

¹Институт физики полупроводников им. Ржанова СО РАН

²Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН

³Новосибирский Государственный Университет

Химические свойства и функции сложных биополимеров, таких как ДНК и белки, влияющих на функционирование клетки, зависят от их конформации, т. е. пространственной структуры [1]. Как известно, ДНК существует в трех разных формах: правые спирали А- и В-форма и левая Z-форма. Существует множество методов исследования молекулярной структуры ДНК. К ним относятся электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, атомно-силовая микроскопия и т. д. Они позволяют выявить строение молекулы, но не все они дают информацию о пространственной структуре соединения.

В настоящей работе исследуется возможность определения конформации молекул ДНК методом терагерцовой эллипсометрии, который основан на измерении состояния поляризации электромагнитной волны после отражения от образца. Новосибирский лазер на свободных электронах был использован в качестве источника ТГц излучения. Эллипсометр (рис. 1) устроен по классической фотометрической схеме [2]: поляризатор–образец–анализатор. Поскольку исследуемые вещества представлены в виде водных растворов, а вода обладает большим коэффициентом поглощения практически во всем ТГц диапазоне, то был применен метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Объект располагали в кювете на поверхности кремниевой призмы НПВО. В качестве объектов выбраны растворы ДНК в двух растворителях: в воде и 25% спирте. Оптические константы растворов были вычислены путем решения обратной задачи из экспериментальной зависимости интенсивности от азимутального положения анализатора.

По полученным данным (рис. 2) можно заметить, что эллипсометрические коэффициенты для спирта и раствора ДНК в спирте различны, в то время как для воды и водного раствора ДНК они практически равны.

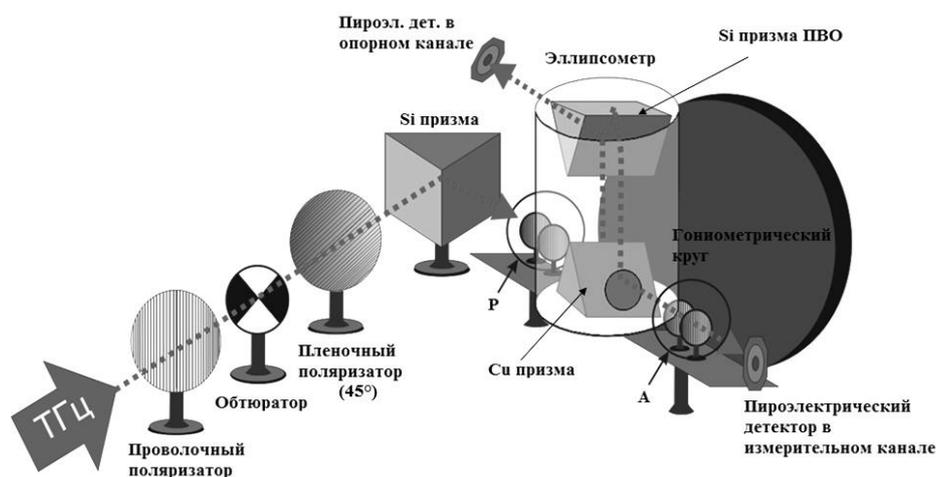


Рис. 1. Терагерцовый эллипсометр. Оптическая схема.

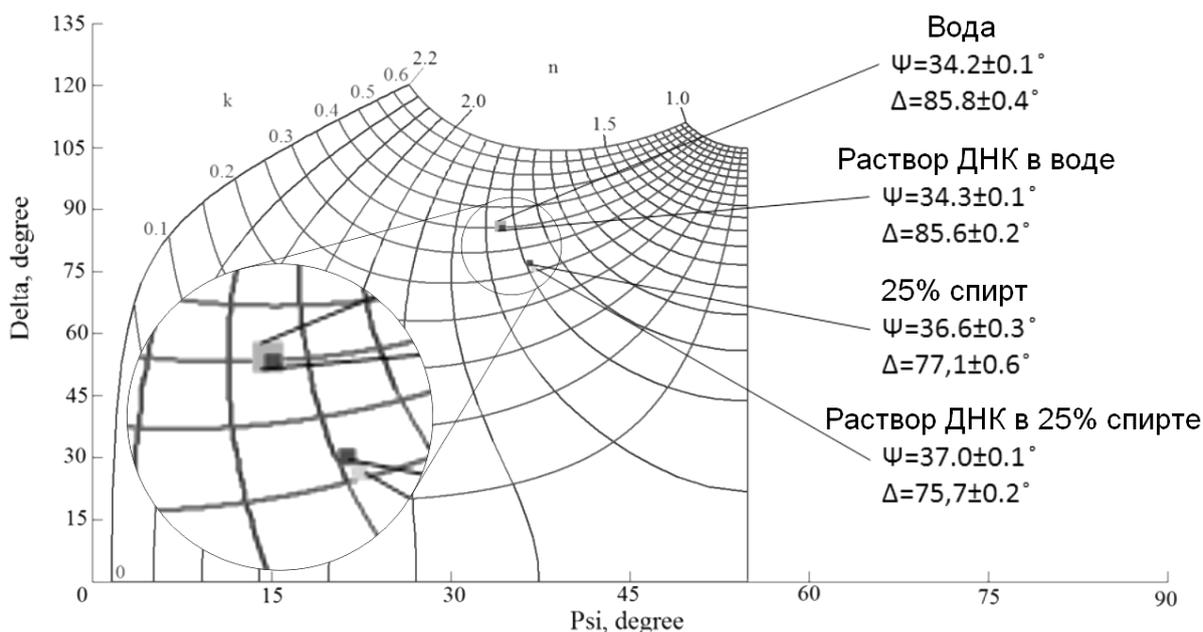


Рис. 2. Номограмма результатов измерений показателя преломления n и поглощения k для четырех образцов. На оси абсцисс эллипсометрический параметр Ψ , характеризующий отношение амплитуд p и s компонент падающей и отраженной волн; на оси ординат – Δ , показывающий сдвиг фаз между соответствующими компонентами. Размер точек соответствует экспериментальной погрешности.

Канал для транспортировки излучения НЛСЭ на рабочую станцию спроектирован и изготовлен при поддержке гранта РФФ №14-50-00080.

1. Semenova, V. Vaks, *Journal of Physics: Conference Series*, **735**, (2016), 012033.
2. A. Azarov, V. A. Shvets, V. Yu. Prokopiev, S. A. Dulin, S. V. Rykhlytskii, Yu. Yu. Choporova, B. A. Knyazev, V. N. Kruchinin, M. V. Kruchinina, *Instruments and Experimental Techniques*, **58** (3), 381-388 (2015).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Ю.Ю. Чопорова

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ КОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Р.Ю. Епифанов

Новосибирский государственный университет

rostepifanov@gmail.com

Механизм движения с помощью заноса (skid steering) является широко используемым для управления движением мобильных роботов. В следствии нетривиального взаимодействия между колесами и поверхностью и кинематическими ограничениями возникают сложности в построении аккуратной кинематической и динамической модели для управляемых заносом роботов.

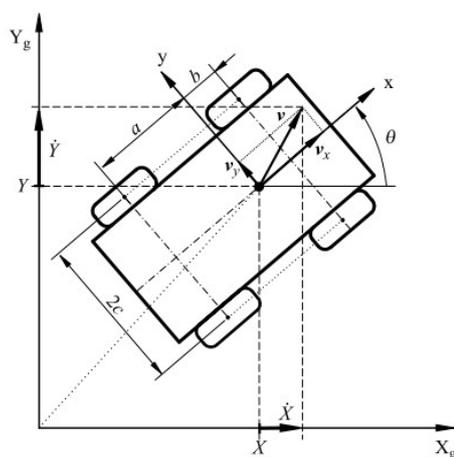


Рис 1. Чертеж для описания кинематической модели платформы.

Целью проведенной работы являются анализ кинематики управляемых заносом роботов и применение аналитических результатов при оценке влияния колесного проскальзывания на стабильность и точность движения робота.

Выпишем ключевое равенство, воспользовавшись результатами работы [1], прежде отметив предположения, сделанные в ходе анализа: робот движется строго планарно, толщина колес пренебрежимо мала, а колесо касается поверхности, продольное проскальзывание колес платформы пренебрежимо мало, эффективный радиус для каждого из колес равен r .

$$\begin{pmatrix} v_x \\ \omega \end{pmatrix} = r \cdot \begin{pmatrix} \frac{\omega_L + \omega_R}{2} \\ \frac{-\omega_L + \omega_R}{2c} \end{pmatrix}$$

ω_L и ω_R - угловые скорости левой и правой пары колес, v_x — линейная скорость платформы в локальной с.к., ω - угловая скорость робота, c - полуширина платформы.

В ходе работы были проведены следующие серии экспериментов: на круговой траектории при разных угловых скоростях колесных пар, при движении робота по прямой траектории вперед-назад.

Использованный во время экспериментов стенд выполнен в виде столешницы, над которой расположены камеры, видеопоток с которых передается на управляющий компьютер. Для выделения положений роботов использовалась программа Swistrack.

По результатам обработки данных получено: экспериментальное значение радиуса при отношении угловых скоростей 2:1 ($\omega_R:\omega_L$) составляет 21 см, измеренные значения

линейной скорости робота равняется 2,73 см/с, 2,23 см/с, 1,81 см/с при ω_L равной $1,57 \text{ c}^{-1}$, $1,25 \text{ c}^{-1}$, $1,04 \text{ c}^{-1}$, соответственно; для соотношения 3:1 значения составляют: для радиуса 15,5 см, для скоростей 2,45 см/с, 1,87 см/с, 1,66 см/с.

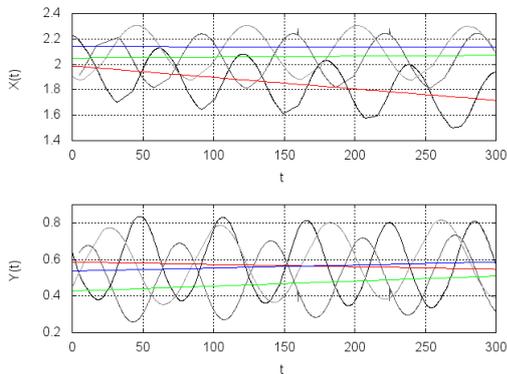


Рис.2. Траектории смещения ц.в. для соотношения 2:1. ω_L равна: для красной $1,57 \text{ c}^{-1}$, для зеленой $1,25 \text{ c}^{-1}$, для синей линий $1,04 \text{ c}^{-1}$. Значения координат приведены в метрах. Время указано в секундах

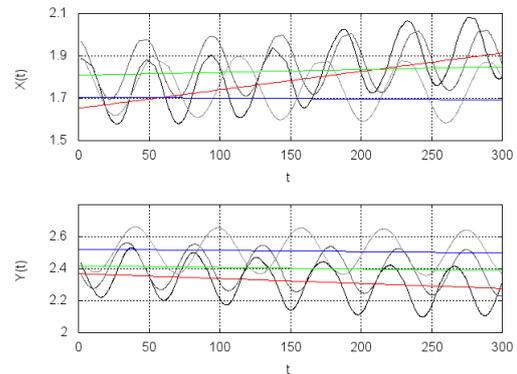


Рис.3. Траектории смещения ц.в. для соотношения 3:1. ω_L равна: для красной $1,57 \text{ c}^{-1}$, для зеленой $1,25 \text{ c}^{-1}$, для синей линий $1,04 \text{ c}^{-1}$. Значения координат приведены в метрах. Время указано в секундах

Для описания стабильности траектории робота проанализировано перемещение центра вращения (ц.в.) с помощью линейной аппроксимации его смещения по координатам X и Y. Модуль скорости смещения положения ц.в. составил 0,091 см/с, 0,028 см/с, 0,016 см/с для соотношения 2:1 и 0,092 см/с, 0,018 см/с, 0,009 см/с для соотношения 3:1. Видно, что происходит нелинейный рост смещения ц.в., что вызвано нелинейной зависимостью силы трения и величины сцепления с поверхностью от скорости вращения колес.

При движении платформы по прямому отрезку вперед-назад отношение смещения точки разворота от первоначальной к длине отрезка движения составляет 15,69% при проезде маршрута 12 раз. Отклонение реальной скорости от запрограммированной равно 6% при абсолютном значении теоретической 3,24 см/с. Несимметричность положения центра масс приводит к тому, что при резкой смене направления движения происходит поворот платформы на небольшой угол.

Получено, что при однократном проезде платформы по прямому участку происходит изгиб первоначально заданной траектории на 0,02%. Это вызвано небольшим отличием диаметров колес платформы.

1. Krzysztof Kozłowski. Dariusz Pazderski. Modeling and control of four-wheeled skid- steering mobile robot. Math. Comput. Sci., 2004, Vol. 14, No. 4, 477–496

Научный руководитель - к.т.н. К.Ю. Котов

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА КОНФОРМАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ ГИДРОФОБНЫХ ХВОСТОВ ВЕЗИКУЛ DMPC ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

Ю.В. Зайцева

Новосибирский Национальный Исследовательский Государственный Университет
Институт Автоматики и Электростроения СО РАН
julmari3@mail.ru

Одним из направлений в современной фармакологии является создание наноконтейнеров для адресной доставки лекарственных веществ. Наибольшее применение в клинической практике находят липидные наноконтейнеры, благодаря своей функциональности и низкой токсичности [1]. Простейшим примером липидных наноконтейнеров являются везикулы – замкнутые слоистые структуры, образованные одним или несколькими бислоями фосфолипида. Липидный бислой может находиться в упорядоченном гелевом состоянии, либо в разупорядоченном флюидном. Однако и в пределах гелевой фазы конформационные состояния гидрофобных хвостов молекул фосфолипида зависят от температуры. Одним из методов, позволяющих исследовать эту зависимость, является комбинационное рассеяние света (КРС), так как некоторые линии в спектре КРС чувствительны к конформационным состояниям липидных хвостов. В частности, пики, соответствующих модам валентных антисимметричных CH_2 колебаний (на частоте $\sim 2880 \text{ см}^{-1}$) и валентных C-C колебаний (на частоте $\sim 1130 \text{ см}^{-1}$).

Ранее в нашей лаборатории методом КРС были исследованы 5 различных фосфолипидов. На основе полученных данных была предложена модель, описывающая возможные конформационные состояния липидных хвостов. Согласно этой модели углеводородный хвост липида может находиться в основном состоянии, в разупорядоченном состоянии, либо в промежуточном кинк состоянии, при котором в углеводородной цепи присутствует гош-транс-гош последовательность. Тогда молекулу фосфолипида с двумя углеводородными хвостами можно описать схемой с четырьмя уровнями энергии (рисунок 1) [2]. Каждый уровень характеризуется величиной энергетического барьера U - основное состояние ($U=0$), одна цепь в кинк состоянии ($U=U_k$), обе цепи в кинк состоянии ($U=2U_k$) и разупорядоченное состояние ($U=U_m$).



Рис. 1. Иллюстрация основного, кинк и разупорядоченного состояний углеводородной цепи в рамках модели

Целью данной работы является исследование еще одного распространенного фосфолипида (DMPC), для проверки предложенной модели. В работе были экспериментально получены спектры КРС водного раствора многослойных везикул DMPC в широком температурном диапазоне. Были построены температурные зависимости интенсивности пика, соответствующего антисимметричным CH_2 колебаниям, и интегральной интенсивности пика, соответствующего C-C колебаниям.

Показано, что интенсивность пика антисимметричных CH_2 колебаний везикул DMPC зависит от температуры подобно ранее изученным липидам, и температурную зависимость интегральной интенсивности C-C пика можно описать в рамках предложенной в [2] модели. Сделана оценка величины энергетического барьера разупорядоченного состояния липидного хвоста.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Высокоразрешающая спектроскопия газов и конденсированных сред»

1. Ю. С. Тараховский Интеллектуальные липидные наноконтейнеры в адресной доставке лекарственных веществ. М. : Издательство ЛКИ, 2011. 280 с.
2. A. A. Dmitriev, N. V. Surovtsev J.Phys.Chem.B, 2015, 119, 15613-15622.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Н.В. Суровцев

ДИФРАКЦИЯ ЗАКРУЧЕННЫХ ПУЧКОВ НА ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

О.Э. Камешков^{1,2}, Б.А. Князев^{1,2}, В.С. Павельев^{3,4}

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

²Институт ядерной физики СО РАН

³Самарский университет

⁴Институт обработки изображений РАН

o.kameshkov@g.nsu.ru

Впервые эффект Тальбота - эффект самовоспроизведения дифракционных решеток, упоминается в статье, опубликованной в журнале “Philosophical Magazine” за 1836 год. С тех пор прошло более 180 лет, но явление все еще остается предметом интенсивного изучения. Несколько лет назад после появления мощного когерентного источника терагерцового излучения, Новосибирского лазера на свободных электронах (НЛСЭ) [1], был продемонстрирован классический эффект Тальбота в терагерцовом диапазоне [2], а недавно с помощью этого лазера были впервые сформированы бесселевы пучки с орбитальным угловым моментом (ОУМ) в вышеуказанном диапазоне [3]. В настоящей работе экспериментально исследована дифракция пучков с орбитальным угловым моментом (ОУМ), называемых также закрученными пучками, на периодических структурах - решетках. Выполненные нами эксперименты и численное моделирование показали, что при освещении периодической структуры пучками с ОУМ получающаяся картина отличается от классической. Эффект точного самовоспроизведения, как таковой, отсутствует, то есть, строго говоря, это – не эффект Тальбота в классическом понимании этого явления.

После прохождения бинарного фазового спирального аксикона лазерный пучок трансформируется в Бесселев с ОУМ. Дифракционной элемент представляется из себя пластинку из кремния радиуса $a = 30$ мм с поперечный волновым числом $\kappa = 2\pi / p = 2.0$ мм⁻¹. При таких параметрах сформированные Бесселевы пучки с топологическими зарядами $|l|=1, 2$ имеют радиусы первых колец 0.9 мм и 1.5 мм $|l|=1, 2$ соответственно, что не достаточно для освещения периодических структур. По этой причине нами была использована телескопическая система для их расширения. Она состояла из ТРХ или кремниевой линзы ($f_1 = 75$ мм или $f_1 = 50$ мм) и 45-градусного параболического зеркала ($f_2 = 250$ мм). В экспериментах и расчетах в среде Matlab применялись решетки круглых отверстий с периодами $P = 2 - 6$ мм и $D = 1$ и 2 мм. Изображения при длинах волн 130 или 140 мкм записывались в виде видеофильмов микроболометрическим приемником [4], перемещавшимся линейным транслятором с шаговым двигателем.

При дифракции Бесселевых пучков на решетках на расстояниях, соответствующих главным и дробным плоскостям Тальбота, наблюдались регулярные картины с такими же пространственными частотами, как и в случае классического эффекта Тальбота, но с более сложными и варьирующимися от плоскости к плоскости распределениями амплитуды и фазы. А при благоприятных условиях – определенном наборе параметров: период решетки, радиус колец, диаметр отверстий, топологический заряд, в плоскостях вместо самоизображения отверстий появляются кольца.

1. В. А. Knyazev, V. S. Cherkassky, Yu. Yu. Choporova, V. V. Gerasimov, M. G. Vlasenko. 35th Internat. Conf. Infrared, Millimeter and Terahertz Waves. Rome, 2010, Paper Tu.-B1.5.

2. В. А. Knyazev, G. N. Kulipanov, N. A. Vinokurov, Measurement Sci. Technol. 21, 054017, 13p. (2010).

3. Yulia Yu. Choporova, Boris A. Knyazev, Mikhail S. Mitkov, Vladimir. S. Pavelyev and Boris O. Volodkin, Phys. Rev. Letters, V. 115, 163901, 2015, 5p.
4. М. А. Демьяненко и др., Автометрия, 47, №. 5, 109-113, (2011).

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Б.А.Князев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОВАНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В РАСТВОРАХ ГЛИЦЕРИН – ВОДА МЕТОДАМИ КАЛОРИМЕТРИИ И КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Ю.А. Карпегина

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
yulia-karpegina@yandex.ru

В настоящее время криоконсервация биологических клеток и биоматериалов играет важную роль в биологических исследованиях и медицине. На сегодняшний день существует два основных подхода к замораживанию биологических объектов: «программное» замораживание и витрификация, в которых используют низкую и высокую скорости охлаждения соответственно. Концентрация криопротектора выше в случае протокола витрификации. Водный раствор глицерина является классическим криопротектором в задачах криоконсервации. Для понимания микроскопических процессов при замораживании важно знать, в каком окружении находится биоматериал. А это определяется процессами стеклования и кристаллизации в криопротекторном растворе. Целью данной работы было исследование растворов глицерин-вода методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и комбинационного рассеяния света (КРС).

В работе методом ДСК была получена зависимость температуры стеклования от концентрации водного раствора глицерина. Полученная зависимость позволила оценить предельную концентрацию водного раствора глицерина, выше которой раствор не удастся закристаллизовать. Согласно полученной оценке, эта концентрация соответствует 75 вес. % раствору глицерин-вода.

С помощью метода КРС были получены спектры 75 % и 55 % растворов глицерина. Было выяснено, что закристаллизованный 55 % раствор состоит из льда и застеклованного 75 % раствора. Эти результаты подтверждают оценку предельной концентрации водного раствора глицерина, полученную с помощью метода ДСК. Предположительно именно в этом окружении находится биологический объект при медленном замораживании.

Для выяснения, в каком окружении находится биологический объект при витрификации, с помощью метода КРС были изучены водные растворы глицерина, замороженные в тонких капиллярах с высокими скоростями охлаждения. Было показано, что скоростей 10 К/с не достаточно, чтобы раствор глицерин-вода с концентрацией, используемой при витрификации, полностью застекловался.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-04-01221.

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Н.В. Суровцев

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ В АТОМНЫХ ЧАСАХ, ОСНОВАННЫХ НА ЭФФЕКТЕ КОГЕРЕНТНОГО ПЛЕНЕНИЯ НАСЕЛЁННОСТЕЙ

Д.В. Коваленко¹⁻³, М.Ю. Басалаев¹⁻³, В.И. Юдин¹⁻³, А.В. Тайченачев^{1,2}

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

²Институт лазерной физики СО РАН

³Новосибирский государственный технический университет

dvk.laser@yandex.ru

В настоящее время важное место среди атомных часов занимают часы, основанные на эффекте когерентного пленения населённости (КПН) [1,2], которые имеют широкий спектр приложений в различных областях науки и техники. Главными преимуществами КПН часов являются малое энергопотребление и компактность в сочетании с относительно высокими метрологическими характеристиками. Суть эффекта КПН состоит в том, что при определенных условиях электромагнитное поле перестает взаимодействовать с атомной средой, и формируется узкий темный резонанс, который используется в качестве репера для частотной стабилизации в КПН часах.

В данной работе решалась задача об определении оптимальных режимов стабилизации частоты в КПН часах. На основе разработанного нами теоретического метода [3], позволяющего находить точное периодическое решение для матрицы плотности, минуя Фурье-анализ, был рассчитан наклон сигнала ошибки для произвольных параметров лазерного поля и гармонической модуляции частоты (индекс модуляции M , частота модуляции f_m), обычно используемой для частотной стабилизации. Также показано, что оптимальный режим стабилизации частоты соответствует динамическому режиму взаимодействия поля с атомами, который существенно отличается от стандартного описания темных резонансов в рамках квазистационарного подхода (при малых частотах модуляции) (Рис. 1).

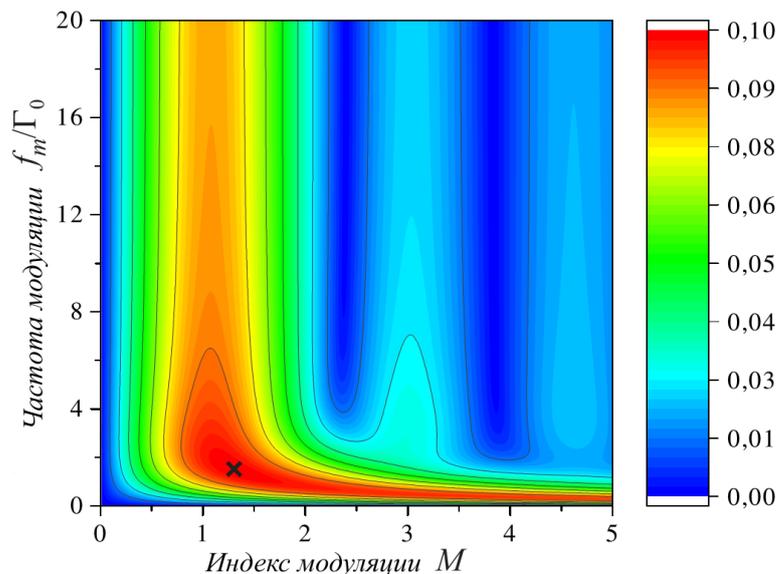


Рис. 1. Зависимость наклона сигнала ошибки (в отн. ед.) от параметров модуляции (M, f_m) для КПН часов. Γ_0 – скорость релаксации на нижних энергетических уровнях в Λ системе. Оптимальный режим стабилизации частоты отмечен крестиком и определяется максимальным наклоном сигнала ошибки [4]

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-32-60050, 16-32-00127), Министерства образования и науки РФ (проект № 3.1326.2017/4.6), Российского научного фонда (проект № 16-12-10147).

1. J. Vanier, «Atomic clocks based on coherent population trapping: a review», *Appl. Phys. B.*, **81**, 421-442, (2005).
2. V. Shah, J. Kitching, «Advances in coherent population trapping for atomic clocks», *Adv. At. Mol. Opt. Phys.*, **59**, 21-74, (2010).
3. V. I. Yudin, A. V. Taichenachev, M. Yu. Basalaeв, «Dynamic steady state of periodically driven quantum systems», *Phys. Rev. A.*, **93**, 013820, (2016).
4. F. Riehle, «Frequency Standards: Basics and Applications», *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim*, №3-527-40230-6, (2004).

Научный руководитель – д.ф.-м.н. В.И. Юдин

УПРАВЛЕНИЕ ПИКОВОЙ МОЩНОСТЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ МОД ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРНОГО РЕЗОНАТОРА С НОРМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

А.Ю. Кохановский, А.В. Иваненко, С.В. Смирнов, С.М. Кобцев

Новосибирский государственный университет

alexey.kokhanovskiy@gmail.com

На сегодняшний день повышенным интересом пользуются лазеры с синхронизацией мод лазерного резонатора с нормальной дисперсией из-за их возможности генерировать диссипативные солитоны с более высокими энергиями по сравнению с классическими солитонами [1]. В контексте генерации высоких энергий и мощностей более перспективными являются конфигурации лазеров, не содержащие элементы для синхронизации мод, основанные на материальных насыщающихся поглотителях. Это, прежде всего, лазеры с синхронизацией мод на эффекте нелинейного вращения поляризации (НВП) и лазеры, содержащие нелинейное усиливающее петлевое зеркало (НУПЗ). НВП лазеры привлекательны из-за простоты реализации и множества доступных режимов импульсной генерации обладают существенным недостатком: чувствительностью к влиянию окружающей среды. НУПЗ реализованное на базе элементов с сохранением поляризации, не подвержено влиянию окружающей среды, что делает НУПЗ перспективным элементом для синхронизации мод в волоконных лазерах [2].

Особенностью работы схемы НУПЗ с одной накачкой в качестве элемента для синхронизации мод является постоянство пиковой мощности генерируемых импульсов [3, 4]. Невозможность управления пиковой мощностью делает схемы на основе НУПЗ негибкими и потенциально ограничивает круг их применений. В данной работе обозначенную проблему удалось решить применением нелинейного усиливающего зеркала с двумя независимыми активными средами для генерации импульсов с варьируемой пиковой мощностью (Рис.1.). Добавление второго активного волокна позволяет регулировать набег нелинейных фаз оптических волн, распространяющихся в противоположные стороны в НУПЗ и тем самым регулировать его мощность насыщения.

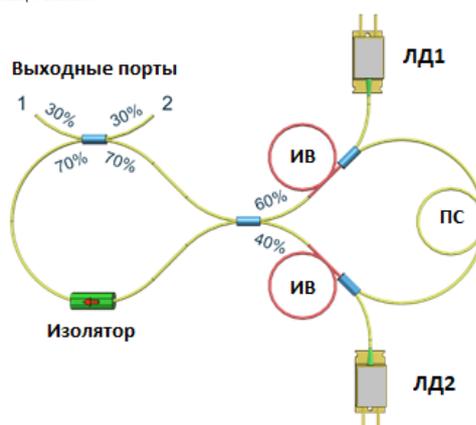


Рис.1. Принципиальная схема волоконного лазера с НУПЗ с двумя накачками, ЛД1, ЛД2 – лазерные диоды накачки, ИВ – активное волокно, легированное иттербием, ПС – пассивное волокно с сохранением поляризации.

За счёт изменения мощностей накачки активных волокон возможна генерация как непрерывного, так и импульсного излучения с различными характеристиками. При этом установлена большая область режима синхронизации мод лазерного резонатора при вариации управляющих токов лазерных диодов накачек в диапазоне от 1 – 5 А, что соответствует мощностям оптической накачки в диапазоне 0.34 – 3 Вт (Рис.2.). В этой

области регистрировались импульсы различной длительности в диапазоне 55 – 160 пс. На Рис.2. белой стрелкой отмечена траектория изменения токов накачек, при которых сохранялась длительность импульсов порядка 55 пс. Последовательно увеличивая мощность накачки активных волокон, мы добились генерации импульсов длительностью 52 пс и средней мощности 340 мВт, при этом диапазон вариации пиковой мощности составил 32 – 280 Вт (Рис.3.)

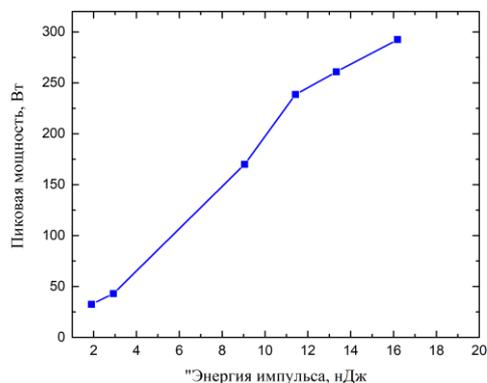
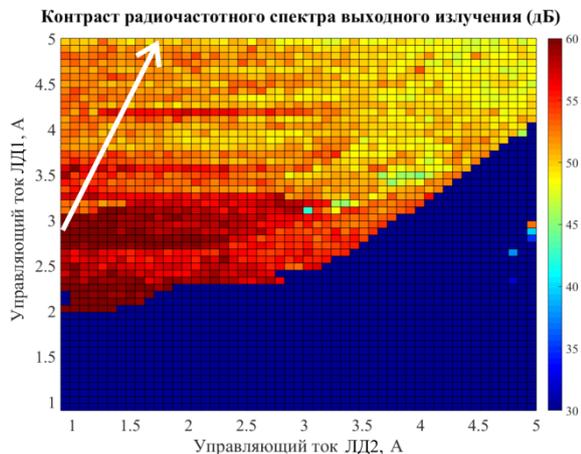


Рис.2. Карта контраста радиочастотного спектра выходного излучения в зависимости от уровня управляющих токов лазерных диодов накачки. Рис.3. Зависимость пиковой мощности выходных импульсов от их энергии.

Таким образом, использование НУПЗ с двумя накачками позволяет создавать волоконные источники сверхкоротких импульсов с варьируемой пиковой мощностью в широком диапазоне при сохранении их длительности, что принципиально невозможно с НУПЗ с одной накачкой. Более того, контроль мощности накачек активных волокон НУПЗ позволяет варьировать не только пиковую мощность выходных импульсов, но и их длительность.

1. W. Chang, A. Ankiewicz, J. M. Soto-Crespo, and N. Akhmediev, «Dissipative soliton resonances,» *Phys. Rev. A - At. Mol. Opt. Phys.*, vol. 78, no. 2, pp. 1–9, (2008).
2. M. Erkintalo, C. Aguergaray, A. Runge, and N. G. R. Broderick, «Environmentally stable all-PM all-fiber giant chirp oscillator», *Opt. Express*, vol. 20, no. 20, p. 22669, (2012).
3. J. H. Yang, C. Y. Guo, S. C. Ruan, D. Q. Ouyang, H. Q. Lin, Y. M. Wu, and R. H. Wen, «Observation of dissipative soliton resonance in a net-normal dispersion figure-of-eight fiber laser», *IEEE Photonics J.*, vol. 5, no. 3, (2013).
4. A. V Avdokhin, S. V Popov, and J. R. Taylor, «Femtosecond source at 1065 nm», vol. 11, no. 3, pp. 265–269, (2003).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. С.В. Смирнов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДИНОЧНЫХ МОЛЕКУЛ В ПОЛИМЕРНЫХ СРЕДАХ

А.В. Кузнецов

ФГБОУ ВО «ИГУ»
ИФ ИЛФ СО РАН
protonov1395@gmail.com

Одиночные молекулы могут быть использованы в различных областях науки и техники. Например, в науках о жизни в роли люминесцентных маркеров при исследовании биологических объектов, таких как вирусы. Применение такой методики позволяет отследить траекторию движения вируса и понять, как идет его проникновение в клеточную жидкость и происходит поражение ядра клетки. Одиночные молекулы и другие квантовые системы используются для создания источников единичных фотонов для систем квантовой криптографии. Также одиночные молекулы применяют для получения информации о динамических процессах в локальном окружении этих молекул, например, в твердотельных средах. Исследуя единичные молекулы различных веществ, можно получить информацию, недоступную при исследовании их ансамблей. Подобные исследования и разработки с использованием одиночных квантовых систем актуальны, имеют высокий научный потенциал и интенсивно развиваются в последние годы.

В данной работе решалась задача поиска твердотельных сред и внедрения в них одиночных органических молекул красителя BODIPY 3bf, впервые синтезированного в Иркутске (ИрИХ СО РАН) и их исследования люминесцентными методами. Одно из основных требований, предъявляемых к средам, это – предельно низкое содержание собственных и примесных паразитных центров люминесценции, которые могут возбуждаться и люминесцировать в тех же спектральных диапазонах, что и изучаемые молекулы люминофора.

Исследования были проведены на конфокальном сканирующем люминесцентном микроскопе с временным разрешением MicroTime 200 (ИФ ИЛФ СО РАН). На рис. 1 показаны полученные построчным сканированием картины пространственного распределения интенсивности люминесценции исходных образцов плёнок поливинилпирролидона (а) и полиметилметакрилата (б) до введения в них исследуемых молекул и поливинилпирролидона после внедрения (в). Размер каждого снимка 6 x 6 мкм.

Люминесцирующие единичные объекты на первых двух представленных снимках имеют принципиально различный вид. В пленках поливинилпирролидона (рис. 1а) эти изображения состоят из чередующихся горизонтальных темных и светлых полосок различной толщины, ориентированных вдоль направления сканирования. Такие изображения обусловлены мерцанием люминесценции (в англоязычной литературе используется термин «блинкование», *blinking*) в течение времени сканирования, связанным с квантовыми переходами молекул в неизлучающие состояния и возвращением из этих состояний в основное. Такие мерцания могут наблюдаться только на единичных молекулах или на малом их числе. Это означает, что в образцах поливинилпирролидона концентрация исходных паразитных люминесцирующих молекул достаточно мала; она находится на уровне, позволяющем дополнительно внедрять изучаемые молекулы и пространственно селективно их регистрировать и исследовать.

Подобная картина не наблюдается в матрице полиметилметакрилата (рис. 1б). Единичные люминесцирующие объекты в данной матрице не мерцают. Поэтому мы пока не определили, являются ли они одиночными молекулами или нет. Этого исключить нельзя, так как, например, квантовые системы с одним оптическим электроном, не имеющие триплетных состояний мерцать вообще не должны. Было решено, что для спектроскопии одиночных молекул вводимого люминофора в большей мере подходит матрица

поливинилпирролидона, имеющая в своей структуре, в основном, одиночные паразитные люминесцирующие квантовые системы, на фоне которых возможно выделение и изучение одиночных молекул вводимого люминофора.

В матрицу поливинилпирролидона были внедрены молекулы исследуемого красителя (рис. 1в). По блинкованию видно, что на снимке изображены одиночные молекулы люминофора. Необходимая пространственная концентрация молекул в образцах достигалась за счет изменения толщины плёнки и количества вводимого люминофора.

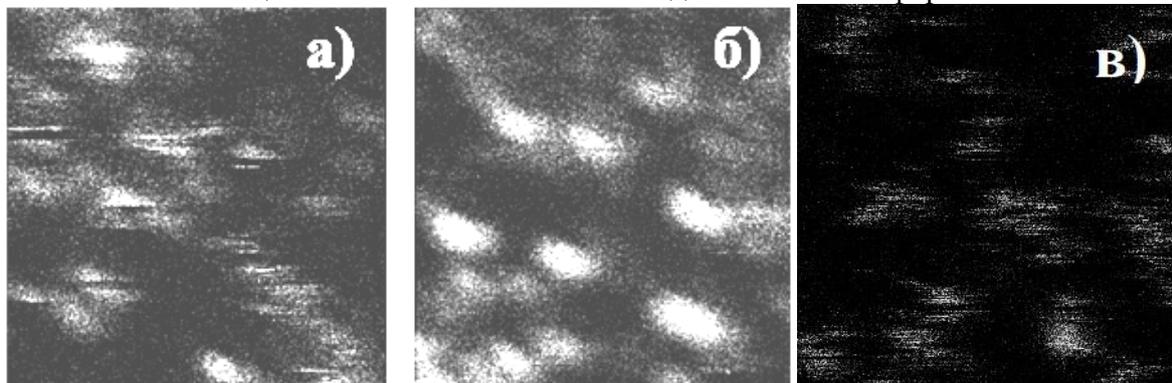


Рис. 1. Люминесцентные изображения пленок поливинилпирролидона (а), полиметилметакрилата (б) и поливинилпирролидона с внедрёнными молекулами исследуемого люминофора (в).

Таким образом, впервые были зарегистрированы и исследованы конфокальные сканированные люминесцентные мерцающие изображения единичных молекул красителя BODIPY 3bf.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю доктору физико-математических наук, профессору Мартыновичу Евгению Фёдоровичу за предложение интересной темы исследования и чуткое руководство работой. Автор считает приятным долгом поблагодарить Ракевича Александра Леонидовича, ведущего инженера ИФ ИЛФ СО РАН, за помощь в проведении измерений, а также весь штат ИФ ИЛФ СО РАН за поддержку и активное обсуждение представленной работы на разных этапах её выполнения. Также автор благодарен директору ИрИХ СО РАН доктору химических наук Иванову Андрею Викторовичу и членам его коллектива, в частности, кандидату химических наук, заведующему лабораторией физической химии Смирнову Владимиру Ильичу, доктору химических наук Синеговской Лидии Михайловне и главному специалисту лаборатории физической химии ИрИХ СО РАН Шулуновой Алле Михайловне за предоставление места и реактивов для проведения экспериментов, помощь в работе с химическими веществами и поддержку в начинаниях.

Работа выполнена по Программе ФНИ госакадемий РФ, проект 0307-2016-0004.

1. И.С. Осадько. «Селективная спектроскопия одиночных молекул», Физматлит, М., 2000.
2. А.В. Наумов, «Спектроскопия одиночных молекул как метод исследования низкотемпературной динамики неупорядоченных твердотельных сред», Дисс. уч. ст. докт. физ.-мат. наук, Троицк, 2009.
3. С.А. Зилов и др., «Переориентация одиночных F_2 -центров в кристалле LiF». Известия РАН. Серия физическая, 2016, Т. 80, № 1, С. 89-92.
4. В.П. Дресвянский и др., «Квантовые траектории фотолюминесценции F_2 -центров в кристалле LiF», Известия РАН. Серия физическая, Т. 80, № 1, С. 97-100, 2016.

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Е.Ф. Мартынович.

КИНЕТИКА ОТРАЖЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗЕРКАЛА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ

Г.М. Борисов^{1,2}, В.Г. Гольдорт¹, А.А. Ковалёв¹, Д.В. Ледовских¹, Н.Н. Рубцова¹

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
²Новосибирский государственный университет
dvledovskikh@isp.nsc.ru

Одним из основных требований, предъявляемых к полупроводниковым зеркалам, предназначенным для пассивной синхронизации мод, является их быстродействие; в связи с этим актуально исследование кинетики отражения таких оптических элементов. Зеркала с насыщающимся поглощением используются в разных условиях по уровню плотности энергии излучения в резонаторе лазера, поэтому важно исследовать их в максимально доступном диапазоне интенсивностей возбуждающих импульсов.

Воздействие резонансного излучения на полупроводниковые структуры с квантовыми ямами приводит к генерации свободных носителей ($e-h$ пар) и к формированию экситонов. Относительный вклад $e-h$ пар и экситонов в кинетику отражения представляет интерес, так как экситонный переход дает возможность насыщения низкими плотностями энергии, а кинетика $e-h$ пар определяет быстродействие оптического элемента.

Природа и кинетика насыщения экситонной линии в квантовых ямах были подробно исследованы в условиях низких температур для изолированных квантовых ям [1] методом накачка-зондирование со спектральным разрешением. При комнатной температуре исследовалась фемтосекундная кинетика образцов с изолированными квантовыми ямами (разделенными толстыми барьерами) [2,3]. В нашем случае мы имеем дело с комнатной температурой и с ямами, разделенными нано-структурированными барьерами.

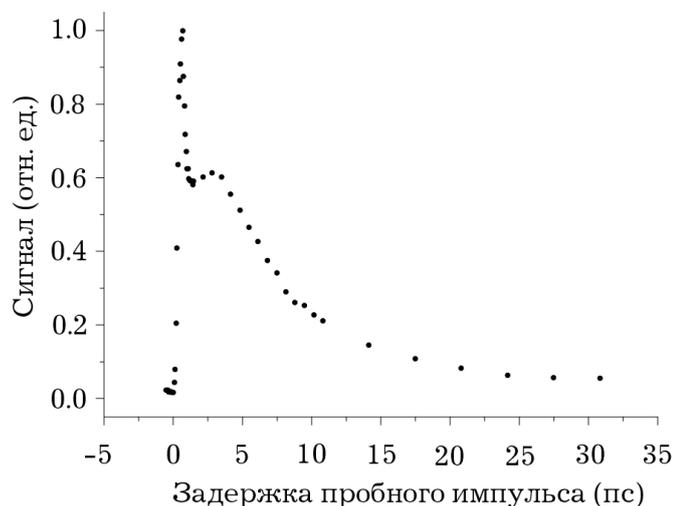


Рис.1. Экспериментальная кривая кинетики отражения зеркала; нарастание определяется кинетикой фотогенерированных экситонов, затухание содержит также вклад свободных электронно-дырочных пар

Форма кинетических кривых отражения быстродействующего зеркала с насыщающимся поглощением [4-6] исследована одночастотным методом накачка-зондирование в диапазоне $0.017 - 5.44 \text{ ГВт/см}^2$ интенсивностей энергий падающего излучения. Источником излучения служил лазер $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ с частотой повторения 70 МГц, с длительностью импульсов 130 фс и с центральной длиной волны 1035 нм.

Пример экспериментальной кинетической кривой отражения быстродействующего полупроводникового зеркала показан на Рис. 1 при максимальной интенсивности падающего на образец возбуждающего излучения. Видно, что участок релаксации не соответствует простому биэкспоненциальному закону.

Кинетика нарастания и релаксации к исходному значению отражения моделируется вкладами генерированных излучением экситонов, локализованных в квантовых ямах, а также свободных носителей. Показано, что кинетическая кривая сложнее часто используемого приближения двух-экспоненциального затухания, а участок нарастания сигнала определяется, в основном, вкладом локализованных экситонов.

1.К.Л. Литвиненко А. Горшунов, Й.М. Хвам, В.Г. Лысенко, «Динамика экситонных состояний в GaAs/AlGaAs квантовых ямах», *Письма в ЖЭТФ*, **66**, 139-144, 1997.

2.W. Н. Кнох, R.L. Fork, M.C. Downer, D.A.B. Miller, D.S. Chemla, C.V. Shank, A.C. Gossard, and W. Wiegmann, «Femtosecond Dynamics of Resonantly Excited Excitons in Room-Temperature GaAs Quantum Wells», *Phys. Rev. Letters*, **54**, 1306-1309, 1985.

3.P. C. Becker D. Lee, A.M. Johnson, A.G. Prosser, R.D. Feldman, R.F. Austin, and R.E. Berlinger, «Femtosecond Dynamics of Resonantly Excited Room-Temperature Excitons in II-VI CdZnTe Quantum Wells», *Phys. Rev. Letters*, **68**. P. 1876-1879, 1992.

4.N.N. Rubtsova, G.M. Borisov, V.G. Gol'dort, A.A. Kovalyov, D.V. Ledovskikh, «Reflectivity kinetics of saturable absorbers for laser mirrors», *Laser Physics*, **26** 025001 (6pp), 2016.

5.Г.М. Борисов, В.Г. Гольдорт, А.А. Ковалёв, Д.В. Ледовских, Н.Н. Рубцова, «Фемтосекундная кинетика отражения зеркал с насыщающимся поглощением», *Автометрия*, т.**52**, 52-56, 2016.

6.N.N. Rubtsova, G.M. Borisov, D.V. Ledovskikh, A.A. Kovalyov, V.V. Preobrazhenskii, M.A. Putyato, B.R. Semyagin, V.E. Kisel', A.S. Rudenkov, N.V. Kuleshov, A.A. Pavlyuk, "Fast mirrors for femtosecond passive mode-locked near-infrared lasers", *Laser Physics*, **26**, 125001 (5pp), 2016.

Научный руководитель – д.ф.-м.н Н.Н. Рубцова

ВЛИЯНИЕ ПАРАЗИТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСЫ В ГАЗОВОЙ ЯЧЕЙКЕ, НАПОЛНЕННОЙ ПАРАМИ АТОМОВ РУБИДИЯ И БУФЕРНЫМ ГАЗОМ

А.С. Новокрещенов¹, Д.В. Бражников^{1,2}

¹Институт лазерной физики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

aleksey-box@mail.ru

После своего открытия в 1976 году [1] явление когерентного пленения населенностей (КПН) было исследовано во множестве научных лабораторий. Основное спектроскопическое проявление КПН состоит в наблюдении резонанса электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП) [2], который обычно наблюдается в виде узкого провала в поглощении лазерного излучения, когерентно взаимодействующего с газом атомов. Причем, отличительной особенностью этого резонанса является его ширина, которая может быть значительно меньше естественной ширины линии атомного перехода. Именно поэтому ЭИП уделяют особое внимание в области квантовой метрологии при создании миниатюрных атомных часов и магнетометров нового поколения.

В определенном смысле электромагнитно-индуцированная абсорбция (ЭИА) [3] является противоположным эффектом к ЭИП. Обычно этот эффект наблюдается как «яркий» резонанс, т.е. в виде увеличения поглощения и флюоресценции газовой ячейки. В стандартных схемах наблюдения [3, 4] он вызван спонтанным переносом анизотропии с возбужденного состояния на основное [5]. К сожалению, эффект ЭИА не нашел такого разнообразия применений, как эффект ЭИП. Это, главным образом, обусловлено тем фактом, что в отличии от ЭИП-сигнала, характеристики яркого резонанса (амплитуда и ширина) в стандартных схемах наблюдения не могут быть улучшены широко используемыми методами, основанными на применении буферного газа или ячейки с антирелаксационным покрытием стенок.

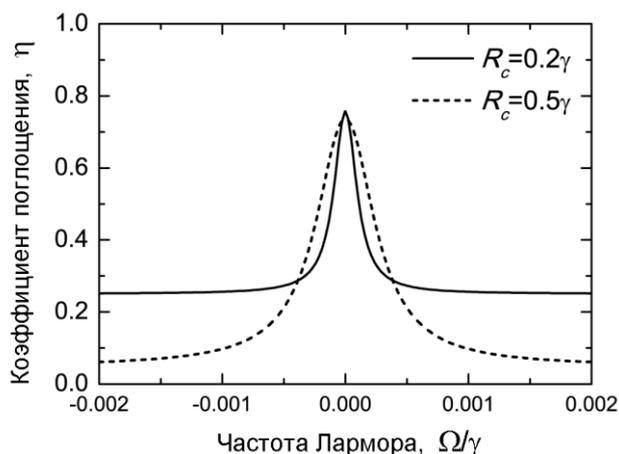


Рис. 1. Пример резонансов ЭИА при использовании модифицированной схемы Ханле. Здесь R_c – частота Раби для волны накачки, при этом для пробного пучка полагается $R_p = 0.05\gamma$. Константа столкновительной релаксации $\gamma_c = 50\gamma$, а скорость затухания анизотропии основного состояния принята равной $10^{-5}\gamma$.

В работах [6,7] мы исследовали новую магнитооптическую схему, которая позволяет наблюдать резонансы ЭИА, вызванные явлением КПН, а не спонтанным переносом анизотропии. Оказалось, что новая схема может быть также использована для получения резонансов ЭИА с хорошими характеристиками [8], так как позволяет использовать буферный газ или ячейку с антирелаксационным покрытием. На Рис.1 приведены примеры

магнитооптических резонансов, рассчитанных для атомного перехода $F_g=1 \rightarrow F_e=1$ в D_1 линии атома ^{87}Rb (константа спонтанной релаксации $\gamma=2\pi \times 5.57$ МГц, $\lambda=794.8$ нм).

В работе [8] ЭИА-резонансы получаются сканированием статического магнитного поля, приложенного параллельно волновым векторам встречных волн. В реальных экспериментах помимо контролируемого соленоидом продольного магнитного поля \vec{B} всегда присутствует паразитное поле, связанное с недостатками магнитной экранировки газовой ячейки. Продольная компонента паразитного поля приводит лишь к сдвигу магнитооптического резонанса, поэтому основной интерес представляет компонента этого поля, ортогональная направлению волновых векторов волн (\vec{B}_\perp). Известно, что эта компонента может оказывать существенное влияние как на параметры «субнатуральных» магнитооптических резонансов (ширина, амплитуда, контраст), так и на их знак. В связи с этим, возникает необходимость изучения влияния ортогональной компоненты паразитного поля на нелинейные магнитооптические резонансы и в случае модифицированной схемы, предложенной в работе [8].

В настоящей работе мы изучили вопрос, связанный с степенью влияния паразитного магнитного поля \vec{B}_\perp и выработали рекомендации по степени контроля над этим полем для наблюдения магнитооптических резонансов с высокими характеристиками и, в частности, для наблюдения эффекта «гиперконтраста», который был предсказан в работе [8] как резкое увеличение контраста ЭИА-сигналов при использовании встречных световых волн и открытых атомных переходов.

Как показано в работе, для наблюдения магнитооптических резонансов с высокими характеристиками необходимо контролировать остаточное магнитное поле в области газовой ячейки на уровне $\Omega_\perp \leq 10^{-4}\gamma$, что для ^{87}Rb соответствует амплитуде поля примерно 0.8 мГц и является довольно жестким условием, требующем применения высококачественных многослойных магнитных экранов.

Результаты работы представляют интерес для квантовой магнитометрии и нелинейной магнитооптики. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 15-02-08377).

1. G. Alzetta, A. Gozzini, L. Moi, G. Orriols, *Nuovo Cimento*, В **36**, 5 (1976).
2. S.E. Harris, *Physics Today*, **50**, 36 (1997).
3. A.M. Akulshin, S. Barreiro, A. Lezama, *Phys. Rev. A*, **57**, 2996 (1998).
4. Y. Dancheva et al., *Opt. Commun.*, **178**, 103 (2000).
5. A.V. Taichenachev, A.M. Tumaikin, V.I. Yudin, *Phys. Rev. A*, **61**, 011802 (2000).
6. Д.В. Бражников, А.В. Тайченачев, А.М. Тумаикин, В.И. Юдин, И.И. Рябцев, В.М. Энтин, *Письма в ЖЭТФ*, **91**, 694 (2010).
7. V. Brazhnikov, A.V. Taichenachev, V.I. Yudin, *Eur. Phys. J. D*, **63**, 315 (2011).
8. D.V. Brazhnikov, A.V. Taichenachev, A.M. Tumaikin, V.I. Yudin, *Laser Phys. Lett.*, **11**, 125702 (2014).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Д.В. Бражников

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ БЕССЕЛЕВЫХ ПУЧКОВ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННЫХ И ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Б.О. Володкин¹, Б.А. Князев^{2,3}, Н.Д. Осинцева^{2,4}, В.С. Павельев¹, Ю.Ю. Чопорова^{2,3}

¹*Самарский университет*

²*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН*

³*Новосибирский государственный университет*

⁴*Новосибирский государственный технический университет*

natalyaosintseva@gmail.com

Пучки с орбитальным угловым моментом (ОУМ) в настоящее время находят применение в системах связи, исследовании протяжённых объектов и т.д. [1]. Терагерцовые (ТГц) бесселевы пучки с ОУМ, или «закрученные пучки», с топологическими зарядами ± 1 и ± 2 впервые были получены на Новосибирском лазере на свободных электронах [2]. Гауссов пучок с длиной волны $\lambda=141$ мкм, проходя через бинарный кремниевый аксикон, формировал бесселев пучок на расстоянии 100 мм от аксикона. Сформированные бесселевы пучки являются «бездифракционными», что означает, что распределение интенсивности в поперечном сечении остаётся неизменным на протяжении определенного расстояния. Длина бездифракционного распространения определяется апертурой пучка и углом схождения дифрагированных волн и не зависит от закрученности пучка. В нашем случае, длина бездифракционного распространения пучков составляла 250 мм. Распространение пучков было также промоделировано в программном пакете Matlab, используя интеграл Френеля-Кирхгофа. Численные расчёты показали хорошее согласование с экспериментальными данными.

Зона распространения бесселевых пучков в свободном пространстве определяется зоной перекрытия конических плоских волн, формируемых аксиконом. Если на пути распространения пучка поместить амплитудные или фазовые неоднородности, то образуется зона геометрической тени. Если апертура препятствия не превышает апертуру аксикона, то за зоной геометрической тени пучок также формируется и, таким образом, восстанавливает исходное распределение интенсивности.

Распределение интенсивности в поперечном сечении имеет аксиальную симметрию, но это не говорит о наличии закрученности. Для диагностики данных свойств был использован ряд дифракционных и интерференционных оптических методов [3]. Для регистрации закрученности пучка применялись метод дифракции на полуплоскости и классический опыт Юнга, с помощью интерференции закрученного бесселева и исходного гауссова пучков при соосном падении в интерферометре Маха-Цандера было изучено изменение фазы.

1. V. Purnapatra, S. Bera, P. P. Mondal, «Spatial filter based Bessel-like beam for improved penetration depth imaging in fluorescence microscopy», *Scientific Reports*, 2, 692 (2012).

2. B.A. Knyazev, Yu.Yu. Choporova, M.S. Mitkov, V.S. Pavelyev, B.O. Volodkin, «Generation of terahertz surface plasmon polaritons using nondiffractive Bessel beams with orbital angular momentum», *Phys. Rev.*, 115, 163901, (2015).

3. Choporova Y. Y. et al. «Terahertz Bessel beams with orbital angular momentum: diffraction and interference», *EPJ Web of Conferences*, 149 (2017).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Ю.Ю. Чопорова

ПОСТЕРНАЯ СЕКЦИЯ

БОРНОВСКИЙ РЯД ДЛЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРАХ

А.С. Берёза

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

alex.bereza2010@yandex.ru

В настоящее время в связи с развитием численных методов исследования и применением электронных вычислительных машин, круг решаемых задач значительно расширился. В отличие от аналитических решений, численные методы обладают большей универсальностью и позволяют получить решение с заданной степенью точности, тем не менее, аналитическое решение по-прежнему остается исключительно ценным для выявления общих теоретических закономерностей. Одним из способов получения аналитического решения является борновское приближение, суть которого в том, чтобы для слабого рассеивателя вместо полного поля внутри рассеивающего потенциала использовать падающее поле. Однако, традиционный борновский ряд не применим к системам с резкой границей, поскольку не позволяет учесть граничные условия.

Целью данной работы является построение модифицированного борновского приближения для задачи рассеяния электромагнитной волны на двух параллельных однородных диэлектрических цилиндрах. Один из цилиндров является основным, и для него записывается решение в аналитическом виде; для системы с одним цилиндром строится функция Грина [1], основанная на этом аналитическом решении, а второй цилиндр выступает в качестве возмущения. Тем самым задача сводится к единственному цилиндру, помещенному в модифицированную среду, характеристики которой описываются специальной функцией Грина. После выводятся интегральные соотношения, связывающие внешнее поле и поле внутри возмущающего цилиндра, из которых методом последовательных приближений получается решение в виде борновского ряда.

Для случая s- и p- поляризации была построена функция Грина и получена первая борновская поправка к рассеянному полю, а так же рекуррентные соотношения для нахождения последующих поправок. Метод сверен с двумя независимыми численными решениями: методом граничных элементов [1] и методом точечных диполей [2]. Первое борновское приближение подходит для определения качественного характера рассеяния, второе и последующие могут быть использованы для описания его количественных характеристик. Интегральные соотношения обобщены на случай большего числа тел произвольной формы.

1. S. Bereza, A. V. Nemykin, S. V. Perminov, L. L. Frumin and D. A. Shapiro , «Light scattering by dielectric bodies in the Born approximation», *Phys. Rev. A*, 2017, <https://arxiv.org/abs/1704.04767>.

2. O. V. Belai, L. L. Frumin, S. V. Perminov, and D. A. Shapiro, «Scattering of evanescent wave by two cylinders near a flat boundary», *EPL* **97**, 2012.

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Д.А. Шапиро

ЛАЗЕР СО СЛУЧАЙНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ НА ОСНОВЕ ДВУХСЕРДЦЕВИННОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

А.Е. Бударных

*Институт автоматизи и электрoметрии СО РАН
Новосибирский государственный университет
funews@mail.ru*

Принцип работы лазера со случайно распределенной обратной связью (СРОС) основан на многократном рассеянии светового излучения в усиливающей среде. Лазерная генерация в СРОС лазере не имеет модовой структуры. Это свойство, в частности, может быть применено для получения беспятковых изображений [1]. Кроме того, СРОС лазеры могут применяться в сенсорных и телекоммуникационных приложениях [2].

СРОС в волоконных лазерах достигается за счет рэлеевского рассеяния на естественных неоднородностях показателя преломления. Помимо этого, СРОС в волоконном световоде может иметь наведенный характер. Этого можно добиться формированием одной длинной [3] или нескольких коротких [4] решеток показателя преломления со случайным продольным распределением параметров. В таких лазерах можно получить много- или одночастотный режимы генерации в зависимости от длины резонатора и мощности накачки. Также, можно достичь достаточно короткой длины резонатора (на несколько порядков меньше) по сравнению с СРОС ВКР-лазерами на основе рэлеевского рассеяния света.

Таким образом, целый ряд работ демонстрируют, что наличие СРОС в лазере приводит к появлению новых качеств лазерного излучения. По этой причине ищутся новые пути реализации СРОС в волоконных схемах. В данной работе для этих целей использовался двухсердцевинный волоконный световод (ДВС). В волокнах такого типа помимо случайного распределения рассеивателей на неоднородностях, также присутствует случайное распределение мощности вдоль световода из-за эффектов связи мод. Таким образом, СРОС для лазера на основе ДВС будет основываться сразу на двух факторах случайности.

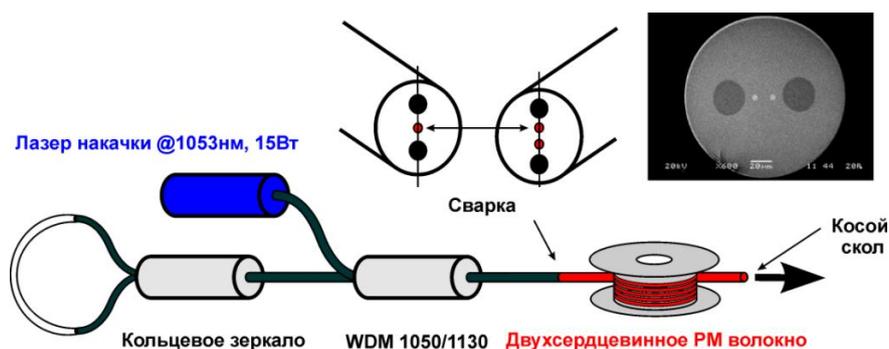


Рис. 1. Схема волоконного лазера со случайно распределенной обратной связью на основе двухсердцевинного волокна. На вставке приведена фотография торца использованного в работе двухсердцевинного волокна.

Схема лазера представлена на Рис.1. В качестве среды с ВКР-усилением и случайной распределенной обратной связью в работе использовалось ДВС с сохранением поляризации длиной 550 метров. Сохранение линейной поляризации обеспечивалось наличием двух напрягающих стержней (см. вставка к Рис.1). В качестве лазера накачки использовался линейно-поляризованный иттербиевый лазер с генерацией излучения на 1053 нм и максимальной выходной мощностью 14 Вт. Для создания полуоткрытого резонатора использовалось волоконное кольцевое зеркало, присоединенное к схеме через WDM. Для заведения излучения накачки в активное волокно к одной из сердцевин ДВС было приварено односердцевинное PM-волокно (односердцевинный волоконный световод – ОВС). Волокна

были сварены таким образом, чтобы направление наведённого двулучепреломления в волокнах были согласованы, а сердцевина односердцевинного волокна согласована с одной из сердцевины ДВС. Все компоненты резонатора были выполнены из световодов с сохранением поляризации.

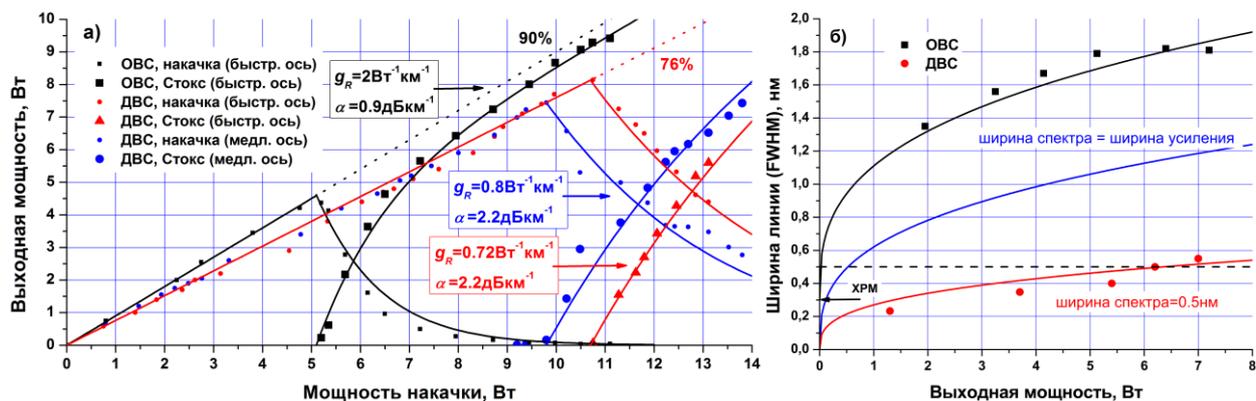


Рис. 2. а) Полная выходная мощность генерации и мощность прошедшей накачки в зависимости от входной мощности накачки в схемах с поляризацией по быстрой и медленной оси ДВС. Линиями показаны теоретические подгонки в соответствии с балансной моделью [5]. б) Ширина линии генерации в зависимости от суммарной по сердцевинам мощности. Для сравнения приведены спектр генерации при мощности генерации 7 Вт (штриховая линия) и значения ширины линии генерации (квадраты) в схеме СРОС лазера на основе ОВС. Линиями показаны теоретические подгонки.

Порог генерации в реализованном лазере составил порядка 10.5 Вт, а максимальная мощность генерации составила ~ 7 Вт на длине волны 1105 нм (Рис. 2а). Получено хорошее согласие экспериментальных результатов и теории. Эксперимент показал, что ширина линии генерации на максимальной мощности составила менее 0.5 нм, что в 4-5 раза меньше ширины линии генерации аналогичного лазера на основе ОВС (Рис. 2б). Такое значительное сужение линии (по сравнению со односердцевинным СРОС лазером) возникает в результате уменьшенного влияния нелинейных эффектов и спектральной селективности двухсердцевинного волокна. При учете обоих эффектов, теория в хорошей степени согласуется с экспериментальными данными (Рис. 2б – красная кривая).

Более подробное описание параметров установки, а также обсуждение полученных результатов будет представлено в докладе.

1. Redding B., Choma M. A., Cao H. Speckle-free laser imaging using random laser illumination //Nature photonics. – 2012. – Т. 6. – №. 6. – С. 355-359.
2. Turitsyn S. K. et al. Random distributed feedback fibre laser //Nature Photonics. – 2010. – Т. 4. – №. 4. – С. 231-235.
3. Gagné M., Kashyap R. Random fiber Bragg grating Raman fiber laser //Optics letters. – 2014. – Т. 39. – №. 9. – С. 2755-2758
4. Abdullina S. R. et al. Single-frequency Yb-doped fiber laser with distributed feedback based on a random FBG //Laser Physics Letters. – 2016. – Т. 13. – №. 7. – С. 075104.
5. Babin S. A. et al. High-order random Raman lasing in a PM fiber with ultimate efficiency and narrow bandwidth //Scientific reports. – 2016. – Т. 6. – С. 22625.

Научный руководитель – к.ф.-м.н И.А. Лобач

ОСОБЕННОСТЬ НЕРАДИАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛАХ Yb:YAG

А.М. Воликова

Институт лазерной физики СО РАН
anastasiya-volikova@yandex.ru

При определении оптимальной концентрации ионов иттербия (Yb^{3+}) в кристаллах YAG, который планируется использовать в качестве активной среды лазерного усилителя в тераваттной лазерной системе с диодной накачкой, возникла необходимость в детальном исследовании зависимости от концентрации его люминесцентных и релаксационных свойств. Результаты этих исследований представлены в данной работе.

Исследовались восемь образцов кристаллов Yb:YAG с концентрациями иттербия 1.67, 3.3, 13.3, 20, 25, 33, 66 и 100 ат.%. Все измерения спектральных и релаксационных параметров проводились при комнатной температуре. Спектр поглощения регистрировался с помощью спектрофотометра Shimadzu – UV 3101 в диапазоне длин волн 850 – 1150 нм. Для возбуждения спектров люминесценции использовалось излучение диодного лазера с длиной волны 938 нм. Регистрация спектров осуществлялась с помощью монохроматора МДР–23, ФЭУ–62 и системы усиления и сбора данных с компьютерным управлением.

Время затухания люминесценции регистрировалось с помощью цифрового осциллографа Tektronix TDS3000B. Накачка образцов осуществлялась импульсами длительностью 400 мс с периодом 800 мс. Время затухания люминесценции определялось по заднему фронту импульса люминесценции. Результаты зависимости времени затухания люминесценции от концентрации ионов иттербия в кристалле YAG представлены на рисунке 1 (экспериментальные данные – ■).

Анализ экспериментальной зависимости времени затухания люминесценции в зависимости от концентрации позволяет понять динамику возбужденного состояния. Время затухания люминесценции, как известно, состоит из радиационных и нерадиационных процессов [1, 2]. Нерадиационные, в свою очередь, определяются процессами перепоглощения и концентрационного тушения. Для интерпретации динамики возбужденного состояния в кристаллах YAG с различной концентрацией ионов Yb^{3+} представим время затухания люминесценции – τ_f в виде

$$\frac{1}{\tau_f} = \frac{1}{\tau_{rad}} + \frac{1}{\tau_t} + \frac{1}{\tau_N}, \quad (1)$$

где τ_{rad} – время радиационного распада возбужденного состояния, τ_t – время процесса перепоглощения, τ_N – время процесса концентрационного тушения.

Радиационное время жизни возбужденного состояния – τ_{rad} рассчитывалось из спектров поглощения [1]. Оно в среднем оказалось равным 0,85 мс. Как видно из экспериментальной кривой (■) на рисунке 1, при малых концентрациях до 5 ат.% время затухания люминесценции увеличивается. Это связано с перепоглощением или радиационной передачей энергии между соседними ионами иттербия через резонансные переходы между уровнями ${}^2F_{7/2} \leftrightarrow {}^2F_{5/2}$, т.е. время затухания определяется временем – τ_t . Далее с увеличением концентрации выше 5 ат.% время затухания резко уменьшается, что связано с концентрационным тушением, и время затухания определяется временем – τ_N .

Действительно, в соответствии с моделью концентрационного тушения [2] время затухания люминесценции уменьшается с увеличением концентрации ионов иттербия в кристалле YAG по закону, представленному теоретической кривой (●) на рисунке 1, что хорошо согласуется с экспериментальными данными за исключением области концентраций 13.3–33 ат.%. На экспериментальной кривой (■) рисунка 1 в этой области концентраций наблюдается особенность в виде пика, связанного с увеличением времени затухания люминесценции. Таким образом, в области 20 ат.% наблюдается уменьшение вероятности

нерадиационного распада возбужденного состояния и, как следствие, увеличение квантового выхода люминесценции ионов иттербия, что ведет к увеличению усиления лазерной активной среды [1].

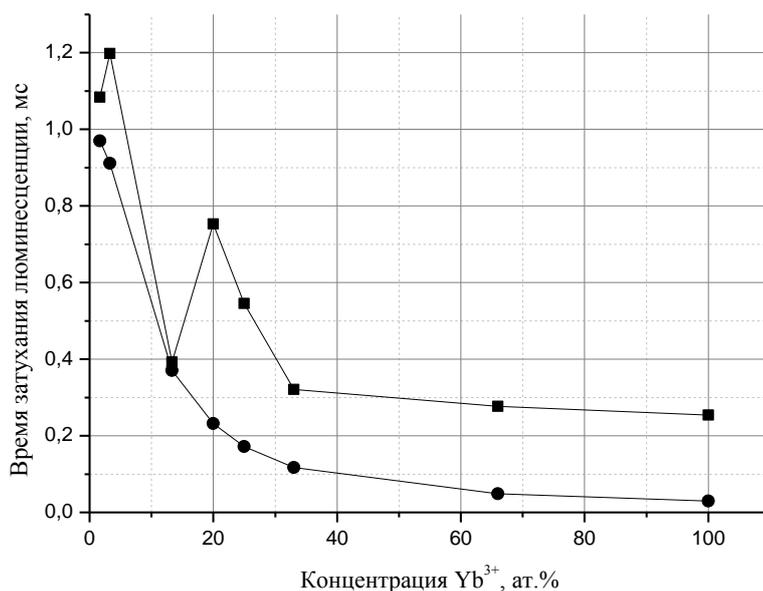


Рис. 1. Зависимость времени затухания люминесценции от концентрации ионов Yb³⁺: ■ – экспериментальная, ● – теоретическая кривая.

Для объяснения особенности в зависимости времени затухания люминесценции от концентрации ионов иттербия воспользуемся результатами работы [3], в которой при измерении спектра ядерного магнитного резонанса Al в кристалле LuYAG наблюдалось сужение ширины центральной d-линии при концентрации ионов лютеция в области 25 ат.%. Этот эффект также наблюдался при введении в кристалл YAG атомов иттербия, а с атомами диспрозия – отсутствовал. В работе данное явление объяснялось упорядочением структуры кристалла, но причины остались неопределенными. Мы полагаем, что это происходит из-за того, что ионный радиус лютеция или иттербия гораздо меньше ионного радиуса иттрия (ионный радиус Y – 0,097 нм, Lu – 0,08 нм, Yb – 0,081 нм, Dy – 0,09 нм), и ионы Lu и Yb занимают в структуре кристалла YAG позиции, которые более близки по размеру к ионным радиусам этих ионов. Концентрация этих позиций в структуре кристалла, по-видимому, находится в области 20–25 ат.%. При выращивании это приводит к самоупорядочению кристаллической структуры и к проявлению экспериментально обнаруженной особенности в спектральных свойствах иона иттербия в кристалле YAG.

1. G. Boulon, Y. Guyot, H. Canibano, S. Hraiech, A. Yoshikawa. Characterization and comparison of Yb³⁺-doped YAlO₃ perovskite crystals (Yb:YAP) with Yb³⁺-doped Y₃Al₅O₁₂ garnet crystals (Yb:YAG) for laser application. J. Opt. Soc. Am. 25, 884 – 896 (2008).

2. F. Auzel, G. Baldacchini, L. Laversenne, G. Boulon. Radiation trapping and self-quenching analysis in Yb³⁺, Er³⁺, and Ho³⁺ doped Y₂O₃. Opt. Mater. 24, 103 – 109 (2003).

3. P.Y. Efitsenko, E.N. Hazanov, S.N. Ivanov, V.V. Medved, E.V. Tcharnaya. Phonon-impurity scattering in solid solution of yttrium–lutetium aluminium garnets. Phys. Lett. 147, 135 – 138 (1990).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Е.В. Пестряков.

ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКИХ РЕШЕТОК В ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ С САМОСКАНИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

Р.В. Дробышев

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет
r.drobyshev@mail.ru*

Волоконные лазеры становятся все более популярными благодаря таким свойствам как качество выходящего пучка, компактность и надежность. Особое место среди них занимают волоконные лазеры с самосканированием частоты. Оптическая частота сигнала этих источников регулярно изменяется с течением времени без применения специальных перестраиваемых фильтров. Таким образом, волоконные самосканирующие лазеры стали хорошим инструментом для исследования оптических характеристик различных систем, например, волоконных брэгговских решеток.

На сегодняшний день принято считать, что эффект самосканирования возникает под влиянием динамических решеток коэффициента усиления и показателя преломления [1]. Продольные моды, генерируемые в резонаторе, записывают в активной среде лазера долгоживущие решетки, которые влияют на генерацию новых мод лазера, что и приводит к сканированию частоты. Характерный коэффициент отражения таких решеток составляет около 5%, при амплитуде модуляции показателя преломления порядка $\Delta n \sim 4 \cdot 10^{-8}$, при длине решетки порядка нескольких метров (вся активная среда), а ширина отражения такой решетки составляла порядка 50 МГц [2]. Для долговременного поддержания режима самосканирования частоты в модели предполагается достаточно большое время жизни подобных структур. Оценки показывают, что время жизни динамических решеток сравнимо со временем жизни возбужденного состояния активной среды. В данной работе проводится экспериментальное изучение временных характеристик динамических структур в работающем самосканирующем лазере.

В ходе данной работы исследовался импульсный волоконный лазер со сканированием оптической частоты в диапазоне 1.05-1.07 мкм. К диоду накачки был подключен генератор напряжений, что позволило модулировать мощность диода прямоугольными импульсами тока. Таким образом, накачка лазера тоже стала импульсной, что эквивалентно кратковременному выключению лазера. В работе изучалось поведение лазерной генерации после непродолжительного выключения накачивающего излучения. Для этого выходной сигнал лазера сбивался с пробным излучением, и посредством метода гетеродинамирования определялась оптическая частота лазерного излучения. Оказалось, что оптическая частоты двух лазерных импульсов, между которыми произошло отключение накачки, при малых длительностях отключения (до 200 мкс) изменяются на одну продольную моду, как будто выключения не было. При более продолжительных отключениях накачки скачок частоты может возрасти до двух (более 400 мкс) или даже трех (более 600 мкс) межмодовых расстояний (рис. 1). Это означает, что динамические решетки способны существовать в активной среде лазера в течение некоторого времени даже при отсутствии лазерной накачки.

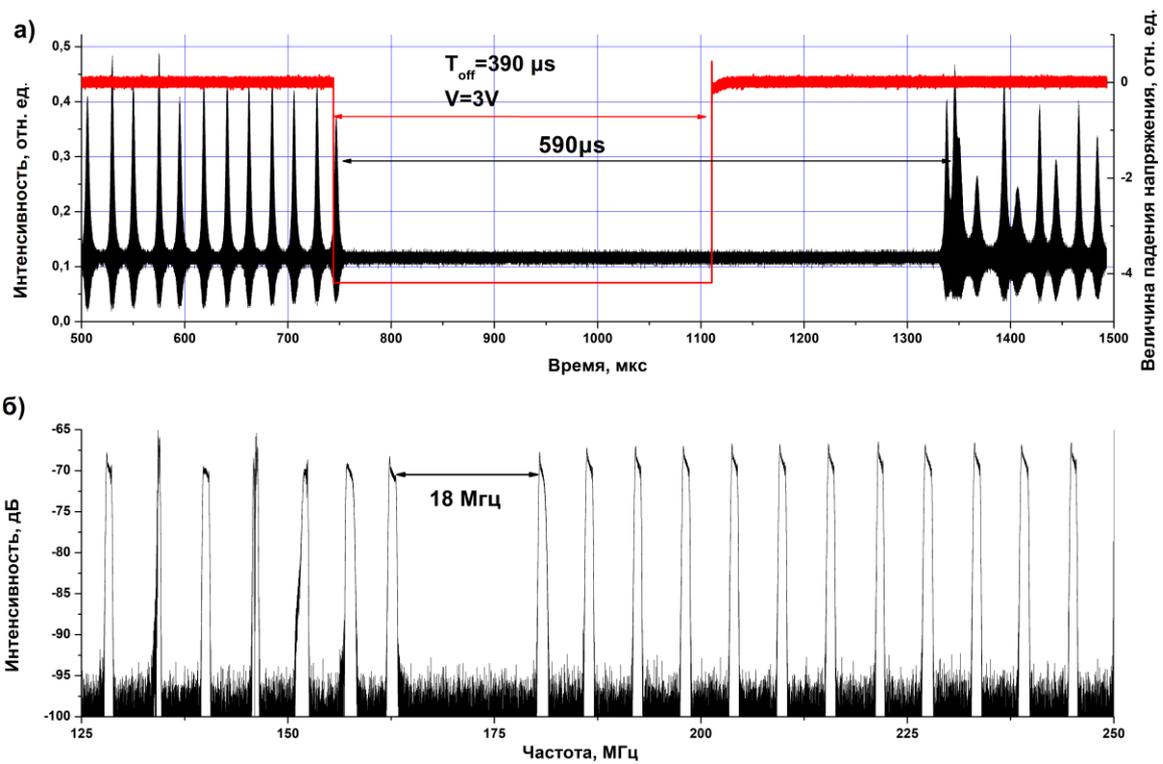


Рис.1. Сигнал гетеродинамирования для режима с выключением накачки (а) и его фурье-спектр (б).

1. Lobach I.A. et al// Laser Physics Letters, 11(4), 045103 (2014)
2. Lobach I.A. et al// Frontiers in Optics 2016

Научный руководитель – к.ф.-м.н. И.А. Лобач

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$

И.В. Зайцева

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
iraghbywtccf@gmail.com

Релаксоры представляют класс сегнетоэлектриков с уширенным фазовым переходом.

Работа посвящается исследованию перехода из centrosymmetric (параэлектрической) в non-centrosymmetric (сегнетоэлектрическую) фазу в кристалле $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN- x). В зависимости от химического состава « x » кристалл может обладать свойствами как «классического» сегнетоэлектрика ($x=0.3$), так и релаксора ($x=0.75$). В работе в качестве исследуемых образцов используются кристаллы SBN- x различного химического состава $x=0.3, 0.5, 0.6, 0.75$.

Для исследования сегнетоэлектрического фазового перехода применяется метод генерации второй оптической гармоники (ГВГ). Согласно [1], сигнал ГВГ в сегнетоэлектрической фазе пропорционален величине спонтанной поляризации: $I_{\text{ГВГ}} \propto P_s^2$. Для проверки условия применимости метода ГВГ для исследования P_s в сегнетоэлектрических материалах по температурной зависимости $I_{\text{ГВГ}}(T)$ проведено сравнение полученных данных с известными значениями диэлектрической проницаемости и пироккоэффициента.

Показано, что результаты, полученные методом ГВГ, совпадают с данными по диэлектрической проницаемости и пироккоэффициента. Обнаружено, что во всех исследуемых образцах в параэлектрической фазе наблюдается сигнал ГВГ, что можно связать с появлением локальных полярных неоднородностей в centrosymmetric фазе, что является отличительной особенностью релаксоров. При этом температурная зависимость ГВГ подчиняется активационному закону. Энергия активации составляет порядка 0.4 эВ. Это означает, что с уменьшением температуры вплоть до сегнетоэлектрического фазового перехода количество локальных non-centrosymmetric областей растет по активационному закону.

1. М.Е.Лайнс, А.М.Гласс. *Сегнетоэлектрики и родственные им материалы*. Мир, М. стр. 736 (1981).

Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.М. Пугачев

ЛАЗЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ АТОМОВ НА ЧАСОВЫХ ПЕРЕХОДАХ: БИМОДАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ

Р.Я. Ильенков^{1,2}, А.В. Тайченачев^{1,2}, О.Н. Прудников^{1,2}, В.И. Юдин¹⁻³

¹Институт лазерной физики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Новосибирский государственный технический университет

ilenkov.roman@gmail.com

В работе исследуются квантовые режимы лазерного охлаждения двухуровневых атомов. Известно, что квазиклассическое приближение [1,2] дает гауссову форму импульсных распределений атомов, совершенно некорректную для описания квантовых режимов. Результаты квантового расчета (по методу, изложенному в [3]) представлены на рис.1. Данные параметры соответствуют лазерному охлаждению атома стронция на интеркомбинационном переходе. В слабом поле наблюдаются бимодальные импульсные распределения (1а) - узкий центральный пик, расположенный на широкой подложке, данная структура хорошо описывается двумя гауссовыми функциями, отражающими две фракции атомов, имеющими заметно отличающуюся температуру. В сильном световом поле (1б), наблюдается еще более сложная структура, так как ярко проявляются пики шириной порядка импульса одного фотона, и являющиеся проявлением селективного по скорости КПН.

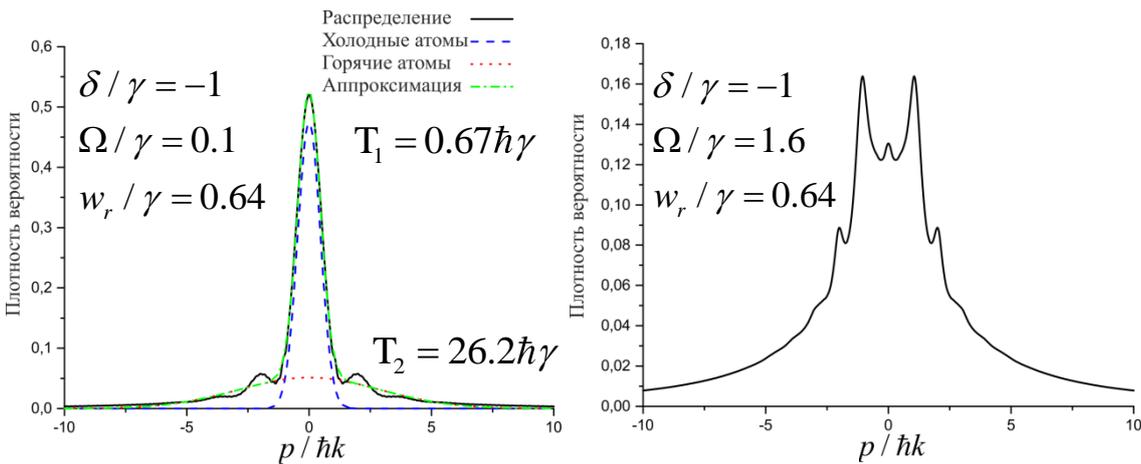


Рис. 1. Импульсные распределение атомов стронция, охлажденных на интеркомбинационном переходе: а) Бимодальное; б) Многопиковое.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№17-72-10139)

1. V.G. Minogin, V.S. Letokhov, *Laser Light Pressure on Atoms*, Gordon and Breach, New York, 1987.
2. A. P. Kazantsev, G. I. Surdutovich, and V. P. Yakovlev, *Mechanical Action of Light on Atoms*, World Scientific, Singapore, 1990.
3. O. N. Prudnikov, R. Ya. Il'enkov, A. V. Taichenachev, A. M. Tumaikin, V. I. Yudin, JETP, Volume **112**, 939-945 (2011)

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИАПАЗОНА СКАНИРОВАНИЯ В ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ С САМОСКАНИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

А.Ю. Ткаченко

Институт автоматизи и электрометрии СО РАН
alinka.tkacenko@yandex.ru

Перестраиваемые лазеры находят свое применение во многих областях науки и техники. В большинстве случаев для перестройки длины волны применяются перестраиваемые спектральные элементы, которые управляются либо вручную, либо внешней электроникой. Этот факт существенно усложняет конструкцию всей лазерной схемы. Также есть ряд работ, в которых показано, что перестройка лазерной частоты может происходить без управляющего драйвера. В частности, перестройка частоты происходит в волоконных лазерах с самоиндуцированным сканированием (для простоты самосканирование) частоты, что впервые было продемонстрировано менее десяти лет назад [1-2]. На сегодняшний день известно, что процесс самосканирования связан с формированием динамических решеток коэффициента усиления и показателя преломления [3].

Одной из ключевых характеристик как перестраиваемых, так и самосканирующих лазеров является диапазон сканирования, который определяется как абсолютная разность между максимальным и минимальным значением длины волны в процессе сканирования. Ранее в работе [4] было изучено влияние характеристик неселективных элементов лазера, таких как длина активного световода и величина общих потерь в резонаторе на диапазон сканирования, а так же проведен поиск методов управления диапазоном сканирования.

Из-за самоиндуцированного (т.е. неконтролируемого) характера процесса диапазон сканирования имеет непостоянные нижние и верхние границы, что может негативно сказываться при практическом применении самосканирующих лазеров. По этой причине задача определения причин нестабильности, а также стабилизации границ диапазона является актуальной. В данной работе приведены результаты изучения влияния на стабильность диапазона сканирования таких элементов лазерной схемы, как стабильность лазерного диода накачки, так и наличие слабой обратной связи на основе узкополосного селектора в виде волоконной брэгговской решетки (ВБР).

В работе использовался волоконный иттербиевый лазер с накачкой в оболочку, работающий в режиме самосканирования частоты. Все компоненты схемы были сделаны [3]. В качестве активной среды было выбрано иттербиевое волокно с двойной оболочкой и сохранением поляризации. В экспериментах использовались два типа лазерных диодов накачки: узкополосный стабилизированный и нестабилизированный широкополосный лазерный диод. При одинаковых условиях (ток 2 А и температура 25°C) длина волны генерации (ширина спектра генерации) составила 975.6 нм (0.15 нм) и 967 нм (2.6 нм) для стабилизированного и нестабилизированного лазерного диода соответственно. Ток лазерных диодов подбирался таким образом, чтобы обеспечить одинаковую выходную мощность генерации лазера, что свидетельствует об одинаковом уровне поглощения накачки. Резонатор лазера был образован широкополосными плотным кольцевым зеркалом на основе волоконного разветвителя 50/50 с одной стороны и прямым сколом волокна с другой. На выходе схемы стоял волоконный изолятор с коэффициентом изоляции 50 дБ для подавления обратного отражения. Оказалось, что реализованный лазер сканирует в диапазоне от 1060 до 1080 нм (Рис.1а). С целью создания слабой селективной обратной связи после изолятора была добавлена высокоотражающая ВБР с центральной длиной волны отражения 1064 нм, обеспечивающая слабое отражение обратно в исследуемый лазер. Решетка подбиралась так, чтобы пик ее спектра отражения был близок к среднему значению нижней границы диапазона сканирования. В работе проводилось длительное (более 10 минут) измерение

временной динамики самосканирующего лазера с помощью быстрого спектрографа Laser Spectrum Analyzer (Angstrom/HighFinesse) при различных условиях: с одним из двух диодов накачки и с/без ВБР. Также измерялась дисперсия значений верхней и нижней границы диапазона сканирования. Результаты, полученные при мощности генерации 75 мВт, представлены на Рис.1.

Можно отметить, что с нестабилизированной накачкой и при отсутствии выходной ВБР (Рис.1а) границы диапазона сканирования имеют достаточно большие флуктуации, достигающие нескольких нм. При добавлении селективной обратной связи флуктуации нижней границы существенно уменьшаются (Рис.1б). ВБР позволяет стабилизировать начальное коротковолновое значение длины волны в процессе перескока сканирования с длинноволновой границы, привязывая её к центральной длине волны отражения. Если же в начальной схеме заменить диод накачки на стабилизированный, то наблюдается стабилизация верхнего значения диапазона (Рис.1в). Это может свидетельствовать о том, что флуктуации длины волны накачки приводят к флуктуациям поглощенной мощности, которые влияют на область сканирования [4]. По этой причине стабилизация длины волны накачки позволяет уменьшить флуктуации как верхней, так и нижней границы. Применение указанных двух подходов позволяет существенно улучшить стабильность диапазона сканирования по сравнению с изначальной схемой.

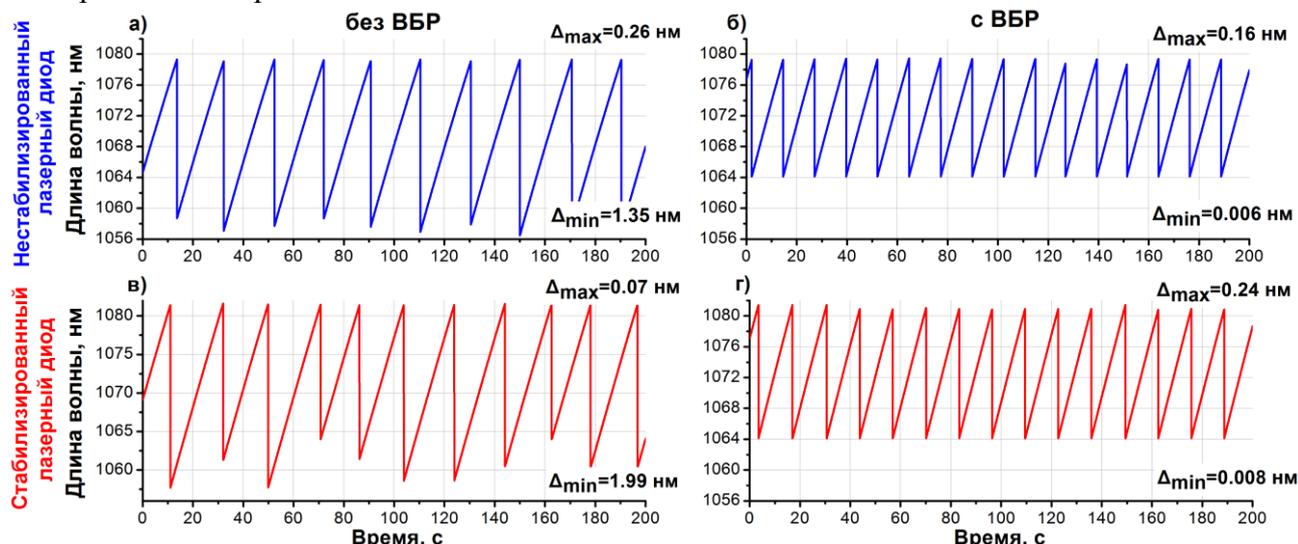


Рис.1. Временная динамика самосканирующего лазера при выходной мощности 75 мВт: а) с нестабилизированным диодом накачки без ВБР, б) с нестабилизированным диодом накачки с ВБР, в) со стабилизированным диодом накачки без ВБР, г) со стабилизированным диодом накачки с ВБР.

1. A.V. Kir'yanov, N.N. Il'ichev, «Self-induced laser line sweeping in an ytterbium fiber laser with non-resonant Fabry-Perot cavity», Laser Phys. Lett., **8**, 305-312 (2011)
2. I.A. Lobach, S.I. Kablukov, E.V. Podivilov, S.A. Babin, «Broad-range self-sweeping of a narrow-line self-pulsing Yb-doped fiber laser» Opt. Express, **19**, 17632-17640, 2011.
3. I.A. Lobach, S.I. Kablukov, E.V. Podivilov, S.A. Babin, «Self-scanned single-frequency operation of a fiber laser driven by a self-induced phase grating», Laser Phys. Lett., **11**, 1-6, 2014.
4. I.A. Lobach, A.Yu. Tkachenko, S I. Kablukov, «Optimization and control of the sweeping range in an Yb-doped self-sweeping fiber laser», Laser Phys. Lett., **13**, 045104, 2016.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. И.А. Лобач

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ЦИТОХРОМОВ В ЗАМОРАЖИВАЕМЫХ ПРЕИМПЛАНТАЦИОННЫХ ЭМБРИОНАХ МЫШИ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА

Е.А. Сажина

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Новосибирский государственный университет
alena_sazhina_9@mail.ru

Криоконсервация – технология низкотемпературного хранения живых биологических объектов с возможностью восстановления их биологических функций после размораживания. Основной сложностью при криоконсервации является защита клеток от разрушений при замораживании и последующем размораживании. Во время заморозки клетки оказываются в очень суровых условиях, связанных с замерзанием окружающей водной среды. Протекание данного процесса сопровождается образованием льда, обезвоживанием клетки и изменением свойств клеточных мембран. Вследствие этого замораживание и отогрев проводятся по определенным протоколам со специальным составом сред и температурным режимом.

Одним из результатов криповреждения является нарушение процесса клеточного дыхания. В связи с этим, возникает задача бесконтактного исследования состояния белковых комплексов входящих в состав дыхательной электрон транспортной цепи. К сожалению, в настоящее время не существует отработанных методик позволяющих исследовать изменения в работе дыхательной электрон транспортной цепи в клетках при замораживании. Перспективным подходом, для исследования процессов клеточного дыхания в замораживаемых клетках является изучение резонансного комбинационного рассеяния света от цитохромов. Цитохромы – белки принимающие непосредственное участие в клеточном дыхании. Изучение зарядового состояния цитохромов позволяет исследовать изменения в работе дыхательной электрон транспортной цепи в митохондриях замораживаемых клеток.

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КРС) – эффективный способ бесконтактного исследования биологического материала, в том числе и цитохромов, так как любое внешнее воздействие может привести к необратимым последствиям. Благодаря эффекту резонансного рассеяния метод КРС позволяет отслеживать зарядовое состояние цитохромов, а эффект фотовыцветания отражает замедление скоростей реакций в которых участвуют цитохромы.

Работа посвящена исследованиям резонансного комбинационного рассеяния света цитохромов в преимплантационных эмбрионах мыши, замораживаемых в криопротекторном растворе пропиленгликоля и глицерина. Получены спектры комбинационного рассеяния света от замораживаемых эмбрионов в широком температурном диапазоне. Исследованы температурные изменения в интенсивности линий резонансного КРС цитохромов. В докладе представлено сравнение эффектов оказываемые разным криопротекторными растворами с добавлением пропиленгликоля и глицерина на зарядовое состояние цитохромов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-04-01221

Научный руководитель – к.ф.-м.н. К.А. Окотруб

Оглавление

Р.С. Абашин.....	8
ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗАШУМЛЁННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ	
А.В. Артюшенко.....	10
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ НИЗКОКОНТРАСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРАТНОМАСШТАБНОГО АНАЛИЗА	
К.А. Бронников.....	12
ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СУБВОЛНОВОГО РАЗРЕШЕНИЯ	
Ю.С. Горбачева	13
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТОМОГРАФИИ БИНАРНОГО ОБЪЕКТА	
М.А. Городилов.....	15
СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ И ОТОБРАЖЕНИЯ НА БАЗЕ ПК ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	
А.С. Димова	16
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА СО СМЕЩЕННЫМ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ	
Краснов Д.В.	18
АПРОБАЦИЯ ЯЗЫКА INDUSTRIALC НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ПО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ УВН-71П-3	
В.Д. Кузьменко.....	19
РАЗРАБОТКА СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА ДВУМЕРНЫХ ПРОЕКЦИЙ В ЗАДАЧЕ ТОМОГРАФИИ	
Т.В. Лях.....	21
РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ	
Е.А. Меркулова	23
ОЦЕНКА ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ПО ПОКАЗАНИЯМ ЭЛЕКТРОЭНЦЕАЛОГРАММЫ	
Ф.А. Минаков	25

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ТГЦ ИМПУЛЬСОВ	
Д.В. Нефедов	27
МЕТОДЫ ХРАНЕНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ	
Н.С. Слепцова.....	29
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ ШУМОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	
Е.С. Смирнов	31
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛЕДОВ ВЫСТРЕЛА ПО ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ МИШЕНИ	
А.А. Антропов	34
ЭРБИЕВЫЙ ФЕМТОСЕКУНДНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С КАПЛЕОБРАЗНЫМ РЕЗОНАТОРОМ РЕГУЛИРУЕМОЙ ДЛИНЫ	
Л.С. Басалаева	36
ЭФФЕКТЫ РЕЗОНАНСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МАССИВАМИ КРЕМНИЕВЫХ НАНОПИЛЛАРОВ	
Булгакова В.В.....	37
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАЗМОННЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОДНОМЕРНЫХ СУБВОЛНОВЫХ РЕШЕТОК	
В.А. Гусев.....	38
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДНК МЕТОДОМ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ	
Р. Ю. Епифанов	40
УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ КОЛЕСНОЙ ПЛАТФОРМЫ	
Ю.В. Зайцева	42
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА КОНФОРМАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ ГИДРОФОБНЫХ ХВОСТОВ ВЕЗИКУЛ DMPC ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ	
О.Э. Камешков	44
ДИФРАКЦИЯ ЗАКРУЧЕННЫХ ПУЧКОВ НА ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ	
Ю.А. Карпегина.....	46
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОВАНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В РАСТВОРАХ ГЛИЦЕРИН – ВОДА МЕТОДАМИ КАЛОРИМЕТРИИ И КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА	

Д.В. Коваленко	47
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ В АТОМНЫХ ЧАСАХ, ОСНОВАННЫХ НА ЭФФЕКТЕ КОГЕРЕНТНОГО ПЛЕНЕНИЯ НАСЕЛЁННОСТЕЙ	
А.Ю. Кохановский	49
УПРАВЛЕНИЕ ПИКОВОЙ МОЩНОСТЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ МОД ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРНОГО РЕЗОНАТОРА С НОРМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ	
А.В. Кузнецов	51
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДИНОЧНЫХ МОЛЕКУЛ В ПОЛИМЕРНЫХ СРЕДАХ	
Д.В. Ледовских	53
КИНЕТИКА ОТРАЖЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗЕРКАЛА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ	
А.С. Новокрещенов	55
ВЛИЯНИЕ ПАРАЗИТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСЫ В ГАЗОВОЙ ЯЧЕЙКЕ, НАПОЛНЕННОЙ ПАРАМИ АТОМОВ РУБИДИЯ И БУФЕРНЫМ ГАЗОМ	
Н.Д. Осинцева	57
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ БЕССЕЛЕВЫХ ПУЧКОВ С ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННЫХ И ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МЕТОДОВ	
А.С. Берёза	59
БОРНОВСКИЙ РЯД ДЛЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРАХ	
А.Е. Бударных	60
ЛАЗЕР СО СЛУЧАЙНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ НА ОСНОВЕ ДВУХСЕРДЦЕВИННОГО ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ	
А.М. Воликова	62
ОСОБЕННОСТЬ НЕРАДИАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛАХ YV:YAG	
Р.В. Дробышев	64
ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКИХ РЕШЕТОК В ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ С САМОСКАННИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ	
И.В. Зайцева	66

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ $SR_xVA_{1-x}NB_2O_6$**

Р.Я. Ильенков67

**ЛАЗЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ АТОМОВ НА ЧАСОВЫХ ПЕРЕХОДАХ:
БИМОДАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ**

Ткаченко А.Ю.....68

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИАПАЗОНА СКаниРОВАНИЯ В ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ С
САМОСКаниРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ**

Сажина Е.А.70

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ЦИТОХРОМОВ В
ЗАМОРАЖИВАЕМЫХ ПРЕИМПЛАНТАЦИОННЫХ ЭМБРИОНАХ МЫШИ
МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА**

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ
МОЛОДЕЖНОЙ КОНКУРС-КОНФЕРЕНЦИИ

ОПТИЧЕСКИЕ
И
ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОВЕДЕНА ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА
(ГРАНТ № 17-72-30006)