

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

П.А. Семёнов, С.Д. Польских
АО «Швабе – Исследования»

Аннотация

Рассмотрена система фазовой синхронизации лазерных пучков, в основе работы которой лежит итерационный алгоритм Гершберга–Сэкстона для восстановления фазовой информации. Проведён анализ алгоритма и показано, что его характерной особенностью является наличие состояний стагнации. Предложен метод редукции размерности задачи, основанный на блоковом принципе. Проведено численное моделирование системы при различных конфигурациях блоков.

Ключевые слова: моделирование многоканальных лазерных систем, фазовая синхронизация лазерных излучателей, алгоритм Гершберга–Сэкстона, глобальная оптимизация.

Цитирование: Семёнов, П.А. Моделирование системы фазовой синхронизации лазерных излучателей на основе итерационных методов обработки изображений / П.А. Семёнов, С.Д. Польских // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 3. – С. 370-375.

Введение

В последние годы разработка лазерных систем с высокой средней мощностью и малой расходимостью излучения, особенно в связи с прогрессом в области волоконных лазеров, стала одной из ведущих тенденций в развитии лазерных технологий. Но в большинстве случаев увеличение максимальной мощности излучения при близкой к дифракционной расходимости выходного пучка ограничивает нелинейные и термооптические процессы в активной среде лазера [1]. Одно из решений этой задачи связывают с реализацией идеи сложения лазерных пучков, т.е. создания многоканальных лазерных излучателей. Предельные характеристики такой системы могут быть достигнуты при когерентном суммировании лазерных пучков на выходе всех каналов.

Существует более 20 различных технических решений задачи когерентного сложения лазерных пучков [2, 3]. Среди них важное место занимают методы, основанные на активном управлении фазой излучения каждого лазера в системе (методы активной фазовой синхронизации). В большинстве случаев они осуществляются с помощью распределённой адаптивной оптической системы. В настоящее время наибольшее распространение получила адаптивная система апертурного зондирования на основе алгоритма параллельной стохастической аппроксимации градиента [4, 5]. Использование же традиционных для адаптивной оптики датчиков волнового фронта (ДВФ), например, типа Шака–Гартмана, в такой многоапертурной системе невозможно, поскольку в основе их работы лежит принцип построения непрерывной карты фазовых aberrаций.

В данной работе рассмотрена система фазовой синхронизации лазерных излучателей с многоапертурным датчиком волнового фронта (МДВФ), в основе работы которого лежит алгоритм Гершберга–Сэкстона [6, 7]. В работе проведён численный анализ и моделирование этого алгоритма, и показано, что его характерной особенностью при восстановлении фазовой информации является наличие состояний стагнации. Предложена стратегия восстановления фазы, ос-

нованная на методах глобальной оптимизации, и метод редукции размерности задачи, основанный на блоковом принципе. Проведено численное моделирование системы при различных архитектурах многоапертурной матрицы.

1. Система фазовой синхронизации на основе алгоритма Гершберга–Сэкстона

Предложенный в 1972 г. Гершбергом и Сэкстоном алгоритм позволяет восстанавливать комплексные поля на апертуре линзы и в её фокальной плоскости по распределениям их интенсивностей. Математическая формулировка задачи заключается в построении комплексной функции $\tilde{E}(\vec{\xi})$ по её модулю $|\tilde{E}(\vec{\xi})|$ и модулю её преобразования Фурье $|E(\vec{r})|$, где $E(\vec{r})$ – обратное преобразование Фурье-функции $\tilde{E}(\vec{\xi})$. Схема итерационной процедуры представлена на рис. 1.

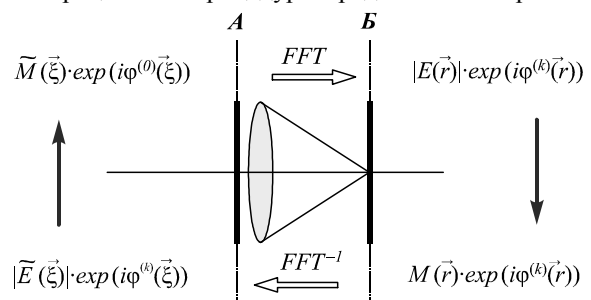


Рис. 1. Схема алгоритма по восстановлению комплексной амплитуды поля

Для выбранного начального приближения фазы и измеренного в апертурной плоскости А распределения модуля вычисляется комплексная амплитуда поля в фокальной плоскости Б. Затем полученный модуль этой амплитуды заменяется измеренным модулем. Далее вычисляется обратное распространение пучка, операция замены модуля осуществляется в апертурной плоскости, а полученная при этом фаза выбирается в качестве следующего приближения.

Математически алгоритм Гершберга–Сэкстона записывается в виде следующей итерационной процедуры:

$$\begin{aligned} \tilde{E}_0(\vec{\xi}) &= \tilde{M}(\vec{\xi}) \exp[i\phi_E^{(0)}(\vec{\xi})]; \\ \tilde{E}_k(\vec{\xi}) &= P_2 FT\{P_1 FT^{-1}[\tilde{E}_{k-1}(\vec{\xi})]\}, k = 1, 2, \dots, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\phi_E^{(0)}(\vec{\xi})$ – начальная оценка (приближение) фазы на апертуре; $\tilde{M}(\vec{\xi}) = |\tilde{E}_T(\vec{\xi})|$ – известный (измеренный) модуль в апертурной плоскости; $M(\vec{r}) = |E_T(\vec{r})|$ – известный (измеренный) модуль в фокальной плоскости; P_1 и P_2 – операции замены модуля в фокальной и апертурной плоскостях; FT и FT^{-1} – прямое и обратное преобразования Фурье соответственно.

Структурная схема системы активной фазовой синхронизации, использующей алгоритм Гершберга–Сэкстона, представлена на рис. 2.

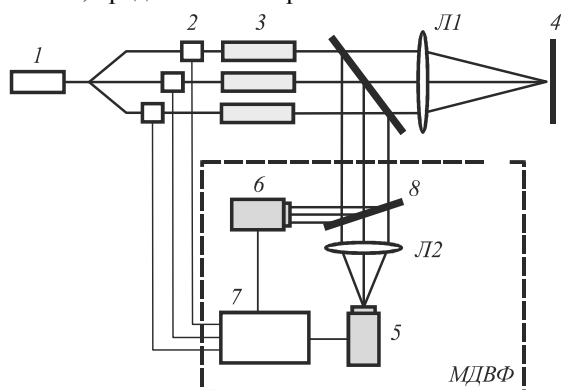


Рис. 2. Структурная схема системы фазовой синхронизации (1 – задающий генератор; 2 – фазовые модуляторы; 3 – лазерные усилители; 4 – плоскость объекта; 5, 6 – ПЗС-камеры; 7 – вычислительное устройство; 8 – разделитель пучка; Л1, Л2 – линзы)

Оптический сигнал от единого задающего генератора разделяется на N лазерных пучков. После прохождения через блок фазовых модуляторов и одномодовых лазерных усилителей излучение разделяется на два пучка. Фаза на выходе каждого из усилителей является случайной вследствие различных оптических путей в отдельных лазерных каналах. Основной пучок попадает на выходную апертуру и фокусируется линзой Л1 на объекте. Второй пучок, в свою очередь, также разбивается на два субпучка, для регистрации распределений интенсивности на ПЗС-камерах в фокальной и апертурной плоскостях линзы Л2. Измеренные распределения поступают в вычислительное устройство, где в ходе реализации итерационного алгоритма (1) определяется фазовое распределение $\phi_E(\vec{\xi}) = \arg \tilde{E}(\vec{\xi})$, на основе которого формируются управляющие сигналы на фазовые модуляторы для синхронизации лазерных каналов.

Таким образом, разделитель пучка, ПЗС-камеры и вычислитель составляют устройство восстановления фазы в многоканальной системе – МДВФ.

2. Численный анализ алгоритма Гершберга–Сэкстона для системы фазовой синхронизации с МДВФ

Численный анализ сходимости алгоритма Гершберга–Сэкстона проводился для модели гексагональной

упаковки лазерных излучателей с гауссовым амплитудным распределением в каждом канале.

$$A(\vec{\xi}) = A_0 \exp\left[-\frac{|\vec{\xi}|^2}{a_0^2}\right], \quad (2)$$

где a_0 – эквивалентный радиус субпучка; A_0 – постоянная величина, зависящая от задаваемой передающей мощности на входе излучающей апертуры.

Общее число субапертур в такой системе определяется по формуле [8]

$$N = 1 + 6 \sum_{l=1}^n l = 1 + 3n \cdot (n + 1), \quad (3)$$

где n – целое число, определяющее количество «контуров» вокруг центрального канала.

Фаза в каждом канале выбиралась случайным образом в пределах $\pm \pi$ рад. Качество восстановления комплексных функций $\tilde{E}(\vec{\xi})$ и $E(\vec{r})$ оценивалось по двум характеристикам. По нормированной ошибке модуля в апертурной плоскости

$$\delta_k = \left\{ \int [|\tilde{E}_k(\vec{\xi})| - \tilde{M}(\vec{\xi})]^2 d\vec{\xi} \right\}^{1/2} / \delta_1, \quad (4)$$

где δ_1 – ошибка модуля на первой итерации, а также по значениям нормированной функции резкости изображения [9]

$$S = \int I_k^2(\vec{r}) d\vec{r} / S_\Phi, \quad (5)$$

где S_Φ – функция резкости сфазированной системы (при одинаковых фазах в каждом канале); $I_k(\vec{r}) = |E_k(\vec{r})|^2$.

Чтобы понять поведение алгоритма Гершберга–Сэкстона при восстановлении фазовой информации в МДВФ, рассмотрим для примера 19-канальную лазерную систему. Амплитудные распределения в фокальной плоскости линзы Л1 для сфазированной и несфазированной систем представлено на рис. 3.

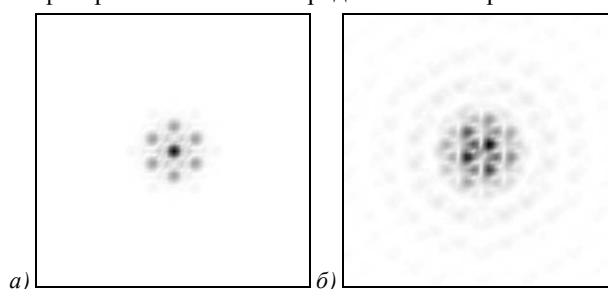


Рис. 3. Амплитудное распределение в фокальной плоскости 19-канальной лазерной системы (а – сфазированная система; б – несфазированная система)

На рис. 4 показано поведение алгоритма при старте из двух различных случайных начальных точек $\phi_E^{(0)}(\vec{\xi})$.

Из рисунка видно, что в первом случае (рис. 4а) ошибка модуля (4) (кривая 1) в процессе итераций стремится к нулю, а функция резкости (5) стремится к своему максимуму, т.е. модули $|\tilde{E}(\vec{\xi})|$ и $|E(\vec{r})|$ восстанавливаются здесь единственным образом. Во втором

же случае (рис. 4б) алгоритм не сошёлся и попал в стационарное состояние, отличное от истинного (т.н. состояние стагнации). Такие состояния характерны для алгоритмов восстановления изображений проекционного типа и достаточно часто ассоциируются с локальными экстремумами, например, в фазовой проблеме, где в основе алгоритма восстановления лежит задача оптимизации с ограничениями, которая решается методом проекции градиента [10]. Таким образом, итерационную процедуру (1) можно рассматривать как локальную оптимизацию функционала (4).

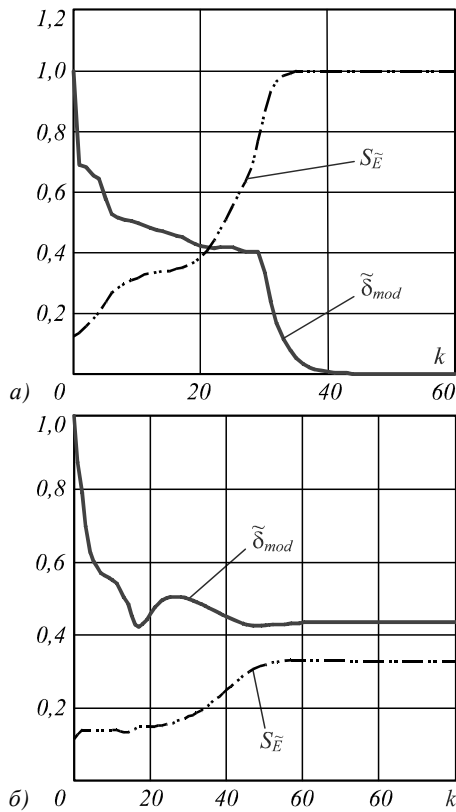


Рис. 4. Сходимость итерационных процедур: сходимость к истинному решению (а); сходимость к локальному экстремуму (б)

3. Стратегия восстановления фазовой информации

Наличие у алгоритма Гершберга–Сэкстона состояний стагнации или локальных экстремумов является серьёзным ограничением для использования его в задаче восстановления фазовой информации в МДВФ. Сам по себе достаточно простой и быстрый, этот алгоритм сходится к истинному решению $\tilde{E}_T(\tilde{\xi})$ только при определённых условиях. Например, если начальное приближение $\tilde{E}_0(\tilde{\xi})$ близко располагается к $\tilde{E}_T(\tilde{\xi})$, при небольшом числе фазируемых каналов и т.д. В этих условиях гарантированную сходимость алгоритма можно обеспечить, используя методы глобальной оптимизации.

Существует достаточно много подходов к решению многоэкстремальных задач, однако какой-то единой установившейся методики их решения не су-

ществует. На выбор оптимального для конкретной задачи метода оказывают влияние различные факторы, обусловленные спецификой задачи. Для алгоритма Гершберга–Сэкстона этой спецификой является быстрота и лёгкость проведения локальной оптимизации, когда отсутствует необходимость трудоёмкого вычисления частных производных. Действительно, простота выполнения операций P_1 и P_2 (замена полученного модуля на известный) обеспечивает ему высокую скорость выполнения итераций практически независимо от размерности задачи. В этой связи при конструировании процедуры глобальной оптимизации целесообразно ориентироваться на подход, основанный на многократном отыскании локальных экстремумов из различных начальных точек, расположенных случайным образом на всём множестве оптимизации, и последующем выборе лучшего из них. Алгоритм такого типа получил название «случайный мультистарт» [11]. Несомненным его достоинством, помимо скорости выполнения итераций, является возможность одновременного отыскания локальных экстремумов из различных начальных точек, что позволяет реализовать его на ЭВМ параллельного действия, состоящей из однотипных процессоров, выполняющих одинаковые операции, основная из которых – быстрое преобразование Фурье. В этом случае время поиска глобального экстремума не будет превышать времени выполнения одиночной итерационной процедуры. Как показано в работе [12], для задачи фазовой синхронизации в многоканальной лазерной системе на основе данного алгоритма, число параллельных процессоров обработки линейно возрастает с увеличением числа фазируемых источников.

Однако при большом числе каналов синхронизации увеличение числа параллельных процессоров, которое соответствует размерности L начальной выборки $\{\phi_{Ei}^{(0)}(\tilde{\xi}), i=1..L\}$, практически не влияет на результат. На рис. 5 представлена зависимость процента сходимости алгоритма к глобальному экстремуму $Conv$ от числа лазерных источников N при $L=100$ независимых локальных итерационных процедурах. При вычислении с числом итераций $k=150$ величина максимальной ошибки модуля, при которой фиксировалась сходимость алгоритма, $\tilde{\delta}=0,02$. Как видно из рисунка, в среднем процент сходимости алгоритма убывает в зависимости от увеличения числа каналов в лазерной системе. При этом, как показано в работе [12], количество итераций, необходимых для сходимости алгоритма, будет возрастать.

Из рисунка видно, что уже при $N=37$ процент сходимости уменьшается вдвое ($Conv \approx 50\%$), а при дальнейшем увеличении числа каналов наступает момент, когда практически ни из одной начальной точки алгоритм не попадает в глобальный экстремум. Поэтому при большом числе каналов необходимо использовать какие-то способы редукции (уменьшения) размерности задачи либо с помощью математических методов, либо на аппаратном уровне.

4. Блоковая система фазовой синхронизации

Один из возможных механизмов редукции может быть основан на блоковом принципе. В этом случае общая система каналов разбивается на блоки по несколько каналов, в каждом из которых параллельно происходит восстановление фазовой информации. Базовое число каналов в блоке выбирается таким образом, при котором достижение глобального экстремума выполняется практически за одиночный цикл итерационной процедуры. Исходя из рис. 5, для гексагональной структуры расположения источников с круглыми субапертурами число каналов в блоке не должно превышать 7 ($Conv \approx 98\%$).

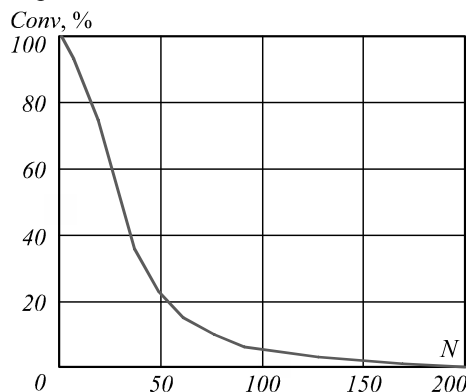


Рис. 5. Процент сходимости алгоритма Гершберга-Сэкстона в зависимости от числа фазуемых каналов

Особенность алгоритма Гершберга-Сэкстона состоит в том, что восстановление фазовой информации в каждом канале происходит с точностью до общего фазового сдвига в блоке. При этом между отдельными блоками данный фазовый сдвиг не совпадает, что приводит к необходимости дополнительной «сшивки» фаз между отдельными блоками. В данном случае возможно использование двух вариантов:

1. Разбиение системы на блоки с одним или несколькими общими каналами для нескольких блоков и «сшивки» фаз относительно общих каналов.
2. Разбиение системы на блоки без общих каналов и проведение дополнительной итерационной процедуры общей системы.

Перепишем формулу, задающую общее число субапертур в гексагональной системе (3), в следующем виде:

$$N = 1 + 6 \cdot \left[\frac{n(n+1)}{2} \right] = 7 + 6 \cdot \left[\frac{n(n+1)}{2} - 1 \right], \quad (6)$$

где n – целое число (для блоковой системы $n > 2$). Как видно из формулы (6), в случае гексагональной упаковки удобно разбивать систему либо на $[(n(n+1)/2) - 1]$ независимых блоков по 6 каналов и один блок с семью каналами, либо на $[n(n+1)/2]$ блоков по 7 излучателей с одним общим каналом. На рис. 6 для примера представлены варианты разбиения 19-канальной системы на блоки в случае «сшивки» относительно центрального канала (рис. 6а) и в случае трёх независимых блоков (рис. 6б).

На первый взгляд, система с использованием «сшивки» по общим каналам кажется более привлекательной, т.к. в данном случае не нужно проводить дополнительную итерационную процедуру всей системы в целом. Однако при таком построении увеличивается техническая сложность системы, так как вопрос оптимального разделения излучения при наличии общих каналов ещё не решён.

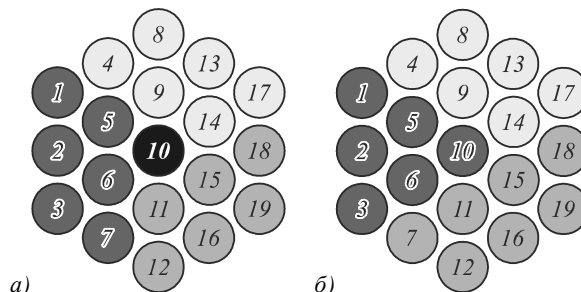


Рис. 6. Варианты разбиения 19-канальной системы на блоки: система с общим центральным каналом (а); система без общих каналов (б)

Результаты восстановления 19-канальной блоковой системы при наличии общего центрального канала (рис. 6б) представлены на рис. 7 (сплошная кривая). При таком варианте в конце итерационной процедуры из каждого канала вычитается значение центрального канала. При этом в каждом блоке значение центрального канала становится нулевым, и поэтому для получения общей картины поля требуется просто сложить восстановленные фазовые распределения всех трёх блоков.

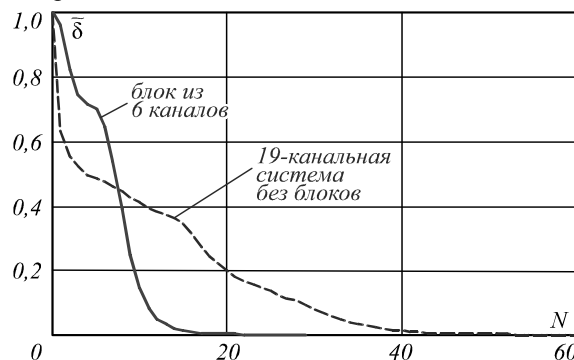


Рис. 7. Сходимость итерационных процедур

Если посмотреть на сходимость алгоритма, то при 19 каналах (пунктирная кривая на рис. 7) разница в количестве итераций для общей системы и для каждого блока по отдельности не так велика. Но если в блоковой системе алгоритм сходил практически в каждом случае, то в общей системе алгоритм мог не попадать в глобальный экстремум последовательно до 6 раз.

Далее рассмотрим сходимость алгоритма Гершберга-Сэкстона для многоканальных лазерных систем с независимыми блоками по несколько каналов. Для 37 лазерных каналов система разбивается на 6 блоков (5 блоков по 6 каналов и 1 – с 7 каналами). При таком разбиении время, необходимое для синхронизации одного блока, остаётся на том же уровне,

что и для 7 каналов (не более 15 итераций), т.е. дальнейшее увеличение числа фазуемых источников не приводит к увеличению времени синхронизации – возрастает только число параллельных процессоров (по 1–2 в каждый блок). Общее же количество необходимых итераций для системы без «сшивки» складывается из максимального числа итераций для восстановления 7-канальной системы и n -канальной системы, где n – количество блоков (рис. 8).

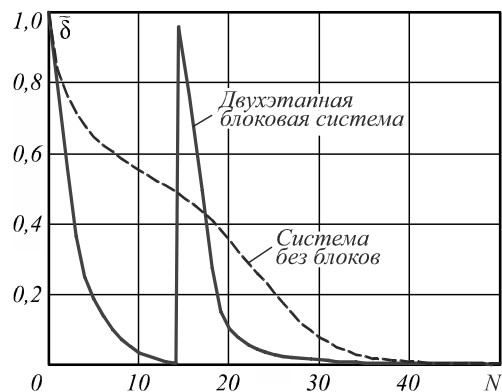


Рис. 8. Сходимость алгоритма при различных вариантах построения системы для 37 каналов

Исходя из этого, можно построить зависимость количества итераций, необходимых для сходимости от числа каналов (рис. 9).

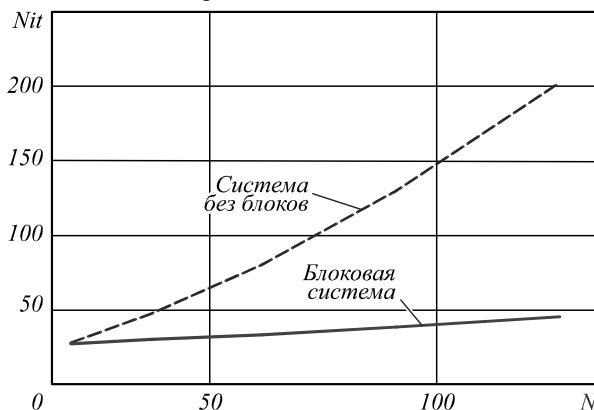


Рис. 9. Необходимое для сходимости количество итераций в зависимости от числа каналов при различных вариантах построения систем

Заключение

В работе описан подход к задаче фазовой синхронизации лазерных излучателей, основанный на итерационных алгоритмах восстановления изображений с ограничениями, в частности, на алгоритме Гершберга–Сэкстона. Отличительной особенностью этих алгоритмов является присутствие у них т.н. фактора расходимости, который характеризуется получением «удачных» и «неудачных» решений и объясняется наличием состояний стагнации (или локальных экстремумов). Использование методов глобальной оптимизации позволяет обойти это ограничение и построить достаточно эффективную стратегию восстановления фазовой информации, обеспечивающую гарантированную сходимость алгоритма, а применение блочного принципа

редукции делает возможным когерентное сложение большого (свыше ста) количества каналов.

Литература

1. Dawson, J.W. Power scaling analysis of fiber lasers and amplifiers based on non-silica materials / J.W. Dawson, M.J. Messerly, J.E. Heebner, P.H. Pax, A.K. Sridharan, A.L. Bullington, R.J. Beach, C.W. Siders, C.P.J. Barty, M. Dubinskii // Proceedings of SPIE. – 2010. – Vol. 7686. – P. 768611-1. – 768611-12.
2. Fan, T.Y. Laser Beam Combination for High-Power, High-Radiance Sources / T.Y. Fan // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. – 2005. – Vol. 11(3). – P. 567–577.
3. Liu, Z.J. Coherent beam combining of high power fiber lasers: Progress and prospect / Z.J. Liu, P. Zhou, X.J. Xu, X.L. Wang, Y.X. Ma // Science China. Technological Sciences. – 2013. – Vol. 56(7). – P. 1597–1606.
4. Vorontsov, M.A. Adaptive Array of Phase-Locked Fiber Collimators: Analysis and Experimental Demonstration / M.A. Vorontsov, T. Weyrauch, L.A. Beresnev, G.W. Carhart, L. Liu, K. Aschenbach // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. – 2009. – Vol. 15(2). – P. 269-280.
5. Волков, М.В. Phase locking of a seven-channel continuous wave fibre laser system by a stochastic parallel gradient algorithm / М.В. Волков, С.Г. Гаранин, Ю.В. Долгополов, А.В. Копалкин, С.М. Куликов, Д.М. Синявин, Ф.А. Стариков, С.А. Сухарев, С.В. Тютин, С.В. Хохлов, Д.А. Чапарин // Квантовая электроника. – 2014. – Т. 44, №11. – С. 1039–1042. – ISSN 0368-7147.
6. Gerchberg, R.W. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures / R.W. Gerchberg, W.O. Saxton // Optik (Stuttgart). – 1972. – Vol. 35(2). – P. 237–246.
7. Болтс, Г.П. Обратные задачи в оптике / Г.П. Болтс; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 199 с. (H.P. Baltès. Inverse Source Problems in Optics. – Berlin: Springer-Verlag, 1978).
8. Vorontsov, M.A. Laser beam projection with adaptive array of fiber collimators. I. Basic considerations for analysis / M.A. Vorontsov, S.L. Lachinova // Journal of the Optical Society of America A. – 2008. – Vol. 25(8). – P. 1949–1959.
9. Muller, R.A. Real-time correction of atmospherically degraded telescope images through image sharpening / R.A. Muller, A. Buffington // Journal of the Optical Society of America. – 1974. – Vol. 64(9). – P.1200-1210.
10. Польских, С.Д. Фазовая проблема: анализ локальных экстремумов и алгоритмы восстановления изображений / С.Д. Польских // Радиотехника и электроника. – 2008. – Т. 53, №2. – С. 223-237.
11. Методы поиска глобального экстремума / А.А. Жиглявский, А.Г. Жилинскас. – М.: Наука, 1991. – 248 с.
12. Польских, С.Д. Адаптивная оптическая система на основе алгоритма Гершберга–Сэкстона для фазовой синхронизации одномодовых лазерных излучателей / С.Д. Польских, П.А. Семёнов // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 02. – С. 100–104.

References

- [1] Dawson JW, Messerly MJ, Heebner JE, Pax PH, Sridharan AK, Bullington AL, Beach RJ, Siders CW, Barty CPJ, Dubinskii M. Power scaling analysis of fiber lasers and amplifiers based on non-silica materials. Proc SPIE 2010; 7686: 768611-1-12.

- [2] Fan TY. Laser Beam Combination for High-Power, High-Radiance Sources. *IEEE J Sel Top Quant Electron* 2005; 11(3): 567-77.
- [3] Liu ZJ, Zhou P, Xu XJ, Wang XL, Ma YX. Coherent beam combining of high power fiber lasers: Progress and prospect. *Sci China Tech Sci* 2013; 56(7): 1597-606.
- [4] Vorontsov MA, Weyrauch T, Beresnev LA, Carhart GW, Liu L, Aschenbach K. Adaptive Array of Phase-Locked Fiber Collimators: Analysis and Experimental Demonstration. *IEEE J Sel Top Quant Electron* 2009; 15(2): 269-80.
- [5] Volkov MV Phase locking of a seven-channel continuous wave fibre laser system by a stochastic parallel gradient algorithm. *Quant Electron* 2014; 44(11): 1039-42. – ISSN 0368-7147.
- [6] Gerchberg RW, Saxton WO. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures. *Optik (Stuttgart)* 1972; 35(2): 237-46.
- [7] Baltes HP. *Inverse Source Problems in Optics*. Springer-Verlag; 1978.
- [8] Vorontsov MA, Lachinova SL. Laser beam projection with adaptive array of fiber collimators. *J Opt Soc Am A* 2008; 25(8): 1949-73.
- [9] Muller RA, Buffington A. Real-time correction of atmospherically degraded telescope images through image sharpening. *J Opt Soc Am* 1974; 64(9): 1200-10.
- [10] Pol'skikh SD. The phase problem: Analysis of local extrema and image reconstruction algorithms. *J Comm Tech Electronics* 2008; 53(2): 208-21.
- [11] Zhiglhiavsky AA, Zhilinskas AG. *Global Extremum Search Methods [in Russian]*. Moscow: «Nauka» Publisher; 1991.
- [12] Pol'skikh SD, Semenov PA. Adaptive Optical System Based on the Gerchberg–Saxton algorithm for Phase Locking of Single Mode Laser Radiators. *Atmospheric and Oceanic Optics* 2014; 27(4): 355–59.

PHASE-LOCKING SYSTEM MODELLING BASED ON ITERATIVE IMAGE PROCESSING METHODS

P.A. Semenov, S.D. Pol'skikh
 «Shvabe – Research»

Abstract

A phase-locking system based on the Gerchberg–Saxton algorithm is discussed. A global optimization strategy for retrieving phase information is proposed. A dimension reduction technique based on the block structure principle is considered. The system is simulated numerically for different configurations of phased channels.

Keywords: multichannel laser systems, Gerchberg–Saxton algorithm, phase-locking, global optimization, multiaperture wave front sensor.

Citation: Semenov PA, Pol'skikh SD. Phase-locking system modeling based on iterative image processing methods. *Computer Optics* 2015; 39(3): 370-5.

Сведения об авторах

Семёнов Пётр Алексеевич, 1990 года рождения, аспирант. В 2013 году окончил Московский физико-технический институт (государственный университет), факультет физической и квантовой электроники, по кафедре квантовых оптических систем, специальность – «Прикладная математика и физика». Область научных интересов: программирование, компьютерное моделирование, обработка изображений, адаптивные оптические системы

E-mail: piter@bk.ru.

Peter Semenov (b. 1990) graduated from Moscow Institute of Physics and Technology in 2013, Physical and Quantum department. From 2013 – PhD. His research interests are currently focused on programming, computer modeling, image processing, adaptive optical systems.

Польских Сергей Дмитриевич, 1953 года рождения. Доктор технических наук. В 1976 году окончил Московский авиационный институт. В настоящее время занимает должность начальника отдела программно-алгоритмического обеспечения и компьютерного моделирования в АО «Швабе – Исследования». Область научных интересов: обратные задачи в оптике, восстановление изображений, адаптивные оптические системы.

E-mail: sdpolskikh@gmail.com.

Sergey Pol'skikh (b. 1953), D.Sc. Graduated from Moscow Aviation Institute in 1976. Currently he works as a head of computer modeling department in «Shvabe - Research». His research interests are currently focused on inverse problems in optics, image proceeding and reconstruction, adaptive optical systems.

*Поступила в редакцию 21 марта 2015 г.
 Окончательный вариант – 13 мая 2015 г.*