

УДК 621.378.325

МЕТОД ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АПЕРТУРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М. А. Воронцов, С. С. Чесноков

Предлагается метод численного анализа многоканальных адаптивных систем апертурного зондирования, основанный на вычислении приращений оптимизируемого функционала (критерия качества) путем решения вспомогательных задач. Метод позволяет исследовать работу адаптивной системы с любым числом каналов управления.

На основе численных решений проводится анализ влияния конфигурации приемной апертуры и свойств отражающей поверхности объекта на эффективность адаптивной фокусировки излучения в линейной случайно-неоднородной среде.

Современные многоканальные системы адаптивной оптики представляют собой сложные оптоэлектронные устройства, предназначенные для управления волновым фронтом оптического излучения [1]. Проектирование таких систем является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать множество факторов: технические возможности управления волновым фронтом, условия распространения излучения, его спектральные характеристики и т. д. В связи с этим особое значение приобретает математическое моделирование работы адаптивной системы. Цель моделирования заключается в оптимизации характеристик адаптивной системы, выборе алгоритма управления корректором, определении потенциальных возможностей системы в той или иной ситуации. Моделирование на ЭВМ адаптивных систем, основанных на использовании алгоритма фазового сопряжения, не вызывает принципиальных трудностей [2-4]. Иначе дело обстоит с наиболее распространенным классом адаптивных систем — системами апертурного зондирования. В этих системах реализуется процедура оптимизации некоторого критерия (оценки) качества работы адаптивной системы. С этой целью по каждой из степеней свободы корректора волнового фронта (например гибкого зеркала) вводятся малые пробные вариации фазы, которые приводят к соответствующим приращениям критерия. Данные приращения используются для формирования сигналов управления корректором. Непосредственное численное моделирование работы подобных систем является сложной задачей даже для современных ЭВМ. По этой причине прямому численному моделированию доступны лишь системы с малым числом каналов управления [4, 5], хотя наибольший интерес представляет моделирование многоканальных систем. В настоящей работе предлагается метод численного анализа адаптивных систем, основанный на вычислении приращений оптимизируемого функционала путем решения некоторых вспомогательных задач. Метод позволяет исследовать работу адаптивных систем апертурного зондирования с любым числом каналов управления.

1. Математическая модель системы апертурного зондирования. Рассмотрим адаптивную оптическую систему фокусировки излучения в случайно-неоднородной и нелинейной среде. Пусть объект фокусировки

расположен на некотором расстоянии z_0 от передающей апертуры (рис. 1). Комплексную амплитуду электрического поля излученной и рассеянной объектом волн обозначим через $E(\mathbf{r}, z, t)$ и $\psi(\mathbf{r}, z, t)$ соответственно, где $\mathbf{r} = \{x, y\}$ — вектор в плоскости, перпендикулярной направлению распространения излучения (оси Oz). В приближении квазиоптики для слабопоглощающей среды уравнения распространения излучения имеют вид

$$2ik(\partial E/\partial z) = \Delta_{\perp} E + k^2/n_0(\tilde{n} + n_{NL})E; \quad (1)$$

$$-2ik(\partial \psi/\partial z) = \Delta_{\perp} \psi + k^2/n_0(\tilde{n} + n_{NL})\psi; \quad (2)$$

$$E(\mathbf{r}, 0, t) = E_0(\mathbf{r}) \exp(iU(\mathbf{r}, t)); \quad (3)$$

$$\psi(\mathbf{r}, z_0, t) = \kappa(\mathbf{r})E(\mathbf{r}, z_0, t). \quad (4)$$

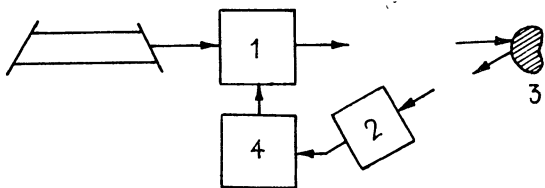


Рис. 1. Блок-схема адаптивной системы апертурного зондирования:
1 — корректор волнового фронта, 2 — детектор, 3 — объект, 4 — управляющее устройство

В системе (1), (2) $k=2\pi/\lambda$ — волновое число, λ — длина излучаемой волны, n_0 — показатель преломления невозмущенной среды, \tilde{n} — его флуктуации, n_{NL} — нелинейная добавка к показателю преломления. Через E_0 и U обозначены амплитудный и фазовый профиль излученной волны, κ — коэффициент рассеяния поверхности объекта фокусировки.

Динамику изменения \tilde{n} и n_{NL} с характерными временами релаксации τ и τ_{NL} определим некоторыми материальными уравнениями:

$$\tau(\partial \tilde{n}/\partial t) = \tilde{L}(\mathbf{a}, t); \quad (5)$$

$$\tau_{NL}(\partial n_{NL}/\partial t) = L_{NL}(\mathbf{a}, EE^*). \quad (6)$$

Операторы \tilde{L} и L_{NL} описывают взаимодействие излучения со средой, \mathbf{a} — некоторый набор параметров, характеризующих это взаимодействие. Рассеянное объектом поле считается слабым, так что его взаимодействием со средой можно пренебречь. Не будем учитывать также время распространения волны, считая его малым по сравнению с другими характерными временами.

Предположим, что адаптивная система содержит N каналов управления. В этом случае фазовый фронт излученной волны можно представить в следующем виде:

$$U(\mathbf{r}, t) = \sum_{j=1}^N S_j(\mathbf{r}) \Phi_j(t), \quad (7)$$

где $S_j(\mathbf{r})$ — функция отклика корректора на управляющее воздействие в j -м канале управления, $\Phi_j(t)$ — параметры (переменные) управления.

Пусть методом апертурного зондирования максимизируется критерий резкости [6], измеряемый в пределах приемной апертуры,

$$J_R = \int m(\mathbf{r})(\psi\psi^*)|_{z=0} d^2\mathbf{r}. \quad (8)$$

Здесь $m(\mathbf{r})$ — функция, описывающая пропускание приемной апертуры. В линейной среде для точечного объекта максимизация J_R приводит к повышению уровня освещенности объекта. Это обстоятельство лежит в основе широкого использования критерия J_R в системах фокусировки излучения. Максимизация J_R осуществляется путем управления фазовым фронтом $U(\mathbf{r}, t)$ излученной волны. В методе апертурного зондирования сигналы управления корректором $\{\Phi_j\}$ определяются по известным приращениям ΔJ_j критерия J_R , вызванным малыми вариациями $\Delta U_j = S_j \Delta \Phi_j$ фазы излученной волны. Динамика текущего изменения параметров управления зависит от технических характеристик каналов управления и используемого алгоритма коррекции волнового фронта. В общем случае эту зависимость можно представить в виде

$$\tau_j (d\Phi_j/dt) + R_j(\Phi_1, \dots, \Phi_N) = G_j(\Delta J_1, \dots, \Delta J_N), \quad (9)$$

где R_j, G_j — некоторые операторы, τ_j — характерные времена быстрогодействия системы регулирования. Операторы R_j описывают динамику системы регулирования, а G_j — используемый алгоритм управления. Система уравнений (1)–(6), (9) и соотношение (8) полностью описывают адаптивную систему фокусировки излучения, работающую по методу апертурного зондирования.

Численное моделирование системы предполагает дискретизацию уравнений по временной и пространственным переменным. Переход от временного слоя с номером m к слою $m+1$ осуществляется следующим образом. Уравнения распространения излучения (1)–(6) решаются N раз с начальными фазовыми профилями $U_m + \Delta U_j$ ($U_m = U(\mathbf{r}, t_m)$). Из решения каждой задачи определяется приращение ΔJ_j^m , $j=1, \dots, N$. По значениям ΔJ_j^m с учетом уравнения динамики корректора (9) вычисляются параметры управления $\Phi_j(t_{m+1})$ и U_{m+1} на следующем временном слое. Очевидно, что прямое численное моделирование адаптивной системы при больших N требует значительных вычислительных затрат.

2. Вспомогательные задачи для нахождения градиентов критерия качества. Основную сложность численного моделирования описанной выше адаптивной системы апертурного зондирования можно обойти, если рассмотреть случай, когда приращения ΔJ_j пропорциональны градиентам J'_j функционала J_R . Как показано в [7], это имеет место, если адаптивная система обладает достаточным быстрымдействием, так что

$$\tau_{vr} < \max_j \tau_j < \tau_c \ll \tilde{\tau}, \tau_{NL}, \quad (10)$$

где τ_{vr} — время внесения пробных вариаций в волновой фронт, τ_c — характерное время сходимости переходного процесса в системе регулирования. Будем считать, что пробные вариации фазы ΔU_j вызывают пренебрежимо малые изменения показателя преломления среды n_{NL} . При выполнении условий (10) в течение времени сходимости переходного процесса оптические свойства среды можно полагать неизменными (замороженными), т. е. $\tilde{\Delta n} = 0$. Адаптивная система в этом случае

работает в режиме оптимизаций критерия качества, а уравнение (9) описывает некоторый непрерывный градиентный алгоритм оптимизации J_R . Заметим, что если приращения ΔJ_j не пропорциональны градиентам функционала J_R , то процесс управления волновым фронтом может не приводить к оптимизации критерия качества системы.

Как будет показано ниже, для вычисления градиентов J_j' функционала J_R не обязательно использовать метод пробных вариаций фазы. Можно найти явное выражение для градиентов, используя процедуру, описанную в [8]. С этой целью представим приращение функционала J_R ,

$$\Delta J_R = 2\text{Re} \int m(\mathbf{r}) (\psi^* \Delta \psi) |_{z=0} d^2 \mathbf{r},$$

в виде

$$\Delta J_R = 2\text{Re} \int (A \Delta \psi) |_{z=0} d^2 \mathbf{r}. \quad (11)$$

Здесь $A = A(\mathbf{r}, z, t)$ — некоторая вспомогательная функция, определяемая при $z=0$ граничным условием

$$A(\mathbf{r}, 0, t) = m(\mathbf{r}) \psi^*(\mathbf{r}, 0, t). \quad (12)$$

Введение функции A позволяет вычислить приращение ΔJ_R на другом конце трассы — при $z=z_0$. В самом деле, пользуясь подходом, изложенным в [8], можно показать, что

$$\Delta J_R = 2\text{Re} \int (A \Delta \psi) |_{z=z_0} d^2 \mathbf{r}, \quad (13)$$

если A удовлетворяет уравнению

$$2ik (\partial A / \partial z) = \Delta_{\perp} A + k^2 / n_0 (\tilde{n} + n_{NL}) A, \quad (14)$$

причем \tilde{n} и n_{NL} определяются из решения системы (1)–(6). Введем далее вторую вспомогательную функцию $F(\mathbf{r}, z, t)$, удовлетворяющую при $z=z_0$ граничному условию

$$F(\mathbf{r}, z_0, t) = \kappa(\mathbf{r}) A(\mathbf{r}, z_0, t), \quad (15)$$

где $\kappa(\mathbf{r})$ — коэффициент отражения объекта фокусировки. С учетом (15), а также граничного условия (4) можно привести выражение (13) к виду

$$\Delta J_R = 2\text{Re} \int (F \Delta E) |_{z=z_0} d^2 \mathbf{r}. \quad (16)$$

Записывая для функции F уравнение, аналогичное (14), а именно

$$-2ik (\partial F / \partial z) = \Delta_{\perp} F + k^2 / n_0 (\tilde{n} + n_{NL}) F, \quad (17)$$

получаем, что

$$\Delta J_R = 2\text{Re} \int (F \Delta E) |_{z=0} d^2 \mathbf{r}.$$

Учитывая далее, что $\Delta E |_{z=0} = iE |_{z=0} \Delta U$, причем $\Delta U = \sum_j S_j \Delta \Phi_j$, приведем ΔJ_R к виду

$$\Delta J_R = \sum_j J_j' \Delta \Phi_j, \quad (18)$$

где

$$J_j' = -2\text{Im} \int (FE) |_{z=0} S_j d^2 \mathbf{r} \quad (19)$$

— искомые градиенты функционала J_R . Таким образом, для определения на временном слое t_m градиентов J_j' критерия качества J_R относительно любой системы функций влияния корректора $\{S_j\}$ необходимо следующее:

1) Решить систему уравнений (1)–(6) и задать граничное условие (12) для вспомогательной функции A .

2) Решить уравнение (14) от $z=0$ до $z=z_0$ и вычислить значение функций A и F в плоскости $z=z_0$.

3) Решив уравнение (17), найти поле F в плоскости $z=0$.

4) По формулам (19) вычислить градиенты функционала J_j относительно некоторой заданной системы функций $\{S_j(\mathbf{r})\}$.

5) Решить уравнение (9) и определить параметры управления $\Phi_j(t_{m+1})$ на следующем временном слое.

6) Определить профиль фазы $U_{m+1}=U(\mathbf{r}, t_{m+1})$ на следующем временном слое.

В предложенной схеме моделирования адаптивных систем апертурного зондирования объем вычислительных затрат не зависит от числа степеней свободы корректора. При любом N требуется решить четыре однотипных задачи распространения излучения. В случае точечного объекта фокусировки уравнение для поля F (17) совпадает с уравнением (2) и граничным условием (4) для поля ψ и можно ограничиться решением лишь двух задач (1)—(4).

3. Численные примеры. Построенный алгоритм позволяет оценить предельные возможности систем апертурного зондирования при подавлении турбулентных и нелинейных искажений световых пучков. Представляет практический интерес исследование в первую очередь случая, когда волновой фронт пучка на входе в среду может являться произвольной функцией поперечных координат \mathbf{r} . При этом рассматривается фазовый корректор, функции отклика которого представляют собой дельта-функции, а сигналы управления Φ_j в каждом канале совпадают со значениями фазы в соответствующих точках. Таким образом, вместо (7) можно записать

$$U(\mathbf{r}, t) = \sum_{j=1}^N \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_j) U(\mathbf{r}_j, t), \quad (20)$$

причем N при численном моделировании равно числу узлов пространственной сетки в области изменения поперечных координат.

Динамику корректора будем описывать релаксационным уравнением первого порядка (9), в котором положим $R_j = U(\mathbf{r}_j, t)$. Предположим также, что сигнал в каждом канале управления пропорционален градиенту функционала J_R , т. е. $G_j = \alpha J'_j$. Тогда вместо (9) будем иметь

$$\tau dU(\mathbf{r}_j, t)/dt + U(\mathbf{r}_j, t) = \alpha J'_j(t), \quad (21)$$

откуда для $(m+1)$ -го временного слоя

$$U_j^{m+1} = \beta U_j^m + \gamma J'_j(t_m). \quad (22)$$

Здесь $U_j^m \equiv U(\mathbf{r}_j, t_m)$ — значение фазы в j -й точке в m -й момент времени, $\beta = 1 - \Delta t/\tau$, $\gamma = \alpha \Delta t/\tau$, Δt — величина шага по времени. Воспользовавшись (19), получаем выражение для градиента J'_j при $S_j \equiv \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_j)$, а именно:

$$J'_j(t_m) = -2\text{Im}[F(\mathbf{r}_j, 0, t_m)E(\mathbf{r}_j, 0, t_m)]. \quad (23)$$

Заметим, что коэффициент γ в (22) играет роль длины градиентного шага.

Построенная модель идеализированного корректора и использование простейшего алгоритма управления позволяют исследовать многие важные аспекты работы системы апертурного зондирования. В частности, можно изучить влияние на эффективность работы системы

таких факторов, как размеры и конфигурация приемной апертуры, наличие шумов в приемнике, характер отражающей поверхности объекта и т. д.

Численные расчеты проведены здесь для случая линейной случайно-неоднородной среды ($n_{NL}=0$). Поскольку условия (10) считались выполненными, итерационный процесс коррекции фазы проводился в каждом случае при фиксированной реализации флуктуаций показателя преломления \tilde{n} . Исследование проводилось для пучков гауссова профиля

$$E_0(\mathbf{r}) = \exp(-r^2/(2a_0^2)) \quad (24)$$

на трассе длиной $z_0=0,5ka_0^2$ (a_0 — начальный радиус пучка). Случайные неоднородности среды задавались девятью эквидистантными фазовыми экранами с дисперсией флуктуаций показателя преломления $\sigma_n^2=0,16(n_0/k^2a_0^2)$ и радиусом корреляции $r_K=1,25a_0$. Коэффициент отражения объекта моделировался гауссовой функцией эффективной ширины S_i

$$x(\mathbf{r}) = \exp(-r^2/S_i^2). \quad (25)$$

Расчеты проводились методом быстрого преобразования Фурье [9] на сетке 32×32 .

Основное внимание в настоящей работе уделено исследованию влияния конфигурации приемной апертуры на эффективность работы адаптивной системы.

Круговая приемная апертура. Для этого случая функция пропускания $m(\mathbf{r})$ выбрана в виде

$$m(\mathbf{r}) = \exp(-r^2/S_r^2), \quad (26)$$

где S_r — эффективный радиус приемника. Расчеты показали, что при замороженных неоднородностях через три-четыре итерации алгоритм сходится, т. е. на объекте устанавливается стационарное распределение поля (рис. 2). На рис. 3 изображены зависимости установившегося в итерационном процессе значения пиковой интенсивности на объекте I_p

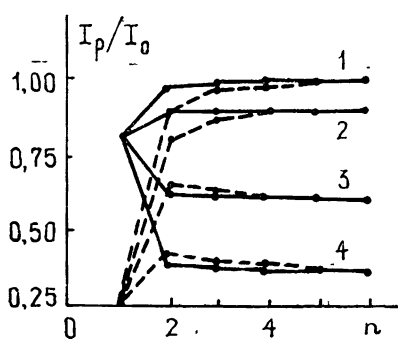


Рис. 2

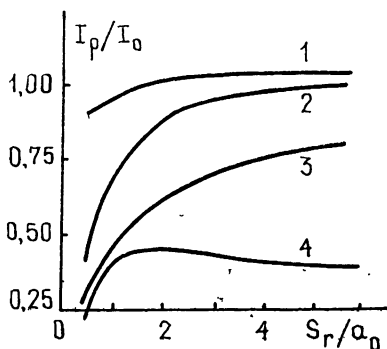


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость пиковой интенсивности на объекте I_p , нормированной на дифракционно-ограниченное значение I_0 , от номера итерации n при разных радиусах кругового приемника S_r :

1 — $S_r=6a_0$, 2 — $S_r=2a_0$, 3 — $S_r=a_0$, 4 — $S_r=0,5a_0$. Сплошные линии — первоначально сфокусированный пучок, штриховые — коллимированный; радиус объекта $S_i=a_0$, среда случайно-неоднородная.

Рис. 3. Зависимость пиковой интенсивности на объекте I_p от радиуса кругового приемника S_r при разных радиусах блестящего пятна на объекте S_i :

1 — $S_i=0,5a_0$, 2 — $S_i=a_0$, 3 — $S_i=\infty$, сфокусированный пучок, 4 — $S_i=\infty$, коллимированный пучок. Среда случайно-неоднородная.

от радиуса приемника S_r при различных радиусах блестящего пятна на объекте S_t . Как и следовало ожидать, для объектов малого радиуса ($S_t \leq a_0$) установившееся распределение поля не зависит от начального приближения фазы (кривые 1, 2), для объектов типа однородного зеркала ($S_t = \infty$) эта зависимость становится существенной. При достаточно малых размерах отражающего пятна на мишени качество фокусировки с увеличением размеров приемника улучшается. Иная картина имеет место, если в каналах регистрации и управления существует некоторый шум. Расчеты, проведенные при наличии в приемнике δ -коррелированного гауссова шума, показали, что пиковая интенсивность практически перестает зависеть от радиуса приемника, а определяется в основном дисперсией шума.

Смещенная круговая апертура. Рассмотренный выше случай, когда приемная апертура совпадает по местоположению с передающей, трудно реализовать на практике. Поэтому представляет интерес исследовать, как влияет на работу адаптивной системы конфигурация приемной апертуры, смещенной по отношению к передающей. С этой целью зададим функцию пропускания приемника в виде

$$m(r) = \exp(- (r - r_d)^2 / S_r^2), \quad (27)$$

где r_d — расстояние между центрами приемной и передающей апертур. На рис. 4 изображены зависимости стационарного смещения энергетического центра пучка от расстояния r_d и радиуса приемника S_r , полученные для случая однородной линейной среды. Видно, что смещение пучка увеличивается с ростом радиуса отражающего пятна S_t .

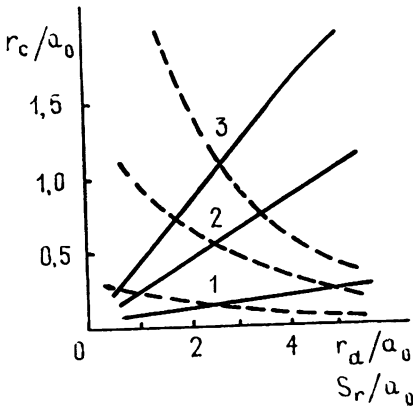


Рис. 4.

Рис. 4. Зависимость смещения энергетического центра пучка r_c от расстояния между центрами приемной и передающей апертур r_d при фиксированном радиусе приемника $S_r = a_0$ (сплошные линии) и от S_r при фиксированном $r_d = 5a_0$ (штриховые линии): 1— $S_t = 0,5a_0$, 2— $S_t = a_0$, 3— $S_t = \infty$.
Среда однородная.

Важно отметить, что при наличии неоднородностей среды существует область параметров r_d , S_r , в которой независимо от S_t алгоритм апертурного зондирования расходится, т. е. поле на объекте не стремится к стационарному распределению. Для рассматриваемого здесь случая это имеет место при $r_d > 3a_0$, $S_r < 3a_0$. Аналогичная картина наблюдается при наличии шумов в приемнике.

Таким образом, применение приемных апертур малого радиуса, смещенных относительно передающих на значительное расстояние, может привести для неточечных объектов к нерегулярному блужданию пучка как целого в плоскости объекта.

Кольцевая приемная апертура. Устойчивость алгоритма апертурного зондирования может быть повышена, если использовать кольцевые приемные апертуры, соосные с передающими. При численном модели-

ровании таких апертур зададим функцию пропускания приемника в виде

$$m(r) = (r/S_r)^2 \exp(-r^2/S_r^2). \quad (28)$$

Здесь S_r по-прежнему играет роль эффективного радиуса приемника и одновременно определяет его ширину. Результаты расчетов в однородной и случайно-неоднородной среде представлены на рис. 5, где изображены зависимости стационарной пиковой интенсивности на объекте от параметра S_r . Интересно отметить, что для всех рассмотренных здесь типов отражающей поверхности объекта эти зависимости имеют отчетливый максимум при $S_r \approx 2a_0$. Расчеты, сделанные для трасс другой длины, показали, что с уменьшением z_0 максимумы функций $I_p = I_p(S_r)$ становятся более выраженными и смещаются в сторону меньших S_r . Наличие случайных неоднородностей на трассе и шумов в приемнике не приводит в случае кольцевой апертуры к потере устойчивости алгоритма.

Частным случаем кольцевой апертуры, который проще реализовать практически, может явиться совокупность четырех круговых апертур, равноотстоящих от центра. Функция пропускания приемника при этом будет

$$m(r) = \sum_{i=1}^4 \exp(-(r-r_i)^2/S_r^2), \quad (29)$$

где $r_1 = n_x r_d$, $r_2 = -n_x r_d$, $r_3 = n_y r_d$, $r_4 = -n_y r_d$, n_x, n_y

— единичные векторы по осям Ox и Oy соответственно. Результаты расчетов с функцией пропускания (29) при $S_r = 0,5a_0$ помещены на рис. 6. Видно, что с ростом r_d пиковая интенсивность на объекте снижается монотонно и максимумы, имевшие место при использовании $m(r)$ в виде (28), отсутствуют. Сравнение с рис. 5 показывает, что применение совокупности круговых приемников вместо одного кольцевого в целом снижает эффективность алгоритма апертурного зондирования, хотя при малых r_d она остается достаточно высокой.

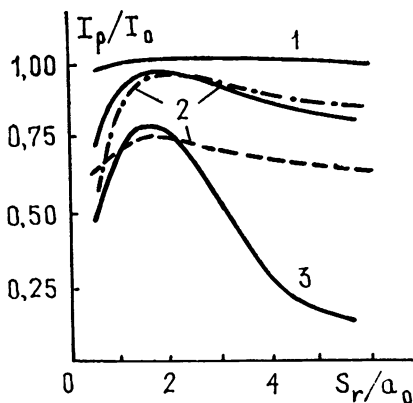


Рис. 5.

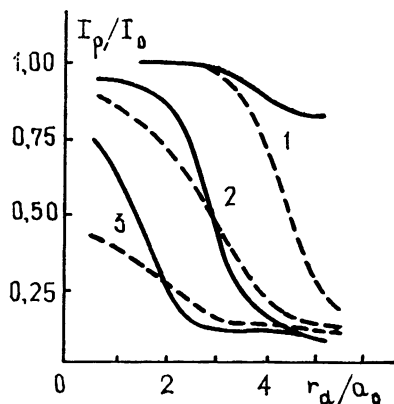


Рис. 6.

Рис. 5. Зависимость пиковой интенсивности на объекте I_p от радиуса кольцевого приемника S_r при разных радиусах объекта S_t :

1— $S_t = 0,5a_0$, 2— $S_t = a_0$, 3— $S_t = \infty$. Сплошные линии — однородная среда, штриховая — гауссов шум в приемнике, штрихпунктирная — случайно-неоднородная среда.

Рис. 6. Зависимость пиковой интенсивности на объекте I_p от расстояния между центрами четырех круговых приемных и передающей апертур r_d при разных радиусах объекта S_t :

1— $S_t = 0,5a_0$, 2— $S_t = a_0$, 3— $S_t = \infty$. Сплошные линии — однородная среда, штриховые — случайно-неоднородная среда.

Предложенный в работе метод позволяет исследовать многоканальные системы апертурного зондирования с произвольным критерием качества. Не представляет труда учесть также многочисленные практические ограничения, связанные с динамикой корректора и его возможностями при задании волнового фронта, наличием запаздывания и искажений в каналах регистрации и управления и т. д. Учет этих факторов позволит в конечном итоге исследовать математические модели, адекватные реальным адаптивным оптическим системам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаптивная оптика: Сб. статей под ред. Д. Фрида. — М.: Мир, 1980.
2. Воронцов М. А., Чесноков С. С. — Изв. вузов — Физика, 1980, № 10, с. 15.
3. Неггтапп J. — J. Opt Soc Am., 1977, 67, № 3, p. 290.
4. Воронцов М. А., Егоров К. Д. Тезисы докладов VI Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. — Томск, 1981, ч. III, с. 220.
5. Чесноков С. С. Тезисы докладов VI Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. — Томск, 1981, ч. III, с. 216.
6. Нагду J. W. — Proc. of IEEE, 1978, 66, № 6, p. 651.
7. Воронцов М. А., Шмальгаузен В. И. — Квантовая электроника, 1981, 8, № 1, с. 57.
8. Воронцов М. А. — Квантовая электроника, 1979, 6, № 10, с. 1278.
9. Чесноков С. С. — Вестник Моск. ун-та — Физика, астрономия, 1980, 21, № 6, с. 27.

Московский государственный
университет

Поступила в редакцию
28 января 1982 г.

THE METHOD OF NUMERICAL INVESTIGATION OF ADAPTIVE OPTICAL SYSTEMS OF APERTURE SENSING

M. A. Vorontsov, S. S. Chesnokov

A method is suggested for numerical analysis of multi-channel adaptive systems of the aperture sensing which is based on calculation of the increase of the optimizing functional (quality criterion) by solution of auxiliary problems. The method permits to study the work of the adaptive system with any number of the control channels. Based on numerical solutions an analysis is given for the effect of the configuration of the receiving aperture and properties of the reflecting surface of the object on the efficiency of the adaptive focusing of the radiation in a linear randomly-inhomogeneous medium.
