

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ С РАСПРЕДЕЛЁННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

Гридин А.А.¹, Денисова Е.В.², Денисов И.В.³

^{1,2}ДВГУ, ³ИАПУ ДВО РАН

Для мониторинга параметров распределенных на некоторой площади физических полей, наиболее перспективно использовать волоконно-оптическую измерительную систему на основе распределенной волоконно-оптической измерительной сети (ВОИС). В качестве ВОИС выступает набор волоконно-оптических измерительных линий (ВОИЛ), уложенных на исследуемой области. В центре каждого чувствительного участка находится узел (пересечение трех ВОИЛ), который регистрирует внешнее физическое воздействие. Задача восстановления параметров распределенных физических полей (рис. 1.) по характеристикам оптического излучения, проходящего по ВОИС, является томографической [3]. Для корректного решения подобной томографической задачи необходимо применять алгоритмы нейронных сетей [1]. Поэтому перед использованием таких измерительных систем их необходимо обучать, т.е. подавать на узлы ВОИС эталонные воздействия и наблюдать отклик системы. Таким образом, создаются обучающие страницы, представляющие собой массивы данных, несущих информацию о весовых коэффициентах сети.

Целью данной работы является дальнейшее развитие средств и методов, применяемых в оптоэлектронных системах реконструктивной томографии посредством разработки принципов организации чувствительной поверхности распределенной ВОИС и специальных вычислительных методов обработки информации, позволяющих определять в режиме реального времени место внешнего температурного воздействия на чувствительную поверхность распределенной ВОИС и отслеживать его перемещения по контролируемой поверхности.

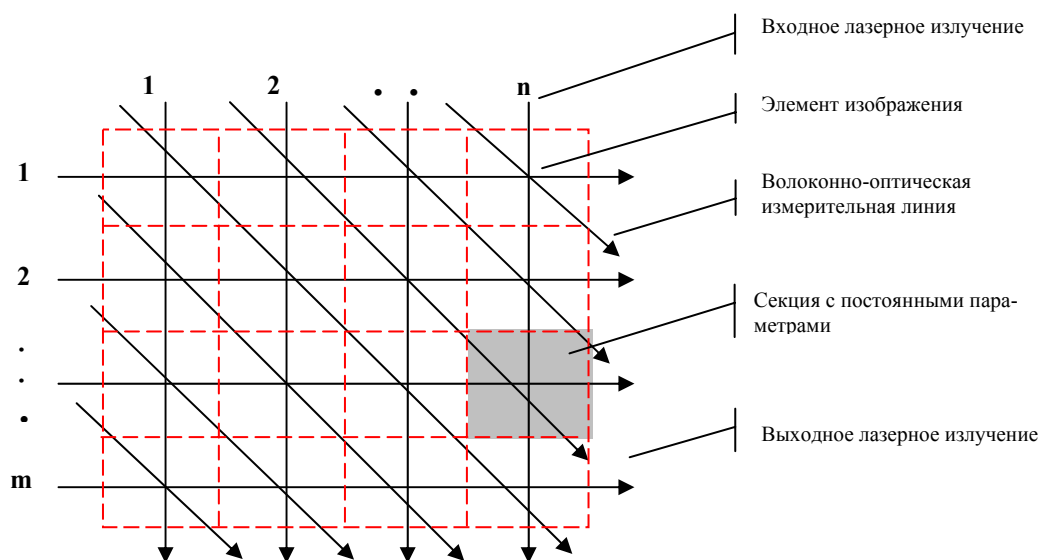


Рис. 1. Схема расположения волоконно-оптической измерительной сети, и приблизительное разбиение этой ВОИС на зоны с постоянными характеристиками внешних воздействий.

Используемое в волоконно-оптической измерительной сети волоконно-оптическое волокно уже в течение долгого времени служит альтернативой обычным проводным линиям, поскольку имеет перед ними ряд бесспорных преимуществ. Среди них: широкополосность, малые потери (минимальные 0,154 дБ/км), эластичность (минимальный радиус изгиба 2 ММ), малые массогабариты, механическая прочность, отсутствие взаимной интерференции (перекрестных помех типа известных в телефонии "переходных разговоров"), взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры), безындукционность, высокая электроизоляционная прочность, высокая коррозионная стойкость (особенно к химическим растворителям, маслам, воде). Распределенная ВОИС состоит из набора регулярно уложенных пересекающихся ВОИЛ. Оптическое излучение от источника света (рис. 2.), распространяясь по ВОИЛ в ВОИС, несет информацию о характеристиках внешнего распределенного физического поля, действующего на исследуемую область. ВОИЛ, представляющие собой квазираспределённые волоконно-оптические датчики (ВОД), строятся на основе обычного оптического волокна и оканчиваются собственно датчиками. Используются две разновидности таких датчиков: фазовые датчики, обладающие отличной чувствительностью и позволяющие непосредственно измерять многие виды полей, например, деформационные и температурные. Но такие датчики сложны в изготовлении и имеют крайне низкую повторяемость. Амплитудные датчики, которые чувствительны в основном к механическим воздействиям, а измерения величин остальных физических полей на них можно производить опосредованно, то есть при помощи некоторого преобразователя поля (магнитного, температурного и др.) к деформационному полю, пропорционально его величине, наоборот просты в изготовлении и имеют хорошую повторяемость результатов.

В работе [2] была предложена конструкция микроизгибного волоконно-оптического преобразователя, позволяющего восстанавливать пространственные характеристики распределённого

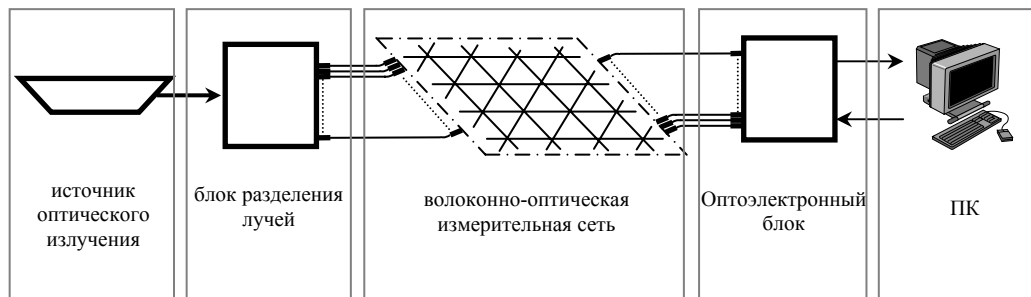


Рис. 2. Схема волоконно-оптической измерительной системы

температурного поля методом опосредованных измерений. При помощи данного преобразователя распределенное температурное поле преобразуется в деформационное, пропорциональное по своей величине исходному температурному полю. Конструкция преобразователя показана на рис. 3.

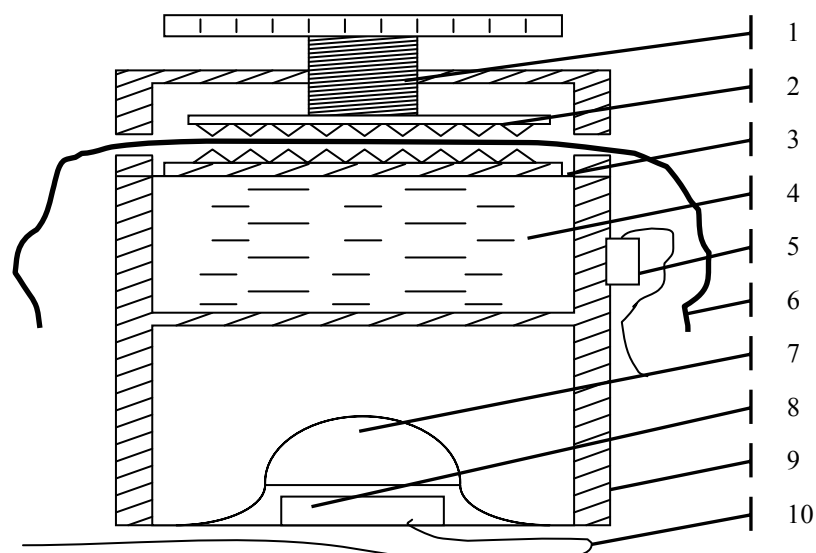


Рис. 3. Устройство микроизгибного преобразователя

1 - регулировочный винт, 2 - микроизгибный преобразователь, 3 – мембрана, 4 - рабочее тело, 5 - термодатчик и линия связи с ПК, 6 - оптическое волокно, 7 - нагревательный элемент (НЭ), 8 - блок управления НЭ, 9 – корпус, 10 - информационная и питающая линии

В нижней части данного преобразователя находится нагревательный элемент (НЭ) 7 и блок управления нагревательным элементом 8, работающий по командам системы моделирования параметров распределённого температурного поля, и используемые на стадии обучения волоконно-оптической измерительной сети. В процессе восстановления параметров исследуемого физического поля блок управления НЭ, как и сам НЭ, не используется. Далее следует герметичный резервуар с рабочим телом, веществом, хорошо расширяющимся при нагревании. Верхняя часть резервуара представляет собой мембрану с закреплённой на ней гребёнкой. Ещё одна такая гребёнка, закреплена в верхней части устройства и допускает регулировку по высоте при помощи регулировочного винта. Резервуар имеет на боковой части интегральный термодатчик, связанный с ПК, и служащий для непосредственного контроля температуры на стадии обучения измерительной сети, в режиме восстановления параметров распределённого физического поля не используется. Между двумя гребёнками проходит оптическое волокно, являющееся измерительным элементом. При некотором изменении температуры, пропорционально ему изменяется объём рабочей жидкости, и гребёнка, закреплённая на мембране, изменяет своё положение в вертикальной плоскости, при этом изменяется величина сжатия волокна между двумя гребёнками, в результате чего изменяется интенсивность распространяющегося в волокне оптического излучения. Проанализировав данные изменения интенсивности оптического излучения, мы определяем значение температуры в точке установки данного преобразователя.

Данный преобразователь обладает очень важным свойством, с его помощью строится ВОИС для восстановления пространственных параметров распределённых температурных полей на основе амплитудных датчиков. Однако из-за применения жидкости в качестве рабочего тела преобразователь имеет достаточно высокую степень инерционности. Поэтому данное устройство должно применяться при исследовании квазистатических температурных полей.

В результате внешнего физического воздействия на чувствительную поверхность распределенной ВОИС, вследствие изгиба волоконных световодов (ВС) ВОИЛ, происходит непосредственная модуляция интенсивности, распространяющихся по ВС, оптических сигналов пропорционально величине этого воздействия [2], то есть в результате действия каждого элемента в отдельности на узел ВОИС изменяется выходная характеристика, которая имеет гауссово распределение. Поэтому, при условии начальной настройки ВОИЛ по максимуму интенсивности оптического излучения, после внешнего физического воздействия, приводящего к изменению радиуса кривизны ВС ВОИЛ, на выходе ВОИЛ происходит уменьшение интенсивности оптического излучения. Данное уменьшение связано с увеличением эффективности преобразования мощности оптического излучения в изогнутом ВС из мод излучения, распространяющихся в сердцевине, в оболочечные моды ВС [4].

В данной работе рассматривается задача восстановления параметров распределённых температурных полей с укладкой ВОИЛ 4x4. Посредством тиражирования подобных элементов поля можно покрыть любые протяженные исследуемые области физических полей или технических объектов. Скалярное температурное

поле создается с помощью 16 нагревательных элементов, расположенных непосредственно под узлами ВОИС.

Сигнал на выходе измерительной линии представляет собой линейный интеграл от функции распределения исследуемого параметра физического поля. Математически – это классическая томографическая задача, т.к. для больших исследуемых полей количество информационных каналов меньше, чем число неизвестных в уравнениях [3, 5]. Поэтому для решения данной некорректной задачи требуется применение специальных методов обработки информации (итерационных или нейроподобных). Такая задача представима в следующем виде. Пусть $X_1=C$, $X_2=L_2$ – метрические пространства и пусть $A: X_1 \rightarrow X_2$ – интегральный оператор, переводящий непрерывную на компакте функцию f во множество ее интегральных проекций h . В общем виде требуется решить уравнение $Af = h$. Задача сводится к отысканию, вообще говоря, приближенного решения в восстановлении искомой функции f по конечному числу интегральных данных. Величина на выходе представляется следующим интегралом:

$$\hat{f} = \int_L f(x, y) dL, \text{ где } L - \text{ прямая, вдоль которой проложена измерительная линия.}$$

Так как все измерительные линии L_i ($i = 1, 2, \dots, m$) лежат в одной плоскости (например, XOY), в соответствии с параллельной схемой сканирования. Такая схема представляет собой систему равноудаленных друг от друга параллельных прямых, заданных в нескольких направлениях. В соответствии с этим, можно считать, что функция распределения f является функцией от двух переменных в некоторой области $S \subset R^2$. Тогда значения интегральных данных примут вид $g_i \approx \int_{L_i} f(x, y) dL_i$.

В результате дискретизации [5], интегральные уравнения преобразуются в систему m линейных уравнений с n неизвестными, которая в матричной форме имеет вид уравнения $AX = B$, где A – матрица размера $m \times n$, B – столбец высоты m , X – столбец высоты n .

Таким образом, требуется найти решения данной линейной системы, что в случае томографической задачи можно выполнить приближенными алгебраическими или нейроподобными методами.

В качестве приближенных методов решения томографической задачи рассмотрим такие наиболее употребительные алгебраические методы как метод псевдорешения и псевдообратных матриц, метод регуляризации и метод Гревилля.

Для решения томографической задачи восстановления характеристик протяженных физических полей по интегральным данным можно применить обычный перцептрон. Его использование позволяет уменьшить время для обсчёта данных при работе системы.

Приближенные алгебраические методы позволяют производить восстановление информации, поступающей от измерительных сетей при одиночном воздействии на сеть или когда саму исследуемую область можно разделить на малые участки, даже при взаимно перпендикулярной укладке измерительных линий на исследуемом физическом поле. Подобная схема укладки линий играет весьма существенную роль при больших размерностях информационно-измерительных полей. Это существенно расширяет круг решаемых некорректных задач, решение которых на практике является сложной задачей, требующей привлечения специальных методов обработки, например, нейроподобных методов обработки информации. Задача обработки измерительной информации разбивается на задачу по определению мест и величин внешних воздействий в распределенной измерительной системе. Проведённые эксперименты показывают, что даже на полях малой размерности (4*4) для восстановления воздействий недостаточно применять взаимно-перпендикулярную схему укладки, а необходимо применять дополнительно диагональное направление.

Литература

1. Kulchin Yu., Obuh V., Denisov I., Kamenev O., Vitrik O., Petrov Yu., Romashko R. Computer neural networks for processing of optical tomography information // Pacific Science Review. 1999, V. 1. P. 1 – 4.
2. Кульчин Ю. В. Распределительные волоконно-оптические датчики и измерительные системы. – М.: Физматлит, 2001. – 272 с
3. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии / Пер. с англ. М: Мир, 1990. 288 с.
4. Патлах А. Л., Семенов А. С. Светопропускание изогнутых многомодовых оптических волокон // Квантовая электроника, 1983. – № 7. – С. 868-870.
5. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1980.