

ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СОСТОЯНИЙ МЕТОДАМИ ФОТОНИКИ

А.И. Ларкин¹, К.А. Труханов²

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

²Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

Резюме

В работе анализируются возможности специальных методов и оборудования когерентной фотоники при работе с многопараметрической информацией. Обратное парафазное кодирование и оперативный анализ многопараметрической информации позволяют реализовать ряд вероятностных алгоритмов. Обосновывается возможность и целесообразность реализации методами фотоники не только корреляционного алгоритма, лежащего в основе голографического распознавания образов, но и универсальных статистических алгоритмов. Проводится сравнительный анализ фотонных систем медицинской диагностики, работающих по широкому классу алгоритмов: поиск прецедента, диагностика соответствия, детерминистская диагностика, алгоритм Байеса. Приводятся экспериментальные результаты по постановке медицинского диагноза и прогнозированию сложных состояний с помощью методов и средств цифровой фотоники. Существенно, что при расширении диапазона вероятностных алгоритмов удается сохранить известные достоинства голографического метода: многомерность, оперативность, рекордно высокую информационную емкость и быстрдействие, наглядность и гибкость представления результата. Описанные методы приобретают особую актуальность в связи с появлением первых образцов фотонных процессоров.

Ключевые слова: лазерная фотоника, голография, корреляция, когерентность, оптический компьютеринг, фотонный процессор.

Для цитирования: Ларкин А.И. Труханов К.А. Оперативный анализ сложных медицинских состояний методами фотоники // *Biomedical Photonics*. – 2018. – Т. 7, № 1. – С. 28–31.

Контакты: Ларкин А.И., e-mail: alexlarkin16@gmail.com

OPERATIONAL ANALYSIS OF COMPLEX MEDICAL STATES BY PHOTONICS METHODS

Larkin A.I.¹, Trukhanov K.A.²

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

²Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

In this paper we analyze the possibility of using special methods and equipment of coherent photonics when working with multi-parameter information. Inverse two-phase coding and operational analysis of multi-parameter data can realize a number of probabilistic algorithms. The possibility and expediency of realization of not only the correlation algorithm underlying the holographic image recognition but also universal statistical algorithms using photonics methods is substantiated. A comparative analysis of photonic medical diagnostic systems running on a wide range of algorithms: search for precedent, correspondence diagnostics, deterministic diagnostics, Bayes algorithm. The results of experimental studies of medical diagnosis and the prediction of complex conditions is presented. Such an analysis is carried out by the means of vector-matrix multiplication using laser photonics methods. It is significant that with the widening of the range of probability algorithms, it is possible to preserve certain advantages of the holographic method: multidimensionality, efficiency, high information capacity and speed, visibility and flexibility of the result presentation. The methods described are of particular relevance in connection with the first photonic processors.

Key words: laser photonics, holography, correlation, coherence, optical computing, photonic processor.

For citations: Larkin A.I., Trukhanov K.A. Operational analysis of complex medical states by photonics methods, *Biomedical Photonics*, 2018, T. 7, No. 1, pp. 28–31 (in Russian).

Contacts: Larkin A.I. e-mail: alexlarkin16@gmail.com

Введение

Когерентное лазерное излучение эффективно используется в различных видах медицинской диагностики: оптическая когерентная томография, исследование крови, изучение состояния кожи и зубов и др. [1-3]. Голографические методы пригодны для диагностирования в общем случае. Они не накладывают никаких ограничений на статистическую функцию состояния системы и позволяют анализировать информацию, представленную в универсальной многопараметрической форме. Это очень важно и полезно для оперативного анализа и распознавания изображений в медицине и других сложных ситуациях. В последние годы отмечается переход от простых устройств распознавания и обработки изображений к разработке сложных систем анализа многопараметрической информации. В общем случае такой анализ может быть осуществлен посредством векторно-матричного умножения [4]. Показанная в работах [4,5] возможность реализации этого процесса методами лазерной фотоники дает возможность расширения диапазона вероятностных алгоритмов при сохранении известных достоинств голографического метода, таких как многомерность, оперативность, высокая информационная емкость, наглядность и гибкость представления результата.

Алгоритмы голографической памяти

Лазерная голография предоставляет уникальные возможности параллельной обработки двумерных массивов данных, простой реализации корреляционного алгоритма, обеспечивая оперативную обработку информации и рекордно высокую плотность памяти. В медицине диагноз и прогноз состояния пациента определяются сочетанием большого числа разнообразных параметров. В связи с этим необходимо учитывать большое количество различных комбинаций параметров и возможность сравнения этой многопараметрической картины с прошлым опытом. В идеальном случае на первом этапе необходимо определить информативный вес каждого признака. Однако поиск наиболее информативных признаков – неразрешимая проблема не только в общем случае, но и для большинства конкретных ситуаций. Кроме того, зачастую информативный вес конкретного признака зависит от окончательного диагноза. Реальный подход требует увеличивать количество параметров, что увеличивает избыточную информацию и создает два рода трудностей. Во-первых, количество анализов не может быть бесконечно большим, тем более, если число пациентов велико и необходим оперативный диагноз. Во-вторых, при увеличении избыточной информации требуемая мощность обрабатывающей системы экспоненциально растет с количеством параметров. С учетом этих обстоятельств достоинства

голографического метода становятся принципиально необходимыми. В общем случае, статистическая обработка многопараметрической информации может привести к многомерным распределениям. В простейшем случае мы должны принять решение о том, соответствует ли ситуация определенному набору символов, относящихся к данному классу или выходит за его пределы.

Простейшим алгоритмом диагностики является поиск прецедента. Это единственный алгоритм, в котором объем обрабатываемой информации практически равен емкости хранения данных. Число возможных состояний системы составляет q^m , где q – количество возможных значений определенного параметра, а m – число параметров. Такой алгоритм не требует предварительной обработки исходных данных, но предъявляет самые жесткие требования к емкости памяти.

Более приемлемы диагностические процедуры, основанные на метрических или вероятностных методах. Наиболее надежны вероятностные алгоритмы, основанные на теореме Байеса, согласно которой сведения, содержащиеся в символе S_j (или в системе символов S) при условии, что болезнь V_j имеет место, равна информации, содержащейся в диагнозе V_j при условии, что символ S_j (или система символов S) имеет место.

Наиболее привлекателен алгоритм определения соответствия [6,7]. Это наиболее общий случай классификации, который не накладывает никаких ограничений на характеристическую независимость параметров. В то же время этот алгоритм не нуждается в измерении интенсивности в корреляционной плоскости и дает информацию о точной результирующей оценке и ее вероятности. Этот алгоритм не ограничивает вид исходного статистического распределения и дает возможность учитывать форму конкретного статистического распределения при определении вероятности результирующего диагноза. Он сочетает в себе преимущества детерминистских и вероятностных методов, но требует самой серьезной математической обработки исходной статистической информации.

Сравнительная оценка возможностей алгоритмов фотоники приведена в таблице. В ней представлен список тестируемых алгоритмов в порядке убывания необходимого объема информации, соответствующего постоянному количеству обрабатываемых данных.

Реализация диагностических алгоритмов методами фотоники

В общем случае методы фотоники пригодны для диагностирования без ограничений на статистические функции состояний системы (метод соответствия), а также для случаев, когда распределение представлено в виде гистограммы (детерминистский

Таблица
Сравнительные характеристики алгоритмов голографической памяти
Table
Comparative characteristics of holographic memory algorithms

Алгоритм диагностирования Algorithm of diagnosing	Информация о вероятности результата Information on probability of result	Информационная емкость параметров Information capacity of parameters	Взаимная независимость параметров Mutual independence of parameters
Поиск прецедента Search for precedent	-	+	+
Диагностика соответствия Correspondence diagnostics	+	+	+
Детерминистская диагностика Deterministic diagnostics	-	+	±
Диагностика Байеса Bayesian diagnostics	+	+	±
Измерение расстояния Хемминга Hamming distance measurement	+	±	±

«+» – возможность реализации;
«-» – невозможность реализации;
«±» – возможность реализации, но за счет увеличения информационной емкости входного транспаранта.
«+» – possible to implement;
«-» – impossible to implement;
«±» – possible to implement but requires increasing the information capacity of the input transparency.

метод), или параметры системы статистически независимы (Байесовский метод), или объем статистических выборок имеет ограниченный размер (метрический метод). Важно, что система сохраняет все известные преимущества голографического метода. Процедура постановки диагноза методами фотоники включает в себя следующие этапы:

1. Подготовка и формализация данных.
2. Кодирование и запись исходных данных – формирование памяти.
3. Оперативное кодирование результатов обследования пациента на динамическом транспаранте – ввод данных.
4. Обработка результатов обследования пациента и вероятностное сопоставление со статистическим материалом, хранящимся в архивной памяти.

Первые два этапа являются подготовительными. Целесообразно, чтобы они были проведены в ведущих учреждениях здравоохранения и только один раз, если не предполагается, что память будет пополняться новыми данными.

Материалы и методы

При экспериментальной реализации записи исходной статистической информации на голографический фильтр и ввода данных каждому параметру присваиваются две ячейки динамического модулятора света. Это позволяет реализовать парафазное

кодирование и нормировать выходные сигналы. Для модуляции применяется динамическое рассеивание света подачей управляющего потенциала на соответствующие части входного транспаранта. Отдельные опорные лучи используются для записи двух совмещенных голограмм, соответствующих благоприятному и неблагоприятному прогнозу болезни.

Результаты и обсуждение

Мы испытали диагностическую систему, используя опубликованные данные по диагностике заболеваний печени и распределения, описывающие заболевания желудка. Наибольшее внимание было уделено непосредственному анализу и прогнозированию состояния пациентов после многочисленных сочетанных поражений в результате крупных катастроф, когда к скорости многопараметрического анализа предъявляются особенно жесткие требования. На первом этапе были определены возможные состояния и их результаты для пациента по выборке из 200 реальных историй болезни института Склифосовского с 20 параметрами каждая. В результате была построена карта медицинской информации и составлены матрицы статистических распределений, необходимые для записи данных в голографическую память. Решение принималось с учетом относительной интенсивности корреляционных сигналов на выходе.

Тестирование на реальном медицинском материале подтвердило оперативную работоспособность си-

стемы многопараметрической фотоники. Сопоставление с известными медицинскими результатами института Склифосовского показало, что голографический анализ и прогноз при таких статистических данных совпадает с известным с точностью более 80 процентов.

Заключение

Методы когерентной фотоники можно и целесообразно использовать не только при работе с изображениями, но и для обработки информации, представленной в универсальной многомерной форме. Наша система позволяет реализовывать не только классический корреляционный алгоритм, но и ряд более сложных алгоритмов обработки.

В отличие от оптических методов, работающих с сигналами и изображениями в натуральном виде, рассмотренные методы позволяют анализировать информацию, представленную в многопараметрической форме. Таким образом, становится возможной реализация комбинированного метода, сочетающего рекордно высокую емкость голографической памяти и оперативную реализацию статистических алгоритмов обработки данных методами фотоники. Этот универсальный результат приобретает самостоятельное значение в связи с сообщениями [8] о разработке первого фотонного процессора способного умножить 256-байтный вектор на 256x256-байтную матрицу за один такт – 8 нс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Antonov V.A., Grosmann M.H., Larkin A.I., et al. Medicine Application of Laser Holography and Speckle Interferometry / Computational vision and medical image processing – VIPIMAGE 2011. – Algarve: CRC Press, 2011. – P. 12-14.
2. Grosmann M.H., Kiryushin M.A., Larkin A.I., et al. Laser photonics application for denture design optimization // *Laser Physics*. – 2010. – Vol. 20, Is. 6. – P. 1481-1485.
3. Ларкин А.И., Юу Ф.Т.С. Когерентная фотоника. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 316 с.
4. Ларкин А.И., Стариков С.Н. Лазерная фотоника как инструмент для регистрации и обработки следов частиц // *Приборы и техника эксперимента*. – 2017. - № 3. – С. 1.
5. Zakharov S.M., Manykin E.A. Digital vector - matrix multiplication on the basis of a photon echo // *Laser Physics*. – 1996. – Vol. 6, No. 4. – P. 793-802.
6. Antonov V.A., Larkin A.I., Grosmann M.H., et al. Holographic data processing methods for medical prognosis // *Laser Physics*. – 2015. – Vol. 25, No. 10. – P. 105601.
7. Duda R.O., Hart P.E. *Pattern Classification and Scene Analysis*. – New York: Wiley-Interscience, 1973.
8. EnLight256 8000 Giga MAC/sec fixed point DSP. – Herzelia Pituach, Lenslet, 2003. http://www.lenslet.com/docs/EnLight256_White_Paper.pdf

REFERENCES

1. Antonov V.A., Grosmann M.H., Larkin A.I., Osintsev A.V., Schepinov V.P. Medicine Application of Laser Holography and Speckle Interferometry in *Computational vision and medical image processing – VIPIMAGE 2011*. Algarve, CRC Press, 2011. pp. 12-14.
2. Grosmann M.H., Kiryushin M.A., Larkin A.I., Lebedenko A.I., Lebedenko I.Yu., Lopatina N.A., Osincev A.V., Shchepinov V.P., Shchepinova I.V. Laser photonics application for denture design optimization, *Laser Physics*, 2010, Vol. 20, Is. 6, pp. 1481-1485.
3. Larkin A.I., Juu F.T.S. *Kogerentnaja fotonika* [Coherent photonics]. Moscow, BINOM, Laboratoriya znaniy Publ., 2007. 316 p.
4. Larkin A.I., Starikov S.N. Laser photonics as a tool for recording and processing particle traces, *Pribory i tehnika jeksperimenta*, 2017, No. 3, p. 1. (in Russian)
5. Zakharov S.M., Manykin E.A. Digital vector - matrix multiplication on the basis of a photon echo, *Laser Physics*, 1996, Vol. 6, No. 4, pp. 793-802.
6. Antonov V.A., Larkin A.I., Grosmann M.H., Kartavenko V.I., Trukhanov K.A. Holographic data processing methods for medical prognosis, *Laser Physics*, 2015, Vol. 25, No. 10, p. 105601.
7. Duda R.O., Hart P.E. *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York, Wiley-Interscience, 1973.
8. *EnLight256 8000 Giga MAC/sec fixed point DSP*. Herzelia Pituach, Lenslet, 2003 Available at: http://www.lenslet.com/docs/EnLight256_White_Paper.pdf