

БЫКОВСКИЙ Ю. А. и др. Б1-1-86-670

СЗЧЧ.1Т+СЗЧЧ.1Э

+

6969/86



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-1-86-670

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 86

Быковский Ю.А., * Зарубин А.М. *, Ларкин А.И. *, Маркилов А.А. *,
Русаков В.А., Стариков С.А. *

Б1-1-86-670

МЕТОДЫ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ГОЛОГРАФИИ И ОПТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ СЛЕДОВ ЧАСТИЦ В ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРАХ
ИЗЛУЧЕНИЕМ ЧАСТИЧНОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ

Задачи распознавания следов частиц и требо-
вания к оптическим схемам обработки

*МИФИ

РУССКИЙ КОСМОС
5 ИЮНЯ 1986 Г.
.. 08 10 86г.

ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЮТ
НАЦИОНАЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКОГО
СОВЕЩАНИЯ

I. ВВЕДЕНИЕ

Просмотр и предварительный отбор снимков с трековых камер является одной из наиболее трудоемких и длительных стадий обработки результатов эксперимента. Оптические и в том числе голографические методы обработки данных отличает высокая информационная емкость носителя - светового поля и голографических блоков памяти, естественность представления информации в двумерном виде, высокая скорость непосредственной обработки, возможность многоканального анализа входных данных. Поэтому практически сразу после появления одной из важнейших когерентно-оптических схем обработки -- голографического корреляционного распознавания изображений методом фильтрации пространственных частот^{/1/} возник интерес к ее применению для обработки снимков с пузырьковых камер^{/2/}.

Однако, вскоре выявился ряд трудностей решения этой задачи с помощью данной схемы. Указывалось^{/3/}, что поскольку съемка в больших пузырьковых камерах, характерных для того периода, ведется широкоугольной оптикой, то геометрия события на снимках существенно отличается от реальной и зависит от положения в объеме камеры и, следовательно, обнаружение его по эталонному изображению, являющемуся импульсным откликом голографического фильтра, затруднено. То есть на каждое событие необходимо изготавливать несколько фильтров с различными импульсными откликами, соответствующими различным радиусам кривизны и углам треков. К этому можно добавить, что для каждой реализации события необходима совокупность фильтров, перекрывающих все возможные ориентации его в объеме камеры. Общее число фильтров для одного события может превышать 10^4 , что создает значительные технические трудности.

Дальнейшие исследования^{/4-6/} выявили еще ряд проблем, связанных с применением когерентно-оптических методов для обработки снимков с пузырьковых камер. Во-первых, трековые события в силу малого числа образующих их элементов являются "простыми", поэтому их распознавание в голографической системе накладывает специфические требования на ее элементы и помимо измерения интенсивности корреляционных сигналов необходим анализ их формы^{/4,7/}. Во-вторых, использование когерент-

тного освещения в системах обработки обуславливает жесткие ограничения на оптическое качество фотоносителей обрабатываемых снимков: наличие фазовых неоднородностей подложки, контрастность изображений треков^{/5/}. Высокая чувствительность к уровню фазовых шумов носителей обрабатываемой информации и относительному смещению оптических элементов (≈ 10 мкм) в системах обработки с когерентным освещением оказались факторами, затрудняющими использование таких систем для решения большинства практических задач.

Таким образом, ко второй половине 70-х годов сложилась следующая ситуация. Анализ задач обработки снимков с трековых детекторов для решения оптическими методами показал, что практический интерес могут представлять не измерение геометрических параметров событий или их поиск по этим признакам, а в первую очередь задачи ускорения просмотра снимков распознаванием событий по топологическим признакам: наличие звезд, числу треков в звездах, окончанию треков и т.д.; подавлением фоновых треков и помех на снимках^{/7/}, а также анализ микроструктуры треков^{/8/}. Оптические системы обработки, использующие полностью когерентное освещение, несмотря на исключительные потенциальные возможности, оказались трудноприменимыми на практике из-за низкой надежности.

Необходимо было разработать оптические методы, с одной стороны способные решать сформулированные задачи, и с другой стороны обеспечивающие создание систем, пригодных к практической эксплуатации. Поэтому до последних лет обработка снимков с трековых детекторов оптическими методами могла рассматриваться в силу своей сложности лишь как способ проверки предельных возможностей новых оптических способов и схем.

Интенсивно развиваемые в настоящее время дифракционные методы и системы оптической обработки информации, использующие частично-когерентное излучение^{/9-14/}, характеризуются защищенностью от фазовых шумов носителей обрабатываемой информации и оптических элементов, не критичны к точности установки элементов и сохраняют при этом большинство достоинств, присущих схемам с когерентным излучением. Таким образом, имеются реальные перспективы преодолеть трудности, препятствовавшие широкому внедрению в практику систем оптической обработки информации.

Введение в начале 80-х годов в экспериментальную практику высокоэффективных малообъемных трековых камер в качестве вершинных детекторов^{/15-19/} и возникшая в связи с этим потребность голографического съема информации с таких камер дают ощутимый импульс и для более пристальных исследований возможностей оптической обработки данных с тре-

ковых камер в новых условиях^{/20-23/}. В круг таких исследований, по мнению авторов, должны входить переосмысление методов и схем, предложенных ранее для когерентных систем обработки, разработка оптических способов распознавания событий с нефиксированной геометрией^{/13,20/}, создание схем с частично-когерентным излучением, способных надежно выполнять операции, требуемые при обработке, в том числе, данных с трековых детекторов^{/12,13,23,24/}.

Данное сообщение посвящено анализу типичных задач обнаружения событий и особенностей оптических схем корреляторов с когерентным освещением. Описание экспериментов по использованию схем с частично-когерентным освещением для распознавания и элементного анализа трековых событий составляют содержание сообщения^{/25/}.

2. ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ СОБЫТИЙ И ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ ОБРАБОТКИ

Схема голографического распознавания образов^{/1/} позволяет производить сравнение двух изображений (транспарантов): распознаваемого, установленного во входной плоскости, и эталонного, записанного на голографическом фильтре, по их функции взаимной корреляции. Объекты, возникающие при обработке данных с трековых детекторов, образованы, если отвлечься от их микроструктуры, отрезками прямых, дугами и комбинациями их небольшого числа. Эффективность системы распознавания тем выше для данного класса объектов, чем менее трудоемки операции, которые необходимо проделать над входными сигналами для установления различия или тождественности распознаваемых объектов. В тех случаях, когда объект образован множеством элементов различной конфигурации, операция наиболее проста: устанавливается наличие (при совпадении объектов) или отсутствие (при несовпадении) световой точки в выходной плоскости системы^{/4/}. Для рассматриваемых объектов, относящихся к классу объектов, образованных малым числом простых элементов, необходимо анализировать особенности формы сигналов корреляции, позволяющие обнаруживать события с заданными параметрами среди остальных. Эксперименты по определению вида корреляционных сигналов и изобразительности распознавания проводились на моделях простейших трековых событий^{/5/}. Экспериментальная установка представляла собой вариант голографического коррелятора Вандер Люгта^{/1/}, дополненный схемой записи голографических фильтров и регистрирующей аппаратурой.

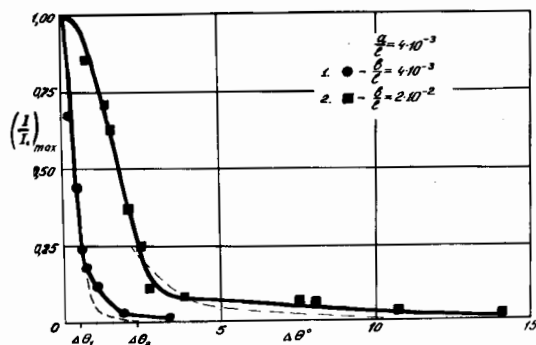
Обнаружение отрезка прямой заданного направления. Фотография сигнала автокорреляции отрезка прямой приведена на рис. 1а. Вид сигнала кросс-корреляции при несовпадении направления с направлением эталонного отрезка, записанного на голографическом фильтре, показан



Рис. 1. Обнаружение отрезка прямой заданного направления. Направление предъявляемого отрезка совпадают (а) и не совпадают с эталонным (б).

на рис. 1б. Из сравнения рис. 1а и рис. 1б видно отличие в форме сигналов: при совпадении направлений параллелограмм сигнала кросс-корреляции трансформируется в прямую. Используя этот признак сигнала, представляется возможным выделять все отрезки данного направления, присутствующие на изображении. Кроме того, имеется различие в интенсивности сигналов корреляции в зависимости от угла между эталонным и предъявляемым отрезками $\Delta\theta$. На рис. 2 приведены экспериментальные пиковые значения сигналов и расчетные зависимости. Согласно расчетных и экспериментальных значений сигналов показывает, что выбором параметров эталонного отрезка можно управлять избирательностью обнаружения.

Рис. 2. Зависимость пикового значения сигнала корреляции от угла между эталонным и предъявляемым отрезками θ . l — длина эталонного отрезка; a, b — ширины предъявляемого и эталонного отрезков, — — — — расчетные зависимости.



Обнаружение заданного угла, образованного двумя отрезками. Сигналы корреляции представляют сумму сигналов по отдельным отрезкам. Для этих объектов также возможно обнаружение по форме сигнала. Изменение пиковой интенсивности корреляционного сигнала при несовпадении углов в случае одинаковой ориентации одной из сторон предъявляемого и эталонного углов дано на рис. 3. Как и ранее допустима регулировка избирательности обнаружения выбором ширины и длины отрезков, образующих эталонное изображение угла, записываемое на голографический фильтр.

Рассмотренные объекты имеют протяженность корреляционного сигнала сравнимую с собственным размером, поэтому их отличие или совпадение наиболее наглядно проявляется в форме сигнала, в то время как измерение пиковой интенсивности кросс- и автокорреляционных сигналов

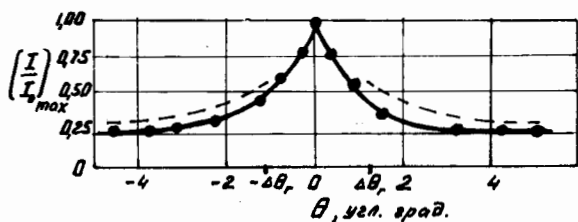


Рис. 3. Зависимость пикового значения сигнала корреляции от величины несовпадения углов θ между эталонным и предъявляемыми отрезками, $\delta / \rho = 8 \cdot 10^{-3}$ (обозначения совпадают с рис. 2).

является неудобным, поскольку необходимо устанавливать координаты точки измерения на протяженном сигнале.

Обнаружение событий, образованных криволинейными треками. В этом случае распознаваемые объекты обладают дополнительными информативными признаками, усложняющими их структуру. Это видно из рис. 4, где для сравнения приведены корреляционные сигналы совпадения для 3-лучевых звезд, образованных прямыми (а) и дугами (б), т.е. эквивалентным случаем отсутствия и наличия магнитного поля в объеме камеры. В случае (б) сигнал корреляции локализуется и распознавание сводится к

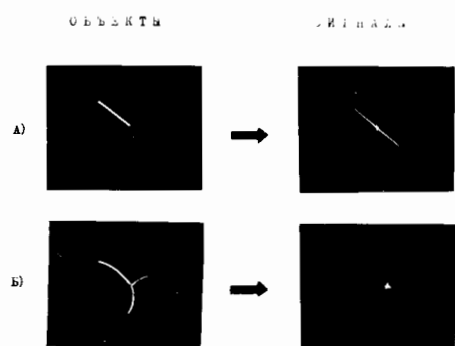
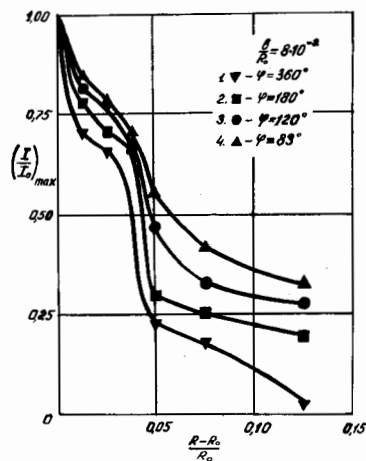


Рис. 4. Обнаружение 3-лучевых звезд, образованных прямыми (а) и дугами (б).

установлению наличия или отсутствия светового пятна. По сравнению с объектами, имеющими протяженный сигнал корреляции, упрощается измерение его величины, так как возможен интегральный замер по пятну. На рис. 5 показана зависимость значений сигнала корреляции от несовпадения кривизны распознаваемой и эталонной дуг.

Расчетные значения для значений $(I/I_0)_{\max} = 0,25$ согласуются с экспериментальными.

Рис. 5. Зависимость сигнала корреляции от несовпадения кривизны предъявляемой и эталонной дуг. R и R_0 радиусы кривизны предъявляемой и эталонной дуг, b - толщина линии, образующей дуги; φ - угловая длина дуг.



Приведенные экспериментальные результаты показывают, что при распознавании объектов в голографическом корреляторе могут быть получены характеристики сигналов, близкие к расчетным, и, следовательно, возможны количественная оценка сигналов и регулировка режимов распознавания. События на снимках, подлежащие обнаружению, могут появляться во множестве вариантов из-за ограниченного количества кинематических связей и произвольной ориентации. Для поиска событий в этом случае необходимо либо попытаться создать голографический фильтр, способный опознавать событие по топологическим признакам^{/25/}, либо использовать многоканальную обработку по совокупности фильтров, на которых записаны с шагом, определяемым избирательностью отдельного эталона, набор эталонов, перекрывающий весь диапазон возможных конфигураций события на снимках. Второй путь может потребовать последовательно-параллельного сравнения, т.е. помимо параллельного во времени сравнения с группой эталонов, записанных на одной голограмме, оперативной замены таких голограмм. Рассмотрим конкретный пример: построение сечения упругого рассеяния π^+ на He^3 . Эталон для выделения рассеяния в отдельный диапазон углов $110 - 120^\circ$ приведен на рис. 6. Учет

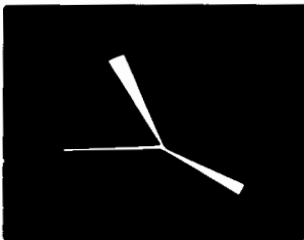


Рис. 6. Эталон для обнаружения упругого рассеяния π^+ на He^3 в диапазоне углов $110 - 120^\circ$ при ориентации события в плоскости снимка.

произвольной ориентации плоскости, в которой расположена вилка рассеяния, показывает, что необходимо использовать около 50 эталонов^{/5/}. Такое количество эталонов технически может быть записано на одной голограмме, но фильтры, соответствующие другим диапазонам углов рассеяния, следует записывать на других голограммах. Задача быстрой смены голограмм-фильтров в схемах с когерентным освещением является сложной, т.к. необходимо обеспечивать точность позиционирования около 10 мкм ^{/26/}. Однако для частично-когерентного освещения^{/12/} требования ослабевают в $10^1 - 10^2$ раз.

Приведенные выше экспериментальные результаты позволили определить количественный параметр^{/7/} - степень локализации сигнала автокорреляции объекта $L = \delta/D$, где D - наибольший размер объекта, δ - протяженность функции его автокорреляции. При $L \ll 1$ объекты распознавания являются "сложными", при $L \approx 1$ - "простыми". Такая связь естественна, т.к. δ обратно пропорциональна ширине спектра пространственных частот объекта, тогда $L^{-2} = (D/\delta)^2$ есть

произведение пространства на ширину полосы пропускания, т.е. равно числу отсчетов (элементов) в объекте.

В случае "простых" объектов ($L \ll 1$): прямые треки и звезды, образованные ими, пространственная структура автокорреляционных сигналов совпадения схожа с самими объектами (см. рис. 1а). Однако малое изменение параметра предъявляемого объекта резко меняет форму сигнала, в то время как отличие по изображению самого объекта выявить трудно (рис. 1а и 1б). Именно это определяет целесообразность использования системы распознавания даже для объектов, принадлежащих к классу "простых".

Распознавание "простых" объектов накладывает особенности и на элементы оптической системы. Запись голографического фильтра, предназначенного для использования в когерентном освещении, затруднена из-за узости спектра пространственных частот эталонного объекта и большого динамического диапазона составляющих спектра. Так как реальные треки образованы отдельными пузырьками, то необходимо обеспечить неискаженную запись низких пространственных частот эталона, что приводит к низкой дифракционной эффективности фильтра ($< 1\%$) и высокому уровню шумов. Частично эта трудность может быть обойдена применением методов поэлементной и двухступенчатой записи^{/7/}. Наилучшим решением является переход к использованию на стадии распознавания излучения с частичной пространственной когерентностью. В этом случае фильтр может записываться с фазовой маской на эталонном изображении, что обеспечивает высокую дифракционную эффективность ($\approx 20\%$) при снижении динамического диапазона регистрируемых составляющих.

При пространственно-когерентном освещении одним из наиболее жестких является требование к фазовым неоднородностям основы обрабатываемых снимков. Размер обрабатываемого изображения не может существенно превышать радиус корреляции фазовых шумов носителя, т.к. в противном случае величина сигнала будет определяться не полезной информацией, а характером фазовых шумов. На рис. 7 приведен участок снимка с пузырьковой камеры (а) и выходная плоскость когерентного корре-

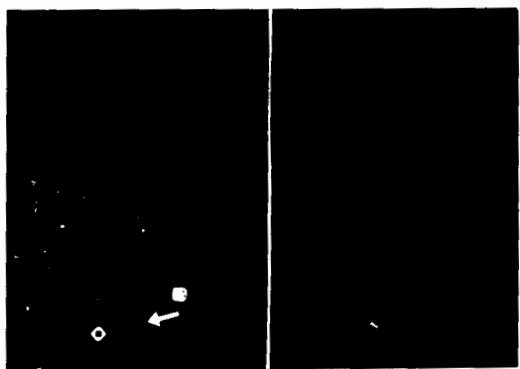


Рис. 7. Входная (а) и выходная (б) плоскости коррелятора при предъявлении 3-лучевой звезды заданной ориентации и геометрии.

лятора (б). На голографический фильтр записывался эталонный объект, совпадающий со звездой, отмеченной стрелкой на рис. 7а. Измерялись отно-

сительные флуктуации интенсивности сигнала корреляции (рис. 76) – отношение среднего квадратичного отклонения к среднему значению в зависимости от размера распознаваемого объекта на фотопленке (использовалась пленка МИКРАТ-300). Результаты приведены в табл. I.

Таблица I

Размер объекта мм	2,4±0,2	4,0±0,2	6,0±0,2	8,0±0,2	10,0±0,2	16,2±0,2
Относительные флуктуации	(9,1 ± 0,5) 10 ⁻²	(1,7 ± 0,1) 10 ⁻¹	(1,8 ± 0,2) 10 ⁻¹	(2,0 ± 0,2) 10 ⁻¹	(2,2 ± 0,1) 10 ⁻¹	(3,2 ± 0,2) 10 ⁻¹

Радиус корреляции фазовых шумов для пленки составляет $2,8 \pm 0,3$ мм. Для размера объекта 16,2 мм флуктуации превышают 30%, однако применением иммерсионной ванны их удалось уменьшить до величины $(1,2 \pm 0,2) 10^{-1}$. Требования улучшения оптического качества подложек пленки или обеспечения иммерсионной ванны при быстром просмотре большого количества фильмовой информации не могут быть оправданы экономически. Следовательно, размер участка объекта, который может быть использован для его распознавания, ограничен величиной около 3 мм, что существенно снижает надежность обнаружения, т.к. уменьшается число отсчетов по эталонному изображению.

Помимо указанных факторов: возможности повышения дифракционной эффективности и качества голографического фильтра, а также возможности увеличения числа отсчетов изображения, используемых для распознавания, выше упоминался третий фактор, обуславливающий необходимость перехода к схемам оптической обработки с излучением частичной пространственной когерентности – чрезвычайная чувствительность когерентных схем к точности установки голографического фильтра^{/26/}, из-за чего надежность их функционирования низка.

Можно сделать следующие выводы:

1. Использование голографических систем распознавания событий, зарегистрированных в трековых детекторах, возможно на стадии первичного отбора по форме или интенсивности сигнала корреляции.

2. Целесообразно разработать методы обнаружения событий с нефиксированной геометрией, т.к. ориентация и точная геометрия событий заранее обычно неизвестны, и поэтому число требуемых голографических фильтров может оказаться чрезмерно большим (около 10³).

ЛИТЕРАТУРА

- I. Vander Lugt A. Signal Detection by Complex Spatial Filtering. IEEE Trans. Inform.Theory, 1964, v.IT-10, N.2, p.139-145.
2. Falconer D.G. Optical Processing of Bubble Chamber Photogr. Appl.Opt., 1966, v.5, N.9, p.1365-1369.
3. Welford W.T. Optical Processing of Bubble Chamber Photogr. Opt.Acta, 1970, v.17, N.7, p.563-564.
4. Быковский Ю.А., Ларкин А.И., Лебедев Ю.С., Маркилов А.А., Стариков С.Н., Методы голографического распознавания образов. В сб. Проблемы голографии, М., МИРЭА, 1973, вып.П, стр.177-181.
5. Bykovsky Yu.A., Larkin A.I., Markilov A.A., Starikov S.N., Holographic Processing of Track Chamber Data. Nucl.Instr.Meth., 1975, v.131, p.129-132.
6. Стабников М.В., Тверской М.Г., Яновский В.В. Апостериорная оптическая обработка снимков ядерных расщеплений. Тез. докладов III Всесоюзной конференции по голографии, Ульяновск, 1978, Л., ЛИЯФ, стр. 253-254.
7. Быковский Ю.А., Ларкин А.И., Маркилов А.А., Стариков С.Н. О голографическом распознавании "простых" объектов. Квантовая электроника, 1979, т.6, № 9. стр. 2016-2023.
8. Букин О.А., Быковский Ю.А., Ларкин А.И., Маркилов А.А., Стариков С.Н. Анализ микроструктуры треков по функции автокорреляции изображений. В кн. Оптическая обработка информации, Л., Наука, 1978, стр. 72-82.
9. Lohmann A.W., Matched Filtering with Self-Luminous Objects. Appl.Opt., 1968, v.7, p.561-563.
10. Lohmann A.W., Real-Time Holography. Opt.Comm., 1971, v.3, N.1, p.73-76.
- II. Потатуркин О.И., Хоцкин В.И. Голографический метод обработки изображений в пространственно-некогерентном монохроматическом свете. В кн. Оптическая обработка информации, Л., ФТИ, 1979, стр.61-66.
12. Zarubin A.M., Larkin A.I., Markilov A.A., Matveev A.K., Mironov Yu.A., Starikov S.N. Optical Data Proc. with Transformation of Laser Radiation Spatial Coherence. In: Proc. 15th Int.Congr. on High Speed Photogr. and Photonics. 1982, San-Diego, USA, SPIE, v.348, pt.2, p.970-975.

13. Bykovsky Yu.A., Zarubin A.M., Larkin A.I., Markilov A.A., Matveev A.K., Starikov S.N., Holographic Data Proc. Based on Spatial Coherence Transformation. In: Lasers and Holographic Data Processing. Ed. by N.G.Basov, M.,Mir, 1984, p.30-66.
14. Katzir A., Young M., Glaser I. Pattern Recognition Using Incoherent OTF Synthesis and Edge Enhancement. Appl.Opt., 1985, v.24, N.6, p.863-867.
15. Herve A. et al., Nucl.Instr.Meth., v.202 (1982) p.417.
16. Benichou et al., CERN/EP 83-15, Geneva, 1983.
17. Бартке Е. и др. ОИЯИ, БИ-82-566, Дубна, 1982.
18. Андришчин А.М. и др. ИФВЭ, 84-3, Серпухов, 1984.
19. Majka R. CERN 85-10, 12 July 1985, In: Photonic Applied to Nucl. Phys., 2, Nucleophot, Strasbourg, Concil of Europe, 5-7 December, 1984, Geneva, 1985, p.136.
20. Быковский Ю.А., Ларкин А.И., Маркилов А.А., Стариков С.Н. Создание голограммных фильтров для распознавания образов с использованием стохастической аппроксимации. В сб. Применение методов оптической обработки информации и голографии. Ред. Гуревич С.Б., Соколов В.К., Л., ЛИЯФ, 1980, стр. 155-158.
21. Быковский Ю.А., Зарубин А.М., Ларкин А.И., Маркилов А.А., Матвеев А.К., Стариков С.Н. Голографическая регистрация амплитудно-фазовых объектов в пространственно-некогерентном свете. В сб.Труды IV Всес.конф. по голографии, Ереван, ЗНИИРИ, 1982, стр.953-954.
22. Беккер А.М., Бухтоярова Н.И. Определение геометрии события в пузырьковых камерах когерентно-оптическими методами.Тез.докл. У Всес.школы по оптической обработке информации, Киев, 1984, КГУ, стр. 122.
23. Быковский Ю.А., Королев-Коротков А.Н., Ларкин А.И., Маркилов А.А., Стариков С.Н. Амплитудно-фазовое распределение изображений в голографическом корреляторе с частично-когерентным освещением. Тезисы докладов У Всес. школы по оптич. обработке информации, Киев, 1984, КГУ, 1984, стр. 301-302.
24. Волков Л.В., Ларкин А.И., Маркилов А.А., Миронов Ю.А., Стариков С.Н. Применение телевизионной ЭЛТ в голографическом корреляторе и схеме записи Фурье-голограмм. В сб. Оптические и оптико-электронные методы обработки изображений и сигналов. Под редакцией Гуревича С.Б., Соколова В.К., Л., ЛИЯФ, 1982, стр. 67-71.

25. Ю.А. Быковский и др. ОИЯИ, РИ-86-669, Дубна, 1986.
26. Сороко Л.М. Основы голографии и когерентной оптики. М., Наука, 1971, стр. 616.