

Рис. 3. Программная реализация схемы

Литература

1. Jonathan Leach, Miles J. Padgett, Stephen M. Barnett, Sonja Franke-Arnold, and Johannes Courtial. Measuring the Orbital Angular Momentum of a Single Photon. — PHYSICAL REVIEW LETTERS, 2002, v. 88, N 25. — Яз. англ.
2. Бурлов С.А., Горохов А.В. Симметричный алгоритм шифрования с использованием "закрученного" света // Сборник трудов ИТНТ-2017, Самара: Самара: НОВАЯ ТЕХНИКА, 2017. С. 1-3.

С.А. Бурлов, Н.В. Егоров

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ КВАНТОВОГО КОДИРОВАНИЯ И ДЕКОДИРОВАНИЯ НА СОСТОЯНИЯХ ОРБИТАЛЬНОГО УГЛОВОГО МОМЕНТА ФОТОНОВ

(Самарский национальный исследовательский университет
 имени академика С.П. Королёва)

Введение. Для передачи квантовой информации с помощью фотонов обычно используется поляризация света. Однако очень заманчивые перспективы откроются, если для той же цели приручить другую характеристику фотонов — их «закрученность». До сих пор считалось, что передача фотонов на километровые расстояния через реальную турбулентную атмосферу сильно исказит сигнал и приведет к потере информации о закрученности. Новые и довольно простые эксперименты австрийской группы физиков под руководством Ан-



тона Цайлингера доказывают, что это не так. Они продемонстрировали довольно простую и на удивление надежную схему передачи информации, закодированной в виде закрученности, на расстояние 3 км прямо над центром Вены [1].

Цель данной работы – создание модели кодирования передаваемого сигнала с проверкой на четность. А также создание надежной и быстрой системы детектирования передаваемого сигнала.

Существует много способов кодирования. Самый простой способ – это проверка на четность, когда из последовательности битов получается контрольная сумма и определяется ее четность. При распространении квантовой информации бит четности можно передать отдельно световым пучком. Но при этом емкость информационного канала уменьшится, а следовательно, уменьшится время при передаче сигнала. В данном случае можно воспользоваться результатами работы [2], в которой предлагается встроить дополнительную информацию в световой пучок, которая и будет определять бит четности.

Результаты. Ниже представлена модель для генерации пучка Лагерра-Гаусса. Лазер генерирует световой пучок, который попадает в «Собиратель пучка» для фокусировки. Далее, световой луч проходит «Цилиндрические линзы», преобразуясь сначала в пучок Эрмита-Гаусса (на рисунке это синий луч), а потом в пучок Лагерра-Гаусса (на рисунке это зеленый луч). Для создания ЛГ пучка с суперпозицией противоположных состояний ОУМ используется интерферометр Маха-Цендера. Для генерации ЛГ пучка с противоположным значением ОУМ можно воспользоваться призмой Дове. На выходе получается интерференционная картина в виде лепестков.

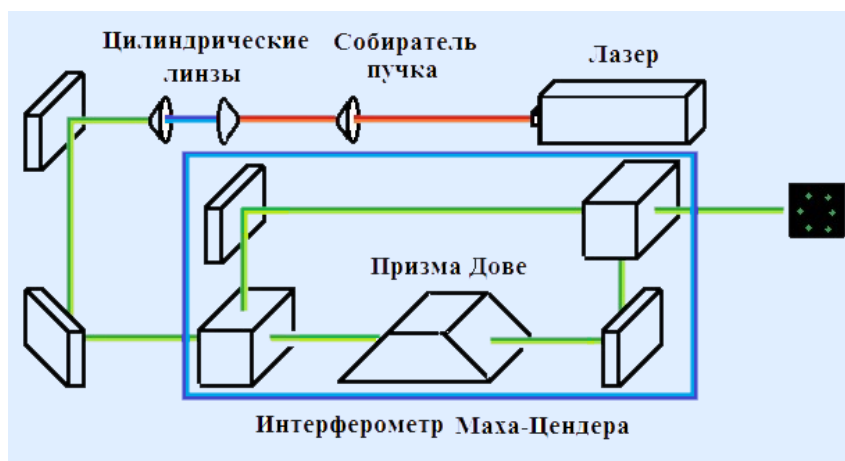


Рис. 1. Схема генерации ЛГ пучка

Для реализации модели кодирования была написана программа на языке *Java*, которая переводит изображение в последовательность интерференционных картин, состоящих из «пятен». Для увеличения скорости работы алгоритма используются только чёрно-белые изображения. Берется последовательность из четырех пикселей (на рисунке 2 они выделены красным цветом) и переводится



в четырёх битное число (черный пиксель переводится в 0, белый в 1). Полученному числу ставится в соответствие интерференционная картина. Каждая интерференционная картина соответствует одному из шестнадцати состояний ОУМ светового пучка. В данной работе не учитывалось искажение интерференционной картины в результате передачи светового пучка сквозь сильно турбулентную атмосферу. Кодовая таблица изображена на рисунке 3.

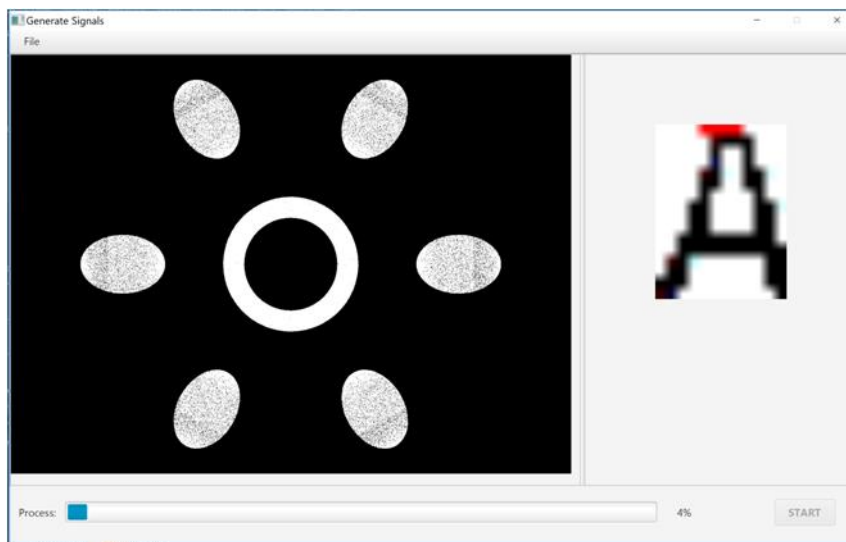


Рис. 2. Программа для кодирования изображения

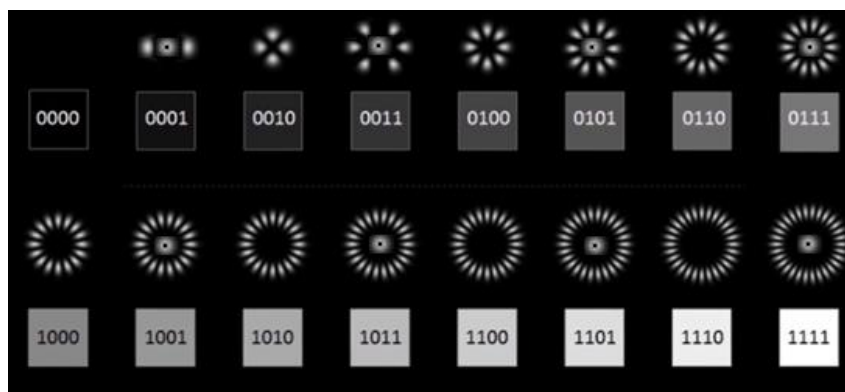


Рис. 3. Кодовая таблица

Сигнал представляет собой последовательность интерференционных картин, поэтому для его декодирования нужно воспользоваться алгоритмом распознавания графических образов. Самый эффективный алгоритм — метод Виолы-Джонса [3]. В методе используются признаки Хаара, которые организованы в каскадный классификатор. Процесс обучения классификатора занимает много времени, но зато поиск объекта на изображении очень быстрый, именно поэтому для реализации схемы декодирования был выбран данный алгоритм.

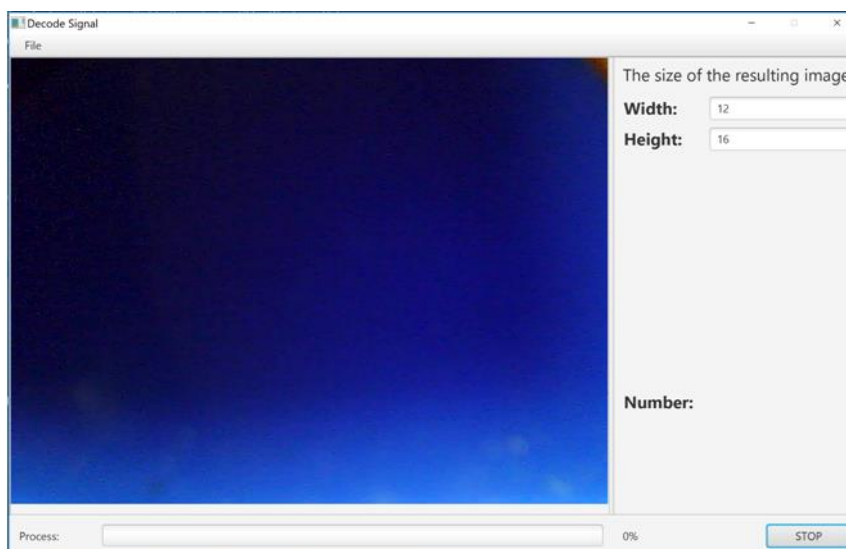


Рис. 4. Программа для декодирования изображения

Готовую реализацию метода Виолы-Джонса можно взять из библиотеки компьютерного зрения *OpenCV*. Процесс обучения каскада Хаара хорошо описан в статье [4]. Готовый каскад Хаара загружается во время исполнения программы в виде *XML* файла. Для декодирования сигнала необходимо посчитать количество "лепестков" и определить наличие кольца внутри. Таким образом, нужно два каскадных классификатора. Видео поток захватывается с простой веб-камеры, которая подключается к ноутбуку через *USB* интерфейс. Графический пользовательский интерфейс программы написан на языке *Java* (рисунок 4). При не соответствии количества "лепестков" интерференционной картины с битом четности программа выводит на консоль номер искаженной последовательности без попытки её восстановления.

Литература

1. M. Krenn, R. Fickler, M. Fink, J. Handsteiner, M. Malik, T. Scheidl, R. Ursin, A. Zeilinger, "Communication with spatially modulated light through turbulent air across Vienna",
2. Бурлов, С.А. Кодирование с проверкой на четность светового пучка Лагерра-Гаусса, несущего орбитальный угловой момент [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://repo.ssau.ru>, свободный. — Яз. рус.
3. P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '01), vol. 1, pp. 511–518, 2001.
4. Мальцев А.В. Обучение *OpenCV* каскада Хаара: [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/208092>. (Дата обращения: 3.03.2018).