УДК

Оптическая система передачи информации на основе оборудования электронного управления лучом

Н.С. Ласкавый¹, А.А. Журавлев¹, Е.Д. Вобликов¹, А.Г. Ефимов², А.Г. Каменев²

 $^1\Pi AO$ «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» 2OOO «ИРЗ»

Аннотация: в данной работе исследовались методы и средства электронного отклонения лазерного луча ИК-диапазона длин волн. Проведены исследования диаграммы направленности когерентного оптического интегрального излучателя, состоящего из 4 элементов с независимым управлением фазой.

Ключевые слова: фазированная решетка, оптический канал связи, управление лучом

1. Введение

Организация современных широкополосных каналов связи между низкоорбитальными космическими аппаратами (КА) характеризуется пропускной способностью порядка единиц Гбит/с, уменьшением массы, габаритных размеров и энергопотребления бортовой аппаратуры, обеспечением скрытности и защищенности передачи сигнала, а также уменьшение зависимости от наземной инфраструктуры и увеличение срока безотказной работы. На данный момент для построения подобных систем применяют межспутниковые оптические линии связи (МОЛС), в которых управление лучом осуществляется оптико-механическим способом.

Однако, для создания МОЛС между микроспутниками (а также нано-, пико- и фемто-) оптико-механические системы наведения и стабилизации лазерного луча неудобны или попросту невозможны вследствие высокой потребляемой мощности до нескольких Вт, возникновению нестабильности и понижению отказоустойчивости изза механического движения элементов, а также, в некоторых случаях, в силу ограничений на габариты и массу терминалов связи.

На данный момент в мире активно развиваются альтернативные методы управления лазерным лучом, такие как акустооптические дефлекторы [1-3] и оптические фазированные антенные решетки (ОФАР) [4-10]. Известны ОФАР на основе технологии кремний на изоляторе (КНИ), содержащие до 1024 элементов [9]. В настоящей работе представлены результаты исследования оптической решетки из 4 элементов с фазовращателями на основе электрооптического эффекта, которые позволяют управлять фазой с временем переключения менее 1 нс при нулевом энергопотреблении на управление.

2. Теоретическая проработка направления

ОФАР является устройством, сочетающим в себе концепции из оптики и радиофизики, так с точки зрения оптики ОФАР можно рассматривать в качестве двумерной дифракционной решетки, а изображение на экране в дальней области описывается формулами из Фурье-оптики, а с точки зрения радиофизики ОФАР это типичный представитель двумерной антенной решетки, а её диаграмма направленности описывается перемножением диаграмм направленности отдельных источников.

Для упрощения возьмем диаграмму направленности плоской решетки монохроматичных, идентичных и одинаково ориентированных излучателей,

амплитуды излучения которых равны между собой, а фазы вдоль перпендикулярных осей меняются по линейным законам. В таком случае диаграмма направленности данной ОФАР будет описываться зависимостью [11]:

$$F(\theta_x, \theta_y) = F_1(\theta_x, \theta_y) \frac{\sin\left[\frac{n_x}{2}(kd_x\cos\theta_x - \psi_x)\right]}{n_x\sin\left[\frac{1}{2}(kd_x\cos\theta_x - \psi_x)\right]} \times \frac{\sin\left[\frac{n_y}{2}(kd_y\cos\theta_y - \psi_y)\right]}{n_y\sin\left[\frac{1}{2}(kd_y\cos\theta_y - \psi_y)\right]}$$

где $F(\theta_x, \theta_y)$ – диаграмма направленности ОФАР, $F_1(\theta_x, \theta_y)$ – диаграмма направленности одного излучателя, n_x, n_y – количество излучателей по осям Ox, Oy соответственно, k – волновое число, d_x, d_y – расстояние между излучателями, θ_x, θ_y – углы, отсчитываемый от линии расположения излучателей, ψ_x, ψ_y – сдвиги по фазе между соседними излучателями.

3. Постановка эксперимента

Для того чтобы исследовать возможность применения ОФАР для управления лазерным лучом, было проведено исследование интерференционных картин в дальней зоне, возникающих при излучении квазимонохроматического сигнала с длиной волны 1550 нм. Для проведения эксперимента была собрана установка, показанная на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема экспериментальной установки; ИП – источник питания, ИИ – источник излучения, ИОС – интегрально оптическая схема, Д – оптический делитель, ФМ – фазовый модулятор, ИКК – инфракрасная камера, ПК – персональный компьютер; D – расстояние от передающей части до приемного элемента

В качестве исследуемых объектов были предложены две линейные ОФАР, имеющие отличную друг от друга конструкцию с двумя (Рис.2, а) и четырьмя (Рис.2, б) каналами, а также двумерную ОФАР, состоящую из четырех каналов с различными расстояниями между элементами по осям (Рис.2, в), на рисунке 2 представлено схематичное представление излучающих элементов исследуемых объектов.



Рисунок 2. Схема расположения излучающих элементов в исследуемых ОФАР; а) С двумя каналами первой конструкции, б) С четырьмя каналами второй конструкции, в) С четырьмя каналами первой конструкции

В первой конструкции передающая часть (делитель и фазовые модуляторы) выполнена в интегральном виде, во второй – в волоконном виде. Внесение разности фаз осуществлялось электрооптическим методом при нулевом энергопотреблении на управление. Расстояние D приблизительно равно 30 мм. Размер матрицы инфракрасной камеры составляет 11,3 х 11,3 мм.

Методика проведения эксперимента заключалась в изменении разности фаз между каналами, путем подачи напряжения на соответствующие контакты и изучением отклика интерференционной картины на данное изменение. Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Внешний вид экспериментальной установки

С помощью программных методов определялся максимум интерференционной картины, а при подаче напряжения фиксировалось его смещение.

4. Результаты эксперимента

На рисунке 4 приведены интерференционные картины, получаемые от различных исследуемых конструкций ОФАР.



Рисунок 4. Интерференционные картины в дальней зоне от различных конструкций ОФАР; а) С двумя каналами в интегральном исполнении, б) С четырьмя каналами в волоконном исполнении, в) С четырьмя каналами в интегральном исполнении

Для измерения отклонения луча за основу была взята схема с четырьмя каналами в интегральном исполнении, представленная на рис. 2 и 4 под буквой «в». Измерение распределения мощности оптической моды производилось с помощью ИК-камеры встроенными средствами. Отклоняющее напряжение поочередно подавалось на каждый из 4 каналов ФМ.



При управляющем напряжении 1 В получены следующие зависимости:

Отклонение максимума мощности в Рисунок 5. зависимости управляющего от напряжения (1 В)



При управляющем напряжении 5 В, получены зависимости:

Рисунок 6. Отклонение максимума мощности в зависимости от управляющего напряжения (5 В)

5. Заключение

Выводы:

1. Управление лучом с применением методов ФАР для оптических диапазонов волн возможно и достаточно эффективно, при этом имеется возможность использовать отечественную ЭКБ и имеющиеся технологии.

2. Требуется провести масштабную научную работу по адаптации теории классических ФАР к методам и средствам управления ОФАР

3. Необходимо провести экспериментальное и теоретическое исследование потенциальных технических характеристик разрабатываемых систем: дальности, ширина информационного канала, массогабаритные характеристики конечных устройств.

Список литературы

- 1. Антонов С.Н. Акустооптический дефлектор новый метод повышения эффективности и широкополосности Журнал технической физики, 2016, том 86, вып. 10
- Johannes Heberle, Peter Bechtold, Johannes Strau
 ß, Michael Schmidt Electro-optic and acousto-optic laser beam scanners // Laser-based Micro- and Nanoprocessing X, edited by Udo Klotzbach, Kunihiko Washio, Craig B. Arnold, Proc. of SPIE Vol. 9736, 97360L. – 2016
- 3. Sergey N Antonov, VA Kotelnikov A review of physical principles and applications of acousto-optic deflectors on the basis paratellurite // Phys Astron Int J. 2019;3(6):235–249.
- 4. Christopher V. Poulton Long-Range LiDAR and Free-Space Data Communication with High-Performance Optical Phased Arrays / Christopher V. Poulton, Matthew J. Byrd, Peter Russo, Erman Timurdogan, Murshed Khandaker, Diedrik Vermeulen, Michael R. Watts // IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS. Vol.25. Issue 5. 2019
- Pengfei Wang Large scanning range optical phased array with a compact and simple optical antenna / Pengfei Wang, Guangzhen Luo, Yajie Li, Wenyu Yang, Hongyan Yu, Xuliang Zhou, Yejin Zhang, Jiaoqing Pan // Microelectronic Engineering. – 224. – 111237. – 2020
- Christopher V. Poulton 8192-Element Optical Phased Array with 100° Steering Range and Flip-Chip CMOS / Christopher V. Poulton, Matthew J. Byrd, Benjamin Moss, Erman Timurdogan, Ron Millman, Michael R. Watts // CLEO. – 2020.
- Xianyi Cao Lidar system based on lens assisted integrated beam steering / Xianyi Cao, Gaofeng Qiu, Kan Wu, Chao Li, Jianping Chen // Optics Letters. – Vol.45. – №20. –p.5816–5819. – 2020.
- 8. Yongjun Guo Integrated optical phased arrays for beam forming and stearing / Yongjun Guo, Yuhao Guo, Chunshu Li, Hao Zhang, Xiaoyan Zhou and Lin Zhang // Applied Sciences. 11. 4017. 2021.
- 9. Ching-Pai Hsu A Review and Perspective on Optical Phased Array for Automotive LiDAR / Ching-Pai Hsu, Boda Li, Braulio Solano-Rivas, Amar R Gohil, Pak Hung Chan, Andrew D Moore, Valentina Donzella // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. Vol.27. Issue 1. 2020
- Мишагин К.Г., Шалфеев В.Д. Фазирование антенных решеток на основе эффектов коллективной нелинейной динамики. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые подходы в исследованиях и разработках информационно-телекоммуникационных систем и технологий». Нижний Новгород, 2006.
- 11. Драбкин А. Л. И др, Антенно-фидерные устройства. Изд. 2-е, доп. И перераб. М., «Совецкое Радио», 1974