УДК 621.3.092

**СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ**

**И. Ф. Поначевная, А. А. Ким**

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова*

На сегодняшний день лазерная локация является технологией высокоточного и высокоскоростного измерения. Лазерные сканирующие системы (ЛСС), т. н. сканирующие лидары (акроним, англ. LIDAR - LIght Detection And Ranging), способны за короткое время определить дальность до объекта и его точное расположение в пространстве, а также построить пространственную (3D) модель этого объекта.

В основу работы таких систем может быть заложен принцип покадрового сканирования окружающей обстановки с использованием импульсного времяпролетного метода измерения дальности до объектов [1]. Сущность импульсного времяпролетного метода измерения дальности (рис. 1) состоит в том, что к исследуемому объекту посылается короткий лазерный зондирующий импульс 1, при этом в сканирующей системе запускается временной счетчик 2. Когда отраженный объектом импульс 3 приходит обратно к ЛСС, работа счетчика останавливается. По измеренному времени определяется расстояние, на котором находится объект по формуле (1).

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где T – время, за которое импульс возвращается к приемнику, с – скорость света.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1 – Принцип времяпролетного метода измерения дальности до объекта |

Главной проблемой данного метода является то, что для однозначного определения расстояния до объекта зондирующий импульс излучается только после приема отраженного сигнала от предыдущего зондирующего импульса. Соответственно, появляются ограничения в производительности и информативности системы, связанные с частотой следования импульсов.

В первую очередь, ограничение по дальности сканирования. По мере увеличения расстояния до объекта сканирования. С увеличением дальности сканирования увеличивается время задержки и уменьшается частота следования зондирующих импульсов (формулы 1, 2).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

В формуле (2) –частота следования импульсов, – время, за которое импульс возвращается к приемнику (время задержки).

Как следствие, производительность системы падает, что, в свою очередь, приводит ко второму ограничению по пространственному разрешению. Уменьшение частоты следования импульсов накладывает ограничения на размер получаемого кадра и на скорость обновления информации (количество кадров в секунду) (формула 3).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

В формуле (3) – размер кадра, – скорость обновления информации (количество кадров в секунду).

Чтобы устранить указанные ограничения, необходимо обеспечить однозначное соответствие между излучаемыми зондирующими импульсами и принимаемыми рассеянными (отраженными) сигналами в случае, когда зондирующие импульсы будут излучаться до момента приема рассеянного (отраженного) сигнала от предыдущего зондирующего импульса.

Был проведен анализ существующих способов, позволяющих излучать зондирующие импульсы до момента приема рассеянного (отраженного) сигнала от предыдущего зондирующего импульса и, тем самым, повышать производительность и информативность ЛСС. Один из таких способов предлагает использование в качестве зондирующего излучения лазерные импульсы, различающиеся по длине волны [2]. Принципиальная схема такого способа приведена на рисунке 2. Оптическое излучение с разной длиной волны от лазерного локатора 1, поступает на разделитель 2 приемного и передающего тракта, а затем направляется на сканирующий узел 3, предназначенный для направления зондирующего излучения на объект 4. Оптические импульсы, отраженные и/или рассеянные объектом 4, поступают обратно на сканирующий узел 3, который направляет их на разделитель 2 приемного и передающего тракта. Разделитель приемного и передающего тракта направляет импульсы на селектор длин волн 5, который может быть выполнен как с использованием стандартных диспергирующих элементов типа дифракционной решетки или призмы, так и с использованием оптоволоконных элементов. Селектор длин волн разделяет импульсы по длинам волн и направляет их на приемники 6 оптического излучения.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2 - Принципиальная схема способа увеличения производительности ЛСС, основанного на использовании лазерных импульсов, различающихся по длине волны |

Частота следования импульсов на каждой длине волны определяется максимальным расстоянием для однозначного определения расстояния до объекта и в общем случае равна X кГц, тогда при последовательном излучении импульсов на различных длинах волн, время между ними будет определяться частотой n\*Х кГц, где n - количество длин волн, генерируемых излучателем локатора (рис. 3). Например, если в ЛСС лазерный локатор излучает импульсы с 4 разными длинами волн, то частота следования импульсов такой системы увеличится в 4 раза.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3 – Частота следования импульсов, различающихся по длине волны |

Однако данный способ имеет ряд недостатков, связанных с недостаточно эффективным использованием длин волн зондирующих оптических импульсов. Для улучшения параметров системы требуется увеличение количества используемых длин волн, что ведет к удорожанию ЛСС и усложнению схемотехнической реализации системы. Поэтому возникает задача повышения эффективности использования длин волн зондирующих импульсов без удорожания системы с использованием коммерчески доступных компонентов.

Для решения указанной задачи предлагается способ увеличения информативности и производительности ЛСС, который использует спектральное кодирование импульсов. Способ заключается в том, что каждый излучаемый зондирующий оптический импульс является результатом суммирования нескольких синхронно излученных импульсов равной длительности, которые отличаются друг от друга длиной волны. Генерируемые импульсы формируют уникальную кодовую комбинацию двоичных символов – 0 и 1. В такой комбинации количество кодовых разрядов соответствует количеству используемых оптических длин волн. При этом логической единице в N-ном кодовом разряде соответствует наличие ненулевой энергии оптического импульса с N-ной длиной волны, а логическому нулю соответствует отсутствие таковой энергии. При сканировании перебор спектральных кодовых комбинаций осуществляется циклично. В пределах одного цикла все кодовые комбинации уникальны, при этом должно исключаться повторение смежных комбинаций. Количество всех уникальных комбинаций можно рассчитать по формуле (4).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

где K – количество уникальных комбинаций, N – общее количество длин волн.

Для определения количества Km уникальных комбинаций в случае, когда в системе из общего количества длин волн N задействовано только M длин волн, можно использовать формулу (5).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

где N – общее количество длин волн, M – количество задействованных длин волн.

Общая схема реализации предложенного способа показана на рисунке 4. Для формирования кодовых комбинаций зондирующих импульсов используется технологии спектрального уплотнения каналов (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing). Оптическое излучение с разной длиной волны (λ1, λ2, λ3, … , λn) в определенной комбинации поступает на мультиплексор MUX. Суммарные зондирующие импульсы, сформированные мультиплексором, усиливаются волоконно-оптическим усилителем 1. Затем, через циркулятор 2 поступают на приемо-передающий сканирующий узел 3, который отправляет их на объект сканирования. Отраженное от объекта излучение улавливается приемо-передающим сканирующим узлом 3 и отправляется через циркулятор 2 на демультиплексор DMUX. Демультиплексор выделяет из принятого составного сигнала исходные компоненты с разными длинами волн и направляет их на соответствующие фотоприемники (ФП1, ФП2, ФП3, … ,ФПn) . Все компоненты такой системы коммерчески доступны.

|  |
| --- |
| C:\Users\Ира\Desktop\Диплом\Схемка.png |
| Рисунок 4 - Общая схема реализации предложенного способа увеличения информативности и производительности ЛСС |

Длины волн выбирались согласно рекомендованной сетке длин волн Международного Телекоммуникационного Союза (ITU GRID), используемой в технологии Спектрального Уплотнения Каналов. Выбор длин волн обусловлен параметрами усилителя, пропусканием атмосферы и т.д. Наиболее подходящей является сетка частотного плана 100 ГГц, длины волн которой находятся в пределах от 1520.25 нм до 1577.03 нм.

Теоретически, использование спектрального кодирования импульсов в ЛСС, в которой используется 4 лазера с длинами волн сетки 100 ГГц частотного плана, может увеличить частоту следования импульсов в 11 раз , как видно из таблицы 1.

Таблица 1 – Кодовые комбинации импульсов в ЛСС с 4 лазерами

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер импульса в последовательности / № спектрального канала | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 1 |  |  | 1 | 1 |  | 1 |  | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 |  |  |  | 1 | 1 | 1 | 1 |  | 1 |
| 3 |  | 1 | 1 | 1 |  |  | 1 | 1 |  | 1 | 1 |
| 4 |  |  | 1 |  | 1 | 1 |  | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Количество лазеров, задействованных в формировании кодовой комбинации | 2 | | | | | | 3 | | | | 4 |

Однако для правильной оценки расчета эффективности такого кодирования необходимо было провести энергетический расчет системы с использованием лидарного уравнения (6). Оно позволяет определить количество мощности отраженного от объекта излучения, пришедшее на фотоприемник с учетом всех потерь и ошибок системы.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

где – количество мощности отраженного от объекта излучения, пришедшее на фотоприемник, – пиковая мощность зондирующего импульса, – аппаратный коэффициент эффективности ЛСС, – коэффициент диффузного отражения от твердого тела, – дальность до объекта сканирования, – площадь приемной системы сканирующего узла, – атмосферный коэффициент ослабления.

В результате расчетов было выяснено, что количество мощности отраженного от объекта излучения, пришедшее на фотоприемник для каждой длины волны напрямую зависит от количества лазеров, задействованных в формировании кодовой комбинации, существенно отличется друг от друга и лежит в диапазоне от 7 нВт (4 задействованных лазера) до 14 нВт (2 задействованных лазера). Поскольку чувствительность современных фотоприемнкиков равна порядка 9,5 нВт, то необходима оценка оптимального количества задействованных лазеров. Оценка показала, что оптимальным количеством является 2 лазера, задействованных в формировании кодовой комбинации, при этом количество кодовых комбинаций в таком случае будет равно 6. Это позволит увеличить эффективность (частоту следования зондирующих импульсов) ЛСС в 6 раз.

Таким образом, реализация предложенного способа сканирования окружающей обстановки позволит эффективное увеличение скорости и дальности сканирования системы без повышения ее стоимости и габаритов.

**Библиографический список**

1  Козинцев В.И. Основы импульсной лазерной локации. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 г., 276 с.

2  Васильев Д. Н., Коняев М. А., Михайленко А. С., Орлов А. Е., Смоленцев С. С., Федотов А. Н. Патент РФ № RU 2587100 C2, G01S17/42, опубл. 27.11.2015.