

ОСОБЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ БАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФОРМ- ФАКТОРА

Арумов Г. П., Бухарин А. В., Тюрин А. В.

Институт космических исследований РАН
E-mail: tumbul@iki.rssi.ru

Аннотация. Рассмотрена комбинированная зондирующая система лидар-нефелометр, включающая в себя коаксиальную и биаксиальную схемы зондирования. Показано, что указанная схема по геометрическому форм-фактору позволяет измерять поперечные искажения пучка при его распространении в рассеивающей среде. В режиме нефелометра возможны измерения углового размера пучка. Этих измерений достаточно для определения аппаратной функции и глубины зондирования в рассеивающей среде.

1. Введение

Цель лидарных измерений - определение трассовой зависимости базовых параметров рассеивающей среды. К базовым параметрам относятся коэффициент обратного рассеяния (КОР) и коэффициент экстинкции (КЭ). Существующие импульсные лидары обратного рассеяния используют коаксиальную схему зондирования, в которой угловой размер пучка находится внутри поля зрения приемного канала. Трассовую зависимость базовых коэффициентов можно определить посредством аппаратной функции. В режиме импульсного зондирования эта функция представляет собой временную зависимость мощности сигнала обратного рассеяния из однородной атмосферы без ослабления. Аппаратная функция может быть найдена посредством моделирования. Формирование углового размера пучка определяется свойствами частично когерентного излучения лазера в передающем канале. В общем случае может быть недостаточно информации о выходных свойствах излучения лазера для моделирования геометрии пучка. Кроме того, возможны другие проблемы, например, сложная структура чувствительной области

детектора, отличный от нуля угол между оптическими осями и т. п. В связи с этим представляет интерес разработка метода экспериментального определения аппаратной функции. Для идеальной коаксиальной схемы зондирования (угловой размер зондирующего пучка и поле зрения совпадают) убывание аппаратной функции описывается квадратичным законом. Часто в лидарах используется биаксиальная схема зондирования. В этой схеме приемный и передающий каналы разнесены. Аппаратная функция имеет более сложный вид, так как представляет собой произведение двух множителей, один из которых характеризует геометрический форм-фактор (ГФФ), другой трассовую зависимость убывания обратного сигнала для коаксиальной схемы зондирования. Для определения аппаратной функции могут быть использованы перфорированные экраны [1]. Посредством таких экранов аппаратная функция может быть определена непосредственно. Другая возможность связана с применением такого режима зондирования, при котором трассовая зависимость обратного сигнала меняется плавно. Идеальным является режим, при котором обратный сигнал не зависит от расстояния до зондируемого объекта. В этом случае ключевой характеристикой лидара является ГФФ приемного и передающего каналов. ГФФ может быть непосредственно измерен лидаром, который включает в себя как коаксиальную, так и биаксиальную схемы зондирования.

2. Основные схемы зондирования

Рассмотрим Идеальную Коаксиальную Схему (ИКС) зондирования. Такая схема представляет собой совмещенные передающий и основной приемный канал с общей оптической осью [2]. В режиме лидара [3] лазерный импульс очень малой длительности облучает зондируемый объект. Одновременно с импульсом лазера включается приемник. В приближении геометрической оптики (ГО) максимальная мощность $P_0(z)$ импульсного излучения рассеянного плоскостью в приемный канал составляет см [4]

$$P_0(z) = \text{const } z^{-2} \varphi^{-2}(z), \text{ где } \varphi(z) = a(l^{-1} + z^{-1}) \quad (1)$$

Здесь $\varphi(z)$ - угловой размер пучка (поля зрения) на расстоянии z от входной апертуры лидара, $P_0(z)$ – максимальная мощность

обратного сигнала для ИКС, l - продольный размер ИКС, a - радиус входной апертуры приемного канала. Замена $z=ct/2$ дает аппаратную функцию ИКС. Из (1) следует, что в режиме лидара амплитуда обратного сигнала от поверхности на расстоянии z обратно пропорциональна площади пятна, ограниченного полем зрения приемного канала.

На зондирующем инструменте с ИКС нельзя наблюдать искажение ГФФ.

Рассмотрим идеальную ДвухПозиционную Схему (ДПС) зондирования [4]. Такая схема состоит из ИКС и дополнительного приемного канала. Геометрия дополнительного приемного канала такая же, как у ИКС. Угловой размер пучка и полей зрения совпадают. Дополнительный приемный канал светоизолирован от ИКС. В такой конфигурации входные апертуры приемных каналов касаются друг друга. Дополнительный приемный и передающий каналы образуют биаксиальную схему. Зондируемым инструментом с ДПС можно практически на любом расстоянии производить измерения отношения сигналов, регистрируемых приемными каналами.

Отношение сигналов характеризует перекрытие полей зрения приемных каналов внутри рассеивающей среды и является ГФФ полей зрения двух приемных каналов. Для дополнительного приемного канала максимальная мощность $P_1(z)$ определяется выражением

$$P_1(z) = P_0(z)G(z) \quad (2)$$

Здесь $G(z)$ - ГФФ двух приемных каналов. Основной особенностью лидара-нефелометра с ДПС является возможность измерения расстояний до рассеивающей поверхности, как по перекрытиям полей зрения, так и по задержке между моментом включения лазера и отраженным назад светом. Появление искажений пучка приводит к тому, что эти расстояния начинают различаться.

3. Калибровка

Для определения аппаратной функции ИКС достаточно измерить угловой размер поля зрения $\varphi(z)$. Для этого используются перфорированные экраны. Такой экран представляет собой тонкую непрозрачную пленку с круглыми монодисперсными

отверстиями с заданным размером [1]. Эти отверстия расположены на экране случайным образом. В зависимости от диаметра отверстий можно увеличивать угловой размер пучка и поле зрения основного приемного канала на некоторый угол $\Delta\varphi$.

Измерения $G(z)$ не представляют больших технических трудностей, так как требование о сохранении ориентации зондирующего пучка и рассеивающей поверхности является необязательным. Для этих измерений могут быть использованы плоские поверхности любых топографических объектов (поверхность здания, рекламные щиты, плакаты и т. п.). Затем перед входной апертурой устанавливается перфорированный экран. Измеряют обратный сигнал от рассеивающей поверхности при наличии экрана и без него [1]. Отношению этих сигналов сопоставляют новую дистанцию из $G(z)$, затем находят $\varphi(z)$. Затем для основного канала ДПС определяют аппаратную функцию см. (1). Аппаратная функция дополнительного приемного канала определяется произведением (2). Следовательно, для ДПС возможно экспериментальное определение аппаратной функции. Трудности указанных измерений связаны с наличием ближней зоны и необходимостью значительного ослабления интенсивности зондирующего излучения. Такие трудности могут быть решены переключением лидара в режим нефелометра.

4. Режим нефелометра обратного рассеяния

Прогресс в разработке диодных лазеров с управлением мощностью излучения уровнем тока запуска делает возможным режим работы ИКС в качестве нефелометра с циклограммой на рисунке 1. В начале создается модуляция импульса лазера, начиная от максимума с линейным убыванием до нуля в течение времени τ . В момент окончания импульса интенсивности зондирующего излучения, включается приемник в интервале от τ до 2τ . Тогда производится зондирование трассы в диапазоне $0 \leq z \leq L$, $L = c\tau/2$.

Можно показать, что обратный сигнал от рассеивающей поверхности, выраженный через количество сигнальных фотоотсчетов в интервале от τ до 2τ , обратно пропорционален квадрату углового размера поля зрения как

$$N(\tau; 2\tau) = \text{const} \varphi^{-2}(z) \quad (3)$$

Здесь $\varphi(z)$ определяется из (1). Из (3) следует, что для режима нефелометра на рисунке (1) происходит коррекция обратного сигнала на z^2 во время измерений.

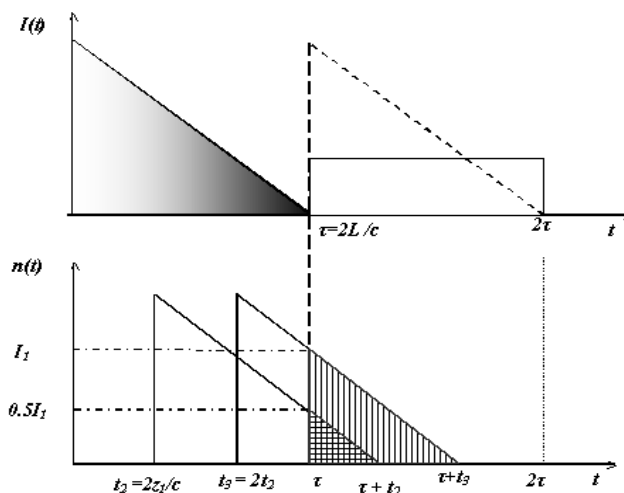


Рисунок 1. Режим работы нефелометра обратного рассеяния. $I(t)$ - интенсивность излучения на выходе передающего канала, $n(t)$ - частота срабатываний детектора в приемном канале.

Трассовая зависимость обратного сигнала делает возможным минимальное ослабление интенсивности излучения лазера во время калибровки лидара по рассеивающим поверхностям для измерения КОР.

В режиме нефелометра отсутствует пространственное разрешение вдоль трассы зондирования. Однако, КОР и КЭ можно измерить посредством использования только $G(z)$ и аппаратной функции. Например, по $G(z)$ можно найти параметр глубины зондирования внутри слоя, а суммарное количество фотоотсчетов пропорционально КОР для однородного слоя с предельно малой оптической толщиной.

Идеальному режиму нефелометра соответствовала бы коррекция на $(z+l)^2$. Тогда из (1) следует $N(\tau; 2\tau) = const$. Такой нефелометр позволяет измерить КОР и КЭ только по $G(z)$ без использования аппаратной функции. Реализация такого

измерителя может быть основана на методическом разнообразии методов коррекции. Например, линейному убыванию интенсивности зондирующего излучения соответствует коррекция на z^2 , постоянной интенсивности соответствует коррекция z . Следовательно, реализация идеального нефелометра возможна при использовании комбинированного режима с разными типами коррекции.

5. Выводы

Лидар-нефелометр с ДПС позволяет измерять трассовую зависимость $G(z)$ полей зрения двух приемных каналов. По трассовой зависимости $G(z)$ можно измерить угловой размер пучка посредством перфорированных экранов. Затем определить аппаратную функцию. Режим нефелометра позволяет измерить перекрытие полей зрения внутри рассеивающей среды. При известной зависимости $G(z)$ можно по отношению сигналов найти индикатор глубины распространения пучка внутри слоя. Монотонное нарастание трассовой зависимости обратного сигнала от рассеивающей поверхности позволяет упростить калибровку для определения аппаратной функции.

Литература

1. A. V. Bukharin, Physics of Wave Phenomena, 2007, Vol. 15, N 3, pp 191-200.
2. G. P. Arumov, A. V. Bukharin, I. M. Perfil'eva, Physics of Wave Phenomena, 2008, Vol. 16, N 4, pp 312-316.
3. R. M. Measures, Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications (Wiley, N. Y., 1983).
4. Bukharin A. V. // Physics of Vibrations, 2001, Vol. 9, Number 4, pp. 246 - 255.