

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ О ФОРМЕ И КООРДИНАТАХ ОБЪЕКТА ОТ ЛАЗЕРНЫХ 3D СКАНЕРОВ

А.В. Бабурин, Л.А. Глущенко, К.А. Иванов

В работе предлагается способ искажения информации об истинном местонахождении натуральных и инженерно-технических объектов во время проведения дистанционного сканирования с помощью средств трехмерной лазерной аппаратуры при создании неуполномоченным оператором цифровых 3-х мерных карт местности. Предлагаемый способ позволяет обеспечить получение оператором недостоверных цифровых карт. С целью защиты значимых объектов предлагается использование аппаратуры, искажающей значение дальности благодаря применению линии задержки зондирующего сигнала и ретранслятора. Данный подход дает наблюдателю ложное значение дальности, что приведет к искажению информации о координатах и форме объекта. Рассмотрено три варианта реализации линии задержки: аналоговая и цифровая электрические линии задержки, и оптическая линия задержки.

Ключевые слова: ретранслятор, трехмерное лазерное сканирование, дальномер, линия задержки сигнала, координаты объекта, оптоволокно.

Благодарность: авторы благодарят начальника отдела конструкторско-технологической подготовки производства АО «НИИ ОЭП», кандидата физ.-мат. наук Ловчего И.Л. за полезные консультации и обсуждения.

Введение

В настоящее время одним из способов сбора топографических данных является трехмерное (3D) лазерное сканирование. Эта бурно развивающаяся технология используется для картографирования и съемки.

3D лазерное сканирование позволяет создавать трехмерные профили рельефа местности с учетом расположенных в этой местности объектов (зданий, сооружений, машин, механизмов и т.д.). Оборудование 3D сканеров может базироваться на наземных, воздушных и космических носителях. Разные уровни детальности съемки могут представить многофакторную информацию для различного рода анализа развития городской и промышленной инфраструктуры и критически важных объектов инфраструктуры. У неуполномоченных наблюдателей существует потребность адаптироваться к постоянно меняющейся ситуации в части расположения и формы объектов критической инфраструктуры. Эту задачу может успешно решать трехмерное лазерное сканирование. Локационные системы могут применять зондирование узким пучком излучения и регистрацию на

одноэлементный приемник с использованием сканирующего устройства или освещение лазерным импульсом некоторого заданного участка пространства в широком угле и регистрацию на матричное фотоприемное устройство для создания 3D кадра. Обработка полученных данных позволяет определять форму объектов на фоне рельефа различной сложности и инфраструктуры. Развитие лазерной техники открыло возможность создания высокоточных, компактных, мобильных измерительных комплексов. Важными характеристиками лазерных систем являются высокая точность, чувствительность и пространственное разрешение. Это делает лазерные 3D системы объектом внимания различных структур, занимающихся добытием информации. С точки зрения организации защищенности информации об объекте от доступа неуполномоченным наблюдателем с помощью лазерной локационной 3D аппаратуры следует учитывать, что современные лазерные локационные системы могут работать в любом участке оптического спектра от УФ до дальнего ИК (10 мкм).

Применение ретранслятора лазерного излучения

Основным параметром локатора являются определяемые координаты,

которые должны быть измерены с заданной точностью. Лазерная локация основана на трех свойствах электромагнитных волн.

1. Электромагнитные волны отражаются от любых поверхностей, независимо от того, металлическая это поверхность или неметаллическая. При этом значение коэффициента отражения излучения различается для различных объектов и подстилающих поверхностей.

2. Прямолинейность распространения лазерного излучения и малые угловые размеры пучка излучения позволяют определить направление на объект при сканировании пространства лазерным лучом.

3. Постоянство скорости распространения лазерного излучения позволяет определить дальность до объекта.

Для импульсного метода дальнометрирования верно соотношение:

$$D = 0,5ct,$$

где D – расстояние от лазера до объекта,

c – скорость распространения лазерного излучения,

τ – время прохождения импульса излучения до объекта и обратно [1].

Мы видим, что определение дальности D сводится к определению времени τ .

Традиционные методы маскировки, позволяющие скрыть объект от обнаружения, как правило, не годятся для применения их на гражданских объектах. Для предотвращения неофициальному доступу к информации целесообразно использовать методы создания активных помех (смотри, например, [2]) или методы искажения информации, то есть генерирование сигналов, аналогично тому, как это предлагается организовывать в [3].

В работе предлагается вариант искажения информации, основанный на применении ретранслятора сигнала.

Решение задачи искажения информации заключается в обеспечении возможности введения в дальномер или 3D сканер, осуществляющий неофициальный доступ, ложной дальности до защищаемого объекта. Это достигается установкой на защищаемый объект оборудования, позволяющего

перехватить зондирующий сигнал дальномера, передать сигнал в монохроматор и линию задержки и затем на лазерный излучатель соответствующей длины волны. Задержка сигнала позволяет создать ложное значение времени прохождения импульса до объекта и таким образом ввести в зондирующую аппаратуру ложное значение дальности до защищаемого объекта.

Линия задержки представляет собой устройство, осуществляющее задержку электрических и электромагнитных сигналов. Для решения задачи искажения информации на приемнике аппаратуры лазерных дальномеров возможно использование как линий задержки электрических сигналов, так и линий задержки оптических сигналов.

В общем случае состав аппаратуры ретранслятора включает в себя следующие блоки:

- входной оптический блок;
- блок определения длины волны излучения, например, на основе монохроматора;
- блок ФПУ (фотоприемных устройств);
- линия задержки;
- АЦП (аналогово-цифровой преобразователь);
- цифровой анализатор формы импульса;
- микропроцессорный блок управления;
- блок лазерных излучателей с электронным блоком формирования формы импульса;
- оптический блок формирования диаграммы выходного излучения;
- блок питания.

Входной оптический блок (телескопическая оптическая система) осуществляет концентрацию излучения. Поскольку априори длина волны зондирующего излучения не известна, возникает необходимость в использовании диспергирующего оптического элемента (призмы или дифракционной решетки), который будет направлять перехваченное излучение на соответствующее ФПУ (в соответствии с длиной волны) или в соответствующий оптоволоконный канал.

Одновременно информация о длине волны перехваченного излучения передается в микропроцессорный блок управления. В блоке ФПУ оптический импульс преобразуется в электрический сигнал и производится нужное усиление. Линия задержки осуществляет необходимую задержку сигнала. Если используется линия задержки аналогового электрического сигнала, после линии задержки сигнал попадает в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и затем уже в цифровой форме в анализатор формы импульса. Информация о форме импульса передается в микропроцессорный блок управления. Блок лазерных излучателей осуществляет излучение сигнала с нужной длиной волны, которая определена монохроматором и передана в блок лазерных излучателей через микропроцессорный блок управления. Блок управления задаёт нужную форму импульсов определенной длительности для лазерного излучателя соответствующей длины волны. Оптический блок формирования диаграммы направленности излучения осуществляет вывод излучения в атмосферу. В этом блоке формируется широкая диаграмма направленности излучения, имитирующая отражение от диффузной поверхности.

Электрические сигналы можно пропускать через аналоговую линию задержки, а также через цифровую. Для аналогового сигнала можно использовать кабельную линию, то есть для задержки можно использовать длинную линию передач, например на коаксиальных кабелях. Такие линии задержки просты и надежны, время задержки пропорционально длине линии. Условные обозначения линии задержки (ЛЗ) показаны на рис. 1. Отрезок длинной линии без потерь служит простейшей реализацией задерживающей цепи. Сигнал в цепи распространяется в режиме бегущих волн. Потери в таких линиях отсутствуют. Время запаздывания сигнала можно определить через длину линии l и скорость распространения сигнала

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

как

$$t_3 = l/v,$$

где L – индуктивность цепи (линии задержки),
 C – емкость цепи.

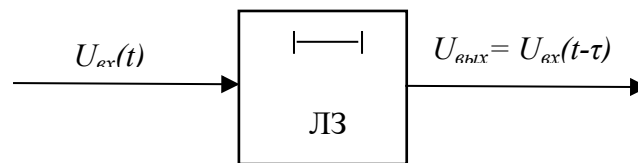


Рис. 1 Обозначения линии задержки

Аналоговую линию задержки без потерь изображают в виде эквивалентной схемы (рис. 2).

Для целей задержки сигнала необходимо использовать линию с малыми потерями, поскольку в линиях с потерями сигнал будет испытывать искажения. В линиях с малыми потерями скорость распространения сигнала $v = 3 \cdot 10^8$ м/с. Отметим, что аналоговые линии задержки обладают высокой точностью и

стабильностью времени задержки, минимально искажают сигнал, однако аналоговые линии задержки с распределенными параметрами имеют большие размеры и осуществляют малую задержку – доли и единицы микросекунд. Задержка от 0,01 до 1 мкс даст ложное увеличение дальности порядка 3 м...300 м. Структурная схема устройства с кабельной линией задержки показана на рис.3.

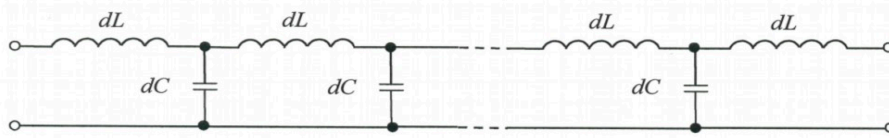


Рис.2. Схема электрическая (эквивалентная) отрезка длинной линии

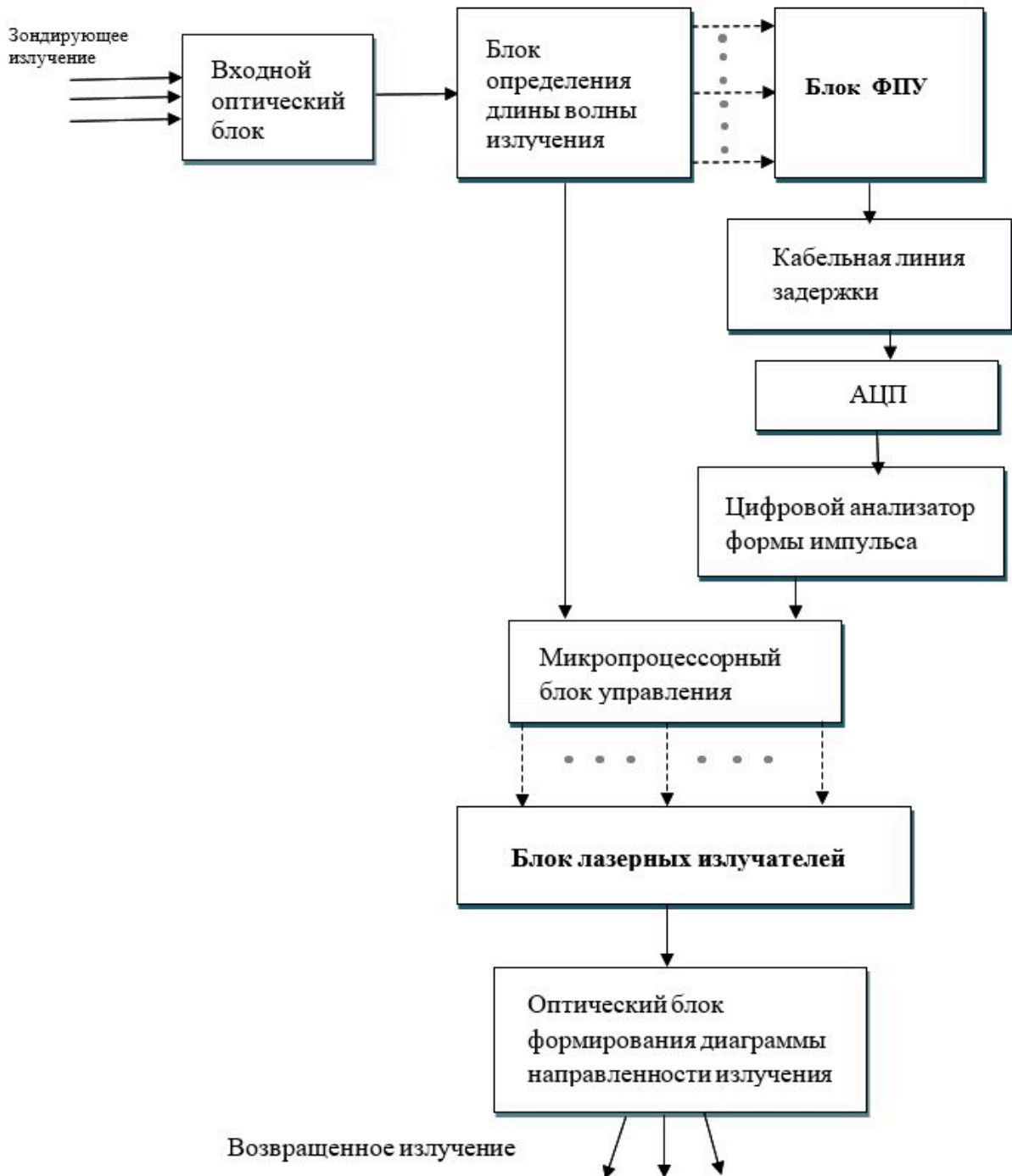


Рис.3. Структурная схема аппаратуры с кабельной линией задержки

Использование линии задержки и ретранслятора снижает эффективность работы лазерного 3D сканера в части определения дальности до объекта или фрагмента объекта. Даже если отраженный сигнал будет зарегистрирован 3D сканером раньше, чем ложный сигнал, достоверность измерения будет снижена. Кроме того, излучатель ретранслятора позволяет сформировать сигнал, который будет превосходить по мощности отраженный сигнал. Таким образом, вероятность обнаружения ложного сигнала будет выше, чем истинного. Это обеспечит искажение формы объекта для стороннего наблюдателя.

Современный уровень развития техники позволяет создавать линии задержки в цифровой форме. Для этого могут

использоваться сдвиговые регистры. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) также можно использовать в качестве линии задержки. Из конкретной ячейки ОЗУ данные сдвигаются в следующую ячейку на каждом такте, далее в эту ячейку памяти записывается следующее двоичное число на входе. Время задержки определяется как

$$t_3 = (n-1)/v_t,$$

где v_t – тактовая частота,

n – количество адресуемых ячеек.

Регистры сдвига, как правило, представляют собой несколько триггеров, соединенных между собой, как показано на рис. 4.

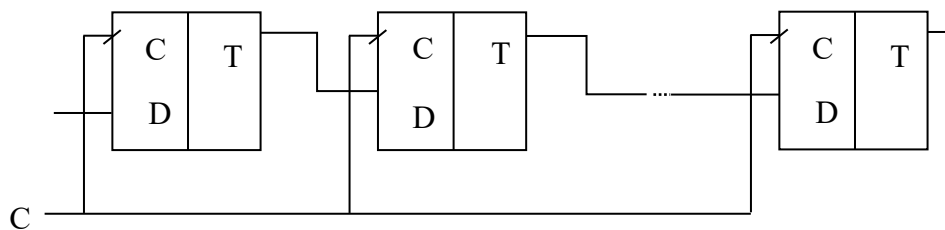


Рис.4. Схематическое изображение сдвигового регистра
Т-выход, D – вход, C - тактовые входы (объединены)

На рис. 5 схематично показана работа линии задержки, здесь RG – обозначение регистра сдвига, как это принято на схемах (в отечественных каталогах регистры сдвига обозначаются как ИР).

Возможно также использовать специальные микросхемы для формирования временных функций. Например, фирма Dallas Semiconductor выпускает такие микросхемы. Понятно, что аналоговый сигнал предварительно необходимо преобразовать в цифровой с помощью АЦП. Существуют различные типы сдвиговых регистров, которые отличаются способами функционирования и выпускаются в виде стандартных микросхем. На рис. 5 для примера показан 8-разрядный регистр сдвига ИР8, у которого один вход, на который подается информация и 8 параллельных выходов. Тактовый сигнал C управляет

сдвигом информации в сторону старших регистров. Вход сброса R нужен для сброса всех выходов регистра в ноль.

Структурная схема аппаратуры с цифровой линией задержки показана на рис. 6. В современных процессорах тактовая частота имеет значение до 3 ГГц. Например, при тактовой частоте 5МГц и регистре сдвига из 11 ячеек получим время задержки 2 мкс. Следует отметить, что в цифровых линиях задержки время задержки может настраиваться программным способом. Поскольку регистр сдвига может иметь несколько выходов, это позволяет получить несколько сигналов со своим временем смещения относительно входного сигнала. Используя такой подход, можно реализовать имитацию отражения сигнала от нескольких объектов.

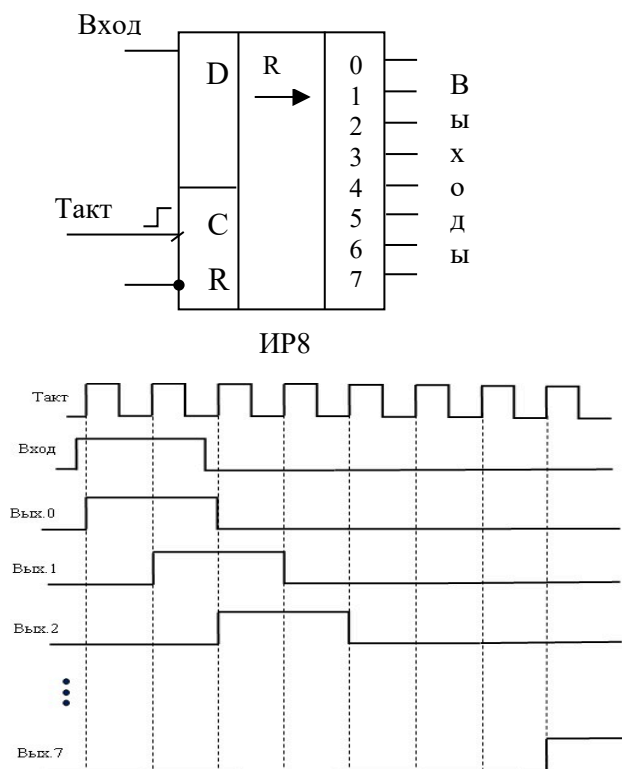


Рис.5. Иллюстрация функционирования регистра сдвига

В связи с бурным развитием волоконно-оптических линий передачи данных и расширением спектрального диапазона пропускания оптоволокна можно реализовать оптическую линию задержки сигнала.

В этом случае задержка сигнала обеспечивается меньшей скоростью распространения сигнала в оптоволокне (относительно скорости распространения света в вакууме) с высоким показателем преломления. Задержка при прохождении сигнала в оптоволокне аналогична задержке при прохождении сигнала в кабеле

$$t_3 = l/v,$$

где l – длина отрезка линии,

$v = c/n$, c – скорость света в вакууме,

n – коэффициент преломления сердечника оптоволокна.

Типовое значение показателя преломления оптоволокна 1,476...1,495. Структурная схема аппаратуры с оптической линией задержки приведена на рис.7.

В оптоволокне с показателем преломления $n = 1,495$, скорость

распространения сигнала $v = 2,007 \cdot 10^8$ м/с. В этом случае задержка в оптоволокне длиной 300 м составит $t_3 = 1,495$ мкс.

Стоит отметить особенность организации оптической линии задержки. Для излучения различных участков оптического спектра следует выбирать оптоволокно, выполненное из различных материалов. Кварцевые волокна используются, в основном, в УФ-диапазоне и в ближнем ИК-диапазоне (примерно до 2 мкм). Это обусловлено следующими причинами:

- нет материала более прозрачного в УФ-диапазоне, чем кварцевое стекло;

- с ростом рабочей длины волны потери, связанные с рэлеевским рассеянием, уменьшаются как λ^{-4} и, соответственно, снижаются общие потери кварцевых волокон до уровня $\sim 0,2$ дБ/км на $\lambda = 1,55$ мкм;

- на длинах волн более 1,6 мкм наблюдается рост потерь, вызванный фоновым поглощением за счет колебания атомов в решетке стекла;

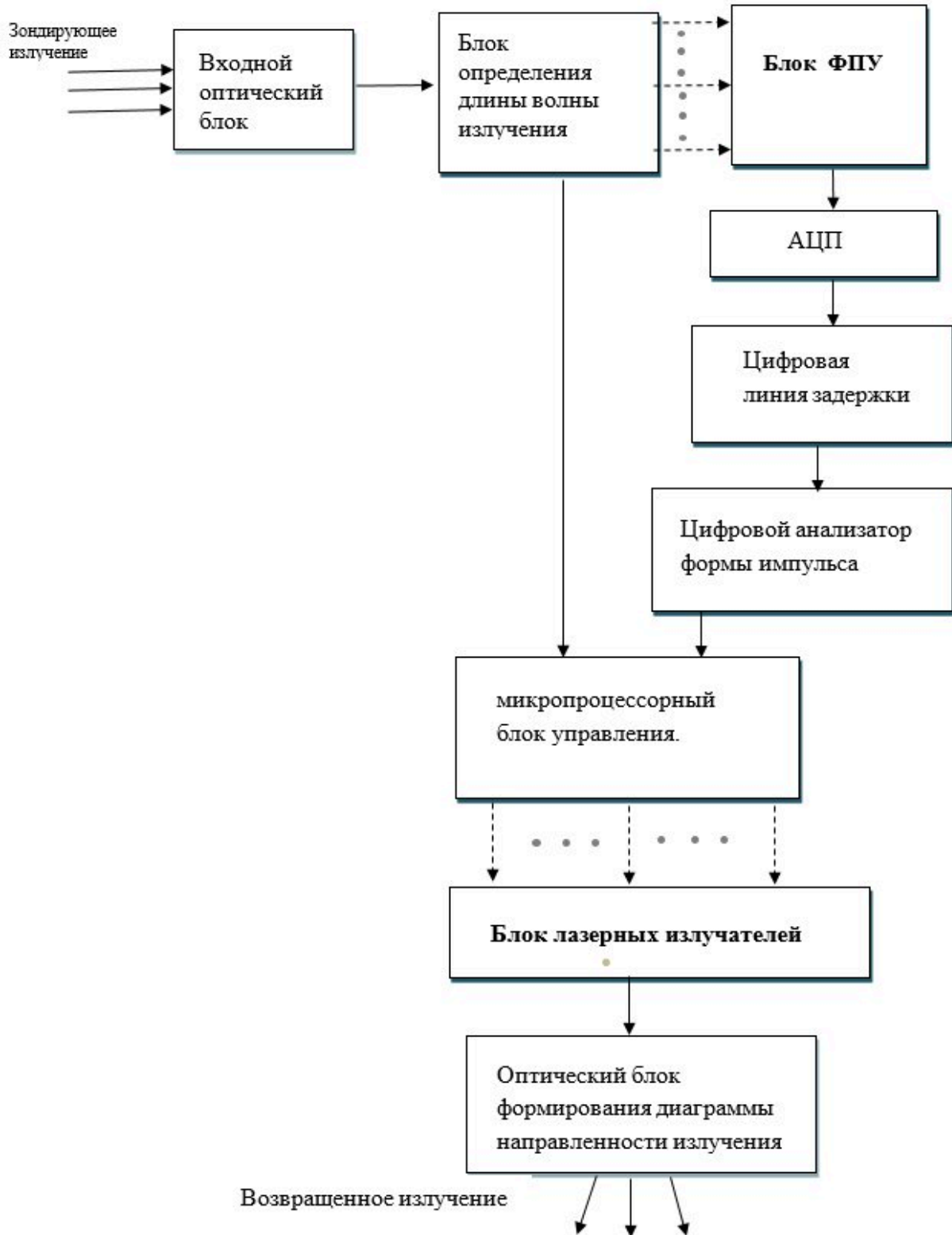


Рис.6. Структурная схема аппаратуры с цифровой линией задержки

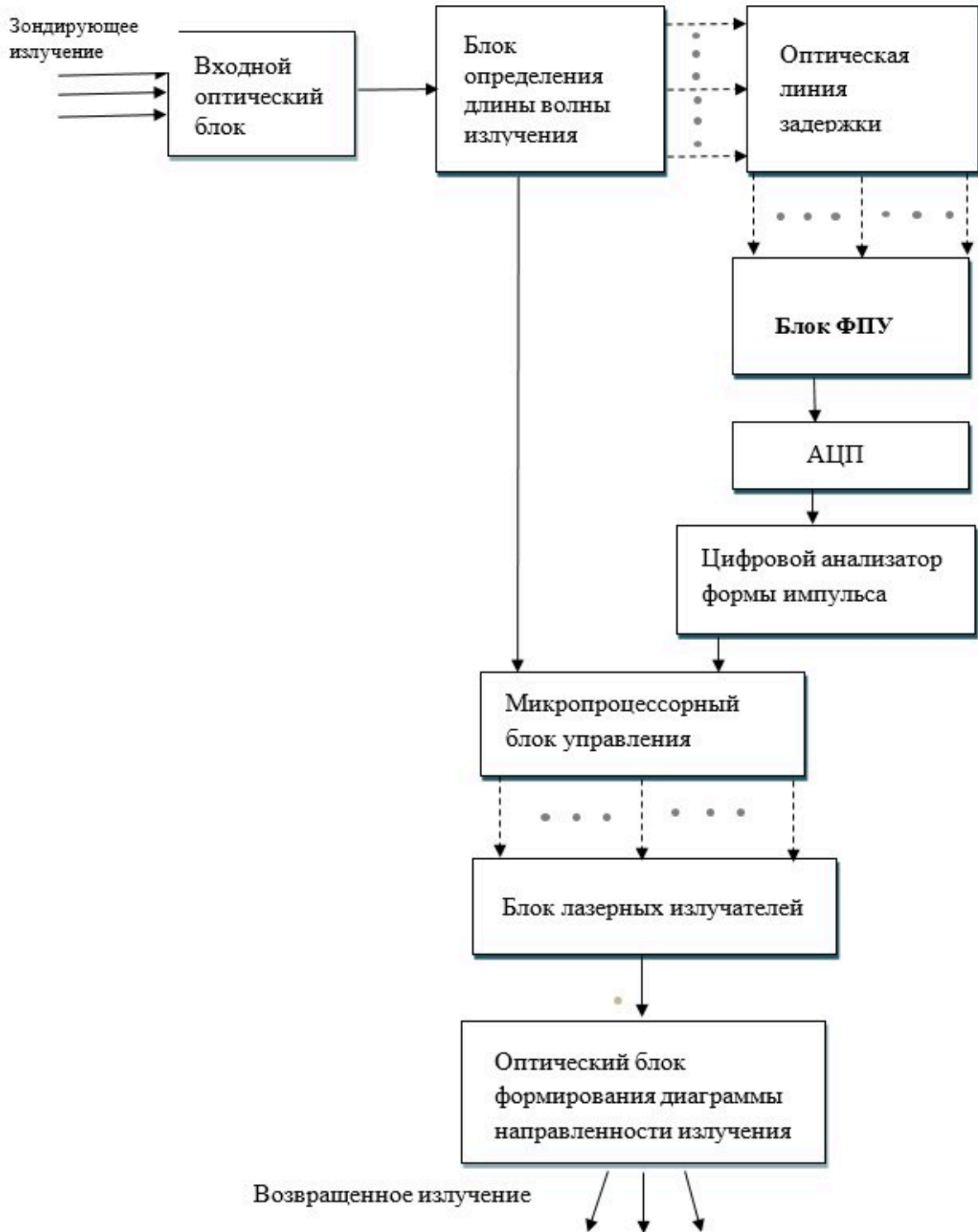


Рис.7. Структурная схема аппаратуры с оптической линией задержки

– в видимой области спектра потери в кварцевых волокнах составляют ~ 225 дБ/км и 45 дБ/км на длинах волн 0,4 и 0,6 мкм соответственно, это достаточно высокий уровень потерь.

В видимой области спектра используют пластиковые волокна или полимерные. В диапазоне от 1,6...2 мкм могут быть использованы флюоридные ZBLAN волокна – это волокна легированные фторидами тяжелых металлов, а именно фторидом циркония (Zr), бария (Ba), лантана (La), алюминия (Al) и натрия (Na).

В связи с этим представляет интерес использование новых материалов для световодов в видимой области, которые в отличие от кварцевых волокон были бы более дешевыми и технологичными. В качестве таких материалов используются натриево-кальциево-силикатные ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$) или натриево-боро-силикатные ($\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) стекла.

При использовании лазерных локационных систем неуполномоченным наблюдателем для определения координат объектов, как правило, используют лазерные системы ИК диапазона для снижения заметности зондирующей аппаратуры. Для смещения границ пропускания оптоволокна в область больших длин волн используют фторидные и халькогенидные материалы, а также материалы на основе галогенидов таллия и серебра. Используют также оптоволокно на основе сульфидного стекла и селенидного стекла. Это позволяет сместить область рабочих длин волн до 10 мкм.

Заключение

Рассмотрен один из вариантов защиты координат и формы объектов от измерения неуполномоченным наблюдателем с применением лазерных локационных 3D средств. Предлагается использовать для защиты аппаратуру, содержащую ретранслятор и линию задержки сигнала. Использование ретранслятора в комбинации с линией задержки сигнала позволяет организовать искажение информации для неофициального наблюдателя. Задержка

сигнала позволяет, при определении дальности до объекта, навязать наблюдателю ложное значение и, соответственно, исказить информацию о форме объекта. Предложено три варианта реализации линии задержки: аналоговая электрическая линия задержки, цифровая электрическая линия задержки и оптоволоконная (оптическая) линия задержки. Приведены структурные схемы ретрансляторов с использованием разных вариантов линии задержки. Электрические линии задержки представляются универсальными и могут быть использованы при защите от 3D сканеров, работающих на любых длинах волн. При этом аналоговые линии задержки ограничены по времени задержки, в то время как цифровые линии задержки могут быть запрограммированы на задержку любых временных масштабов. Оптоволоконные линии задержки легче всего использовать в диапазоне от 800 до 1750 нм, что соответствует ближнему ИК-диапазону. оптоволокно из полимерных материалов позволяет организовать линию задержки для излучения видимого диапазона. Следует отметить, что современный уровень развития технологий изготовления оптоволокна характеризуется применением новых материалов, для которых рабочие длины волн охватывают ИК-диапазон вплоть до 10 мкм.

Список литературы

- 1 Козинцев В.И. Основы импульсной лазерной локации. Под редакцией В.Н. Рождествина / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.М. Орлов, В.А. Городничев, Б.В. Стрелков. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 - 573с.
- 2 Патент № 2186409 РФ, МПК G 01 S 17/88, 7/38. Способ создания активных помех лазерным средствам дальнометрирования / В.А. Лесин, В.И. Корнилов, А.А. Кузнецов. Заявлено 01.08.2000. Опубл. 27.07.2002. Бюл. №21. 7с.
- 3 Бабурин А.В. Защита от несанкционированного доступа информации, циркулирующей в беспроводных ИК-каналах передачи данных / А.В. Бабурин, Л.А. Глущенко, Б.Н. Добряков // Информация и безопасность. 2020. Т. 23. Вып. 4. С. 511-518.

Воронежский государственный технический университет
Voronezh State Technical University

Научно-исследовательский институт электронного приборостроения
Scientific Research Institute for optoelectronic instrument engineering

Поступило в редакцию 14.05.24

Информация об авторах

Бабурин Александр Вильямович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», e-mail: Mr.bav49@mail.ru

Глущенко Лариса Александровна – канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, АО «Научно-исследовательский институт электронного приборостроения», e-mail: Gla2016@rambler.ru

Иванов Кирилл Анатольевич – канд. техн. наук, начальник сектора, АО «Научно-исследовательский институт электронного приборостроения», e-mail: IvanovKA@nioep.ru.

**A METHOD FOR PROTECTING INFORMATION ABOUT THE SHAPE
AND COORDINATES OF AN OBJECT FROM 3D LASER SCANNERS**

A.V. Baburin, L.A. Glushchenko, K.A. Ivanov

The work proposes to use equipment containing a repeater and a signal delay line to protect information about the coordinates and shape of critical infrastructure objects from being determined by an outside observer using three-dimensional laser scanning. Repeater in combination with a signal delay line allows to organize misinformation for the observer. The signal delay is required to impose a false value of the distance to the object for the observer. This leads to distortion of information about the coordinates and shape of the object. Three options for implementing a delay line are considered: an analog electrical delay line, a digital electrical delay line and a fiber optic delay line.

Keyword: repeater, 3D laser scanning, rangefinder, signal delay line, object coordinates, optical fiber

Submitted 14.05.24

Information about the authors

Alexandr V. Baburin – Dr. Sc. (Technical), Professor, Voronezh State Technical University, e-mail: Mr.bav49@mail.ru.

Larisa A. Glushchenko – Cand.Sc. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, Public Limited Company «Scientific Research Institute for optoelectronic instrument engineering», e-mail: Gla2016@rambler.ru.

Kirill A. Ivanov – Cand.Sc. (Technical), Head of Sector, Public Limited Company «Scientific Research Institute for optoelectronic instrument engineering», e-mail: IvanovKA@nioep.ru.