

Комплексирование данных георадара и лазерного дальномера при зондировании снежного покрова

В.Н. Марчук¹, В.И. Григорьевский¹

¹ Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 141190 Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1.

E-mail: marchuk_vn@mail.ru, vig248@ire216.msk.su

Представлены результаты обработки данных эксперимента по определению высоты снежного покрова на участке с относительно ровным рельефом местности с помощью георадара и лазерного дальномера. Описаны проблемы совместной обработки радиолокационных данных и данных лазерного дальномера. Предложены алгоритмы оптимального использования данных лазерного дальномера для управления георадаром. Ключевые слова: георадар, лазерный, дальномер, снег, точность измерений

Integration of Ground-penetrating Radar and Laser Rangefinder data when probing snow cover

V.N. Marchuk¹, V.I. Grigorievsky¹

¹ Fryazino Branch of the Institute of Radio Engineering and Electronics. V.A. Kotelnikov RAS, 141190 Fryazino, Moscow region, pl. Vvedensky, 1

The paper presents the results of data processing of an experiment to determine the height of the snow cover on a site with a relatively flat terrain using a georadar and a laser rangefinder. The problems of joint processing of radar data and laser rangefinder data are described. Algorithms for optimal use of laser rangefinder data for GPR control are proposed.

Keywords: ground penetrating radar, laser, rangefinder, snow, accuracy

Введение

Определение толщины снежного покрова дистанционными методами с борта летательного аппарата по-прежнему является актуальной задачей для многих областей народного хозяйства, от оценки объема и массы снега на крышах зданий и сооружений, до предупреждения схода снежных лавин в горных местностях. Данная работа является продолжением серии экспериментов, начатых два года назад [1-3].

Целью работы является усовершенствование алгоритмов управления и сбора данных комплекса дистанционного определения толщины снежного покрова с помощью георадара и лазерного дальномера для комплексирования получаемых данных в процессе сбора и при последующей обработке.

Модернизация алгоритмов сбора и обработки

Как и раньше в этой работе рассматривается моделирование дистанционной работы комплекса георадар – лазерный дальномер, путем протягивания вышеуказанного комплекса по тросу, натянутого между окнами здания на высоте около 10 метров (рис.1). Провисание троса под действием веса прибора имитирует переменную высоту полета летательного аппарата.

В прежних экспериментах сбор данных георадара и лазерного дальномера осуществлялся двумя независимыми системами управления. Поэтому алгоритм сбора данных выглядел следующим образом:

- Настройка параметров лазерного дальномера

- Настройка параметров георадара
- Запуск сбора данных лазерного дальномера
- Проверка корректности определения высоты лазерным дальномером
- Запуск сбора данных георадара
- Начало перемещения комплекса
- Относительно равномерное перемещение комплекса вдоль троса с одновременным сбором данных георадара и лазерного дальномера
- Завершение движения, выключение георадара, затем лазерного дальномера.
- Сохранение массива данных георадара.



Рис.1. Вид полигона для проведения эксперимента.

В данной схеме следует учитывать несколько существенных моментов.

1. Объем данных лазерного дальномера невелик (не более 10 отсчетов в секунду) и может сохраняться на жесткий диск в режиме реального времени.
2. Поток данных георадара составляет десятки выборок в секунду, по 512 отсчетов каждая, при этом производится предварительная обработка и визуализация полученной радарограммы. Поэтому данные георадара записываются на жесткий диск после завершения эксперимента (во избежание нарушений равномерности процесса сбора данных обращением к сравнительно медленному устройству хранения).
3. Запуск георадара и лазерного дальномера производится одновременно.
4. Движение аппаратуры вдоль троса может быть неравномерным: в начале и в конце трос имеет сильный уклон, поэтому в самом начале движение быстрое, в конце – медленное. В середине трассы траектория более пологая, но, из-за того, что аппаратура на тросе слегка раскачивается, возможны рывки и проскальзывания.

В связи с этим алгоритм совместной обработки данных выглядел следующим образом:

- Совмещение момента времени начала сбора данных лазерного дальномера с началом работы георадара.
- Определение наиболее характерных точек рельефа поверхности по данным георадара и дальномера, сопоставление и приведение данных к единому масштабу.
- Построение радарограммы, выделение на ней линии отражения от поверхности грунта и линии отражения от верхней границы снежного покрова.
- Учет траектории движения комплекса, вычисление поправочных временных сдвигов запаздывания сигнала, вызванных изменением высоты комплекса над поверхностью грунта.
- Приведение радарограммы к единому уровню по глубине, с учетом вычисленных поправочных коэффициентов.
- Нанесение на приведенную радарограмму результатов лазерного дальномера.
- Сравнение и уточнение полученных результатов.

В процессе усовершенствования комплекс был дополнен датчиком расстояния (одометром), позволяющим формировать метки через каждые 2.55 см, что дает возможность учесть и устранить искажения тректории, вызванные неравномерным движением вдоль троса. Полученный макет комплекса представлен на рис. 2. Характеристики данного комплекса описаны в работах [1, 2]. Приведем наиболее существенные из них. Расчетная точность определения толщины снега георадаром составляет 15 см. Точность определения дальности лазерным дальномером – порядка 1 см.

На рис.3 приведена радарограмма, полученная по результатам обработки данных георадара. По горизонтали отложены расстояния пройденного пути в метрах. По вертикали справа показано время запаздывания отраженного сигнала, слева – расчетная дальность до отражающей поверхности. Зеленым цветом на радарограмме нанесена кривая, соответствующая отражению от поверхности грунта, белым цветом – отражению от верхней кромки снежного покрова. В начале и в конце трассы видны кривые гиперболического вида, вызванные отражением от металлических конструкций на стене здания, предположительно элементов кондиционеров. В центре радарограммы на сигнал от пешеходной дорожки накладывается мощный сигнал, вызванный отражением бокового лепестка диаграммы направленности антенн от металлического козырька над входом в здание.

Из анализа полученной радарограммы следует, что полезная часть сигнала, относящаяся к отражению от поверхностей снега и грунта, занимает по высоте 20 – 25% радарограммы, остальная часть радарограммы служит для того, чтобы компенсировать смещение сигнала из-за изменения высоты нахождения комплекса над поверхностью грунта. Тем не менее в середине трассы высота оказывается настолько мала, что отражение от верхней кромки снега может выходить за верхнюю границу радарограммы.

В связи с этим предлагается усовершенствовать алгоритм сбора данных следующим образом:

- запуск сбора данных георадара и лазерного дальномера осуществляется одновременно внешней управляющей программой;
- при появлении метки одометра считываются показания лазерного дальномера, на основании которых рассчитывается оптимальное время запуска начального момента сбора данных георадара;
- производится сбор радиолокационных данных в заданном диапазоне высот;

- данная процедура повторяется до достижения конца трассы и остановки работы комплекса.

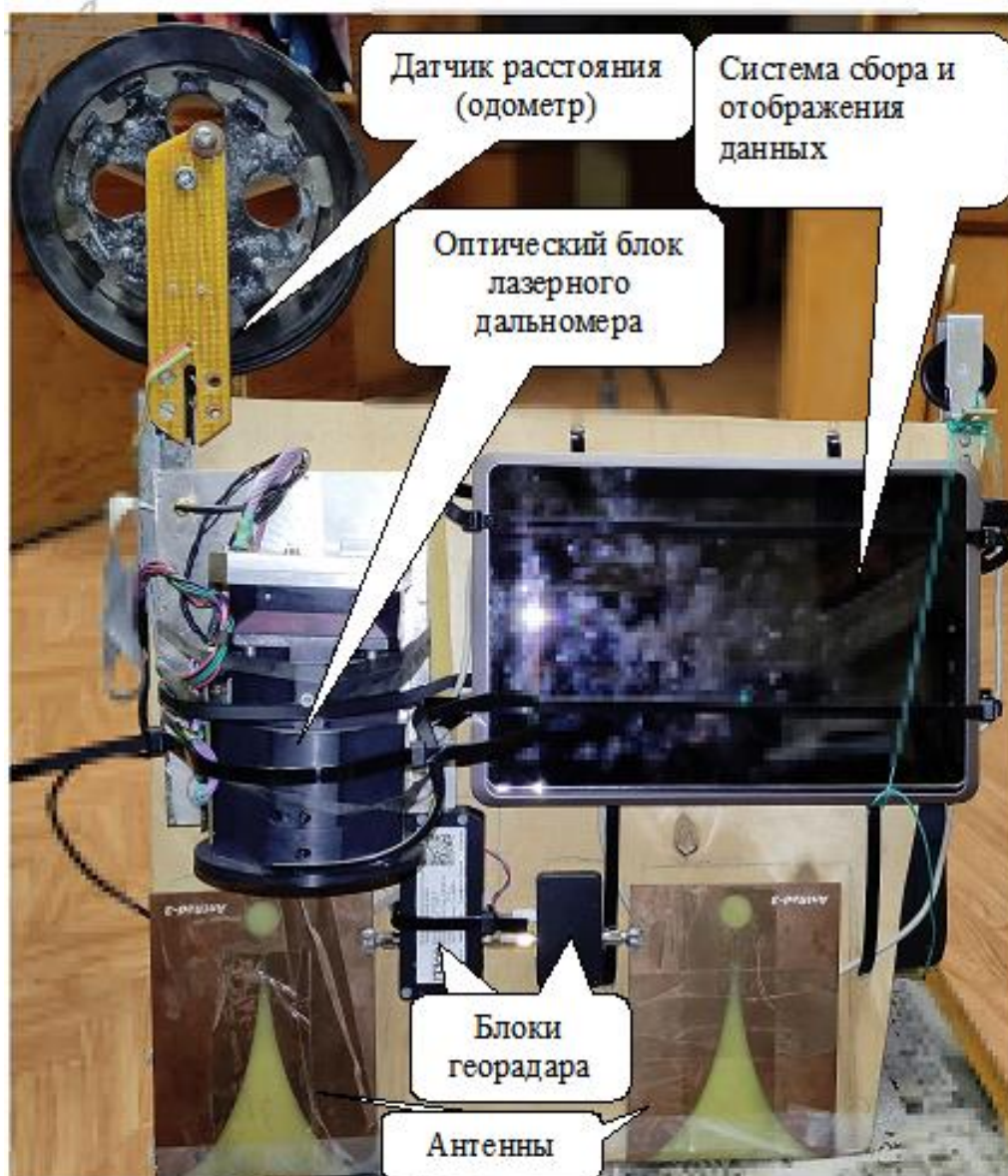


Рис.2. Внешний вид измерительного комплекса.

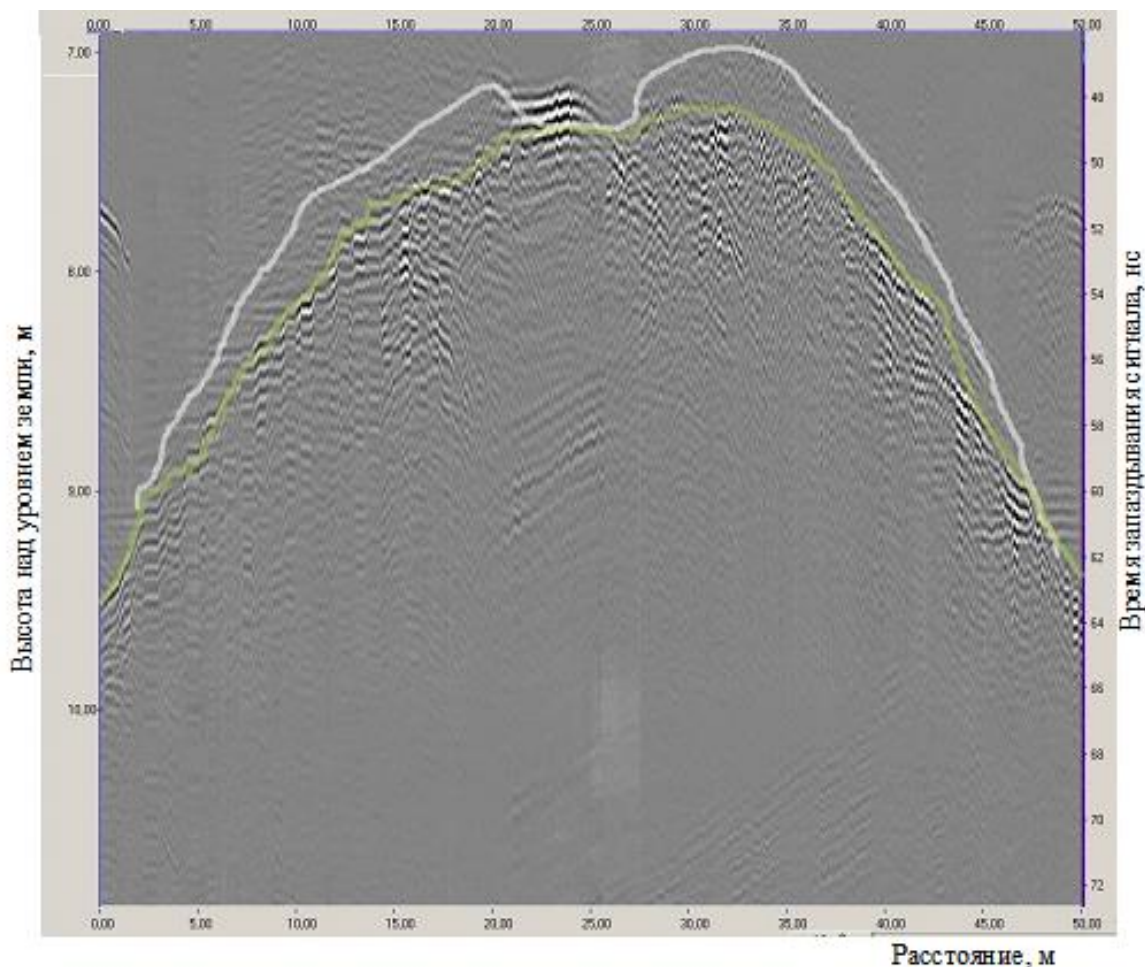


Рис.3. Радарограмма, полученная георадаром. Зеленым цветом показано отражение от грунта, белым – от верхней границы снежного покрова.

Выводы

Предложенные усовершенствованные алгоритмы сбора и обработки данных георадара и лазерного дальномера позволяют во-первых, уменьшить объем данных георадара, необходимых для хранения и обработки, во-вторых, улучшить полученные результаты комплексирования обработки данных в оптическом и радио диапазонах.

Усовершенствование алгоритмов сбора данных потребует усложнения структуры файлов данных для хранения переменного значения начала выборки сигнала георадара.

Предложенный в данной работе алгоритм сбора данных георадара и лазерного дальномера наиболее полно соответствует использованию комплекса в реальных условиях с борта летательного аппарата.

Работа выполнена в рамках государственного задания.

Литература

1. Марчук В.Н., Григорьевский В.И. Результаты эксперимента по определению толщины снежного покрова с помощью георадара и лазерного дальномера //Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». – Муром. - 25.05-27.05.2021 г. – С. 209-213.

2. Marchuk V. N., Grigoryevsky V. I. Determination of Snow Cover Thickness using a Ground Penetrating Radar and a Laser Rangefinder // MPRSRWPD 2021 Journal of Physics: Conference Series 1991. – 2021. - N. 012014.
3. Marchuk V.N., Grigoryevsky V. I. Preliminary results of an experiment to determine the thickness of snow cover using a GPR and a laser rangefinder MPRSRWPD 2020 Journal of Physics: Conference Series 1632 – 2020 – 012013.