

Автоматизация процессов работы с большими объемами георадиолокационных данных
Еремин Р.А.* (ФАУ «РОСДОРНИИ»), Пудова Н.Г. (ООО "НПЦ Геотех"), Сухобок Ю.А.
(Дальневосточный государственный университет путей сообщения)

Введение

Обследование линейных объектов связано с обработкой и интерпретацией большого объема георадиолокационных данных. В частности, в соответствии с ОДМ 218.3.075-2016 [1] на автомобильных дорогах может потребоваться запись не менее двух георадиолокационных профилей на каждую полосу движения с целью всестороннего изучения особенностей подповерхностной структуры объекта. Объем отечественного рынка георадарных обследований автомобильных дорог в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года N 1734-р [2] и проведенными исследованиями может составить 402 602,2 км автомобильных дорог в ближайшие 3 года.

С учетом вышесказанного вопрос автоматизации процессов работы с большими объемами георадиолокационных данных является актуальной задачей, требующей комплексных подходов в ее решении.

Условно направления автоматизации процессов работы с большими объемами георадиолокационных данных можно разделить на следующие позиции:

- автоматизация геопространственной привязки георадиолокационных данных;
- автоматизация первичной обработки исходных полевых данных;
- автоматизация интерпретации радарограмм;
- автоматизация корректировки интерпретированной информации по результатам проверки;
- автоматизация подготовки отчетной документации.

В представленной работе будет уделено внимание всем вопросам вышеуказанного перечня.

Цели и задачи исследований

Целью работы является установление оптимального комплекса решений для автоматизации процесса обработки и интерпретации георадиолокационных данных с подготовкой отчетных материалов применительно к обследованию автомобильных дорог.

Задачи работы:

- разработка и апробация различных вариантов автоматизированной/автоматической работы с георадиолокационными данными на автомобильных дорогах;
- оценка эффективности применения различных алгоритмов автоматизированной/автоматической обработки данных.

Возможные решения автоматизации обработки данных

Автоматизация геопространственной привязки георадиолокационных данных может осуществляться с применением оборудования ГНСС (глобальной спутниковой навигационной сети). Приемники ГНСС позволяют в автоматизированном режиме осуществлять сбор информации о местоположении тех или иных точек георадиолокационного сканирования в пространстве. При этом имеется возможность конвертации координат траектории движения георадара в местные системы координат, что актуально на этапах инженерных изысканий и строительства объектов.

Автоматизация процесса первичной обработки исходных полевых данных может осуществляться посредством пакетной обработки радарограмм, многие программные продукты для обработки и интерпретации георадиолокационных данных в настоящее время позволяют создавать графы наиболее часто повторяемых процедур, «прогон» исходных полевых материалов через которые существенно повышает производительность работ.

Возможности автоматизированной интерпретации радарограмм присутствуют в различных программных продуктах для обработки и интерпретации георадиолокационных данных. Это может быть полуавтоматическое пикирование границ слоев по определенному критерию амплитудно-частотной характеристики сигнала с заданной чувствительностью,

автоматизированное выявление различных аномальных зон на основании атрибутного анализа, автоматическая интерпретация радарограмм с применением технологий искусственного интеллекта (в частности, искусственных нейронных сетей или распознавания контуров).

Проверка правильности интерпретации отдельных георадиолокационных профилей может осуществляться путем их сопоставления со всеми записанными георадаром данными. Выпадение информации из среднестатистического коридора характеристик может свидетельствовать об ошибках в интерпретации и, наоборот, систематическое подтверждение местоположения участков аномальных отклонений – уверенный сигнал интерпретации того или иного признака. В качестве одного из вариантов такого рода проверочных материалов могут выступать тепловые карты с результатами георадиолокационного обследования, представленные на плане автомобильной дороги. Автоматизация процесса корректировки результатов интерпретации обеспечивается путем интерактивного внесения изменений на георадарном разрезе, при этом перестраивается, например, тепловая карта, трехмерная цифровая модель и другие взаимосвязанные данные.

Автоматизация подготовки отчетной документации сводится к выгрузке текстовой и графической информации в соответствии с заранее настроенным шаблоном.

Практическое применение автоматизированных алгоритмов

При локальных георадиолокационных обследованиях прибегают к различного рода разбивкам территории и устройству коридоров протягивания георадарного оборудования из колышков и натянутых струн. При пешей съемке и не большой площади сканирования подобная методика может быть экономически оправдана, а также не внесет существенных погрешностей в результаты обследования, связанных с ошибками пространственного позиционирования. Привязка георадиолокационных профилей при обследовании автомобильных дорог к характерным объектам местности и обустройству дороги сопряжено со значительными временными затратами и неточностями. Оператор, осуществляющий запись данных, вынужден на ходу транспортного средства, перемещающего георадар, составлять абрисы контрольных точек привязки или производить записи в журнал. При этом на радарограммах необходимо проставлять контрольные метки с занесением информации о них либо в электронном виде, либо на бумаге. Камеральная постобработка радарограмм с анализом подобных полевых журналов неизбежно приводит к погрешностям позиционирования. С целью решения указанных недостатков многие производители георадарного оборудования обеспечивают возможность записи траектории движения с помощью спутниковых приемников. Однако точность определения координат существенным образом зависит от открытости/закрытости обследуемой территории, погодных условий и наличия возможности внесения поправок по данным с базовых станций. Известно, что на территории Европейских и других экономически развитых стран развернуты густые сети базовых станций, в Российской Федерации по ряду регионов ситуация не хуже чем за рубежом, но не везде. При этом в случае потери приемником связи со спутниками данные о траектории теряются. Авторами исследований, в рамках выполняемых производственных задач было выполнено построение траектории движения георадара не только с помощью спутниковых приемников, но и инерциальной навигационной системы (ИНС), что позволило осуществлять ее запись даже в протяженных тоннелях и на территории густой и высотной городской застройки. При этом существенно упрощается процесс сбора сырых данных и повышается производительность камеральных работ. Например, для георадиолокационных профилей общей протяженностью 200 км экономия времени от применения комплекса ГНСС и ИНС при осуществлении камеральной их привязки к топографическому плану по сравнению с традиционной визуальной привязкой к объектам местности составляет 12-14 дней работы одного специалиста. Другим немаловажным фактором является возможность экспорта результатов интерпретации радарограмм в САПР и ГИС в требуемой системе координат (рисунок 1).



Рисунок 1 Отображение траектории записанных данных георадарного обследования: а) в системе автоматизированного проектирования; б) в геоинформационной системе.

Ярким примером продуманного решения для автоматической пакетной обработки георадиолокационных профилей является программное обеспечение GRED HD от компании IDS GeoRadar, это связано с большим объемом данных, которые можно получить системами из линейки Stream. Пользователю предлагается возможность выбора предустановленных списков обработки или создание собственного. Довольно распространенным оборудованием на территории Российской Федерации являются георадары серии ОКО. Поставляемое в комплекте ПО GeoScan32 обеспечивает возможность записать список обработки путем последовательного применения к исходным данным той или иной процедуры. С учетом наиболее часто применяемых процедур обработки, только на нажатие нужных кнопок при ручной обработке уходит в 2-3 раза больше времени, чем при использовании скрипта, а пакетная обработка экономит время на открытие каждого файла. Если одним нажатием кнопки можно запустить обработку сразу 50 или 100 радарограмм это существеннейшим образом скажется на производительности работ и снизит влияние человеческого фактора.

Автоматизированная пикировка границ возможна по выделению с заданной чувствительностью характерных всплесков амплитуды сигнала на радарограмме или в полуавтоматическом режиме, например, по критериям максимальной и минимальной амплитуды или фазовому переходу. При этом во всех случаях процесс интерпретации требует оперативного контроля человеком. В данном случае основным преимуществом использования автоматизированного алгоритма является точность пикирования границы по заданному критерию, что положительно отразится на объективности определения относительного изменения толщины слоев.

Применение атрибутивного анализа при интерпретации георадарных данных, полученных при обследовании протяженных участков автомобильных дорог, позволяет существенно облегчить выделение дефектов, трещин, возможных пустот в монолитных слоях дорожной одежды, а также упростить выделение зон ослабления, участков изменения влажности и просадок в насыпных подстилающих грунтах. Атрибуты позволяют вести анализ амплитудных и частотных характеристик, а также параметров, обусловленных поглощением электромагнитного поля во временной и частотной области (рисунок 2). Одним из примеров программного обеспечения для атрибутивного анализа радарограмм является программный пакет «CartScan» (ООО «НПЦ ГЕОТЕХ») [3]. Разработанный блок атрибутивного анализа позволяет оценивать следующие характеристики:

- максимальное абсолютное значение амплитуды A_{max} ;
- время, на котором определяется максимальное значение амплитуды T_{max} ;
- энергия сигнала $\sum A(t)^2 \Delta t$, где Δ -интервал дискретизации;
- спектр Фурье для каждой трассы;

- площадь нормированного спектра S_n ;
- средневзвешенная частота $f_{св} = \frac{\sum A_i f_i}{\sum A_i}$ (A_i -спектральная амплитуда);
- Q-фактор. (Значение Q-фактора может быть определено как отношение ширины спектра отраженного сигнала, определенного по уровню 0.7 от максимума, к центральной частоте спектра: $Q = \frac{\Delta f}{f_{max}}$).
- отношение площади нормированного спектра к средневзвешенной частоте.

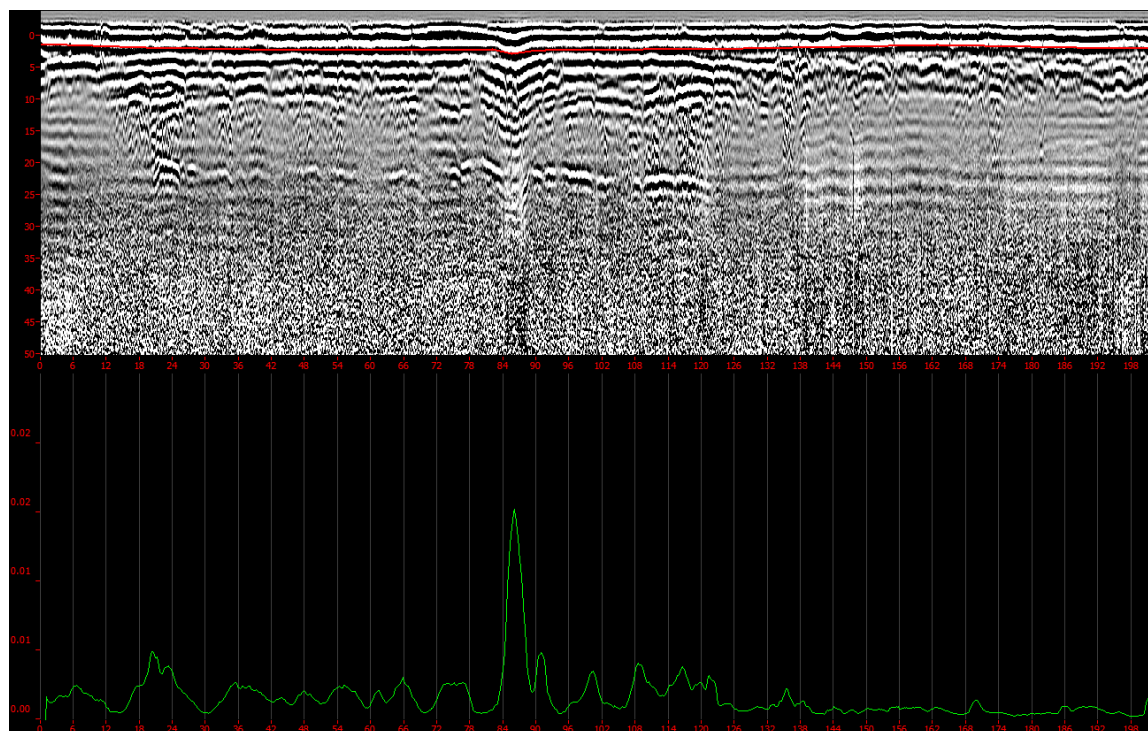


Рисунок 2 Фрагмент радарограммы с участка автомобильной дороги М4 на частоте 700МГц (сверху), график энергии сигнала (зеленая линия) вдоль выделенной подошвы монолитных слоев дорожной одежды (внизу).

На радарограмме (рисунок 2) выделена подошва монолитных слоев. Всплеск на графике энергии сигнала соответствует местоположению просадки.

Результаты автоматизированного атрибутного анализа можно представить в виде тепловой карты, совмещенной с георадиолокационным профилем (рисунок 3). В данном случае преимущество заключается в повышении производительности выделения аномальных зон и получении дополнительного сигнала в правильности результатов интерпретации человеком.

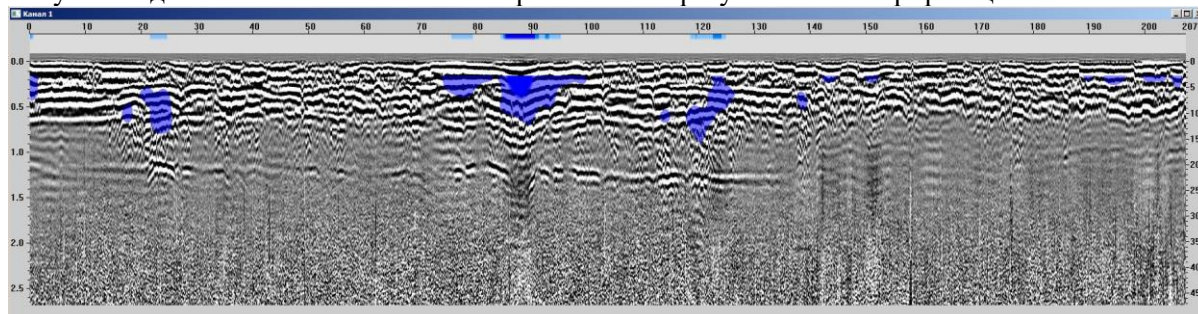


Рисунок 3 Фрагмент радарограммы с участка автомобильной дороги М4 на частоте 700МГц с результатами автоматизированной интерпретации ослабленных зон (синие контуры)

Важной задачей является движение в сторону полностью автоматической обработки данных, а с этой целью актуально применение технологий искусственного интеллекта. В настоящее время Л.Р. Верховцевым и Ю.А. Сухобоком [4] ведётся разработка интеллектуальной системы на основе рекуррентной и сверточной нейронных сетей на достаточном для набора

статистических данных количестве авторских исходных материалов. Исследователями на данном этапе получены результаты интерпретации предварительно обученного прототипа [4] - нейронной сетью типа многослойный персептрон. Искусственная нейронная сеть этого типа использовалась для проверки возможности предсказания границ раздела сред с помощью методов машинного обучения.

Интерпретация единичных георадиолокационных разрезов без взаимосвязи с другими профилями, записанными на том же объекте, не всегда позволяет объективно оценивать полученную картину. Технически целесообразно проверять и уточнять результаты интерпретации обособленных радарограмм путем сопоставления с информацией, отражающей результаты интерпретации всех полученных георадиолокационных данных. Как уже ранее было сказано, к ним можно отнести тепловые карты на плане автомобильной дороги. На рисунке 4 показана траектория движения георадара на одном из объектов. Красными точками обозначены участки интерпретированных просадок в слоях дорожной одежды. Видно, что местоположение просадок на разных профилях коррелирует между собой по всей ширине дороги, что является уверенным сигналом выделения ослабленных зон. В случае если просадка обнаруживается только на одном из 6 или 8 проходов – это сигнал, как минимум, к необходимости проверки данного фрагмента соответствующей радарограммы. При этом отсыл к необходимому фрагменту может осуществляться автоматическим открытием интересующего участка волнового профиля средствами применяемого программного обеспечения, что экономит время.

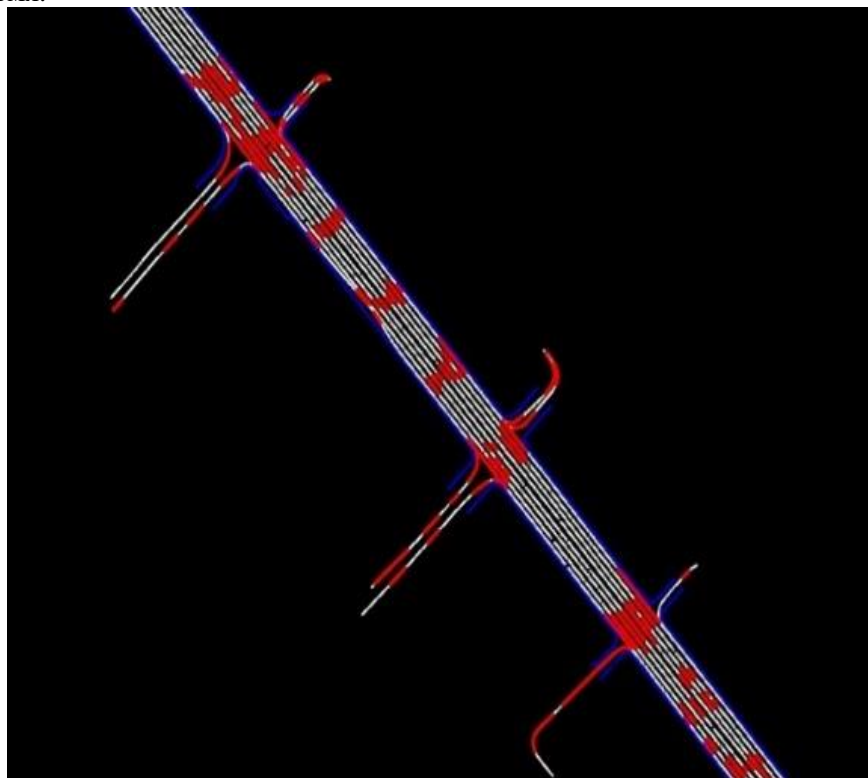


Рисунок 4 Тепловая карта участка дороги, полученная в автоматизированном режиме, с результатами интерпретации ослабленных зон (просадок, показанных красным цветом)

Автоматизация процесса построения тепловых карт, необходимых для проверки правильности интерпретации, а также интерактивность внесения корректировок в результаты интерпретации позволяет повышать производительность работ, полноту и достоверность результатов.

Автоматизированная подготовка отчетной документации сводится к формированию пояснительной записки и графических материалов в соответствии с заданным для определенного типа и вида работ шаблоном. Шаблон текстовой части отчета может содержать структуру документа (содержание, введение, основные разделы, библиография, приложения и др.) и минимальный объем однотипной информации, касающейся отражения наиболее часто используемых блоков:

- описание района работ и условий местности;

- климатические условия;
- используемое оборудование;
- методика работ;
- ссылки на нормативно-технические документы.

Переменные к указанным блокам, а также такие разделы отчета как, исходные данные, анализ результатов и выводы могут быть прописаны с учетом индивидуальных особенностей объекта. В части графических отчетных материалов возможна настройка определенного шаблона в формате САПР с целью нанесения результатов георадиолокационного обследования на топографический план и наполнения информационных моделей объекта. Автоматизация процесса подготовки отчетных материалов позволяет повысить производительность работ и снизить негативное влияние человеческого фактора.

Выводы

1. С учетом вероятного объема рынка георадиолокационных обследований автомобильных дорог в 402 602,2 км на ближайшие 3 года, а также особенностью методики производства работ, требующей записи большого объема георадарных данных, актуальность задач по автоматизации обработки, интерпретации радарограмм и подготовке отчетной документации является высокой.
2. Представляется технически и экономически целесообразным осуществлять запись георадиолокационных данных с применением спутниковых приемников и инерциальных навигационных систем геодезического класса, применять пакетную обработку файлов с использованием заранее подготовленных скриптов, осуществлять автоматизированное выделение границ слоев и ослабленных зон на основании атрибутного анализа, в том числе с применением технологий искусственного интеллекта, осуществлять автоматизированное построение тепловых карт в плане дороги по результатам интерпретации георадиолокационных данных, автоматизировать процесс корректировки взаимосвязанных данных при возможном внесении изменений в результаты интерпретации после проверки, осуществлять выгрузку отчетных материалов в соответствии с заранее подготовленными шаблонами.
3. Положительными эффектами автоматизации процессов работы с георадиолокационными данными являются повышение производительности и снижение себестоимости работ, повышение точности, достоверности и информативности результатов обследования георадарами.

Библиография

1. ОДМ 218.3.075-2016 «Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации».
2. Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 11 июня 2014 года)».
3. Пудова Н.Г., Капустин В.В., Кувалдин А.В. Применение атрибутного анализа для интерпретации георадиолокационных данных. Конференция ГЕОРАДАР-2017, 26-29 сентября 2017 г., Москва.
4. Верховцев Л.Р., Сухобок Ю.А. Проблемы интерпретации георадарных данных при определении границ раздела грунтовых сред // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: труды Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи, 18-20 апреля 2017 г. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2017. — Т.2. — С. 189-192.

References

1. ODM 218.3.075-2016 «Rekomendatsii po kontrolyu kachestva vypolneniya dorozhno-stroitelnykh rabot metodom georadiolokatsii».
2. Rasporyazheniye Pravitelstva RF ot 22 noyabrya 2008 g. № 1734-r «Ob utverzhdenii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda (s izmeneniyami na 11 iyunya 2014 goda)».
3. Pudova N.G., Kapustin V.V., Kuvaldin A.V. Primeneniye atributnogo analiza dlya interpretatsii georadiolokatsionnykh dannyykh. Konferentsiya GEORADAR-2017, 26-29 sentyabrya 2017 g., Moskva.
4. Verkhovtsev L.R., Sukhobok Y.A. The problems of GPR data interpretation when picking interface boundaries [Problemy interpretatsii georadarnyykh dannyykh pri opredelenii granits razdela gruntovykh sred] // Scientific, Technological and Economic Cooperation of The ARP Countries in the 21st Century [Nauchno-tekhnicheskoye i ekonomicheskoye sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke] 18-20 April 2017. Khabarovsk. Russia, 2017, P. 189-192

Контактная информация

Роман Александрович Еремин r.eremin@rosdornii.ru

Наталья Геннадьевна Пудова npudova@geotech.ru

Юрий Андреевич Сухобок sukhobok@gmail.com