

Рудная геофизика

Новый пакет программ визуализации данных и процедур комплексирования. A new software system for data visualization and process integration

Ben Polzer¹ из CVRD Exploration (панее Inco Exploration) описывает эволюцию InSight, собственную систему компании, предназначенную для комплексирования разрозненных data, в целях улучшения принятия решений в рудной разведке.*

Разведка предусматривает объединение данных из различных источников для принятия информированных поворотных решений. Нам требуется получить ответ на вопрос типа 'оставлять ли нам участок?' и 'где бурим нашу последнюю скважину?' достаточно быстро на основе всей доступной информации и данных анализа. За последнее время были разработаны множество программных продуктов, целью которых было именно это. Программы ГИС служат изучению взаимозависимости между пространственно разнесенными наборами 2D данных. Специальные программы 3D были написаны для облегчения проектирования шахт, оценки запасов и геофизического моделирования, если перечислять только некоторые задачи. Другие программы предназначены для обобщения данных других программных приложений в целях визуализации и опроса данных. То, чего не хватает этим продуктам, способность эффективно интегрировать новые процедуры, не предусмотренные исходными разработчиками.

Это стало ясным группе геофизиков из Inco в 2000. Новое приложение электромагнитного моделирования было дополнено интерфейсом командного файла. Программа рассчитывала электромагнитный отклик от тонких слоев произвольной формы и интерактивной границы 3D, велась поиск способов создания и модификации границ, а также визуализации результатов. Это привело к двухлетнему поиску программы 3D визуализации данных в целях интеграции данных. Из всех рассматриваемых программ, никакая не обладала встроенными инструментами, необходимыми для выполнения данной работы. Более того, схема доработки, предлагаемая для оптимизации не позволяла достигать необходимой степени управления. В некоторых случаях это было фатальным, тогда как в других случаях жесткость схемы доработки просто делало разработку нашего приложения нелепой и дорогой. В конце концов мы решили построить «дом» для моделирования с нуля и не в виде специализированного приложения, а как обобщенной среды, в которую можно привносить другие приложения. Процесс разработки дизайна подогревался нашим опытом и благодаря крушению планов с другими программами.

Сегодня у нас имеется 16 различных модульных приложения, запускаемых в среде, называемой InSight. Они включают в себя средства электромагнитного (ЭМ) моделирования, расчета и визуализации ЭМ полей, магнитное и гравитационное моделирование, построения параметрических каркасных моделей, отображения и манипуляцию со скважинными ЭМ данными, структурно-геологического анализа, отображения (с огибанием), отображения скважинных

Дизайн InSight

InSight состоит из базового приложения (СА) и модулей. Модули выполняют все функции тогда как СА предоставляет 'услуги' модулям для облегчения их работы. Без модулей, InSight не сделает ничего. При принятии решения о разделе ответственности между СА и модулями учитывался основной принцип: ничто в СА не должно идентифицировать InSight как строго геолого-геофизическую программу. В сущности, мы задали вопрос 'что бы все, кто работает в любой отрасли, где важны пространственные данные, хотели в плане основных услуг, таких как просмотр, манипуляция данными?' и 'какие пространственными данными?'. В коренном приложении InSight

Простые типы данных	примеры
С плавающей запятой (32 бит)	Геохим., рез. инверсии, ЭМ
Целое (32 бит)	Важные цели, идентификаторы
Текстовый	Названия, замечания
Рег. номер	Отчеты, Фото, контрольные файлы
Ссылка на ID	Тип пород, метод инверсии
Blob (бинарный поток)	Результаты расчетов
Векторный (3 x 32 бит)	Магнитное поле

¹ polzerb@inco.com

* Эта статья – обновленная версия расширенных тезисов, которые были представлены в 2006 г. на Австралийском Конгрессе по Наукам о Земле в Мельбурне, Австралия.

Рудная геофизика

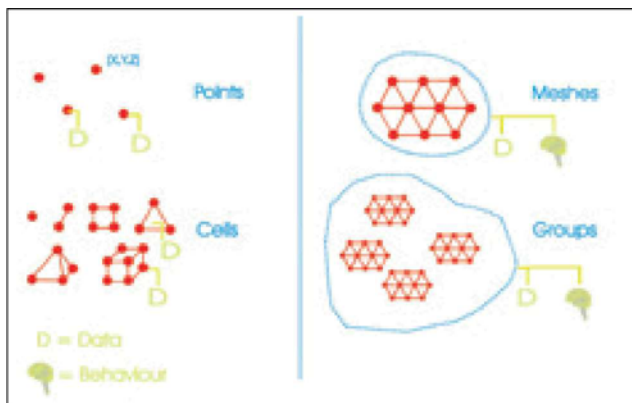


Рисунок 1 Иерархия геометрии InSight.

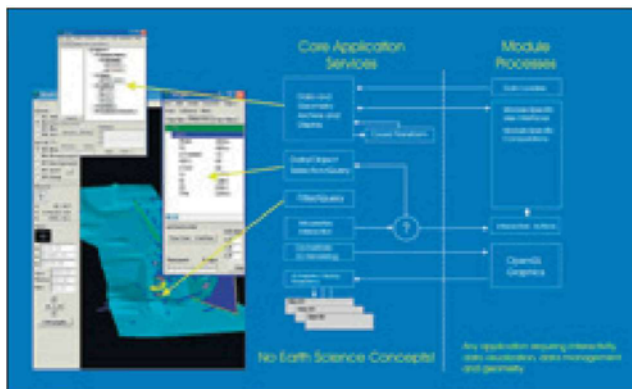


Рисунок 2 Главное приложение InSight и задачи разных модулей.

Пользователь может создать любой предложенный тип данных и связать его с одним из простых типов. СА поддерживает реестр всех типов данных совместно с их единицами измерения и связанными таблицами цветов и символов. Описание геометрии основано на простой иерархической схеме (Рисунок 1). Базисом геометрии являются Узлы (x,y,z) которые хранятся в виде значений в 64 бит. 'Ячейки' составляются из узлов. 'Сети' составляются из ячеек. 'Группы' составляются из сетей.

Данные любого типа и любого количества можно связать с узлами, ячейками, сетями или группами. Сеть и группа может быть специализирована разработчиком модуля для получения любой функции. Дополнительные коды могут приписываться для визуализации сетей и взаимодействия с ними. Сеть – базовый объект, к которому разработчик может добавлять код. Основной идеей было простота дизайна так, чтобы не 'пере-упаковать' этот основной строительный кирпичик. В характеристике основной сети ничто не диктуется ни то, как будут соединяться узлы для получения ячеек ни то как ячейки соотносятся, за исключением того что они могут совместно использовать узлы. Детальный принцип действия сети находится на усмотрение разработчика модуля, который волен разрабатывать способы взаимодействия данных и геометрию, наиболее подходящие для приложения, а не вписывать из в жесткие, заранее заданные рамки.

Группы могут действовать как простые контейнеры сетей, но они часто выбираются как место применения вычислительного кода высокого уровня, такого как ЭМ моделирование или создание параметрического каркаса. Такие 'умные группы' рассчитывают результаты, основанные на содержимом сетей и данных, которые в них содержатся. Изменения в этих группах телеграфируются в корень дерева, и запускают повторные расчеты при необходимости.

Разделение функций между СА и модулями показано на рисунке 2. СА отвечает за организацию сетей в структуре дерева, управление данными в иерархии, фильтрацию, и опрос данных и сетей и групп, основанных на их данных. Обязанностью дизайнера модуля является создание этих базовых сетей и групп путем добавления кодов, необходимых для выполнения специальных задач, обеспечения кодов графики OpenGL по запросу СА, и отклик нажатиями мыши и клавиш, которые приписываются СА.

Основная мощь стратегии InSight заключается в требовании к написанию графического кода OpenGL напрямую, в не укрытии графики в объектах более высокого уровня. Это означает, что все трюки, используемые разработчиками игр, могут применяться к особому приложению. Можно создавать высокоинтерактивные 3D объекты, которые не только позволяют визуализировать данные, но которые включают элементы пользовательского интерфейса напрямую в объект. Разработчики были обнадужены тем, что позволяют пользователям 'схватить', 'тянуть', 'перетаскивать' и 'нажимать' виртуальные кнопки, рычаги, бегунки, и т.д. для интуитивного изменения ориентации и параметров объектов (Рисунок 3).

Характеристики главного приложения

Администратор данных

Сети InSight организованы в структуру дерева. За исключением некоторых ограничений по умным группам, которые выполняют расчеты, основанные на их содержании, пользователь свободен в возможностях организации дерева для удобства проекта. Сети и группы можно копировать/вырезать/приклеивать так же как происходит управление файлами в Windows. Операцию вырезать/вклеить можно использовать от группы к группе в пределах дерева или можно применять между деревьями в различные моменты выполнения приложения InSight. Атрибуты смещения, прозрачности, клиппирования, фильтрации и трансформации координат, относящиеся к сети, применяются или убираются из всех сетей выбранного дерева на основе иерархии.

Взаимодействие

Общая идея менеджера взаимодействия заключается в том, что если вам требуется управлять объектом или его параметрами, вы можете указывать на него в 3D или на его представление в дереве данных.

Интерпретация нажатий на клавиши мыши в просмотре 3D управляется режимами. Режим – это список ассоциаций между комбинациями клавиш мыши и определенным действием. СА поддерживает однопроходный режим, называемый 'навигация', который позволяет путешествовать в пространстве (вращение, масштабирование, панорамирование,

Рудная геофизика

центрирование) а также выбор объектов. Он также позволяет инициировать другие режимы, создаваемые разработчиками модуля путем нажатия 'Q' на объекте в режиме просмотра 3D. Это – простой и интуитивный способ взаимодействия с любым объектом. Результатом действия является то, что режим сети переходит в общий режим. Теперь действия по отношению к сети будут более приоритетными над действиями навигации. Второй режим сети можно запустить пока первый режим активен, что позволяет пользователю позже возвратиться в середину комплексного набора действий без необходимости выхода и повторного захода в режим. Эта схема особенно полезна при выполнении сложных операций моделирования, затрагивающих сети различных типов.

Визуализация

Интересным аспектом InSight является разделение данных сетей и выделения кодов управления геометрией из их кодов визуализации. Это дает два мощных свойства. Первое, могут быть множество способов визуализации одной и той же сети. Рассмотрим пример *tri-mesh*, или треугольные сети. Один метод визуализации, например, выводит данные, относящиеся к узлу в виде цветных символов в местах узлов, тогда как другие выводят данные узлов в виде интерполированного цвета поперек каждой ячейки триангуляции. Третий выводит данные ячеек в виде постоянного цвета внутри каждой грани ячейки. Для различных разработчиков возможно с одним только базовым знанием структуры *tri-mesh* и без кода источника или объекта, изобрели эти разные методы визуализации. Это разделение позволяет смешивать методы визуализации и контексты визуализации пользователем во время прогона.

Диалог менеджера визуализации (Рисунок 4) действует как набор правил. Каждая строка в списке указывает на то какой тип сети будет получаться, какой способ визуализации используется, какой тип данных получается, диапазон правил, применяемых иерархически в древе данных и список окон или 'View-Ports' в которые будут отправляться результаты. Обычно этот аппарат используется для визуализации геохимических данных по скважинам в одном ViewPort, тогда как тип пород визуализируется во втором View-Port (Рисунок 5).

Фильтрация

Для идентификации поднабора геометрических данных, которые содержат данные, удовлетворяющие критерию, можно использовать фильтры (узлы, ячейки, сети, группы). Фильтр является общим логическим выражением. Разрешено, чтобы алгебраические выражения включали подвыражения, содержащие целые значения и значения с плавающей запятой. Можно включить тесты на существование текстовых элементов цепочек или бинарных потоков информации. На любом уровне иерархии можно применить фильтры. Вместе с любым алгебраическим выражением, затрагивающим координаты, можно создать геометрические запросы (например, в пределах полупространства, цилиндра, сферы, призмы). Результаты фильтрации можно показать в 3D или в исходной структуре сети/ячейки/узла, изображенных в виде набора точек, или хранить в виде популяции. Популяции можно еще более детализировать путем анализа двоичных графиков. Их ордината и абсцисса

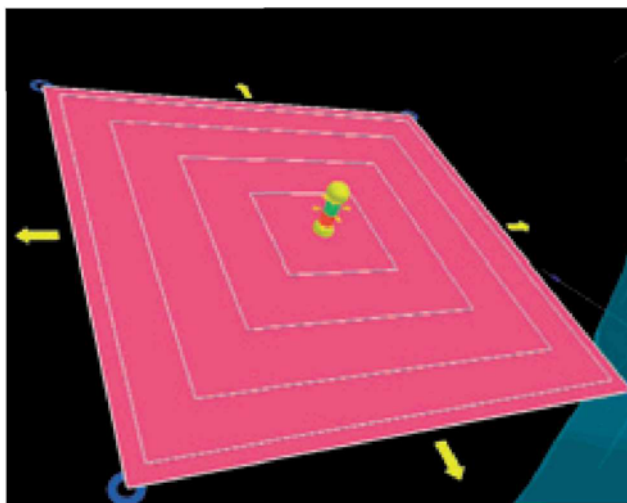


Рисунок 3 Plate Conductor с интерактивным джойстиком для изменения падения и направления падения, закладки «расширения» (желтые стрелки) для изменения размера и закладки 'угла наклона'.

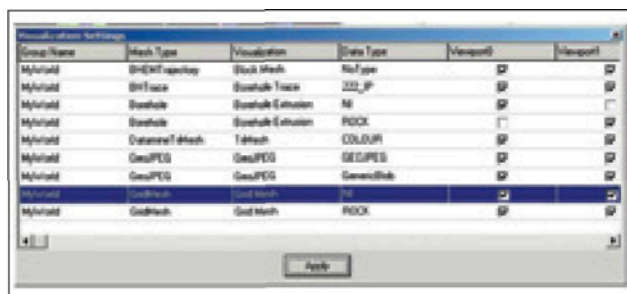


Рисунок 4 Диалог установки визуализации. Каждый ряд представляет собой различное правило визуализации, объединяя сетку, способ визуализации, данные для визуализации (как цвет) и диапазон правила в иерархии дерева.

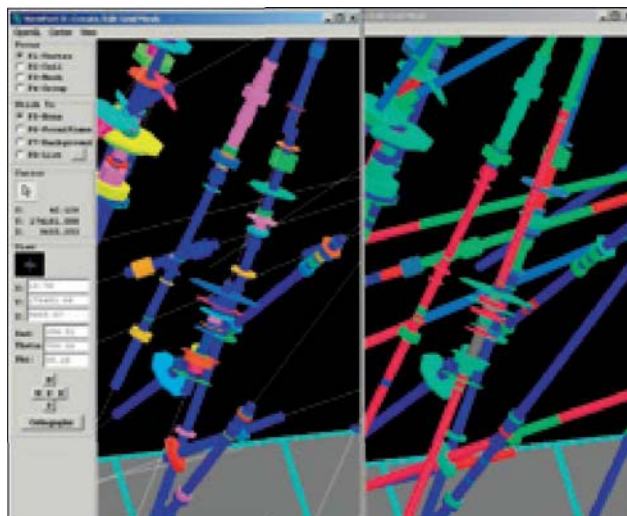


Рисунок 5 Два ViewPorts которые делят между собой общий просмотр. Концентрация никеля отображается на скважинах в левом ViewPort, тогда как тип породы в правом ViewPort.

Рудная геофизика

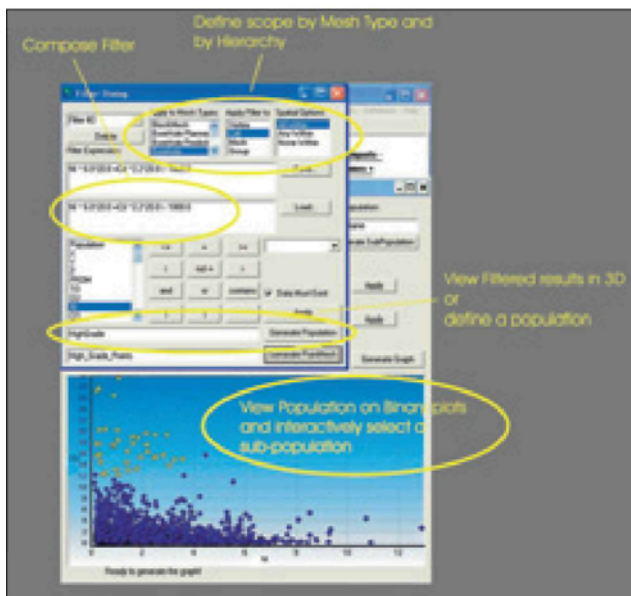


Рисунок 6 Диалог фильтрации InSight (сверху) с анализатором двухкомпонентных графиков (снизу).

- общие алгебраические выражения, данные выражены в форме чисел с плавающей запятой. Можно визуально идентифицировать и выбирать тренды в выводимых отсчетах (рисунок 6). Получаемые под-популяции можно называть для дальнейшего использования с фильтрации или в дальнейшем анализе двухкомпонентных графиков. Фильтры можно хранить/извлекать и применять в пределах дерева на иерархической основе.

Примеры данных и процесс интеграции

Анализу геофизических данных по проекту обычно предшествует сбор всей существующей информации. В пределах

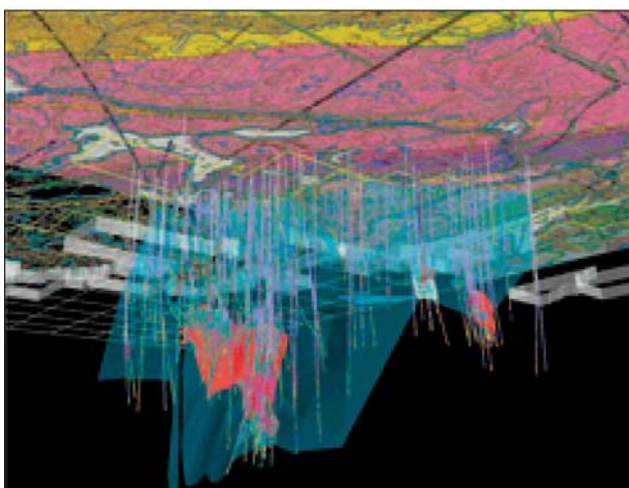


Рисунок 7 Комплексирование доступных географических и геологических данных до геофизических исследований. Изображение под отложениями Inco's Victor (Sudbury) на котором показаны скважины, каркаса контакта и минерализации, схема профилей, границы участка и геологическая карта.

Inco, ранее существующие рамки геологической модели обычно хранятся в виде данных по рудникам. Скважинные данные могут загружаться из файлов ASCII или исходных двухкомпонентных файлов рудников. Изображения могут иметь 3D геологический репер. Файлы формы ArcGIS, содержащие географическую и геологическую информацию можно импортировать напрямую. В пределах InSight данные из этих внешних источников полностью интегрируются в иерархические данные/схему сети и таким образом, полностью фильтруются и опрашиваются (Рисунок 7). Геофизические данные, визуализация, продукты анализа, и процедуры анализа дополняются к этой геологической и географической базе. Далее приведены некоторые примеры проектов Inco. В каждом мы покажем различные типы комплексирования данных и процедур.

Томографические панели

На рисунке 8 показаны две сейсмические томографические панели, которые делят между собой общую часть центральной скважины, где размещены источники. Концентрация никеля имеет цветную кодировку в скважинах. Области высокой степени минерализации проявляются в виде понижений скорости сейсмических волн в томографической реконструкции, показанной на изображении. Кривая скважинной индуктивной электропроводности показана в виде красного графика вдоль крайне правой скважины. Массивная сульфидная минерализация была прокоррелирована от скважины к скважине с помощью томографического изображения. Она определяется в виде желтого контура и извлекается в виде поверхности для возможной корреляции со следующим разрезом. Объект томографической сети имеет интерактивные свойства, полезные для QA/QC и для идентификации артефактов. Когда пользователь нажимает клавишу на передатчике или приемнике, нарисованных вдоль скважины, появляются все лучевые траектории, относящиеся к пикету. Пример тому показан в виде красных линий, идущих из центра рисунка.

Векторы и структурная геология

Векторная сеть - объект, который позволяет рисовать группы векторов. Векторы могут быть представлены в виде

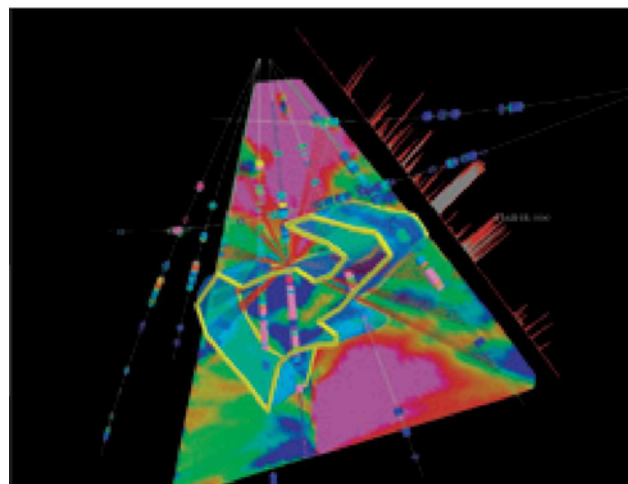


Рисунок 8 Распределение значений сейсмической скорости (цветная панель) со скважинной концентрацией никеля (вдоль скважин), индуктивной электропроводности (график, верхний правый угол).

стрелок, палочек или

Рудная геофизика

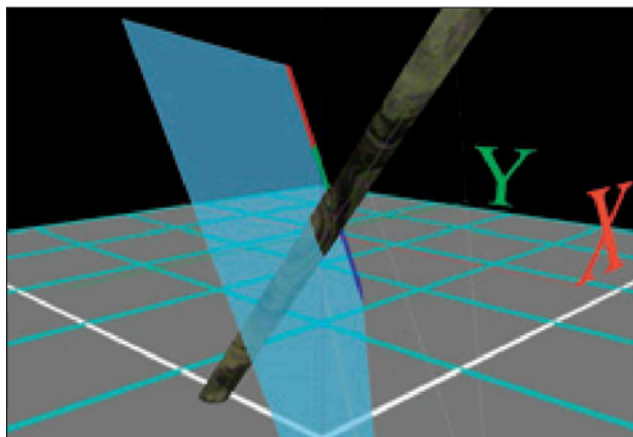


Рисунок 9 Плоскость оси складки на основе телесканера (полупрозрачный прямоугольник), нарисованная совместно с данными оптического телесканера, с помощью которых проведена интерпретация.

прямоугольников, там где вектор представляет полюс прямоугольной плоскости. Для отображения вектора в геофизике требуется изображение полей векторов (Рисунок 11), но они также полезны для изображения данных структурной геологии. Плоскости разломов, расслаивания, оси складок, и линейности можно получить из ориентированного керна, полевых наблюдений или оптических съемок или съемок акустических телесканеров. Падение и направление падения можно запомнить в таблицу файла ASCII вместе с любыми другими метаданными, включая структурный тип, примечания, фото и отчеты (посредством рег. номера файла). Их можно расположить по X,Y,Z или по идентификатору скважины, расстоянию по скважине. В последнем случае, пункты наблюдений автоматически рассчитываются на основе оценки минимальной кривизны траектории скважины. Структурные векторные символы могут быть опрошены или профильтрованы в 3D. Пример одного из этих векторов, ось складки, показана на рисунке 9 в виде прямоугольника. Красная закладка в углу прямоугольника позволяет интерактивно расширять символ для того, чтобы посмотреть как тренд соотносится к другими объектами в более крупном масштабе. Изображения телесканера, из которого было получены измерения ориентации, были получены совместно с границей сети телесканера. Он автоматически извлекает любой нужный интервал скважины и оборачивает изображение породы на виртуальный керн, в 3D. Он позволяет геологу бросить быстрый взгляд на реальную структуру или текстуру породы.

Скважинные ЭМ данные

Трехкомпонентные ЭМ скважинные измерения - наиболее важный метод разведки, используемый в основных сульфидных рудниках Inco. На рисунке 10 показаны данные ВНЕМ с одной скважины в Inco Creighton 402 рудное тело в Sudbury как в векторной форме, так и в виде профилей из скважины. Показан только канал последний канал времени. Итерация каналов может осуществляться с помощью диалога интерфейса (левая нижняя вставка), что позволяет понимать временную эволюцию поля. Граница профиля

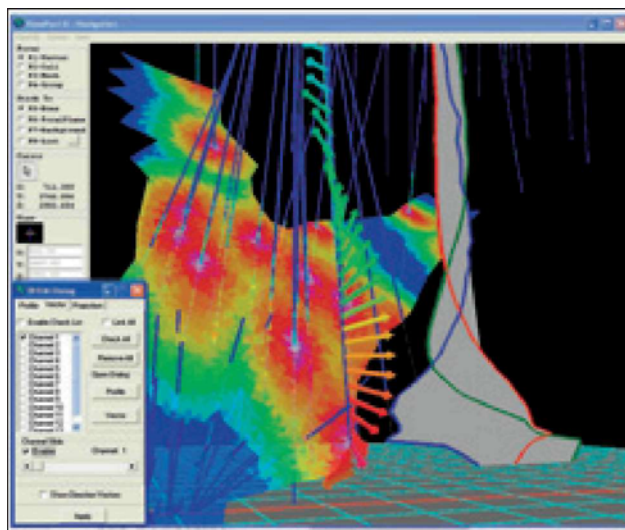


Рисунок 10 3-осевые скважинные ЭМ данные, представленные в виде векторов с каркасом, полученным по интерпретации ВНЕМ.

позволяет выполнять полное управление многоканальными, многопрофильными линиями как по скважине и на поверхности. Данные ВНЕМ обычно моделируются в отдельных программах моделирования пластин. Между Maxwell Plate modeller (EMIT, Perth Australia) и InSight существует связь, с помощью которой геометрия пластин отправляется туда и обратно по команде.

Поскольку месторождение оконтуривается по нескольким скважинам, отдельные модели пластин сшиваются вместе на основе знания физических процессов ЭМ индукции, а также локальной геологической информации. Это выполняется интерактивно с помощью одного из двух параметрических границ для построения треугольных сетей. Результаты являются геофизической наилучшей оценки очертания отложений, наблюдаемых в виде цветного каркаса на рисунке 10. Цвет указывает на близость к скважине в которых были получены данные ВНЕМ

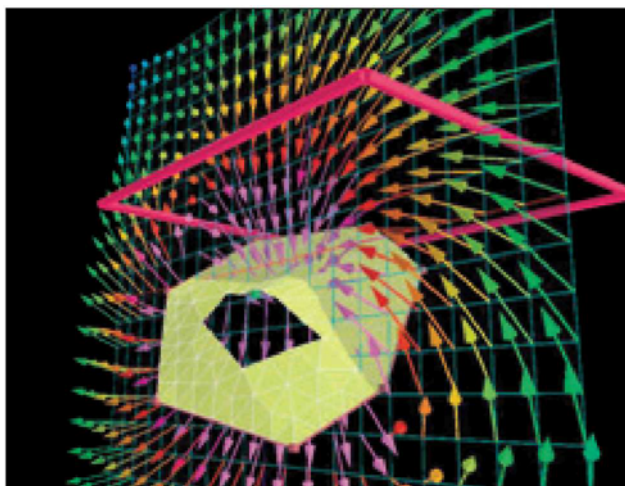


Рисунок 11 Рассеянное поле (векторы) криволинейного идеального проводника (желтой каркас). Передающий контур показан красным.

Рудная геофизика

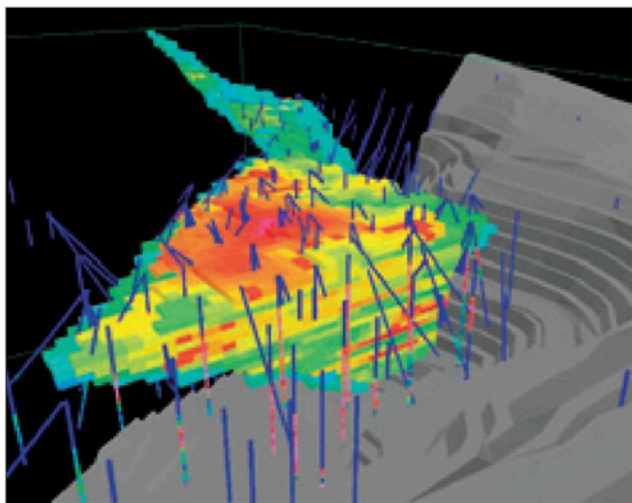


Рисунок 12 Граница блока ячеек. Модель залива Voisey's Bay показана совместно с планом вырезанной части шахты. На модели представлены все блоки, для которых Ni больше чем 1%. Блоки раскрашены по %Cu.

данные и это помогает оценить достоверность каркаса.

Более сложное ЭМ моделирование может выполняться с помощью кода Inco ILTS. Очертания проводника

можно выполнить и отредактировать позже в виде общей ломаной линии 3D. Регуляризованная треугольная сеть, пригодная для ЭМ моделирования автоматически покрывает криволинейную поверхность, определяемую контуром. Поверхность может быть далее проконтролирована путем создания точек, которые управляют интерполяцией поверхности. Скважины можно вырезать на поверхности. Группа модулей ILTS рассматривает эту поверхность как поверхность идеального проводника и рассчитывает отклик для набора точек или вдоль профилей (рисунок 11).

Блочные модели

Блочные модели обычно генерируются из геостатистического анализа отложений и по данным геофизической инверсии. Граница блоков ячеек позволяет разрезать модели блоков, которые выровнены по одной переменной, тогда как они отображаются по второй переменной. Пример Залива Voisey приведен на Рисунке 12.

Заключение

Геофизическая группа в Inco (теперь CVRD Exploration) разработала новую среду разработки ПО, позволяющую эффективно интегрировать визуализацию и фильтрацию данных, геометрическое моделирование, геофизической обработки и анализа. Интеграция визуализации и процедур интерпретации продолжится для улучшения по мере создания новых инструментов.