

Подсветка при 3D визуализации данных сейсморазведки

Use of lighting in the 3D display of seismic data

Хав Джеймс (Huw James) и Татьяна Кострова из компании Paradigm описывают преимущества и недостатки использования подсветки при 3D визуализации данных сейсморазведки.

Pрактическое 3D изображение скважинных и сейсмических данных и результатов интерпретации позволяет одним взглядом охватить больше данных и дает возможность увидеть картину в целом и расположение объектов в поле зрения. Современные графические устройства позволяют быстро менять эту картину, а возможность движения расширяет область 3D анализа. 3D изображение раскрывает обычно детали строения и их пространственное соотношение. При этом интерпретатор освобождается от необходимости строить мысленный образ объекта и может сосредоточиться на скорости работы или выявлении причинно-следственных связей.

Для большей реалистичности при 3D визуализации используется подсветка. Это позволяет зрителю отличить передний план от заднего, даже если они даны одним цветом. Без подсветки объекты 3D изображения часто сливаются в нерасчленяемые цветовые пятна. На сейсмических изображениях аккуратное использование подсветки может подчеркнуть изгибы профилей или истинное положение визуально соседних трасс. Подсветка обычно увеличивает количество оттенков цвета, но, как правило, эта небольшая потеря сигнала компенсируется улучшением общего восприятия 3D картины.

Термины, используемые в подсвечивании, известны обработчикам. Они стараются подавить дифракцию, исправить амплитуды за неравномерную акустическую освещенность и удалить шум окружающей среды, блики и кратные отражения. (Ирония в том, что для наглядности 3D картины дифракцию, различия в освещенности, общий свет, а порой и аналоги кратных волн, приходится добавлять.)

Пример из жизни

Чтобы понять, как создается подсветка на компьютере, полезно вспомнить, как работает освещение в реальном мире. На рис.1 представлена объемная композиция. Она составлена из предметов сделанных из различных материалов – гладкой пластмассы, стекла, гипса, бронзы, крашеного дерева, рифленого пластика, кожи и дерева. Композиция освещена сверху из-за зрителя с двух направлений. Перспективные искажения минимальны, признаков движения нет.

Тем не менее, присутствуют многие признаки объемного изображения, которые зритель «автоматически обрабатывает», чтобы верно воспринимать форму предметов. Округлость форм лошади передается изменением цвета по мере того, как поверхность из-за кривизны удаляется от источника света, и еще яснее – яркими бликами на боку и плече. Положение источников света можно установить по расположению бликов, а также по тенями на стене за композицией. Границы пластикового куба имеют различные оттенки, а в зазорах между кубами низкая освещенность. Пластиковый куб отбрасывает

«зайчик» на стену, а его боковая грань отражает стену и часть композиции. Материал и текстура объектов устанавливаются по размеру, интенсивности и цвету бликов и, безусловно, с использованием некоторого знания природы самих предметов.

Наиболее сложно воспринимается расписная деревянная ложка; ее форма распознается лишь после пристального рассматривания по слабым бликам на ребре путем анализа на уровне сознания. Распознавание остальных объектов и понимание их природы происходят совершенно автоматически, хотя некоторые из них встречаются не каждый день. Фотография не передает всей яркости бликов на стеклянном и металлическом шарах.

Модель 3D освещения

Большинство программ нашей отрасли созданы с использованием языка программирования OpenGL. В OpenGL предусмотрены четыре основных вида освещения: общий (ambient), рассеянный (diffuse), блики (specular reflections) и испускаемый (emissive). В простых вариантах 3D визуализации не предусмотрен показ теней и многократных отражений.



Рис. 1. Подсветка с двух направлений группы предметов из различных материалов порождает ряд 3D эффектов, связанных с их структурой и формой.

Общий свет в композиции не зависит от какого-либо направления на источник. В реальном мире он складывается из света всех источников на множестве объектов. При этом источников так много, что свет приходит одинаково со всех направлений. Общий свет равномерно освещает все грани объекта и в целом уменьшает интенсивность теней. В 3D графике общий свет обеспечивает видимость нижней части объекта при освещении сверху.

Рассеянный свет возникает при отражении от объекта света какого-либо источника. Можно задать направление на бесконечно удаленный источник или

Визуализация и интерпретация

положение источника на конечном расстоянии. Яркость отраженного света зависит от интенсивности источника, отражающей способности объекта и угла падения. Границы объекта, направленные от источника имеют нулевую отражающую способность, направленные на источник – максимальную; отражающая способность убывает пропорционально косинусу угла между нормалью к грани и направлением на источник (эффект «косого освещения» – obliquity effect), что показано на рис. 2a.

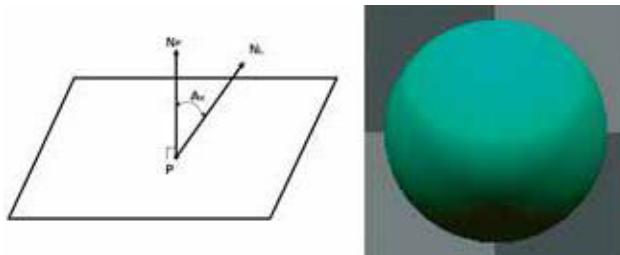


Рис. 2a Рассеянный свет ослабевает пропорционально косинусу угла между направлением на источник N_L и нормалью к поверхности N_P .

Блики – это отражения света источника в глаз зрителя. Эти отражения максимальны при угле падения, равном углу отражения. Блестящие объекты, такие как зеркала, отражают точечные источники в виде точек, на менее блестящих объектах, например, окрашенных, точки расплываются в области конечного размера. Матовые объекты бликов не дают. Блики подчеркивают ребро сложных поверхностей, если нормаль к поверхности лежит вне угла, образуемого гранями на этом ребре. Образование бликов показано на рис. 2b.

Испускаемый свет представляет излучение от самого объекта. Такой свет распространяется равномерно во всех направлениях и зависит от свойств материала.

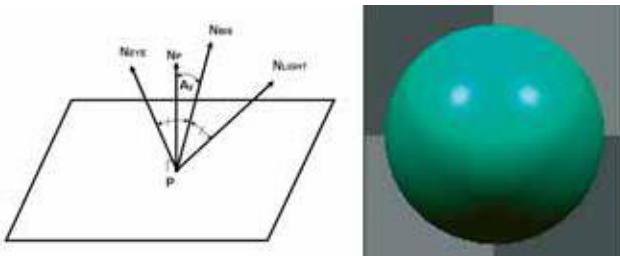


Рис. 2b. Яркость блика убывает пропорционально косинусу угла между нормалью к поверхности N_P и биссектрисой угла между направлением на источник и лучом зрения N_B .

Свет источников, расположенных на конечном расстоянии, может ослабевать с расстоянием. Зависимость от расстояния может быть константой (отсутствовать), а также линейной или квадратичной функцией расстояния между источником и объектом. Такие источники могут иметь конечные размеры (световые пятна – spotlights). Источники на конечном расстоянии популярны при изображении объектов, но мало используются при изображении сейсмических данных.

Цвет каждой точки объекта определяется цветом испускаемого объектом света, свойствами общего света в этой точке, и общим, рассеянным, и бликовым светом от всех источников.

Сейсмические данные с подсветкой

Рассеянный свет можно использовать для уточнения формы и ориентации изображения, поскольку плоскости, на которые свет падает по нормали, будут ярче, чем освещенные под другими углами. Общий свет позволит добиться освещения всех граней изображения, то если изобразить всю имеющуюся информацию. На рис. 3 показана блок-диаграмма сейсмического атрибута «sweetness» – амплитуды огибающей сигнала, деленной на корень из мгновенной частоты. Легкое диффузное отражение позволяет видеть, где сходятся грани, но не мешает прослеживать отражения на примыкающих гранях.

По аномально низким и аномально высоким значениям атрибута «sweetness» очень хорошо прослеживаются разломы.

В примере рис. 3 имеется всего три четких направления нормалей к поверхностям при многих тысячах точек изображения. Нормали, очевидно, не несут значительной информации. Добавление бликов к такому изображению просто добавит каждой грани блеск различной интенсивности. При этом пропадает информация, и никак не уточняется положение граней.

3D представление сейсмических данных сравнительно просто: каждый отсчет изображается точкой в нужных координатах x, y, z , цвет которой выражает значение величины. Можно добавить несколько умеренных эффектов подсветки, соединить несколько атрибутов или сделать объекты полупрозрачными, чтобы заглянуть внутрь объема. (На самом деле все не так просто: например, нужно следить за пространственным перекрытием данных и учитывать быстродействие, поскольку объемы данных велики; но в принципе понять процесс легко.)

Окончательное изображение позволяет интерпретатору одновременно видеть и интерпретировать границы и разломы по профилям, между профилями и на горизонтальных срезах. Подсветка позволяет правильно ориентировать изображение (не переворачивать его), и показывать края граней, не искажая данные.

Несколько сложнее показывать границы и разломы. Если не пользоваться 3D визуализацией, рельеф поверхности обычно показывают изолиниями или цветом. Такой подход можно распространить на 3D случай и строить изолинии в соответствующих координатах x, y, z или задавать цвета на серии поверхностей. Если много поверхностей изобразить в изолиниях, их неудобно воспринимать визуально; если использовать цветовую шкалу на серии поверхностей – теряется детальность, поскольку становится невозможно различить плоскости.

Поэтому обычно каждую поверхность дают своим цветом. Далее для показа структуры поверхности применяются рассеянный свет и блики или стереоскопический просмотр. Реализма добиваются не для красоты, а для передачи структуры разреза. Даже при стерео-просмотре нужно несколько по-разному окрашивать 3D объект, чтобы мозг мог объединить два изображения в один объемный предмет.

Визуализация и интерпретация

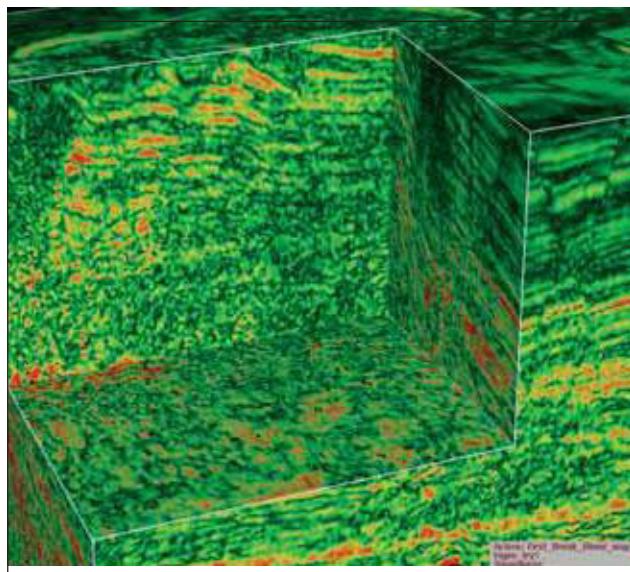


Рис. 3. Умеренное употребление освещения и рассеянного отражения позволяют видеть места сочленения граней при сохранении возможности прослеживать отражения между гранями.

Два синих диска должны дать синий диск, а не синий шар.

Пример поверхности, отражающей только рассеянный свет, приведен на рис. 4а. Заметим, что самые сильные 3D эффекты дают разломы, где отражающая способность в рассеянном свете низка, поскольку нормаль к поверхности косо ориентирована относительно источника света.

На рис. 4б показана та же поверхность, но дающая, наряду с рассеянным светом, и блики. Заметим, что блики на хребтах и краях разломов, доносят больше информации о форме поверхности.

Подсветка необходима при объемном изображении поверхностей. Чтобы понять структуру хорошо освещенной поверхности, интерпретатору не понадобится усилий на уровне сознания. На поверхность можно наложить атрибуты, заменяя рассеивающую поверхность цветами атрибута, например амплитуды или частоты. При этом может потребоваться сохранить рассеянный свет и блики, хотя обычно эффекты рассеянного света на многоцветном изображении слабее, чем на одноцветном.

Построить такие изображения нетрудно. Поверхность рисуется по своим координатам x,y,z, нормали к ней известны. Качество 3D эффектов в этом случае оказывает большее влияние, чем сами сейсмические данные. Более существенным фактором является задание правильных установок подсветки. Большая интенсивность бликов на рис. 4б задана, чтобы передать эффект при печати. На практике обычно используют меньшие значения.

На блок-диаграмме рис. 3 отсчеты даны в своих верных положениях и нормали к поверхности определены правильно. Впервые изображение сейсмических данных в виде рельефа применили для анализа когерентности. Топографы часто используют подсветку и затенение для имитации объема на картах. Когерентность – это мера разрывности, и уже поэтому сама разрывна. Ее называют «шумным атрибутом»

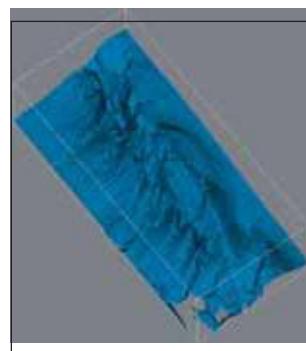


Рис. 4а. Поверхность, которая отражает лишь рассеянный свет.

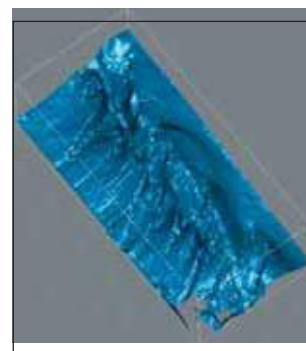


Рис. 4б. Поверхность, которая отражает рассеянный свет и дает блики.

(‘noisy attribute’) не потому, что она не представляет сигнал, а скорее потому, что она сильно меняется в пространстве. Чтобы интерпретатор мог свести детали с низкой когерентностью в линейные разломы, созданы плоскостные изображения данных, на которых отсчеты с низкой когерентностью (разрывы) дают пики. Каждый отсчет изображается в своих координатах x,y,z, а цвет его составляется из цвета шкалы, соответствующего значению, и искусственного эффекта рассеяния света, который подчеркивает градиент значения. На рис. 5 приведен пример оптической иллюзии («загадочной картинки», *trompe l’oeil*). Данные изображены на плоскости, но выглядят так, будто нанесены на 3D поверхность. Если на любую грань посмотреть под малым углом, она покажется, плоской, и рельеф не будет виден.

В этом примере фиктивный источник света размещен слева вверху от объема. Значения когерентности даны оттенками серого, на которые влияет освещение белым светом. Линейные области низкой когерентности легче выделять разломы, так как они более различимы, чем неосвещенные области. Этот пример – результат пакетной обработки, но на современных графических станциях такое изображение может быть интерактивным. На них можно показать цветом значения любого сейсмического атрибута и видеть атрибут и когерентность совместно.

При плоскостном изображении сейсмических данных можно также принимать амплитуду за значение третьей координаты. Профиль данных можно тогда изобразить в координатах «ОГТ – время – амплитуда» как поверхность в 3D пространстве, а цветом обозначить амплитуду. Если смотреть на такую поверхность спереди, осветив ее сверху спереди, и направив ось временем, как обычно, вниз, то плоские участки будут давать блики. Пример приведен на рис. 6а. Блики подчеркивают минимумы и максимумы, а в середине видно неконформное плоское пятно. Для сравнения на рис. 6б приведен разрез без подсветки. Плоское пятно видно и там, но на подсвеченном разрезе горизонтальные размеры пятна существенно больше. В этом примере использована одна хитрость. Значения вынесены на плоскость, но им приписаны нормали, как будто их строили в 3D пространстве. (Этот тип данных можно изображать в 3D виде, но получится объем с уродливыми швами, преобразовать экранные координаты точек в координаты ОГТ и времени также будет непросто.) Такое способ изображения позволил выделить плоские участки, которых раньше не было видно.

Визуализация и интерпретация

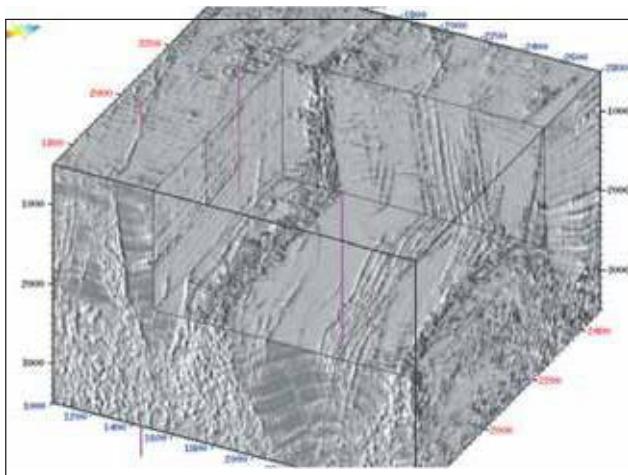


Рис. 5. Блок-диаграмма когерентности с подчеркнутым рельефом.

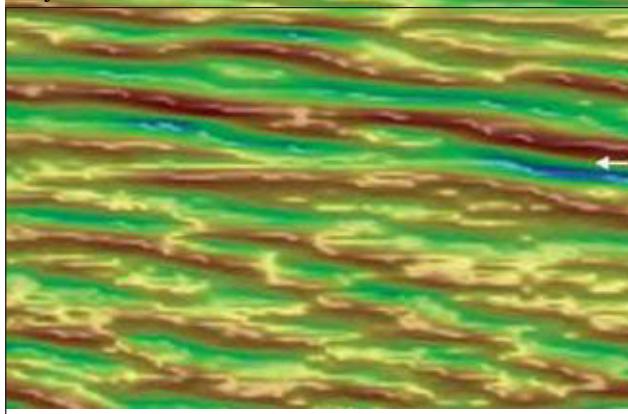


Рис. 6а. Разрез амплитуд с бликами. Видно неконформное плоское пятно примерно посередине разреза.

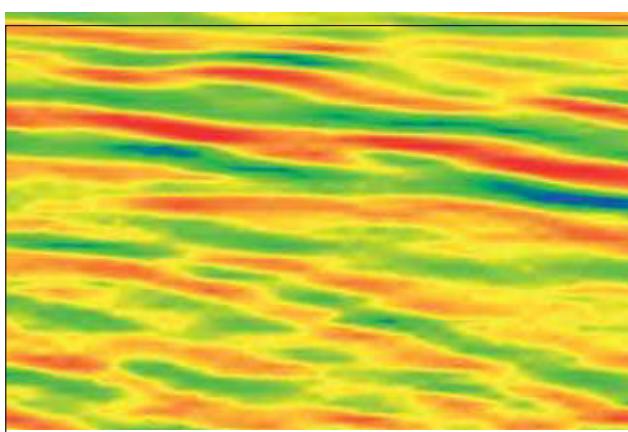


Рис. 6б. То же, без подсветки.

Наложение бликов может также повысить читаемость совмещенных разрезов. Весьма часто совмещаются разрезы когерентности и какого-либо еще сейсмического атрибута. Когерентность подчеркивает литологические и структурные границы. Обычно когерентность изображают двумя цветами: черным – низкие значения, белым – все остальные, выше некоторого порога. Так стараются подчеркнуть границы. Когерентность – «шумный» атрибут, и для нее важно не само значение, а большое оно или маленькое. В этом случае наложение цветов представляется естественным решением. Разломы и границы показываются черным, значения атрибута – цветами.

Можно также задать нормали к поверхности по градиенту когерентности, поскольку для плоскости нормаль постоянна. Тогда линейные зоны низкой когерентности будут давать блики, как хребты на рис. 4а. Пример такого представления временного среза приведен на рис. 7а. Для сравнения на рис. 7б приведен тот же разрез без подсветки.

Границы слоев видны на обоих разрезах. Но детальность подсвеченного изображения гораздо выше, и подсветка позволяет по текстуре выделить ряд областей. Эти текстуры сами образуют ряд областей. Из представления когерентности в традиционной форме обычно нельзя извлечь информации больше, чем просто разбиение на два класса.

Такое изображение слегка отличается от рельефного составного изображения нескольких атрибутов, дополненного когерентностью. Здесь хребты на границах дают блики, а не отбрасывают тени за счет рассеянного отражения. В составном изображении угол зрения будет иметь значение, поскольку отражение зависит от направления нормали и биссектрисы угла между направлением на источник и лучом зрения. Изображения такого типа часто называют «карты ухабов» ('bump mapping') и реализуют на графических станциях на языке OpenGL с поддержкой затенения.

Выходы

Очевидно, что, подсвечивая сейсмическое изображение, можно предоставить интерпретатору больше информации. Подсветка необходима при изображении нескольких поверхностей границ и разломов. Так можно улучшить простые 3D изображения и значительно увеличить количество информации при изображении нескольких атрибутов. С помощью подсветки можно выделять в сейсмических данных плоские участки, разломы и вали. Такие изображения имеют большую экономическую ценность, когда по ним удается выделить ранее неизвестные плоские участки и детали морфологии.

Подсветка – мощный инструмент 3D интерпретации, но, чтобы эффективно им пользоваться, интерпретатор должен хорошо его понимать и знать недостатки слишком реалистичного 3D изображения.

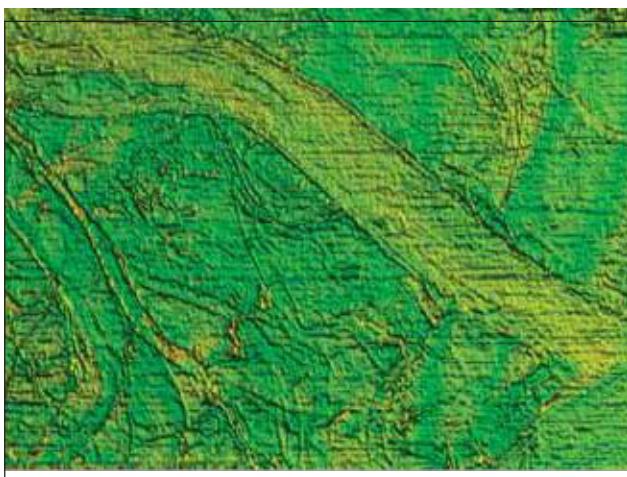


Рис. 7а. Разрез амплитуд с наложением цветов и «карты ухабов» когерентности. Свет идет сверху справа; блики подчеркивают вали.

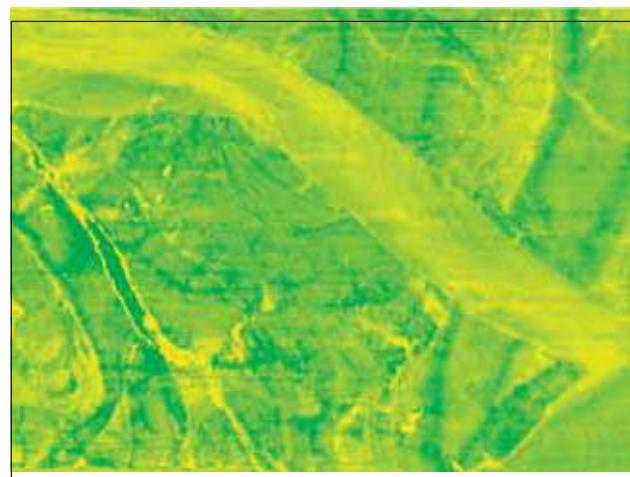


Рис. 7б. То же, без подсветки. Русловой комплекс выделяется гораздо хуже, чем на рис. 7а.

Благодарности

Данные для примеров предоставлены компаниями Pemex и Clyde Petroleum. Авторы выражают благодарность сотруднику компании Paradigm Лоре Эвинс (Laura Evins) за расчет когерентности по данным, использованным в приведенных примерах.

Литература

David Schreiner et al [2003] *OpenGL Programming Guide, version 1.4*. Addison Wesley.
Randi Rost [2004] *OpenGL Shading Language*. Addison Wesley, 2004