

Динамика амплитуд: Уменьшение влияния следов расстановки на временную миграцию до суммирования

Билл Кэмпс, Tsunami Development

Amplitudes: Reducing Acquisition Footprint for Prestack Migration

Bill Kamps, Tsunami Development

Введение

Геофизики в наши дни все больше заинтересованы в амплитудах выходных данных миграции, чем когда-либо. Амплитуды полученных после миграции сейсмограмм используются для распознавания геологических характеристик свойств резервуаров, а также для анализа зависимости амплитуд от удаления (AVO).

Эффективное использование этих технологий во многом зависит от относительной точности и стабильности амплитуд мигрированных сейсмограмм. Несмотря на все усилия по сохранению амплитуд внутри алгоритма миграции, геометрия съемки (следы расстановки трасс) искажает результат и делает анализ амплитуд сомнительным.

Геометрия трехмерных профилей наземной съемки особенно влияет на результирующие амплитуды. В идеале, нам хотелось бы получить данные на регулярной сетке с полным диапазоном офсетов на каждую ОГТ. Такой вариант возможен только на модельных данных. В реальности, искажение, вызванное

Introduction

Users of seismic data today are more interested in the amplitudes of the migrated data than ever before. The amplitudes of the output seismic gathers are used for distinguishing geologic and reservoir properties as well as for AVO analysis. The effective use of these technologies depends a great deal on the relative accuracy and stability of the amplitudes in the migrated gathers. Regardless of how careful we are in preserving the amplitudes within the migration algorithm, the acquisition geometry of the traces can distort the migrated amplitudes and render amplitude analysis very risky.

The acquisition pattern of 3D surveys can have a great effect on the resulting amplitudes, especially in land datasets. In the ideal situation we would like each offset to be acquired on a regular grid, and for each cdp to contain all the offset ranges. This of course only happens in synthetic surveys. The distortion created by the acquisition geometry is called the acquisition footprint. It is the imprint left on the amplitudes by the irregular spacing of the acquired traces. In this article we discuss technology that significantly reduces the acquisition footprint as well as research we are doing to make further progress in this area.

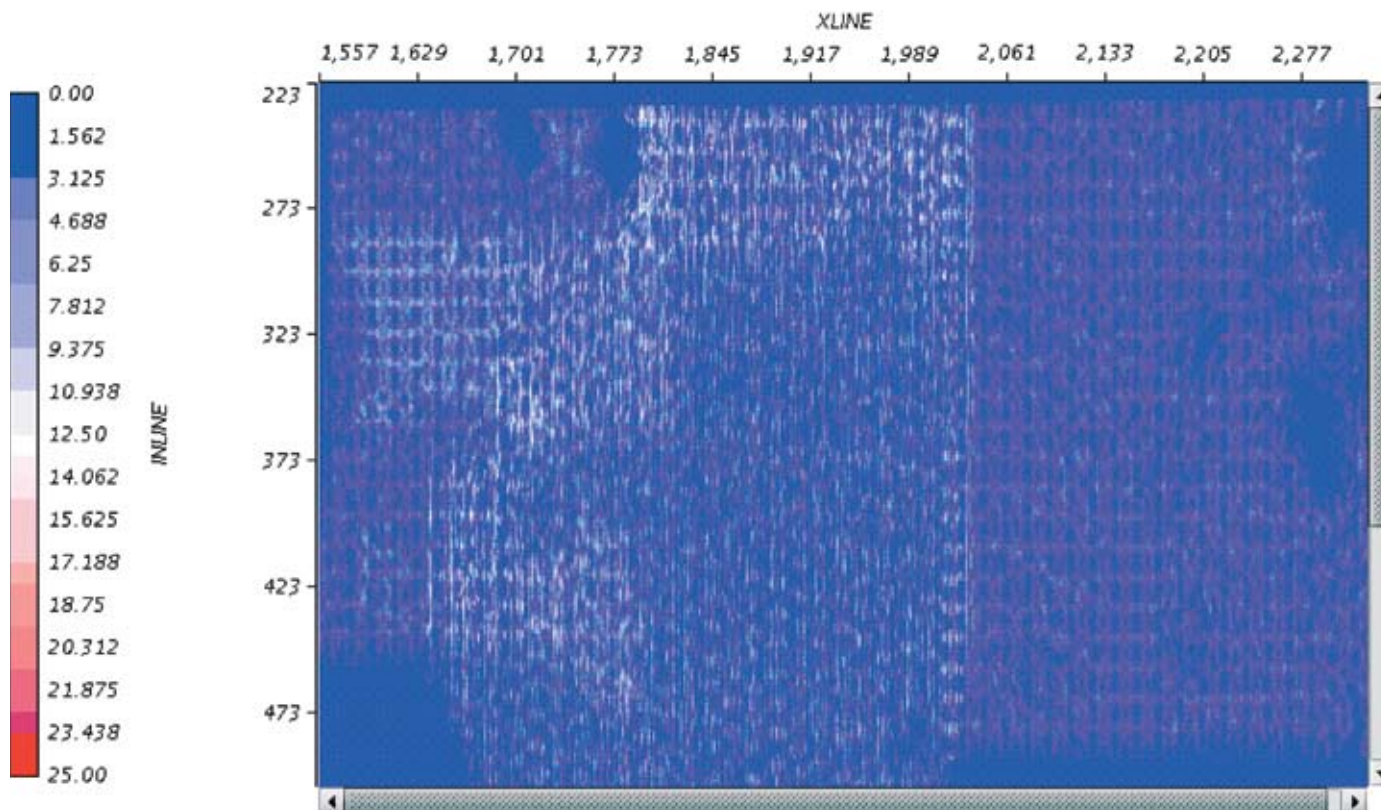


Рис. 1: Исходные трассы на выносах 3200 – 4000

Figure 1: Map of input trace locations for offset range 3200 – 4000

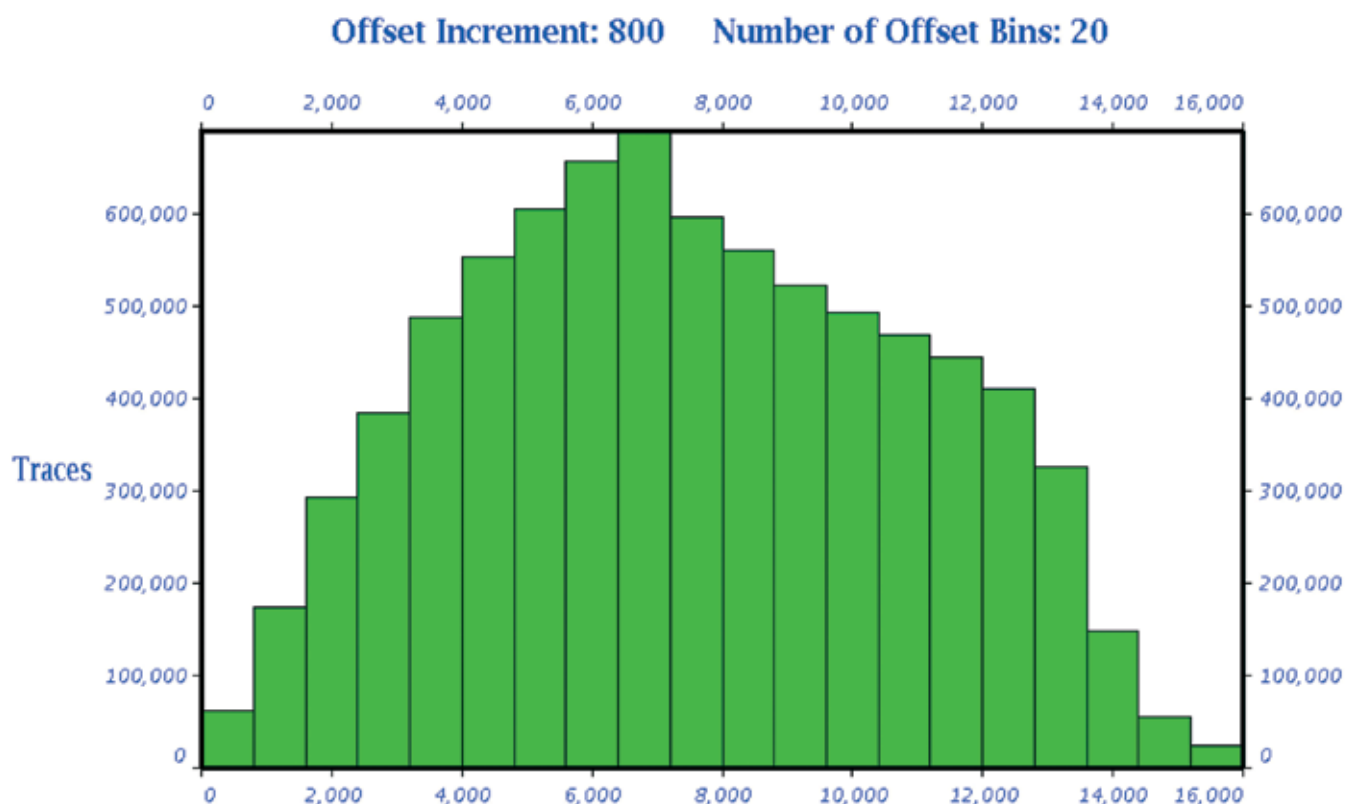


Рис.2 Гистограмма офсетов
Figure 2: Offset histogram

геометрией съемки называется эффектом следов расстановки (acquisition footprint). Это отпечаток, оставленный на амплитудах неравномерным расположением полученных трасс по площади съемки.

В этой статье рассматриваются технология, в значительной мере уменьшающая влияние следов расстановки, а также новые разработки, ведущиеся нами в этом направлении.

■ Две стороны одной проблемы

Первая состоит в том, что на каждом офсетном бине, трассы расположены с различной плотностью. На практике такую модель можно построить путем объединения двух различных геометрий съемок в одну и, как результат, получения районов с перекрытием. Вторая - в том, что ближний, средний и дальний офсеты держат неодинаковое количество трасс. Например, ближний офсет может содержать только одну десятую часть количества трасс среднего.

Эта разница в популяции трасс вызывает соответствующие различия в амплитудах отмигрированных сейсмограмм. Офсеты с меньшим количеством трасс имеют слабые амплитуды на мигрированных сейсмограммах, в то время как офсеты с большим количеством трасс – сильные. Обе эти проблемы должны рассматриваться для получения качественных амплитуд после миграции сейсмических данных.

На **Рис.1** показана карта расположения трасс на одном офсетном бине съемки. Голубым отмечены районы без трасс, а белым – районы с большой плотностью трасс съемки. На **Рис.2** показана гистограмма офсетов. **Рис.1** показывает типичное расположение трасс по офсетам для наземной съемки. Как видно наименьшее количество трасс находится на ближнем и дальнем офсетах, а наибольшее - на среднем. Такое распределение трасс существенно влияет на анализ AVO, поскольку амплитуды искажаются в силу большого рассеяния количества трасс на каждый офсетный бин.

■ Two Problems Not Just One

There really are two dimensions to this problem. The first is that within an offset bin the traces are not acquired at a uniform density over the survey. This can be compounded by the common practice of merging surveys which have different acquisition geometries and possible overlap areas. The second problem is that the different offset bins usually have very different populations. The near offsets may have one tenth the number of traces in them as the middle offsets. This very

Weighting midpoint-offset space

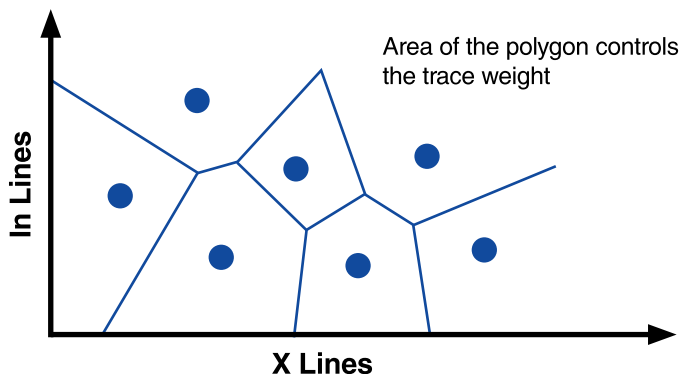


Рис.3: Метод взвешивания по полигонам
Figure 3: Polygons used to build weights

large difference in trace population produces corresponding amplitude differences in the migrated gather. The small population offsets have weak amplitudes in the migrated gather; the large population offsets have high amplitudes in the migrated gather. Producing useful amplitudes from the migration requires addressing both of these issues.

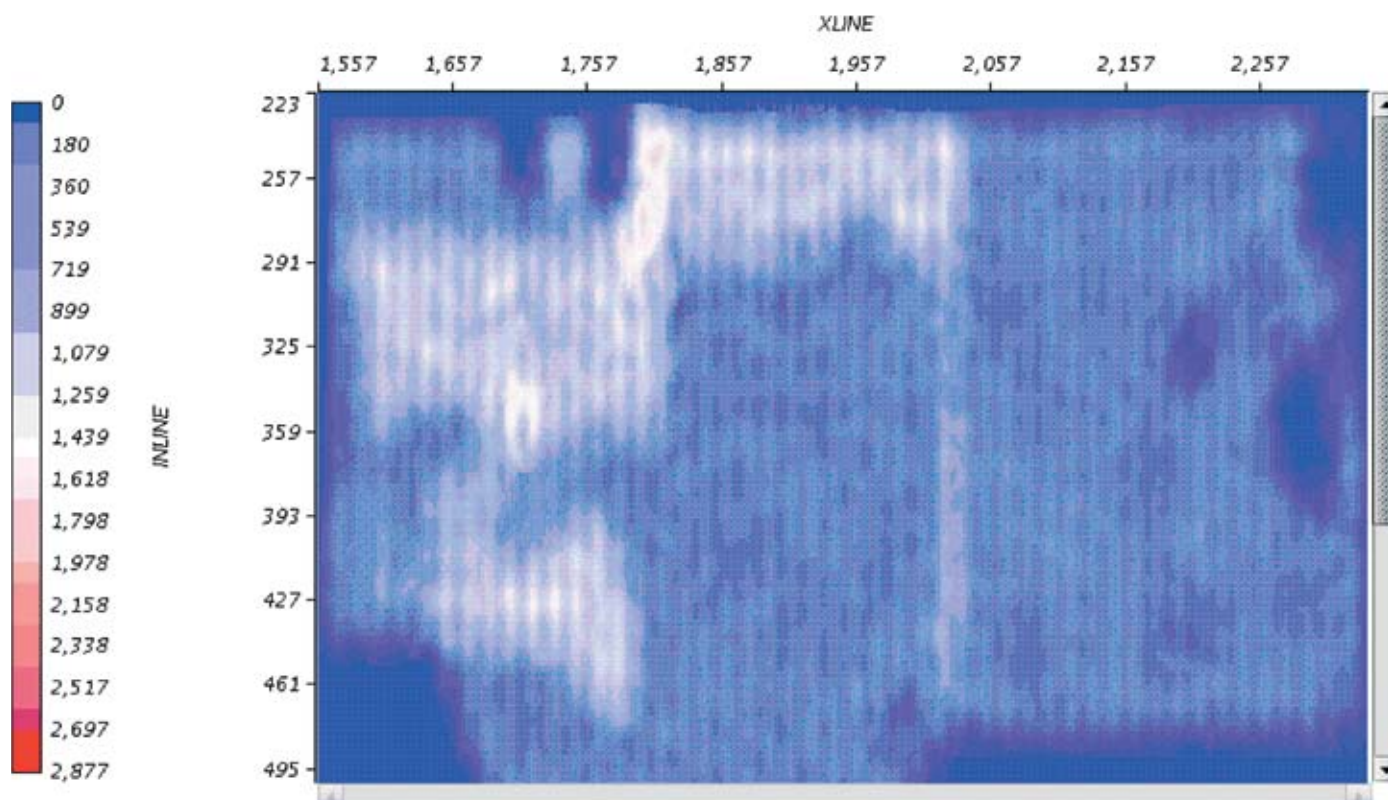


Рис. 4: Временой срез следов расстановки для отмигрированной горизонтальной границы на выносах 3200-4000
 Figure 4: Time slice of migrated flat event showing acquisition footprint offset range 3200-4000

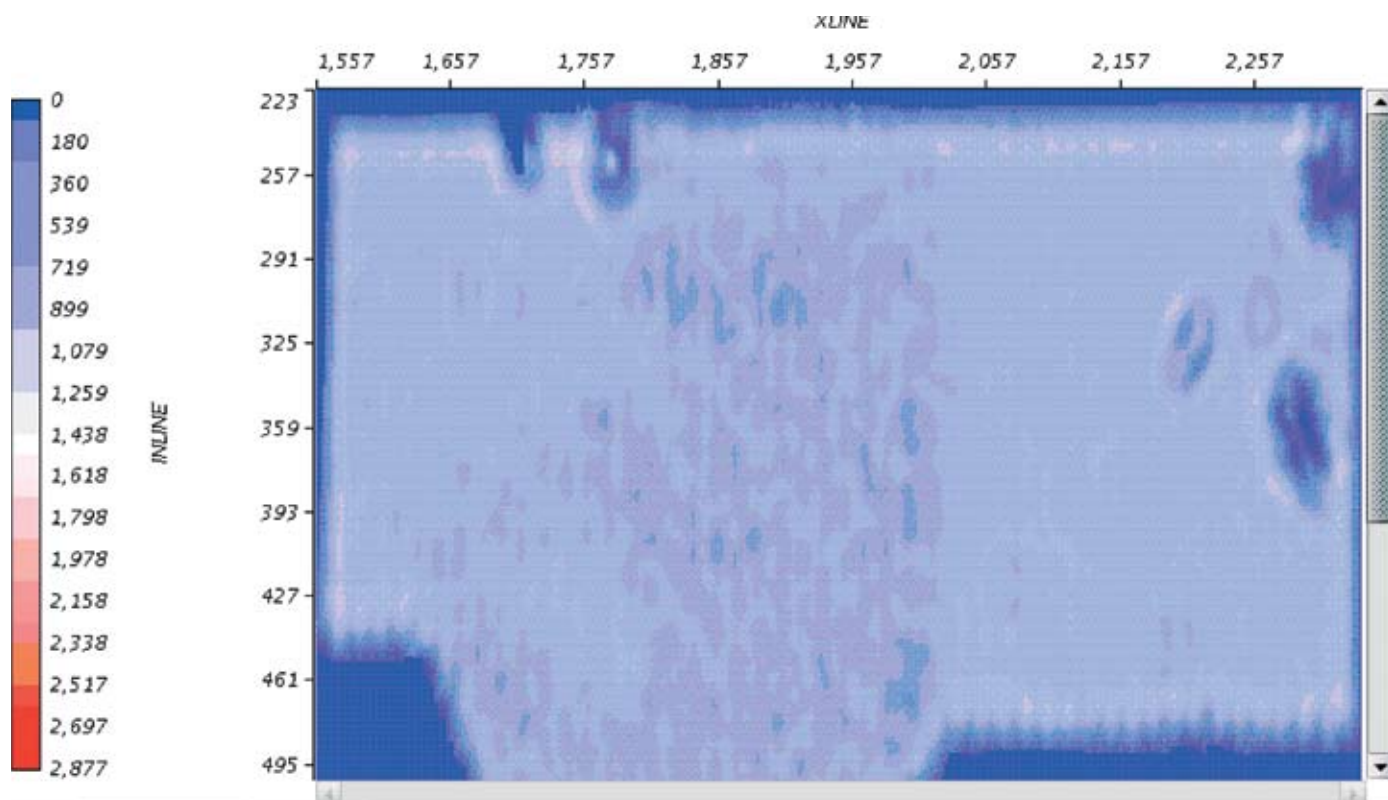
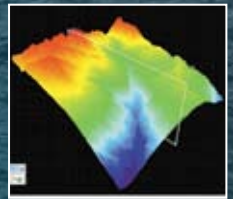


Рис 5: Временой срез следов расстановки для отмигрированной горизонтальной границы на выносах 3200-4000, используя метод взвешивания по полигонам
 Figure 5: Time slice of migrated flat event using polygon weights offset range 3200-4000

When it's a Question of Geophysical Surveys... ...Ask Fugro

Detailed surveys and assessments of the seabed and sub-seabed are a critical prerequisite to the cost-effective design of marine structures and sub-sea installations.



Fugro's international fleet of strategically located geophysical survey vessels and geoscience teams provide a wide range of geophysical data acquisition and interpretation services that cover all water depths.

Fugro NV, 10 Veurse Achterweg, PO Box 41, 2260 AA Leidschendam, The Netherlands
Tel: +31 70 311 1422 Fax: +31 70 320 2703 Web: www.fugro.com

NO OTHER COMPANY CAN PROVIDE THE SAME COMPREHENSIVE RANGE OF GEOTECHNICAL, SURVEY AND GEOSCIENCE SERVICES



Компенсирование неравномерного распределения трасс внутри каждого офсетного бина

Описанный Canning and Gardner (1) метод в большинстве случаев эффективен для уменьшения проблемы нервномерного распределения трасс внутри каждого офсетного бина. Мы имплементировали этот метод в Tsunami Imaging Suite с небольшими вариациями, которые повышают стабильность алгоритма. В нескольких словах, этот метод создает множество весов, которые налагаются на входные трассы до расчета миграции. Эти веса рассчитываются путем создания множества полигонов вокруг каждой трассы на площади офсетов. **Рис.3** Вес каждой трассы определяется пропорционально площади полигона в котором она находится. Поэтому близко расположенные трассы имеют меньший вес, а удаленные друг от друга больший.

Чтобы продемонстрировать этот метод, мы создали модельные данные с постоянной функцией скорости на всем кубе, другими словами $V(z)$ неизменна. В этих данных всего одна горизонтальная отражающая граница. Если бы трассы на модельных данных были созданы на равномерной сетке, после миграции отражающий слой имел бы постоянную амплитуду. А на наших даных распределение трасс показано на **Рис.1** Несколько другой выглядит миграция горизонтальной отражающей границы с постоянной амплитудой на временном разрезе **Рис.4** Этот разрез показывает следы расстановки съемки, и поэтому в сравнении с **Рис.1**, как и ожидалось, очевидна явная взаимосвязь между плотностью распределения трасс и амплитудами отмигрированного слоя. После этого мы создали множество весов исходных данных, рассчитанных по полигонам вокруг трасс и перезапустили миграцию. **Рис.5** показывает результат на временном разрезе. На этом примере видно, что применение метода взвешивания трасс на исходных данных, после миграции выдает более постоянные амплитуды отмигрированного слоя. Этот результат типичен для метода взвешивания амплитуд, рассчитанных по полигонам.

На протяжении многих лет мы неоднократно экспериментировали со скалированием отмигрированных трасс, основываясь на расчете количества просчитанных дискретов к дискрету выходной

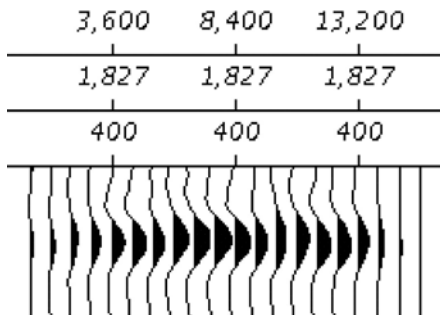


Рис 6: Мигрированная сейсмограмма без применения взвешивания
Figure 6: Migrated gather with no weights applied

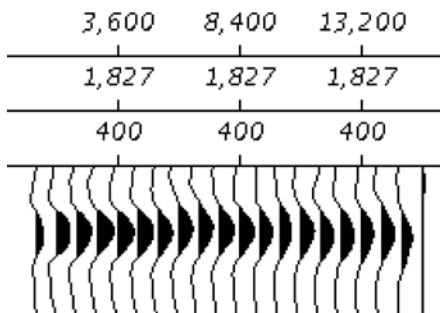


Рис 8: Мигрированная сейсмограмма с применением взвешивания и нормализованных весов
Figure 8: Migrated gather with weights applied and with weights normalized

Figure 1 is a trace distribution map of the traces within a single offset bin. The blue areas show holes in the survey while the brighter white areas show high concentrations of traces in the acquisition. **Figure 2** is an offset histogram showing a typical land survey offset population. We see very few traces in the near and far offsets, and large numbers of traces in the middle offsets. This type of distribution greatly distorts AVO analysis, since the amplitudes will certainly be distorted by virtue of the large variance in the number of traces within each offset bin.

Compensating for Uneven Trace Distribution Within an Offset

The method described by Canning and Gardner (1) is generally effective at mitigating the problem of uneven trace distribution within an offset bin. We have implemented this method within the Tsunami Imaging Suite with some minor variations which increase the stability of the algorithm. In brief the method creates a set of weights that are applied to the input traces prior to migration. These weights are calculated by creating a set of polygons surrounding each trace within an offset plane, **Figure3**. The trace weights are created proportional to the area of the polygons. Roughly speaking, traces that are closer together receive lower weights and traces that are further apart get higher weights.

To demonstrate the method we created a synthetic dataset that has a constant velocity function throughout, in other words the $V(z)$ function is uniform. The synthetic dataset contains a single flat event. If the traces in the synthetic dataset were created on a uniform grid, after migration, the flat event would have constant amplitude. However, we created the synthetic dataset with the trace distribution shown in **Figure 1**. Rather than a flat event with constant amplitude, the migration produced the result displayed in the time slice shown in **Figure4**. This time slice shows the acquisition footprint because when compared with **Figure1**, it is obvious that there is a significant correlation between the density of the traces and the amplitudes in the migrated event. This is what we would expect. We then created the input trace weights based on the polygon method, and reran the migration. **Figure5** shows the result displayed in the time slice. We can see from this time slice that weighting of the input traces produces much more consistent amplitudes in the migrated event. This result is very typical of the results we see with the polygon weighting technique.

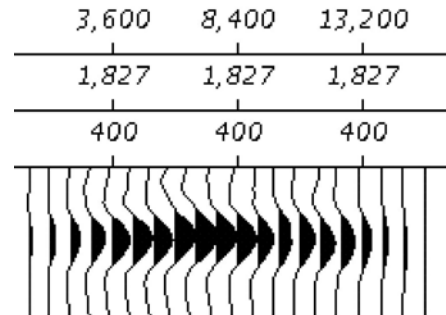


Рис 7: Мигрированная сейсмограмма с применением взвешивания
Figure 7: Migrated gather with weights applied

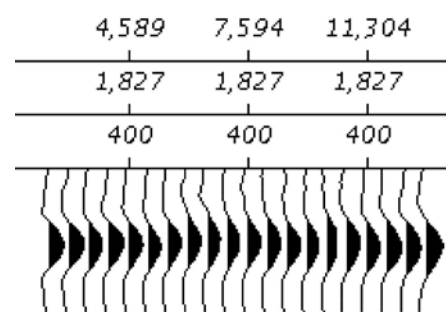


Рис.9: Мигрированная сейсмограмма с применением сбалансированных весов по офсетам
Figure 9: Migrated gather with balanced offset bins

LARRY LEE

Specializing in Oil & Gas, Energy and Locations around the world. By combining many assignments on each travel itinerary the expenses are kept to a minimum for each client. A free CD with over 4000 images is available as a catalog of photos. Also please visit my new Web-site at " larrylee.com " to see more samples of my photography. Thank You



LARRY LEE PHOTOGRAPHY
P.O. BOX 55730
VALENCIA, CA 91385 U.S.A.

© 2007 Larry Lee

661/259-1226
WWW.LARRYLEE.COM
PHOTO@LARRYLEE.COM

трассы. Эти методы так и не смогли предоставить нам желаемые результаты, потому, что при возможности измерить количество входных дискретов на один выходной дискрет трассы, потом невозможно скалировать их корректно, основываясь на методике измерения этого количества. Величина мигрированной амплитуды очень нелинейна. На нее влияют несколько факторов, таких как: скоростная модель, антиалиасинг фильтр, время прихода, глубина залегания отражающей границы и отношение сигнал-помеха. Поэтому невозможно создать одну функцию передачи, основываясь на плотности входных дискретов, которая корректно отскаливает выходные дискреты. Единственный выход – скалировать амплитуды входных трасс для компенсации их неравномерной плотности.

Компенсация различной плотности трасс между офсетами

Как видно из гистограммы (Рис.2) плотность трасс в офсетных бинах существенно различается при бинировании с равномерным шагом. На гистограмме представлена типичная наземная съёмка, где на ближних и дальних офсетах не хватает дискретов, по сравнению со средним офсетом. Поэтому амплитуды ближнего и дальнего офсетов слабые относительно амплитуд среднего офсета. Рис. 6-9 показывают амплитуды, полученные после миграции модельных данных с горизонтальной границей с пространственным распределением, типичным для Рис.1 и плотностью трасс, показанной на гистограмме. Для данной отражающей границы, распределение AVO должно быть равномерным, а на Рис.6 мы видим обычное распределение, когда ближние и дальние офсеты слабее, потому как содержат небольшое количество трасс в бинах. На Рис.7 показаны результаты после применения метода взвешивания по полигонам, описанного выше. Как видно, взвешивание по полигонам выравнивает пространственное распределение по офсетам, но не компенсирует амплитудные различия между офсетными бинами.

Tsunami имеет два решения для компенсации амплитуд между офсетными бинами. Первое - настроить опцию взвешивания по полигонам так, чтобы скомпенсировать различное количество трасс в каждом офсетном бине. В итоге веса вычисляются для всех офсетов, затем они скалируются таким образом, чтобы суммы весов для каждого офсетного бина были нормализованы. Это компенсирует веса амплитуд между офсетными бинами. На Рис.8 показан результат применения этого подхода. Как видно газер имеет более равномерное распределение амплитуд. Издержки этого подхода в том, что при увеличении амплитуд ближнеофсетных зашумленных трасс, суммированный разрез будет иметь более высокий уровень высокочастотного шума. Но как и во многих геофизических процедурах необходимо находить компромисс между потерями и приобретениями.

Второе – задать инкременты выходных офсетов такими, чтобы каждый офсетный бин содержал в себе одинаковое количество исходных трасс. В этом случае бинирование выходных офсетов будет с неравномерным шагом. На Рис.10 приведены значения офсетов в случае, когда исходные трассы поделены на двадцать равномерных офсетных бинов. Как и ожидалось, инкремент у ближних и дальних офсетов больше, чем у средних. Такое регулирование по количеству входных трасс естественно балансирует амплитуды выходных мигрированных сейсмограмм. Как видно из Рис.9 амплитуды отражения равномерны по всей сейсмограмме. В случаях, когда можно применить этот подход, можно достичь лучших результатов.

Заключение

Мы показали, что можно компенсировать непостоянство амплитуд, вызванное неравномерностью геометрии, используя комбинацию различных подходов. Один из способов – компенсировать неравномерность пространственного распределения трасс путем взвешивания входных трасс каждого бина. Второй – компенсировать амплитудные вариации между офсетными бинами, нормализуя рассчитанные веса между

Table of Offsets For Balancing Trace Population

Offset	Number of Traces	Offset	Number of Traces
1047	399922	7594	400212
2540	400415	8138	400197
3334	400460	8716	400216
3993	399827	9318	400635
4589	400416	9951	399480
5135	399905	10613	400970
5647	400749	11314	300267
6141	398455	12036	401582
6620	402327	12826	400184
7095	400014	19561	400406

Рис.10: Таблица офсетов для создания сбалансированных офсетных бинов

Figure 10: Table of offsets to created balanced offset bins

Over the years we have experimented with many attempts to scale the migrated traces after the migration based on counting the number of contributing samples to an output trace sample. These methods have all failed to produce desirable results. This is because while it is possible to measure the number of contributing samples to each output trace sample, it is not then possible to scale them correctly based on the measure count. The magnitude of the migrated amplitude is very non-linear. The migrated amplitude is affected by a great many factors such as the velocity model, the antialias filter, the time of the event, the dip of the event, and the signal to noise ratio. So it is not possible to create a single function based on the number of contributing input samples that will correctly scale the output samples. The only real solution is to scale the input trace amplitudes to compensate for their irregular density.

Compensating for Population Differences Between Offsets

As we see in the Figure 2 histogram the population of traces within offset bins varies a great deal when offsets are chosen on a regular increment. The histogram shows the typical land distribution, where near and far offsets are under sampled compared to the middle offsets. This causes the amplitudes of the near and far offsets to be weak relative to the middle offsets. Figures 6–9 are made by migrating a flat synthetic event with the spatial distribution typical of Figure 1, and the offset population shown in the trace histogram. The AVO signature of the event should be flat, however in Figure 6 we see the usual amplitude distribution, where the near and far offsets are weak, because of the small number of traces within these offset bins. Figure 7 shows the result of using the polygon weights that were discussed above. As we can see, while the polygon weights make for a more uniform spatial distribution within an offset plane, they do not compensate for the amplitude differences between offset bins.

To compensate for the amplitudes between offset planes there are two solutions within Tsunami. The first is to optionally adjust the polygon weights such that they compensate for the different number of traces within each offset bin. After all the weights are built for all the offsets, we then go back and scale these weights such that the sum of the weights for each offset bin are normalized. This compensates for the amplitude weight between the offset bin. Figure 8 shows the result of applying this technique. As we can see the gather now has a more uniform amplitude distribution. The trade off with this technique is that by raising the amplitude of noisy near offset traces, the stack section may show more high frequency noise. As with many geophysical processes the benefits must be weighed against the limitations.

The second method is to design the output offset increments such that each offset bin will have the same number of input traces in it. This of course means that the output offset bins will not have a uniform increment. Figure 10 shows the offset values when the input traces are divided into twenty uniform offset bins. As expected the near and far offsets have larger increments between bins, while the middle offsets have smaller increments. This balancing of the number of input traces naturally balances the amplitudes on the output migrated gathers. As we can see

офсетными бинами, или, создавая офсетные бины с одинаковым количеством трасс в них. Применяя комбинацию этих методов можно существенно уменьшить влияние следов расстановки на амплитуды.

В любом случае пользователь должен сделать серию тестов на целевых профилях для подтверждения эффективности выбранного подхода. В некоторых случаях, когда неравномерность крайне высока, результат может быть не таким успешным, как показано в этой статье. Также возможно, что в процессе балансировки входных трасс, ближний выходной офсет будет усилен больше, чем это необходимо. Это может произойти, в случае, когда ближние офсеты недостаточно бинированы. Лог файл покажет рассчитанные офсеты, когда они рассчитываются с неравномерным пространственным шагом. Пакет Tsunami также предлагает пользователю возможность ввести список желаемых офсетов. В этом случае можно получить любой шаг по офсетам.

■ Ограничения и новые разработки

Мы продолжаем разработки в направлении уменьшения влияния геометрии съемки на амплитуды. Предложенный метод полигонов принимает во внимание только местонахождение трассы. Поэтому, по существу, это решение первого порядка. Как видно из **Рис. 4 и 5** оно показывает значительное улучшение. Однако этот метод не принимает во внимание азимут трасс, скоростную модель или время/глубину отражений. В то время, как эти методы позволяют нам добиваться значительного улучшения, мы считаем, что есть возможность для дальнейшего совершенствования алгоритма. В данный момент мы заканчиваем исследования,

которые позволят нам более точно моделировать веса входных трасс. Применяя процесс инверсии и оператор миграции, будет возможно более точно отрегулировать веса входных трасс таким образом, что изображение на **Рис.5** будет выглядеть более равномерным. Веса также смогут слегка изменяться по времени/глубине для моделирования изменения импульсной характеристики как функции времени (глубины). По мере нарастания глубины, на мигрированном разрезе наблюдается все большее смещение исходных трасс, и поэтому веса трасс должны быть отрегулированы соответственно. В первом квартале следующего года мы планируем обновить эту статью с демонстрацией новой технологии.

■ Ссылки

"Reducing 3-D acquisition footprint for 3-D DMO and 3-D prestack migration" Anat Canning and Gerald Gardner, Geophysics Vol 63, No 4, July-Aug 1998, pp 1178-1183

from **Figure 9**, the amplitudes of the event are now very uniform across the gather. In situations where this technique can be applied the best results can be achieved.

■ Conclusions

We have shown that it is possible to compensate for amplitude variations caused by acquisition geometries by using a combination of techniques. It is possible to compensate for the spatial distribution of the traces within an offset bin by applying weights to the input traces that compensate for the trace density. It is possible to compensate for amplitude variations between offset bins by either adjusting the calculated weights to normalize the weights between offset bins, or by creating offset bins that have the same number of input traces in them. By using a combination of these methods the acquisition footprint can be greatly reduced.

In all cases the users should run a series of tests on target lines to confirm that the processes are producing the desired benefit. In some cases, where the distribution densities vary to the extreme, the results may not be as good as those shown in this article. It's also possible than when balancing the input trace population, that the nearest output offset will be increased more than desirable. This can happen when the near trace offsets are particularly under sampled. The Tsunami log will print the calculated offsets when it computes the irregular offset spacing. Tsunami also offers the option for the user to input a list of offsets which can be manually determined. In this way virtually any offset increment can be achieved.

■ Limitations and Future Research

We are continuing to do research to mitigate the effects of acquisition geometry. The current polygon method takes only the trace location into account. So it is basically a first order solution. As we can see from **Figures 4 and 5**, it is achieving a significant improvement. However the method does not take into account the azimuth of the traces, the velocity model, or the time/depth of the event that is modeled. So while the current methods achieve a significant improvement in producing useful amplitudes, we think there is some room for improvement. We are in the process of completing research that will allow us to more accurately model the input trace weights. Using an inversion process, and the migration operator, it should be possible to more accurately adjust the input trace weights such that the image in **Figure 5** becomes even smoother. The weights will also be able to be slightly modified as a function of time/depth to model the changes in the impulse response as a function of time/depth. As we move deeper into the migrated section more mixing between the input traces takes place, and therefore the trace weights should be adjusted accordingly. We expect to have an update to this article in the first quarter that will demonstrate this new technology.

■ Reference

Reducing 3-D acquisition footprint for 3-D DMO and 3-D prestack migration Anat Canning and Gerald Gardner, Geophysics Vol 63, No 4, July-Aug 1998, pp 1178-1183

