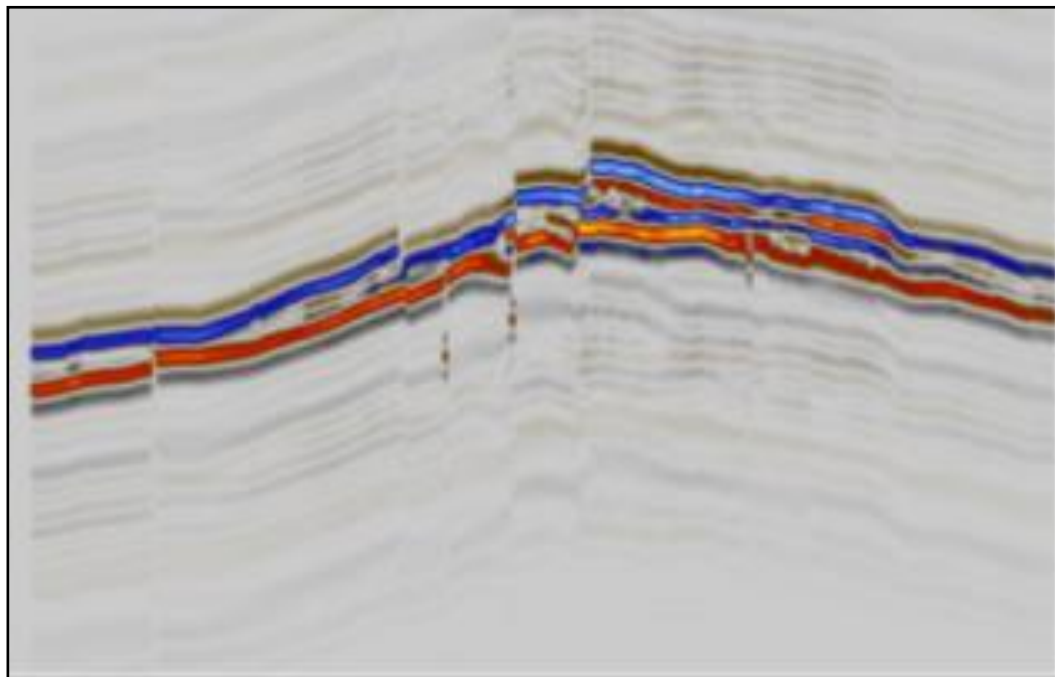
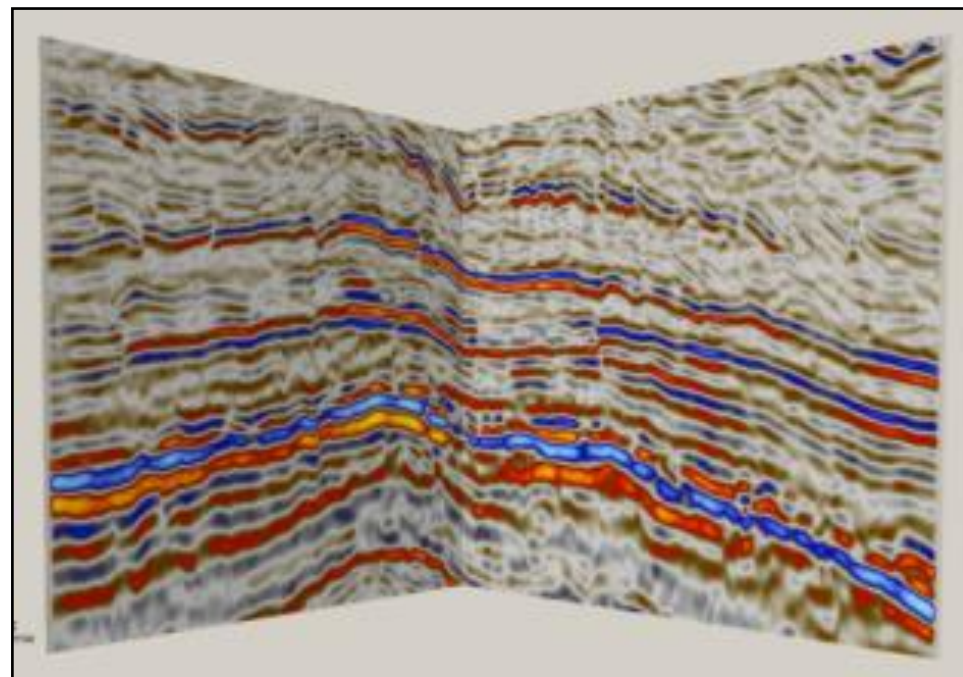


# 蚂蚁追踪

# Faulted environment



明显的边界

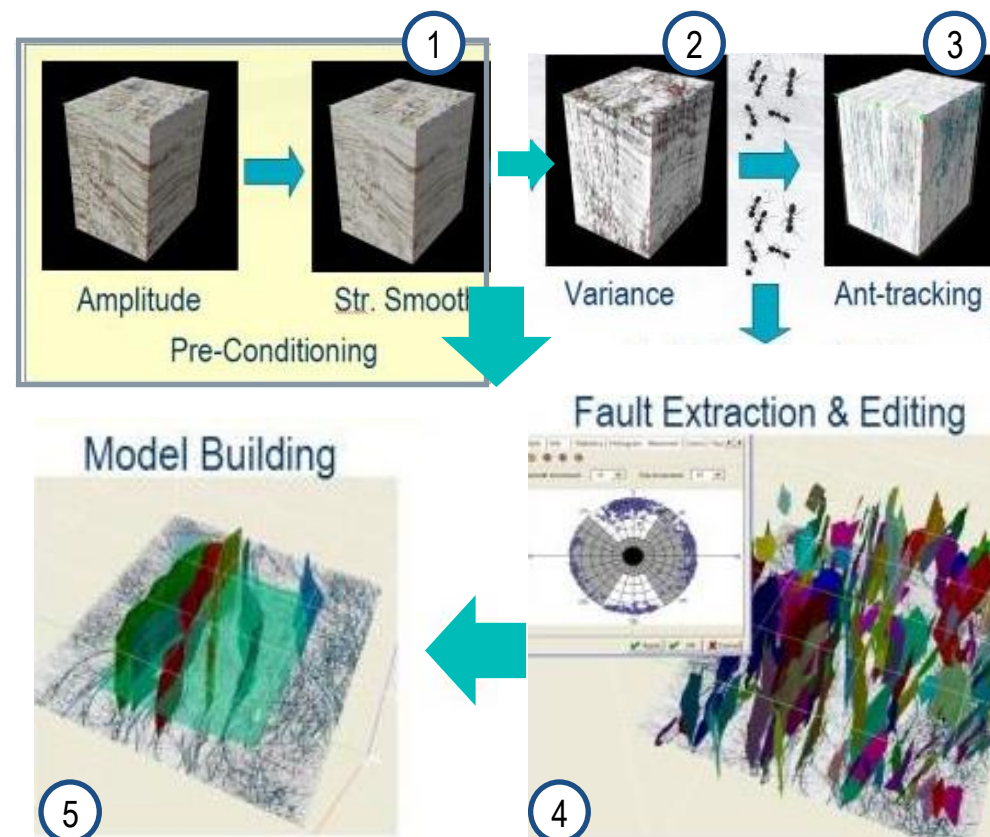


不明显的边界

# 蚂蚁追踪 workflow

1. 预处理原始地震数据. 用 Structural smoothing with *Fault edge preservation* option.
2. 提高边界探测. 用构造平滑属性生成方差体或混沌体.
3. 生成蚂蚁追踪属性.
4. 从蚂蚁追踪体中提取断层片.
5. 创建断层模型.

Note: 通常，用小数据量做参数测试，再应用到整个工区.

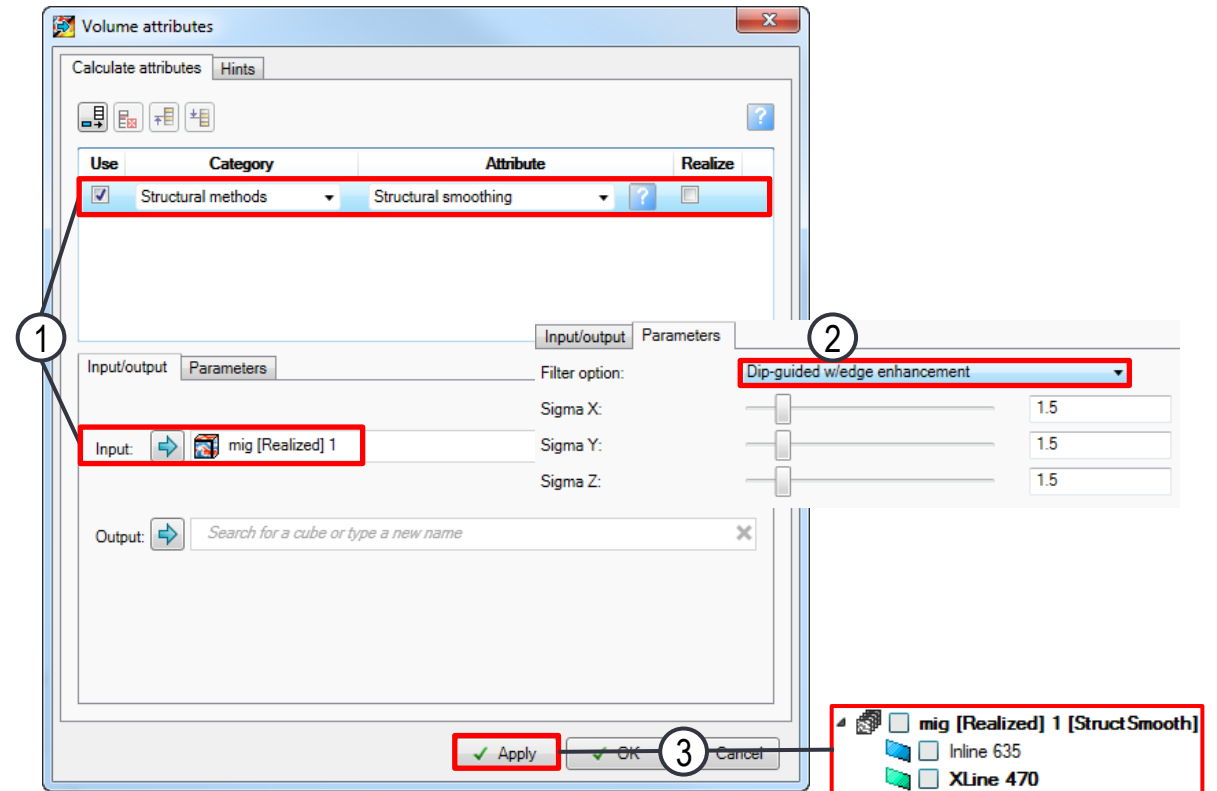


# 数据预处理: Structural smoothing (1)

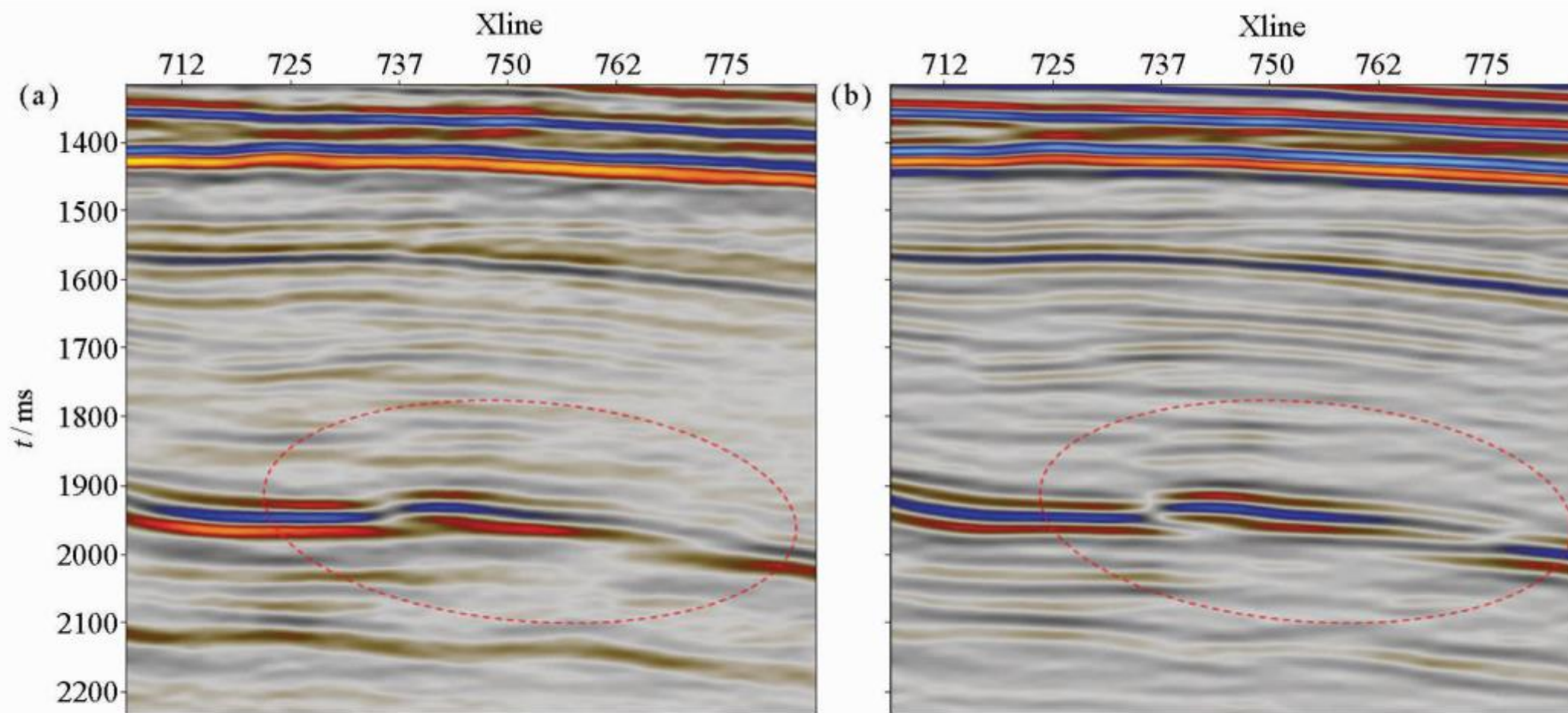
- 自动解释之前进行数据预处理，生成更完整的区域覆盖并提高拾取的稳定性. 而且可以降噪，同时不会降低原始数据中包含的断层信息.
- Smoothing 用的是 gaussian. 平滑滤波器会用主成分倾角属性（具有相同尺寸的算子）计算局部方位. 激活dip-guide parameter, 可以选择Edge enhancement 选项.
- Structural smoothing属性还可以描述横向的特征，比如平点或流体界面，使用的是 smoothing operation without dip guiding.

# 预处理数据: Structural smoothing (2)

1. 地震体作为输入，生成构造平滑属性.
2. 参数选择 *Dip-guided w/edge enhancement*.



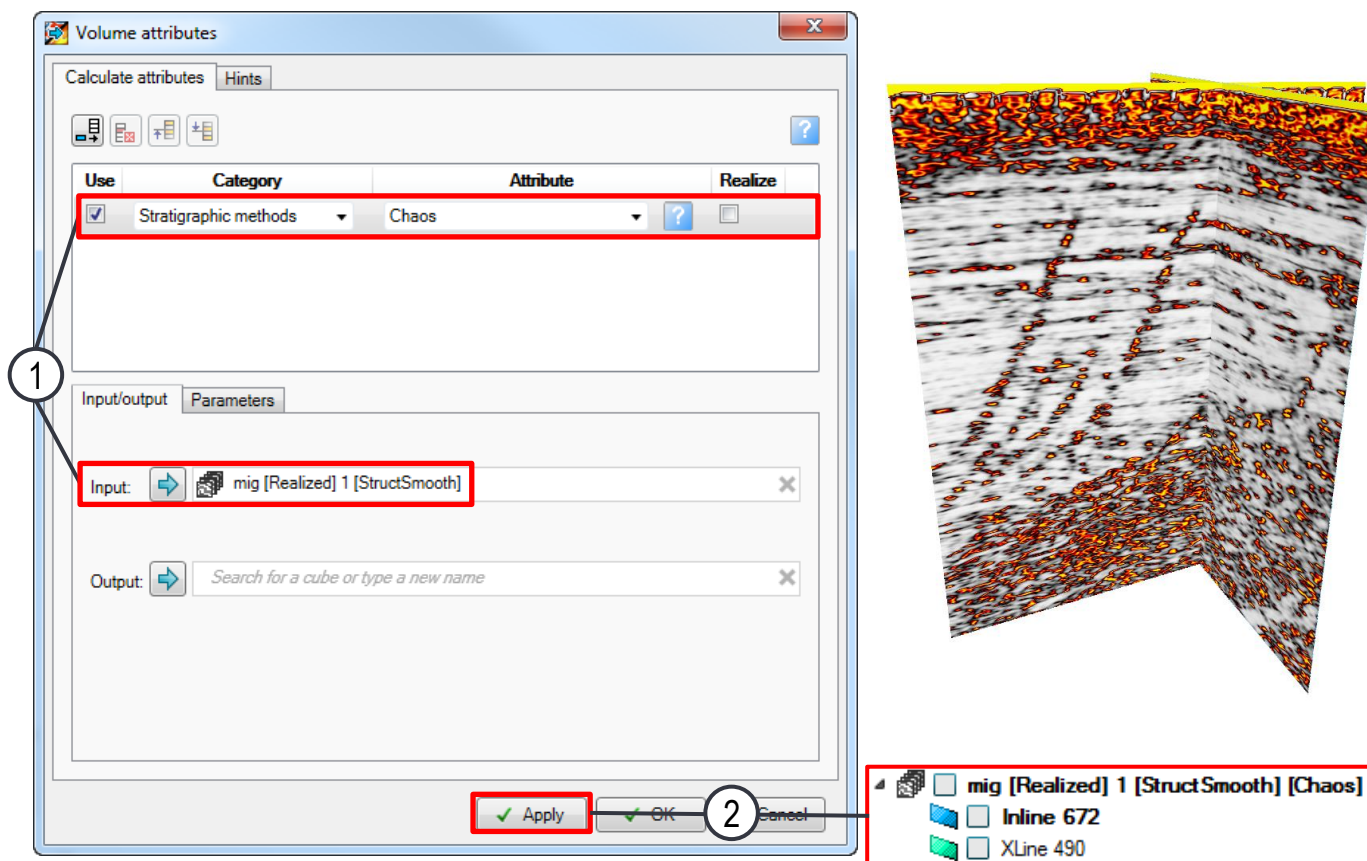




a—原始地震剖面; b—构造导向滤波之后的地震剖面

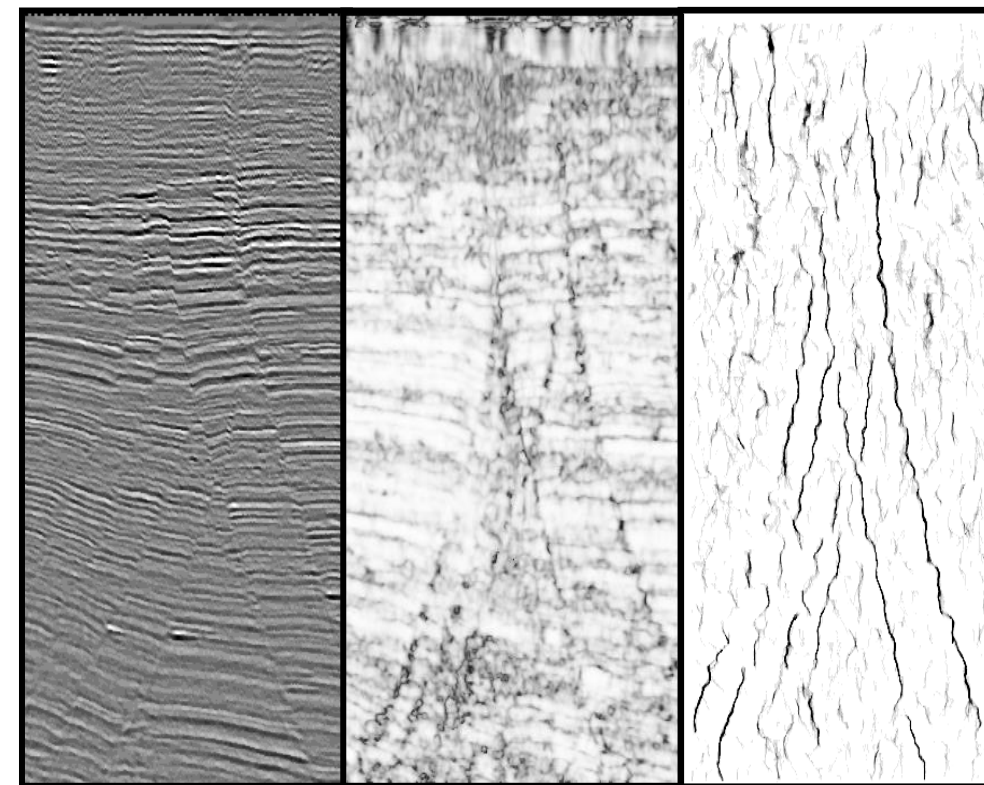
# 边界探测属性体

1. 构造平滑属性体作为输入数据
2. 生成混沌体或方差体.



# Chaos 属性

- Chaos, J, 定义为  $J = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_3} - 1$
- 如果分析时窗内的数据可以近似为平面的、常数属性值，那么  $\lambda_1=1.0$ ， $\lambda_2=\lambda_3=0.0$ ，所以  $J=-1.0$ .
- 如果数据是完全随机的，那么  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/3$ ，所以  $J=0$ .
- Chaos对倾角和能力不明. 但是，对分析时窗内能量和倾角的横向变化敏感



Original Data

Chaos

Ant track on chaos



# Variance属性

Bahorich and Farmer (1995) introduced the Coherency cube, a seismic attribute for imaging discontinuities. The Variance attribute is a patented method (van Bemmelen et al., 2000) that can be used to isolate edges from the input dataset. Edge means discontinuities in the horizontal continuity of amplitude.

# 方差体属性参数设置

## Filter length (Inline, Crossline range)

滤波长度控制所用的道数. 值越大, 所用的道数越多.  
一般, inline和crossline滤波长度设为一样的.

## Vertical smooth (in samples)

控制垂向平滑. 值越大去噪效果越好但是也会模糊边界.  
比较中庸的平滑参数, 用8 到 15.  
更厉害的平滑, 用15 到 25.

## Dip correction (Inline, Crossline, Vertical scale)

带方向的参数可以添加到方差属性中. 它用主成分分析和PCA的主成分作为一个倾角评估方法. 值越大结果越平滑.

## Plane confidence threshold

倾角指导算法计算沿倾角平面的方差以及相应的倾角估算可信度测量, 如果计算的可信度超过阈值, 该区域就应用, 可信度没有超过阈值的地方恢复到标准水平方差.

Volume attributes

Calculate attributes Hints

Use Category Attribute Realize

☒ All Variance (Edge method) ?

Input/output Parameters

Inline range: 3 ?

Crossline range: 3 ?

Vertical smoothing: 15 ?

Dip correction: On ?

Inline scale: 1.5 ?

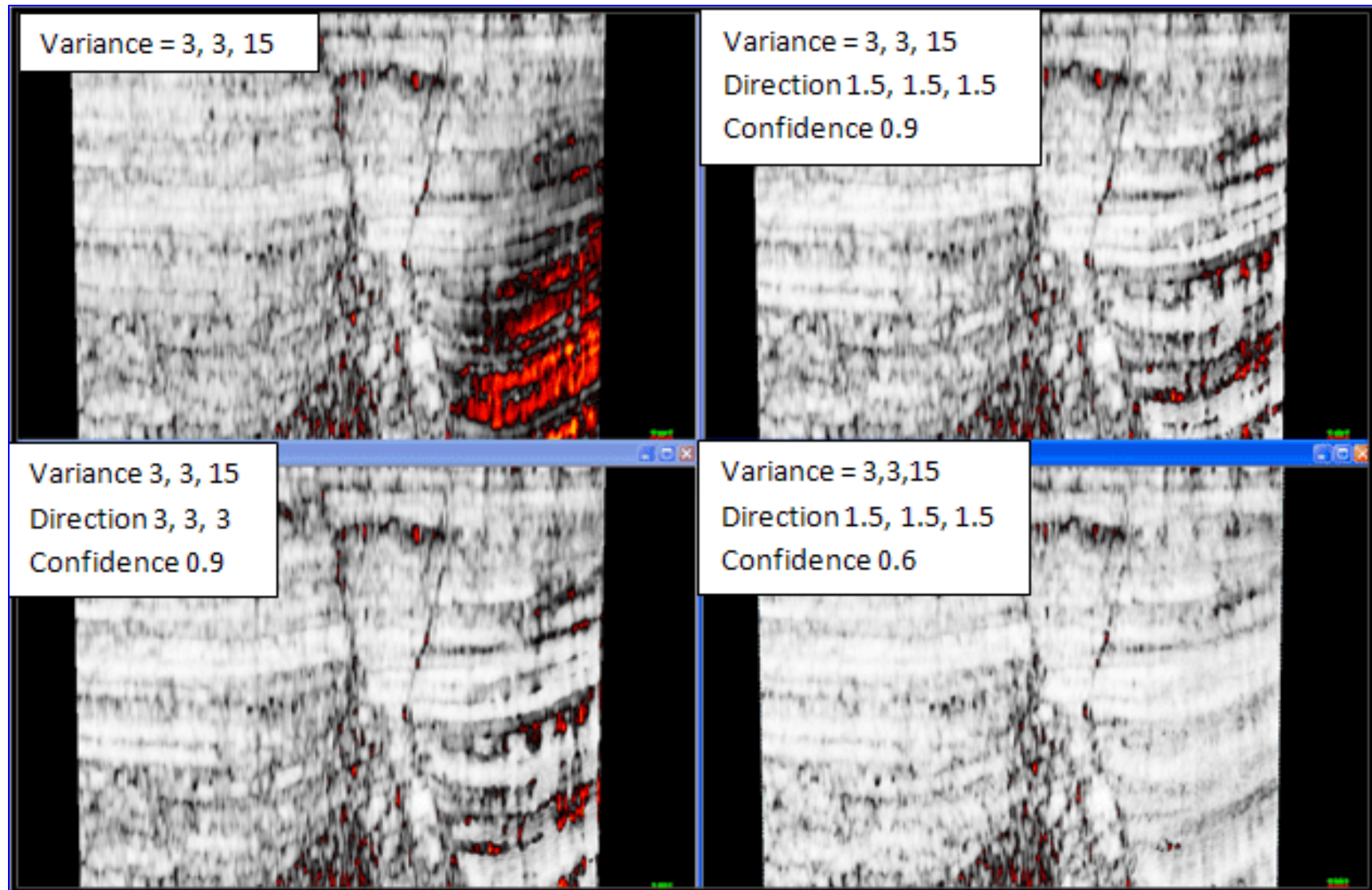
Crossline scale: 1.5 ?

Vertical scale: 1.5 ?

Plane confidence threshold: 0.6 ?

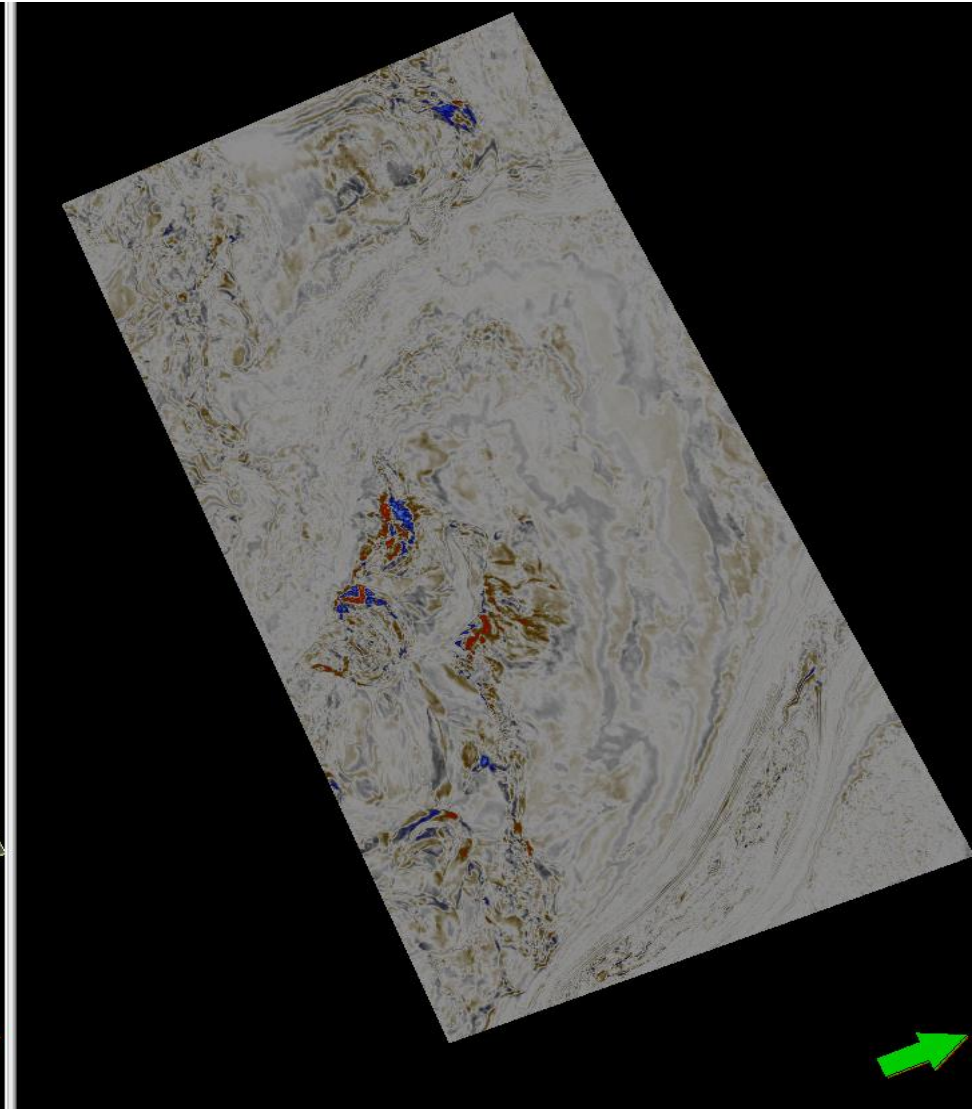
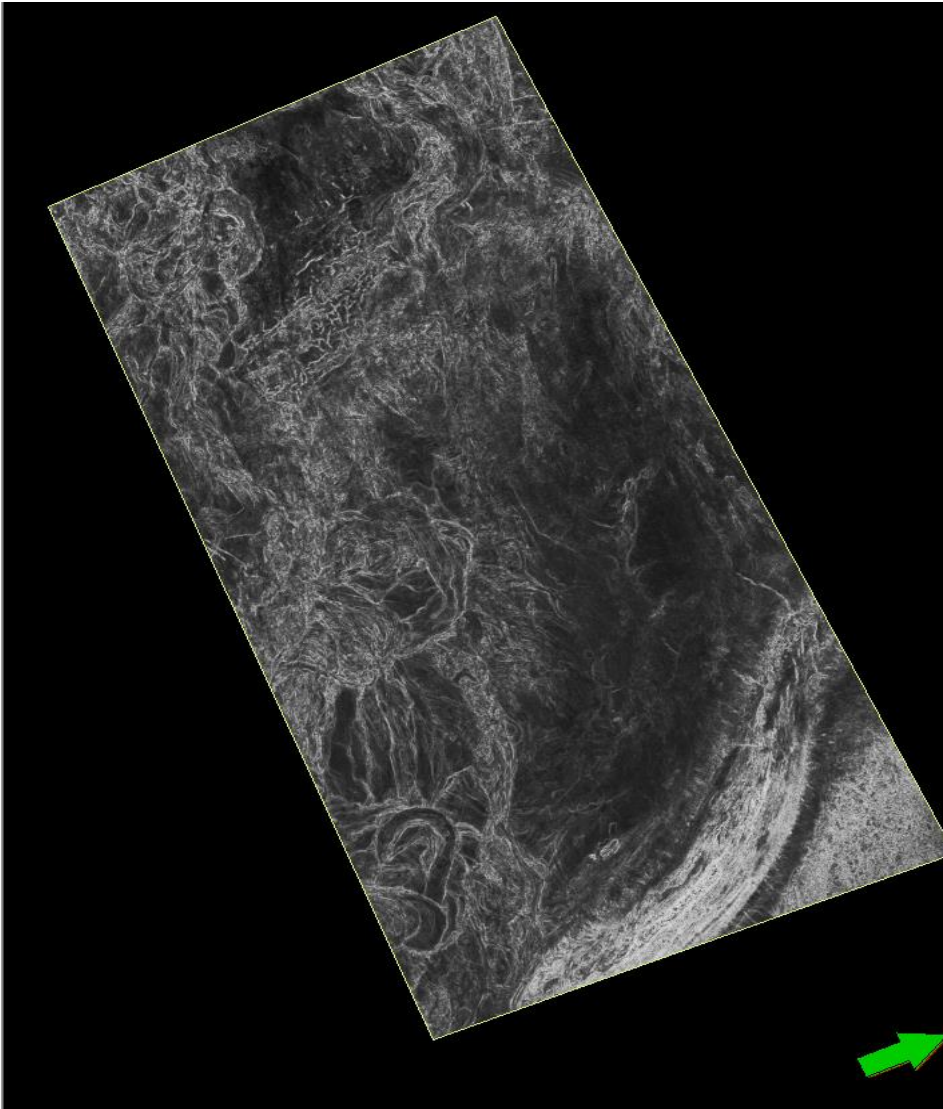
Dip guided smoothing: On ?

Apply OK Cancel



# 3D Edge enhancement

- Based on Radon transform Coherency
- Used to highlight structure edges
- Input for structural



# 蚂蚁体属性

蚂蚁追踪是斯伦贝谢专利技术，通过边界增强识别断层、裂缝及其他线性异常。

用的是“集群智能”的概念，在数据体中放入大量的蚂蚁，评估群体的集体行为。

在运行 **Ant** 跟踪属性之前，必须通过生成高质量属性来准备数据。方差体和混沌体是映射故障的典型输入。

典型的工作流程包括三个步骤：地震预处理、边缘检测和边缘增强（**Ant tracking** 属性）

蚂蚁跟踪的输入数据是边缘检测属性，例如 **Variance**。输出是边缘增强属性。



集群智能（**Swarm Intelligence**）在某群体中，若存在众多无智能的个体，它们通过相互之间的简单合作所表现出来的智能行为。

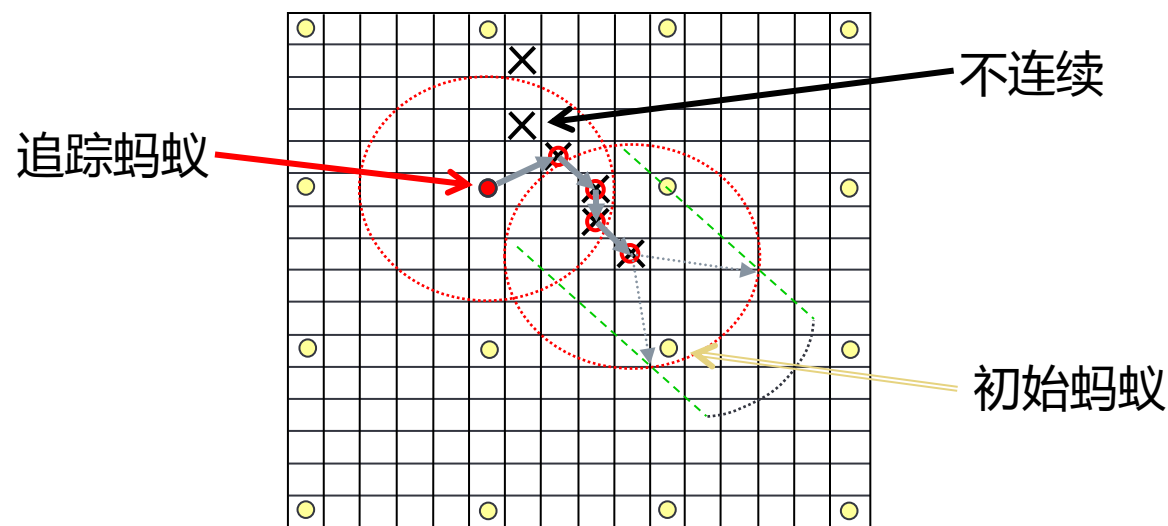
人脑的智能和蚁群也没有本质上的区别，单个神经元没有智能可言，单个蚂蚁也没有，但是通过连接形成的体系，是一个智能体。

集群智能主要表现为

- ( 1) 邻近原则( **Proximity Principle**) ， 集群能够进行简单的空间和时间计算；
- ( 2) 品质原则( **Quality Principle**) ， 集群能够响应环境中的品质因子；
- ( 3) 多样性反应原则( **Principle of Diverse Response**) ， 集群的行动范围不应该太窄；
- ( 4) 稳定性原则( **Stability Principle**) ， 集群不应在每次环境变化时都改变自身的行为；
- ( 5) 适应性原则( **Adaptability Principle**) 在所需代价不太高的情况下， 集群能够在适当的时候改变自身的行为。这些原则说明实现群体智能的智能主体必须能够在环境中表现出自主性、反应性、学习性和自适应性等智能特性。

# 生成蚂蚁追踪体(1) 蚂蚁追踪算法

1. 搜索区域中的不连续性.
2. 搜索下一个不连续性: 确定追踪方向.
3. 先在追踪方向上搜索下一个不连续性.
4. 重复步骤直到不再搜索到不连续性.
5. 启动下一个蚂蚁, 会沿着并扩展相邻蚂蚁已经追踪的路径.

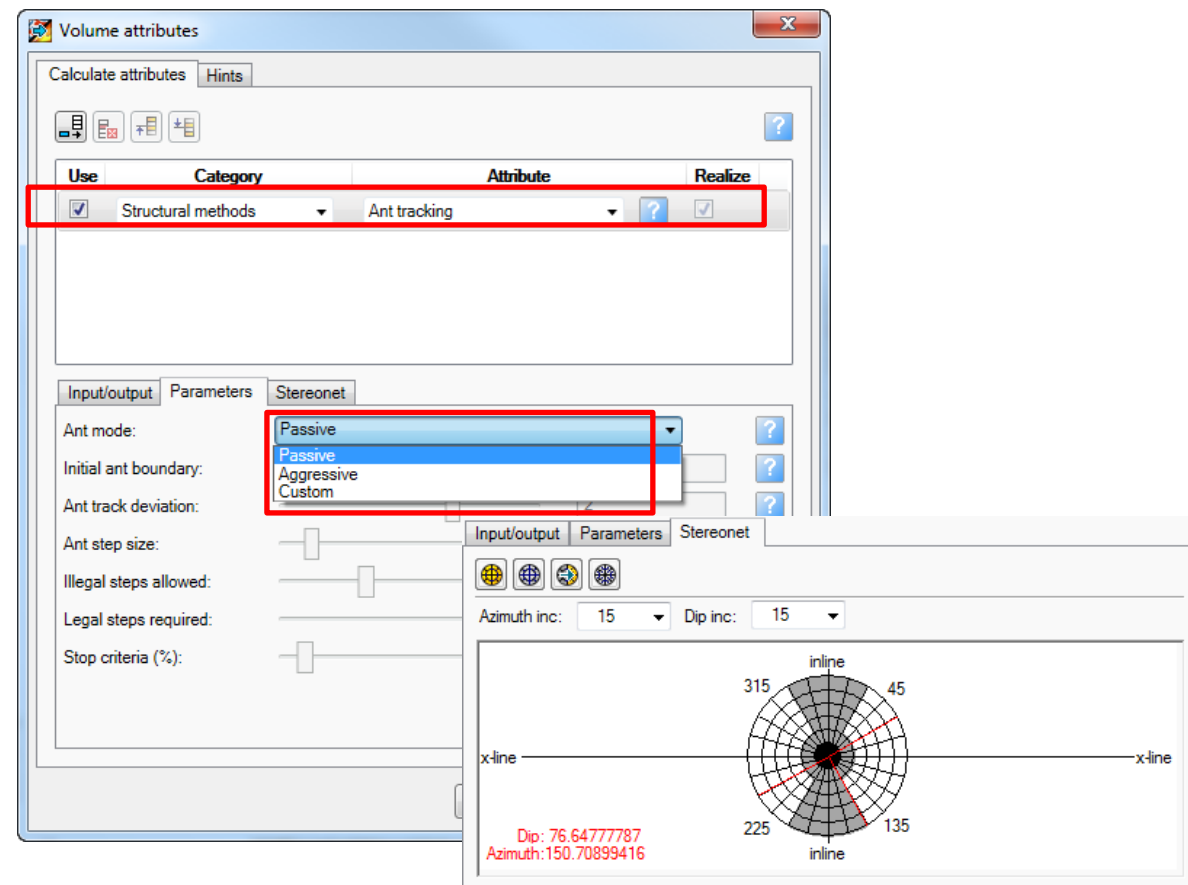


# 生成蚂蚁追踪体(2)

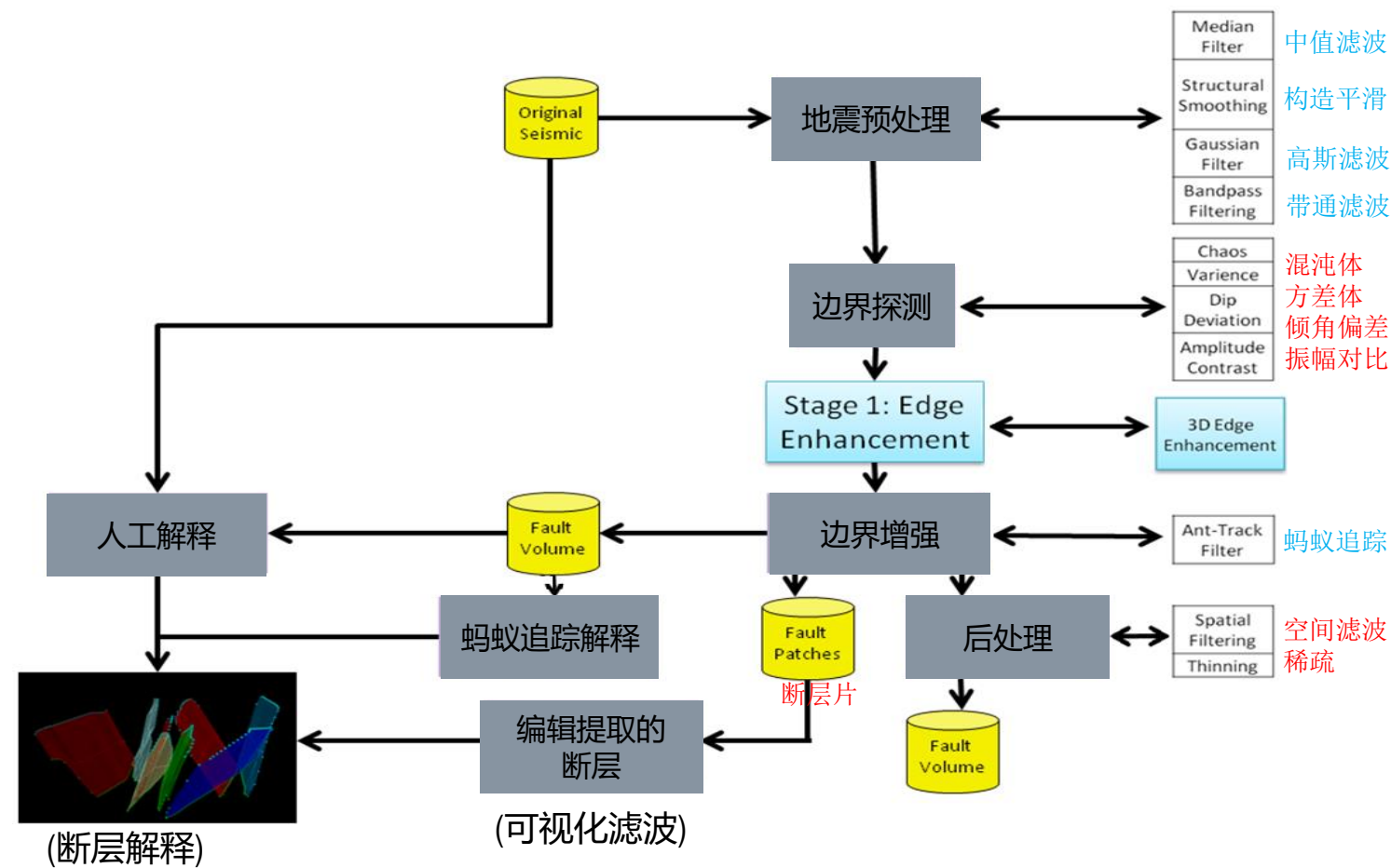
1. 蚂蚁体追踪，用Chaos 或 Variance体作为输入数据.
2. 选择被动或主动追踪模式.
3. 在**Stereonet** 标签, 限制搜索的方向和倾角.



**Note:** 蚂蚁追踪属性体只能是Realized; 耗内存.  
先用小块数据做参数测试.



# 断层提取 workflow

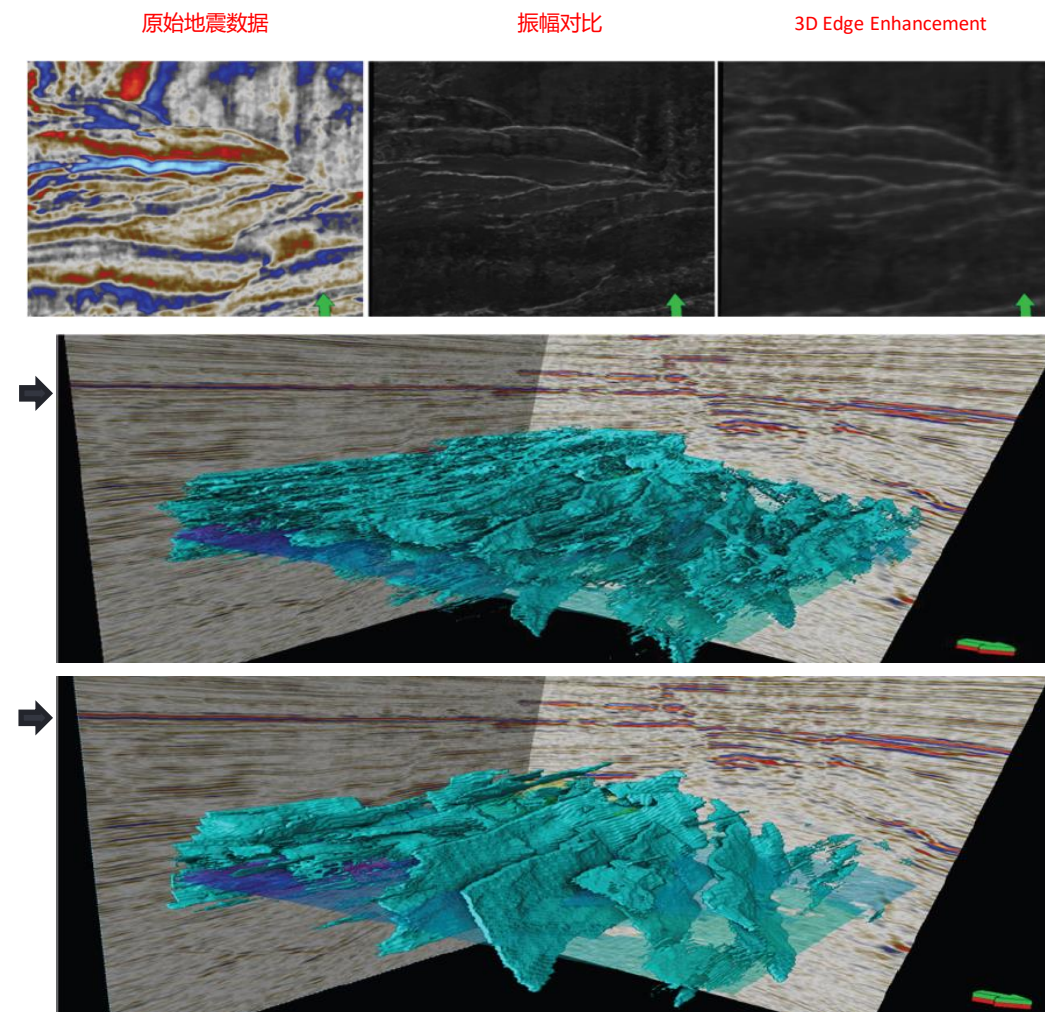


# 3D Edge enhancement: 蚂蚁体对比结果

Edge enhancement属性提供关于信号的更优的连续性和分离信号，由此得到更准确的断层提取结果.

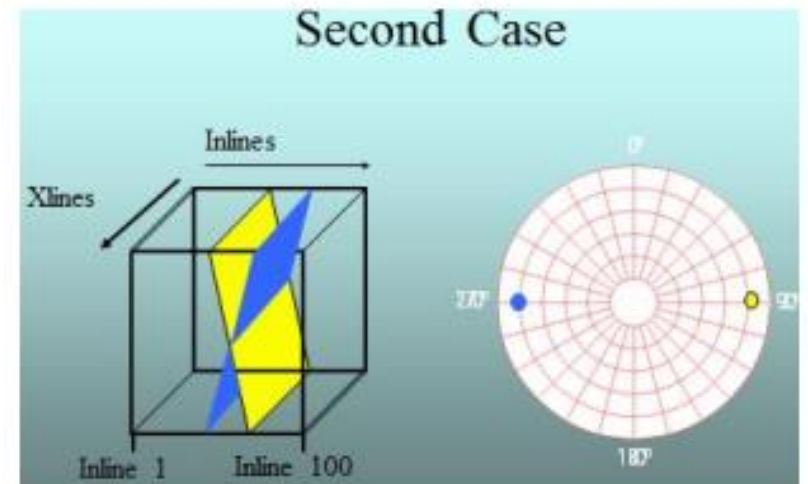
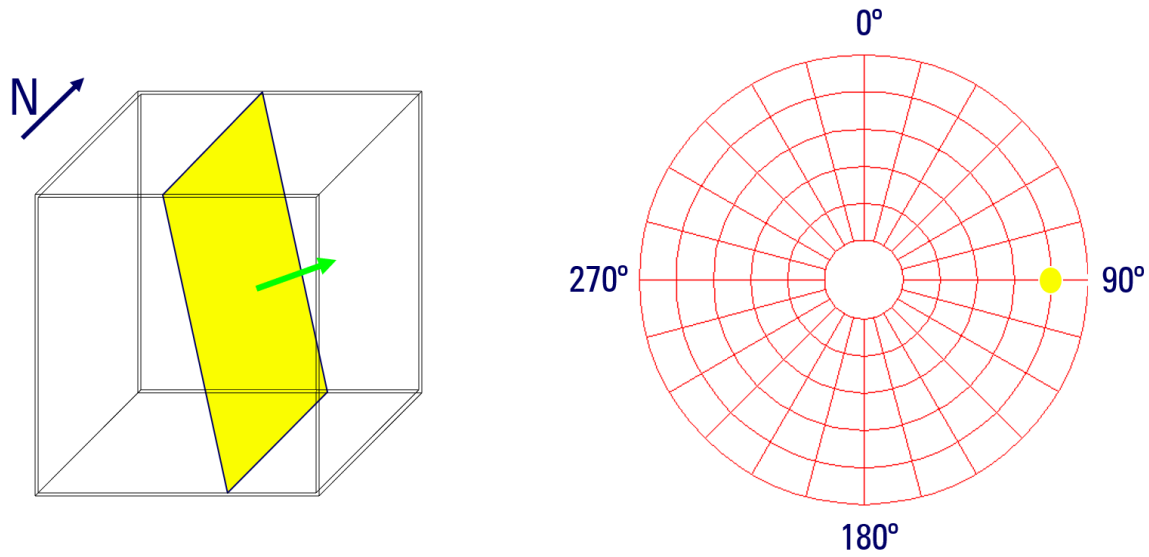
不做3D Edge Enhancements的蚂蚁体结果会有一些噪音.

在做蚂蚁体之前运行边界增强属性体产生的结果更准确，更连续，噪音更少，构造的振幅值更高。





- Shows fault surface orientations



Input/output

Parameters

Stereonet

Ant mode:

Passive

?

Initial ant boundary:

7

?

Ant track deviation:

2

?

Ant step size:

3

?

Illegal steps allowed:

1

?

Legal steps required:

3

?

Stop criteria (%):

5

?

表 1 蚂蚁追踪方法的参数设置及含义

Table 1 Parameters and meanings of ant tracking

参数	含义	特点	主动模式	被动模式
初始蚂蚁边界	定义蚂蚁的初始分布范围	越小越利于识别小尺度断层	5	7
追踪偏差	设置蚂蚁可搜索方向的偏离范围	越大越利于弯曲断层的识别	2	2
搜索步长	蚂蚁每次搜索的步长	越大搜索能力越大,但可能忽略细节	3	3
允许的非法步长	允许搜索超越定义步长的范围	越大越连续	2	1
合法步长	搜索路径中必须包含的合法步数	越小搜索越受限,越不连续	2	3
搜索中的门槛值	追踪过程中允许非法步长百分比	越大搜索能力越强	10	5

## Ant-Tracking parameters

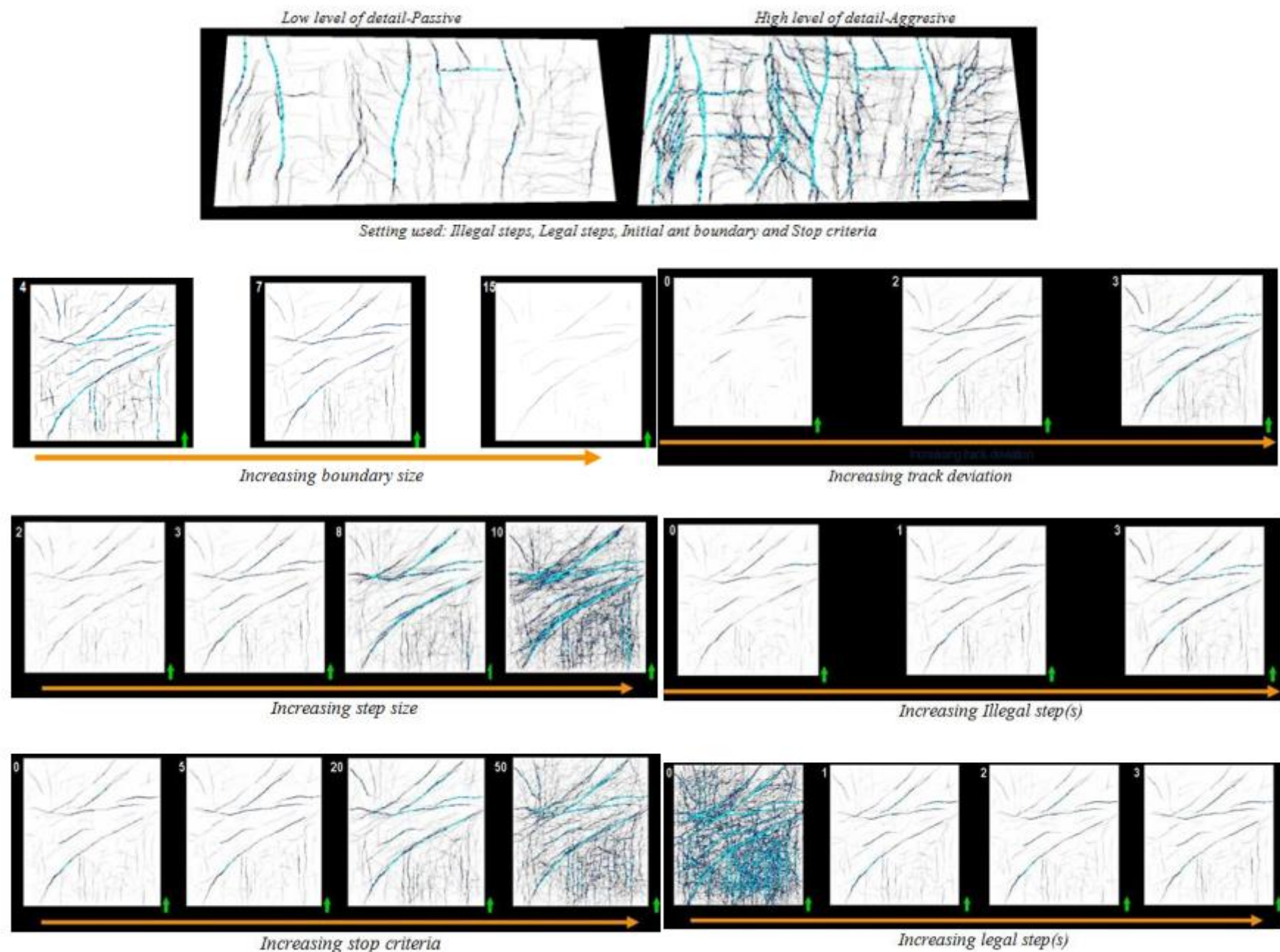
Let's start by reviewing how an ant or agent behaves when it is placed inside the edge detection volume. The density of the ants will depend on the **ant-boundary** (the bigger the boundary, fewer agents). The **steps** will define how far away in voxels the ant has for exploration. The **deviation** will allow the agent to diverge more than 15° in the search for non-so planar features. How many steps will the agent have to continue exploring without finding a local maximum? (**illegal steps**); and what will it do if it does find a value? How many voxels to keep tracking or to terminate the agent? (**legal steps**). Finally, how many illegal steps are acceptable for the feature to be plausible (**stop criteria**)

Figure 17 shows the concept for each of the 6 parameters governing the ant-tracking calculation. Explanations and figures are based on Daber et al. (2010) and the Petrel 2011 online help.



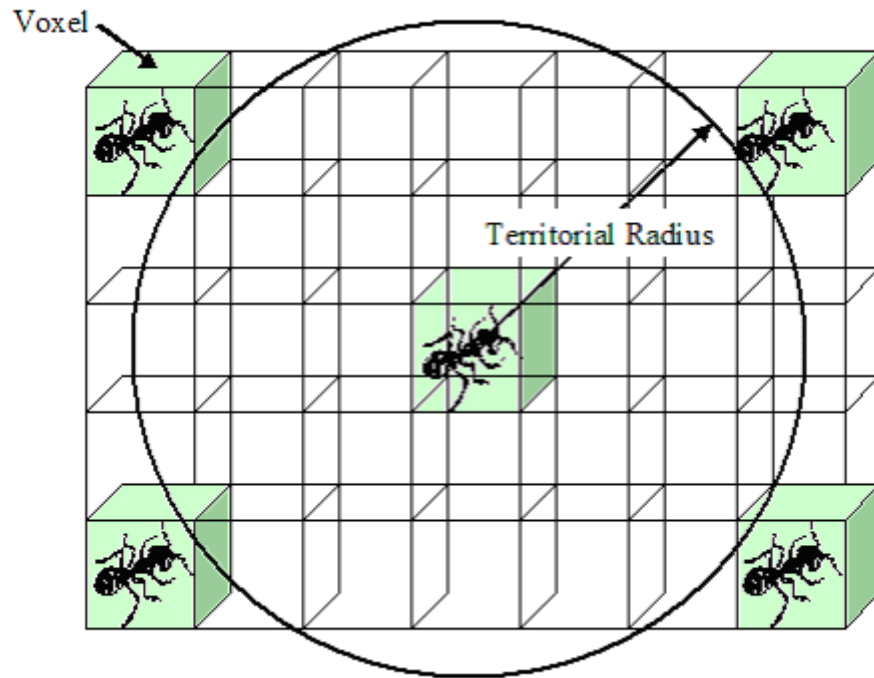
A large **ant boundary** will deploy fewer agents into the volume. The agent will be killed if it's placed where no local maxima exists. The **deviation** will control how much the agent will turn from its normal search area to find local maxima. The **step size** will control the distance range for exploration of the agent. If the **illegal steps** were set to one and if in one step no local maxima is found but the next voxel contains local maxima, the agent will continue on this road as many **legal steps** were set. If there are less legal steps than the defined value the agent is terminated. That is why a value of 0 for legal steps will turn off the test for legal/illegal steps, legal complement illegal since it tells the agent what to do after an illegal step. Finally, if the tracked feature contains more than the defined percentage of illegal steps allowed, the feature will be eliminated.





**Fig. 18** Compilation of figures for ant-tracking's parameters from Interpreter's guide to seismic attributes  
 Courtesy of Daber, R. (2012)

## Initial ant boundary (number of voxels)



初始蚂蚁边界参数定义蚂蚁的初始分布，是**每只蚂蚁周围的领土半径**，以体素数定义，参见下图。

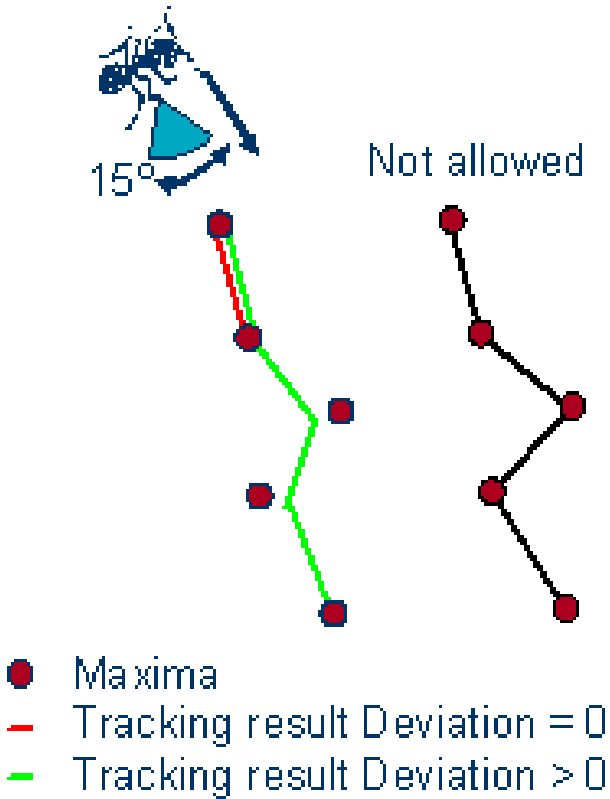
该参数对算法的**执行时间**有巨大影响，因为它定义了通过体积传播的蚂蚁总数。

为了提取大型区域断层，此分布可能相当粗糙（5-7 体素）。对于细节工作以及小断层和裂缝的映射，建议使用更紧密的分布（3-4 体素）。

通常，使用小于 3 体素的半径没有任何好处，因为蚂蚁将跟踪相同的事件并且不会向结果添加新的信息内容。此参数并不意味着蚂蚁在整个体积中均匀分布。该参数意味着当每个蚂蚁都在数据中搜索局部最大值时，不会将任何蚂蚁放置在另一个蚂蚁的半径内。

蚂蚁边界由半径定义，以体素为单位，用于蚂蚁代理的分布。如果智能体无法识别局部最大值或无法在此半径内进行方向估计，则智能体将被淘汰。

# Ant track deviation



蚂蚁跟踪偏差控制跟踪时与局部最大值的最大允许偏差。代理呈现平面形状，并且只能偏离初始方向 15 度。

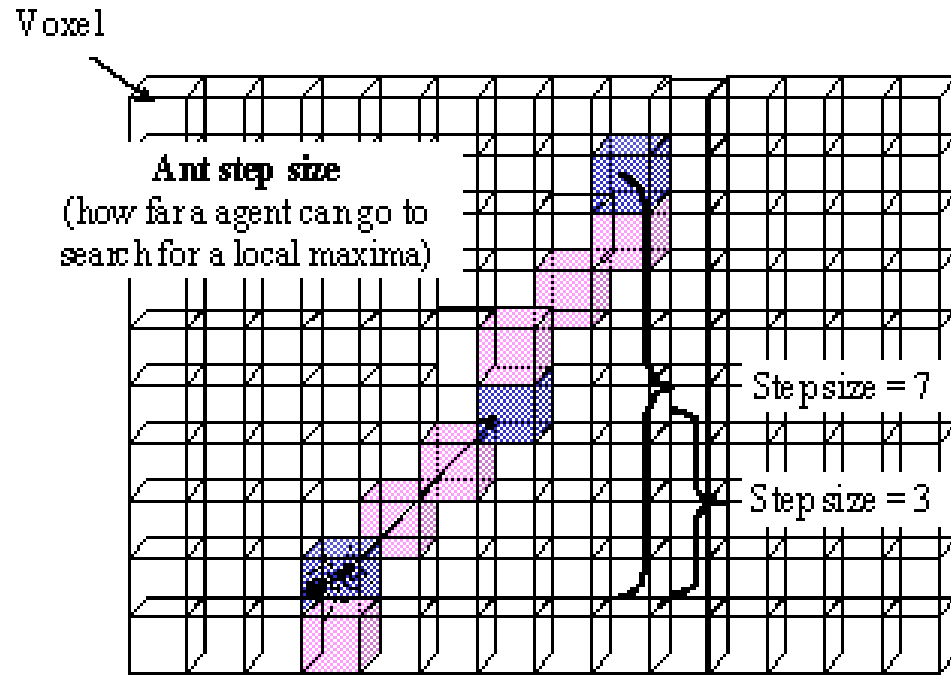
该方法允许代理接受预测位置任一侧的局部最大一个体素是合法的。如果最大值超出此蚂蚁跟踪步长范围，则跟踪偏差参数开始起作用。

如果局部最大值偏离平面很多，则代理无法长时间跟踪它们。此参数将允许代理偏离局部最大值，并且它们能够更长时间地遵循结构。

值为 1 将允许代理在任一方向偏离合法位置一个体素以搜索局部最大值。如果没有找到最大值，这将被记录为非法步骤。如果找到最大值，则最接近该最大值的合法位置将用作合法步骤。

Ant track deviation 参数控制代理可以搜索远离合法位置以找到局部最大值的可能体素。如果找到最大值，则使用最接近的合法位置。

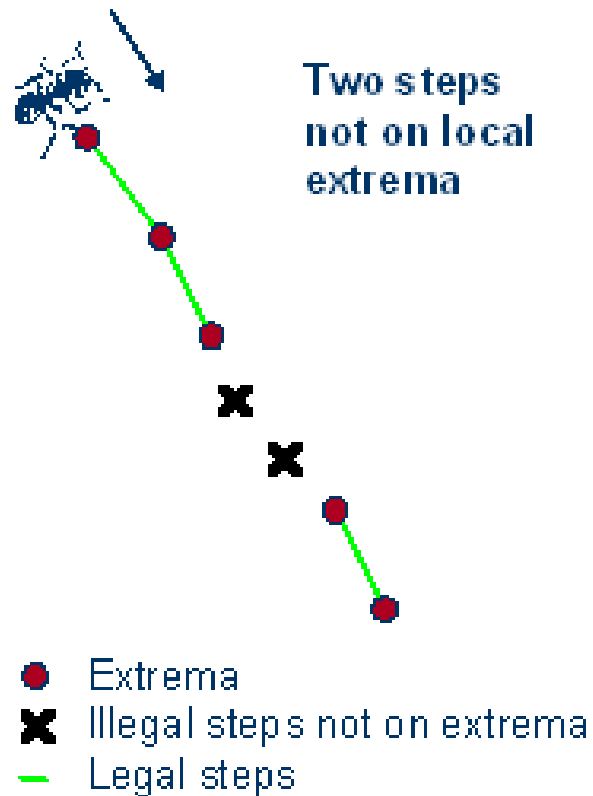
## Ant step size (number of voxels)



该参数定义 Ant 代理在其搜索步骤中针对每个增量前进的体素数量。增加此值将允许 Ant 代理进一步搜索，但会降低结果的分辨率。

Ant Step Size 参数决定蚂蚁智能体在单步中搜索局部最大值的距离。

## Illegal steps allowed



允许的非法步数定义代理的跟踪可以继续多远（以步数衡量）而没有找到可接受的边缘值。（可接受的边缘值意味着找到了局部最大值。）见下图。

例如，如果agent当前驻留在一个有效位置并在未检测到边缘的情况下前进一步，则这将被视为非法步骤。使用初始方向估计，agent将前进到下一步。如果它在这里没有找到边界，这将构成第二个非法步骤。如果参数设置为 1，则代理将终止此方向的搜索。如果找到有效的体素，则agent记录的路径将包括此有效位置和非法位置（如果满足合法步骤标准，请参阅所需的合法步骤）。非法步数只有在合法步数被记录后才被计算在内。

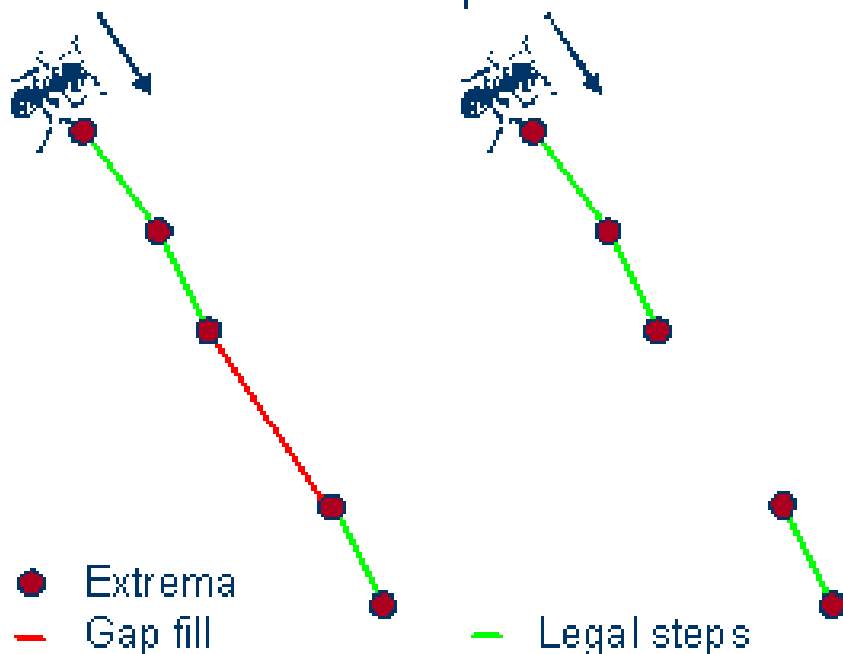
Ant Track Illegal Steps 参数决定了agent在没有找到局部最大值的情况下可以走多少步。



## Legal steps required

If illegal steps  $\geq 2$   
and legal steps  $\leq 1$ :

Else, do not fill gap.  
Terminate at last  
position



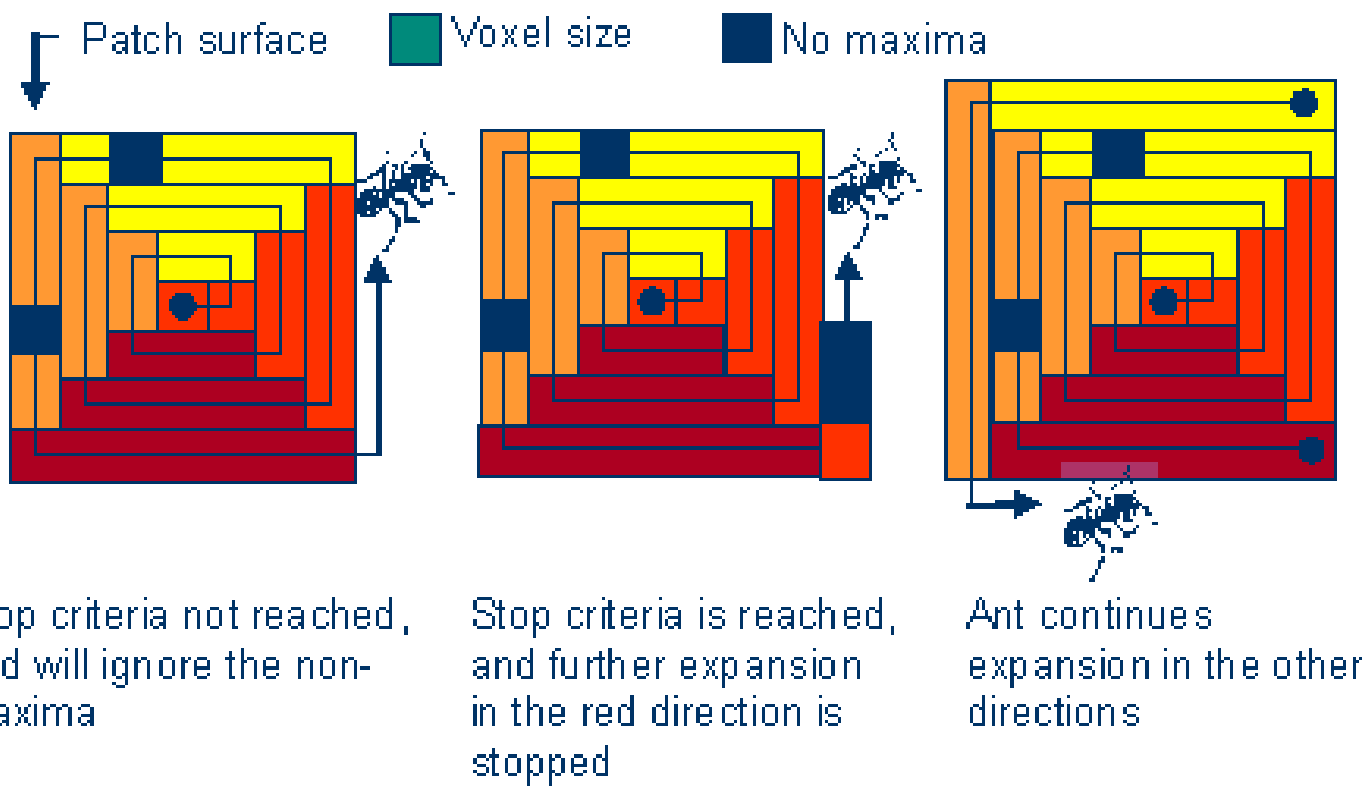
所需的合法步骤控制检测到的边缘必须如何连接，以帮助区分边缘和无方向的噪声。此参数与非法步骤允许参数结合使用。

它以必须包含代理继续的有效边缘值的步骤数表示。

随着智能体前进并遇到有效边，这代表 1 个合法步骤。当代理再次前进并遇到另一个有效的边缘值时，这将代表第二个合法步骤。如果您将合法步骤参数设置为 2，则此轨道将被认为是合法的并且可以被记录。如果你设置了 legal steps 参数为 3，在 agent 的下次前进中，没有遇到边，那么由于只找到了 2 个 legal steps，这条 track 不会被认为是真正的 fault，不会被记录在输出集合中。

Ant Track Legal Steps 参数决定了智能体继续执行的包含边值（最大值）的步数。

# Stop criteria



停止标准是指在单个代理的整个生命周期（整个搜索空间）中允许的非法步骤的百分比。该参数将随着智能体前进、找到非法步骤、再次前进找到合法步骤并以这种方式继续，同时逐渐累积非法步骤直到它们代表代理搜索区域的重要部分。 当这个值变得太大时，我们不再确定我们正在跟踪的是合法的故障几何形状，因此停止标准百分比允许我们终止该跟踪。当总路径中包含的非法步骤数超过定义的百分比时，Ant track Stop criteria 参数可以终止代理。

蚂蚁创建了一个沿每条边扩展的小平面。 如果单个边缘表面上的体素百分比不在局部最大值上并且超过停止标准，则终止在该方向上的扩展。

## References and Reading

- Carrillat, A., Randen, T., Soenneland, L., and Elvebakk, G.*, Seismic stratigraphic mapping of carbonate mounds using 3D texture attributes, In Extended Abstracts of EAGE Annual Meeting, May 2002
- Carrillat, A., Randen, T., Soenneland, L., Elvebakk, G.*, Automated mapping of carbonate mounds using 3D seismic texture attributes, in Extended Abstracts, Annual Meeting, Society of Exploration Geophysicists, Salt Lake City, Utah, October 6-10, 2002
- Fehmers, G.C., and Hocker, C.F.W.*, Fast structural interpretation with structure-oriented filtering, *Geophysics*, Vol. 68, No. 4, 2003
- Najmuddin, Ilyas*, Frequency Attenuation: A Fracture Indicator, *Houston Geological Society Bulletin*, March 2001
- Pedersen, S.I., Randen, T. Soenneland, L., and Steen, O.E.*, Automatic 3D fault interpretation by artificial ants, In Extended Abstracts of EAGE Annual Meeting, May 2002
- Randen, T., Pedersen, S.I., Soenneland, L.*, Automatic extraction of fault surfaces from three-dimensional seismic data, In Extended Abstracts of 71st Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., pp 551-554, September 2001
- Randen, T., Monsen, E., Signer, C., Abrahamsen, A., Hansen, J., Saeter, T., Schlaf, J., and Soenneland, L.*, Three-dimensional texture attributes for seismic data analysis, *SEG Expanded Abstracts*, Int. 6.1, 2000
- Randen, T., Soenneland, L., Carrillat, A., Valen, T.S., Skov, T., Pedersen, S.I., Rafaelsen, B., Elvebakk, G.*, Preconditioning for Optimal 3D Stratigraphical and Structural Inversion, *EAGE abstracts*, 2003
- Taner, M.T., and Sheriff, R.E.*, Applications of amplitude, frequency, and other attributes to Stratigraphic and hydrocarbon determination, *Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration*, AAPG Memoir, 26, 1977
- Taner, M. Turhan*, Attributes Revisited, 1992, revised 2000 - see: [http://www.rocksolidimages.com/pdf/attrib\\_revisited.htm](http://www.rocksolidimages.com/pdf/attrib_revisited.htm)

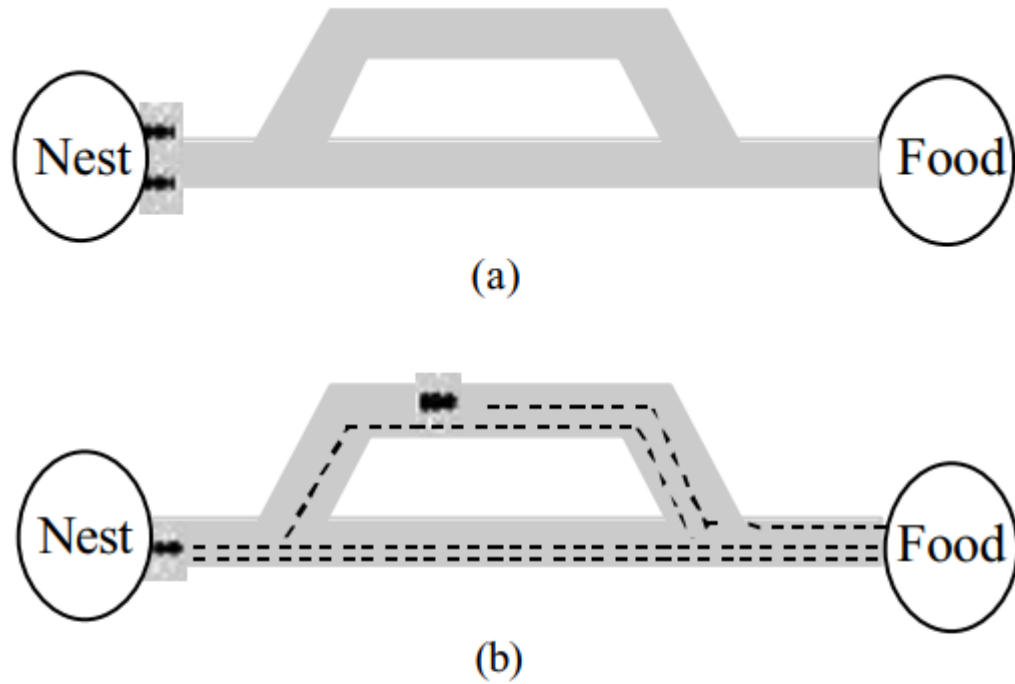


Figure 2 (a) Two ants start at the same time at the nest. (b) The ant choosing the shorter path will arrive at the nest before the ant choosing the longer path. The shorter path will thus be marked with more pheromone than the longer path, and hence the next ant, influenced by the pheromone, is more likely to choose the shorter path.

# Tips

- 平滑去噪要做好
- 多次迭代ant tracking结果
- 结合其他信息，比如FMI
- 主动追踪善于挖掘裂缝，大、小裂缝，信息丰富;
- 被动模式善于追踪较强信号，主要预测大断层
- 主动追踪适用于精细裂缝预测，被动追踪可用于预测大断层以辅助断层解释



# 注意：

以下情况蚂蚁追踪结果不同：

1. 用整个属性体做蚂蚁追踪
2. 用属性体的裁切体做蚂蚁追踪

原因是：

1. 种子/蚂蚁是放在确定位置的，以属性体原点为参考，设置等间距（由初始蚂蚁边界参数确定）。裁切体与属性体的原点是不同的，那么种子/蚂蚁会放入不同的体素单元中，由此移动方向也不同。如果裁切体和属性体的原点相同（相同的初始**Inline** 初始**crossline** 初始**time slice number**）那么种子/蚂蚁会被放入相同的体素单元中。此原因导致蚂蚁追踪结果的细微差异。
2. 边界效应，裁切体外面区域的种子/蚂蚁有些会渗入到裁切体范围内，而如果只用裁切体进行追踪，这些蚂蚁就没有了，所以在边界上追踪结果会有差异。放置的蚂蚁通常是垂向山移动的（由**stereonet**的设置决定），所以在裁切体的顶部和底部边界效应最大。

# 微信公众号文章



构造平滑—提取边界属性—边界增强—蚂蚁追踪

提取边界属性—蚂蚁追踪

如果解释人员拿到数据，在蚂蚁追踪前就直接进行构造平滑，未免有些莽撞，使得地震资料失真，对后续综合分析造成误导，对于大的断裂解释可能影响不大，但是对于非常规油气勘探的天然裂缝预测就会产生不容忽视的影响，特别是当我们试图利用蚂蚁追踪的结果进行后续的裂缝建模时，就会产生误导。

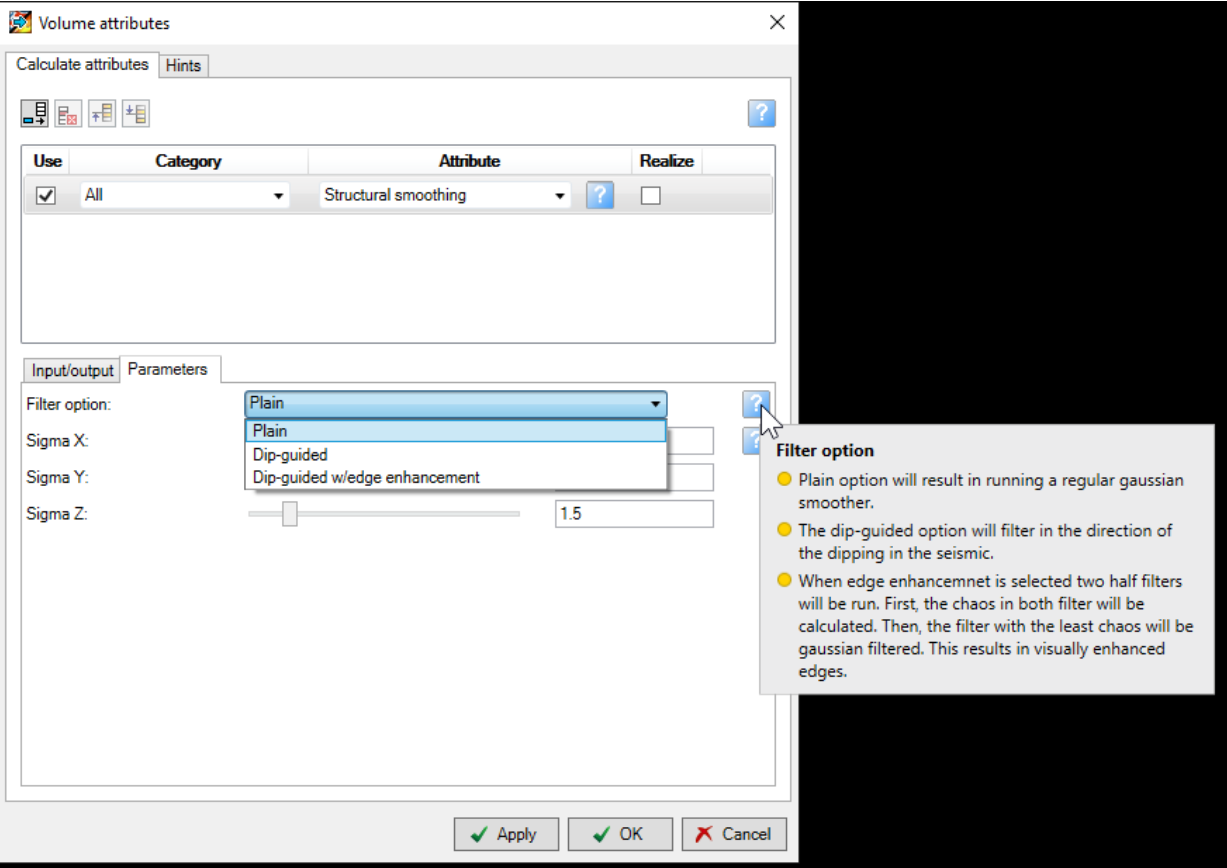
当你对所研究的工区的地震资料和地质情况有一定的认识之后，可以针对所研究的目的层及所研究的目的进行适当的构造平滑。**Petrel**软件的构造平滑有两个参数需要选择，一个是滤波方式（**Filter option**）一个是滤波窗口的大小。

# 构造平滑

Plain、Dip-guided 和Dip-guided w/edge enhancement，也就是构造平滑时是否用局部构造倾角和倾角方位来引导，以及平滑时是否做边界保护。

蚂蚁追踪的连续性和噪音水平无法同时兼顾，需要小窗口多次平滑组合来达到最优效果。

为了既消除噪音又保护边界，可以采用小窗口多次平滑的方式，其它参数完全相同进行蚂蚁追踪



Plain平滑	“小麻点”消除的较好，但是断层的边界也被平滑了
Dip-guided平滑	“小麻点”消除不如Plain平滑，边界保护不如Dip-guided w/edge enhancement平滑
Dip-guided w/edge enhancement平滑	边界保护较好，但是噪音的边界也被所加强了

建议先做一次被动追踪，了解裂缝的分布形态，再做一次主动追踪，了解裂缝。

自定义调参数，是非常了解区块情况了之后才用。6个参数之间相互关联，建议第一个参数可以尝试调整，其他的保持不变。

Tips:

1. 地震数据优选：纯波数据，增益数据
2. 井周小范围测试参数
3. 平面、剖面检查是否合理，
4. 蚂蚁追踪结果质控

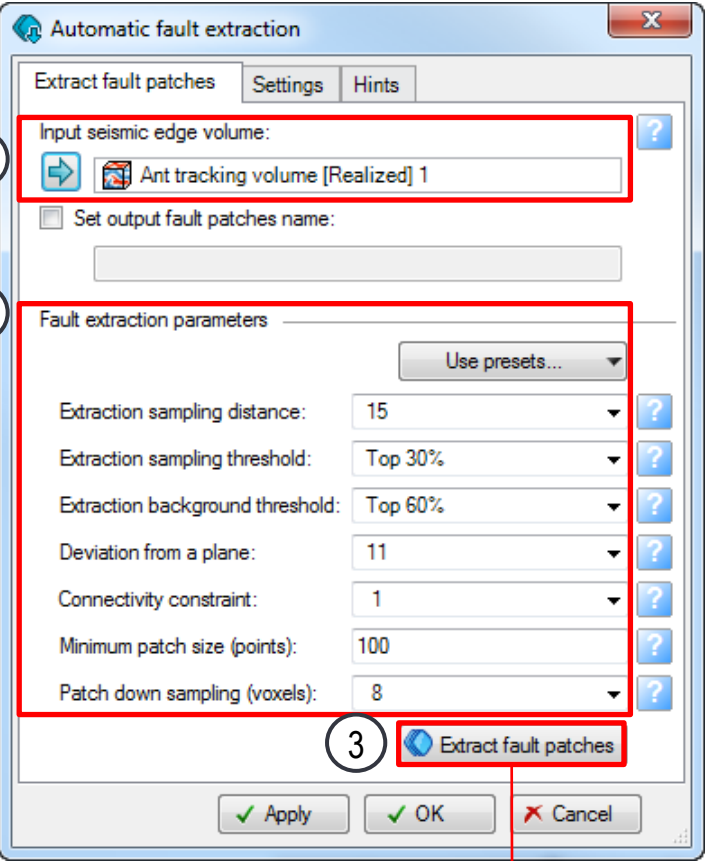


# 根据蚂蚁体数据提取断层/裂缝片

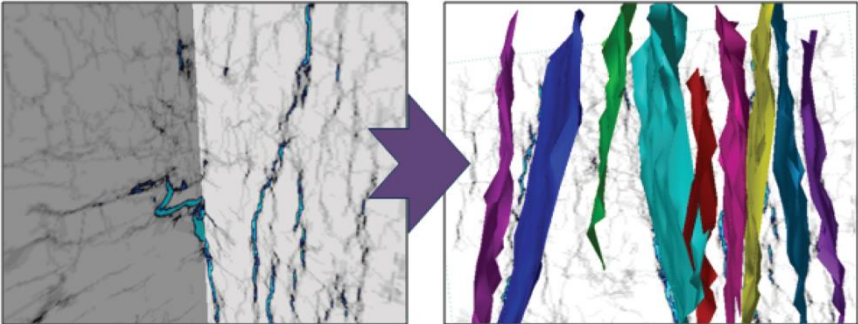
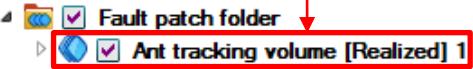
## 设置断层提取参数

蚂蚁体为输入数据 ①

设置参数 ②



3



# 断层提取参数

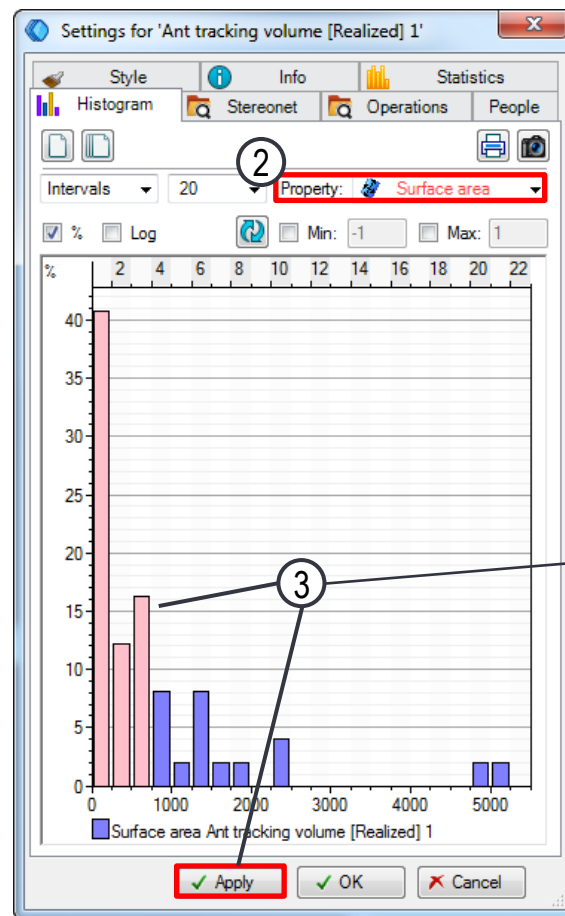
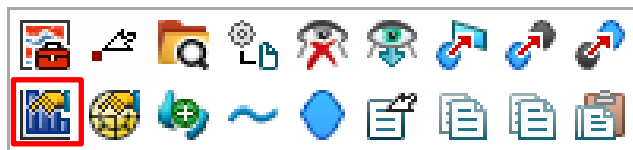
Name	Min	Max	Default	High Confidence	Description
Extraction Sampling Distance	3	30	15	20	Sets minimum distance in voxels between extraction seed points. Defines a radius around the extraction point.
Extraction Sampling Threshold	Top 10%	All	Top 30%	Top 10%	Sets the minimum signal level to create extraction points. Top 10% uses only the highest data values.
Extraction Sampling Threshold	Top 10%	All	Top 60%	Top 30%	Sets the minimum signal level to incorporate into a fault estimate. <i>All</i> uses all values above the computed background value.
Deviation from a Plane	5	21	11	13	Controls the range around a seed point. Also defines the maximum fault patch dimension.
Connectivity Constraint	1	3	1	2	Controls the connectivity of a new point before it is included in the resulting fault patch. Number of sides of a voxel that must be connected to previously accepted positions before expansion.
Minimum Patch size (points)	none	none	100	100	Patches with fewer points than this will be excluded from the fault patch set. Large means less patches. Remember you can filter on size later.
Patch Down Sampling (voxels)	1	20	8	8	Minimum space between final points in a patch. If this and <i>Minimum Patch Size</i> are both small, then very small patches can result.

# 自动断层提取工具: Mini toolbar



- |                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| 1 单点选择                     | 8 显示隐藏          |
| 2 Operations 列表            | 9 打开直方图         |
| 3 上级目录设置                   | 10 打开 stereonet |
| 4 隐藏其他目标体                  | 11 合并断层片        |
| 5 缩放到对象                    | 12 平滑断层片        |
| 6 Toggle the nearest patch | 13 创建新的断层片组     |
| 7 隐藏                       |                 |

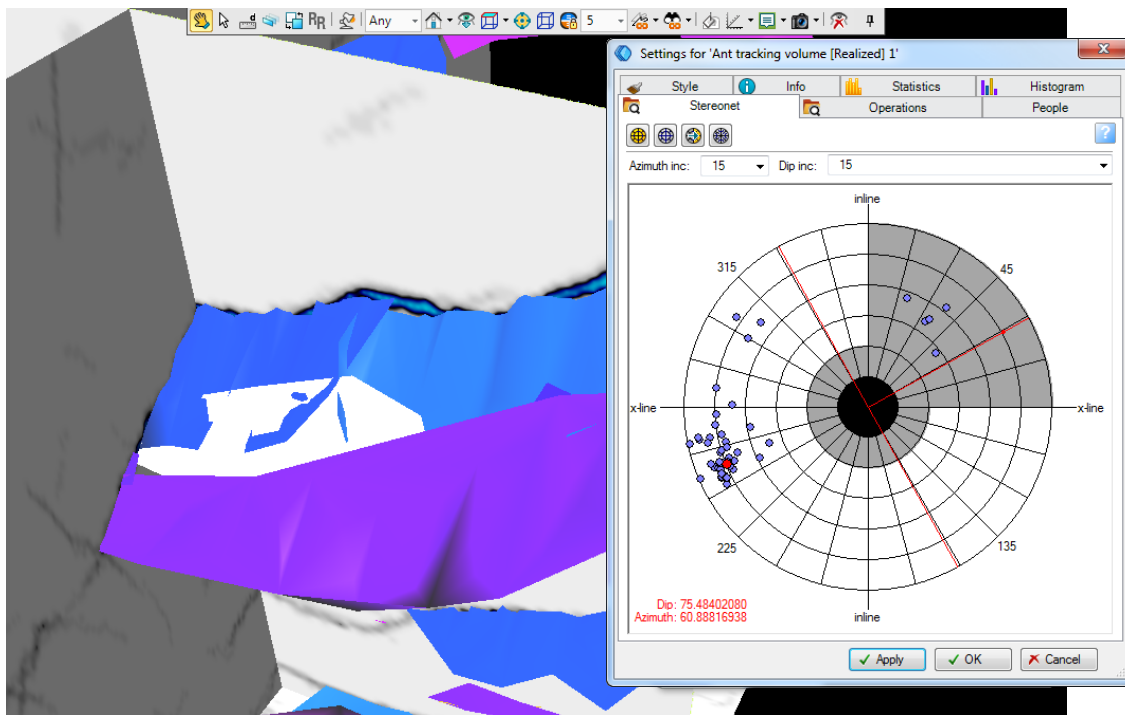
## 提取之后过滤某些断层片: Histogram 过滤



选择代表断层片面积比较小的直方图区域，小断层就被隐藏了

**Note:** 选中区域内（粉色）的断层片被隐藏不显示

# 提取之后过滤某些断层片: Stereonet 滤波 (1)



3D窗口中点击选择一个patch，它在stereonet图中显示为一个红点

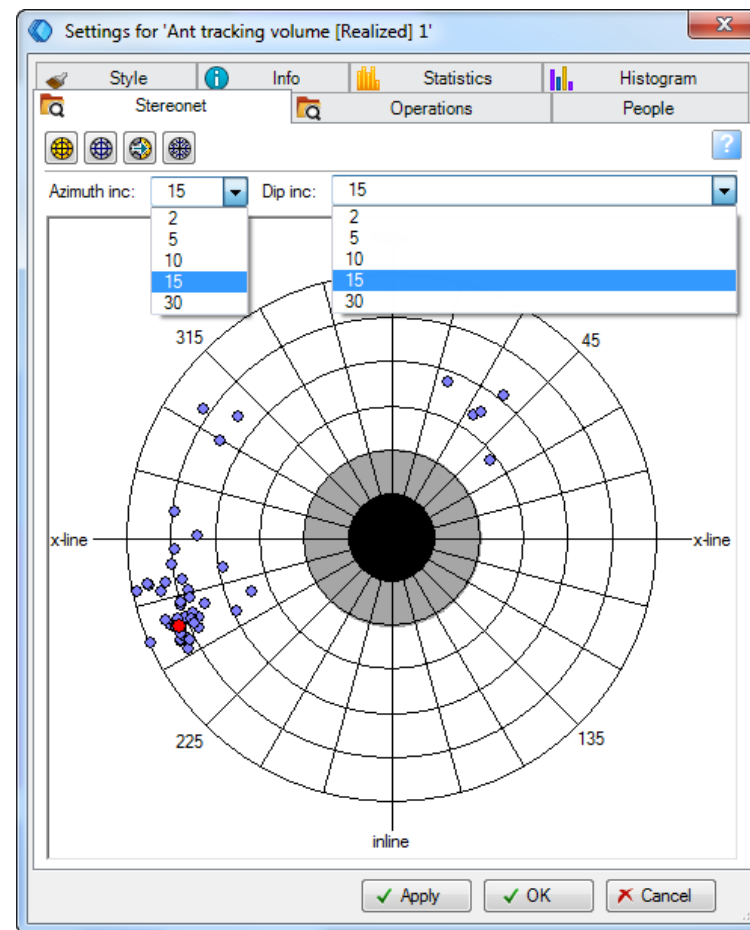


## 提取之后过滤某些断层片: Stereonet 滤波 (2)

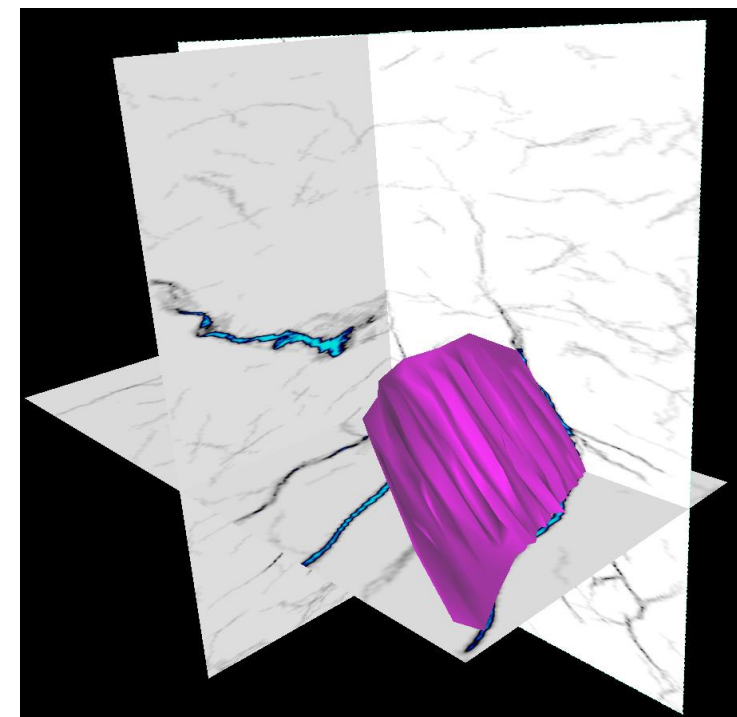
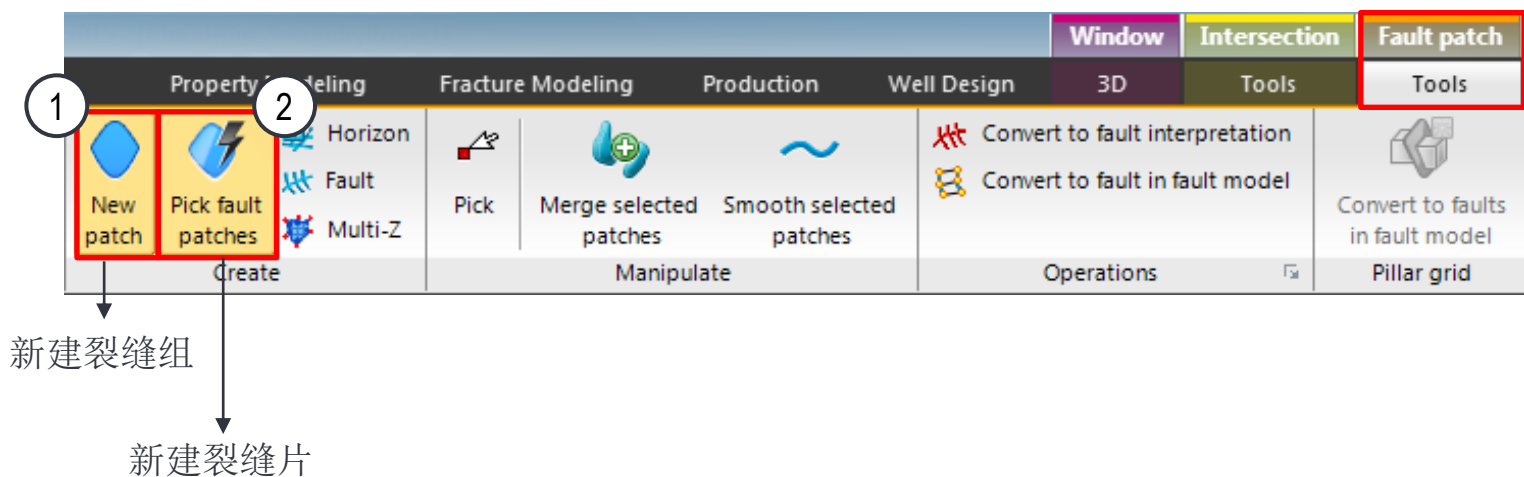
1. 单点某个扇区或鼠标拖动选择某个扇区.
2. 鼠标在圈外点一下, 可以选中一整个扇形区域.
3. 点击apply之后就可以隐藏灰色区域数据.

隐藏: 选中区域对应的倾向和倾角断层不追踪

调整azi和dip的increment, 把圆圈分割设置的更详细





# 半自动化断层片解释 (1)



在蚂蚁体上裂缝处点一下，就可以自动追踪出一个断层片

## 半自动化断层片解释(2)

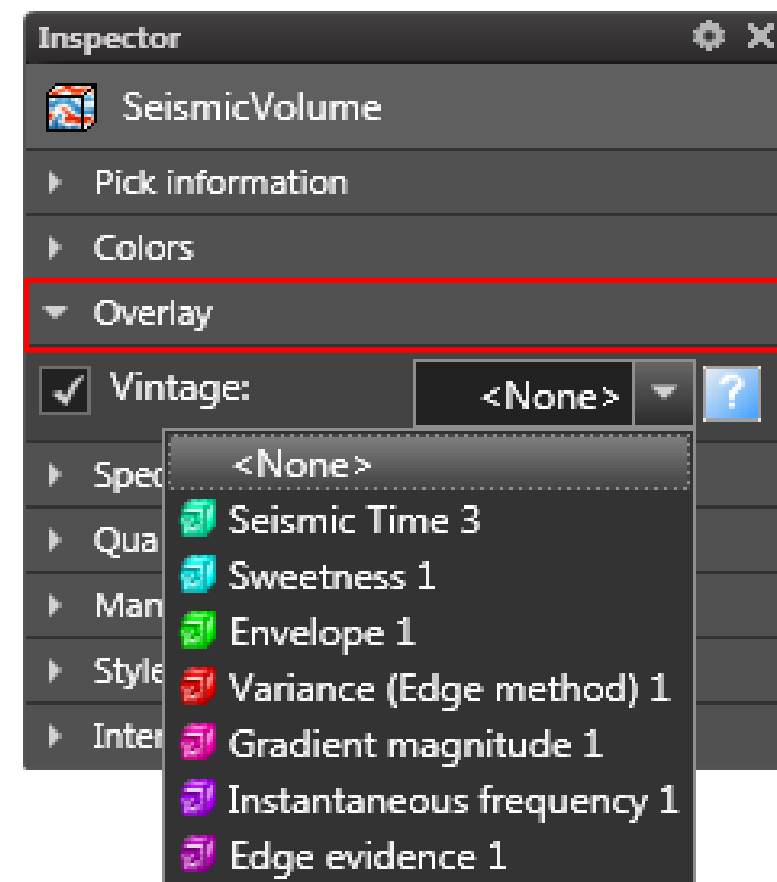
1. 重复以上步骤直到完成解释所有断层片.
2. 按住shift +  选中多个断层片.
3. 点击  合并成一个.



# 解释窗口中地震数据的叠合显示(1)

1. 在解释窗口先显示一个地震剖面.
2. 打开**Inspector**.
3. 在**Overlay** 选择要叠合的属性的Vintage.

根据背景vintage的geometry会列出可以选择的vintages选项



## 解释窗口中地震数据的叠合显示(2)

可以在叠合体上进行地震解释工作

