河流流量

流量累积

流量累积 (FA) 计算是景观演化模型的核心组成部分，因为它们通常用作估计流量、沉积物负荷、河流宽度、基岩侵蚀以及沉积物沉积的代理。

> **笔记**
>
> 直到最近，传统的FA算法仍然是**串行的**，并且仅限于处理小型空间问题。随着高分辨率数字高程数据集的不断增长，过去十年中，基于**并行**方法的新方法不断涌现。

此外，几乎所有这些并行方法都假设**单一流向**(SFD)。这一假设使得涌现流网络对底层网格几何形状高度敏感，而所得河流网络的大多数树枝状形状通常是表面三角剖分的产物。为了减少这种影响，作者提出不仅要考虑最陡的下坡方向，还要考虑其他方向，并根据坡度适当加权（**多流向**- MFD）。使用 MFD 算法可以防止侵蚀路径沿单一方向锁定，并有助于将平坦区域的水流引导到多个分支。

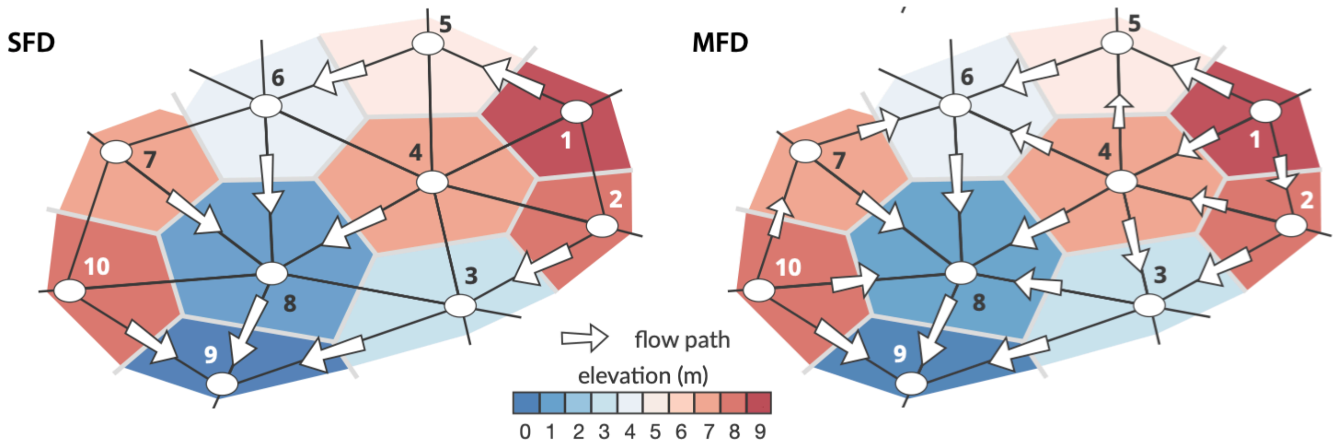

图1： 由10个顶点组成的不规则三角形网络的流径示意图（每种情况均给出节点ID）。单元（*即*定义每个顶点影响区域的Voronoi区域）按高程着色。图中展示了两种情况：单流向（左图 - SFD）和多流向（右图 - MFD）。白色箭头表示流向，其大小随坡度变化（非比例）。节点编号对应于下列公式中的下标。

单流向和多流向

[goSPL 通过将Richardson 等人 (2014)](https://gospl.readthedocs.io)提出的并行隐式排水区域 (IDA) 方法的改进版本应用于 非结构化网格，实现了 SFD 和 MFD 路径规划。该方法将 FA 计算编写为*稀疏矩阵线性方程组，并充分利用了*[PETSc](https://petsc.org)中专门构建的高效线性代数例程。

河流流量是根据计算出的 FA 和净降水率计算得出的. 在节点、河流流量（) 确定如下：

在哪里是当地的水量 在哪里是 Voronoi 区域，在给定的时间步长内可用于径流的当地降水值。是捐助者的数量，捐助者定义为流入的节点（例如，上图中 SFD 草图中顶点 5 的捐赠者为 1）。要找到每个节点的捐赠者，方法在于先找到它们的接收者。然后，将每个捐赠者的接收者保存到接收者矩阵中，注意，处于局部最小值的节点是它们自己的接收者。

然后利用矩阵的转置得到施主矩阵。将上述方程应用于所有节点，并考虑上面说明的MFD情况，可得到以下关系：

权重的选择取决于所使用的流向数量。权重范围在 0 到 1 之间，每个节点的权重总和为 1：

流向路径的数量由用户定义，根据网格邻域复杂度，可以从 1（*即*SFD）到 6（*即*MFD）不等。权重根据下坡邻域的数量计算，并与坡度成正比。

线性求解

以矩阵形式，上面定义的系统等价于**W q** = **b**或：

向量**q**对应于未知的河流排放量（每年流经给定节点的水量），并且**W**中留空的元素为零。

笔记

正如Richardson 等人（2014）所解释的那样，上述系统是隐式的，因为给定顶点的河流流量取决于其相邻顶点的未知流量。矩阵**W**是稀疏矩阵，由设置为 1 的对角项（单位矩阵）和非对角项组成，非对角项最多对应于每个顶点的直接邻居（在约束 Delaunay 三角剖分中通常低于 6）。

在 goSPL 中，使用SciPy提供的压缩稀疏行矩阵功能并行构建此矩阵。

矩阵构建完成后，PETSc库可用于求解分解域内的矩阵和向量。IDA 算法的性能**很大程度上**取决于求解器和预条件件器的选择。在 goSPL 中，**q**的解是使用带有块雅可比预条件件（*bjacobi*）*的Richardson 求解器*获得的。此选择是基于收敛结果做出的，但如果找到更好的求解器和预条件件器组合，则可以进行更改。

迭代方法允许提供初始猜测值。当该初始猜测值接近解时，收敛所需的迭代次数会显著减少。此选项在 goSPL 中用于将前一个时间步长的河流流量解分配为初始猜测值。由于流量在连续时间间隔之间通常变化较小，因此它可以减少 IDA 求解器的迭代次数。