

OptiLayer 针式算法原理及其优点

一. 薄膜设计中数理概念的引入:

光学薄膜设计的重大变革: Philip Baumeister 于 1958 年提出将设计问题转换为优化问题来考虑。

而优化问题则由一系列设计参数(通常为层厚度)和使评价函数最小化来表示。

Example of a merit function:

$$f(X) = \left\{ \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \left[\frac{R(X, \lambda_j) - \tilde{R}(\lambda_j)}{\Delta R_j} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

X - design parameters,

$\tilde{R}(\lambda_j)$ - target reflectance,

$R(X, \lambda_j)$ - actual reflectance,

ΔR_j - design tolerances (inverse weight factors),

λ_j - wavelength grid (L-total number of wavelength points).

二. 针式算法的引入及其原理:

对于一薄膜设计, 已完成优化后, 若是仍没有达到预计设计目标即评价函数并不是足够小。此时由于层数和厚度已固定, 一般优化方法难以再进行优化(此时再优化还是会返回原优化状态)。针式优化则通过引入针式层改变层数达到进一步优化的目的。

亚历山大教授于 1982 年发明了针式优化技术, 这一核心技术使得 Optilayer 运算速度比同时期的任何一款设计软件都要快数百倍。

下图中图 1 为一优化后的三层膜的折射率剖面图，其用一般优化已无法再进一步进行优化。故而通过插入一针式层来优化，如图 2 所示：

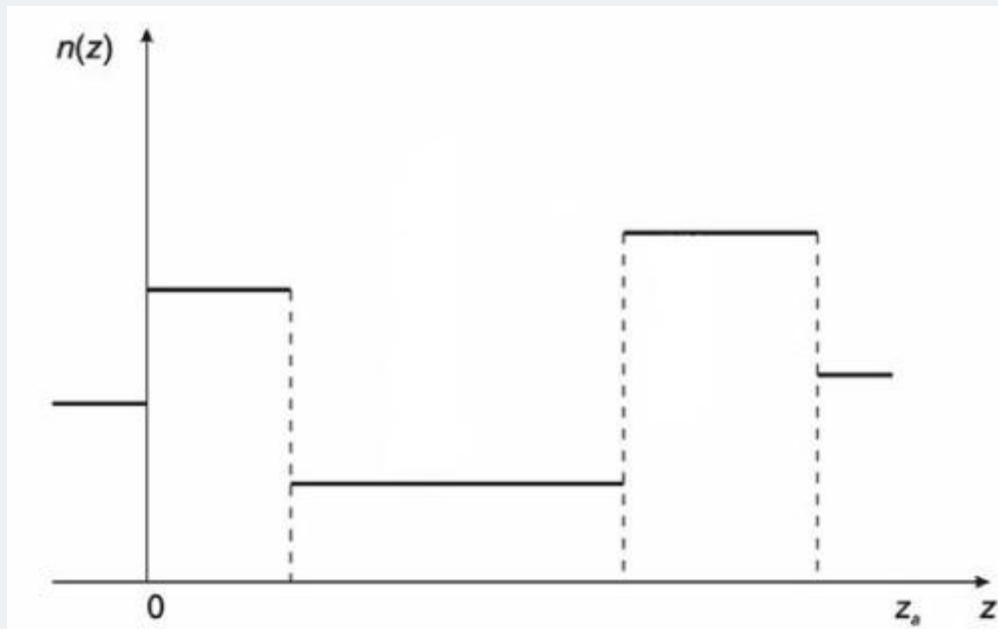


图 1. z 方向为厚度， $n(z)$ 为折射率。

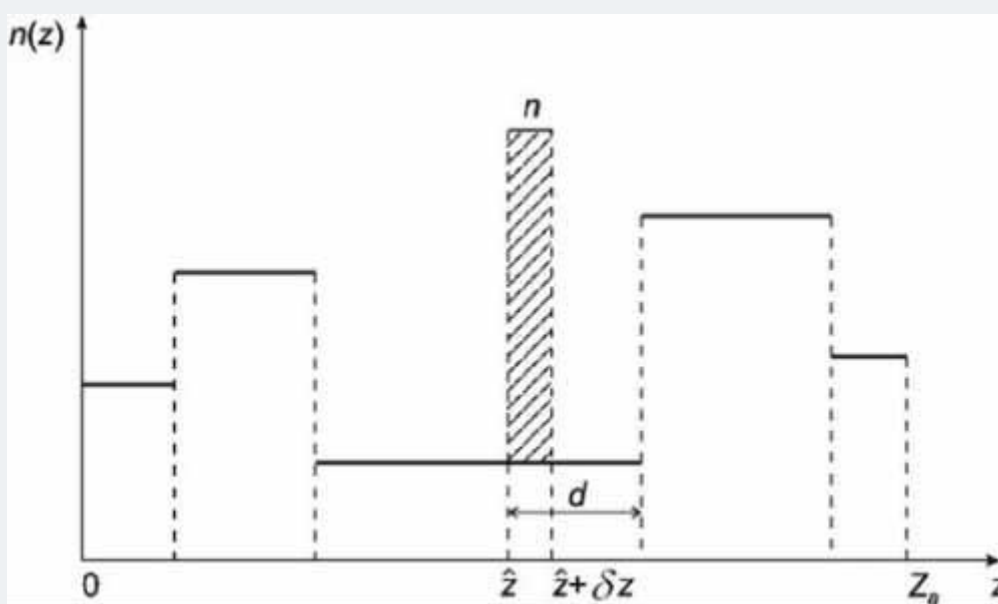
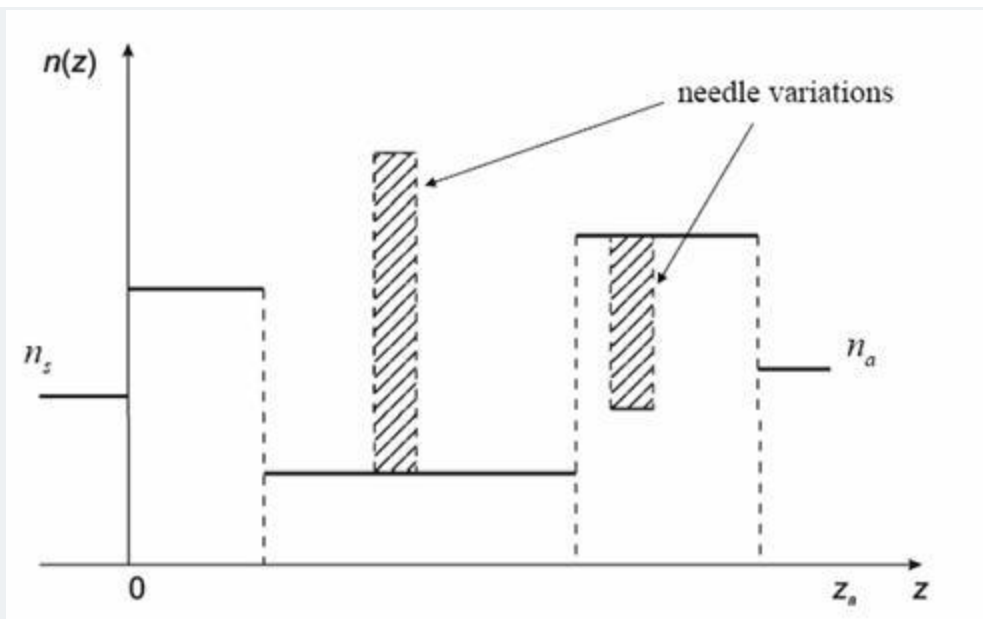


图 2.在薄膜中某一厚度位置插入一折射率为 n 的狭长薄膜层。



上图中 最左侧为基底折射率，最右侧为入射媒介，两阴影区为针式变量(needle variation)。

物理上引入针式变量后，数学上必然会引起评价函数值的变化。通过利用评价函数对新层厚度求偏导，考察当针式变量发生于多层膜内 z 点处且新层折射率为 n_k 时(见图 2)，评价函数(merit function)变量为：

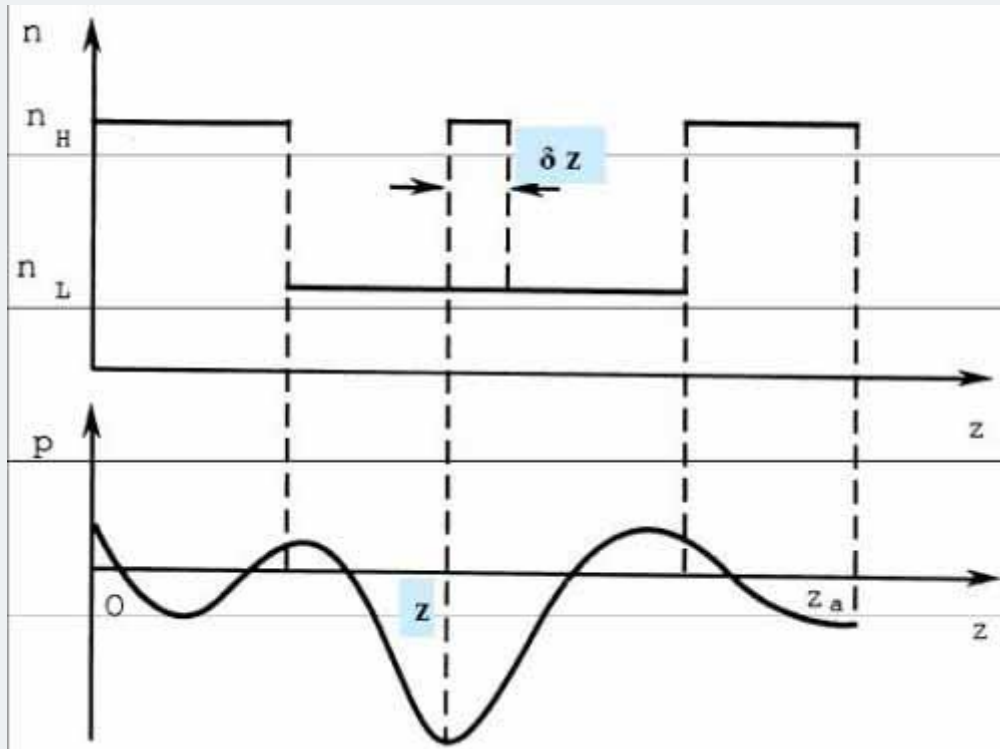
$$\delta F = P(n_k, z) \cdot \delta z + o(\delta z)$$

其中，函数 $P(n_k, z)$ 被称为微扰函数(perturbation function)

由上式可看出由于新层厚度 δz 为正且方程右边第二项为 δz 的高阶微小量，故而在上式中评价函数变量的正负极大程度上取决于微扰函数的正负。即微扰函数为负时，评价函数变量也为负。

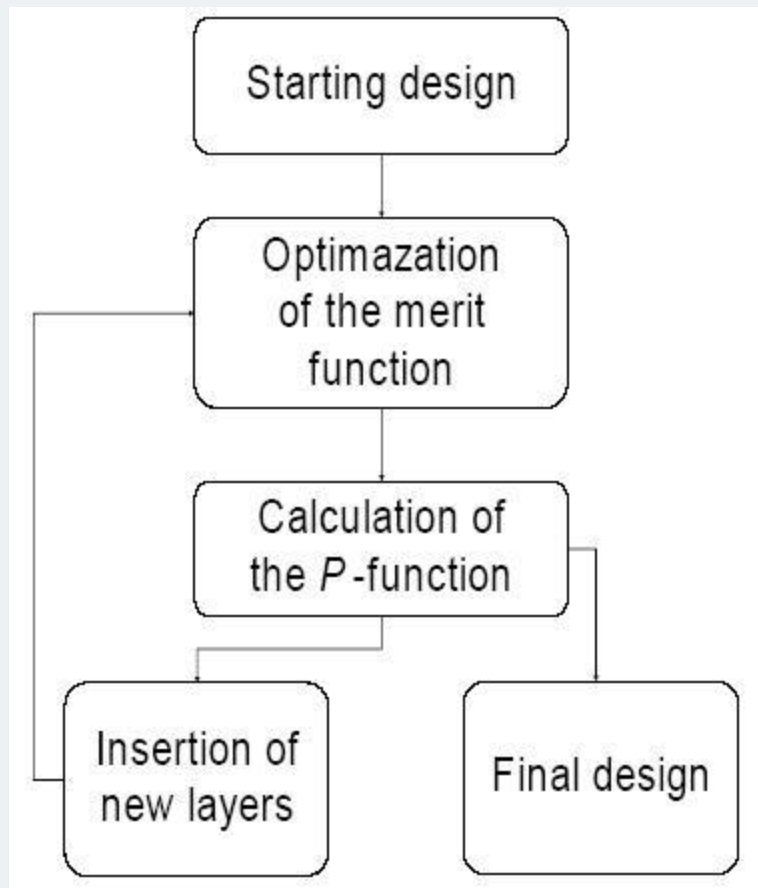
通过数学技术能在不插入新层的情况下计算出微扰函数从而得出评价函数值。

针式优化原理：当某点处微扰函数为负值时，插入一针式变量（保证新层厚度 δz 足够小，以使得 δz 的高阶微小量足够小）将能使得评价函数减小。



且如上图所示，在微扰函数最低点插入针式变量将能获得评价函数最大的减小量。

针式算法思路：不断于微扰函数最低点(且为负值)处插入针式变量至微扰函数无负值区时优化过程终止。其过程如下图：

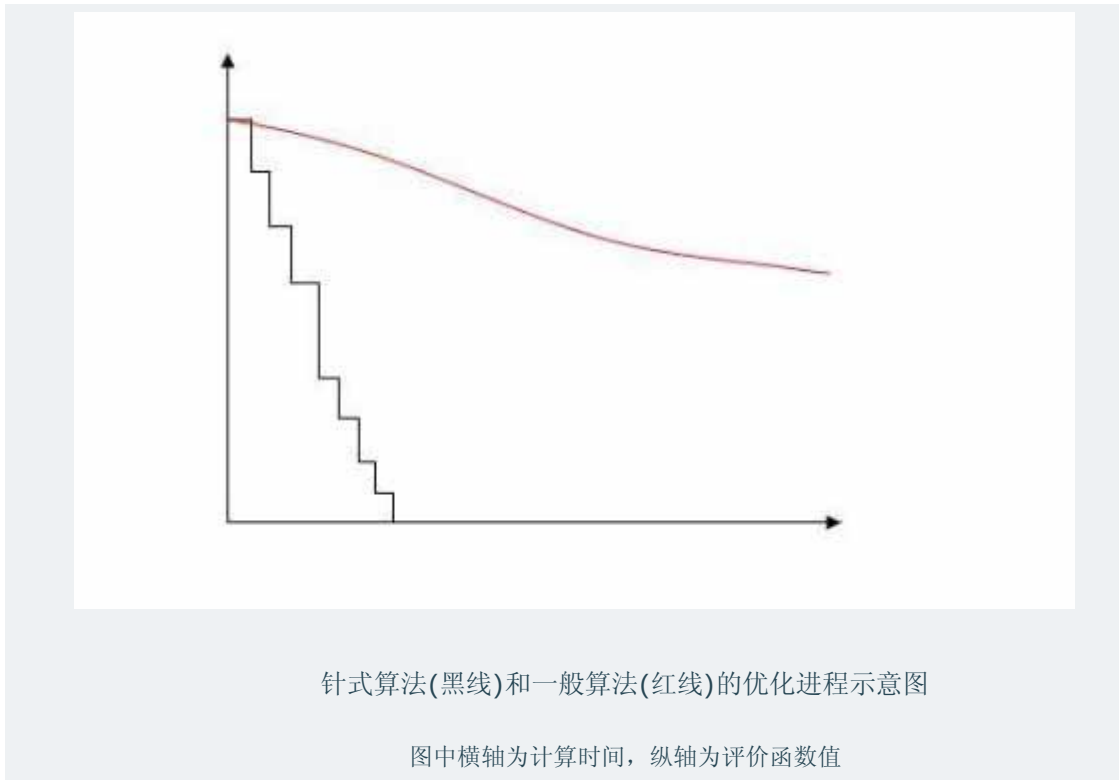


三.OptiLayer 针式算法的优点：

1.计算速度上：

针式算法通过不断于微扰函数最低点(且为负值)处插入针式变量从而不断获得评价函数最大的减小量，所以针式算法是一种阶越性的能极快地使评价函数最小化的算法。

针式算法与一般算法的优化进程示意图如下：



由上图中优化进程示意图的比较，我们可以看出针式算法运算速度明显优于一般算法，因而使得 OptiLayer 软件具有比一般设计软件快数百倍的计算速度。

2.优化效果上：

针式优化通过插入新层使得再优化成为可能。从而使得 OptiLayer 软件能达到更好的优化效果。