

遗传算法在多向随机波浪反射分析中的应用

俞聿修¹, 吴喜德¹, 李毓湘²

(1. 大连理工大学 海岸及近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024; 2. 香港理工大学 土木及结构工程系, 香港九龙)

摘要: 通过数值模拟方法研究了遗传算法在分析多向入、反射波浪共存场中入射波浪的方向分布、波浪的反射系数和反射面位置的应用. 对入射波浪的方向分布、波浪的反射系数和反射面位置通过遗传优化模拟和理论互谱的差别组成适应函数来确定. 数值模拟结果表明, 在多向入、反射波浪场中遗传算法能够精确地分离入、反射波浪, 而且不需要预先确定反射面位置, 因此遗传算法能够很好地被应用于分析多向随机波浪从斜坡堤等反射面位置不明确的建筑物的反射问题.

关键词: 方向谱; 方向分布; 反射系数; 反射面位置; 遗传算法

中图分类号: U256.88⁺33 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4193 (2004)01-0095-10

1 引言

从海岸建筑物反射的波浪对建筑物前的波浪运动形态有很大的影响, 入、反射波浪的相互作用可能危及在建筑物附近航行的船舶或者货物装卸, 同时也能增加波浪对海底的冲刷、侵蚀作用, 因此研究海岸建筑物前的波浪反射对海岸工程设计具有很重要的意义.

传统上分析多向随机波浪方向谱的方法并不适用于研究多向入、反射波浪共存场的方向谱, 这主要是因为入、反射波浪之间存在着固定的相位关系. Isobe 和 Kondo^[1]首先介绍了改进的最大似然法(MMLM), 该方法针对入、反射波浪的固定相位关系对原有分析多向随机波方向谱的最大似然法(MLM)进行了修正, 然而该方法的主要缺点是浪高仪阵列距反射面较远时, 分析的方向谱可能出现负值或者产生伪波峰. Davidson 等^[2]对改进的最大似然法作了进一步的改进, 让它通过迭代方法来确定反射面位置, 然后确定反射系数和方向谱, 但是改进的最大似然法存在的问题这里仍存在. Hashimoto 和 Kobune^[3]建议用改进的贝叶斯方法(MBDM)来计算多向入、反射波浪共存场中入射波浪的方向谱和波浪的反射系数. Teisson 和 Benoit^[4]及柳淑学和俞聿修^[5]通过数值模拟和物模试验的方法验证表明, 改进的贝叶斯方法相对于改

收稿日期: 2003-03-14; **修订日期:** 2003-06-17.

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(98014118).

作者简介: 俞聿修(1933—), 男, 江苏省无锡市人, 教授, 博士生导师, 从事波浪及其与建筑物相互作用的研究.

进的最大似然法有很高的分辨率,然而该方法的缺点是必须把反射面位置作为已知的参数输入,而在有些情况下反射面位置是难以确定的,例如反射面是斜面. Dickson 等^[6]应用一种参数方法来解决多向随机波浪的反射问题,但是这种方法只适用于小角度的入射波浪,对较大角度的入射波浪并不适用,因此分析的方向谱只是局部的方向谱,而不是整个范围的方向谱. Davidson 等^[7]也介绍了一种分析多向随机波浪反射的参数方法,这种方法是利用遗传算法来分离入、反射波浪. 遗传算法的最大优点是对于有无波浪反射的波浪场均能分析方向谱,在分析有波浪反射的方向谱时,无需预先输入反射面的距离,然而应用该方法时只能分析能量比较集中的多向随机波浪,而且计算时间很长.

本文介绍了应用遗传算法来分析多向反射波浪场中入射波浪的方向分布、波浪的反射系数和反射面位置的方法. 所介绍的遗传算法内容与 Davidson 等^[7]参数方法相比对遗传算法中的编码方法和复制过程以及优化过程进行了修改,使 Davidson 等应用遗传算存在的问题得到很好的解决,数值模拟的结果也证明该方法更适用于分析多向随机波浪的反射.

2 理论方法

在入、反射波浪共存场中,入射波浪和反射波浪之间的相位关系是固定的. 假设波动为小幅线性波动,因此随机波浪可用无数个线性波的叠加表示. Isobe 和 Kondo^[1]给出了任意两个波动水面之间的互谱 $[\Phi_{mn}(f)]$ 和入射波方向谱 $[S(f, \theta)]$ 以及反射系数 (K_r) 之间的关系为

$$\Phi_{mn}(f) = \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} [H_{mn0} + H_{mn1}K_r + H_{mn2}K_r^2] S(f, \theta) d\theta, \quad (1)$$

式中,

$$H_{mn0} = \cos(kx_{mn}\cos\theta + ky_{mn}\sin\theta) - i\sin(kx_{mn}\cos\theta + ky_{mn}\sin\theta),$$

$$H_{mn1} = \cos(kx_{m\tau n}\cos\theta + ky_{m\tau n}\sin\theta) - i\sin(kx_{m\tau n}\cos\theta + ky_{m\tau n}\sin\theta) + \\ \cos(kx_{mn\tau}\cos\theta + ky_{mn\tau}\sin\theta) - i\sin(kx_{mn\tau}\cos\theta + ky_{mn\tau}\sin\theta),$$

$$H_{mn2} = \cos(kx_{m\tau n\tau}\cos\theta + ky_{m\tau n\tau}\sin\theta) - i\sin(kx_{m\tau n\tau}\cos\theta + ky_{m\tau n\tau}\sin\theta),$$

$$x_{mn} = x_n - x_m, \quad y_{mn} = y_n - y_m, \quad x_{m\tau n\tau} = x_{n\tau} - x_{m\tau}, \quad y_{m\tau n\tau} = y_{n\tau} - y_{m\tau},$$

$$x_{m\tau n} = x_n - x_{m\tau}, \quad y_{m\tau n} = y_n - y_{m\tau}, \quad x_{mn\tau} = x_{n\tau} - x_m, \quad y_{mn\tau} = y_{n\tau} - y_m,$$

式中, $\Phi_{mn}(f)$ 为第 m 个测点与第 n 个测点波面之间的互谱; k 是波数, 由线性波浪色散关系确定; (x_m, y_m) 和 $(x_{m\tau}, y_{m\tau})$ 分别为第 m 个测点和其对应于反射面的镜像点的位置坐标; θ 为入射波的方向; $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ 是入射波方向分布范围; $S(f, \theta)$ 是入射波浪的方向谱.

Davidson 等^[7]认为公式(1)中的 $\Phi_{mn}(f)$ 可以用四个变量表示的理论互谱 $[\dot{\Phi}_{mm}(f)]$ 拟合, 这四个变量分别为入射波浪的主传播方向 (θ_0) 、方向分布参数 (s) 、反射系数 (K_r) 和反射面到任一测波点的距离 (rld) , 因此这个理论互谱函数可以简化为

$$\dot{\Phi}_{mm}(f) = f(\theta_0, K_r, s, rld). \quad (2)$$

在理论互谱函数和数值模拟中把方向谱表示为

$$S(f, \theta) = S(f)G(f, \theta), \quad (3)$$

式中, $S(f)$ 为波浪频谱, 此处采用 JONSWAP 谱 $(\gamma = 3.3)$; $G(f, \theta)$ 为方向分布函数, 文中采用光易型分布函数:

$$G(f, \theta) = G_0 \sum_{i=1}^{N_s} \alpha_i \cos^{2s_i} \left(\frac{\theta - \theta_{0i}}{2} \right), \quad (4)$$

$$G_0 = \left[\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \sum_{i=1}^{N_s} \cos^{2s_i} \left(\frac{\theta - \theta_{0i}}{2} \right) d\theta \right]^{-1}, \quad (5)$$

式中, θ_{0i} 为波浪的主波向, $N_s = 1$ 时为单峰分布, $N_s = 2$ 时为双峰分布, α_i 取值不同, 双峰的大小不同. 数值模拟中只取单峰分布.

Davidson 等^[7] 定义一个比例系数(κ)以表示理论互谱和数值模拟互谱的比值, 根据这个比例系数可以调整理论互谱的大小. 这个比例系数的表达式为

$$\kappa(f) = \frac{1}{mn} \sum_n \sum_m \frac{|\Phi_{nm}(f)|}{|\dot{\Phi}_{nm}(f)|}. \quad (6)$$

根据这个比例系数, 理论互谱的修正值由关系式 $[\dot{\Phi}_{nm}(f) \Rightarrow \kappa(f) \Phi_{nm}(f)]$ 最后计算得到. 从上述关系式可以看出, 在开始计算理论互谱值之前, 并不需要预先定义入射波浪的频谱, 因此可以假定为单位值, 即先取 $S(f) = 1$.

对于给定的四个参数(θ_0 , s , K_r , rld), 根据公式(1)~(6)就可以计算得到调整后的理论互谱值. 根据遗传算法的要求建立一个适值函数来表示理论互谱和实测互谱的吻合关系:

$$r_a = \frac{1}{1 + \sum_n \sum_m |A_{nm} - \dot{A}_{nm}|}, \quad (7)$$

$$r_p = \frac{1}{1 + \sum_n \sum_m |P_{nm} - \dot{P}_{nm}|}, \quad (8)$$

$$r_{ap} = \frac{r_a + r_p}{2}, \quad (9)$$

式中, A 和 $\dot{A}$ 分别是数值模拟和理论互谱的振幅; P 和 $\dot{P}$ 分别是数值模拟和理论互谱的相位. 式(7)和(8)分别描述理论互谱和数值模拟互谱的振幅与相位之间的适应关系, 式(9)用来反映振幅与相位的综合适应关系. 如果理论互谱与数值模拟互谱的振幅和相位完全相等, 那么式(9)就等于单位值, 反之它的值就减小并趋近于 0.

3 遗传算法简介

遗传算法是一种仿生算法, 即模拟生命演化的算法. 它通过模拟达尔文“优胜劣汰、适者生存”的原理激励好的结构, 通过模拟孟德尔遗传变异理论在迭代过程中保持已有的结构, 同时寻找更好的结构. 作为一种随机的优化和搜索方法, 遗传算法可以解决很多的参数优化问题. 关于遗传算法的详细介绍请参考 Koza^[8] 和云庆夏^[9] 的著作. 在本文中应用连续性遗传算法来优化多向不规则波浪反射问题中四个波浪参数(入射波浪的主波向、方向分布参数、反射系数和反射面位置), 以期得到多向波浪反射的主要控制参数. 遗传算法在本问题中优化参数的操作步骤如下.

(1) 编码. 对于遗传算法首先要用字符串来表达所研究的问题, 这称作编码. 连续性遗传算法采用十进制数编码表达. 在本优化问题中四个被优化的参数组成一个个体, 个体中每个变

量代表一个基因(变量),即 $[\theta_0, s, K_r, rld]$,其中 θ_0, s, K_r, rld 用十进制数表示.这四个基因值分别根据这四个参数的取值范围由计算机按随机方法产生,例如入射波浪主波向的取值范围是 $[-\pi/2, \pi/2]$,反射系数的取值范围是 $[0, 1]$,对于方向分布参数(s)和反射面位置的距离(rld)可以根据情况取值.假定应用随机方法产生的个体为 $[\pi/3, 15, 0.8, 3.4]$,它表示随机产生的入射波主波向 $\theta_0 = 60^\circ$,方向分布参数 $s = 15$,反射系数 $K_r = 0.8$,反射面的距离 $rld = 3.4$ m.在处理时 θ_0, s, K_r, rld 四个十进制数将作为四个独立的基因分别对待.

(2) 形成初始种群.遗传算法中常用上述由计算机按随机方法产生给定数量的个体构成一个原始的祖先群体,其中每个个体代表了这一群体中的一位祖先.群体中个体的数目通常也是固定的,本文中控制参数种群的大小为 $M = 500$,即初始种群中有 500 个个体.

(3) 确定个体的适应值.遗传算法中,衡量个体好坏的指标是个体的适应值,通常它也就是遗传算法的目标函数.在本文中目标函数即是式(9),根据每个个体变量的值,由式(1)~(9)就可以计算每个个体的适应值.适应值是今后优胜劣汰的主要依据.

(4) 根据遗传概率,用下述操作产生新群体.

1) 复制.将已有的优良个体复制后添入新群体中,删除劣质个体,这一操作称为复制.这里复制采用的是择优选择法.这种方法没有明显的复制操作,而是根据个体的相对适应度 $f_i/\Sigma f_i$,反复地从群体中选择 M 个个体组成下一代群体.当然个体的适应度愈高,它被重复选中的可能性愈大,而重复选中的就相当于被复制.相反,适应度小的个体往往未能选中,它就被淘汰.其操作过程为

① 顺序累计群体中各个体的适应度 f_i ,得适应度的累加值;

② 用 S_n 除各个体的适应度 f_i 得相对适应度 p_i ,它也就是该个体被选中的概率 $p_i = f_i/S_n$;

③ 累计 p_i 得到累积概率 $g_i = \sum_{j=1}^i p_j$;

④ 产生 $[0, 1]$ 均匀分布的随机数 r ;

⑤ 将 r 与 g_i 比较,若 $g_{i-1} < r < g_i$,则选择个体 i 进入下一代新群体;

⑥ 反复执行④、⑤项直至新群体的个数等于父代群体规模.

择优选择法复制的目的就是通过复制将优良个体插入下一代新群体,体现“优胜劣汰”的原则,同时在本方法执行最后还采用精华模型法,以使最佳个体能够在复制中保留下来.精华模型法主要原理是将当代的最佳个体和前一代的最佳个体相比较,如果当代个体适应值小于前一代的适应值,那么后者可以取代前者被保留下来.以上提到的复制过程和 Davidson 等^[7]方法相比有很大的改进,主要是这个复制过程无需经验的复制概率,同时采用了精华模型法.

2) 交换.将选出的两个个体进行交换,所产生的新个体进入新群体.在遗传算法中,交叉操作是产生新个体的主要手段,它类似于生物学的杂交,使不同个体的基因相互交换,从而产生新个体.通常被交换的个体从复制后的新群体中随机选择.选择的方法是轮盘法,使优良的个体尽可能被选中,劣质的个体被选中的可能性很小.这里交换的个体数目 $M_c = p_c M$,式中 M 为群体中个体的数目; p_c 为交叉概率,即群体中被交换个体的比例.本文所应用的交叉方法是单点交叉法,其操作步骤如下:

① 顺序累计群体内各个体的适应度,得相应的累计值 S_i ,最后一个累计值为 S_n ;

- ② 在 $[0, S_n]$ 区间内产生均匀分布的随机数 r ;
- ③ 依次用 S_i 与 r 比较, 第一个出现大于或等于的个体被选为交叉的对象;
- ④ 重复②、③步骤直到满足所需要的交叉个体的数目 M_c ;
- ⑤ 在 $[1, 4]$ 区间内产生均匀分布的随机整数, 该整数便是交换点的位置, 根据该整数交换两个对应位置的变量;
- ⑥ 重复操作步骤⑤直至完成所有参与交叉的个体数目;

(5) 反复执行(3)及(4)直到达终止条件, 选择最佳个体作为遗传算法的结果.

反复迭代上述操作过程, 每次迭代时要执行适应度的计算、复制和交叉操作, 直到最终满足终止条件.

遗传算法中主要有两种终止迭代的条件, 分别为规定最大的迭代次数(G)和规定的最小偏差 δ . 规定最大迭代次数是指一旦遗传算法的迭代次数达到 G , 则停止操作, 输出结果. 由于遗传算法中有许多随机因素影响, 最后一代的结果不一定含有最优个体. 为此本文特别采用了“精华模型法”, 即经常记录每代的最优个体以便查询比较. 数值模拟的结果证明该终止条件能够满足要求, 因此本文的终止条件为规定最大的迭代次数. 规定最小偏差的缺点是如果计算的适应值达不到最小偏差, 那么迭代就不会停止, 计算不会结束, 并将永远进行下去, 因此不宜采用. 整个遗传算法的计算过程可以参考遗传算法流程图(图 1).

4 数值模拟验证

4.1 模拟波浪的条件

波浪方向谱可以表示为频谱 $S(f)$ 和方向分布函数 $G(f, \theta)$ 的乘积, 即式(3). 模拟波浪互谱和波面时采用的频谱是 JONSWAP 谱, 它的具体形式为

$$S(f) = \beta_j H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4} (T_p f)^{-4}\right] \cdot \gamma \exp\left[-(f/f_p - 1)^2 / 2\sigma^2\right], \tag{10}$$

$$\beta_j = \frac{0.062\ 38}{0.23 + 0.033\ 6\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \cdot [1.094 - 0.019\ 15\ln\gamma], \tag{11}$$

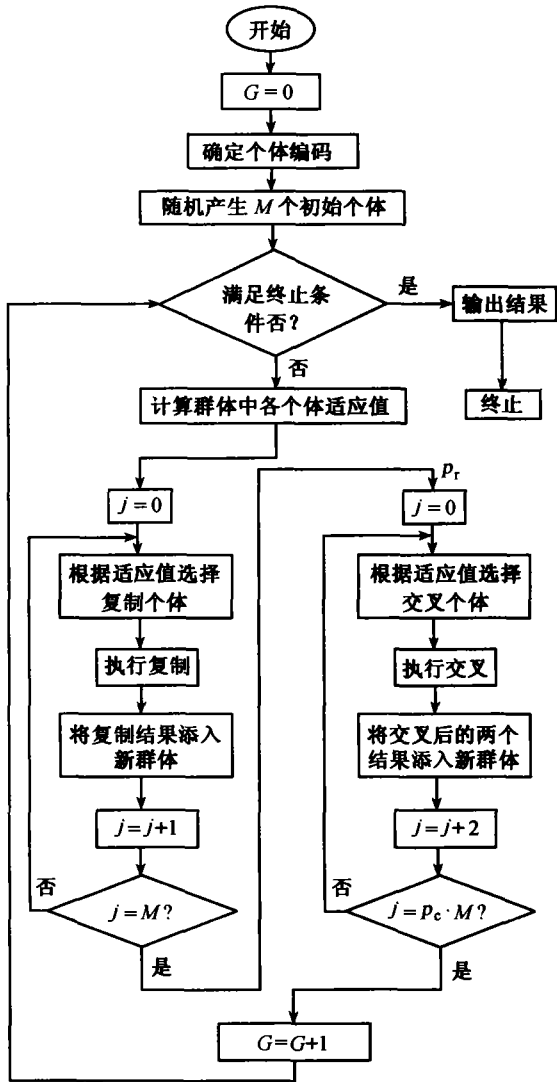


图 1 遗传算法流程图

$$T_p = \frac{T_{H_s}}{1 - 0.132(\gamma + 0.2)^{-0.559}},$$

(12)

对 $f \leq f_p$, $\sigma = 0.07$,

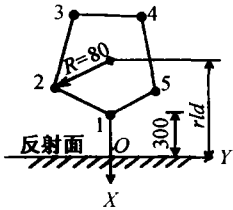
对 $f > f_p$, $\sigma = 0.09$,

式中, γ 为峰升高因子(= 3.3); f_p 为谱峰频率; H_s 为有效波高; T_p 为峰频周期. 方向分布用光易型分布, 模拟时采用的具体形式为

$$G(\theta) = G_0 \cos^{2s}(\frac{\theta - \theta_p}{2}),$$

(13)

在数值模拟中取方向分布参数 $s = 10, 40$, 入射波浪的主波向分别取 $\theta_0 = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ 和 45° .



号	X	Y
1	-300	0
2	-353	-75
3	-443	-49
4	-452	34
5	-366	79

模拟波浪时对测波阵列采用五角形阵列的形式, 其布置如图 2 所示, 测波仪器采用浪高仪. 模拟波浪的有效波高分别取 $H_s = 0.09$ 和 0.06 m, 其对应的周期分别为 $T_p = 1.70$ 和 1.15 s, 水深为 $d = 0.5$ m.

4.2 直接模拟互谱进行验证

数值模拟从模拟波浪的互谱开始, 即可按式(1)由方向谱反求得互谱. 为了验证该方法对反射系数的灵敏性, 本文在数值模拟中对反射系数取三个不同的

图 2 浪高仪测阵布置图(单位: cm)

值, 即 $K_r = 0.9, 0.5$ 和 0.3 .

对于遗传算法中初始种群各个体给定的入射波浪的主波向、方向分布参数、反射系数和反射面位置, 可以应用公式(1)~(6)计算得到理论互谱的修正值, 然后应用式(7)~(9)建立遗传算法的适应值, 再根据前述的遗传算法来同时优化这四个变量.

因为优化的空间相当的大, 所以本文采用了一些特殊的处理方法. 优化首先从峰频开始, 应用的最大代数是 20 代. 对于其他的频率段, 采用 10 代就可以得到较好的结果.

图 3 给出了 $H_s = 0.09$ m 和 $T_p = 1.70$ s 时, 由遗传算法得到的方向分布和输入的方向分布的比较结果. 从图上可以看出分析与输入的方向分布吻合得相当好, 但是当 $\theta_0 = 0^\circ$ 和 $s = 10$ 时会有些误差. 由于篇幅的限制, 这里只给出输入反射系数为 $K_r = 0.3$, $s = 10$ 时的计算结果, 对于其他的情况, 也得到了类似的结果.

对于波浪反射系数, 由遗传算法也可以得到很好的分析结果, 其最大的误差不超过 5%.

反射面位置对于分析入射波浪的方向分布和反射系数起着重要的作用. 现有方法在分析多向波浪的方向谱和反射系数时必须输入反射面位置. 实际上对于斜坡式海岸建筑物来讲, 反射面位置是很难确定的. 遗传算法的优点是在分析入射波浪的方向谱和反射系数时不用输入反射面位置. 在本数值模拟试验中, 输入的反射面位置是 3.8 m(图 2). 数值模拟结果表明, 遗传算法分析的和输入的反射面位置的误差不超过 3%.

从上述模拟结果来看, 用遗传算法能够很好地分析多向随机波浪中的入射波浪的方向分布, 并得到精确的反射系数和反射面位置.

4.3 数值模拟波面进行验证

在模拟波面时浪高仪的阵列形式和模拟互谱时相同, 见图 1. 采用频率方向对应法^[10]模拟多向不规则波, 波浪的有效波高和峰频周期及水深与模拟互谱时相同, 采样时距

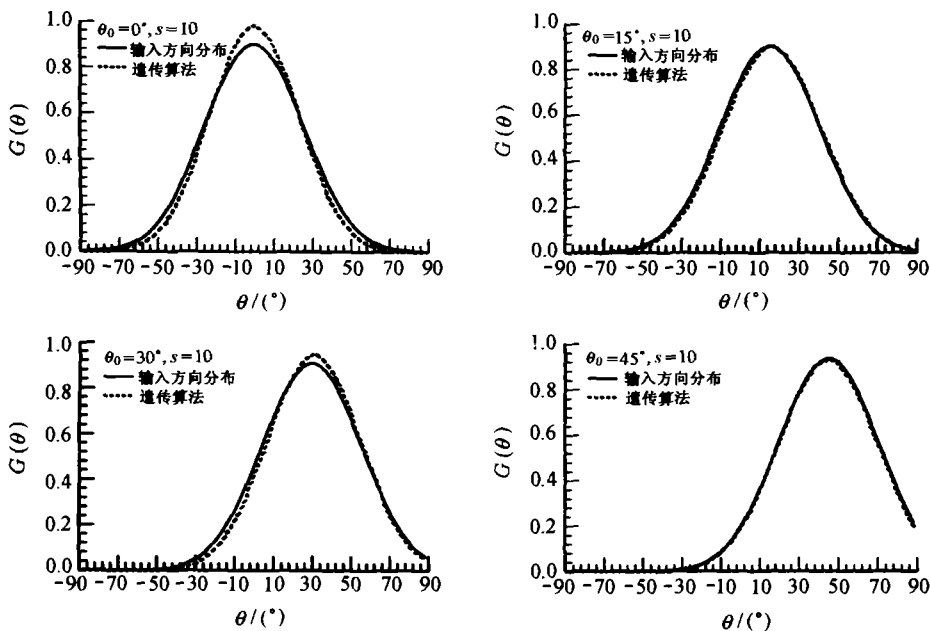


图3 模拟互谱时分析和输入的方向分布在不同主波向下结果的比较
 $H_s=0.09\text{ m}$, $T_p=1.70\text{ s}$, $K_r=0.3$

$\Delta t=0.05\text{ s}$, 采样长度是 8 192 点.

图 4~6 分别比较了由遗传算法得到的和输入的方向分布、反射系数以及反射面位置. 从数值模拟的结果来看, 直接模拟波面的结果与模拟波浪互谱的结果相比要差些, 尤其当反射系数为 0.3 和 0.5 时的误差较大. 这些误差的来源主要是由波面计算互谱所带来的误差引起的.

从数值模拟波面的结果来看, 遗传算法能够分析多向入、反射波浪共存场中入射波浪的方向分布和反射系数以及反射面位置. 虽然在模拟波面时有些误差, 但是整体结果还是可以接受的. 同 Davison 等^[7]数值模拟的结果比较, 本文所提出的改进除了能计算能量分布比较宽的方向谱以外, 计算时间也缩短很多, 而且通过优化都能得到各个参数比较理想的值, 因而在分析多向随机波浪反射时更适用.

5 物理模型试验

为了检验遗传算法对实测波浪的有效性, 进行了物理模型试验, 对浪高仪的测点布置采用了形似“士”字的阵列, 同五角形阵列相比, 这两种阵列方法对分析结果影响不大^[11], 都能得到较好的分析结果. 试验波浪的有效波高和峰频周期分别为 $H_s=0.09\text{ m}$, $T_p=1.70\text{ s}$, 造波方向的变化范围为 $0^\circ\sim60^\circ$, 波向的变化间隔为 15° . 对入射波浪的方向分布仍采用式(13)表示的光易型分布, $s=10, 40$. 对于为频谱采用 JONSWAP 谱, $\gamma=3.3$. 反射面为光滑的直立墙, 浪高仪距反射面的最近距离是 2.5 m.

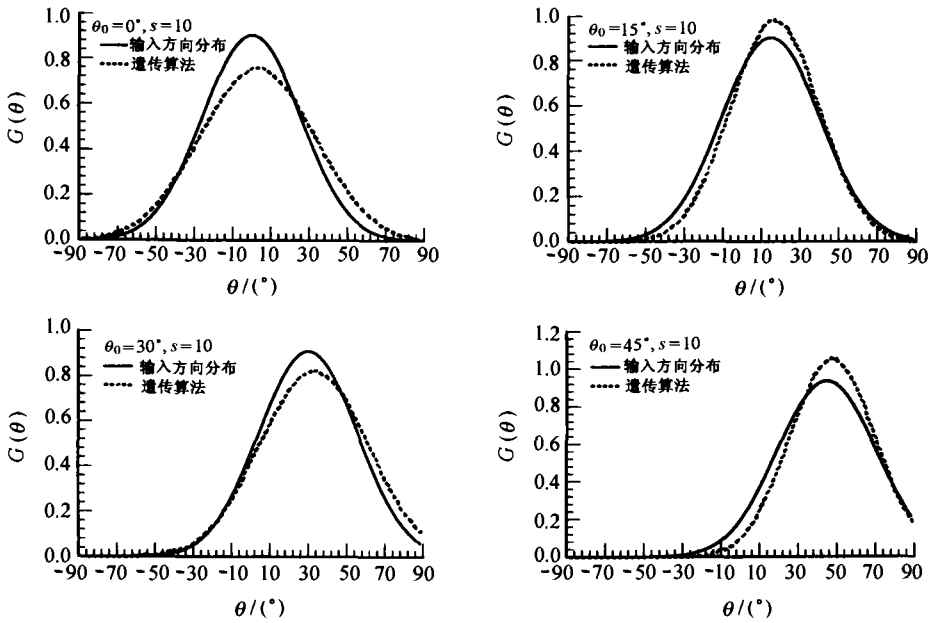


图 4 模拟波面时分析和输入的方向分布在不同主波向下结果的比较
 $H_s=0.09\text{ m}$, $T_p=1.70\text{ s}$, $K_r=0.3$

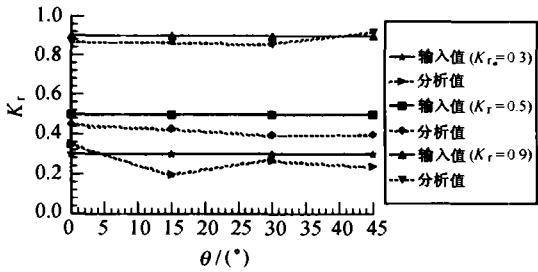


图 5 模拟波面时分析和输入的反射系数在不同主波向下结果的比较
 $H_s=0.09\text{ m}$, $T_p=1.70\text{ s}$, $K_r=0.3$

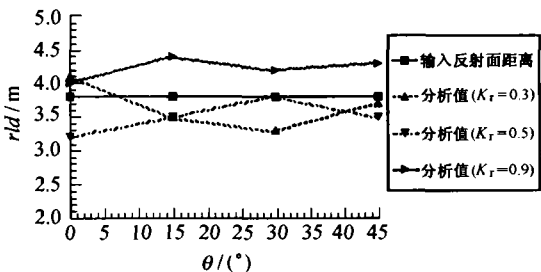


图 6 模拟波面时分析和输入的反射面位置在不同主波向下结果的比较
 $H_s=0.09\text{ m}$, $T_p=1.70\text{ s}$, $K_r=0.3$

试验在大连理工大学海岸与近海工程国家重点实验室的综合水池中进行. 试验水深为 0.45 m , 采样时距 $\Delta t=0.04\text{ s}$, 采样长度为 $8\,192$ 点.

图 7~9 为物模试验波浪的分析结果, 这里只给出了入射波主波向是 30° , 方向分布参数 $s=10$ 的情况. 图 7 为应用 MBDM 和遗传算法分析所得的方向分布与无模型时测得的波浪方向分布(输入方向分布)的比较. 从分析结果看, 遗传算法分析的主波向与输入的主波向较吻合, 方向分布参数的差别也很小, 整体上同 MBDM 方法比较要精确得多. 图 8 为应用 MBDM 和遗传算法分析得到的反射系数, 从结果看, 两者得到的不同主波向下多向随机波浪在直立墙前的综合反射系数基本相同. 图 9 为由遗传算法分析所得的反射面位置, 从结果看, 与实际反

射面位置误差很小. 根据上述物模的结果, 可以把遗传算法应用于实测波浪反射的分析, 并得到较为理想的结果.

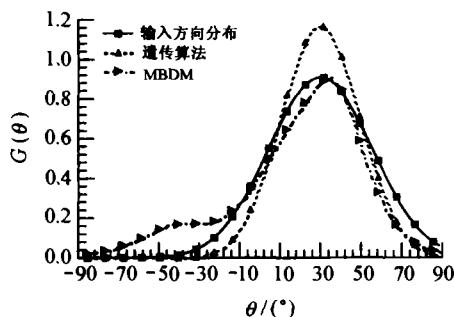


图7 MBDM和遗传算法分析物模试验所得的方向分布与输入方向分布的比较
 $H_s = 0.09 \text{ m}$, $T_p = 1.70 \text{ s}$, $s = 10$

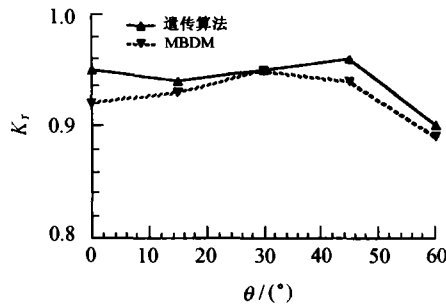


图8 MBDM和遗传算法分析物模试验所得的综合反射系数的比较
 $H_s = 0.09 \text{ m}$, $T_p = 1.70 \text{ s}$, $s = 10$

6 结语

通过数值模拟验证, 遗传算法的适用性得到了证实. 模拟结果表明遗传算法能够较好地分析入、反射波浪共存场中的入射波浪的方向分布、反射系数和反射面位置. 当反射面是斜面时, 本法提供了很好解决反射面位置的方法, 这对研究多向波浪的方向谱和反射系数具有很高的价值. 物模结果也验证了遗传算法能够应用于分析多向随机波浪反射的问题.

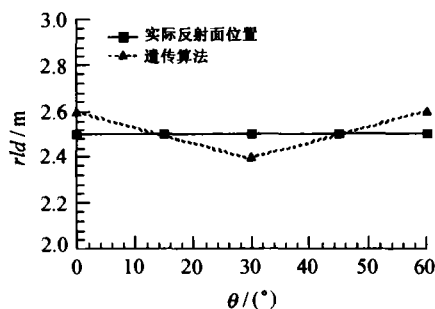


图9 遗传算法分析物模试验所得的反射面位置
 $H_s = 0.09 \text{ m}$, $T_p = 1.70 \text{ s}$, $s = 10$

参考文献:

- [1] ISOBE M, KONDO. Methods for estimating directional wave spectrum in incident and reflected wave field [A]. Proc 19th Conf Coastal Engrg [C]. New York: ASCE, 1984. 467—483.
- [2] DAVIDSON M, HUNTLEY D A, BIRD P A D. A practical method for the estimation of directional wave spectra in reflective wave fields [J]. Coastal Engrg, 1998, 33: 91—116.
- [3] HASHIMOTO N, KOBUNE K. Estimation of the directional spreading in incident and reflected wave field using Bayesian approach [A]. Symp 35th Conf Coastal Engrg (in Japanese)[C]. 1988. 163—167.
- [4] TEISSON C, BENOITT M. Laboratory measurement of oblique irregular wave reflection on rubble mound breakwaters [A]. Proc 24th Conf Coastal Engrg [C]. New York: ASCE, 1994. 1 610—1 624.
- [5] 柳淑学, 俞聿修. 入、反射波浪中方向谱和反射系数的确定 [J]. 水动力学研究与进展, 1998, 13(3): 302—311.
- [6] DICKSON W, HERBERS T H C, THORNTON E B. Wave reflection from breakwater [J]. J of Waterway, Port, Coastal Ocean Engrg, ASCE, 1995, 121(5): 262—268.
- [7] DAVIDSON M A, KINGSTON K S, HUNTLEY D A. New solution for directional wave analysis in reflective wave field

- [J]. J of Waterway, Port, Coastal Ocean Engrg, ASCE, 2000, 126(4): 173—181.
- [8] KOZA J R. Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection [M]. Cambridge, Mass: MIT Press, 1992.
- [9] 云庆夏. 进化算法 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.
- [10] 俞聿修, 柳淑学. 多向不规则波生成的数值方法 [J]. 海洋学报, 1992, 14(2): 138—146.
- [11] YU Yu-xiu, LIU Shu-xue. Study on measurement methods of multi-directional waves——wave gauge array method [J]. China Ocean Engineering, 1992, 6(2): 233—242.

The application of genetic algorithm for multi-directional random wave reflection analysis

YU Yu-xiu¹, WU Xi-de¹, LI Yu-xiang(LI Yok-sheung)²

(1 . State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China ;
2. Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China)

Abstract: The validity of the genetic algorithm in estimating the directional spreading, reflection coefficient and reflective line distance is studied by numerical simulation. The genetic algorithm is verified by the numerical simulation of wave cross-spectrum and surface elevations. The directional spreading of the incident wave, reflection coefficient and reflection line distance are obtained by optimizing a fitness parameter which is a function of the difference between the simulated and theoretical cross-spectra. The numerical simulation results show that the genetic algorithm can accurately separate the incident and reflected wave in multi-directional reflective wave fields without a prior knowledge of the reflection line position. The analytic and model test results indicate that the genetic algorithm can be applied to analyzing the multi-directional random wave reflection.

Key words: directional spectrum; directional spreading; reflection coefficient; reflector position; genetic algorithm