



本文围绕已有缸盖部装生产线的预留辊道及托盘数量的设置,针对能够数以万计排列组合的设计方案开展仿真优化,利用遗传算法在短时间内寻找最优的缓存区和托盘数量,提升生产线产能,达到最优化设计的目的,为今后工艺规划提供新的设计途径。

□ 一汽解放汽车有限公司动力总成事业部 朱炜 陈磊 平志谦

□ 无锡康明斯涡轮增压技术有限公司 王琦

基于遗传算法的生产线优化仿真

生产线规划过程设计变化点多、边界条件少,基本属于开放式设计。在面对这类设计问题时,主要依靠工艺人员的自身经验。在仿真软件出现的初期,由于很难对成千上万个工艺方案进行验证,当时也很难达到较为理想的设计结果,为了确保达到设计产能,对于各项设计资源的试用会较为保守,导致投资难以最优。在制造业竞争日益激烈的情况下,对工艺方案设计也提出更高要求。

目前,生产线仿真软件得到长足发展,行业应用最广泛的生产线仿真软件为 Plant Simulation、Flexsim、Witness 和 Quest 等。其中 Plant Simulation 的 SimTalk 语言具有更强的二次编程能力,能够进行更为复杂的仿真分析。但现在的仿真更多是围绕基本定型的生产线设计架构进行验证和局部的优化,很难在设计输入条件上得到最优的设计结果。本文进行仿真设计时,力争仿真模型能够得到自动获取最优解的能力,而不仅仅是极个别的方案验证,以满足精益设计的要求。发挥 SimTalk 的二次开发能力,结合利用遗传算法实现大量设计方案的最优求解。并通过本项目案例,验证应用仿真解决开放式设计问题的途径。

开放式设计问题

开放式设计问题是:①具有明确的设计目标,但没有更多的设计条件,尽可能少地约束设计者的发挥,可以有成千上万种设计方案,设计者需要实现设计目标的同时利用较少的资源投入;②在有限的资源情况下,设置较少的设计条件,实现最大的目标产出。最常见的新生产线规划多数就属于开放式设计问题。

传统的生产线设计多是依靠设计人员经验,在

已有生产线布局及工序安排基础之上,做一些近似的规划和轻微改动,很难对生产线实施大的设计改动,因为设计人员无法验证也无法确保设计生产线的的能力。在借助生产线仿真验证的情况下,生产线规划有了长足的进步,设计人员拥有更大的设计空间和更多的验证手段,但面对开放式设计千变万化的设计方案,这种验证也仅仅是针对预设的几种生产线方案进行生产线仿真,并不能覆盖所有的可行方案,因此距离最优设计结果也还是有一定的差距。要想取得最优的设计结果,需要对所有的可行方案进行仿真,需要消耗大量的建模和仿真时间,在实际设计过程中并不可行。

遗传算法

遗传算法 (genetic algorithms, GA) 是模拟自然选择和遗传机制的寻优方法,它是建立在达尔文的生物进化论和孟德尔的遗传学说基础上的算法。基因杂交和基因突变可能产生对环境适应性强的后代,通过优胜劣汰的自然选择,适应值高的基因结构就保存下来。遗传算法就是模拟了生物遗传、进化原理,并引用了随机统计原理形成的。

生产线优化设计问题

在早前的优化过程中,笔者已对生产线的工位布局和工序节拍做了仿真分析,进行了相应的工艺调整,对生产线仿真在生产线优化设计方面的作用进行了验证,生产线产能 JPH 为 28.41。接下来,进一步针对生产线上存在的多段缓存辊道及托盘数量进行联合优化,以验证缓存区设置及托盘数量对生产线产能的影响。生产线采用机动辊道输送缸盖、多台自动化安装和检测设备并设置有预留返修工

位, 生产线具有较复杂的流转策略。生产线平面布局如图 1 所示。

生产线上现有托盘 25 块(最多可布置 40 块托盘), 设置有缓存辊道 11 处, 其中两处为 2 段缓存辊道。本次仿真的目的是对 11 处缓存辊道和托盘的数量进行优化。如按照常规的仿真验证思路, 对所有可行的方案进行验证, 整线的布置方案有 $40 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 = 184320$ 种, 根本无法对所有可行方案进行建模仿真。因此, 我们拟采用遗传算法进行托盘数量和辊道缓存数量的优化。

1. 生产线优化问题模型

生产线优化问题是在现有资源条件下达到最优的产出, 设计优化问题的约束类似如下:

①资源约束。生产线型式不变, 每处缓存辊道的数量不多于现有该处的缓存辊道数量, 即各处辊道最大值为 {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2}, 托盘数量最大值为 40; ②目标约束。满足生产线产能最高。

2. 生产线优化遗传算法模型
利用遗传算法进行优化, 过程包括: 基因编码、遗传算子和适应度值函数。在本次生产线优化过程中, 分别如下:

(1) 基因编码

GA 在求解组合选择问题时, 直接选用待优化值进行编码, 这样更为自然、合理。缓存区及托盘数量优化问题, 其染色体采用辊道或托盘的数量进行编码, 染色体反映了各处的辊道和托盘数量, 这意味着每一个基因一处缓存区或辊道数量。本文中采用整数编码直接代表托盘数量或辊道数量, 以该 11 处缓存区及托盘为例, 例如, 编码 [15, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 2, 1] 表示生产线中托盘数量为 15 块, 缓存辊道数量依次为 1 段, 0 段, 1 段, 0 段, 0 段, 1 段, 1 段, 1 段, 1 段, 1 段, 2 段, 1 段。

(2) 遗传算子

在遗传算法中, 通常主要由选择、交配以及突变三种运算符组成:

1) 选择。在这一步骤中, 把生产线 JPH 作为研究对象, JPH 的数值越大, 就意味着染色体具有优势性。采用公式 (1) 来计算各染色体被选择的概率。

$$P_j = \frac{JPH_j}{\sum_{i=1}^n JPH_i} \quad (1)$$

式中, JPH_j 为染色体 j 的适应值; P_j 为染色体 j 被选择的概率。依据各染色体被选择的概率, 再利用俄罗斯轮盘法作为选择的机制, 即随机产生 $\xi \in [0, 1]$, 若

$$\sum_{i=1}^{j-1} P_i < \xi < \sum_{i=1}^j P_i \quad (2)$$

则对染色体 j 进行复制。在此过程中, 将由产生的最佳染色体替换原有的最差染色体。

2) 交叉。被选择下来的染色体, 即表示其有较佳的适应值, 而交叉是将所选取的染色体彼此交换其内部的基因, 希望由此方法进而找到更好的染色体, 在序列编码中常见的交叉方法有部分映射交叉 (Partially Mapped Crossover, PMX) 和次序交叉 (Order Crossover, OX)。

如图 2 所示, 父代 1 和父代 2 交换片段 5374 和 7812, 形成两个新的染色体。在生产线优化问题中, 我们设置交叉率为 0.8, 这有利于更快地求解最优目标。本文设置变异率为 0.1, 减少因过多不利变异带来的无效运算, 同时能够较为合理地引入新的设计方案。

(3) 适应度值函数

本次优化的目标为最大化生产线产出 JPH , 在仿真模型中, 可以根据实际情况选取单一目标, 也可开展多目标优化。在本模型中, 仿真优化只有一个目标, 权重系数为 1。

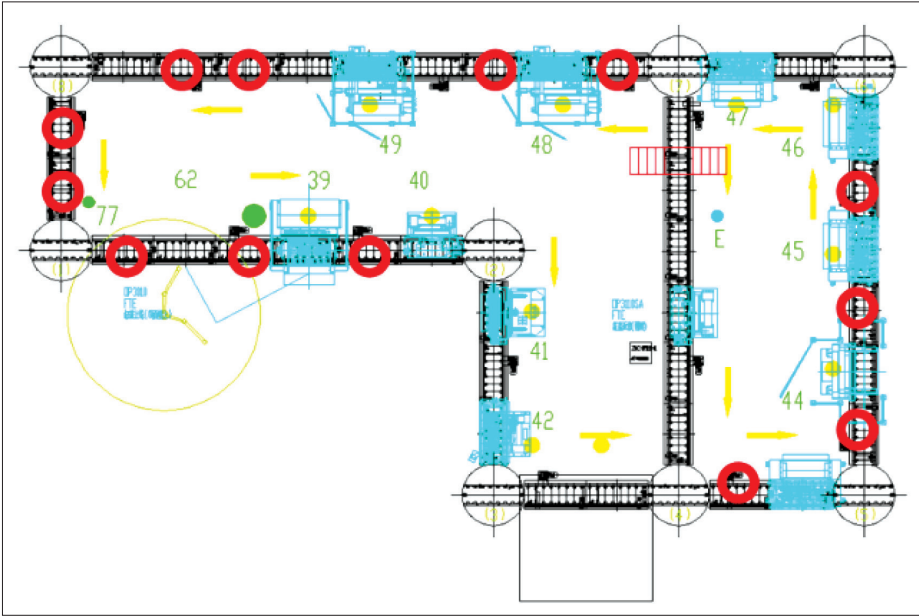


图 1 生产线平面布局图



(4) 族群数 (Population Size, P) 和子代数 (Generation Number, G)

一般来说 GA 中族群数 (Population Size, P) 越大且子代数 (Generation Number, G) 越多时, 一般均可以匹配到较合适的答案。停止循环, 通常有以下几种方法: ①当连续数代的解差异非常小的时候即停止搜寻; ②当搜寻达到一定代数时; ③当搜寻达到一定时间时。而本文设定

族群大小为 10, 子代数为 15。

3. 优化实例

为优化托盘和辊道缓存数量, 对生产线模型进行简化处理: 辊道缓存用 “PlaceBuffer” 代替, 当此处辊道数量为 n 时, “PlaceBuffer” 的容量设置为 n , 处理时间设置为 $n \times 8$; 生产线模型和遗传算法如图 3 所示。当缓存数量为 0 时, “PlaceBuffer” 容量为 0, 此时生产线模型无法运行。因此专门编制程序实

表 最优仿真结果与序列

最优仿真序列	仿真结果 /JPH
{26、1、1、1、1、0、1、1、1、1、1、2、1}	30.05

现 “PlaceBuffer” 参数导入及生产线模型搭建: 在仿真初始化时设置 “PlaceBuffer” 容量和时间、连接生产线 “Connector”, 在每一参数运行结束后保存实验参数和实验结果, 并删除新增加的连接线 “Connector”, 恢复模型状态。此过程为利用遗传算法实现生产线优化仿真的关键, 根据遗传算法产生的遗传因子, 仿真程序自动实现生产线模型的自动变更, 以验证仿真目标值。对于生产线的缓存辊道和托盘数量仿真, 模型运行约 0.5 h 后, 得到本次遗传算法优化的进化曲线图 (图 4), 最优仿真结果与序列见表 1。托盘数量为 26 块; 移除第 4 处的辊道, 减少最后一处的缓存辊道数量。可见, 经过遗传算法优化之后, 生产线产能 JPH 得到大幅度提高, 提高率约为 5.77%。

结束语

本次生产线优化仿真虽然未能对实际生产线移除辊道处理, 但根据前期开展的工艺优化和工序调整的仿真验证结果来看, 此次仿真的结果具有较高的可靠性。通过仿真前的系统模型建立, 实现生产线型式的自动变更, 并结合遗传算法的最优求解过程, 可以实现开放式设计问题的计算机优化。通过本项目的开展, 为今后开展生产线规划设计提供了新的途径和科学工具, 且能够在充分利用规划资源的情况下, 实现最优化设计。希望通过本文的仿真分析案例, 给广大生产线设计者提供更广阔的设计空间。AI

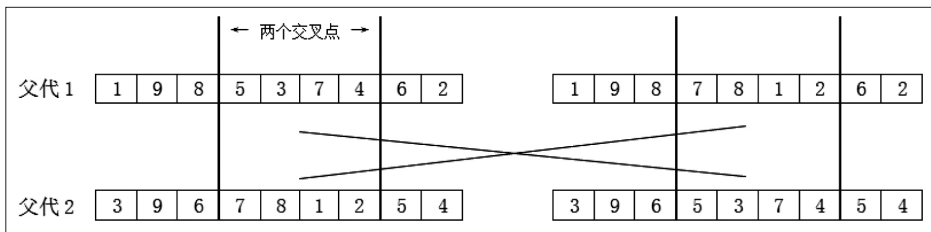


图 2 交叉示意图

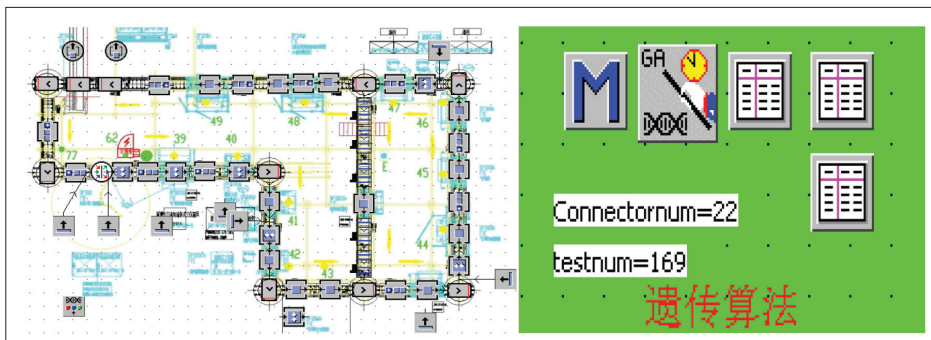


图 3 生产线模型与遗传算法

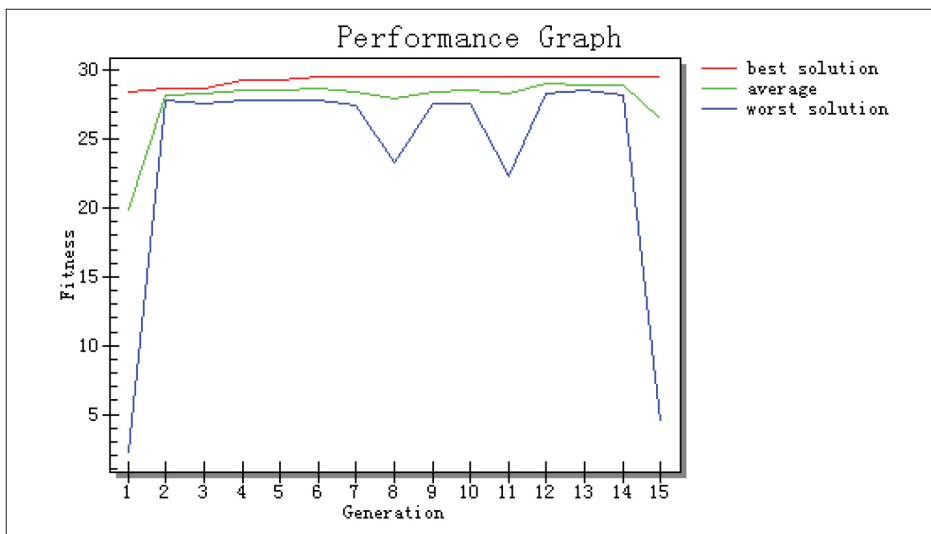


图 4 遗传算法进化曲线图