在并行机调度问题中，加工时间最长的机器被称为关键机器，其余的机器被称为非关键机器[1]。并行机问题的邻域通常也是围绕关键机器进行构造。其中的邻域操作可以分为交换(swap)和插入(insert)[2]，而交换又可以分为一对一交换(swap)，非对称交换(asymmetric swap)和两两交换(double swap)。以一个3机器7工件规模的问题为例，为关键机器，和为非关键机器，图1展示了四种邻域操作方式。如图1所示，插入操作是将关键机器上的一个工件移动到另一台非关键机器上加工，一对一交换是选择关键机器上的一个工件，与另一台非关键机器上的工件交换加工位置；非对称交换下关键机器上的一个工件与某台非关键机器的两台机器进行加工位置的交换；两两交换则是交换关键机器上的两个工件与某台非关键机器上的两个工件。



为了扩大邻域搜索范围，提高求解的质量，越来越多的学者在进行邻域搜索时会同时采用多种操作产生多个邻域解。如Chen等[2]在求解最小化makespan的一致并行机问题时采用了加入局部搜索的和声搜索算法，同时采用了以上四种方式构造邻域解。Guo等[3]用布谷鸟算法求解最小总延迟时间的一致并行机问题时，在标准的布谷鸟算法中加入了邻域搜索的部分，同时采用了插入和交换的方式进行一致并行机的邻域解构造。Kim等[4]使用模拟退火算法来求解最小化一致并行机问题，在邻域构造部分同时采用了插入和交换的方法。

以上的邻域构造方式，通常都是随机选择工件进行交换或者插入操作。相比于其他类型的并行机问题，在一致并行机调度中，同一个工件在不同机器上的加工时间是固定不变的，因此在选择操作的工件时可以进行更有针对性的操作来产生邻域解。

本文设计新的邻域构造方式。文[2]采用的插入和一对一交换两种邻域产生方式在选择目标工件时是随机选取，我们将采用有针对性的方式选取插入和交换的目标工件。

第一种邻域构造在进行插入时，选择关键机器上加工时间最短的，插入到总加工时间最短的非关键机器上。

第二种邻域构造在进行交换操作时，选择选择关键机器上加工时间最长的，与总加工时间最短的非关键机器上加工时间最短的进行交换。相比于随机选择工件，这样的操作能让加工时间的分配更加均匀，从而产生相对优秀的邻域解。

本文求解的问题背景是不确定环境下的一致并行机调度问题。在不确定环境中，同一个解在不同场景下会呈现出不同的关键机器，因此相同的邻域操作在不同的场景下也会产生不同的邻域解。同样以一个3机器7工件规模的问题为例，如图2所示，对同一个解均采用插入操作，在不同的场景下产生了不同的邻域解。其中a)为在场景下进行插入操作的过程，b)为在场景下进行插入操作的过程：在下，关键机器为，对应的加工时间最短的工件为，插入操作为将移动到总加工时间最短的。而在下的关键机器为，则选择上的插入到总加工时间最短的上加工。



因为第二阶段的目标函数涉及多个坏场景，为了充分考虑不同场景对邻域解产生的影响，参考Wang[5]在求解离散场景下的作业车间调度问题时，提出了一种基于合并场景的邻域构造方式，以此来处理不同场景下每个解的关键路径不同造成的影响。本文在常规的一致并行机邻域产生方式基础上进行拓展，采用合并场景的构造来处理不同场景对邻域解的影响，使邻域解的产生更加合理。

对于一个解，其在场景下产生的邻域用表示，合并场景领域表示在场景集下的合并场景邻域：



本文的目标函数与坏场景集有关，将围绕建立合并场景邻域。用分别表示在场景下采取插入和交换操作后产生的邻域解，则。在其坏场景集下的合并邻域用表示：





整个基于坏场景产生合并场景邻域的伪代码如图3所示：

参考文献：

1. Xu X, Cui W, Lin J, et al. Robust makespan minimisation in identical parallel machine scheduling problem with interval data[J]. International Journal of Production Research, 2013, 51(12): 3532-3548.
2. Chen J, Pan Q K, Wang L, et al. A hybrid dynamic harmony search algorithm for identical parallel machines scheduling[J]. Engineering Optimization, 2012, 44(2): 209-224.
3. Guo P, Cheng W, Wang Y. Parallel machine scheduling with step-deteriorating jobs and setup times by a hybrid discrete cuckoo search algorithm[J]. Engineering Optimization, 2015, 47(11): 1564-1585.
4. Kim J G, Song S, Jeong B J. Minimising total tardiness for the identical parallel machine scheduling problem with splitting jobs and sequence-dependent setup times[J]. International Journal of Production Research, 2020, 58(6): 1628-1643.
5. Wang B, Wang X, Lan F, et al. A hybrid local-search algorithm for robust job-shop scheduling under scenarios[J]. Applied Soft Computing, 2018, 62: 259-271.