1. Demand：求解三维空间无碰撞的存续联通路径
2. Project Address：<https://github.com/bladesaber/MAPF_Pipeline>
3. Algorithm Structure:

算法组成：

1. 求解三维空间存续无碰撞路径
   1. 参考方案1: CBS[10] + A-star + CAT(Conflict Avoidance Table)[12]
   2. 参考方案2: Prioritized Planning[19, 20] + A-star

初步评价：方案1的求解路径为理论最短路径，但求解空间大，需要计算资源大，求解时间长。在方案初步结果确认后，可考虑添加Operator Decomposition[6,7,8]与Bypass[17]方法进行优化。方案2的求解路径为次优路径，但无法保证一定有求解结果。

1. 所得路径进行局部平滑
   1. 参考方案1：Hyprid A-star
   2. 参考方案2：Bezier Smoothing（以路径点为控制点）

初步评价：后续需要结合流体方面的函数设计

1. 管道效果可视化
   1. 参考方案1：基于PyVista库实现（参考https://docs.pyvista.org/）
   2. 参考方案2（候选）：基于Mayavi库实现
2. Plan：

2023-03-10：

1. 计划2023-04-01前完成算法组成（1）中两个方案（基于C++）。不确认在三维空间上A-star会不会由于搜索空间过大的问题导致崩溃，因此初期Grid空间设计为（50x50x50）先做尝试。
2. 之后需要一个粗糙的可视化代码（基于Python）。
3. 需要部分模拟应用场景的参数，对比以上两种算法求解该部分场景的Metric差异，以及对比人工设计与算法求解路径的差异（忽略局部路径平滑），已确认下一步是否继续进行。

2023-03-22：

一些优化的想法：

1. 将conflict检测更改为管道之间的距离阈值，当存在冲突时，使用Dijk（不需要Dijk，使用Max（X， Y）<=n即可）找出外层cell作为约束。因此与传统约束不同，的是一个集，而且与不是同一个集。
2. Theta\*是一个参考
3. Life-Long A\* 与 D\*，推荐Life-Long A\*

Paper Reference:

Survey：

1. A Survey of the Multi-Agent Pathfinding Problem, Erwin Lejeune
2. Multi-Agent Path Finding – An Overview , Roni Stern, 2022
3. Multi-Agent Pathfinding: Definitions, Variants, and Benchmarks, Roni Stern
4. Search-Based Optimal Solvers for the Multi-Agent Pathfinding Problem: Summary and Challenges(SoCS 2017)
5. T. Uras and S. Koenig. An Empirical Comparison of Any-Angle Path-Planning Algorithms. In Proceedings of the Annual Symposium on Combinatorial Search, 2015

MAPF：

Search Based Method:

1. WHCA-star：Silver, D. 2005. Cooperative pathfinding. In Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE), 117–122
2. EPEA-star：Goldenberg, M., Felner, A., Sturtevant, N.R., Holte, R.C., Schaeffer, J.: Optimal generation variants of EPEA. In: SoCS (2013)
3. Independence Detection + OD：Standley, T. S. 2010. Finding optimal solutions to cooperative pathfinding problems. In AAAI
4. M-star: Wagner, G., Choset, H.: Subdimensional expansion for multi-robot path planning. Artificial Intelligence 219, 1–24 (2015) 这里有很多参考文章(Why M-star is complete and optimal ?)
5. Bnaya, Z., and Felner, A. 2014. Conflict-oriented windowed hierarchical cooperative A\*. In (ICRA). Online Algorithm, ignore

CBS/ICTS Based Method:

1. CBS: G. Sharon, R. Stern, A. Felner, N. Sturtevant, Conflict-based search for optimal multi-agent path finding, in: Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, Toronto, Ontario, Canada, 2012
2. MA-CBS: Sharon, G., Stern, R., Felner, A., Sturtevant, N.R.: Conflict-based search for optimal multi-agent pathfinding. Artificial Intelligence 219, 40–66 (2015)
3. ICTS: Sharon, G., Stern, R., Goldenberg, M., Felner, A.: The increasing cost tree search for optimal multi-agent pathfinding. Artificial Intelligence 195, 470–495 (2013), ignore
4. Walker, T. T.; Sturtevant, N. R.; and Felner, A. 2018. Extended increasing cost tree search for non-unit cost domains. In International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 534–540. ignore
5. ECBS: Barer, M., Sharon, G., Stern, R., Felner, A.: Suboptimal variants of the conflictbased search algorithm for the multi-agent pathfinding problem. In: Symposium on Combinatorial Search (SoCS) (2014)
6. ICSB: Boyarski, E., Felner, A., Stern, R., Sharon, G., Tolpin, D., Betzalel, O., Shimony, E.: ICBS: improved conflict-based search algorithm for multi-agent pathfinding. In: International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) (2015)
7. HCBS: Felner, A., Li, J., Boyarski, E., Ma, H., Cohen, L., Kumar, T.S., Koenig, S.: Adding heuristics to conflict-based search for multi-agent path finding. In: International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS) (2018)
8. Bypass+CBS: E. Boyarski, A. Felner, G. Sharon, and R. Stern. Don’t split, try to work it out : Bypassing conflicts in multi-agent pathfinding. In ICAPS-2015, Jerusalem, Israel, June 7-11, 2015.
9. Disjoint Splitting for Multi-Agent Path Finding with Conflict-Based Search, Jiaoyang Li, ICAPS 2019)

Prioritized Based Method:

1. H. Ma, D. Harabor, P. Stuckey, J. Li and S. Koenig. Searching with Consistent Prioritization for Multi-Agent Path Finding. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), pages (in print), 2019

3D Pipe：

1. From Multi-Agent Pathfinding to 3D Pipe Routing, Gleb Belov, SoCS 2020：
   1. Priority conflict-based search + A-star
   2. Priority planning + A-star
2. Position Paper: From Multi-Agent Pathfinding to Pipe Routing, Gleb Belov, 2019:
   1. ECBS + focal A-star

Any Angle Path:

1. K. Daniel, A. Nash, S. Koenig and A. Felner.  [Theta\*: Any-Angle Path Planning on Grids](https://web.archive.org/web/20160528140046/http://idm-lab.org/bib/abstracts/Koen10r.html). Journal of Artificial Intelligence Research, 39, 533-579, 2010. (supplement)
2. A. Nash, K. Daniel, S. Koenig and A. Felner. [Theta\*: Any-Angle Path Planning on Grids](https://web.archive.org/web/20160528140046/http://idm-lab.org/bib/abstracts/Koen07f.html). In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), 1177-1183, 2007:

Reference Link: [https://web.archive.org/web/20190717211246/http://aigamedev.com/open/tutorials/theta-star-any-angle-paths/](https://web.archive.org/web/20190717211246/http:/aigamedev.com/open/tutorials/theta-star-any-angle-paths/)

1. Optimal Any-Angle Pathfinding In Practice. Daniel Harabor Journal of Artifificial Intelligence Research 56 (2016). (Anya algorithm):

Reference Link:

<https://github.com/370417/symmetric-shadowcasting>

<https://www.albertford.com/shadowcasting/#is_blocking>

1. Compromise-free Pathfinding on a Navigation Mesh. Michael L. Cui.Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-17) (Polyanya , variant of Anya)

Non Holonomic Search:

1. Practical Search Techniques in Path Planning for Autonomous Driving. Dmitri Dolgov. 2008 (Hybrid A-star) Very Good Paper
2. Path Planning in Unstructured Environments: A Real-time Hybrid A\* Implementation for Fast and Deterministic Path Generation for the KTH Research Concept Vehicle. Karl Kurzer Karlsruhe Institute of Technology 2016 (Hybrid A-star supplement)
3. L. Wen, Y. Liu and H. Li, CL-MAPF: Multi-Agent Path Finding for Car-Like robots with kinematic and spatiotemporal constraints, Robotics and Autonomous Systems, 2021
4. Honig, W.; Kumar, T.; Cohen, L.; Ma, H.; Xu, H.; Ayanian, N.; and Koenig, S. 2017. Summary: multi-agent path finding with kinematic constraints. In International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 4869–4873 (MAPF-POST) ignore
5. Walker, T. T.; Chan, D.; and Sturtevant, N. R. 2017. Using hierarchical constraints to avoid conflicts in multi-agent path finding. In International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS). interesting but may be far from optimal without any bound

Larger Agent:

1. Li, J.; Surynek, P.; Felner, A.; Ma., H.; Kumar, T. K. S.; and Koenig, S. 2019. Multi-agent path finding for large agents. In AAAI Conference on Artificial Intelligence

Structure:

1. J. Li, Z. Chen, D. Harabor, P. Stuckey and S. Koenig. Anytime Multi-Agent Path Finding via Large Neighborhood Search. In International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)
2. Code Reference:
3. <https://github.com/whoenig/libMultiRobotPlanning>
4. <https://github.com/Jiaoyang-Li/PBS>
5. Resource Attention：
   1. Andreychuk, A., Yakovlev, K.: Two techniques that enhance the performance of multi-robot prioritized path planning. In: International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS). pp. 2177–2179 (2018)
   2. EECBS: A Bounded-Suboptimal Search for Multi-Agent Path Finding
   3. HCBS + RTC: Improved Heuristics for Multi-Agent Path Finding with Conflict-Based Search
   4. Dynamic A\* and Lifelong Planning A\* may be useful

记录：

2023-03-06：

这段时间可以完成low-level的搜索方法与high-level规划方法的确定就很好了，第二个比较麻烦的方面就是要找到合适的参考代码并进行移植。对于传统的搜索方法的改进主要体现在：（1）启发式（2）限制branch数目（3）independent detection（4）创建window移动窗体（4）Operator decomposition （5）Conflict Avoid Table

2023-03-08：

与多智体路径规划不同的是，管道规划中行走过的路径不允许再被占据，所以Prioritized Planning 才会比较占主导，不过CBS应该仍然是最优结果的求解器。但我估计在三维上使用CBS会比在二维上开销大得多。

1. M-star似乎不适合于管道路径问题，因为路径不允许二次占据

2023-03-09:

总结来说，与常规的多智慧体路径规划相对比，主要是agent merge的操作失效了，（1） Operator Decomposition（单纯作为branch发散的问题方案使用）（2）ByPass方法 （3）启发式 这部分仍然是有效的。我的计划：

1. 完成两个求解器：
   1. 基于CBS + Search 的求解器 (CBS+A\*, ECBS)
   2. 基于 Prioritized Planning 的求解器 (PBS)
2. 我需要对比一下人工设计与算法设计的纯路径的差异
3. 路径平滑还是一个大问题，我预估这是一个Motion Planning Problem，我可能需要参考一下Hybrid A\* 或 基于simulation 的方法（例如Model Predictive Control，RRT\*）

2023-03-10:

A\*-star的变种应该是有用的：A-star（wiki）

2023-03-22：

目前完成了简单的Space-Time Astar与CBS的基础。在确认了方向无误后，先考虑完成一个完整的应用，先在小的测试环境上完成对（1）不同尺寸（2）平滑路径（3）合并与交集，三个问题的处理。

我认为我之前参考multi-agent path finding是有一定的偏差的，因为agent path finding的冲突需要考虑运动时间，但管道不需要考虑运动时间，因此可能Any-Angel Path finding与CBS混合是一个更合适的选择。

2023-03-23：

早期的两个思路是：（1）先用Astar搜索最优路径，然后做路径短接后处理，再在转角位使用特定的平滑方法。（2）直接在非完整的连续空间进行搜索

目前的三个问题主要是：（1）管道尺寸不一致，（2）平滑可能产生干涉或密集区域无法平滑

1. 关于LA-MAPF的问题，我认为如果使用disjoint splitting的方法则约束为一整个球体，否则用常规方式，则使用MC-CBS的方法，用交集约束

2023-03-24：

需求比我预想中多，而且由于我对目前的情况理解太少，似乎很多的需求缺乏启发式，它们的衍生是非线性的，那意味着无法在一开始的时候就知悉。这样迭代式的开发可能比想象中重要。

这个项目使用连续搜索比离散搜索更合适。MAPF-LNS有迭代形式的思想，我需要参考一下。

那些流体参数可能可以塞进路径的梯度优化里面。

可以通过全局梯度下降来平滑曲线。

2023-03-25：

既然找不到参考，要不直接看RRT的路径规划文章

或者先弱化一下graph

2023-03-27：

我介意的问题在于：

1. 特殊的约束是设计前知道，设计中知道，还是设计后知道
2. 特殊的约束是设计中一直保持，还是设计中存在
3. 约束是不是软约束，即是同一约束不同选择有不同值
4. 进口与出口一定要与截面正交（希望如此）

我没太多的把握，第1，这是个NP-Hard难题，这意味着必须有人的启发式，否则无法解决问题。第2，这几乎一定是个迭代求解问题，并且需要约束启发式的选择可能。第3，既然是个迭代问题，应该尽量使求解快速。

角度的两条限制式：

杜宾启发式在三维上完备，但怎么确定最短？（这些曲线圆滑限制太大，我不想用），我希望可以直接使用梯度优化确定最优曲线。

我需要方法来bound住路径