



MAGUS:

**Machine learning And Graph theory assisted
Universal structure Searcher**

高豪, 王俊杰, 韩瑜, Dc, 孙建

使用手册

Version 1.0.2, 2021 年 6 月 2 日.

<https://git.nju.edu.cn/gaaooh/magus>

目录

1 安装	3
1.1 依赖	3
1.2 准备	3
1.2.1 设置 ase 的 vasp 接口	3
1.2.2 机器学习包安装	4
1.3 pip 安装	4
1.4 source 安装	5
1.4.1 代码下载	5
1.4.2 编译 GenerateNew 模块	5
1.4.3 编译 lrpot 模块	6
1.4.4 设置入口	6
1.4.5 设置环境变量	6
1.5 检查安装	7
2 输入文件	8
2.1 input.yaml 参数	8
2.1.1 基本参数	8
2.1.2 种群相关	8
2.1.3 结构产生	9
2.1.4 结构演化	9
2.1.5 煮计算器	9
2.1.6 代理计算器	10
2.2 inputFold	11
2.2.1 Vasp	11
2.2.2 Gulp	12

2.2.3	Lammps	13
2.2.4	ASE 系列 (EMT, LJ, XTB...)	15
2.2.5	MTP	15
2.3	Seeds	17
3	程序指令	18
3.1	search	18
3.2	summary	18
3.3	calc	20
4	输出文件	21
4.1	calcFold	21
4.2	mlFold	22
4.3	results	22
5	例子	24
5.1	NH_4NO_3 分子晶体产生	24
5.2	MTP 大批量优化随机结构	25
5.3	TiO_2 定组分结构搜索	28
5.4	$Zn_x(OH)_y$ 变组分结构搜索	30
5.5	$MgSiO_3$ 机器学习结构搜索	33
5.6	CH_4 分子晶体搜索	34
6	常见问题	37

1 安装

1.1 依赖

Python ≥ 3.6

NumPy

SciPy

Scikit-learn

PyYAML

Ase ≥ 3.19

Networkx $= 2.1$

Spglib

Pandas

可选项:

Pytest $\geq 3.6.1$: unittest

Xtb $= 6.3$: XTBCalculator

Mlip: MTPCalculator

1.2 准备

1.2.1 设置 ase 的 vasp 接口

- 1) 新建一个 run_vasp.py:

```
import subprocess
exitcode = subprocess.call("mpiexec.hydra
/your/path/to/vasp", shell=True)
```

- 2) 建立 mypps 目录存放 vasp 脚本，可以用软连接:

mypps/

```
├─ potpaw  
├─ potpaw_GGA  
└─ potpaw_PBE
```

```
$ ln -s /your/path/PBE-5.4 mypps/potpaw_PBE
```

三个子目录分别对应 LDA, PW91, PBE 也可以加入其他赝势库。

3) 设置环境变量:

```
$ export VASP_SCRIPT=/your/path/run_vasp.py  
$ export VASP_PP_PATH=/your/path/mypps
```

更多信息见:<https://wiki.fysik.dtu.dk/ase/ase/calculators/vasp.html#module-ase.calculators.vasp>

注意: run_vasp.py 和 mypps 不要放在 magus 目录下

1.2.2 机器学习包安装

TwoShareMTPCalculator 使用了修改过的 mtp 代码, 官方版本不支持此功能. 如需使用可进入 magus/mtp-api 目录, 按其中教程安装. 详见:<https://git.nju.edu.cn/bigd4/mtp-api>

1.3 pip 安装

magus 安装需要 boost_python, boost_numpy. 若所使用的 python 环境 (如 anaconda-3/5.0.1) 的 lib 中有会自动探测路径, 否则需要在环境变量中给出相应路径 (无需写入 bashrc)

```
$ export MAGUS_INCLUDE_PATH=your_path_to_include_dir:  
your_path_to_py_include_dir  
$ export MAGUS_LD_LIBRARY_PATH=your_ld_library_path
```

配置好后执行（其实不行，因为包还没有上传，呵呵）：

```
$ pip install magus --upgrade
```

若直接在集群安装需加入--user参数

1.4 source 安装

1.4.1 代码下载

克隆库到本地并初始化子项目：

```
$ git clone git@git.nju.edu.cn:gaaoooh/magus.git  
$ git submodule init  
$ git submodule update
```

或直接下载压缩包.

1.4.2 编译 GenerateNew 模块

进入 magus/generatenew 中, 编译 generatenew.so 文件, 并将其放入 magus/magus 文件夹下. 如使用集群 anaconda/3-5.0.1, 命令为:

```
$ g++ -std=c++11 -I/fs00/software/anaconda/3-5.0.1/include  
-I/fs00/software/anaconda/3-5.0.1/include/python3.6m  
-L/fs00/software/anaconda/3-5.0.1/lib -lboost_python  
-lboost_numpy -lpython3.6m main.cpp -o GenerateNew.so  
-shared -fPIC
```

具体可见: <https://git.nju.edu.cn/HanYu/generatenew>

1.4.3 编译 lrpot 模块

进入 `magus/lrpot` 中, 编译 `lrpot.so` 文件, 并将其放入 `magus/magus` 文件夹下. 如使用集群 `anaconda/3-5.0.1`, 命令为:

```
$ g++ -std=c++11 -I/fs00/software/anaconda/3-5.0.1/include  
-I/fs00/software/anaconda/3-5.0.1/include/python3.6m  
-L/fs00/software/anaconda/3-5.0.1/lib -lboost_python  
-lboost_numpy -lpython3.6m lrpot.cpp -o lrpot.so -shared  
-fPIC
```

具体可见: <https://git.nju.edu.cn/bigd4/lrpot>

1.4.4 设置入口

新建 `magus` 文件:

```
import re  
import sys  
from magus.entrypoints.main import main  
if __name__ == '__main__':  
    sys.argv[0] = re.sub(r'(-script|.pyw|\.exe)?$', '',  
        sys.argv[0])  
    sys.exit(main())
```

保存后执行 `chmod +x magus` 设置为可执行文件。

1.4.5 设置环境变量

```
$ export PYTHONPATH=$PYTHONPATH:/your/path/magus  
$ export PATH=$PATH:/your/path/magus
```

1.5 检查安装

```
$ magus -v
```

```
1.0.2
```


2 输入文件

一个典型的结构搜索任务一般包含以下文件：

- `input.yaml`, 给出任务的主要参数. 详见 2.1
- `inputFold`, 补充 `input.yaml` 中定义的 Calculator 所需要的一些额外的信息, 如 Vasp 的 `INCAR`, Lammps 的 `in.lammps` 等. 详见 2.2
- `Seeds`, 给出种子结构, 可指定在哪一代加入. 详见 2.3

2.1 `input.yaml` 参数

2.1.1 基本参数

- `calcType`: 计算类型, 可用值: `fix` (定组分), `var` (变组分)
- `pressure`: 压强 (GPa)
- `DFTRelax`: 用于 ML 搜索中, 是否将结果用 DFT 优化
- `molMode`: 是否打开分子晶体模式
- `symprec`: 默认值: 0.1, 判断空间群时容忍误差

2.1.2 种群相关

- `initSize`: 初代种群大小
- `popSize`: 种群大小
- `numGen`: 迭代次数
- `saveGood`: 聚类后保留结构数

2.1.3 结构产生

- spacegroup: 随机结构的空群, 例: [1,2,20-30]
- minAt: 最小原子数
- maxAt: 最大原子数
- symbols: 元素类型例: ['Ti', 'O'], 外层是方括号, 每个元素用引号括起来
- formula: 元素比例例: [1, 2] (定组分), [[1,0],[0,1]] (变组分)
- fullEles: 若值为 True, 则产生的结构含有'symbols' 中所有元素
- eleSize: 变组分搜索时, 初代每种单质随机产生的结构数
- volRatio: 随机产生结构时的体积参数
- dRatio: 判断原子距离是否过近的标准
- addSym: 产生结构之前是否为父代加入对称性

2.1.4 结构演化

- randFrac: 随机结构比例
- molDetector: 结构演化时判断分子片段的方法可用值: 0(不判断分子局域结构, 默认值) 1(自动判断分子局域结构) 2(使用 Girvan-Newman 算法划分局域结构)
- cutNum: cutNum
- permNum: permNum
- rotNum: rotNum...

2.1.5 煮计算器

主计算器定义了 Magus 搜索时使用的 MainCalculator, 以下所有参数都定义于 MainCalculator 条目下, 需要缩进:

- jobPrefix: 计算器所需附属文件在 `inputFold` 文件夹中的名称, 如 `EMT`, `0v0` 等
如需使用多个计算器串接则给出对应列表, 如: `['Gulp', 'Vasp1', 'Vasp2']`
- calculator: 程序种类, 如未给出则按照 jobPrefix 文件名判断, 可用值: `vasp`, `gulp`, `lammps`, `emt`, `xtb`, `lj`, `quip`
- mode: 运行方式, 可用值: `serial` (串行), `parallel` (并行)
- xc: (VASP) 交换关联类型, 可用值: `PBE`, `LDA`, `PW-91`
- ppLabel: (VASP) VASP 赝势的后缀, 与 `symbols` 顺序一致, 若无后缀则填入", 如: `['_sv', '']`。
- exeCmd: (gulp, lammps) 运行结构优化程序的命令, 如 `gulp < input > output`, `mpirun -np 4 lmp_mpi -in in.lammps`

以下选项为并行模式下的队列控制选项, 同样适用于代理计算器

- numParallel: 并行优化结构的数目
- numCore: 结构优化使用的核数
- queueName: 结构优化任务的队列
- verbose: log 中是否显示详细队列信息
- waitTime: 检查任务的时间间隔 (s)
- killTime: 杀死任务的时间间隔 (s)
- Preprocessing: 提交脚本时的预处理

2.1.6 代理计算器

代理计算器定义了 MLMagus 搜索时使用的 MLCalculator, 以下所有参数都定义于 MLCalculator 条目下, 需要缩进:

- jobPrefix: 同2.1.5

- calculator: 程序种类, 如未给出则按照 jobPrefix 文件名判断, 可用值: mtp, mtp-lammps
- connect: 多个 mtp 的连接方式, 可用值: [naive, share-trainset]
- force_tolerance: 结构优化力收敛判据, 默认值: 0.05
- stress_tolerance: 结构优化应力收敛判据, 默认值: 1.
- weights: 训练时能量、力、应力权重, 默认值: [1., 0.01, 0.001]
- scaled_by_force: 训练时给予较小力的额外权重, 默认值: 0.
- min_dist: 优化时最小距离, 默认值: 0.5
- n_epoch: 训练代数, 默认值: 200
- init_times: 初始化力场次数, 如果已有训练过的力场可设为 0. 默认值: 2

2.2 inputFold

inputFold 中为不同 calculator 所需要的补充文件, 放在对应的 jobPrefix 文件夹中。以下为各 calculator 所需文件的示例, 内容可根据需要修改 (名字不行):

2.2.1 Vasp

INCAR

就是 INCAR

```
PREC = Accurate
EDIFF = 1e-4
EDIFFG = 1e-3
IBRION = 2
ISIF = 3
NSW = 40
ISMear = 0
SIGMA = 0.050
POTIM = 0.250
```

```

ISTART = 0
LCHARG = FALSE
LWAVE = FALSE
KSPACING = 0.314
NCORE= 4

```

注意：INCAR 中不需要给出 pstress

2.2.2 Gulp

goption.relax

gulp 优化参数配置

```
opti conjugate nosymmetry conp
```

goption.scf

gulp 自洽参数配置

```
nosymmetry conp gradients
```

goption.scf

gulp 势函数文件

```

space
1
species
Mg  2.0
Al  3.0
O   -2.0
lennard 12 6
Mg 0   1.50 0.00 0.00 6.0
Al 0   1.50 0.00 0.00 6.0
O  0   1.50 0.00 0.00 6.0

```

```
Mg Mg 1.50 0.00 0.00 6.0
Mg Al 1.50 0.00 0.00 6.0
Al Al 1.50 0.00 0.00 6.0
buck
Mg O 1428.5 0.2945 0.0 0.0 7.0
Al O 1114.9 0.3118 0.0 0.0 7.0
O O 2023.8 0.2674 0.0 0.0 7.0
maxcyc 850
switch rfo 0.010
time 60
```

2.2.3 Lammps

in.relax

lammps 优化参数配置，可替换为分子动力学等等

```
clear
atom_style atomic
units metal
boundary p p p
read_data data # 此行不可更改
### interactions
pair_style lj/cut 2.5
pair_coeff * * 1 1
mass 1 35.450000
mass 2 22.989769
### run
fix fix_nve all nvt temp 300.0 300.0 100
dump dump_all all custom 1 out.dump id type x y z vx vy vz
fx fy fz
# 最终输出必须为 out.dump
```

```
thermo_style custom step temp press pxx pyy pzz pxy pxz  
pyz ke pe etotal  
# 需要 pxx pyy pzz pxy pxz pyz  
thermo 1  
run 10
```

in.scf

lammps 自洽计算参数配置

```
clear  
atom_style atomic  
units metal  
boundary p p p  
read_data data  
### interactions  
pair_style lj/cut 2.5  
pair_coeff * * 1 1  
mass 1 35.450000  
mass 2 22.989769  
### run  
fix fix_nve all nve  
dump dump_all all custom 1 out.dump id type x y z vx vy vz  
fx fy fz  
thermo_style custom step temp press pxx pyy pzz pxy pxz  
pyz ke pe etotal  
thermo 1  
run 10
```

2.2.4 ASE 系列 (EMT, LJ, XTB...)

EMT, LJ, XTB...

建个文件夹就完事了，除非如 XTB 需要相关配置文件

xtb.yaml

下次一定

2.2.5 MTP

mlip.ini

active learning 控制参数, 详见 <https://git.nju.edu.cn/bigd4/mtp-api/-/blob/master/doc/manual/manual.pdf>

mtp-filename	pot.mtp
# 改不得	
select	TRUE
select:site-en-weight	1.0
select:energy-weight	0.0
select:force-weight	0.0
select:stress-weight	0.0
select:threshold	1.5
select:threshold-break	7.0
select:save-selected	B-preselected.cfg
# 改不得	
select:load-state	A-state.als
# 改不得	

pot.mtp

mtp 使用势场，可从 untrained_mtps 中拷贝，仅可改变标注了作用的参数。

MTP

version = 1.1.0


```

potential_name = MTP1m
species_count = 1                # 原子种类数量
potential_tag =
radial_basis_type = RBChebyshev
    min_dist = 2                  # 原子最小间距
    max_dist = 5                  # 原子环境最大考虑半径
    radial_basis_size = 8         # 基函数个数
    radial_funcs_count = 3
alpha_moments_count = 84
alpha_index_basic_count = 46

```

train.cfg

训练集，若不存在，将自动生成空训练集

```

BEGIN_CFG
Size
4
Supercell
2.457244 0.0 0.0
0.0 -2.457244 0.0
0.0 0.0 -2.457244
AtomData: id type cartes_x cartes_y cartes_z fx fy fz
1 0 0.0 0.0 0.0 0.0 -0.0 0.0
2 0 0.0 -1.228622 -1.228622 0.0 -0.0 -0.0
3 0 1.228622 -1.228622 0.0 -0.0 0.0 0.0
4 0 1.228622 0.0 -1.228622 0.0 -0.0 -0.0
Energy
-15.79300182
EnergyWeight
0.02195049074783156
PlusStress: xx yy zz yz xz xy

```

```
26.253439887628005 26.253439887628005 26.253439887628005  
-0.0 0.0 0.0  
END_CFG
```

2.3 Seeds

POSCARS_i 为第 i 代加入的种子文件，如有 POSCAR_1~POSCAR_9 希望在第一代加入，POSCAR_10~POSCAR_19 希望第二代加入，执行 `cat POSCAR_{1..9} > POSCARS_1`；`cat POSCAR_{10..19} > POSCARS_2` 后将 POSCARS_1 与 POSCARS_2 放入 Seeds 中即可。

3 程序指令

`magus` 文件为程序运行的入口，通过运行 `magus` 可以得到所有的指令与介绍，通过 `magus [command] -h` 可获得其帮助。

指令	用途
<code>search 3.1</code>	结构搜索
<code>summary 3.2</code>	事后总结
<code>clean</code>	事后清理
<code>prepare</code>	事前准备
<code>calc 3.3</code>	批量计算
<code>gen</code>	批量产生

3.1 search

结构搜索模块，使用时直接提交命令 `magus search` 即可。可选择参数如下：

- `-h -help`
展示帮助文档
- `-i INPUTFILE, -input-file INPUTFILE`
指定输入参数文件，默认为 `input.yaml`
- `-l LEVEL, -log-level LEVEL`
指定 `log.txt` 文件 logging 等级，可选项：DEBUG,INFO,WARNING,ERROR。默认为 INFO
- `-m, -use-ml`
是否使用机器学习模块
- `-r, -restart`
是否为继续上次任务，使用此选项目录内应保留上次作业的 `results` 与 `log.txt`

3.2 summary

用于总结一条或多条 ase traj 格式的轨迹，参数如下：

- `-h -help`
展示帮助文档
- `-p PREC, -prec PREC`
判断空间群的精度，默认值为 0.1
- `-r, -reverse`
是否倒着输出，默认正着输出
- `-s, -save`
是否将此轨迹中所有结构输出为 POSCAR，默认不输出，以防文件夹很乱
- `-o OUTDIR, -outdir OUTDIR`
POSCAR 输出的目录
- `-n SHOW_NUMBER, -show-number SHOW_NUMBER`
展示条目数量，默认为 20
- `-sb SORTED_BY, -sorted-by SORTED_BY`
用哪个关键字排序，默认为 enthalpy
- `-rm REMOVE_FEATURES [REMOVE_FEATURES ...], -remove-features REMOVE_FEATURES [REMOVE_FEATURES ...]`
需要移除展示的信息
- `-a ADD_FEATURES [ADD_FEATURES ...], -add-features ADD_FEATURES [ADD_FEATURES ...]`
需要附加展示的其他信息

一个例子如下：

```
$ magus summary good.traj ref.traj -a volume -rm priSym
parentE -n 10
```

	symmetry	enthalpy	origin	fullSym	volume	source
1	I-43d (220)	0.412	random	Li16	123.164	ref
2	Cmc2_1 (36)	0.416	seed	Li88	647.965	good

3	Aea2 (41)	0.419	None	Li40	301.519	ref
4	Ama2 (40)	0.419	random	Li88	645.352	good
5	P3c1 (158)	0.422	Rattle	Li88	644.677	good
6	Cc (9)	0.423	Rattle	Li88	646.661	good
7	Cm (8)	0.427	Lattice	Li88	649.852	good
8	P1 (1)	0.427	Slip	Li88	647.470	good
9	Aea2 (41)	0.429	random	Li88	647.528	good
10	Aea2 (41)	0.429	Rattle	Li88	647.652	good

3.3 calc

根据 `input.yaml` 中定义的 calculator, 计算给出的 traj, 结果会输出于 `out.traj`, 可用 `magus summary out.traj` 命令查看。

- `-h -help`
展示帮助文档
- `-m MODE, -mode MODE`
计算类型, 可用值: `scf, relax`. 默认为 `relax`
- `-i INPUTFILE, -input-file INPUTFILE`
指定参数所在文件, 默认为 `input.yaml`
- `-p PRESSURE, -pressure PRESSURE`
指定压强, 若不给出则使用 `INPUTFILE` 中给出的压强

如若需对 `in.traj` 中的结构在 10GPa 下优化, 运行命令为:

```
$ magus calc in.traj -p 10
```

此命令与 `MtpCalculator` 或 `MTPLammpsCalculator` 结合, 可以 on the fly 的得到机器学习的训练集。

4 输出文件

结构搜索过程中, 将会产生 `log.txt`, `calcFold` 与 `results`, 如果搜索时加入 `-m` 选项, 会额外产生 `MLFold`。

4.1 calcFold

`calcFold` 中为 `input.yaml` 定义的计算器计算过程中所产生的文件。一个典型的结构搜索任务将产生如下结构的 `calcFold`:

```
calcFold
├── MTP
│   ├── epoch00
│   ├── epoch01
│   ├── epoch02
│   └── job_controller
└── Vasp
    ├── 00
    ├── 01
    ├── 02
    ├── 03
    └── job_controller
```

如果并行模式计算过程中发生错误, 报错信息将在对应的文件夹中出现。此外, 并行模式中计算器文件夹下会产生 `job_controller` 文件, 可通过修改其中内容改变作业提交的参数。如:

old_job_controller

```
kill_time: 100000
num_core: 48
pre_processing: ''
queue_name: 9242opa!
verbose: false
```

new_job_controller

```
kill_time: 100000
num_core: 64
pre_processing: ''
queue_name: 7702ib
verbose: false
```

这些改变将被记录在 `log.txt` 中:

`log.txt`

```
Be careful, the following settings are changed
  num_core: 48 -> 64
  queue_name: 9242opa! -> 7702ib
```

4.2 mlFold

`mlFold` 中为 `input.yaml` 中定义的机器学习模块执行挑选、训练的部分。如果提交任务时此文件夹不存在,将会使用 `inputFold` 中对应的文件。训练或挑选中发生错误报错信息将在对应文件夹中出现,此外,可在 `train-out` 中查看训练集上的误差。

若已经进行过一次 `MLMagus` 搜索并得到了一个不错的势,可以不用删除 `mlFold` 以在以后的搜索中使用;或者复制 `pot.mtp` 与 `train.cfg` 到其他 `inputFold` 中反复使用。此时可将 `init_times` 设为 0,代表不再在初始化时训练力场。

4.3 results

`results` 中记录了各代生成的各种结构,可根据需要使用 `summary` 命令查看。

- `good.traj`
目前最优的 `popSize` 个结构
- `good{i}.traj`
第 `i` 代最优的 `popSize` 个结构
- `best.traj`
历代最优的结构,使用 `summary` 查看时注意需添加 `-sb None` 或 `-sorted_by None` 选项,否则会默认按焓值排序显示而不是代数的顺序
- `keep{i}.traj`
第 `i` 代经过聚类后保留的 `goodSize` 个结构

- `init{i}.traj`
第 i 代产生的初始结构
- `raw{i}.traj`
第 i 代的初始结构经过第一性结构优化后的结构，可用于 debug
- `gen{i}.traj`
第 i 代种群，一般为 `raw{i}.traj` 或 `mlraw{i}.traj` 经过 check 后的结果若机器学习搜索使用第一性验证，则为 `mlraw{i}.traj` 中低能结构第一性优化后额结果。第一性验证则为
- `mlraw{i}.traj`
第 i 代的初始结构经过机器学习结构优化后的结构，可用于 debug
- `mlgen{i}.traj`
`mlraw{i}.traj` 经过 check 的结果

5 例子

5.1 NH_4NO_3 分子晶体产生

目标：产生 10 个 *Pccn* 的 NH_4NO_3 分子晶体。

准备：input.yaml, NH4.xyz, N03.xyz

input.yaml

结构产生控制文件

```
minAt: 72                # 最小原子数
maxAt: 72                # 最大原子数
symbols: ['H', 'N', 'O'] # 待产生结构所含元素
molMode: True            # 分子晶体模式
molFile: ['NH4.xyz', 'N03.xyz'] # 所含分子结构
molFormula: [1, 1]       # 分子组分
molType: 'fix'
spacegroup: [56]          # 指定 56 号空间群 Pccn
dRatio: 0.8               # 原子间最小距离比
threshold_mol: 1.5        # 分子间最小距离比
volRatio: 8               # 体积比
```

NH4.xyz

```
5
NH4
H    4.511281    4.375470    3.210227
H    3.584655    4.486488    1.796710
H    4.670180    3.191076    2.019142
H    3.246077    3.272899    2.937012
N    4.000271    3.837356    2.488938
```

```
N03.xyz
```

```
4
N03
N    2.012707    2.014563    4.870574
O    1.714319    0.953807    5.478185
O    2.311095    3.075319    5.478185
O    2.012707    2.014563    3.582428
```

运行: `magus gen -n 10`

结果: 目标结构 `gen.traj`

5.2 MTP 大批量优化随机结构

目标: 使用 MTP 力场优化 1000 个 B_{12} 随机结构

准备: 待优化结构 `gen.traj`, `inputFold`, `input.yaml`, 其中, `inputFold` 结构为:

```
inputFold/
├── MTP
│   ├── mlip.ini
│   ├── pot.mtp
│   └── train.cfg
└── Vasp
    └── INCAR
```

```
input.yaml
```

定义主计算器与机器学习计算器

```
#main calculator settings
```

```
MainCalculator:
```

```
  jobPrefix: Vasp
```

```
  # 标准能量由 Vasp 给出
```

```
  #vasp settings
```

```
xc: PBE
ppLabel: ['']
#parallel settings
numParallel: 20
numCore: 24
queueName: 9242opa!
waitTime: 30

MLCalculator:
  jobPrefix: MTP
  calculator: mtp
  min_dist: 1.2          # MTPrelax 最小距离
  queueName: 9242opa!
  numCore: 48
  waitTime: 10
  force_tolerance: 0.001
  stress_tolerance: 0.01
```

INCAR

不会有人不会写 INCAR 把

```
PREC = Accurate
EDIFF = 1e-4
IBRION = 2
ISIF = 3
NSW = 40
ISMEAR = 0
SIGMA = 0.050
POTIM = 0.250
ISTART = 0
LCHARG = FALSE
LWAVE = FALSE
```

```
#Crude optimisation
EDIFFG = 1e-3
KSPACING = 0.314
NCORE = 4
```

pot.mtp

MTP 势函数文件，这里只给出表头

```
MTP
version = 1.1.0
potential_name = MTP1m
scaling = 1.497018669914417e-02
species_count = 1                # 只有 B 原子一种
potential_tag =
radial_basis_type = RBChebyshev
    min_dist = 1.2771138600000000e+00
    # 最小距离 1.27，由于 train 中设置了--update，此项不必特
    # 别设置，会自动更新
    max_dist = 6.0000000000000000e+00
    radial_basis_size = 12
    radial_funcs_count = 5
```

mlip.ini

active 控制文件

mtp-filename	pot.mtp
select	TRUE
select:site-en-weight	1.0
select:energy-weight	0.0
select:force-weight	0.0
select:stress-weight	0.0
select:threshold	1.5

```

select:threshold-break      7.0
select:save-selected        B-preselected.cfg
select:load-state           A-state.als

```

运行：提交 `magus calc gen.traj` 命令到队列

结果：MTP 优化后的结构 `out.traj`，势文件 `mlFold/MTP/pot.mtp`

5.3 TiO_2 定组分结构搜索

目标：搜索 12 个原子 TiO_2 的结构

准备：input.yaml, inputFold

由于初始结构往往杂乱无章，因此往往使用多个 INCAR 分步优化，据说合适的做法是固定体积优化原子位置与晶格形状 (ISIF=4)，然后放开体积限制优化原子位置与晶格 (ISIF=3)，最后进行高精度的单点能自洽运算 (NSW=0)

input.yaml

给出搜索所需参数

```

calcType: fix                # 定组分搜索
pressure: 0                  # 0GPa
initSize: 20                 # 初始生成 20 个结构
popSize: 20                  # 每代维持 20 个结构
numGen: 10                   # 搜索 10 代
saveGood: 3                  # 每代保存 3 个结构

#structure parameters
minAt: 12
maxAt: 12
symbols: ['Ti', 'O']
formula: [1, 2]

```

```

dRatio: 0.6                # 最小半径比
volRatio: 3                # 最小体积比
addSym: False              # 不在父代中加入对称性

#main calculator settings
MainCalculator:
  jobPrefix: ['q', 'w', 'e', 'r']
  # 这里只是为了说明只要给出 calculator, jobPrefix 可以随意命名, 实际建议用更清晰的方式命名。
  calculator: vasp
  mode: parallel
  #vasp settings
  xc: PBE
  ppLabel: ['', '_s']
  #parallel settings
  numParallel: 5
  queueName: 7702ib
  waitTime: 30

```

q/INCAR

```

PREC = Normal
EDIFF = 1e-3
IBRION = 2
ISIF = 4
NSW = 85
ISMear = 0
SIGMA = 0.06
POTIM = 0.20
LCHARG = FALSE
LWAVE = FALSE
#Crude optimisation

```

w/INCAR

```

PREC = Normal
EDIFF = 1e-3
IBRION = 2
ISIF = 3
NSW = 100
ISMear = 0
SIGMA = 0.060
POTIM = 0.020
LCHARG = FALSE
LWAVE = FALSE
#Crude optimisation

```

```
EDIFFG = 1e-2
KSPACING = 1.256
LREAL = A
ALGO = Fast
```

```
EDIFFG = 1e-2
KSPACING = 0.942
LREAL = A
ALGO = Fast
```

e/INCAR

```
PREC = Normal
EDIFF = 1e-4
IBRION = 2
ISIF = 3
NSW = 70
ISMear = 0
SIGMA = 0.060
POTIM = 0.250
ISTART = 0
LCHARG = FALSE
LWAVE = FALSE
#Crude optimisation
EDIFFG = 1e-3
KSPACING = 0.618
#ALGO = Fast
```

r/INCAR

```
PREC = Normal
EDIFF = 1e-4
IBRION = 2
ISIF = 2
NSW = 0
ISMear = 0
SIGMA = 0.060
POTIM = 0.250
ISTART = 0
LCHARG = FALSE
LWAVE = FALSE
#Crude optimisation
EDIFFG = 1e-3
KSPACING = 0.618
#ALGO = Fast
```

运行：提交 `magus search` 到队列

结果：搜索结果 `results/good.traj`

5.4 $Zn_x(OH)_y$ 变组分结构搜索

目标：搜索 8-16 个原子 $Zn_x(OH)_y$ 的结构

准备：input.yaml, inputFold

使用 Gulp 经验势优化，因此种群数目与代数可以大大增加。

input.yaml

给出搜索所需参数

```
calcType: var                # 变组分搜索
pressure: 0
initSize: 150
popSize: 150
numGen: 60
saveGood: 8
#structure parameters
minAt: 8
maxAt: 16
symbols: ['Zn', 'O', 'H']
formula: [[1,0,0],[0,1,1]]  # Zn : (OH) = 1 : 1
fullEles: True
eleSize: 5
dRatio: 0.5
volRatio: 10
addSym: False
#main calculator settings
MainCalculator:
  jobPrefix: ['Gulp1', 'Gulp2']
  # 若 jobPrefix 给出计算器名称, 可不指定 calculator
  mode: parallel
  #gulp settings
  exeCmd: gulp < input > output
  #parallel settings
  numParallel: 5
  numCore: 4
  queueName: e52692v2ib!
  waitTime: 30
```


Gulp1/gpot

定义 gulp 所使用的势，其中 `ReaxFF.lib` 是相应的反应力场文件

```
time 240
space
1
maxcyc 300
library ./ReaxFF.lib
lennard epsilon
Zn  Zn  0.0150 1.00 0.0 8.0
Zn  O   0.0150 1.00 0.0 8.0
Zn  H   0.0150 0.80 0.0 8.0
H   H   0.0150 0.60 0.0 8.0
O   O   0.0150 0.80 0.0 8.0
H   O   0.0150 0.80 0.0 8.0
```

Gulp1/goption.relax

relax 所使用命令，conv 代表第一代粗优固定晶格优化

```
opti spatial conj nosymmetry conv
```

类似的：

Gulp2/gpot

```
time 240
space
1
maxcyc 300
library ./ReaxFF.lib
```

Gulp1/goption.relax

```
opti spatial conj nosymmetry conv
```

运行: 提交 `magus search` 到队列

结果: 搜索结果 `results/good.traj`

5.5 $MgSiO_3$ 机器学习结构搜索

目标: 使用 MTP 加速搜索 10-20 个原子 $MgSiO_3$ 的结构

准备: `input.yaml`, `inputFold`

与5.2类似, 准备好相应的 `pot.mtp`, `mlip.ini`, 不同的是需要把 `pot.mtp` 中的原子种类改为 3 种

`input.yaml`

搜索所需参数, 计算器部分与5.2类似, 不再赘述

```
calcType: fix
poolSize: 2000      # 预训练生成的代挑选随机结构, 可以设的很大
initSize: 400
popSize: 400
numGen: 60
saveGood: 3

#structure parameters
DFTRelax: False    # 不使用 DFT 验证能量
minAt: 10
maxAt: 20
symbols: ['Mg', 'Si', 'O']
formula: [1, 1, 3]
molDetector: 2     # 2 号分子探测算法
dRatio: 0.8
volRatio: 1.3
randFrac: 0.4
pressure: 150
addSym: True
```

```
softNum: 0
```

MTP/pot.mtp

表头部分，主要区别为分子种类被替换成了 3

```
MTP
version = 1.1.0
potential_name = MTP1m
scaling = 7.002314814814817e-01
species_count = 3
potential_tag =
radial_basis_type = RBChebyshev
    min_dist = 5.000000000000000e-01
    max_dist = 5.000000000000000e+00
    radial_basis_size = 12
    radial_funcs_count = 4
```

运行：提交 `magus search -m` 到队列

结果：搜索结果 `results/good.traj`

5.6 CH_4 分子晶体搜索

目标：甲烷晶体结构搜索准备：input.yaml, inputFold, CH4.xyz

input.yaml 可参照5.1与5.3中的设置：

MTP/pot.mtp

```
calcType: fix
initSize: 20
popSize: 20
numGen: 40
saveGood: 3
```

```
pressure: 50
minAt: 20
maxAt: 20
symbols: ['C', 'H']
## mol crystal
molMode: True
molFile: ['CH4.xyz']
molFormula: [4]
molType: 'fix'
chkMol: True
addSym: True

dRatio: 0.8
volRatio: 5
randFrac: 0.4
molDetector: 2

#main calculator settings
MainCalculator:
  jobPrefix: ['Vasp1', 'Vasp2']
  mode: parallel
  #vasp settings
  xc: PBE
  ppLabel: ['', '']
  #parallel settings
  numParallel: 4
  numCore: 24
  queueName: 9242opa!
```

MTP/pot.mtp

```
5
C  H
C    2.260984    1.227715    2.255654
H    2.597307    0.217093    2.238728
H    1.194544    1.227505    2.236584
H    2.611534    1.725297    1.379429
H    2.590593    1.698611    3.156207
```

运行: 提交 `magus search` 到队列

结果: 搜索结果 `results/good.traj`

6 常见问题