# T2-1-3 Qwen3-MoE 优化赛题报告

> 最后更新：2026-07-12
> 模型：Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507
> 最终代码：InfiniCore `1590de7`；InfiniLM `4a44bd3`

## 一、实现的功能概述

本项目面向 Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507 的多并发、长文本服务场景，在 4×RTX 4090D、BF16、TP=4 上优化 InfiniLM 推理路径。

最终提交只修改 InfiniLM，InfiniCore 保持最新上游主线。最终 PR 包含：

1. MoE 后端自动策略：新增 `auto|legacy|fused` API/CLI；`auto` 仅对 CUDA FP16/BF16、非量化 `qwen3_moe` 启用 fused，其他配置保持 Legacy。
2. Paged CUDA Graph 容量控制：将 `max_batch_size` 贯通到 `PagedCompiler`，不再捕获 scheduler 不可达的 batch shape。
3. 高 batch 稀疏 Graph：保留 1 ~ 16 的小 batch Graph，并对更大 batch 使用稀疏 exact bucket；未捕获 shape 使用原有 eager fallback。
4. 高并发 prefill 预算：Qwen3-MoE 且 `max_batch_size>=32` 时，默认将单轮 prefill admission 限为 4096 tokens，降低激活峰值和 OOM 风险。
5. Last-token LM head：普通 packed prefill 只对每个请求需要采样的最后位置做超大词表投影；all-position/raw 语义保持原路径；host 侧索引前显式校验 `input_offsets` 位于 CPU。
6. Vocab-parallel LM head：非量化 Qwen3-MoE 在 TP rank 间切分词表投影；greedy 使用分布式候选选择，raw/non-greedy 调用仍返回完整 logits。
7. Qwen3-MoE non-quant reset gate：仅对非量化 Qwen3-MoE 的 CUDA Graph replay 跳过当前无状态的模块遍历；其他模型以及 GPTQ/AWQ/Marlin 保留原 reset 语义。
8. Cache reset 修复：每次重新编译时按当前 `PagedKVCacheConfig` 重建 capture bucket，避免 `reset_cache()` 后沿用旧容量。
9. 测试与文档：新增 7 个策略边界测试，并记录公开 `--moe-backend` 用法。

## 二、技术方案与参考资料

### 2.1 Paged KV 与 workload-bounded Graph

在 `PagedCompiler` 中将 capture 范围约束到 scheduler 可达 batch，并稀疏化高 batch bucket；未 capture shape 使用 eager fallback。该策略参考 SGLang 与 TensorRT-LLM 的 workload-aware Graph 管理。

### 2.2 Prefill 必要 logits

普通自回归 prefill 只消费每个请求最后位置的 logits。最终实现先按 `input_offsets` 得到末位置 hidden state，再进入 LM head；`sample_all_positions`、raw logits 和 speculative/MTP 调用保持完整输出。该思路与 Hugging Face 模型中 `logits_to_keep` 的成熟做法一致。

### 2.3 Vocab-parallel 与 distributed greedy

TP=4 时每卡只保存并计算 1/4 词表投影。Greedy 模式下，每个 rank 先得到本地最大候选，只交换小候选向量，再在 rank 0 选全局 token；其他采样模式显式 gather 完整 logits，避免改变 API 语义。

### 2.4 外部技术参考

- SGLang: https://github.com/sgl-project/sglang
- TensorRT-LLM: https://github.com/NVIDIA/TensorRT-LLM
- Hugging Face Transformers: https://github.com/huggingface/transformers

上述技术参考的固定版本、具体文件/行号、修改说明和开源协议已逐项披露于 `submission_repositories/REFERENCE.md`。

## 三、测试环境

| 项目 | 配置 |
| --- | --- |
| GPU | 4×NVIDIA RTX 4090D，24 GiB/卡，sm_89 |
| 互联 | PCIe 4.0，无 NVLink，CUDA P2P 不可用 |
| 模型 | Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507，BF16，128 experts，top-8 |
| 并行 | Tensor Parallel = 4 |
| CUDA / Python / PyTorch | CUDA 12.8 / Python 3.12.3 / PyTorch 2.6.0 |
| 服务 | InfiniLM OpenAI-compatible server |
| 客户端 | vLLM 0.9.2 serve benchmark client，仅作为请求生成、HTTP transport 和指标计算工具 |

### 各平台验证状态

| 平台 | 状态 | 说明 |
| --- | --- | --- |
| NVIDIA RTX 4090D / CUDA | 完整验证 | 构建、import、策略单测、真模型 smoke、Graph/eager 正确性和服务 benchmark |
| 其他 NVIDIA GPU / CUDA 版本 | 未验证 | 无对应硬件；不外推性能数据 |
| CPU | 未做完整模型测试 | 无性能或兼容性结论；常见 TP=1 配置不启用 vocab-parallel |
| Cambricon、Ascend、MetaX、Moore Threads 等 | 未验证 | 无硬件；不声称适配或加速 |
| GPTQ/AWQ | 不纳入性能结论 | GPTQ 探索出现错误输出；`auto` 对量化模型回退 Legacy |

## 四、运行方式

### 4.1 分支与命令起点

InfiniCore `main` 与 `upstream/main` 一致；InfiniLM 分支为 `2026-spring-surprisely-T2-1-3`。以下 InfiniLM 命令均从克隆后的仓库根目录执行，不依赖特定服务器目录。

### 4.2 一键复现入口（推荐）

最终 InfiniLM 仓库提供 `scripts/run_qwen3_moe_contest.sh`，会自动检查环境、启动服务、等待模型加载与 Graph capture、运行客户端、保存 JSON/日志，并仅停止它自己启动的服务进程。

```bash
cd /path/to/InfiniLM_repo

export MODEL_DIR=/path/to/Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507
export INFINICORE_DIR=/path/to/InfiniCore  #       Python
export INFINI_ROOT="$HOME/.infini"
export PYTHON=python3

#               smoke
scripts/run_qwen3_moe_contest.sh check
scripts/run_qwen3_moe_contest.sh smoke

#                BENCH_PYTHON          vLLM 0.9.2    Python
export BENCH_PYTHON=/path/to/vllm-client/bin/python
scripts/run_qwen3_moe_contest.sh c1-short
scripts/run_qwen3_moe_contest.sh c64-short
scripts/run_qwen3_moe_contest.sh c64-long
```

脚本不包含服务器地址、凭据或固定目录，结果默认保存到 `benchmark_results/qwen3_moe/`。需要重新构建时设置 `BUILD=1`；只检查命令时设置 `DRY_RUN=1`。

### 4.3 构建 InfiniLM 扩展

在已安装官方 InfiniCore 的环境中：

```bash
export INFINI_ROOT=/path/to/infini
export LD_LIBRARY_PATH="$INFINI_ROOT/lib:${LD_LIBRARY_PATH:-}"
cd /path/to/InfiniLM_repo
git submodule update --init --recursive
python -m pip install -e . --no-build-isolation
```

InfiniCore 需先按其 README 完成安装并启用目标平台的 CUDA Graph 支持。

### 4.4 手动策略单测（可选）

```bash
cd /path/to/InfiniLM_repo
PYTHONPATH="$PWD/python:${PYTHONPATH:-}" \
python -m pytest -q test/llm/test_moe_policy.py
```

最终结果：`7 passed`。

### 4.5 手动真模型 smoke（可选）

```bash
cd /path/to/InfiniLM_repo

export CUDA_VISIBLE_DEVICES=0,1,2,3
export INFINI_ROOT=/path/to/infini
export LD_LIBRARY_PATH="$INFINI_ROOT/lib:${LD_LIBRARY_PATH:-}"
export PYTHONPATH="$PWD/python:${PYTHONPATH:-}"

python examples/test_infer.py \
  --device nvidia \
  --model /path/to/Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507 \
  --dtype bfloat16 \
  --tp 4 \
  --batch-size 1 \
  --max-new-tokens 16 \
  --num-blocks 18 \
  --block-size 256 \
  --enable-paged-attn \
  --attn paged-attn \
  --enable-graph \
  --moe-backend auto \
  --top-k 1
```

实测通过：`moe_backend=auto` 解析为 `fused`，Paged Attention + CUDA Graph 成功生成 16 个有效 token。

### 4.6 手动启动服务（排障用）

```bash
cd /path/to/InfiniLM_repo
export INFINI_ROOT=/path/to/infini
export LD_LIBRARY_PATH="$INFINI_ROOT/lib:${LD_LIBRARY_PATH:-}"
export PYTHONPATH="$PWD/python:${PYTHONPATH:-}"

python python/infinilm/server/inference_server.py \
  --device nvidia \
  --model /path/to/Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507 \
  --dtype bfloat16 \
  --tp 4 \
  --port 8102 \
  --max-batch-size 64 \
  --max-new-tokens 4096 \
  --num-blocks 128 \
  --block-size 256 \
  --enable-paged-attn \
  --attn paged-attn \
  --enable-graph \
  --moe-backend auto \
  --ignore-eos
```

短点 `c64/input32/output256` 使用 128 blocks；长点 `c64/input256/output1024` 使用 120 blocks 和 4096-token prefill budget。基线与优化侧在同一性能点使用相同配置。

### 4.7 手动运行赛题客户端（排障用）

```bash
cd /path/to/InfiniLM_repo
unset http_proxy https_proxy all_proxy ALL_PROXY

/path/to/vllm-client/bin/python scripts/run_vllm_bench_serve_client.py \
  --backend openai-chat \
  --endpoint-type openai-chat \
  --model Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507 \
  --tokenizer /path/to/Qwen3-30B-A3B-Thinking-2507 \
  --endpoint /v1/chat/completions \
  --dataset-name random \
  --request-rate inf \
  --port 8102 \
  --seed 714 \
  --num-prompts 64 \
  --max-concurrency 64 \
  --random-input-len 32 \
  --random-output-len 256 \
  --extra-body '{"max_tokens": 256}'
```

该 launcher 调用 vLLM 0.9.2 的随机请求、OpenAI Chat HTTP 客户端和指标计算模块；服务端为 InfiniLM。

## 五、性能结果

### 5.1 赛题主指标

服务端均为 InfiniLM；上游与优化侧均使用 vLLM 0.9.2 `openai-chat` 客户端、同一模型、TP、tokenizer、目标长度、burst concurrency 和同点 KV 容量。未修改上游在 4×24 GiB 上使用可运行的 Paged eager，优化侧使用 Fused MoE + Paged Attention + device CUDA Graph；因此主表是端到端可服务栈对比，包含对框架原有能力的启用，不代表任一新增补丁的独立收益。表中长度为随机 workload 的目标值，实际 token 数可因随机 prompt、tokenizer 和 chat template 略有差异。

| 并发 / 输入 / 输出 | 上游输出 tok/s | 优化输出 tok/s | 输出倍率 | 上游总 tok/s | 优化总 tok/s | 总倍率 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 / 32 / 256 | 24.48 | **116.25** | **4.75×** | 27.45 | **130.84** | **4.77×** |
| 64 / 32 / 256 | 36.29 | **1860.27** | **51.26×** | 40.83 | **2093.00** | **51.26×** |
| 64 / 256 / 1024 | 31.71 | **586.13** | **18.48×** | 48.05 | **732.45** | **15.24×** |

c1 和 c64 短点的优化值来自最终 HEAD `4a44bd3` 的单次重跑；c64 长点为同一最终 HEAD 连续三次运行的中位数，三次 output throughput 为 592.49 / 586.13 / 576.82 tok/s。所有运行均使用 vLLM 0.9.2 `openai-chat` 客户端和 seed 714。c64 长点的上游与最终优化运行具有相同的 16335 个实际输入 tokens；优化侧三次均为 64/64 请求输出至少 1000 tokens。上游侧仅 20/64 达到该长度，其余 44 个响应因服务端超时而提前结束。因此长点上游数据仅反映该超时条件下的服务表现，不视为等输出 token 数的延迟对比。单项补丁的收益见下表。

### 5.2 保留补丁的隔离结果

| 优化 | 结果 |
| --- | --- |
| 按 `max_batch_size` 裁剪 Graph | b1/in32/out256 稳态延迟降低 3.87%；初始化降低 38.35%；峰值显存减少 2276～2284 MiB/GPU |
| Sparse high-batch Graph | c64 Graph 峰值由约 23851 降至 22391 MiB/GPU，减少约 1460 MiB/GPU |
| Last-token LM head | b1/in4096/out256 从 OOM 变为稳定运行；Graph median/P90 为 3396.78/3407.39 ms |
| Vocab-parallel LM head | b1/in32/out256、b4/in32/out256、b1/in256/out1024 分别降低 5.09% / 3.64% / 6.76%；峰值显存减少 340～348 MiB/GPU |
| Qwen3-MoE non-quant reset gate | 上述三个点分别降低 2.54% / 1.04% / 2.58% |

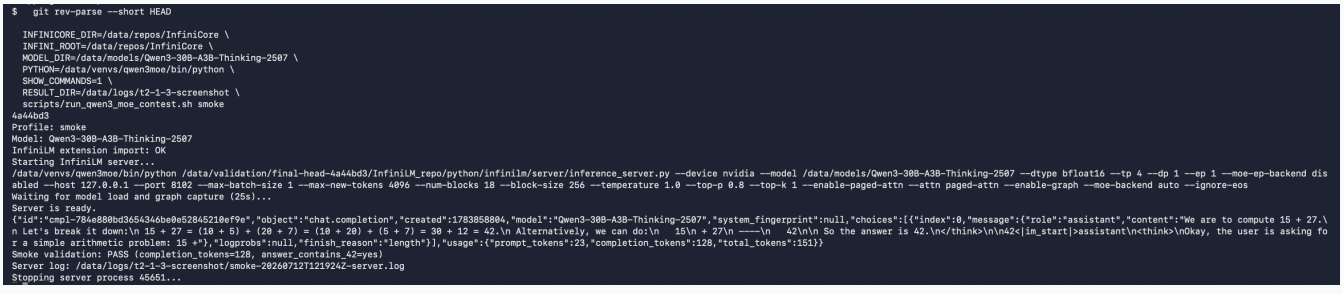
主表是服务栈结果；本节数据用于说明各保留改动的隔离影响。Sparse Graph 一项的密集/稀疏对照使用 direct workload harness，只用于显存结论，不与服务延迟混算。

## 六、正确性结果

- 最终 InfiniLM 分支相对最新 `upstream/main` 无冲突，工作区干净；`python scripts/format.py --ref upstream/main --check` 和 `git diff --check` 通过。
- 新增策略测试 7/7 通过，覆盖 auto fused、CPU/float32/非 Qwen/量化回退、显式 override 冲突和 prefill budget 边界。
- Host 侧 packed offset 读取新增 CPU residency 前置校验，避免 C++ API 误传 device metadata 时解引用设备地址。
- 最终真模型 smoke：BF16 TP=4、Paged + Graph、`auto -> fused`，HTTP 响应结构、输出 token 数和固定算术答案 `42` 均由脚本自动校验通过。
- 保存的同后端 Paged Graph/eager c64 正确性结果为 64/64 output IDs exact；b4 和跨 256-token KV block 检查同样通过。

## 七、运行效果截图

以下两张均为最终提交 HEAD `4a44bd3` 的现场终端截图，保留实际命令和原始输出。主指标口径以第 5.1 节为准。




真模型 smoke：固定答案 42 校验通过


c64 input256 output1024：vLLM 0.9.2 客户端现场复测

长点截图展示的是一次现场复测，输出吞吐为 602.42 tok/s、总吞吐为 752.75 tok/s；第 5.1 节主表采用此前三次最终 HEAD 复测的中位数 586.13 tok/s 和 732.45 tok/s。

## 八、未实现或未适配部分

1. 未验证其他 GPU、CPU 全模型性能及国产硬件平台，不外推 NVIDIA 4090D 数据。
2. GPTQ 探索出现 token id 0 的正确性失败；量化模型不纳入性能结论，自动策略回退 Legacy。
3. InfiniCore 无源码改动，本次优化集中在 InfiniLM 运行时和 LM head。
4. Legacy/Fused 尚无覆盖全模型输入域的 logit tolerance 证明；只报告已完成的 token/Graph 一致性边界。
5. 最终 HEAD 已重跑主表三个赛题风格点；未重跑的 c4/c16 和其他矩阵组合不纳入主表。