■■■■■: ■■■■■■■■■■■■■■■A■

■■■: TypeBERT■■■■■■■■■■■■■TypeScript■■■■■■■tsc■■type-check■■■■■■■■■■■■■■■

1. ■■■■■■■■

- ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■tsc■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■■■■■■■■(a)■■■■■■■■■■■■■■■(b)■■■■■■■/■■■■(c)API■■■■■■■■■■(d)■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■■■■■→■■→tsc■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■tsc■■■■■■■■■■■■■■

2. ■■■■■■■■■■■■■■■■

- ■■: ■■consumer■■■tsc■■■■■■■■■■■■■■■■■tsc■■■■■■■■■■■■■■■■any■■■■■■■■■
- ■■: tsc■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■(i)■■■■■■■■■■■■■■Localizer■■■■(ii) Top-k■■■■■■■■■■Reranker■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■

3. ■■■■■■■■A■: 3■■■■■■■■■
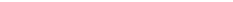
M1. Base Type Generator■■■■BERT■■

- TypeBERT/CodeBERT■■■■■API■■■■■■■■■■/■■■■export■■■■■■■■■■■■■Top-k■■■■■■■■■■■■.d.ts■■■■■
- ■■■■■■■■■■M1■■■■■■■■■M2/M3■■■■■■■■■■■■■■■■

M2. Error Localizer■■■■■■■■■■■■■

- ■■: tsc■■■error code, file, range, message■■■consumer■AST/■■■■■■■■
- ■■: ■■■■■■■■■.d.ts■■■■■■■■■■■■■Top-M■
- ■■: ■■■■■■≠■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■: v0=■■■■AST■■■→ v1=■■■■■■■■■■■■■■■

M3. Error-aware Reranker■Top-k■■■■■■■■■■■

- ■■: ■■■■■■■■■■■ +■Localizer■■■■■■■■■■■■ + ■■■■■■■
- ■■: Top-k■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■: ■■■■■■■■■■■Δerrors■■■/■■■■■■■■■■pairwise ranking■■■■

4. ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■

- consumer■.d.ts■■■■■tsc■■→■■■■■E0■■■■
- Localizer■■■■■■D■■■■1■■■■■→■tsc→E1■■■■
- Δ = |E1| - |E0| ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■0■■■■
- ■■■■■■■■ (context, error-features, candidateA, candidateB) ■■■■■■■■■■■reranker/localizer■■■■■■■
- ■■: ■■■■■■■■■■tsc■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■

5. ■■■■■RQ■■■■■■

■■■■■■■
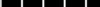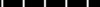
- RQ1: Reranker■■■■tsc■■■■■tsc■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- RQ2: Localizer■■■
- RQ3: any■■

■■■■■
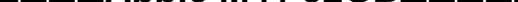
- tsc■■■: consumer■■■ tsc --noEmit ■■■■■
- ■■■■■: ■■■■■■■■■■■■■■■■/tsc■■■■■
- ■■■: ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■: API surface■■■■any■■■■■unknown■■■■■■■■■■■

■■■Ablation■

- B0: Base■■■Top-1■■■■
- B1: Base + ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- P1: Base + Localizer■v0/v1■■
- P2: Base + Reranker■v0/v1■■
- P3: Base + Localizer + Reranker■■■■■

6. ■■■■■■■■■■■■■■■■■■

■■■■	■■(■■)	■■■/■■■	■■■■■■■■■■■■■
0. ■■■■	1■	■■library/consumer■■■tsconfig/lock■■■tsc■■■JSON■■■■■■■■■	
1. Baseline	1■	B0/B1■■■■■■■■/■■■■■/■■■/any■■■■■■■■	tsc■■■■■■■■■■■■■■■
2. Localizer v0	1■	AST■■■■■■■■■■Top-M■■■■P1■■	■■■■■■■■■■■■
3. ■■■■→■■■■■		■■■■■■■■■JSONL■pairwise■■■■■■■■■■	■■■■■■■■■■■
4. Reranker v0■■■■■L■		■■■■■■■■/■■■■■■■■■P2/P3■■	M4 32GB■■■■■■■■■
5. Localizer v1■■■■■		v0■■■■■■■■■■■■RQ2■■	■■■■■■■■■■■
6. Reranker v1■■■■■		■■Transformer/LoRA■■■■■■■■■■	MPS■■■■■■■v0■■■■■■
7. ■■■	1■	■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■	"■■■■/■■■■■■"■■■■■

7. ■■■■■Apple M4 / 32GB■■■■■■■■■■■

- ■■■■■■■■■■tsc■■■■■■■A■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■■■■■■■■■■■/LightGBM■■■reranking■■■■■■■■CPU/MPS■■■■
- Transformer■■■■■■■■■■■reranker■■■■+LoRA■■■■■■■■
- tsc■■■: ■■■■■■consumer■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■

8. ■■■■■■■■■■■■■■■■■■

- Top-k■■■■■■■■■■■■: Base■■■■■■■k■■/■■■■■■■■■
- ■■■■■■■module■■/exports■■■■: ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■■■■: consumer■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■■■■: v0■■■■Localizer + ■■Reranker■■■■■■■■■■■■v1■■■■■■■■

9. deepresearch■■■■■■■■■■■■■■

- ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■/■■■■■■■■■■■■■■B■■■■■■
- any/unknown■■■■■■■■■■■■■■■■■■■C■■■■■
- TypeScript■module resolution/exports■■■■■■■■■■■■■■■■■■■

■■: ■■■■■■■■■■■2■■■

- Baseline■B0/B1■■■■■■■■■■■■■■■any■■■■■■■■■■3■■■■■■/■■■■■/API■■■■ ■■■■■■■
- Localizer v0 ■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
- ■■■■■■■■JSONL■■■■■■■■■■■■■■■■■■reranker■■■■■■■

■■: 2026-01-18■Asia/Tokyo■