

—職人芸のプログラミングを自動化—

職人芸 ・ プログラムを**絶大に効率化**
 ・ 属人的で**再利用が困難**  **浪費** (人件費と時間)
危険 (持続可能性)

職人芸の自動化  **✓** 浪費や危険を低減
✓ プログラミングの進化を促進

研究成果

- ・ N体ソルバに特化したプログラミング言語処理系
- ・ N体ソルバの職人芸的効率化の**定式化と自動化**
- ・ 《正しさ》を**実験的に評価**するベンチマーク集

```
@solver
def direct(ps : Set[Particle]):
    for pi in ps:
        for pj in ps:
            if pi != pj:
                gravity(pj, pi)
```

対称化

```
def direct(ps : Set[Particle]):
    N = len(ps)
    for i in range(N):
        for j in range(i+1,N):
            gravity(pj,pi); gravity(pi,pj)
            # gravity_mutual(pj, pi)
```

ソルバ対称化

- ・ 対称な部分を分離・抽出
- ・ 対称な部分を折り畳む
- ・ 非対称な部分と合成

$$\vec{a}_{12} = \frac{Gm_1}{\|\vec{x}_1 - \vec{x}_2\|^3} (\vec{x}_1 - \vec{x}_2)$$

```
@kernel(D=int)
def gravity(p1, p2):
    r = [0.0 for _ in range(D)]
    r2 = 0.0
    for i in range(D):
        r[i] = p1.x[i] - p2.x[i]
        r2 += r[i] * r[i]
    r3 = r2 * sqrt(r2)
    for i in range(D):
        da = G * p1.m / r3 * r[i]
        p2.a[i] += da
```

相互化

```
def gravity_mutual(p1, p2):
    r = [0.0 for _ in range(D)]
    r2 = 0.0
    for i in range(D):
        r[i] = p1.x[i] - p2.x[i]
        r2 += r[i] * r[i]
    r3 = r2 * sqrt(r2)
    for i in range(D):
        da = G * p1.m / r3 * r[i]
        da = G * p2.m / r3 * -r[i]
        p2.a[i] += da
        p1.a[i] += -da
```

カーネル相互化

- ・ 対称な呼出し下での共通した部分計算を特定
- ・ **非対称な部分**に対する計算を構成

SIMD化

```
def direct(ps : Set[Particle]):
    vps: Set[VParticle] = convert(ps, W)
    for i in range(len(vps)):
        for j in range(i+1, len(vps)):
            for _ in range(W):
                gravity_mutual(vpj[j], vps[i])
                cyclic_shift(vpj[j])
```

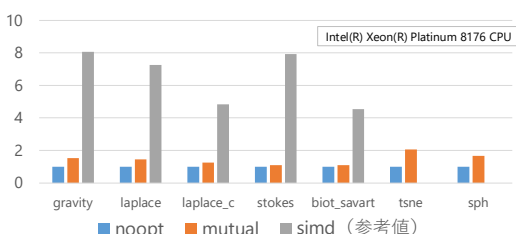
パラメトリックSIMD化

- ・ 粒子のデータ型をベクトル化
- ・ カーネル中のスカラ演算をベクトル演算にオーバーロード
- ・ データ要素を並び替えながら反復処理

自動化の秘訣

- ✓ ソルバとカーネルの明示的構造 (**プログラマの協力**)
- ✓ 対称性やパラメトリック性の仮定 (**ドメイン知識**)

効率化による性能向上



実験的評価

- ・ 相互化の利得はカーネル依存
- ・ パラメトリックSIMD化はいつでもできるとは限らない
- ・ パラメトリックSIMD化ができると性能利得が大きい
- ・ 《正しさ》は怪しい

《正しさ》の評価

- ・ 演算誤差を無視した効率化
- ・ 通常のコンパイラは保守的にやらないことをやっている
- ・ N体ソルバは本質的に近似計算
- 正しさの指標を伴ったベンチマークを開発して評価中