インテル® スレッディング・ツールによる スレッド・アプリケーションの デバッグとチューニング

インテル® スレッド・チェッカー
インテル® スレッド・プロファイラー

ソフトウェア＆ソリューションズ統括部

ソフトウェア製品部

Intel、インテル、 Intel ロゴ、「Intel.さあ、その先へ。」ロゴ、Intel Core、Itanium、MMX、Pentium、Xeon は、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

コースの目的

1. 並列処理アーキテクチャーの進化を理解する
2. アーキテクチャーのスレッド化とソフトウェア開発との関係を示す
3. 時間のかかる領域をスレッド化するために必要な作業を素早くプロトタイプ作成し、計画できるようにする

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

並列処理とは?

同時に 2 つ以上のプロセスまたはスレッドを実行すること

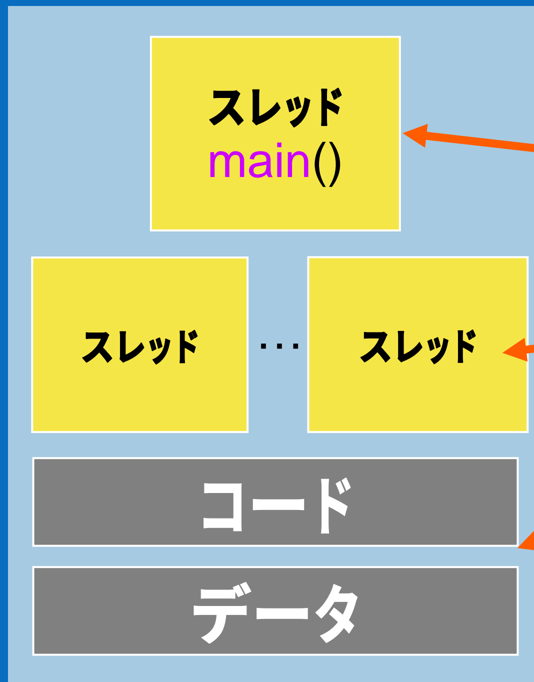
マルチスレッド･アーキテクチャーのための並列処理

- マルチプロセス
  - プロセス間通信 (IPC) による通信
- シングルプロセス、マルチスレッド
  - 共有メモリーによる通信

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、 Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

スレッドとプロセス



現在のオペレーティング･システムではプログラムをプロセスとしてロードする

プロセスはエントリーポイントでスレッドとして実行を開始する

スレッドはプロセス内で他のスレッドを作成できる

プロセス内のすべてのスレッドはコードとデータ領域を共有する

スレッドは 2 つのスケジュール状態 (アクティブ、インアクティブ) を持つ

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

スレッド

長所

- パフォーマンスが向上し、リソースの使用率が改善される
  – シングル・プロセッサー・システムにおいてもレイテンシーの隠蔽とスループットの向上が見込める
- 共有メモリーによる IPC はより効率的

短所

- アプリケーションがより複雑になる
- デバッグ (データの競合、デッドロック、その他) が困難

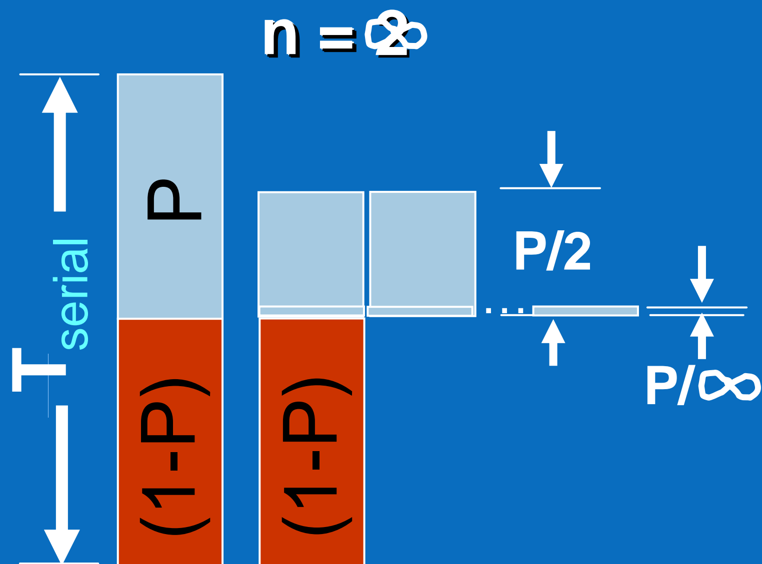
© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

アムダールの法則

- 並列化のスピードアップ (スケーリング) の上限を説明
- オーバーヘッドの影響を考慮する際に役立つ



0.5 + 0.25
0.5 + 0.05

$$T_{parallel} = \{(1-P) + P/n + O\}\ T_{serial}$$

n = プロセッサーの数

スケーリング $= T_{serial} / T_{parallel}$
1.0/0.75 = 1.33
1.0/0.5 = 2.0

シリアルコードがスケーリングを制限する

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

並列プログラミング・モデル

機能分割

- タスクの並列処理
- 同じ問題の独立したタスク
  - UI タスク、UI 更新、生産と消費のパラダイム
  - 並列コンピューターの次の表示タスク

データ分割

- 異なるデータで実行される同じ演算
- 例: 行列の乗算

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

アプリケーションをスレッド化する際によくある質問

どこをスレッド化するか？

スレッド化にどれぐらいの時間が掛かるか？

必要な再設計の回数は?

選択した領域をスレッド化する価値はあるか?

どの程度のスピードアップを期待できるか?

パフォーマンスは期待値を満たすことができるか?

プロセッサーを追加すれば性能が向上するか?

どのスレッドモデルを使用すべきか?

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

ソフトウェア開発サイクル

解析と設計

- VTune™ パフォーマンス・アナライザー
- インテル® パフォーマンス・ライブラリー: IPP と MKL
- OpenMP* (インテル® コンパイラー)
- 明示的なスレッディング (Win32*, Pthreads)
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- インテル® スレッド・チェッカー (早期プロトタイプ化)

正当性のデバッグ

- インテル® スレッド・チェッカー
- インテル・デバッガー

パフォーマンスのチューニング

- インテル® スレッド・プロファイラー
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー

検証

- インテル® スレッド・チェッカー

Intel Thread Checker

Intel Thread Profiler

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

開発サイクルを短縮

時間がかかる開発サイクルの各過程でツールの手助けは有効

- 早期開発のみならずスケーラブルで安定した製品開発が可能

開発ツールはアプリケーションの堅牢性を確実にする

- 致命的ではないエラーが致命的な問題を引き起こすことを回避する
- 開発者の経験を高める

アプリケーションが稼動するハードウェアの能力を完全に引き出すことを可能にする

ツールは製品の市場出荷を加速する

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

並列化プログラミングにおいて直面する 3 つの課題

- スケーラビリティー
- 正当性
- 容易な
  プログラミングと保守

素数生成

main

FindPrimes(start,end)

TestForPrimes(number)

NO

ShowProgress

YES

Increment Count

```
100%

8 primes found between       1 and       20 in     0.00 secs
```


インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、 Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

素数生成による例

i	要素
3	
5	
7	
9	3
11	3
13	3
15	3
17	3
19	3

```
bool TestForPrime(int val)
{    // let's start checking from 3
     int limit, factor = 3;
     limit = (long)(sqrtf((float)val)+0.5f);
     while( (factor <= limit) &&
```

```
"D:\Runs\Test\PrimeOpenMP\Release/PrimeOpenMP.exe" 1 20
100%
         8 primes found between         1 and        20 in      0.00 secs
Press any key to continue
```

```
void FindPrimes(int start, int end)
```

```
for( int i = start; i <= end; i += 2 )
{
     if( TestForPrime(i) )
          globalPrimes[gPrimesFound++] = i;
     ShowProgress(i, range);
}
```


インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

ソフトウェア開発サイクル

解析と設計
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー
- インテル® パフォーマンス・ライブラリー： IPP と MKL
- OpenMP* (インテル® コンパイラー)
- **明示的なスレッディング** (Win32*, Pthreads)
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- インテル® スレッド・チェッカー (**早期プロトタイプ化**)

正当性のデバッグ
- インテル® スレッド・チェッカー
- インテル・デバッガー

パフォーマンスのチューニング
- インテル® スレッド・プロファイラー
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー

検証
- インテル® スレッド・チェッカー

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

解析 – サンプリング

シングルスレッド “PrimeS
VTune™ アナライザーの

解析には作成済みのプロジ

-

Function	Event
_RTC_CheckEsp	
void FindPrimes(int,int)	
sqrtf	
_ftol2	
void ShowProgress(int,int)	
bool TestForPrime(int)	
	.00

```
bool TestForPrime(int val)
{    // let's start checking from 3
     int limit, factor = 3;
     limit = (long)(sqrtf((float)val)+0.5f);
     while( (factor <= limit) &&
            (val % factor))
             factor ++;

     return (factor > limit);
}
```

時間のかかる領域を特定する

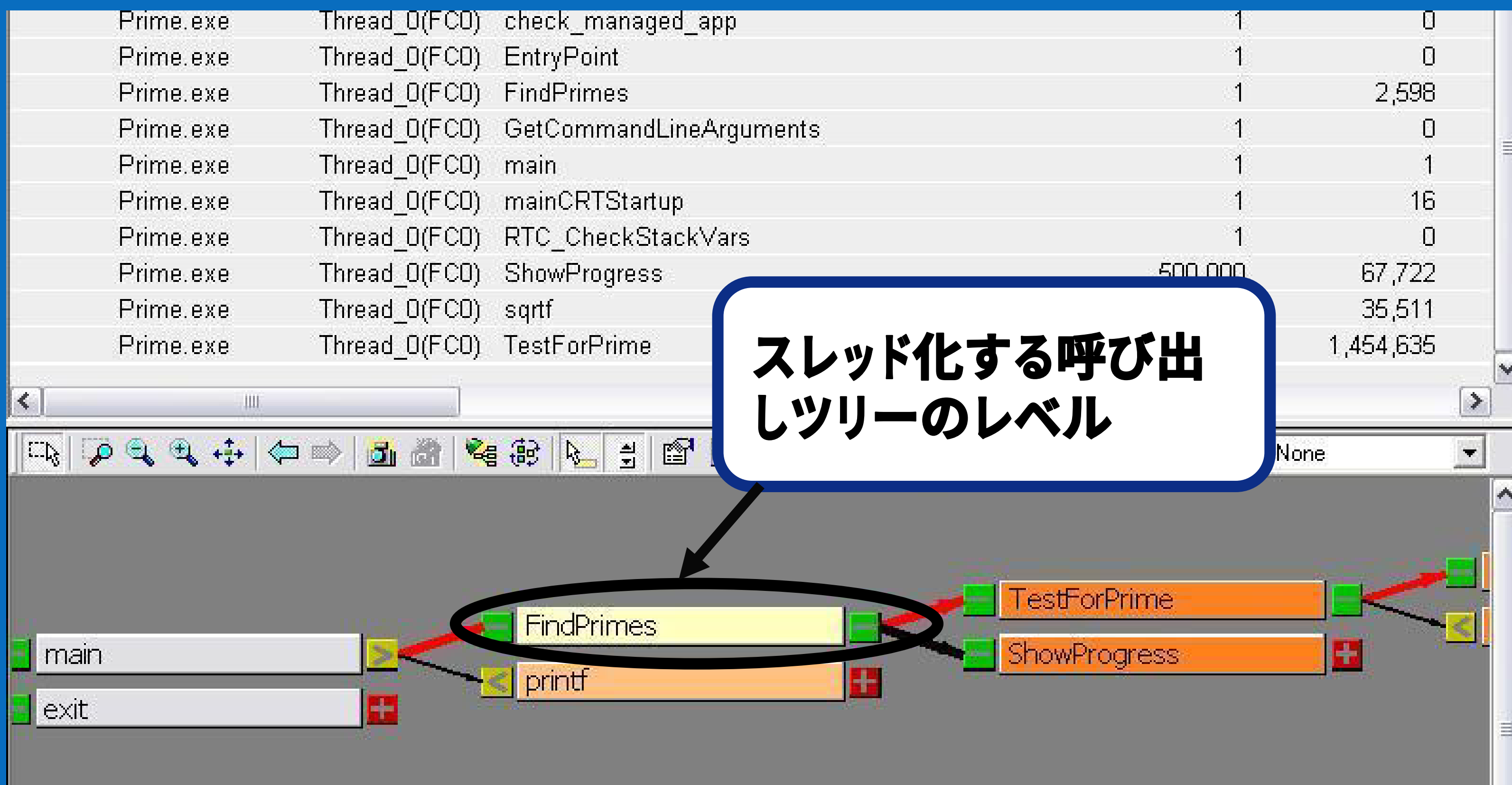
インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

解析 – コールグラフ



スレッド化する呼び出しツリーのレベルを特定する

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

解析

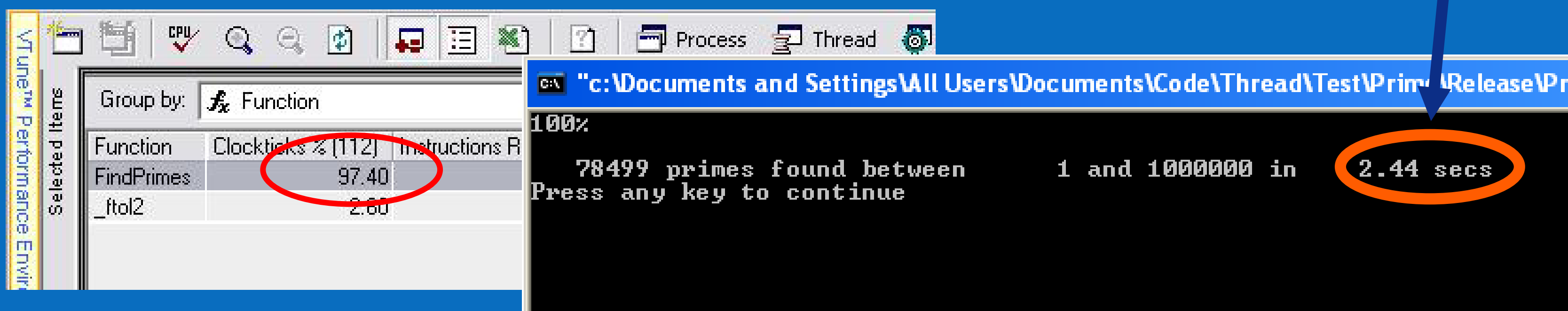
どこをスレッド化すればいいのか?

- FindPrimes()

選択した領域をスレッド化する価値はあるか?

- 依存関係が少ない
- データを並列化できる
- 実行時間の 95% 以上を占める

計測の基礎値



インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

設計

予想されるメリットは?

スケーリング (2P) = 100/(96/2+4) = ~1.92X
(2: シングルコア DP もしくはデュアルコア・システムでの実行を想定)

最小限の作業で予想されるメリットを判断する方法は?

OpenMP* を使用した素早いプロトタイプ作成

スレッド化に必要な時間は?

必要な再設計の回数は?

インテル® ソフトウェア開発製品

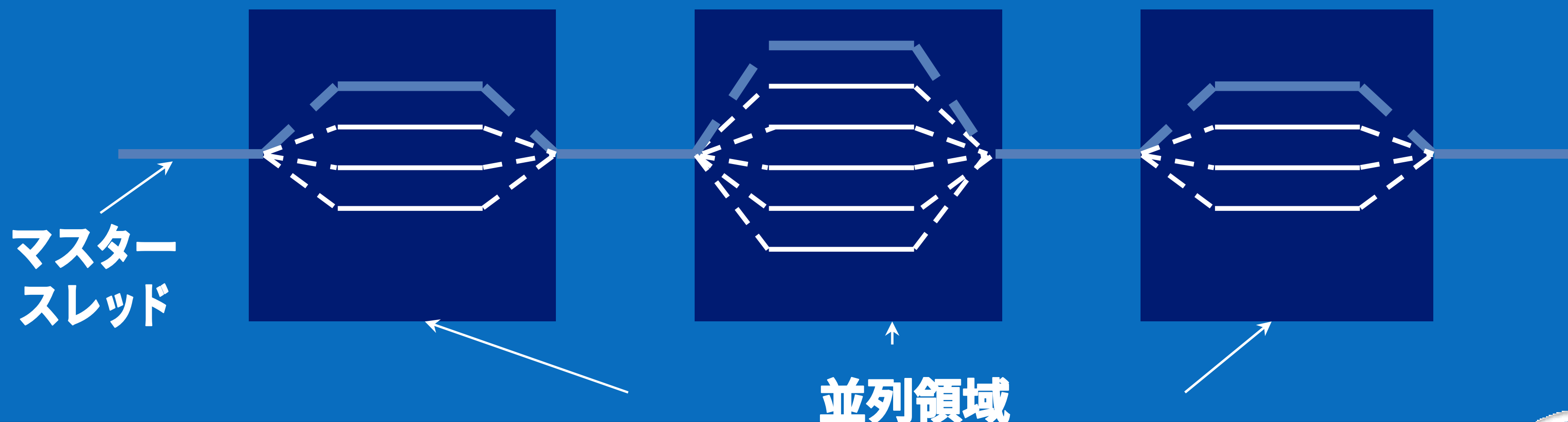
© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

OpenMP*

Fork-join **型の並列処理**:

- **マスタースレッドは必要に応じて、スレッドのチーム を生成する**
- **並列処理は徐々に追加される。つまり、逐次処理 プログラムは並列処理プログラムへ進化する**



インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

設計

```
#pragma omp parallel for
  for( int i = start; i <= end; i+= 2 ){
    if( TestForPrime(i) )
      gPrimesFound++;
    ShowProgress(i, range);
  }
```

OpenMP*

for ループで定義する

この並列領域のスレッドをここで作成する

```
"c:\Documents and Settings\All Users\Documents\Code\Thread\Test\Prime\Release\P
100%
   78499 primes found between      1 and 1000000 in     1.95 secs
Press any key to continue_
```


インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

正当性のデバッグ

コマンド プロンプト

```
D:¥Seminar¥2006¥ISC Free Class Aug06¥Tokyo¥Lab-2¥Release>primeopenmp 1 1000000
 90%

   78372 primes found between       1 and 1000000 in     1.63 secs

D:¥Seminar¥2006¥ISC Free Class Aug06¥Tokyo¥Lab-2¥Release>primeopenmp 1 1000000
 90%

   78367 primes found between       1 and 1000000 in     1.63 secs

D:¥Seminar¥2006¥ISC Free Class Aug06¥Tokyo¥Lab-2¥Release>primeopenmp 1 1000000
 90%

   78353 primes found between       1 and 1000000 in     1.67 secs

D:¥Seminar¥2006¥ISC Free Class Aug06¥Tokyo¥Lab-2¥Release>_
```

毎回答えが同じであるか?
このスレッドの実装は正しいか?

インテル® ソフトウェア開発製品

intel Software Products

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

ソフトウェア開発サイクル

解析と設計
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー
- インテル® パフォーマンス・ライブラリー: IPP と MKL
- OpenMP* (インテル® コンパイラー)
- 明示的なスレッディング (Win32*, Pthreads)
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- インテル® スレッド・チェッカー (早期プロトタイプ化)

正当性のデバッグ
- インテル® スレッド・チェッカー
- インテル・デバッガー

パフォーマンスのチューニング
- インテル® スレッド・プロファイラー
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー

検証
- インテル® スレッド・チェッカー

Intel Thread Checker

Intel Thread Profiler

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

結果

何か問題はあるか？

スレッド化にどれぐらいの時間が掛かるか？

必要な再設計の回数は?

スレッド･チェッカーで依存関係を解析

パフォーマンスは変わったか？

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、 Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

データの競合

複数のスレッドで同じ変数が同時にアクセスされること

例:

- a=1、b=2 (a、b はグローバル変数) の場合を考える

スレッド1:

```
x = a + b ;
```

スレッド2:

```
b = 42 ;
```

x の値は?

- スレッド1 をスレッド2 の前に実行した場合
- スレッド1 をスレッド2 の後に実行した場合
- スレッド1 をスレッド2 と同時に実行した場合
  - どのような場合に発生するか?

```
x = 1 + 2  = 3
```

```
x = 1 + 42 = 43
```

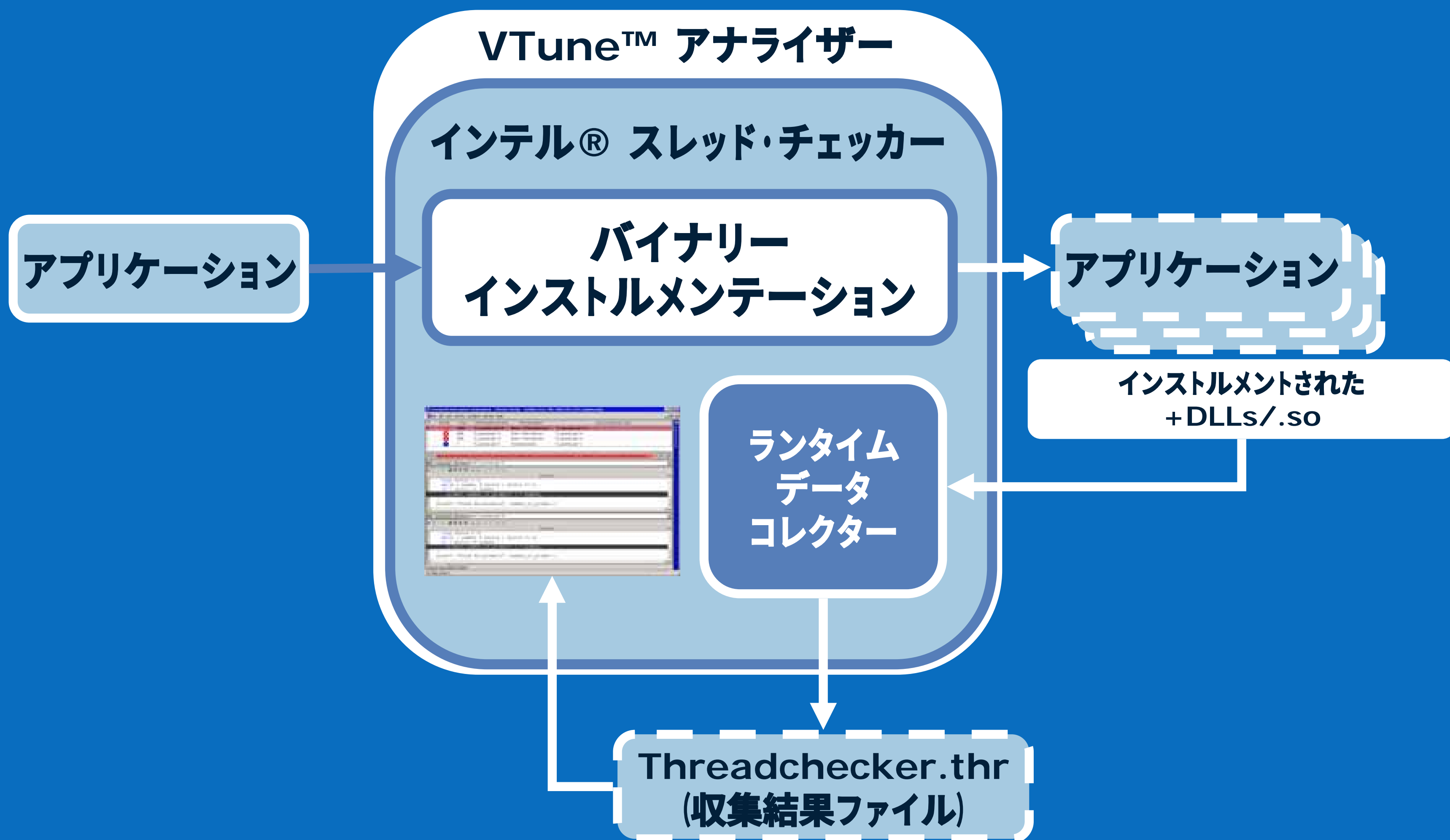

インテル® ソフトウェア開発製品

intel Software Products

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

インテル® スレッド・チェッカー動作概念



インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

Diagnostics | Graphical Summary

VTune™ Per

Update diagnostics list

	Context [Best]		Severity	Description	Counts	1st Access [Routine]	1st Access [V...
Total							
Group 1 : "PrimeOpenMP.cpp" : 120 (3 items)							
Group 2 : "PrimeOpenMP.cpp" : 82 (2 items)							
				Memory read of unknown at			
	Whole Program 1	5		... includes stack allocation of 2781248 and use of 4096	1	FindPrimes	unknown
Group 4 : Whole Program 2 (1 item)							
	Whole Program 2	6		Thread Info at "PrimeOpenMP.cpp" : 111 - includes stack allocation of 65536 and use of 4096	1	FindPrimes	unknown
Group 5 : Whole Program 3 (1 item)							
	Whole Program 3	7		Thread Info at "PrimeOpenMP.cpp" : 123 - includes stack allocation of 20480 and use of 8192	1	main	unknown

```
         104   void FindPrimes(int start, int end)
0x11CC   105   {
         106       // start is always odd
0x11DD   107       int range = end - start + 1;
         108
0x11EC   109   #pragma omp parallel for
0x1289   110       for( int i = start; i <= end; i += 2 )
         111       {
0x12EF   112           if( TestForPrime(i) )
0x12FD   113               gPrimesFound++;
         114
0x1304   115           ShowProgress(i, range);
         116       }
0x125E   117   }
```


```
         104   void FindPrimes(int start, int end)
0x11CC   105   {
         106       // start is always odd
0x11DD   107       int range = end - start + 1;
         108
0x11EC   109   #pragma omp parallel for
0x1289   110       for( int i = start; i <= end; i += 2 )
         111       {
0x12EF   112           if( TestForPrime(i) )
0x12FD   113               gPrimesFound++;
         114
0x1304   115           ShowProgress(i, range);
         116       }
0x1      117   }
```


0x1304

```
          81   void ShowProgress( int val, int range )
0x1098    82   {
          83       int percentDone = 0;
          84
0x109F    85       gProgress++;
          86
0x109B    87       percentDone = (int)((float)gProgress/(float)range
          88
0x10E0    89       if( percentDone % 10 == 0 )
0x1106    90           printf("\b\b\b\b%3d%%", percentDone);
0x1115    91   }
```


```
          81   void ShowProgress( int val, int range )
0x1098    82   {
          83       int percentDone = 0;
          84
0x109F    85       gProgress++;
          86
0x109B    87       percentDone = (int)((float)gProgress/(float
          88
0x10E0    89       if( percentDone % 10 == 0 )
0x1106    90           printf("\b\b\b\b%3d%%", percentDone);
0x1115    91   }
```

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

正当性のデバッグ

```
#pragma omp parallel for
     for( int i = start; i <= end; i+= 2 ){
        if( TestForPrime(i) )
#pragma omp atomic
            gPrimesFound++;
        ShowProgress(i, range);
    }
#pragma omp critical
  {
    gProgress++;
    percentDone = (int)(gProgress/range *200.0f+0.5f)
  }
```

アトミック演算でインクリメントする

クリティカル・セクションを作成する

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

結果

OpenMP* を利用して解決するのにどれぐらい時間がかかったか？

パフォーマンスは変わったか？

並列化のスピード < 1.9*

(2 コアもしくはシングルコア DP システムでの試算)*

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

アプリケーションをスレッド化する際によくある質問

どこをスレッド化するか？

スレッド化にどれぐらいの時間が掛かるか？

必要な再設計の回数は?

選択した領域をスレッド化する価値はあるか?

どの程度のスピードアップを期待できるか?

パフォーマンスは期待値を満たすことができるか?

プロセッサーを追加すれば性能が向上するか?

どのスレッドモデルを使用すべきか?

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

インテル® スレッド・チェッカーのまとめ

- インテル® スレッド・チェッカーを設計、デバッグ、品質管理で役立てることができる
- すばやく検証するには、ワークロードの選択が極めて重要
- デフォルト設定はユニット・テストに役立つ
- 大規模なアプリケーションには新たな利用モデルが役立つ (キャリブレーション)

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

パフォーマンス

1.25X のパフォーマンスは最適か?

このアルゴリズムから期待できる最良のパフォーマンスか?

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

ソフトウェア開発サイクル

解析と設計
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー
- インテル® パフォーマンス・ライブラリー: IPP と MKL
- OpenMP* (インテル® コンパイラー)
- 明示的なスレッディング (Win32*, Pthreads)
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- インテル® スレッド・チェッカー (早期プロトタイプ化)

正当性のデバッグ
- インテル® スレッド・チェッカー
- インテル・デバッガー

パフォーマンスのチューニング
- インテル® スレッド・プロファイラー
- インテル® スレッディング・ビルディング・ブロック
- VTune™ パフォーマンス・アナライザー

検証
- インテル® スレッド・チェッカー

Intel Thread Checker

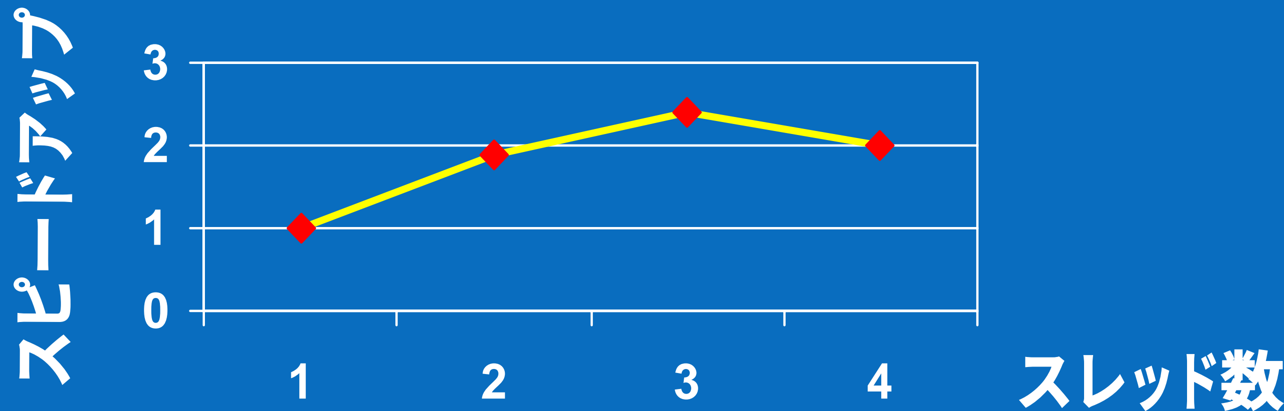
Intel Thread Profiler

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

パフォーマンス·プロファイル: 例



このプロファイルで考えられる原因:

a. **不十分な並列処理**

b. **メモリー帯域の制限**

c. **同期のオーバーヘッド**

d. **ロード·インバランス**

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

一般的なパフォーマンス問題

並列化によるオーバーヘッド

- スレッド作成によるスケジューリングなど

同期化

- 共有データの過度な利用、同じ同期オブジェクトの競合

ロードバランス

- ワークロードの不適切な配分

粒度

- 不適合な実行単位

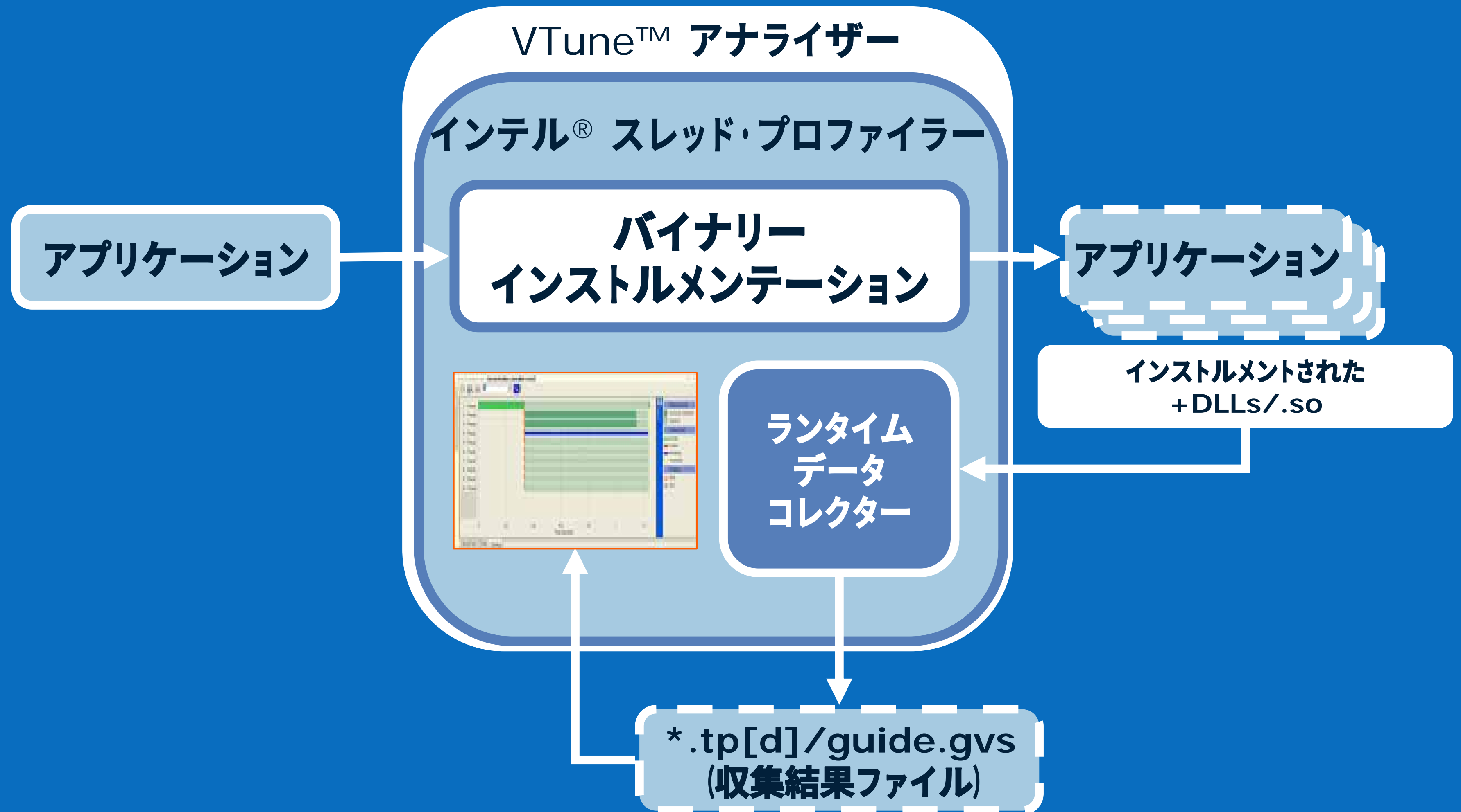
その他の問題 (インテル® VTune™ パフォーマンス・アナライザー)

- メモリー帯域、誤った共有

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

インテル® スレッド・プロファイラーの構成

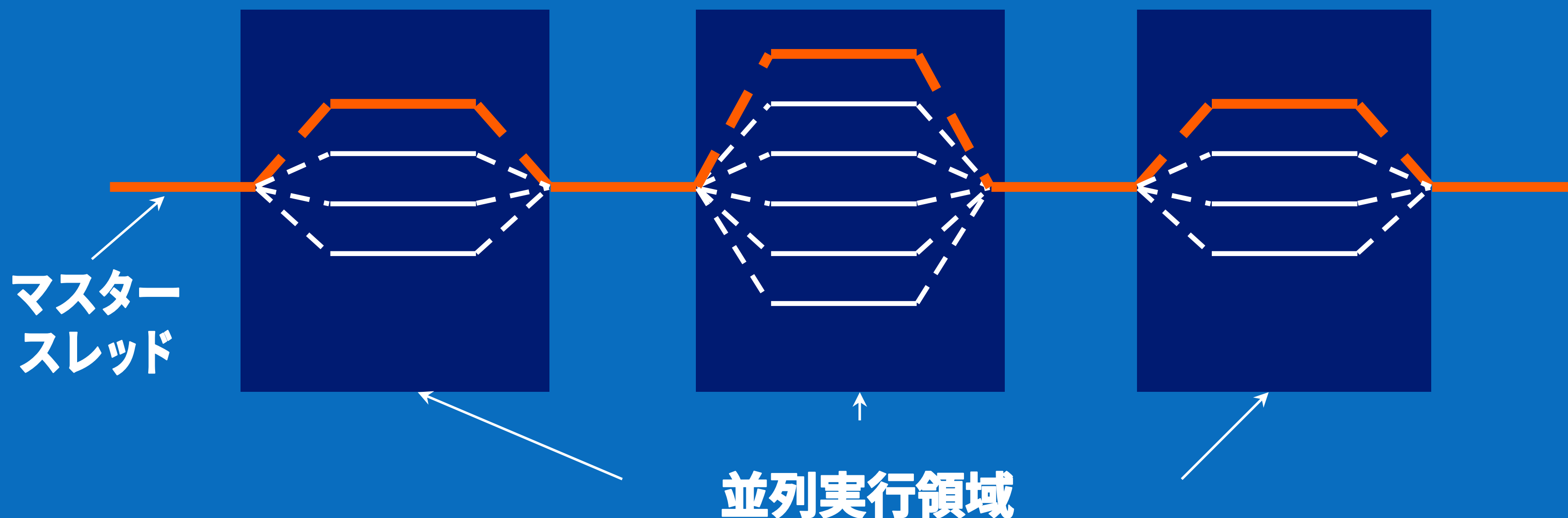


© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

インテル® スレッド・プロファイラー：OpenMP*

- シリアルとパラレルの実行時間を測定
- アムダールの法則でスピードアップを予測
- インバランスと同期の競合を観察
  - OpenMP* の構造のみ



インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

インテル® スレッド・プロファイラー： OpenMP*

Reference Run: A0: test.exe [3 threads][Fri Feb 04 23:15:58 2005]

Whole Program Estimated Speedups

Number of Threads

Legend

Label	#threads	Total	Parallel	Sequential	Imbalance	Barrier	Locks	Synchronized	Parallel overheads
A0	3	6.005	3.337	2.000	0.000	0.668	0.000	0.000	

1 runs 1 showing, 4 regions 4 showing

Data | Threads | Regions | **Summary**

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、 Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

インテル® スレッド・プロファイラー： ネイティブ・スレッド

スレッドの動きを理解する

機転となる最適化

シリアル・パフォーマンス

- プログラム中で最適化により最も恩恵を受けられるシリアル処理のコードを特定する

パラレル・パフォーマンス

- 演算リソースを完全に利用するような、並列化レベルの目標を設定

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、 Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

Software Products

モニターされるシステム API

- スレッドとプロセス制御の API
  - 生成、破壊、サスペンド、レジューム、終了
- 同期の API
  - ミューテックス、クリティカル・セクション、ロック、スレッドプール、タイマー、メッセージ、APC、イベント
- ブロッキングの API
  - スリープ、タイムアウト
  - I/O: ファイル、パイプ、ポート、メッセージ、ネットワーク、ソケット
  - ユーザー I/O: 標準 I/O, GUI, ダイアログ・ボックス

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

一般的なパフォーマンス問題

並列化によるオーバーヘッド
- スレッド作成によるスケジューリングなど

同期化
- 共有データの過度な使用、同じ同期化オブジェクトの競合

ロードバランス
- ワークロードの不適切な配分

粒度
- 不十分な実行単位

その他の問題 (VTune™ アナライザー)
- メモリー帯域、False Sharing

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

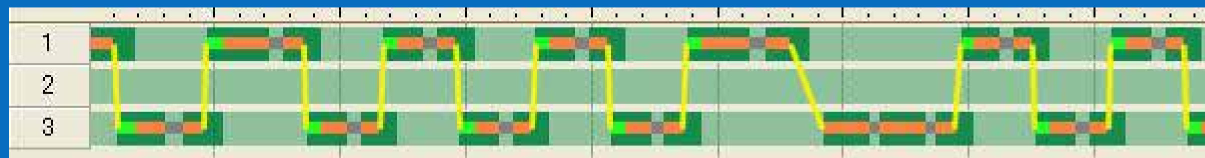
intel Software Products

パフォーマンス

この実装には2つの同期呼び出しが含まれる

よりコストが少ない同期方法はないか？

- #pragma omp atomic
- #pragma omp critical



設計段階に戻る

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

InterlockedIncrement () を利用してみる

```
#pragma omp parallel for
  for( int i = start; i <= end; i += 2 ) {
      if( TestForPrime(i) ) {
      globalPrimes[InterlockedIncrement((LPLONG)&gPrimesFound)] = i;
      }
   ShowProgress(i, range);
  }

void ShowProgress( int val, int range ){
....
long localProgress;
localProgress = InterlockedIncrement((LPLONG)&gProgress);
percentDone = (int)((float)localProgress/(float)range *200.0f + 0.5f);
....
}
```


インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

再設計された素数

2.44/0.63 = 4.6X のスケーリング

スケーリングは改善されたか？

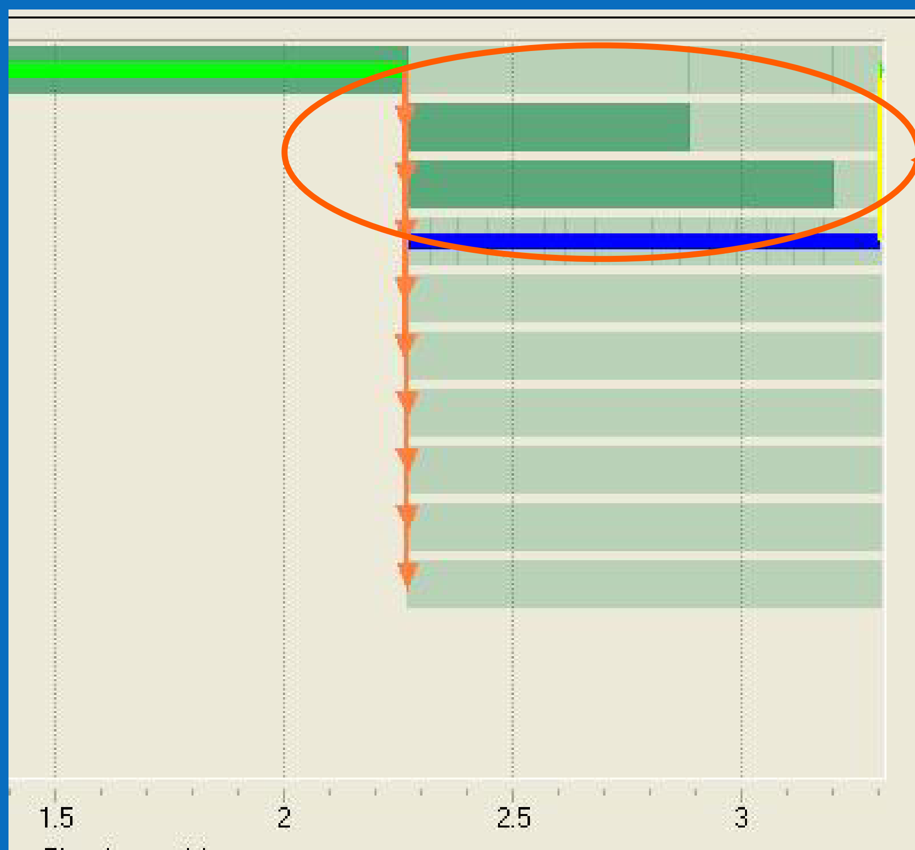
インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

パフォーマンス改善の例



ロード・インバランスが明白。2 つのスレッドで負荷が異なっている。

設計段階に戻る

インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

アプリケーションをスレッド化する際によくある質問

どこをスレッド化するか？

スレッド化にどれぐらいの時間が掛かるか？

必要な再設計の回数は?

選択した領域をスレッド化する価値はあるか?

どの程度のスピードアップを期待できるか?

パフォーマンスは期待値を満たすことができるか?

プロセッサーを追加すれば性能が向上するか?

どのスレッドモデルを使用すべきか?

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

ユーザー同期を扱う

多くの開発者は独自の同期プリミティブを記述する

スレッド・チェッカーやスレッド・プロファイラーはそれらを知ることはできない

スレッド・プロファイラーはユーザー同期をインストルメントするための API を提供する

```
__itt_notify_sync_prepare( &spin );
while( wait for spin ) {
        if( timeout ) {
        __itt_notify_sync_cancel( &spin );
        return;
        }
}
__itt_notify_sync_acquired( &spin );

do stuff;

__itt_notify_sync_releasing( &spin );
release spin;
```


© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

ユーザーイベントを追加する

開発者はアプリケーション中で独自のイベントを必要とすることがある

スレッド・プロファイラーはユーザーが表示される情報にイベントを追加することを可能にする

スレッド・プロファイラーが提供するユーザーイベント記録の API

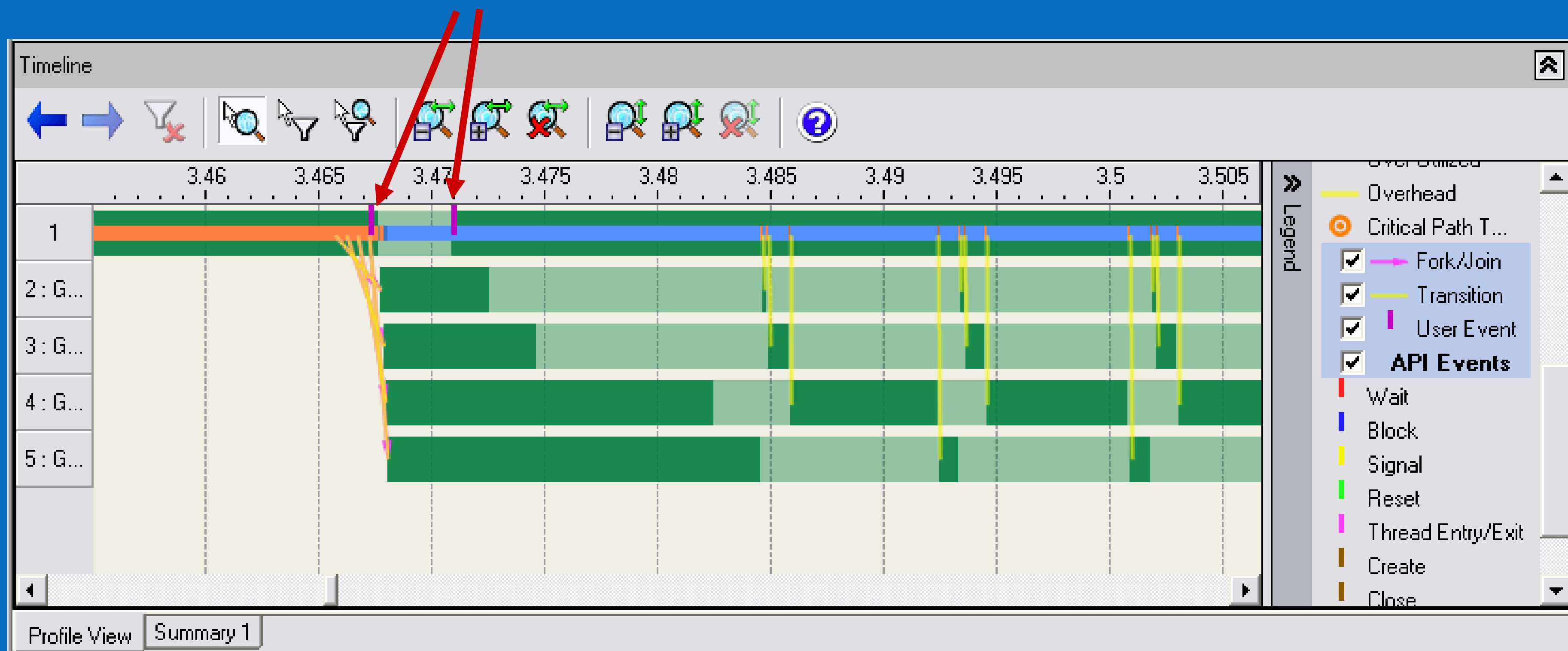
```
#include “libittnotify.h”
 . . .
 __itt_event myEvent;

myEvent = __itt_event_create(“My condition Event”, 18); // イベント名の長さ

while( myWork ) {
      . . .

   if( specificCondition ) {
            __itt_event_start( myEvent );
   }
}
. . .
```

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

ユーザーイベント

ユーザーイベント



インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

サンプリングの実装

スレッド･プロファイラーと一緒にサンプリング収集を行うことができる

サンプリング収集されたデータは、スレッド･プロファイラーのタイムライン表示で見ることができる

スレッド･プロファイラーのタイムライン表示でシリアル領域である場所は、原因を特定することができない

- サンプリング表示のソースの場所と領域をフィルターで抽出する
- シリアルの最適化はこの領域に対して行う

Software Products

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

サンプリングの実装

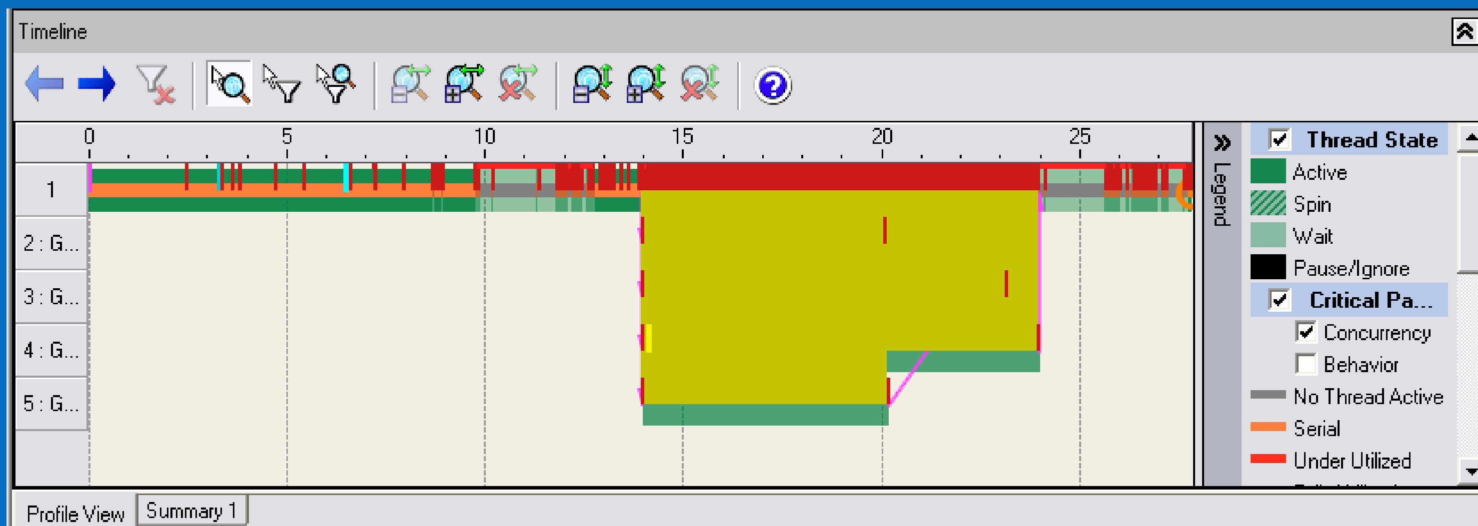
利用方法

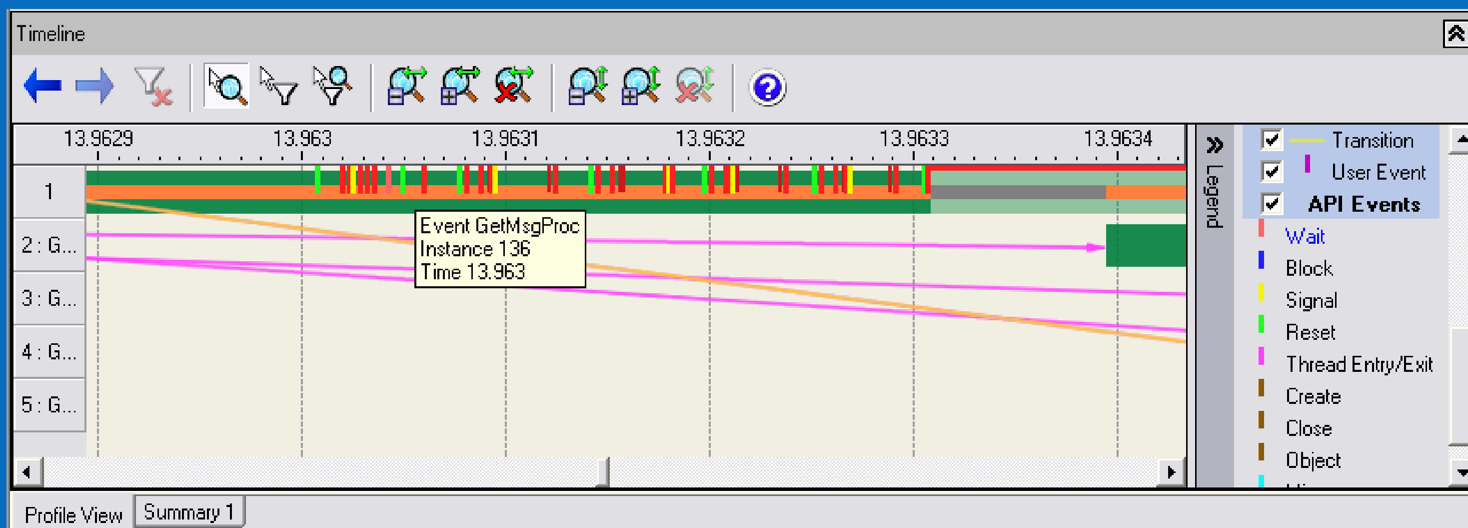
- ステップ 1:
  - スレッド・プロファイラーのアクティビティーを作成する
- ステップ 2:
  - スレッド・プロファイラーのアクティビティーを変更し、新たなコレクター (サンプリング) を追加する
- ステップ 3:
  - 新しいアクティビティーを実行する
- ステップ 4:
  - 注目する領域をドリルダウンする

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

プレビュー機能





インテル® ソフトウェア開発製品

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

intel Software Products

インテル® スレッド・プロファイラー まとめ

インテル® スレッド・プロファイラーの利用モデル：
注目する領域をダブルクリックしていくだけで、問題を含むソースコードの行を特定できる

フィルター機能 (グループ化、時間) は、注目する領域のスレッドの状態を可視化する強力な機能

サンプリングの実装で、シリアルコードのボトルネックを認識できる

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

まとめ

アプリケーションをスレッド化するには、設計、デバッグ、およびパフォーマンスのチューニングサイクルを何度も繰り返す必要がある

ツールを使用することで生産性を向上できる

デュアルコアおよびマルチコア・プロセッサーの能力を引き出す

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。 記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、 Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

本資料に掲載されている情報は、インテル製品の概要説明を目的としたものです。製品に付属の売買契約書『Intel's Terms and conditions of Sales』に規定されている場合を除き、インテルはいかなる責を負うものではなく、またインテル製品の販売や使用に関する明示または黙示の保証 (特定目的への適合性、商品性に関する保証、第三者の特許権、著作権、その他、知的所有権を侵害していないことへの保証を含む) に関しても一切責任を負わないものとします。

インテル製品は、予告なく仕様が変更されることがあります。

* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

© 2007 Intel Corporation.

© 2007 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。記載内容は予告なしに変更されることがあります。
＊その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

Intel、インテル、Intel ロゴは、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。