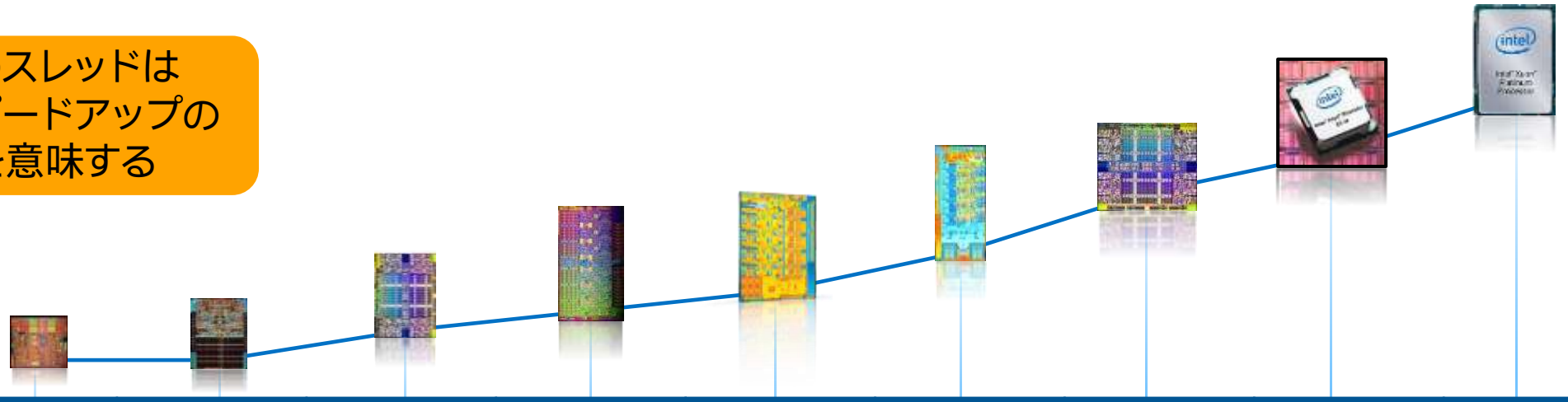
インテル® Xeon® プロセッサー上で要件の厳しいワークロードのパフォーマンスを向上する

Alex Shinsel

ハードウェアの変化はソフトウェア開発に影響する

コア数の増加とベクトルレジスター幅の拡大は、より多くのスレッドとさらなるパフォーマンスを意味する!
… しかし、それらのコアとレジスターを利用するようにソフトウェアを記述する必要がある

より多くのスレッドは
さらなるスピードアップの
可能性を意味する



インテル® Xeon® プロセッサー	64 ビット	5100 番台	5500 番台	5600 番台	E5-2600	E5-2600 v2	E5-2600 v3	E5-2600 v4	Platinum 8180
コア	1	2	4	6	8	12	18	22	28
スレッド	2	2	8	12	16	24	36	44	56
SIMD 幅	128	128	128	128	256	256	256	256	512

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

最適化 101

- 適切なオプションを指定してコンパイラーによる最適化を利用

Linux*	Windows*	説明
-xCORE-AVX512	/QxCORE-AVX512	インテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサー向けに最適化 (インテル® AVX-512 を含む)
-xCOMMON-AVX512	/QxCOMMON-AVX512	上記のオプションで期待したスピードアップが得られない場合に使用するオプション
-fma	/Qfma	FMA (Fused Multiply-Add) 命令を有効にする (注: 丸めに影響!)
-O2	/O2	速度を最適化 (デフォルトで有効)
-g	/Zi	パフォーマンス・プロファイル・ツールで使用するデバッグ情報を生成

- インテル® マス・カーネル・ライブラリー (インテル® MKL) などの最適化されたライブラリーを使用

線形代数	高速フーリエ変換	ベクトル演算	サマリー統計	ディープ・ニューラル・ネットワーク	その他
• BLAS • LAPACK • ScaLAPACK • スパース BLAS • スパースソルバー • 反復法 • PARDISO • クラスター・スパース・ソルバー	• 多次元 • FFTW インターフェイス • クラスター FFT	• 三角関数 • 双曲線 • 指数 • 対数 • 累乗 • 累乗根 • ベクトル RNG	• 尖度 • 変化係数 • 順序統計量 • 最小/最大 • 分散/共分散	• 畳み込み • プーリング • 正規化 • ReLU • ソフトマックス	• スプライン • 補間 • 信頼領域 • 高速ポアソンソルバー

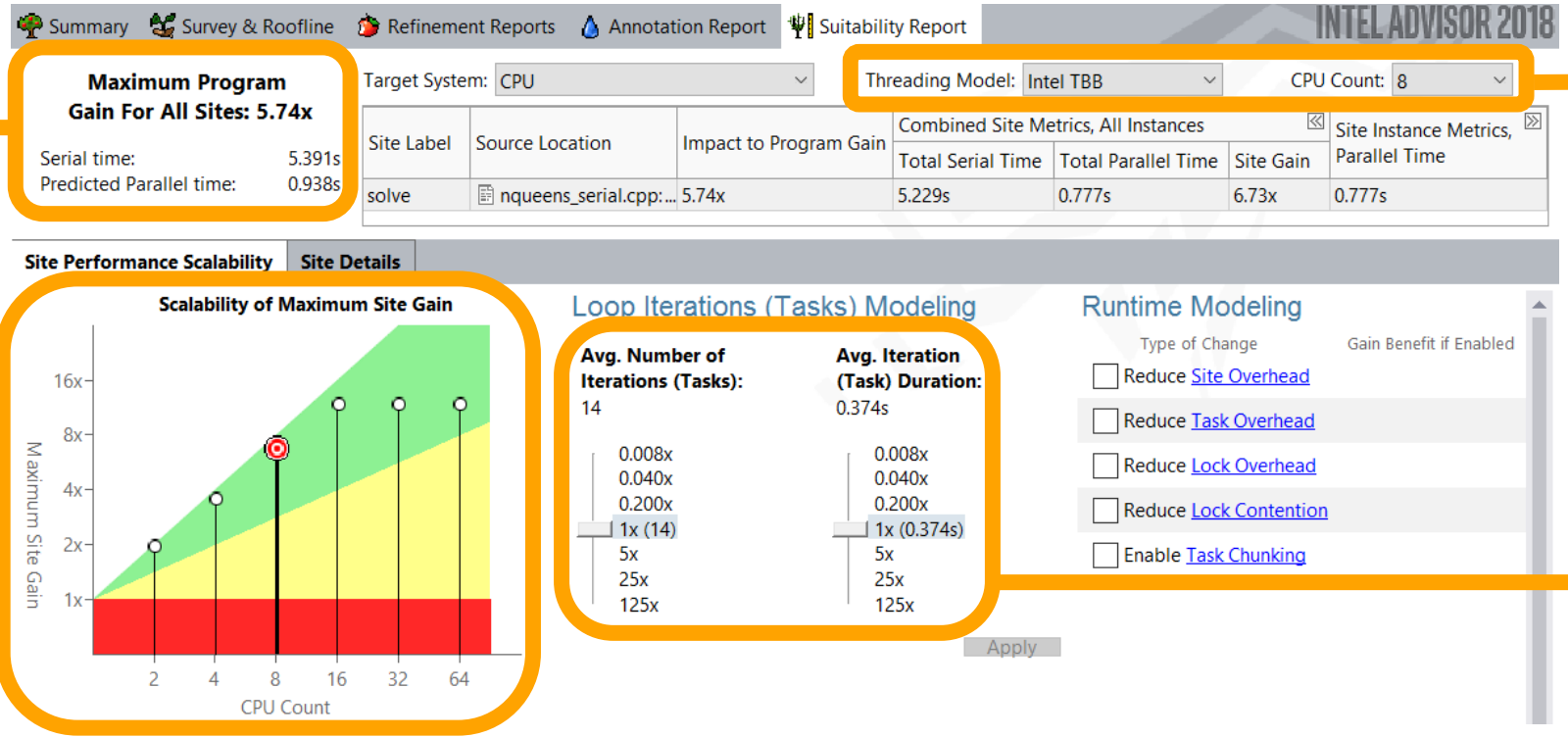
© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

インテル® Advisor によるスレッド化

- [Survey] で合計時間が大きいループ/関数に注目してスレッド化により大きな利点が得られる領域を見つける
- コードに注釈を追加して、インテル® Advisor にスレッド化とロックのシミュレーションを指示する
- 適合性解析でスレッド化のパフォーマンスを予測して、依存性解析でスレッド化により生じる可能性がある正当性の問題を特定する

期待されるプログラムのスピードアップ



仮想環境の詳細を設定

各 CPU 数での並列領域のスケーリング

再度解析を実行せずに並列タスクの数や期間を変更してその影響を検証可能

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

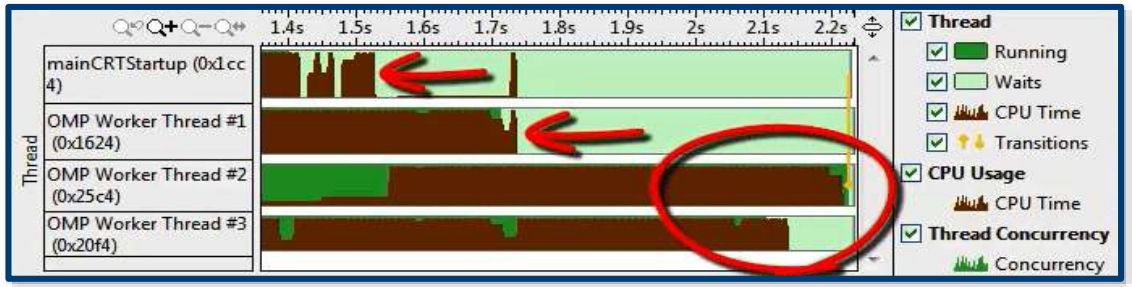
intel Software

インテル® VTune™ Amplifier によるスレッド化の最適化

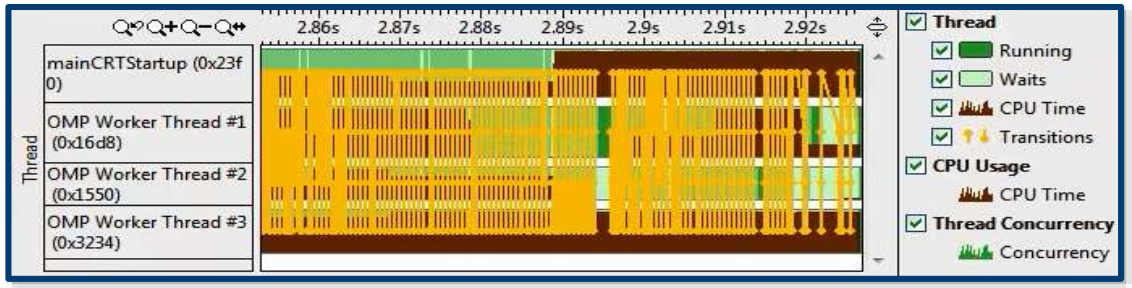
- インテル® VTune™ Amplifier のコンカレンシー解析でプログラムがスレッドを効率良く使用しているか確認する
- 特にタイムラインでは、各スレッドがアクティビティー別に色分けして表示される
- 粗粒度のロックは、2 つのスレッドが同時に実行していないため、効率良いシングルスレッド・プログラムであることを示している
- スレッド・インバランスは、常にすべてのスレッドを使用していない状況を指す
- ロック競合は、スレッドが実際の作業ではなくスワッピングに多くの時間を費やしていることを意味する
  - ロックと待機の解析によりさらに詳しく調査することができる

粗粒度のロック

スレッド・インバランス



ロック競合が頻繁に発生



© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

µop パイプラインとは?

- 命令の実行は複数のステップから成る

- 最近の CPU は 1 つの命令のすべてのステップを実行してから次の命令を開始する代わりに、複数の命令を**パイプライン**で処理する

命令 1	フェッチ	デコード	実行	メモリーアクセス	ライトバック	
命令 2		フェッチ	デコード	実行	メモリーアクセス	ライトバック
命令 3			フェッチ	デコード	実行	メモリーアクセス
命令 4				フェッチ	デコード	実行
命令 5					フェッチ	デコード
命令 6						フェッチ
	サイクル 1	サイクル 2	サイクル 3	サイクル 4	サイクル 5	サイクル 6

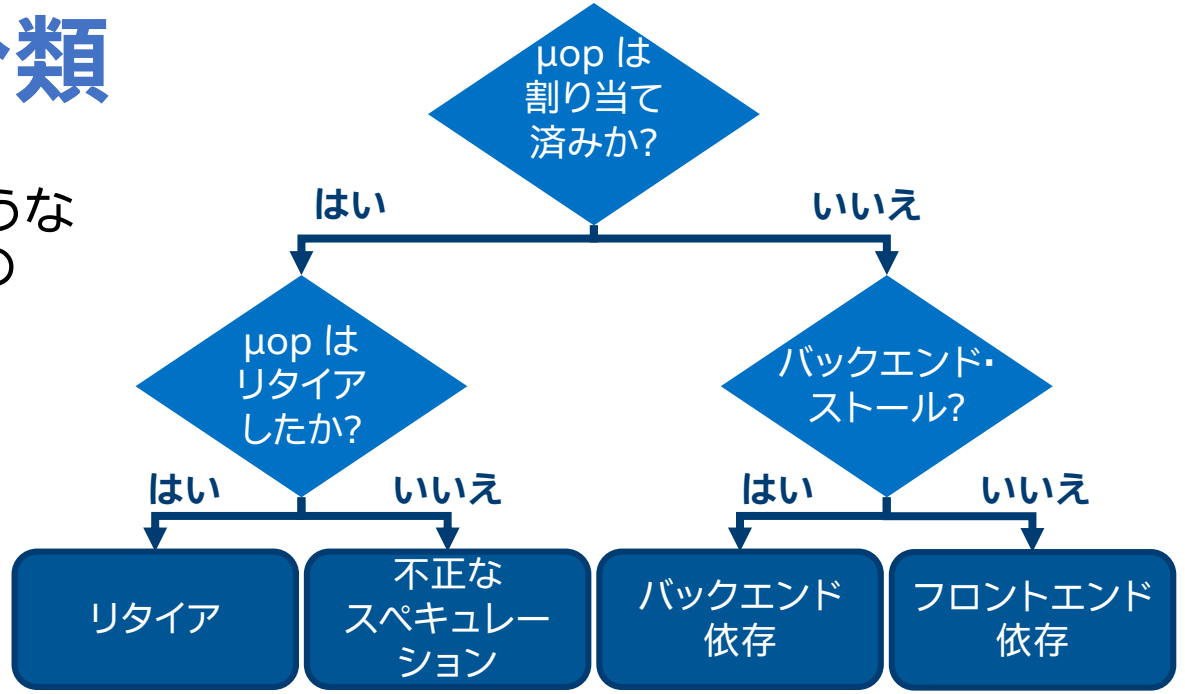
- パイプラインは 2 つのセクションに分割することができる
  - **フロントエンド**は命令のフェッチ、デコード、割り当てを行う
  - **バックエンド**は µop を実行して、完了したらその µop は “リタイアした” と見なされる
- **パイプライン・スロット**は µop の処理に必要なハードウェアの抽象的表現
- 1 サイクルごとにフロントエンドが割り当て可能な µop とバックエンドがリタイアできる µop は限られており、これによりパイプライン・スロットの数が決まる (一般に 4 つ)

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

パイプライン・スロットの分類

- パイプライン・スロットは µop に対してどのような処理を行うかに基づいてサイクルごとに 4 つのカテゴリーに分類される
  - リタイア
  - 不正なスペキュレーション
  - バックエンド依存
  - フロントエンド依存
- 各カテゴリーには適切にチューニングされたアプリケーションにおいて想定される値の範囲がある



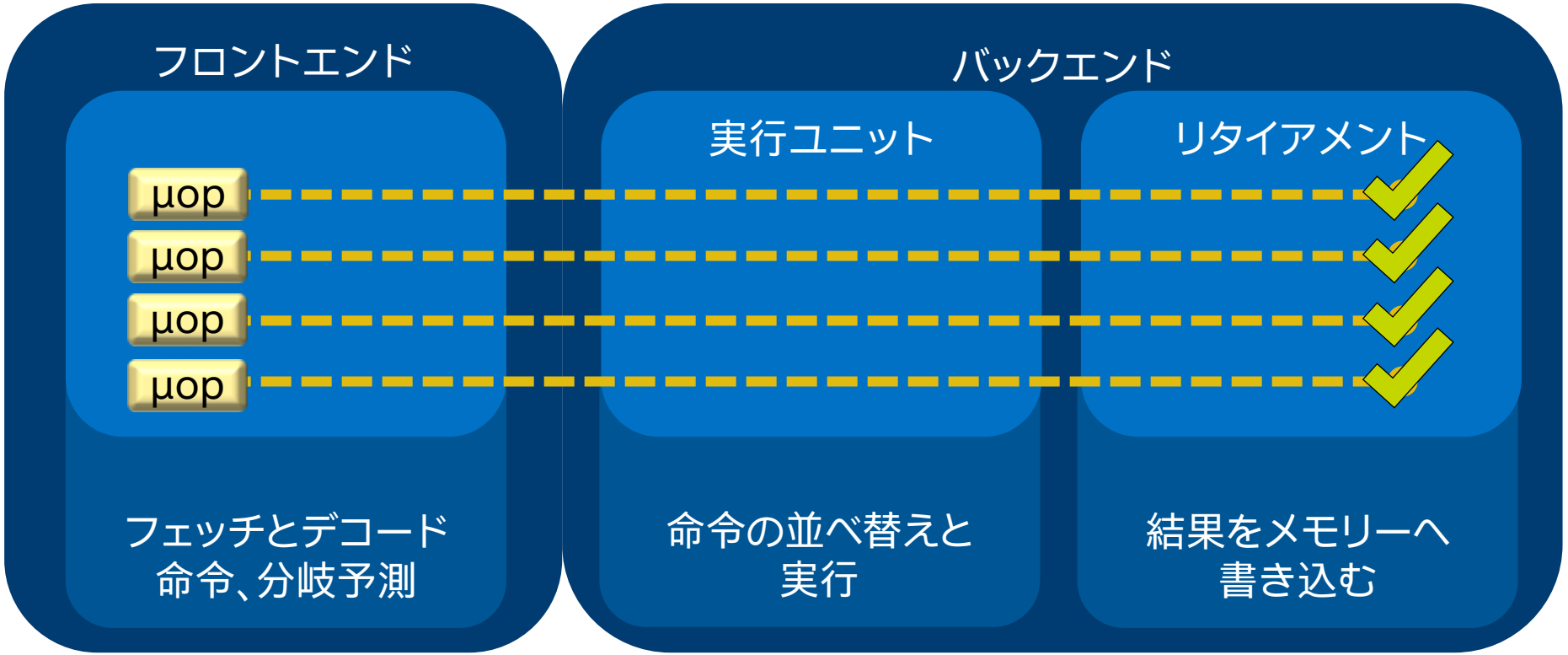
カテゴリー ＼ アプリケーション・タイプ	クライアント/デスクトップ	サーバー/データベース/分散	ハイパフォーマンス・コンピューティング
↑ リタイア	20-50%	10-30%	30-70%
↓ 不正なスペキュレーション	5-10%	5-10%	1-5%
↓ フロントエンド依存	5-10%	10-25%	5-10%
↓ バックエンド依存	20-40%	20-60%	20-40%

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

パイプライン・スロットの分類: リタイア

- できるだけ多くのスロットがこのカテゴリーになるようにする (ただし、このカテゴリーであってもさらに最適化できることがある)

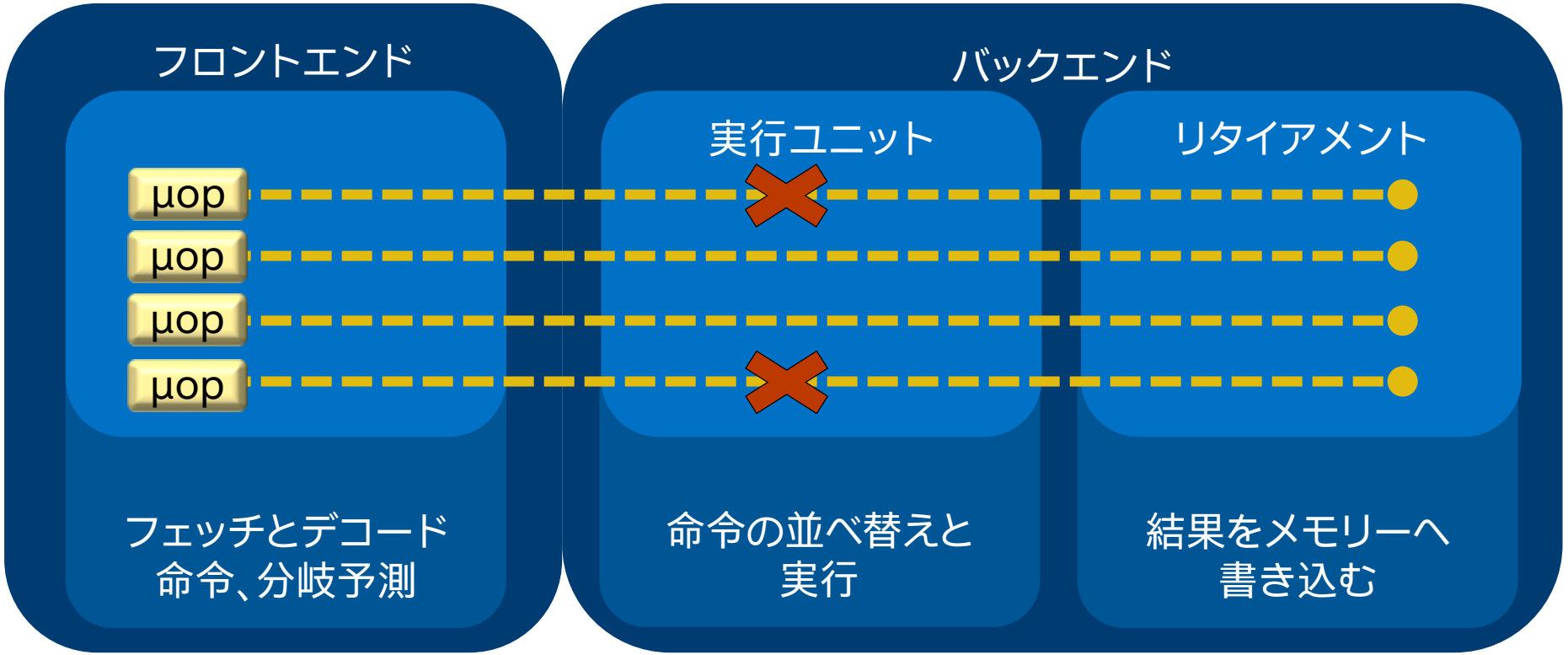


© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

パイプライン・スロットの分類: 不正なスペキュレーション

- 分岐予測ミスによるキャンセルなどにより、μop がリタイアせずにバックエンドから削除 (キャンセル) された場合

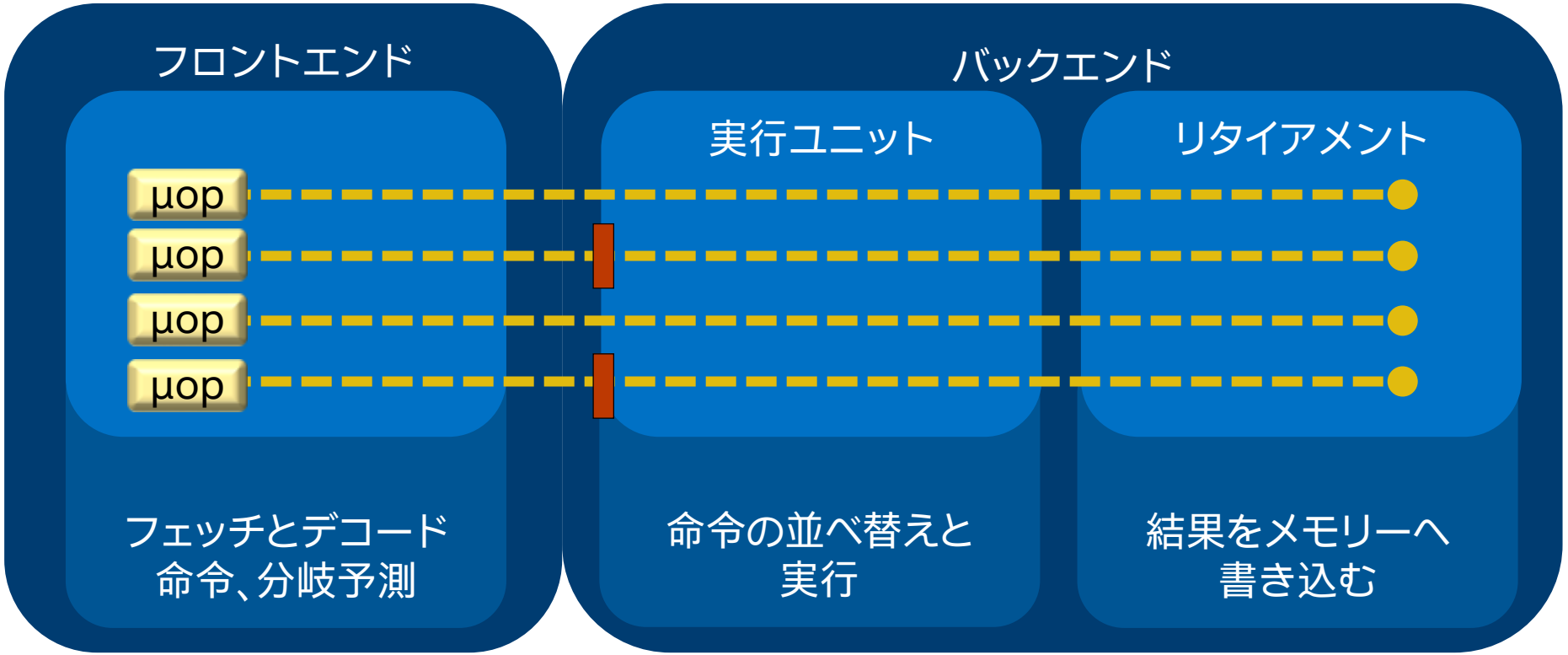


© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

パイプライン・スロットの分類: バックエンド依存

- バックエンドにデータや長い実行を待機中の μop が含まれているため、フロントエンドが μop を供給しても、バックエンドがそれを受け取ることができない場合

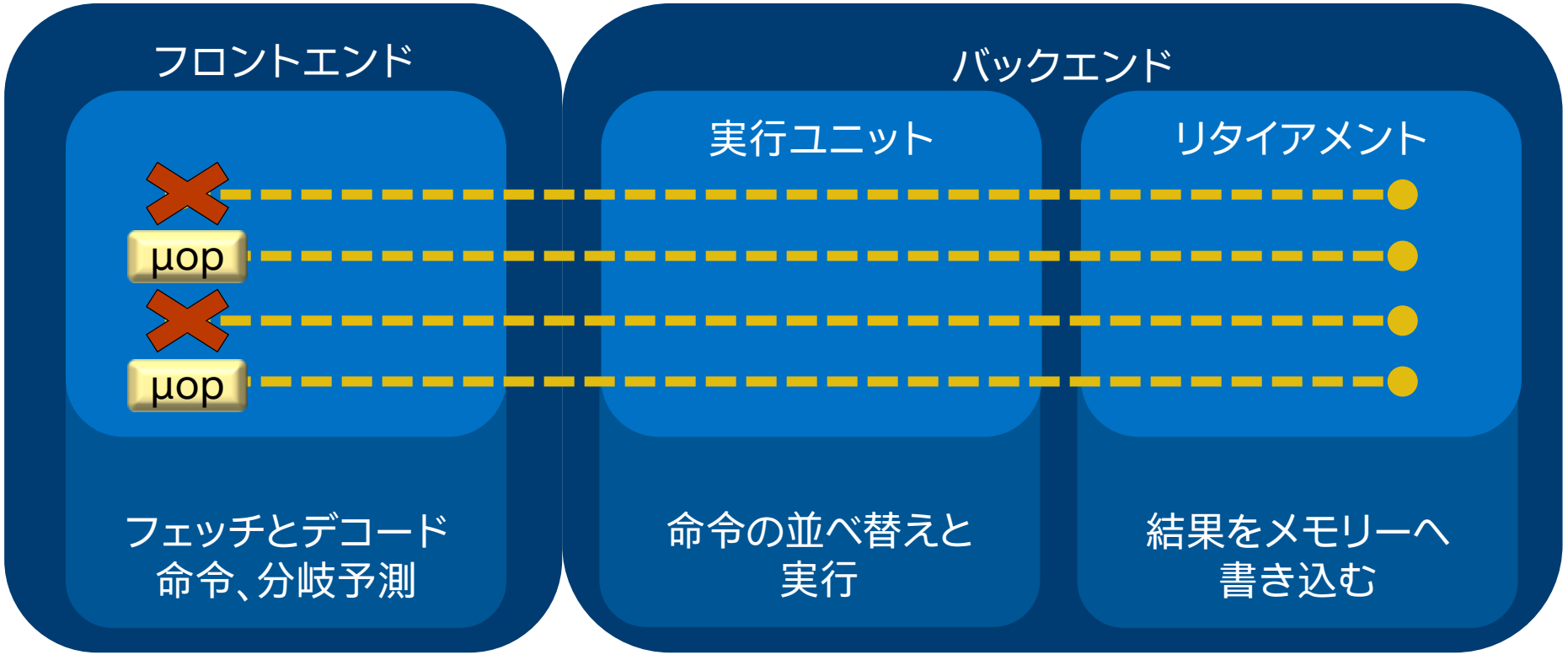


© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

パイプライン・スロットの分類: フロントエンド依存

- バックエンドは µop を受け取る準備ができているが、コードのフェッチや命令のデーコードの遅延によりフロントエンドが µop を供給できない場合



© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

チューニング・プロセス

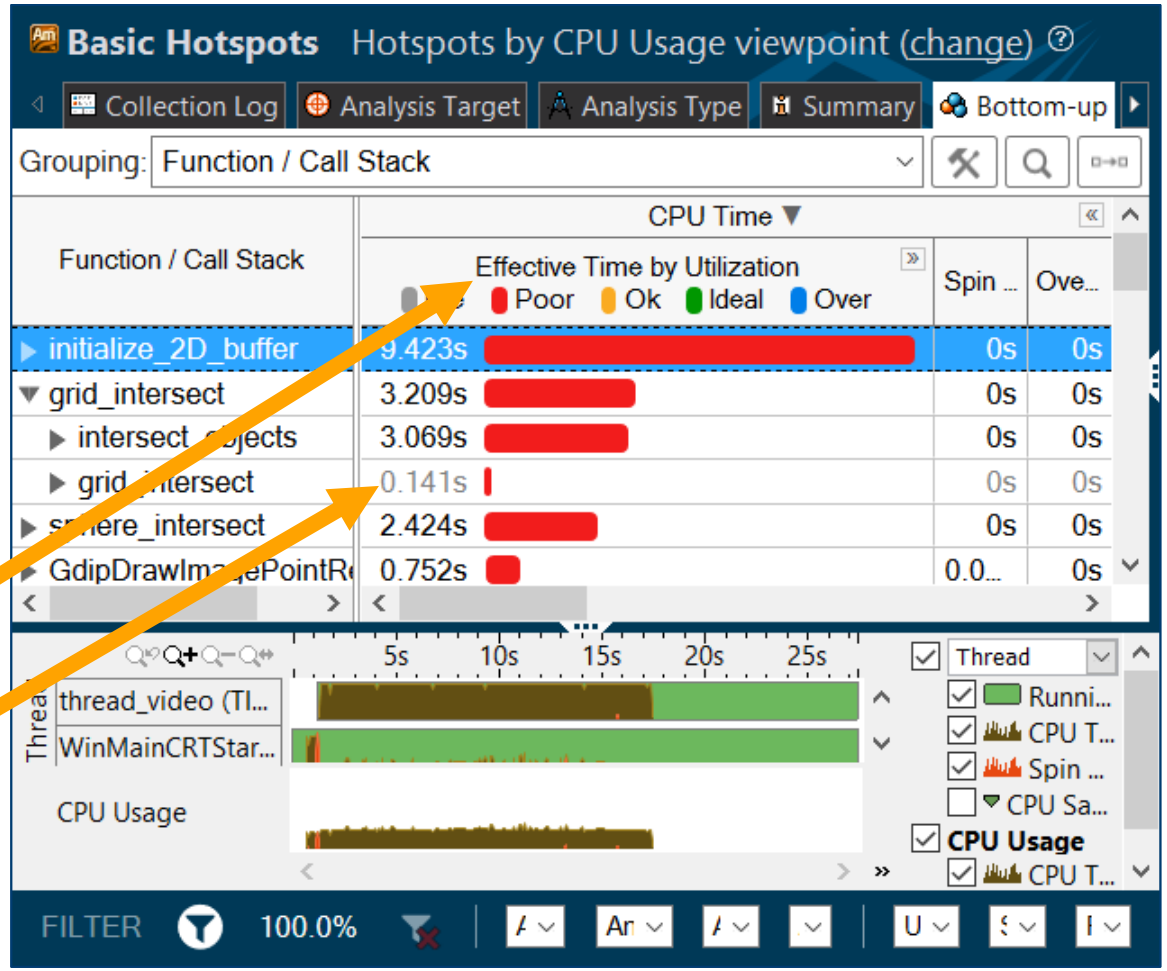
© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

Hotspot を特定

Hotspot を特定 | 効率を特定 | ボトルネックを診断 | ソリューションを実装

- **hotspot** 解析または**高度な hotspot** 解析を使用する
  - 高度な hotspot 解析は hotspot 解析に似ているが、ハードウェア・イベントを使用し、システム全体を対象にすることができる
- 最適化により大きな効果が得られるようにプログラムが多くの時間を費やしている場所を特定する
- [Summary] タブでは重要なデータの高レベルの概要を確認できる
- [Bottom-up] タブでは解析結果の詳細を確認できる
  - 関数で費やされた合計時間は、関数が実行中にアクティブだった CPU の数で割られる
  - 確実性が低いメトリックはグレーで表示される: インテル® VTune™ Amplifier は統計サンプリングを使用しており、プログラムの非常に小さく高速な領域をミスする可能性がある



© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

効率を特定

- **全般**解析を使用する
  - アーキテクチャーの適切なイベントをサンプリングして、メトリックを計算するように事前に設定されている
  - ビルトインのアーキテクチャー固有のしきい値により潜在的な問題を特定できる (潜在的な問題はピンクでハイライト表示される!)
  - ここでも不確実なものはグレーで表示される

- 必要な命令のリタイアが少なすぎることから非効率性を見つける
  - リタイアの数がそのアプリケーション・タイプの期待値よりも低い場合は非効率である可能性がある
  - リタイアの数が高い hotspot も非効率である可能性がある…

Bad Speculation	Back-End Bound	Retiring
0.0%	0.0%	100.0%
15.1%	46.4%	33.9%
1.6%	47.5%	48.8%
2.2%	52.3%	32.5%
20.2%	39.3%	40.5%

- 不必要な命令のリタイアが多すぎることから非効率性を見つける
  - アセンブリー・コードでインテル® AVX 命令が十分に活用されていないループ (zmm、ymm、xmm レジスターの使用状況から判断できる)、または (X*Y)+Z 形式の計算を実行する FMA (Fused-Multiply-Add) 命令 (名前の先頭が VFM または VFNM のもの) を探す

Address	Source Line	Assembly
0x1400010f5	58	`xor eax, eax`
0x1400010f7	63	`vmovd xmm0, edx`
0x1400010fb	63	`vpbroadcastd ymm1, xmm0`
0x140001100	63	`vmovdqu ymm0, ymmword p.`

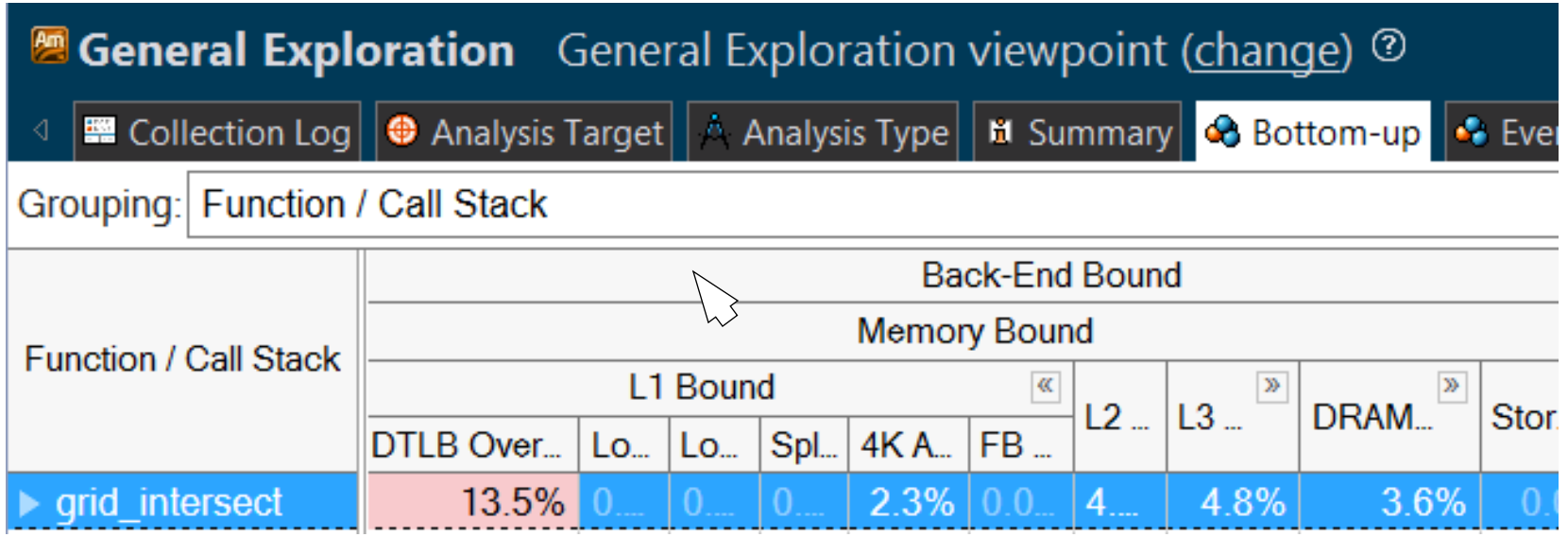
© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

ボトルネックを診断

Hotspot を特定 > 効率を特定 > ボトルネックを診断 > ソリューションを実装

- インテル® VTune™ Amplifier には 4 つのスロットタイプに分類された階層展開メトリックがある
- 下の階層へ展開して hotspot のサブカテゴリーを絞り込むことで非効率性の原因を特定できる
  - 各レベルにおいてそのレベルのメトリックはピンクまたはグレーで表示される
  - 列見出しをポイントすると説明とインテル® VTune™ Amplifier によって使用された式が表示される



各サブカテゴリーの詳細はチューニング・ガイドを参照:
https://software.intel.com/en-us/articles/processor-specific-performance-analysis-papers (英語)

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

ソリューション・サンプラー

Hotspot を特定 → 効率を特定 → ボトルネックを診断 → ソリューションを実装

フロントエンド依存

フロントエンド・レイテンシー

- `/O1` や `/Os` などのコードサイズを小さくするオプションを使用
- コンパイラーによるプロファイルに基づく最適化 (PGO) を使用
- 動的に生成されるコードでは、ホットなコードを共有ロケーションに配置し、コードサイズを軽減し、間接呼び出しを回避

不正なスペキュレーション

分岐予測ミス

- 不必要な分岐を回避
- よく使用される分岐ターゲットをホイスト
- コンパイラーによる PGO を使用

マシンクリア

- ロック競合または 4K エイリアシングをチェック

リタイア

必要以上の作業を行っている

- FMA を使用。`-fma` または `/Qfma` と適切な `-x` または `/Qx` オプションでコンパイル
- インテル® アドバンスト・ベクトル・エクステンション 512 (インテル® AVX-512) によるベクトル化を利用!

バックエンド依存

メモリー依存

Am メモリーアクセス解析

リモート・メモリー・アクセス

- アフィニティー/ピニングによりスレッドをコアに関連付け
- インテル® TBB またはインテル® Cilk™ Plus などの NUMA で効率良く動作するスレッド・スケジューラーを使用
- Sub-NUMA クラスターモードでパフォーマンスが向上するかテスト

キャッシュミス

- キャッシュに収まるようにデータをブロック化
- ソフトウェア・プリフェッチを使用

アクセス競合/データ共有

- パディングにより変数をキャッシュライン境界でアライメントしてフォルス・シェアリングを解決
- 実際の共有要件を軽減

コア依存

除算器

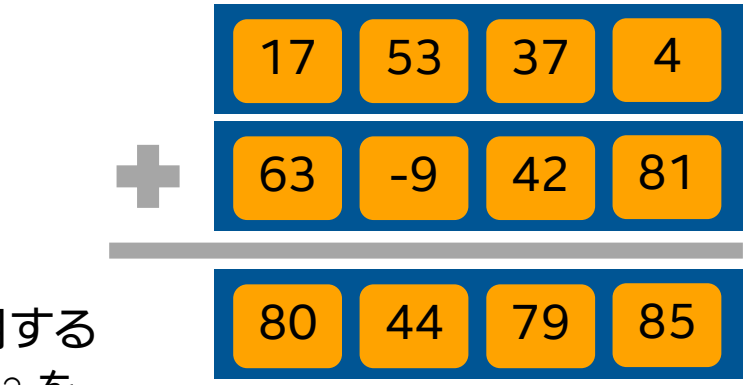
- 可能な場合は逆数の乗算を使用

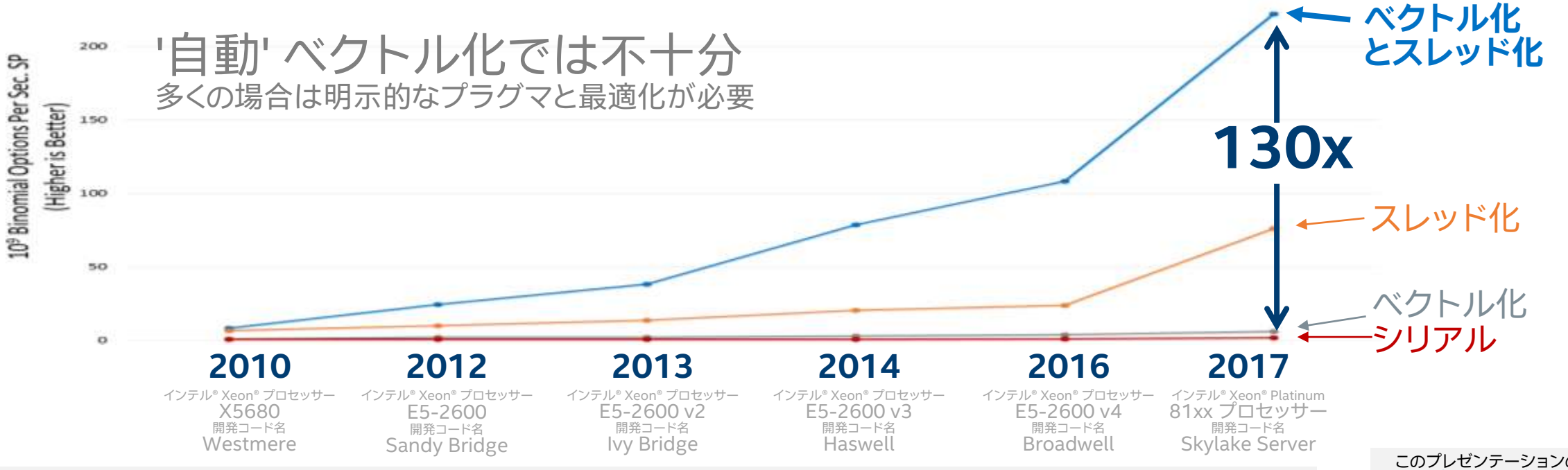
© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

ベクトル化 101

- 最近のコンピューターにはベクトルレジスターと SIMD (Single Instruction Multiple Data) 命令が備わっているため、1 つの CPU で同じ種類の複数の計算を同時に実行できる
- `/QxCORE-AVX512` または `-xCORE-AVX512` コンパイラー・オプションを使用する
  - パフォーマンスが向上しない場合は、`CORE-AVX512` の代わりに `COMMON-AVX512` を使用することでパフォーマンスが向上することがある





性能に関するテストに使用されるソフトウェアとワークロードは、性能がインテル® マイクロプロセッサー用に最適化されていることがあります。SYSmark* や MobileMark* などの性能テストは、特定のコンピューター・システム、コンポーネント、ソフトウェア、操作、機能に基づいて行ったものです。結果はこれらの要因によって異なります。製品の購入を検討される場合は、他の製品と組み合わせた場合の本製品の性能など、ほかの情報や性能テストも参考にして、パフォーマンスを総合的に評価することをお勧めします。詳細については、http://www.intel.co.jp/jp/performance/resources/benchmark_limitations.htm を参照してください。

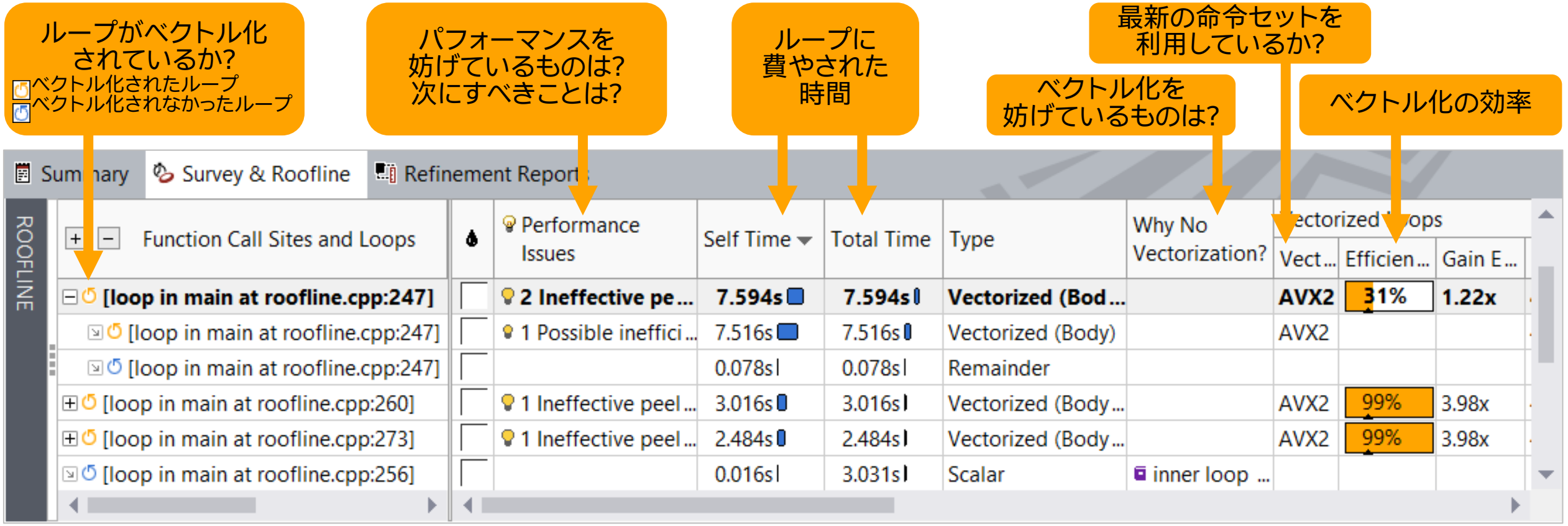
このプレゼンテーションの最後にある 2010 年 ~ 2017 年のベンチマークのシステム構成 を参照

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

インテル® Advisor

- インテル® Advisor はスレッドのプロトタイプ生成およびベクトル化の最適化を支援するツール
- 一部の情報はインテル® コンパイラーによって提供されるが、ほかのコンパイラーとも互換性がある
- **Survey** 解析から開始する



© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

トリップカウント…

- **Trip Counts** 解析はループのトリップカウントとコールカウントを示す
  - スカラー・トリップ・カウントがベクトル長の倍数の場合に最も効率良くベクトル化され、そうでない場合はリマインダー・ループが生成される
  - コールカウントは、そのループのチューニングの重要性を示す

ピール/リマインダーを含むループは展開可能

このループのスカラー・トリップ・カウント 1326 は 4 の倍数ではない
1326/4=331.5

Function Call Sites and Loops	Perfo... Issues	Self Time	Total Time	Type	Vectorized Loops			Trip Counts	
					Vect...	Efficien...	Gain E...	Av...ge	Call Count
[loop in main at roofline.cpp:247]	**2 Ine...**	**7.594s**	**7.594s**	**Vectorized (Bo...**	**AVX2**	**31%**	**1.22x**	**331; 2**	**10000000;...**
[loop in main at roofline.cpp:247]	1 Poss...	7.516s	7.516s	Vectorized (Body)	AVX2			331	10000000
[loop in main at roofline.cpp:247]		0.078s	0.078s	Remainder				2	10000000

各コンポーネント・ループの種類

非効率 + コールカウントが高い = 大きなパフォーマンス・ペナルティー!

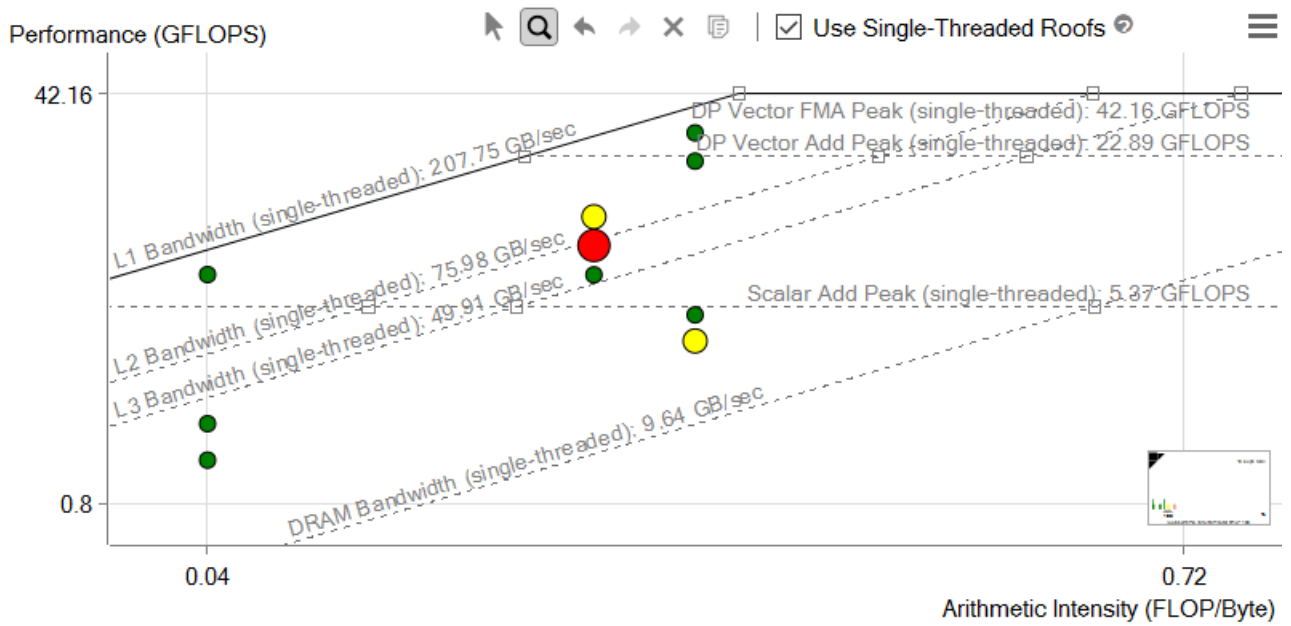
- これは、インテル® AVX-512 の幅広いベクトルレジスターではさらに重要!
  - スカラー・リマインダーはベクトル化したほうが高速になることがある一方、非常に非効率なベクトル・リマインダーはスカラーのほうが高速なことがある
  - アライメントおよびパディングされていない配列 (特に 2 次元) は大きなピール/リマインダー・ループ (通常トリップカウントのシフトを伴う) につながる
  - 非効率なベクトル・リマインダーは多くの場合マスキングを過剰に使用する

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

… FLOPS

- トリップカウント解析で FLOP とマスクの使用状況を収集できる
  - FLOP は FLOPS (**FL**oating-point **O**perations **P**er **S**econd) の計算に使用された浮動小数点演算
- FLOPS は 1 命令あたりのサイクル数や 1 秒あたりの命令数に似たパフォーマンス・メトリックで、浮動小数点演算固有のものである。アプリケーションで使用するデータが浮動小数点のみ、またはほとんどが浮動小数点である場合にほかのメトリックよりも役立つ可能性がある
- FLOPS を収集することでルーフライン・グラフを描画できる
  - ルーフライン・グラフは、メモリー帯域幅や計算ピークを含むハードウェアの制限とアプリケーション・パフォーマンスの関係を視覚的に示す
  - 横軸は演算強度 (1 バイト・アクセスあたりの FLOPS) で、キャッシュを考慮したルーフラインではアルゴリズムの特性を示す。縦軸はパフォーマンス
  - 点はループ、線はハードウェアの制限を示す。水平線は計算の制限、斜めの線はメモリーの制限を示す



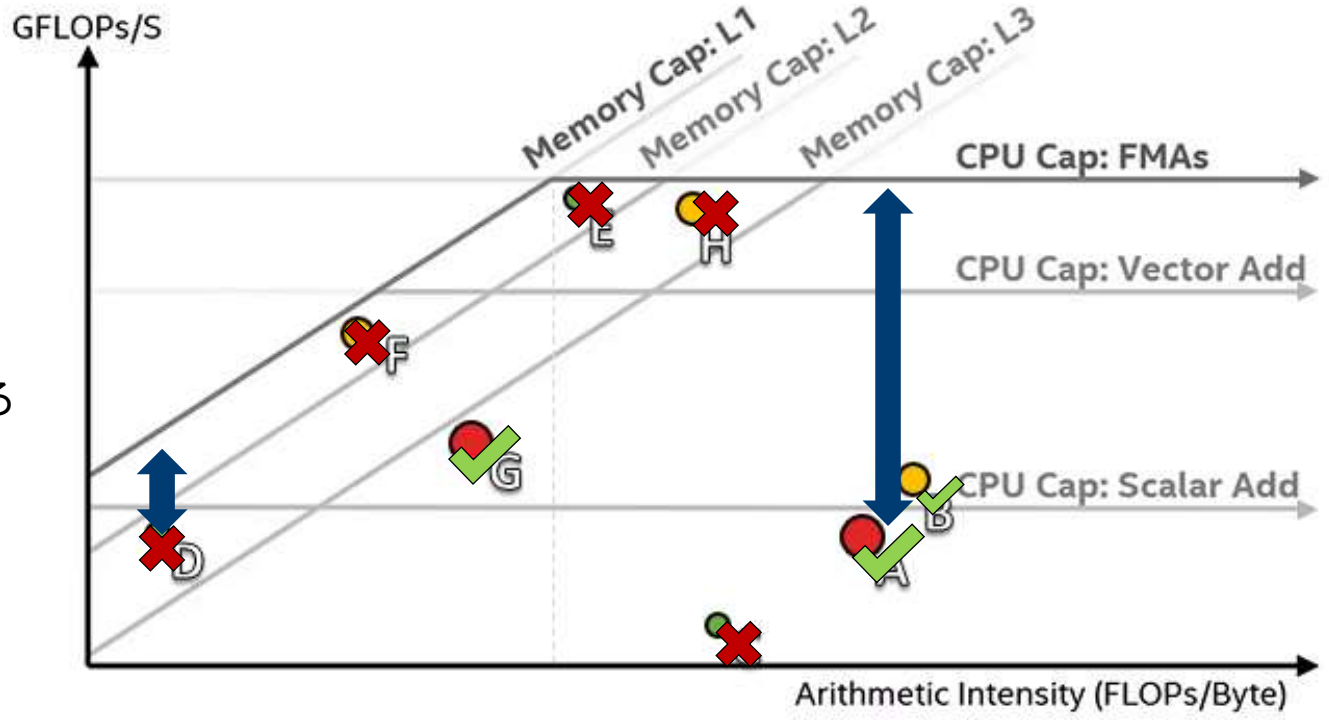
© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

ルーフライン

ルーフラインに関するビデオ:
https://software.intel.com/en-us/videos/roofline-analysis-in-intel-advisor-2017 (英語)
ルーフラインに関する記事:
https://software.intel.com/en-us/articles/intel-advisor-roofline (英語)

- ルーフライン・グラフは hotspot やボトルネックを特定して、最適なパフォーマンスを得るため、どこを、どのように最適化すべきか判断するのに効果的
- ただし、ルーフライン・グラフで次のことはできない…
  - インテル® VTune™ Amplifier またはインテル® Advisor のその他の部分の代わりに使用すること
  - 単純な I/O グラフとして使用すること
  - 問題を解決するための特効薬として使用すること
- ルーフライン・グラフは次のことを判断する良い指標
  - パフォーマンス向上の可能性はどれくらいか?
    - スペースが大きい = 向上の可能性が高い
  - 最も時間のかかるループは?
    - 大きく赤い点 = より多くの時間がかかっている
  - 最適化すべきループは?
    - 時間がかかっている + 向上の可能性が高い = 最適化の候補
  - パフォーマンス・ボトルネックの原因は?
  - 次に何を調査すべきか?



© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

メモリー・アクセス・パターンと依存性

- **メモリー・アクセス・パターン** (MAP) と**依存性**は、特定の種類の問題に特化した解析で、インテル® Advisor は該当する問題を検出するとこれらの使用を推奨する
  - MAP 解析は非効率なストライドを特定する場合に推奨され、インテル® AVX-512 対応マシンでは、非効率なリマインダー・ループの最適化に役立つマスクの使用状況に関する情報も生成する
  - 依存性解析はベクトル依存性の存在が推定されるためベクトル化されなかったループで、実際に依存性が存在するかどうか結論付けるために推奨される。依存性が存在しない場合、プラグマを使用してコンパイラーにループのベクトル化を強制できる

Summary | Survey & Roofline | Refinement Reports

Site Location	Loop-Carried Dependencies	Strides Distribution	Access Pattern	Max. Site...	Site Name	Recommendations
[loop in main at example.cpp:..	No information available	100% / 0% / 0%	All unit strides	288KB	loop_site_2	
[loop in main at example.cpp:..	RAW:1	No information ava...	No informatio...	No infor...	loop_site_3	1 Proven (real) de...
[loop in main at example.cpp:..	No information available	0% / 100% / 0%	All const strides	288KB	loop_site_5	1 Inefficient memo...
[loop in main at example.cpp:..	No dependencies found	0% / 100% / 0%	All const strides	584KB	loop_site_7	1 Inefficient memo...

Memory Access Patterns Report | Dependencies Report | Recommendations

ID		Stride	Type	Source	Nested Func...	Variable references	Max. Site...	Modules	Site Name	Access Type
⊞P2		16	Constant stride	example.cpp:88		arrayB	288KB	vectorization...	loop_site_5	Write
⊞P4			Parallel site information	example.cpp:86				vectorization...	loop_site_5	

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

まとめ

- インテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサーはこれまでにないパフォーマンスを提供
  - 優れたスレッド処理能力
  - 幅広いベクトルレジスターとインテル® AVX-512 命令セットのサポート
- これらは自動的に提供されないため、利点が得られるようにコードを記述する必要がある
- 適切な基盤の構築
  - 適切なコンパイラー・オプションとライブラリーを使用する
  - アプリケーションをマルチスレッド化する
    - インテル® Advisor を使用してスレッド化する
    - インテル® VTune™ Amplifier のコンカレンシー解析とロックと待機の解析でスレッド化を最適化する
- パフォーマンス・プロファイル・ツールでアーキテクチャー向けにチューニングする
  - インテル® VTune™ Amplifier の基本 hotspot 解析と高度な hotspot 解析で hotspot を特定する
  - 全般解析でボトルネックを診断する
    - メモリーアクセス解析またはインテル® Advisor で詳細を確認する
  - 解析結果を基にソリューションを実装する

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software

法務上の注意書きと最適化に関する注意事項

本資料の情報は、現状のまま提供され、本資料は、明示されているか否かにかかわらず、また禁反言によるとよらずにかかわらず、いかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。製品に付属の売買契約書『Intel's Terms and Conditions of Sale』に規定されている場合を除き、インテルはいかなる責任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、知的財産権の侵害への保証を含む) をするものではありません。

性能に関するテストに使用されるソフトウェアとワークロードは、性能がインテル® マイクロプロセッサー用に最適化されていることがあります。 SYSmark* や MobileMark* などの性能テストは、特定のコンピューター・システム、コンポーネント、ソフトウェア、操作、機能に基づいて行ったものです。 結果はこれらの要因によって異なります。 製品の購入を検討される場合は、他の製品と組み合わせた場合の本製品の性能など、ほかの情報や性能テストも参考にして、パフォーマンスを総合的に評価することをお勧めします。

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴ、Intel Core、Xeon、Intel Xeon Phi、Cilk、VTune は、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。

最適化に関する注意事項

インテル® コンパイラーでは、インテル® マイクロプロセッサーに限定されない最適化に関して、他社製マイクロプロセッサー用に同等の最適化を行えないことがあります。これには、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 2、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 3、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 3 補足命令などの最適化が該当します。インテルは、他社製マイクロプロセッサーに関して、いかなる最適化の利用、機能、または効果も保証いたしません。本製品のマイクロプロセッサー依存の最適化は、インテル® マイクロプロセッサーでの使用を前提としています。インテル® マイクロアーキテクチャーに限定されない最適化のなかにも、インテル® マイクロプロセッサー用のものがあります。この注意事項で言及した命令セットの詳細については、該当する製品のユーザー・リファレンス・ガイドを参照してください。

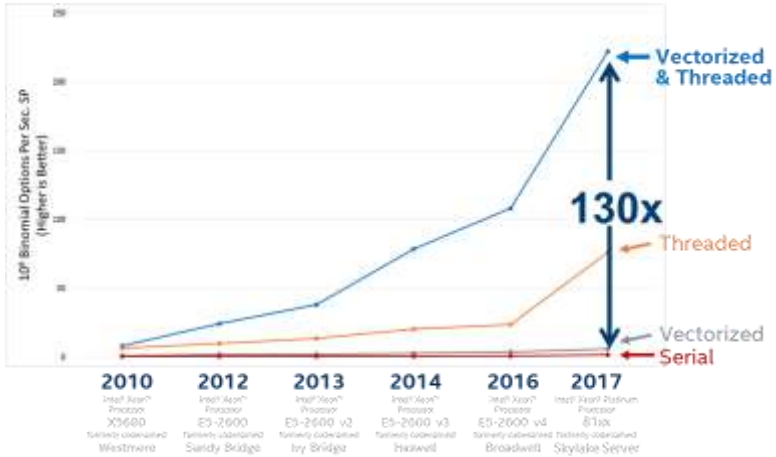
注意事項の改訂 #20110804

intel
Software

2010 年 ~ 2017 年のベンチマークのシステム構成

最適化に関する注意事項
インテル® コンパイラーでは、インテル® マイクロプロセッサーに限定されない最適化に関して、他社製マイクロプロセッサー用に同等の最適化を行えないことがあります。これには、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 2、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 3、インテル® ストリーミング SIMD 拡張命令 3 補足命令などの最適化が該当します。インテルは、他社製マイクロプロセッサーに関して、いかなる最適化の利用、機能、または効果も保証いたしません。本製品のマイクロプロセッサー依存の最適化は、インテル® マイクロプロセッサーでの使用を前提としています。インテル® マイクロアーキテクチャーに限定されない最適化のなかにも、インテル® マイクロプロセッサー用のものがあります。この注意事項で言及した命令セットの詳細については、該当する製品のユーザー・リファレンス・ガイドを参照してください。
注意事項の改訂 #20110804

インテル社内での測定値。



システム構成

	プラットフォーム	スケーリングされていないコアクロックの周波数	コア/ソケット	ソケット数	L1 データキャッシュ	L2 キャッシュ	L3 キャッシュ	メモリー	メモリー周波数	メモリーアクセス	H/W プリフェッチ有効	HT 有効	ターボ有効	C ステート	OS	カーネル	コンパイラー
WSM †	インテル® Xeon™ プロセッサー X5680	3.33GHz	6	2	32K	256K	12MB	48MB	1333MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	Fedora* 20	3.11.10-301.fc20	icc 17.0.2
SNB †	インテル® Xeon® プロセッサー E5 2690	2.90GHz	8	2	32K	256K	20MB	64GB	1600MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	Fedora* 20	3.11.10-301.fc20	icc 17.0.2
IVB †	インテル® Xeon® プロセッサー E5 2697 v2	2.70GHz	12	2	32K	256K	30MB	64GB	1867MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	RHEL 7.1	3.10.0-229.el7.x86_64	icc 17.0.2
HSW †	インテル® Xeon® プロセッサー E5 2600 v3	2.20GHz	18	2	32K	256K	46MB	128GB	2133MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	Fedora* 20	3.15.10-200.fc20.x86_64	icc 17.0.2
BDW †	インテル® Xeon® プロセッサー E5 2600 v4	2.30GHz	18	2	32K	256K	46MB	256GB	2400MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	RHEL 7.0	3.10.0-123. el7.x86_64	icc 17.0.2
BDW †	インテル® Xeon® プロセッサー E5 2600 v4	2.20GHz	22	2	32K	256K	56MB	128GB	2133MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	CentOS* 7.2	3.10.0-327. el7.x86_64	icc 17.0.2
SKX †	インテル® Xeon® Platinum 81xx プロセッサー	2.50GHz	28	2	32K	1024K	40MB	192GB	2666MHz	NUMA	Y	Y	Y	無効	CentOS* 7.3	3.10.0-514.10.2.el7.x86_64	icc 17.0.2

性能に関するテストに使用されるソフトウェアとワークロードは、性能がインテル® マイクロプロセッサー用に最適化されていることがあります。SYSmark* や MobileMark* などの性能テストは、特定のコンピューター・システム、コンポーネント、ソフトウェア、操作、機能に基づいて行ったものです。結果はこれらの要因によって異なります。製品の購入を検討される場合は、他の製品と組み合わせた場合の本製品の性能など、ほかの情報や性能テストも参考にして、パフォーマンスを総合的に評価することをお勧めします。詳細については、http://www.intel.co.jp/jp/performance/resources/benchmark_limitations.htm を参照してください。

† 開発コード名

© 2017 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Inside、Intel Inside ロゴは、アメリカ合衆国および / またはその他の国における Intel Corporation の商標です。* 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。
コンパイラーの最適化に関する詳細は、最適化に関する注意事項を参照してください。

intel Software