

Direct3D® 12 フリップモデルのスワップチェーンのサンプル・アプリケーション

この記事は、インテル® デベロッパー・ゾーンに公開されている「[Sample Application for Direct3D 12 Flip Model Swap Chains](#)」の日本語参考訳です。

サンプルコード

D3D12 のほうが D3D11 よりもスワップチェーンを使用する方法が複雑になっています。D3D12 では、フリップモデル [1] のスワップチェーンのみ使用できます。バッファの数、インフライト・フレームの数、現在の SyncInterval、WaitableObject 使用の有無など、多数の引数を選択する必要があります。このサンプル・アプリケーションは、異なる引数の相互作用を理解し、最適な引数の組み合わせを見つけられるように作成されました。

レンダリングされたフレームが CPU から GPU へ移行する様子をインタラクティブに視覚化し、現在のキューの状態を表示します。すべての引数はリアルタイムに変更できます。フレームレートとレイテンシーへの影響は、オンスクリーンの統計から確認できます。

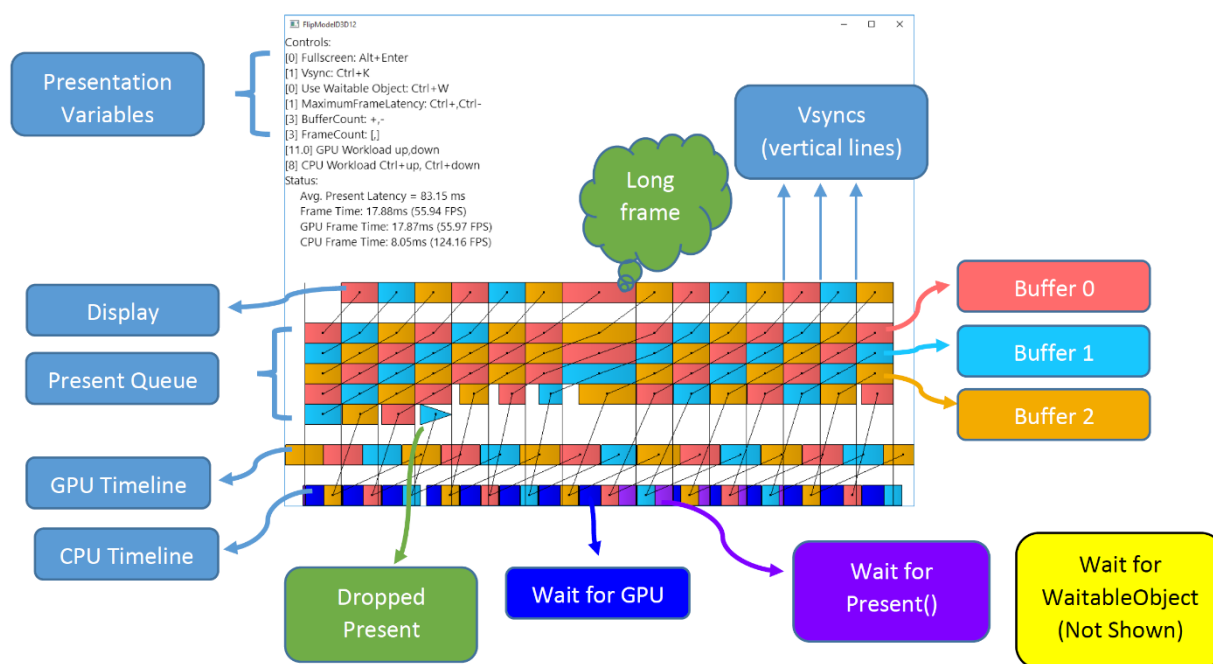


図 1: 注釈付きのサンプル・アプリケーションのスクリーンショット

スワップチェーンの引数

以下は、D3D12 スワップチェーンの検証に使用した引数です。

引数	説明
Fullscreen (フルスクリーン)	ウィンドウがスクリーンを覆う場合 (つまり、ボーダーレス・ウィンドウ・モードの場合) は True です。注: 排他モードの SetFullscreenState とは異なります。
vsync (垂直同期)	Present() 関数の SyncInterval 引数を制御します。
Use Waitable Object (待機可能オブジェクト の使用)	スワップチェーンが DXGI_SWAP_CHAIN_FLAG_FRAME_LATENCY_WAITABLE_OBJECT を利用して作成されたかどうかを示します。
Maximum Frame Latency (最大フレーム・レイテンシー)	SetMaximumFrameLatency に渡される値です。“Use Waitable Object” が有効でない場合は無視されます。待機可能オブジェクトがない場合、有効な最大フレーム・レイテンシーは 3 です。
BufferCount (バッファークウント)	DXGI_SWAP_CHAIN_DESC1::BufferCount で指定される値です。
FrameCount (フレームカウント)	最初のゲームフレームの完了を待機する前に CPU で生成される“ゲームフレーム”の最大数です。ゲームフレームは、ユーザーデータ構造で、GPU での完了は D3D12 フェンスによって追跡されます。複数のゲームフレームが同じスワップ・チェーン・バッファークウントを指すことができます。

その他の引数

以下は、スワップチェーンの検証に使用した固定値の引数です。各引数が固定値である理由を示します。

引数	説明
Exclusive mode (排他モード)	現在の統計メカニズムは排他モードで動作しないため、SetFullscreenState がサンプル・アプリケーションで呼び出されることはありません。
SwapEffect (スワップエフェクト)	DXGI_SWAP_CHAIN_DESC1::SwapEffect で指定される値です。常に DXGI_SWAP_EFFECT_FLIP_DISCARD に設定されます。DISCARD は、指定されることが最も少ない動作です。そのため、OS の柔軟性が高まり、表示が最適化されます。もう 1 つの選択肢 DXGI_SWAP_EFFECT_FLIP_SEQUENTIAL は、以前の画像領域を再利用する操作 (例: 矩形のスクロール) でのみ有効です。

バッファークウントとフレームカウントを理解する

バッファークウントは、スワップチェーンに含まれるバッファークウントの数です。フリップモデルのスワップチェーンでは、表示中、オペレーティング・システムが vsync の期間全体にわたって 1 つのバッファークウントをロックすることがあります。そのため、アプリケーションが書き込み可能なバッファークウントの数は、実際には BufferCount-1 です。BufferCount = 2 の場合、OS が次の vsync でバッファークウントを解放するまで、書き込み可能なバッファークウントは 1 つのみです。そのため、フレームレートがリフレッシュ・レート未満に制限されます。

BufferCount >= 3 の場合、アプリケーションは少なくとも 2 つのバッファークウントを交互に利用できます (SyncInterval=0 と仮定)。そのため、フレームレートは無制限になります。

フレームカウントは、インフライトの“レンダーフレーム”の最大数です。レンダーフレームとは、GPU がレンダリングを実行する必要があるリソースとバッファのセットです。FrameCount = 1 の場合、CPU は前のレンダーフレームが処理を完了するまで、次のレンダーフレームを構築しません。つまり、CPU と GPU が並列に実行するためには、FrameCount >= 2 でなければなりません。

最大フレーム・レイテンシーと“待機可能オブジェクト”によるレイテンシーの軽減方法

レイテンシーとは、フレームが生成されてから画面に表示されるまでの遅延時間です。そのため、一定間隔 (vsync) のディスプレイ・システムでレイテンシーを最大化するには、フレーム生成をできるだけ遅らせる必要があります。

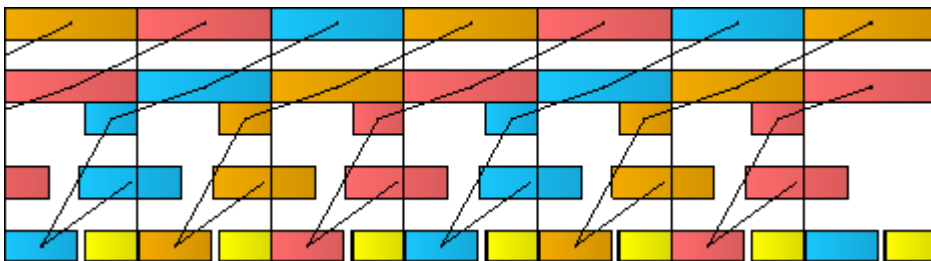
キューにある操作の最大数を最大フレーム・レイテンシーと呼びます。この制限に達した後にアプリケーションがキューに操作を追加しようとすると、Present() はキュー内のフレームの 1 つが表示されるまでキューへの追加をブロックします。

Present 関数でのブロックは、フレーム生成とフレーム表示の間に発生するため、レンダーレッドがブロックされた分だけフレームのレイテンシーが増えます。このレイテンシーは、“待機可能オブジェクト”を使用することで排除できます。

概念上、待機可能オブジェクトは、最大フレーム・レイテンシーに初期化され、現在のキューから操作が削除されると通知を受け取るセマフォと考えることができます。アプリケーションがレンダリングする前にセマフォへの通知を待機する場合、キューは一杯ではなく (Present はブロックしないため)、レイテンシーは発生しません。

最適な引数の組み合わせ

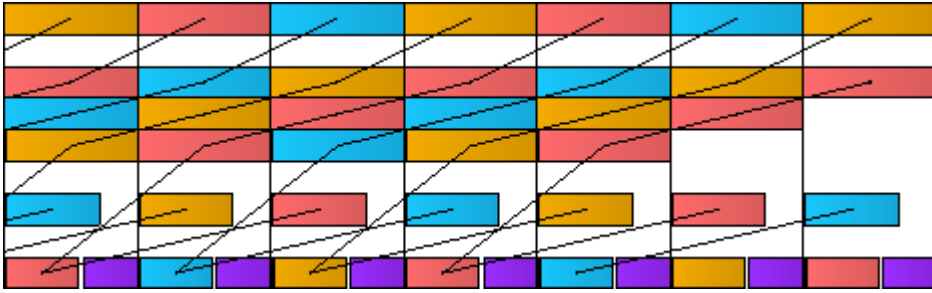
検証の結果、要件に応じて 3 つの最適な値が分かりました。以下がゲームに最適な引数の組み合わせです。



ゲームモード

- vsync 有効
- 3 バッファ、2 フレーム
- 待機可能オブジェクトを使用、最大フレーム・レイテンシー 2

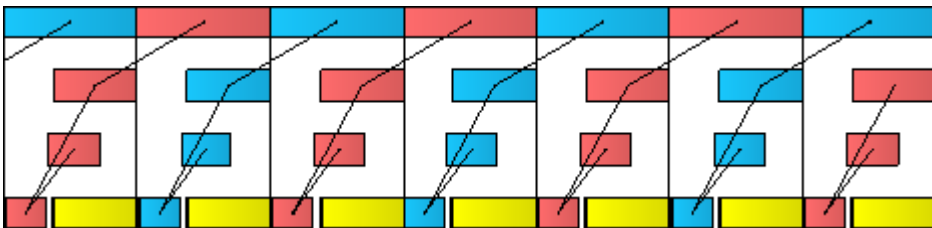
ゲームモードは、レイテンシーとスループットのバランスが良いモードです。



クラシック・ゲーム・モード

- vsync 有効
- 3 バッファ、3 フレーム
- 待機可能オブジェクトは使用しない

これは、D3D11 ではトリプルバッファにより暗黙に行われていたため “クラシック” と呼びます。クラシック・ゲーム・モードはスループットを優先します。追加のフレームをキューに保持することで、変動に効率良く対応できますが、レイテンシーが増えます。



最小レイテンシー

- vsync 有効
- 2 バッファ、1 フレーム
- 待機可能オブジェクトを使用、最大フレーム・レイテンシー 1

VR スタイルの vsync 高速化手法を使用しない、最小レイテンシーを提供します。アプリケーションが vsync をミスすると、フレームレートはすぐにリフレッシュの 1/2 に低下します。CPU と GPU は並列ではなく、シリアルに動作します。

アプリケーション・バージョン

ソースコードには、Windows® 10 ユニバーサル・アプリとしてサンプルをビルドするためのプロジェクト・ファイルが含まれています。Direct3D® コードとの違いは、CreateSwapChainForHWND の代わりに CreateSwapChainForCoreWindow を呼び出していることです。

自分でビルドせずに、ビルド済みのアプリケーションを試したい場合は、Windows® ストアページから入手できます: <https://www.microsoft.com/store/apps/9NBLGGH6F7TT> (英語)。

参考文献

1 - "DXGI Flip Model": <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/hh706346%28v=vs.85%29.aspx> (英語)

2 - "DXGI 1.3 スワップ チェーンによる遅延の減少": <https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/apps/dn448914.aspx>

3 - DirectX 12: Presentation modes in Windows 10: <https://www.youtube.com/watch?v=E3wTajGZOsA> (英語)

4 - DirectX 12: Unthrottled Framerate: <https://www.youtube.com/watch?v=wn02zCXa9IU> (英語)

Microsoft、Direct3D、DirectX、および Windows は、米国 Microsoft Corporation の、米国およびその他の国における登録商標または商標です。