

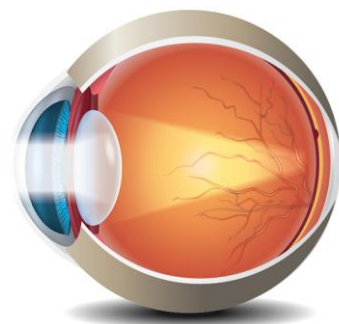
波長掃引光源コヒーレンス断層撮影 (SS-OCT)



波長掃引光源コヒーレンス断層撮影法 (SS-OCT) は、医療および産業用途の両方で使用される非侵襲性の干渉画像化技術です。最終用途の例としては、眼科 (眼疾患の診断と治療)、産業欠陥検査、生体内癌画像化などがあります。

SS-OCT システムは、掃引 (変化する) 波長のレーザー光を繰り返し放射する掃引光源レーザーを使用します。1 回の掃引は A-スキャンと呼ばれ、たとえば目の動きから生じる不要なアーティファクトを抑えながら広いスキャン領域をサポートするには、高いスキャン速度が望まれます。複数の A-スキャンが異なる場所で実行され、それぞれ B-スキャンと C-スキャンと呼ばれるスライス (2D) スキャンまたはボリューム (3D) スキャンが生成されます。

既存の SS-OCT システムは、通常、1060nm または 1310nm の中心波長で動作し、100~400kHz の範囲の A-スキャンレートをサポートします。レーザーソースには、デジタルのトリガー入力に接続された A-スキャン トリガー出力が含まれていることがよくあります。



波数と k クロック :

掃引光源レーザーの波長は、各 A-スキャン内で増減します。たとえば、波長は 1010nm から 1110nm まで 4096 ステップで変化します。ステップサイズは非線形で、波長とともに増加 (または減少) します。特定の波長は、いわゆる波数 (k で示される) によって識別され、多くのレーザーは k クロックまたは k トリガーと呼ばれる出力信号を提供します。このクロックは、マッハツェンダー干渉計 (MZI) を使用して作成されることが多く、デジタルによって波長ごとに 1 つのサンプルを取得するために使用されます。非線形であるため、k クロック周波数は A-スキャン中に変化し、たとえば 400MHz から 600MHz の周波数に及ぶことがあります。

直接クロッキングと k クロックの再マッピング (リサンプリング) :

一部の SS-OCT システムでは、k クロックをデジタルの外部クロックとして利用しますが、このアプローチには多くの欠点があります。

- 高性能デジタルのアナログ-デジタルコンバータ (ADC) には、高品質 (低ジッタ) のクロックソースが必要です。k クロックはこの要件を満たしていないため、ADC のアナログ性能が低下します。
- k クロックはノイズやスパイクを示す可能性があり、スキャンの一部で完全にオフになることがあります。

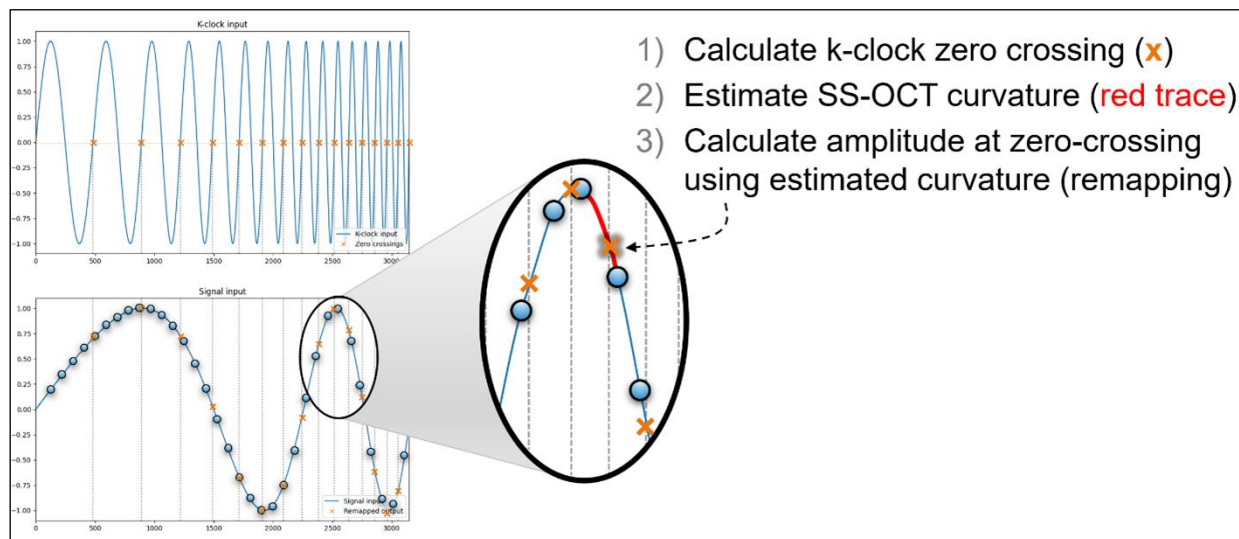
- ADC内のサンプル&ホールド回路は、一定のデューティサイクルのクロックを使用するように設計されています。デューティサイクルが変化すると、ADC出力サンプルが異常になったり、場合によってはデータが失われたりすることがあります。
- ダイレクトクロッキングは、低電圧差動信号 (LVDS) などのパラレルデータインターフェイスを使用する旧世代のADCでのみ可能です。このようなADCは限られたサンプリングレートしかサポートしていないため、A-スキャンレートが制限されます。

より良い方法は、kクロックとOCT信号の両方をデジタイザのアナログ入力に接続することです。これらの信号はADCによって同時にデジタル化され、デジタイザはアナログ取得パフォーマンスを最大化するために内部または外部の安定した高精度クロックを使用します。

レーザーからのA-スキャンおよびB-スキャントリガー出力は、同期のためにデジタイザのトリガー入力にオプションで接続できます。これらのトリガー入力は、最大10MHzのパルス繰り返し周波数のA/B-スキャントリガーレートをサポートします。

kクロックは不均一で、周波数が異なります。

kクロックの再マッピングまたはリサンプリングは、必要なSS-OCTサンプルを抽出するために使用される計算方法です。再マッピングには通常、kクロックのゼロ交差インスタンスでのOCT入力振幅の推定に役立つ補間が含まれます。補間と推定は、デジタイザのオンボードFPGA内でリアルタイムに実行されます。この原理を下図に示します。



Teledyne SP Devices社のリアルタイムk空間リマッピングファームウェアオプション (FWOCT) は現在評価用としてご利用いただけます。詳細はお問い合わせください。

ADQ32 デジタイザで FWOCT を使用した結果 :

- スキャンレート = 200kHz
- k クロック周波数は最大 900MHz
- SS-OCT 信号周波数は最大 900MHz
- FWOCT を使用して FPGA で k 空間の再マッピングを実行、k クロックの立ち上がりエッジを使用して OCT 信号をサンプリング
- Vortex OCT ライブラリを使用して GPU で画像処理を実行
- 平均断面は 500 回の B-スキャンの平均です

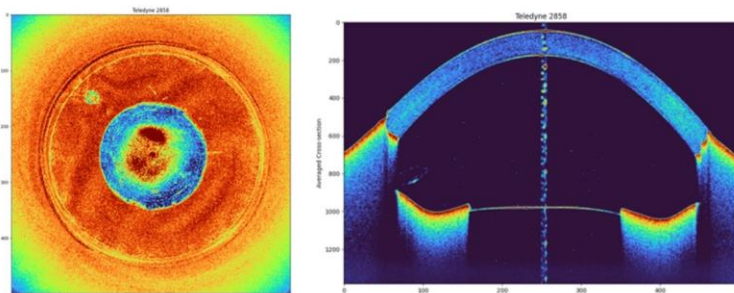


Figure 1. k クロックの立ち上がりエッジを使用した FWOCT での k 空間再マッピングの結果

補間を 1.5 倍にした場合の改善 :

- 1.5x k-clock 補間を使用して FWOCT で FPGA で実行された k 空間の再マッピング
- k クロック補間により OCT サンプリングポイントの数が増え、より深い浸透が可能になります。FFT が長いほど、画像の深さが増します

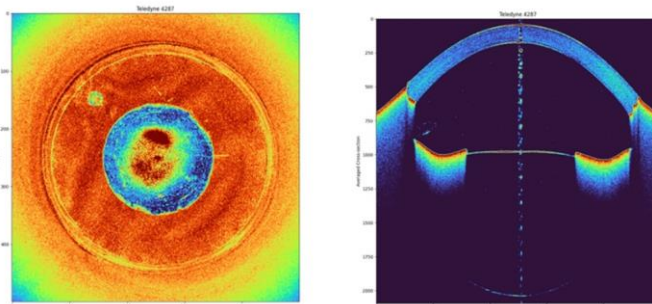


Figure 2. 1.5x k クロック補間を使用した FWOCT での k 空間再マッピングの結果。深度が拡張され、眼の水晶体の後面を見ることができます。

K クロック補間係数は 1.5x に設定され、k クロック期間あたり 1.5 個の再マッピングされた OCT サンプルポイントになります。補間により OCT 信号サンプルポイントの数が増えます。これにより、サンプリングされたデータの周波数コンテンツが増加し、画像の深さが増加します。

TSPD 製のデジタイザクロック対応推奨製品 :

Model	Resolution	Sampling	K-CLK [MHz]	OCT signal [MHz]	FFT size	Background Correction	Dispersion Compensation & Windowing	Output format
ADQ32	12bit	2.5GSPS	4-1000	0-1000	8k	16bit, 8k	16bit, 8k	16bit
ADQ33	12bit	1GSPS	1.6-400	0-400	8k	16bit, 8k	16bit, 8k	16bit
ADQ35	12bit	5GSPS	4-2000	0-2000	32k	16bit, 32k	16bit, 32k	16bit
ADQ36	12bit	10GSPS	4-1000	0-1000	8k	16bit, 8k	16bit, 8k	16bit



TELEDYNE SP DEVICES
Everywhereyoulook™

Teledyne SP Devices 社について

Teledyne SP Devices は、世界をリードするモジュール式データ集録および信号生成機器を設計および製造しています。当社の製品は、特許取得済みのキャリブレーションロジック、最新のデータコンバータ、および FPGA テクノロジーを利用して、高いサンプリングレートと分解能の比類のない組み合わせを実現しています。製品には、さまざまなアプリケーション固有の機能と組み込みのリアルタイム信号処理があります。これにより、お客様はパフォーマンスのボトルネックを克服し、製品化までの時間を短縮し、幅広いアプリケーション分野でシステムレベルの利点を得ることができます。SP Devices の製品は、分析機器、リモートセンシング、科学機器、医療用画像など、さまざまな業界で採用されています。Teledyne SP Devices 社の詳細については、<https://spdevices.com/>を参照してください。