

ラマン増幅器の実用面

内容

[概要](#)

[背景説明](#)

[共通タイプのラマン増幅器](#)

[原則](#)

[ラマン利得理論](#)

[ノイズ源](#)

[関連情報](#)

概要

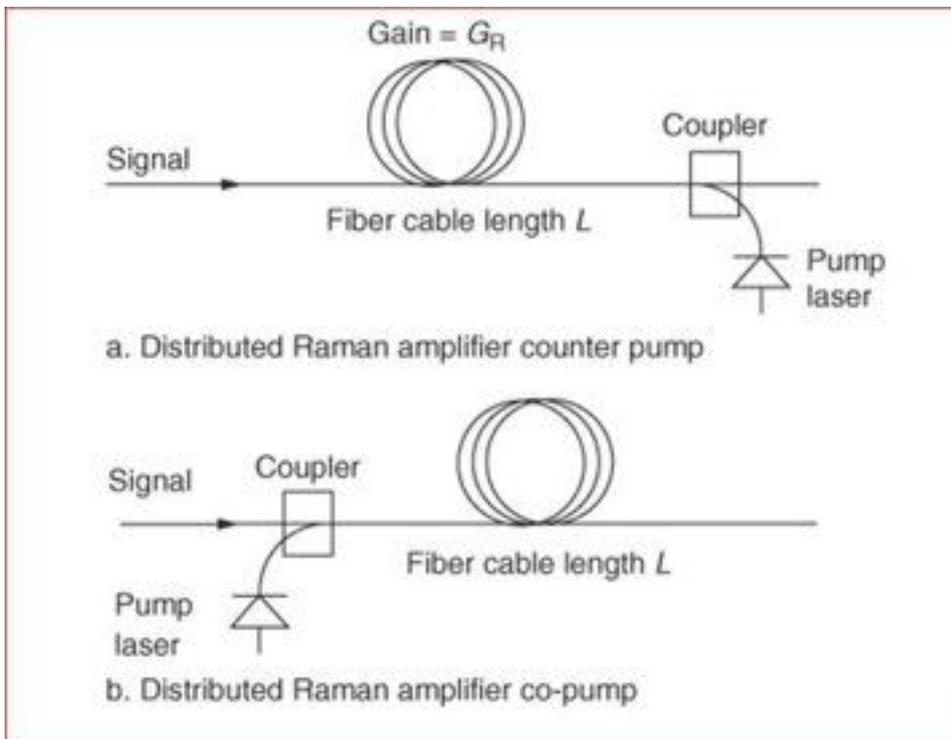
このドキュメントでは、光ネットワークにおけるラマン増幅器の実装の実用的な側面について説明します。Ramanの理解を容易にし、メリット、要件、アプリケーションを提供します

著者：Cisco TACエンジニア、Sanjay Yadav

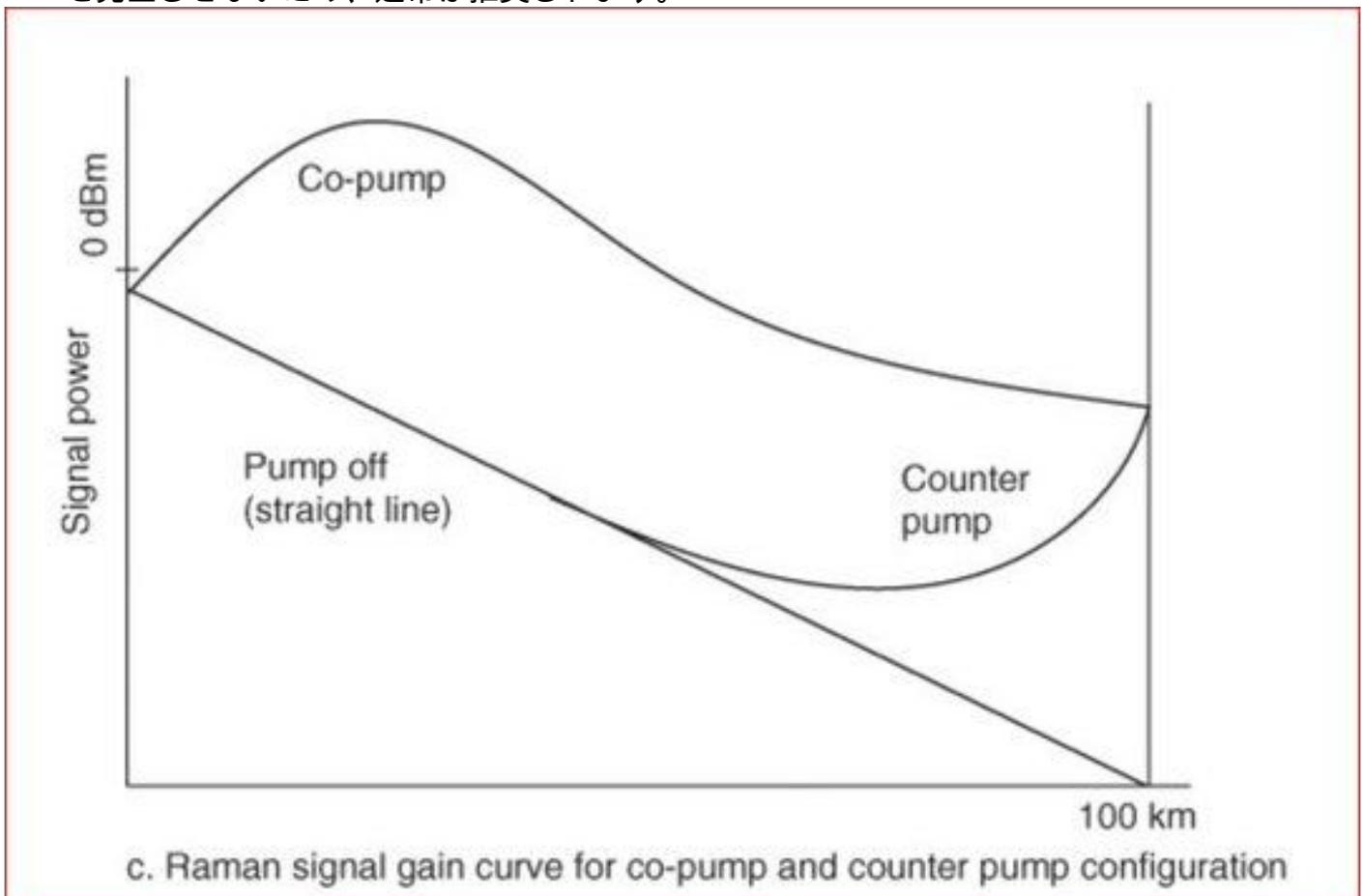
背景説明

1. ラマン増幅器は一般に非常にコストが高く、Erbium Doped Fiber Amplifier(EDFA)(エルビウム・ドープ・ファイバ・アンプ)よりも利得が少ない。そのため、特殊なアプリケーションにのみ使用されます。
2. このアンプがEDFAよりも持つ主な利点は、ノイズが非常に少なく、EDFAほどスパンの光対信号ノイズ比(OSNR)が低下しないことです。
3. 一般的な用途はEDFAスパンで、追加のゲインが必要ですが、OSNRの制限に達しています。
4. ラマン増幅器を追加してもOSNRに大きな影響を及ぼすことはありませんが、最大20dBの信号利得を提供できます。
5. もう1つの重要な属性は、EDFAの場合と同様に、Cバンドだけでなく、任意のファイババンドを増幅する可能性です。これにより、ラマン増幅器は、O、E、およびS帯域(低密度波長分割多重(CWDM)増幅アプリケーション)の信号をブーストできます。
6. この増幅器は、非線形効果である誘導ラマン散乱(SRS)の原理に基づいて動作します。
7. 高出力ポンプレーザーとファイバカプラ(光サーキュレータ)で構成されています。
8. 増幅媒体は、分散型ラマン増幅器(DRA)におけるスパンファイバである。
9. Distributed Feedback(DFB)レーザーは、ラマンカードの安全機構として使用される狭スペクトル帯域幅です。DFBは、ファイバの長さ中存在するバックリフレクションをチェックするためにパルスを送信します。ハイバックリフレクション(HBR)が見つからない場合、ラマンは送信を開始します。
10. 通常、HBRは最初の20 kmまでの最初の数kmのファイバでチェックされます。HBRが検出されると、Ramanは動作しません。OTDR経由で問題エリアを見つけたら、ファイバのアクティビティが必要になります。

共通タイプのラマン増幅器



- 塊状又は離散型ラマン増幅器は、信号増幅が発生する十分に長いファイバのスパールを内部に含む。
- DRAポンプレーザは、カウンタポンプ（リバースポンプ）またはコポンプ（フォワードポンプ）またはコンフィギュレーションのいずれかでファイバのスパンに接続されます。
- カウンタポンプの設定は、図に示すように、ファイバスパンの開始時に過剰に高い信号電力が発生させないため、通常は推奨されません。



コポンプ構成の利点は、ノイズが少なくなることです。

原則

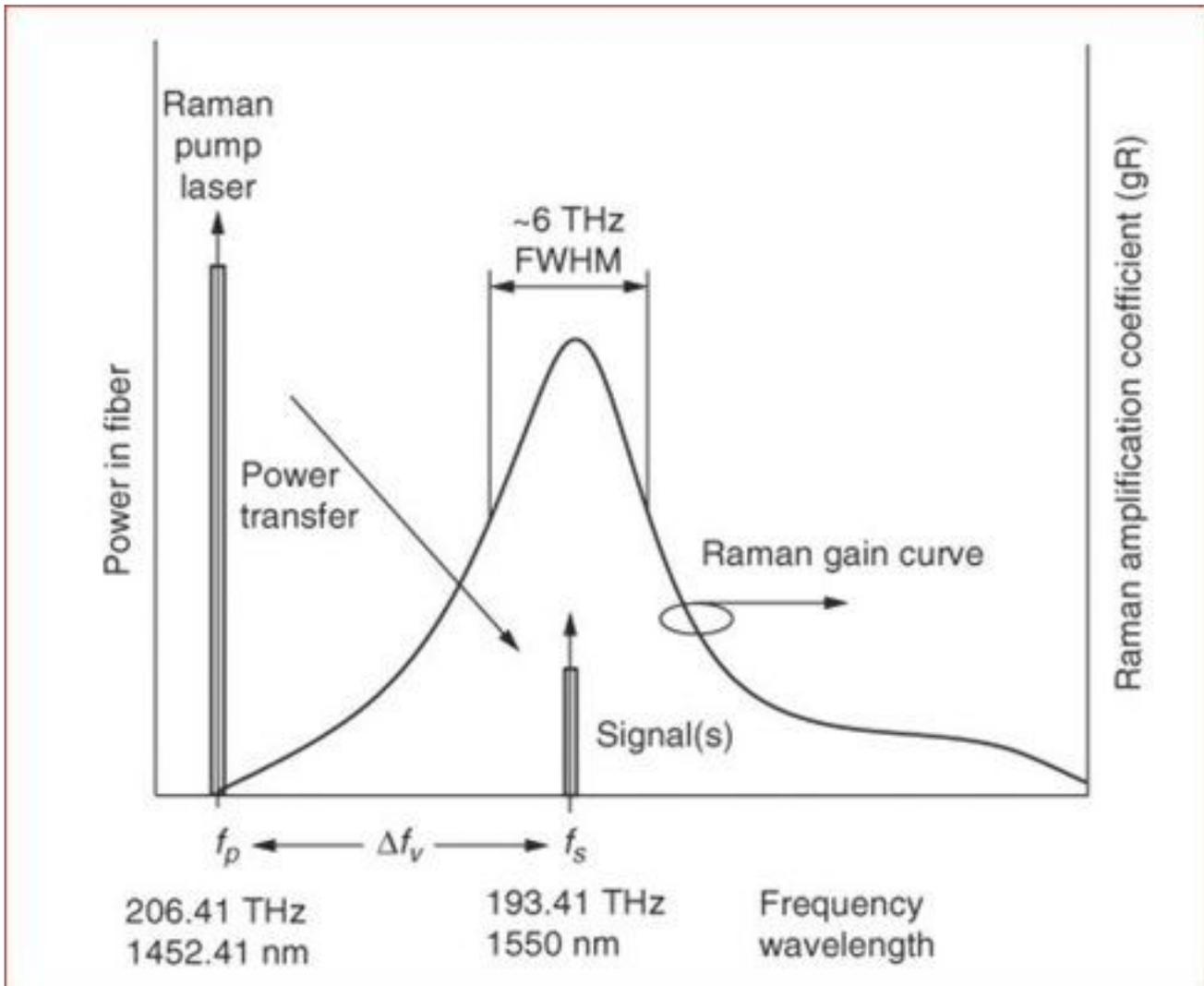
ポンプレーザー光子は、ファイバ内で伝搬すると、衝突し、ファイバ分子または原子によって吸収されます。これにより、分子または原子がより高いエネルギーレベルに励起されます。高いエネルギーレベルは安定した状態ではないので、速やかに減衰して中間エネルギーレベルを下げ、低い周波数で任意の方向にエネルギーを光子として放出します。これは自発ラマン散乱またはストークス散乱と呼ばれ、ファイバ内のノイズに寄与します。

分子は中間エネルギー振動レベルまで減衰するので、分子励起時の初期受信エネルギーよりもエネルギーの変化が少ない。この励起レベルから中間レベルへのエネルギーの変化は、 $\Delta f = \Delta E / h$ からの光子周波数を決定します。これはストークス周波数シフトと呼ばれ、ラマン利得と周波数曲線の形状と位置を決定します。中間レベルから地上レベルに留まるエネルギーは、繊維中の分子振動（フォノン）として放散される。より高いエネルギーレベルの範囲が広いので、ゲインカーブのスペクトル幅は約30THzです。

誘導ラマン散乱の際、信号光子は周波数ゲイン曲線スペクトルを共伝搬し、ストークス波からエネルギーを取得し、信号増幅を引き起こす。

ラマン利得理論

ラマン利得曲線のFWHM幅は約6THz(48on)であり、ポンプ周波数下で約13.2THzのピークを有する。これは、信号増幅の有用なスペクトルです。したがって、1550 nmの範囲の信号を増幅するには、ポンプレーザー周波数は、約1452 nmの信号周波数より13.2THz低くすることが必要です。



複数のポンプレーザーを用いて、並べてゲイン曲線を形成し、全ラマンゲイン曲線を広げる。

$$f_p = f_s + \Delta f_v$$

ここで、 f_p =ポンプ周波数、THz f_s =信号周波数、THz Δf_v =ラマンストークス周波数シフト、THz。

ラマン利得は、ファイバの有効長に分布する純信号ゲインです。ポンプレーザー出力、ファイバ有効長、ファイバ面積の機能です。

分散補償ファイバなど、有効面積が小さいファイバの場合は、ラマン利得が高くなります。また、レーザーポンプ波長からの信号分離に応じて利得が決まり、オン/オフ利得として測定されます。これは、ポンプレーザーのオン/オフに対する出力信号パワーの比率として定義されます。ほとんどの場合、ラマンASEノイズは、ポンプレーザーをオンにした状態での測定信号値にほとんど影響しません。ただし、測定スペクトル幅が大きい場合に発生するノイズが大きい場合、正確なオン/オフゲイン値を得るために、信号オフで測定したノイズ電力をポンプオン信号電力から減算する。ラマンのオン/オフゲインは、ラマン利得と呼ばれることがよくあります。

$$G_{R.on/off} = 10 \log \left(\frac{P_s(\text{pump.on,signal.on}) - P_{\text{noise}}(\text{pump.on,signal.off})}{P_s(\text{pump.off,signal.on})} \right)$$

ノイズ源

DRAスパンで作成されるノイズは次のとおりです。

- 増幅自然排出(ASE)
- 二重レイリー散乱(DRS)
- ポンプレーザー雑音

ASEノイズは、自発ラマン散乱による光子発生に起因する。

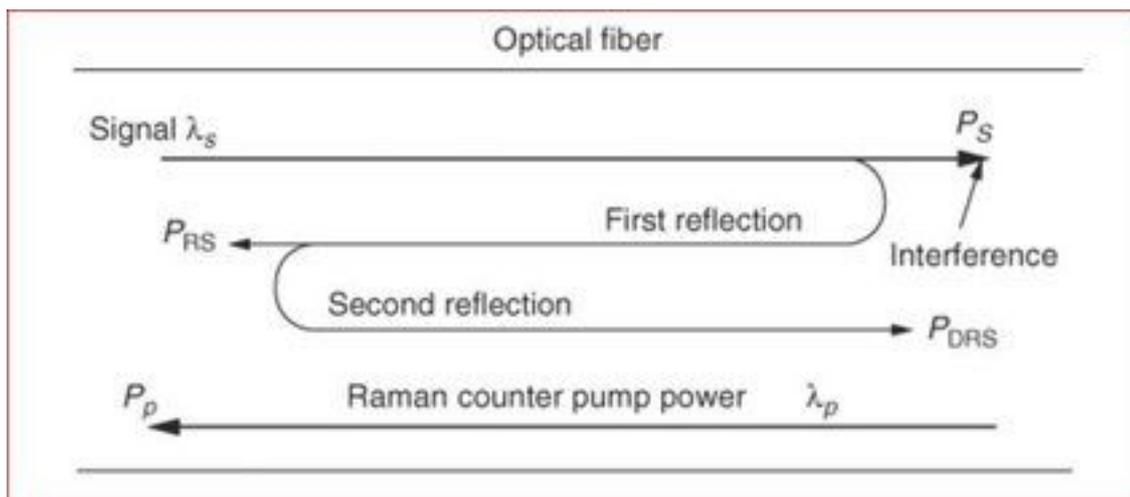
DRSノイズは、レイリー散乱に起因する2回の反射信号電力が増幅されて、元の信号にクロストークノイズとして干渉すると発生します。

最も強い反射は、コネクタと不適切なスプライスから発生します。

通常、DRSノイズはASEノイズよりも小さいですが、複数のラマンスパンでは加算できます。この干渉を減らすために、Ultra Polish Connectors(UPC)またはAngle Polish Connectors(APC)を使用できます。レーザーダイオードの後に光アイソレータを設置して、レーザーへの反射を減らすことができます。また、OTDRトレースをスパンすると、修復のための高反射イベントを見つけるのに役立ちます。

カウンタポンプのDRA設定により、15 dB以上の信号利得に対するOSNRパフォーマンスが向上します。通常は160 dB/Hzを超えるRINで非常に低いため、ポンプレーザーのノイズは問題になりません。

ノンリニアカー効果は、高いレーザーポンプパワーによるノイズにも寄与します。DRSノイズが低いファイバの場合、ASEによるラマンノイズ値はEDFAノイズ値よりもはるかに優れています。通常、ラマンのノイズ値は-2 ~ 0 dBで、これはEDFAのノイズ値よりも約6 dB優れています。



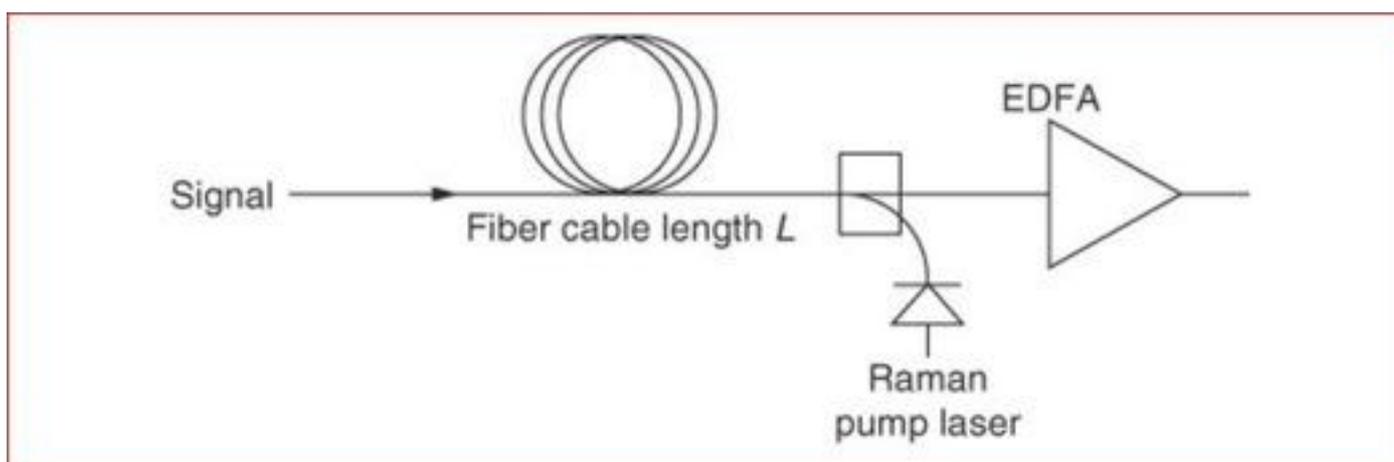
ラマン増幅器のノイズ係数は、増幅器の出力でOSNRに増幅器の入力でOSNRと定義されます。

$$F_R = \frac{\text{OSNR}_{\text{in}}}{\text{OSNR}_{\text{out}}}$$

$$\text{NF}_R = 10 \log(F_R)$$

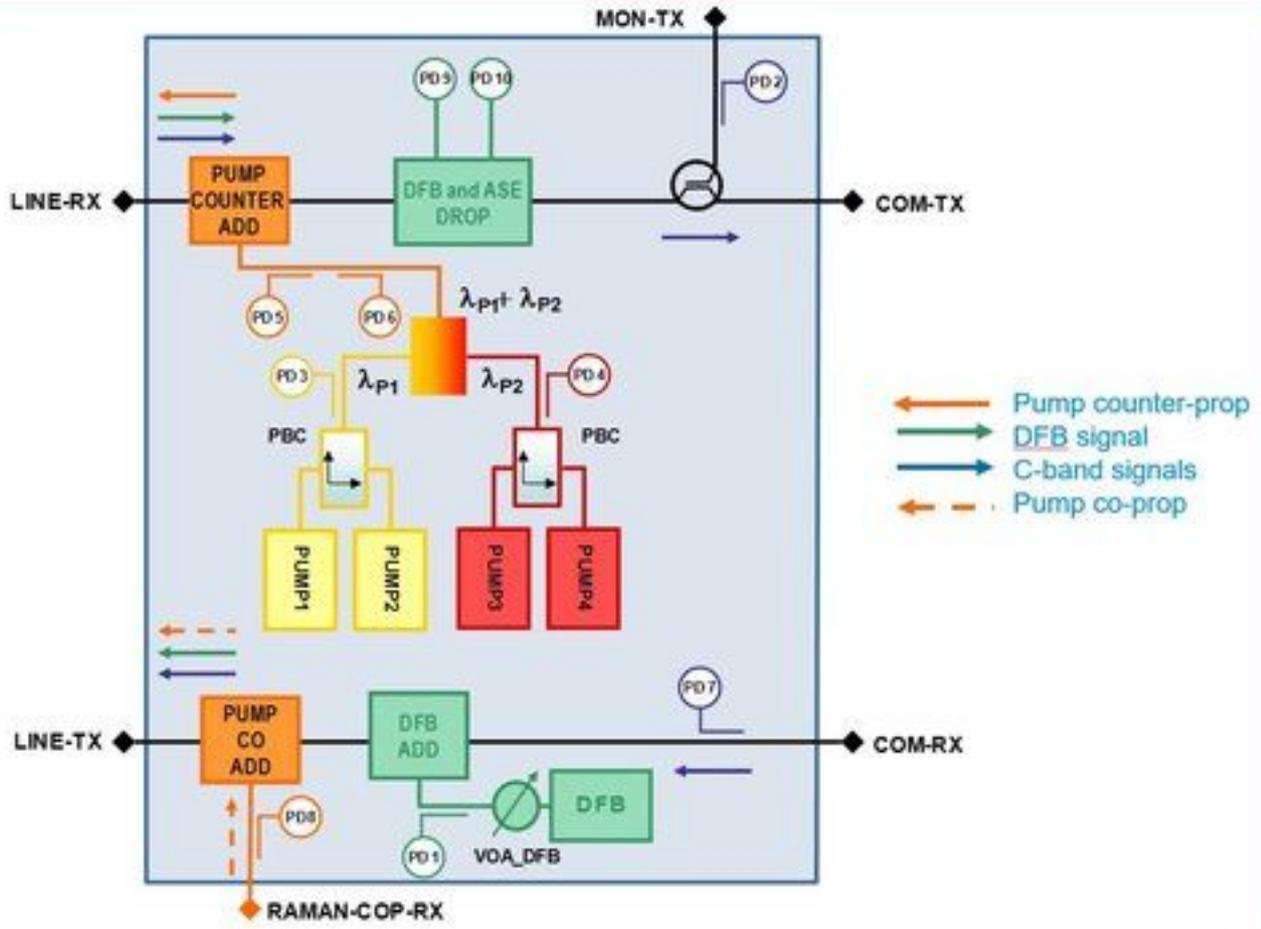
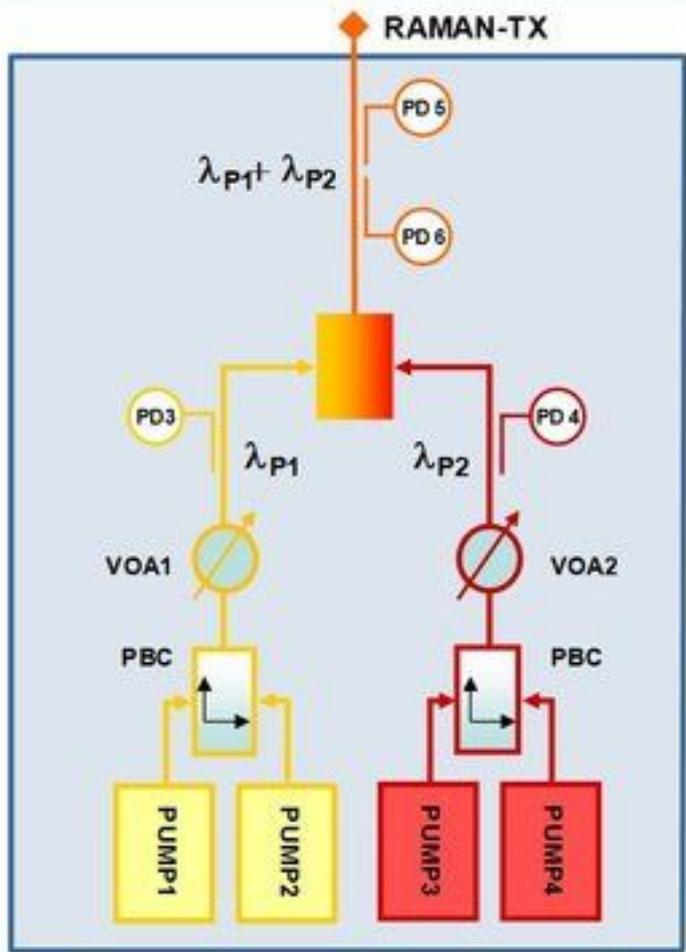
ノイズの図は、dBバージョンのノイズ係数です。

DRAノイズと信号ゲインは、スパンファイバの有効長に分散されます。

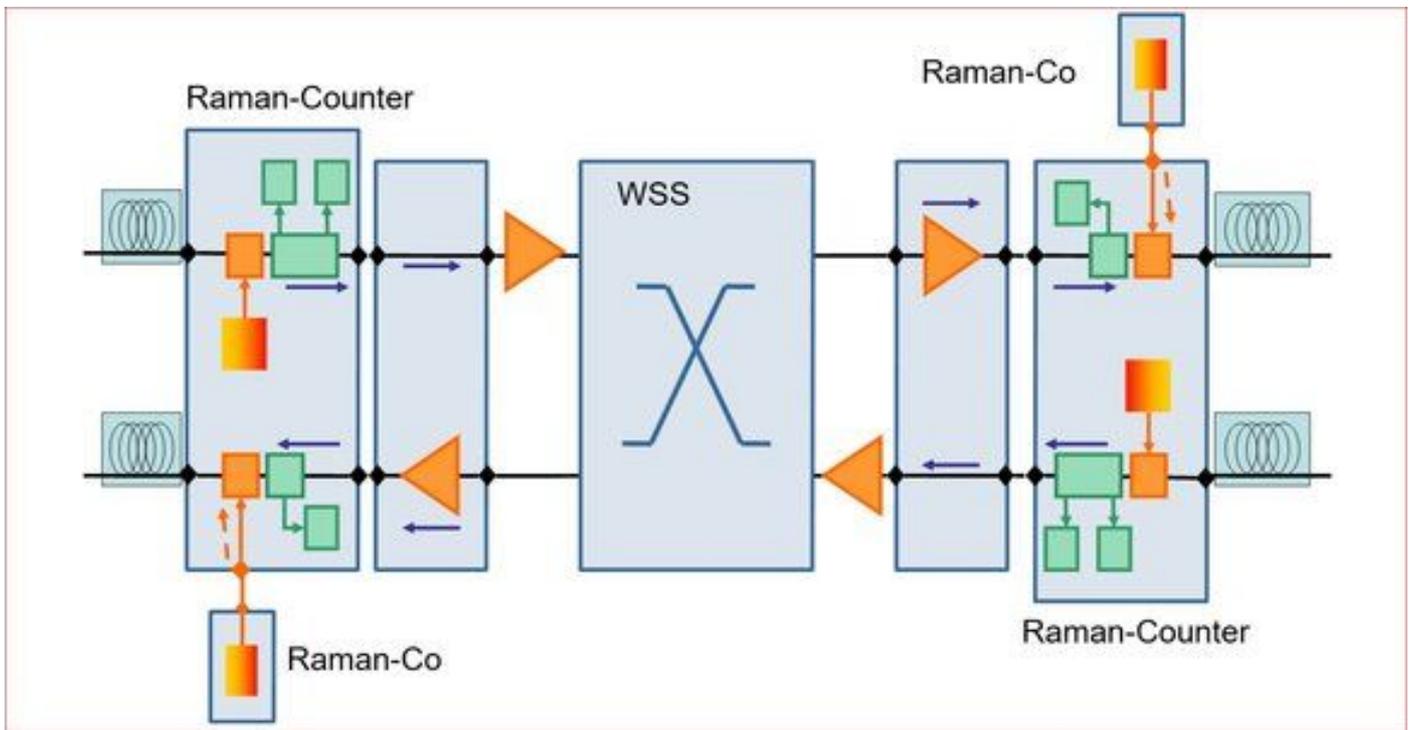


カウンタポンプ分散ラマン増幅器は、スパン距離を延長するためにEDFAプリアンプと組み合わせることがよくあります。このハイブリッド構成により、OSNRが6dB向上します。これにより、スパン長が大幅に拡張されたり、スパン損失バジェットが増加します。カウンタポンプDRAは、非線形効果を低減し、チャネル発射電力を低減するためにも役立ちます。

[共伝搬および対向伝搬ラマン増幅器の機能ブロック図](#)



EDFAおよびラマン増幅器のフィールド導入アーキテクチャ：



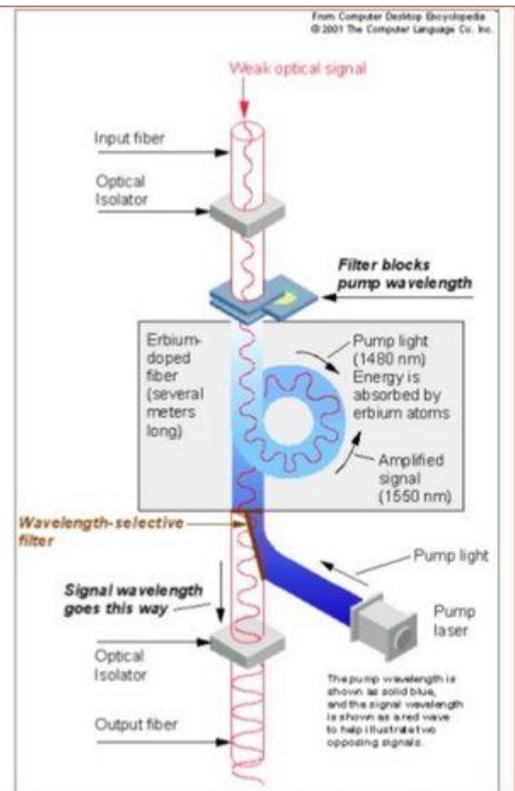
興味深い点：

Simplified Explanation on Raman Amplification:

Based on stimulated Raman scattering (SRS) effect, the weak light signal gets amplified while passing through a Raman gain medium (**the fiber**) in presence of a **strong pump laser**. It's the power transfer from lower to higher wavelengths.

EDFA vs. Raman Amplifier:

A Raman optical amplifier is not an amplifier “in a module”; instead, the optical amplification relies on the transmission “**fiber**” itself. In other words, whoever is deploying a Raman amplifier means he/she is building the amplifier on-site basically with a **high-power laser pump + existing fiber (any type of fiber)**!



関連情報

- Planning Fiber Optic Networks by Bob Chomycz
- https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-658538.html
- [テクニカル サポートとドキュメント – Cisco Systems](#)