



5Gサービスと同期の重要性

はじめに

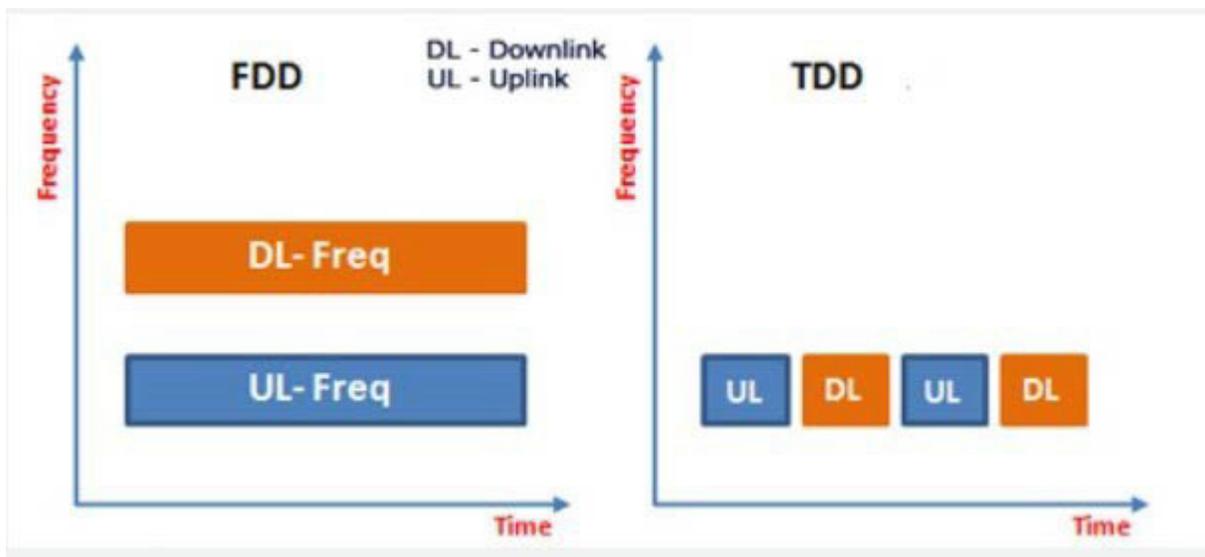
著者

Jim Olsen - Solutions Architect, Microchip FTS

Italo Tertuliano - Sr. Embedded Solutions Engineer, Microchip FTS

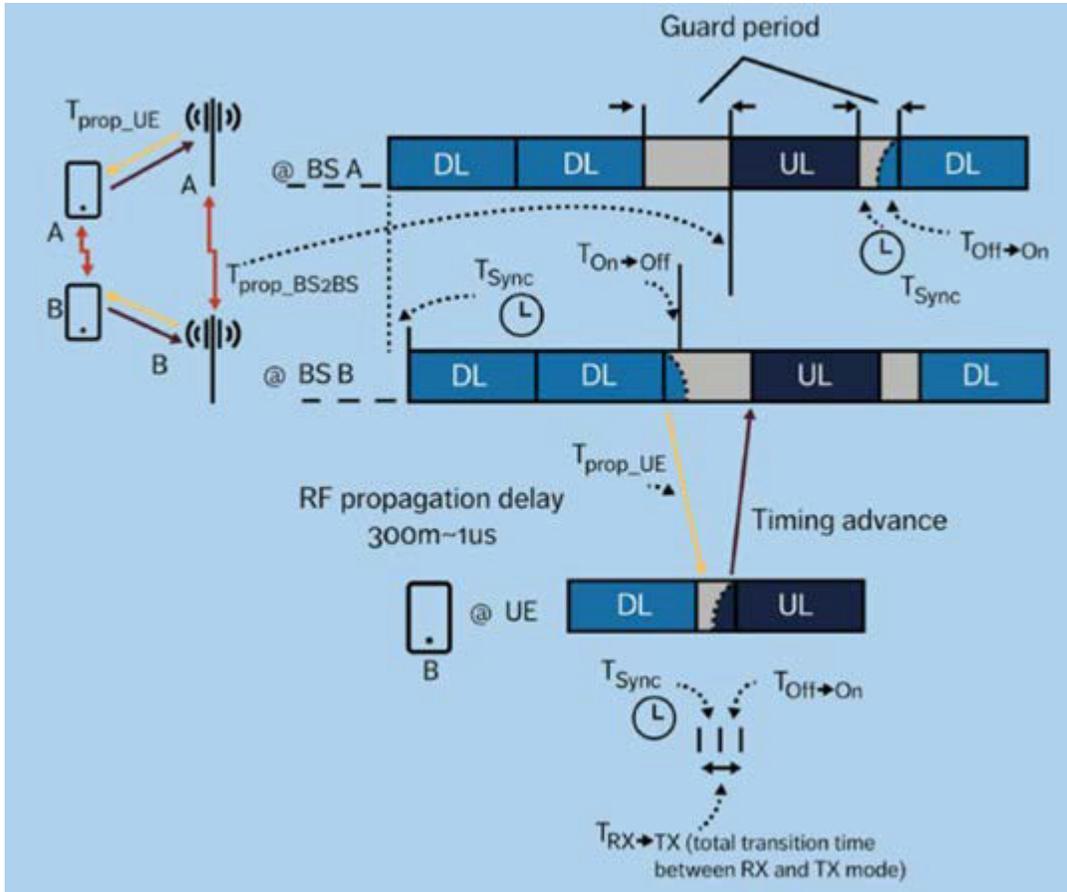
5Gネットワークの位相同期はガードバンドのサイズとRF信号の干渉(同一チャンネル干渉)に直接関連しています。

5G無線にはアップリンクとダウンリンクのそれぞれが同一の周波数帯を使うTDD(時分割複信)技術が使われます。送信時間間隔にはガードバンドと呼ばれる無音時間が設けられます。

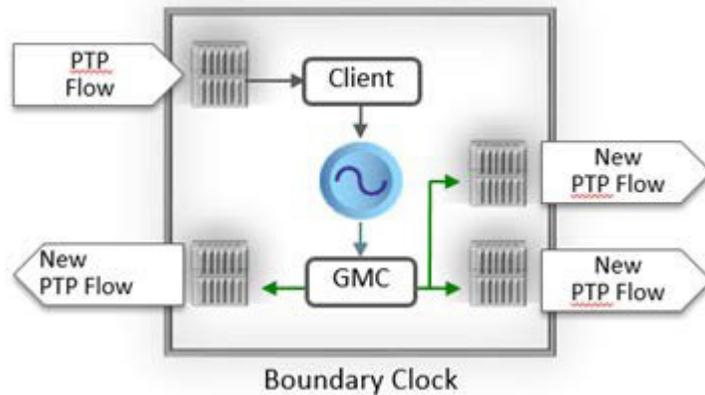


ガードバンドは情報を送信するタイムスロットと受信するタイムスロットが重ならないようにするために実装されています。このガードバンドがないと、周波数がオーバーラップして隣接するタイムスロット チャンネルとの間に干渉が生じます。

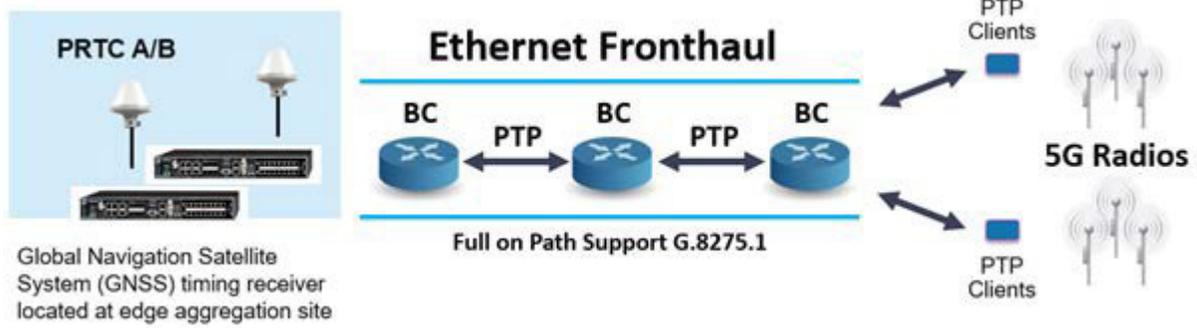
5Gではガードバンドは可能な限り小さくする必要があります。それで確保できたスペクトルでより多くの帯域幅を提供してより多くのデータを伝送できるようにするためです。したがって、タイミング位相アラインメントは非常に厳しく、タイミング(位相)が正確でないと干渉の問題が発生します。最大の問題は、同スペクトルで動作する同一のクラスタまたはエッジクラスタ内の無線機間の干渉です。無線機間のエア インターフェイスの位相アラインメントがバジェット($\pm 1.5 \mu\text{s}$)を超えていて、タイミング アラインメント エラーによって各無線機が正しい時間間隔以外に送信を行った場合、同一チャンネル干渉と呼ばれる干渉が発生し、全てのクラスタが5Gカバレッジをシャットダウンします。



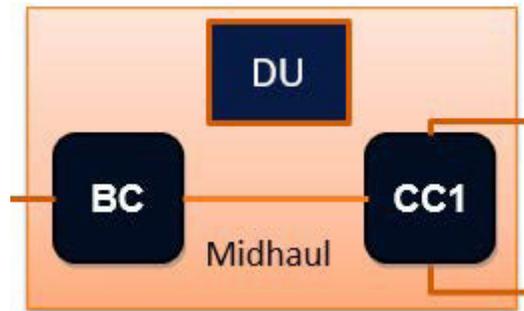
伝送ネットワークとクラスタ内の全てのPTPクライアントにPTPを分配する方法について、フルオンパス サポート アーキテクチャを使ってT-BC (Telecom-Boundary Clock)に基づいてこの役割を果たす新しいネットワーク要素があります。



ITU-T G.8275.1に基づくフルオンパス サポート アーキテクチャでは、全てのT-BCスイッチが、最終クライアント デスティネーションである無線ユニットへの共通クロックとして、PTP伝送の一部になります。



ここで、T-BCの機能には共通クロックと呼ばれる重要なコンポーネントがあります。新しいT-BCはDU (Distributed Unit)機能を共有する事もできます。

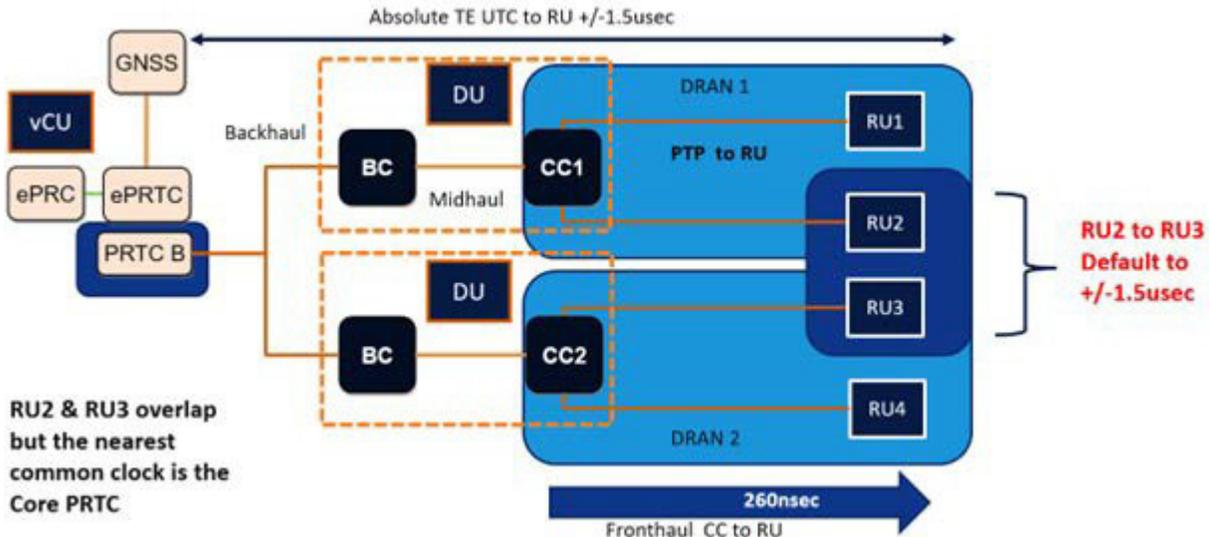


目次

はじめに	1
1. 5G位相誤差バジェット	5
2. 位相同期を必要とする5Gサービス	7
2.1 キャリア アグリゲーション	7
2.2 Massive MIMOとビーム フォーミング	8
2.3 レイテンシ	9
3. まとめ	11
4. 改訂履歴	12
Microchip社の情報	13
Microchip社ウェブサイト	13
お客様への通知サービス	13
お客様サポート	13
Microchip社のデバイスコード保護機能	13
法律上の注意点	14
商標	14
品質管理システム	15
各国の営業所とサービス	16

1. 5G位相誤差バジェット

5G TDD技術は最大時間誤差(UTCへのエア インターフェイス上のRU間で $\pm 1.5 \mu\text{s}$)で動作するよう設計されています。この干渉がサービスに与える影響はタイミング オフセットの大きさに左右されます。例えば、無線機AのUTCとの誤差が $\pm 1 \mu\text{s}$ で無線機BのUTCとの誤差が $\pm 2 \mu\text{s}$ の場合、5Gサービスに影響を与え、5Gカバレッジの中断を引き起こします。

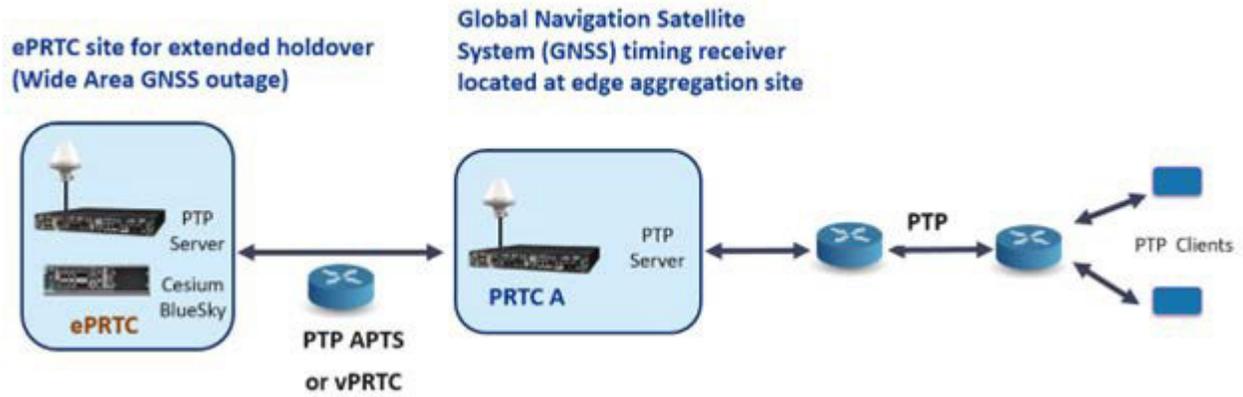


タイミング誤差の影響は、バジェット外の時間誤差を持つ無線機のものに留まらず、隣接する無線機との干渉につながります。そのため、位相同期タイミングエラーによる損害の範囲はソースノードよりはるかに大きくなります。

無線機内のGNSSレシーバの代わりにPTP GMC(グランドマスター クロック)を使ったネットワーク ベースのタイミング サービスを採用する技術上の主な動機は、干渉の緩和に関連しています。

内蔵GNSSレシーバで動作する5G無線クラスタを運用している場合、何らかの理由でGNSSレシーバに障害または侵害が発生した場合、即座にその無線機のサービスを停止しなければ、その無線機は他の無線機に干渉し始めます。なぜなら、コスト削減のために無線機は性能の低いオシレータで設計されているためです。さらに、この種のネットワーク要素は設計の際にホールドオーバー性能(ソースが利用できなくなった後も同期入力の品質を一定期間保つ能力)を考慮していません。また、TAE 130 nsの要件を満たす事ができないため、バンド内連続CA(キャリア アグリゲーション)の将来的な展開の妨げにもなります。

PTPプロトコルを使ったネットワーク ベースのタイミング サービスであれば、全ての無線機がPTP GNSSソースクロックに接続され整合されます。ソースクロックのPRTC(プライマリ リファレンス タイムクロック)GNSSレシーバに障害が発生した場合、全ての無線機がPRTCソースクロックと同じレートで同じ方向にドリフトします。GNSS PRTCソースクロック(出力信号をUTCに対してかなり長い期間ホールドするように設計されている)が ± 1.5 マイクロ秒のUTCアラインメント ウィンドウの外にドリフトしない限り、これらの無線機に干渉の問題は発生しません。また、別のソースクロックに接続された、カバレッジが重なる無線機では大きなオフセットが発生し、干渉の問題が浮上します。

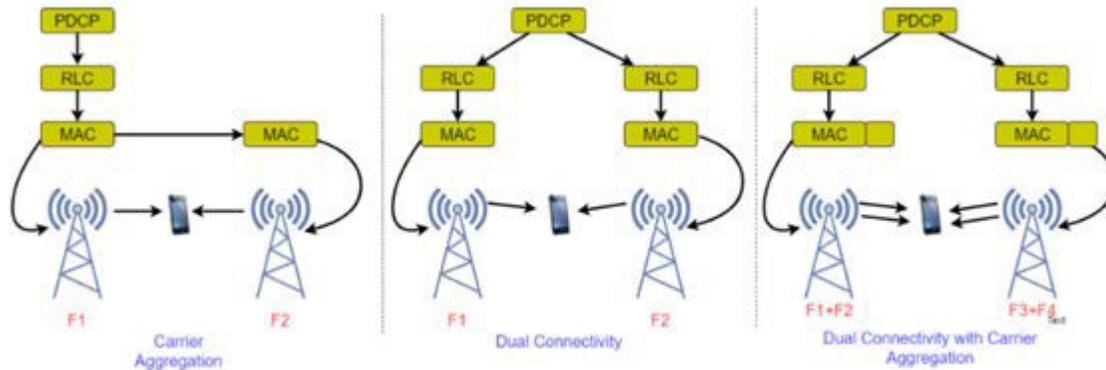


通信事業者がMicrochip社のUTCとの長時間(43時間)同期を保証するルビジウム ホールドオーバー オシレータ内蔵のTP4100 GNSS PRTCソースクロックGMCを使っているユースケースでは、GNSSの中断または障害は、ネットワークベースのPTPタイミングサービスを別々のGNSS PRTCソースクロックから受信している無線機または無線クラスタのオーバーラップに影響を与えません。

2. 位同期を必要とする5Gサービス

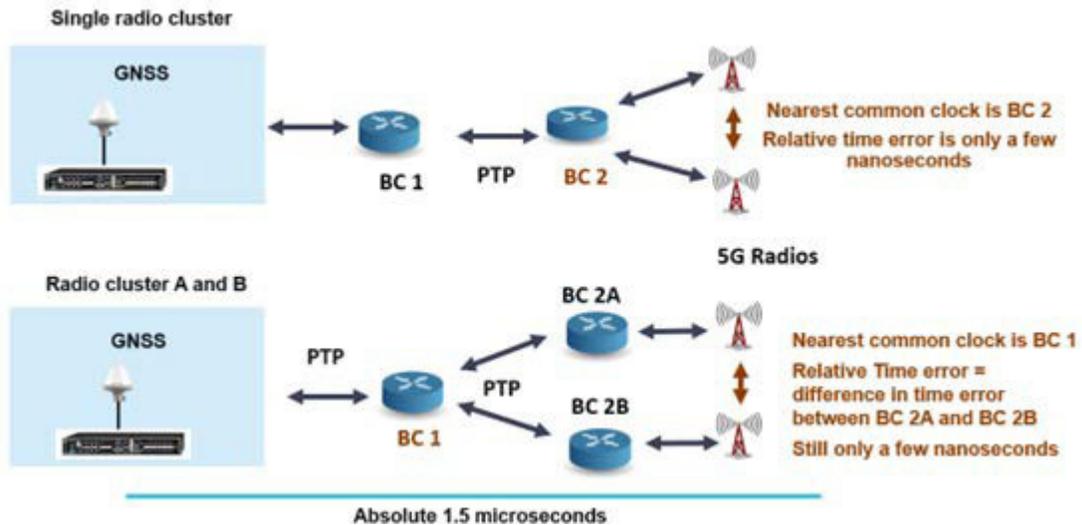
2.1 キャリア アグリゲーション

位同期のもう1つの重要な側面は、5Gのキャリア アグリゲーションで効率的に動作するために必要な相対的時間誤差です。

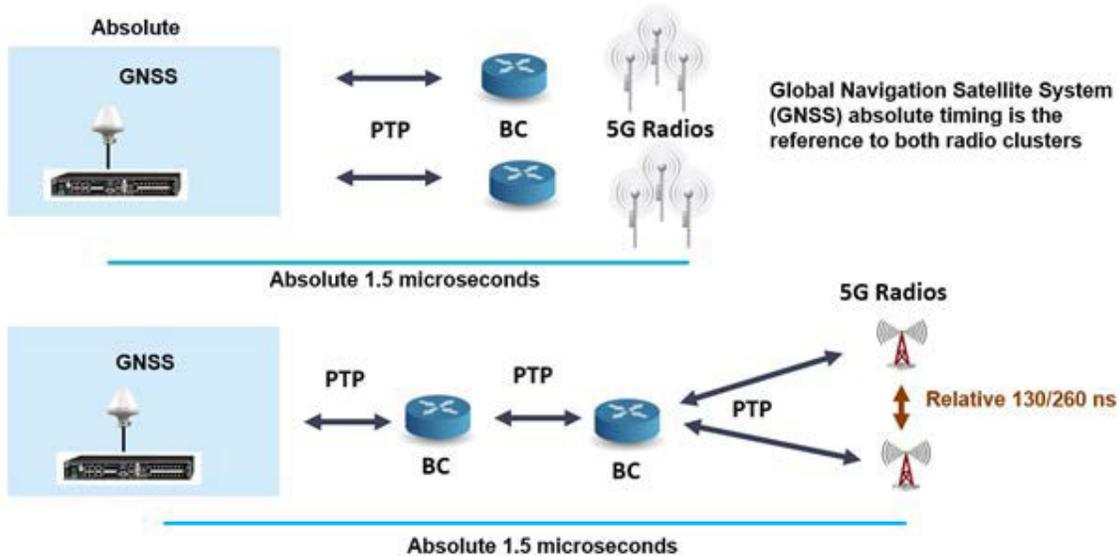


この技術では、3GPPは無線機間の最大相対時間誤差を130 ns (FR1)または260 ns (mmWaves) (FR2)とする事を求めています。このように制約がきわめて厳しいため、3GPPではフルオンパス サポート (バウンダリ クロック)と共にネットワーク ベースのPTP (G.8275.1プロトコル) タイミング サービスを使う事も推奨しています。

1. GMCを採用すると、クラスタ内の全ての無線機は、初期相対時間誤差が0である同一のクロックソースを基準とする事になります。



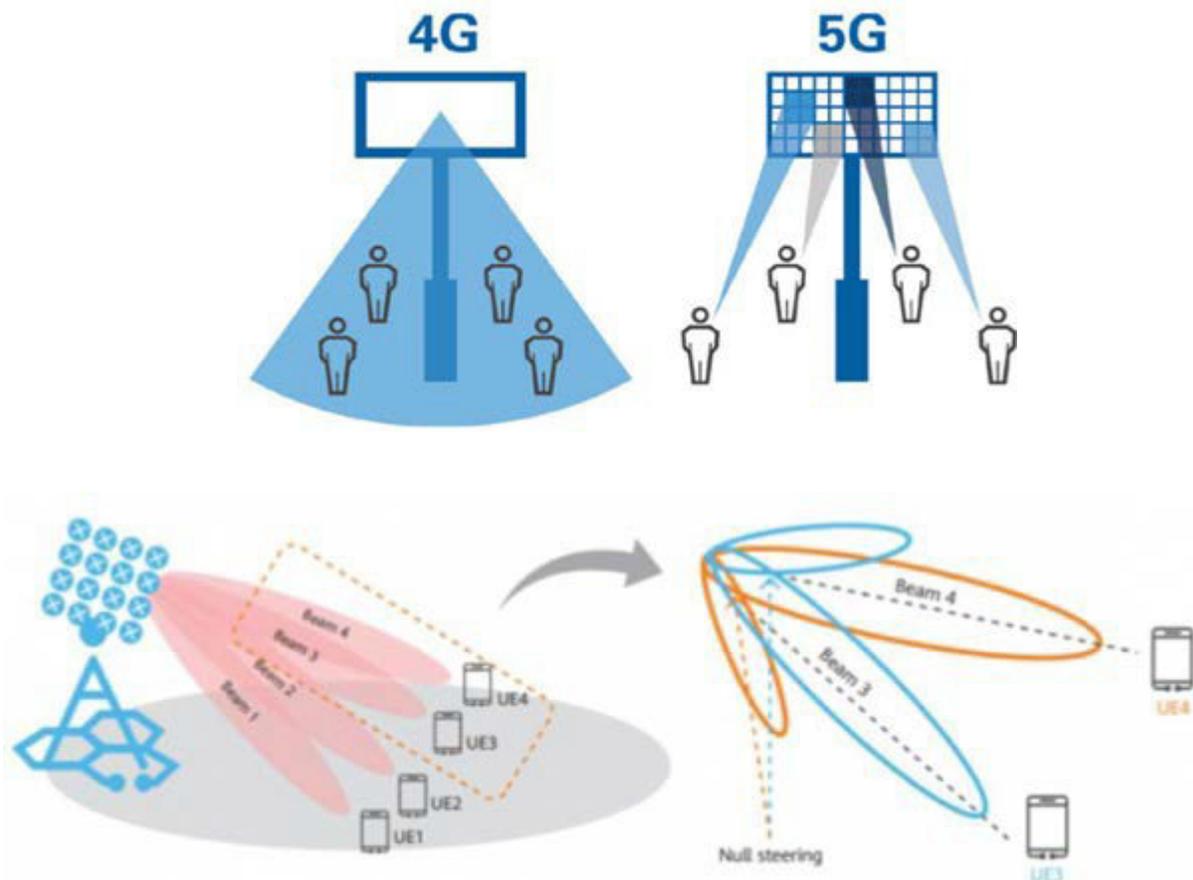
2. セルサイトのGNSSのみの実装シナリオ(どこでもGNSS)は技術的にうまくいきません。なぜなら、これらのデバイス(組み込みGNSS)の標準的な位相誤差は約400 nsであり、これ自体は3GPP規格がフロントホールに規定しているよりもはるかに大きく、相対時間誤差の仕様を外れているためです。



2.2 Massive MIMOとビーム フォーミング

5Gセルのスペクトルと消費電力をより有効に活用するため、全ての放射要素で入力信号の位相を変える事によってビームの方向を取得します。位相シフトを使うと信号を特定のレシーバに向ける事ができます。

ユーザに適した向きにするため、周波数ビームによって異なる方向に向ける事もできます。この手法では、カバレッジを広くするのではなくビームに方向性を持たせ、隣接するビームとの干渉を緩和し、同一チャンネル干渉を避けるために位相アラインメントが重要です。



スペクトルの使用量を増やさなくても送信信号のレジリエンス(SNR、すなわち信号/ノイズ比)とチャンネル容量を高めるため、共通の周波数を同時に複数の方向に誘導できます。ここでMIMOの概念を適用します。

MIMOシステムの運用を成功させるには、パワフルなデジタル信号プロセッサの実装と、トランスミッタとレシーバ間の信号経路が多様な空間ダイバーシティの大きい環境が必要です。

オーバーラップおよび/または定義されたタイムスロット外の送信を発生させる事なく、各タイムスロット内で使われている全ての周波数を追跡するために、5Gに追加されたこれらの技術には位相同期は必須です。

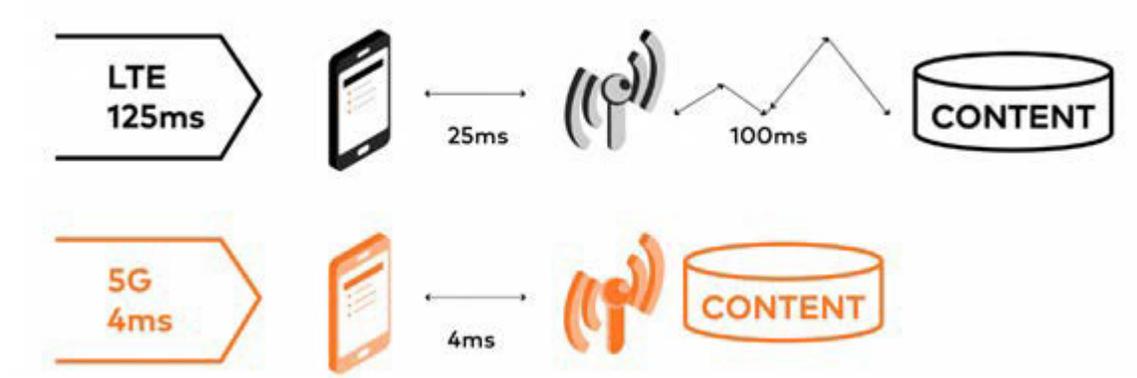
また、バウンダリ クロックの要件がある伝送機器もあり、それらの機器では各Classのルールに従う必要があります。5Gでは、下表に示すネットワーク要素Class C以上が推奨されます。

Parameters	Conditions	Class A	Class B	Class C	Class D
Max TE	Unfiltered 1000s.	100ns	70ns	30ns	FFS
Max TE _L	0.1Hz LPF 1000s measurement	-	-	-	5ns
cTE	Averaged over 1000	50ns	20ns	10ns	FFS
dTE _L MTIE	0.1Hz LPF const temp 1000s	40ns	40ns	10ns	FFS
dTE _L TDEV	0.1Hz LPF const temp 1000s	4ns	4ns	2ns	FFS
dTE _μ	0.1Hz HPF const temp 1000s	70ns	70ns	FFS	FFS

ソースクロックには、PRTC Class A (100 ns)またはClass B (40 ns)を選択できます。前述した通り、無線機に直接接続したGNSSアンテナではこれ程の精度を達成できません。

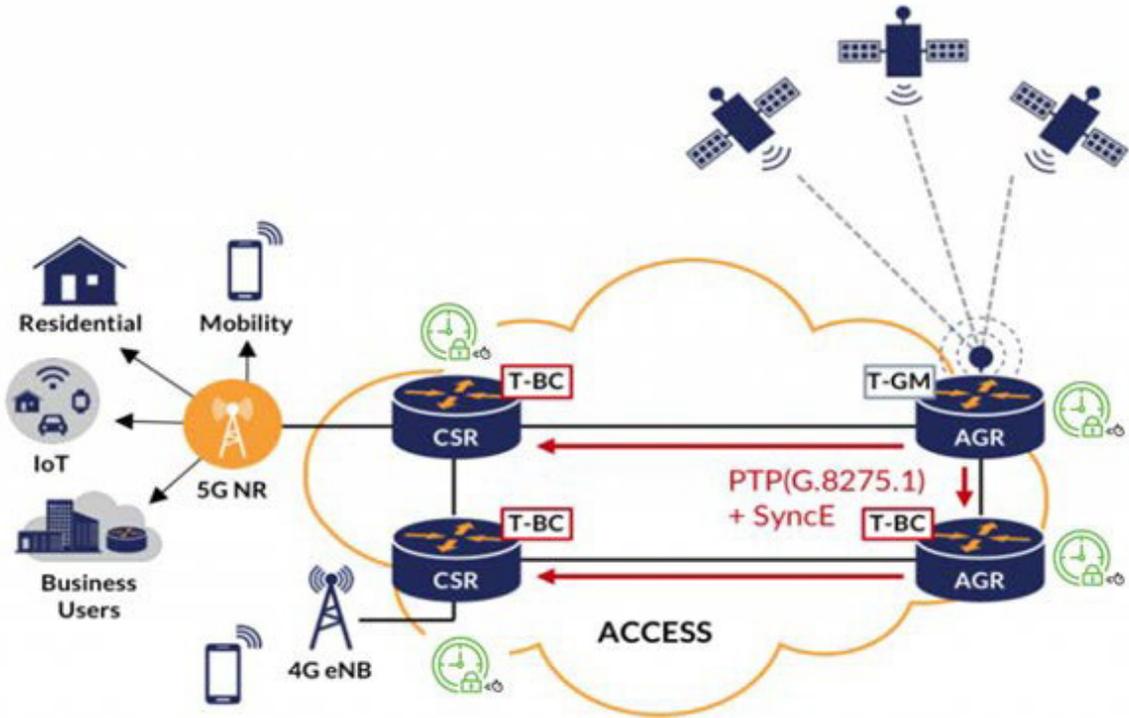
2.3 レイテンシ

5Gのレイテンシが問題化する原因は高速化と帯域幅の拡大です。



正確な同期はシステム レイテンシに直接関連します。同期精度を上げて、ガードバンドのサイズを小さくすると性能が向上するためです。タイミングは5G無線ビームの形成と方向についても重要です。1人のユーザに対してある程度の帯域幅を集中させるよう、中央のサーバから特定の無線機に向かって命令が送信された場合、この命令を即座に実行する必要があります。

そのため、最初の命令の発行と実行との間に予測されるタイムアウトに影響を与える、異なる周波数と時刻で動作するオシレータを持つネットワーク要素が存在しない事を確実にするために、命令を送信するCU (Centralized Unit)またはDUは無線機に時刻同期されている必要があります、全ての伝送は時刻同期(PTP/SyncEとNTP)されている必要があります。



3. まとめ

タイミングソース技術について、北米最大規模の5G通信事業者を例に挙げる事ができます。同社は以下のような要因に基づいて、5Gの運用をPTPプロトコルによるGMCタイプモデルのタイミングソースに切り換えました。

- 全ての無線機でGNSSを使ってネットワークを拡張し続けるのに比べてTCO(設備投資と運用コスト)を削減できる
- 運用への技術的適性が高い: ネットワークの運用可用性と精度がはるかに高い。屋内設置が可能で、GNSSレシーバに障害や中断が発生しても無線機のサービスを停止する必要がない(GMCのホールドオーバー性能が高い)
- クラスタ内の全ての無線機の時間/位相アラインメントの相対的要件をサポートするフルオンパス サポート バウンダリ クロック機能が利用可能で、キャリア アグリゲーションの概念のタイミングをサポートする
- GPS/GNSSシステムへの依存度が低い: 障害、中断、サイバー攻撃、悪天候、選択的フェーディング、ジャミング、またはスプーフィングのリスクを低減する
- 同期保護を提供する唯一の技術であり、全てのネットワーク伝送バックアップでPTPを全てのクライアントに提供し続ける事ができるため、運用可用性が向上する
- スケーラブルで、保護を備えたGMC容量がネットワークで既に利用可能であるため一度導入すれば新しい無線機を設置するたびにGNSSアンテナを購入する必要がない

4. 改訂履歴

改訂履歴には本文書に対して行われた変更を記載します。最新版から順にリビジョンごとに変更点を記載します。

リビジョン	日付	説明
A	2023年01月	初版

Microchip社の情報

Microchip社ウェブサイト

Microchip社はウェブサイト(www.microchip.com)を通してオンライン サポートを提供しています。当ウェブサイトでは、お客様に役立つ情報やファイルを提供しています。以下を含む各種の情報をご覧になれます。

- **製品サポート** - データシートとエラッタ、アプリケーション ノートとサンプル プログラム、設計リソース、ユーザガイドとハードウェア サポート文書、最新のソフトウェアと過去のソフトウェア
- **技術サポート** - FAQ(よく寄せられる質問)、技術サポートのご依頼、オンライン ディスカッション グループ、Microchip社のデザイン パートナー プログラムおよびメンバーリスト
- **ご注文とお問い合わせ** - 製品セレクトと注文ガイド、最新プレスリリース、セミナー/イベントの一覧、お問い合わせ先(営業所/正規代理店)の一覧

お客様への通知サービス

Microchip社のお客様への通知サービスは、お客様にMicrochip社製品の最新情報をお届けする配信サービスです。ご興味のある製品ファミリまたは開発ツールに関する変更、更新、リビジョン、エラッタ情報をいち早くメールにてお知らせします。

<http://www.microchip.com/pcn>にアクセスし、登録手続きをしてください。

お客様サポート

Microchip社製品をお使いのお客様は、以下のチャンネルからサポートをご利用頂けます。

- 正規代理店
- 技術サポート

サポートは正規代理店にお問い合わせください。本書の最後のページに各国の営業所の一覧を記載しています。

技術サポートは以下のウェブページからもご利用頂けます。 www.microchip.com/support

Microchip社のデバイスコード保護機能

Microchip 社製品のコード保護機能について以下の点にご注意ください。

- Microchip社製品は、該当するMicrochip 社データシートに記載の仕様を満たしています。
- Microchip社では、通常の条件ならびに動作仕様書の仕様に従って使った場合、Microchip 社製品のセキュリティレベルは、現在市場に流通している同種製品の中でも最も高度であると考えています。
- Microchip社はその知的財産権を重視し、積極的に保護しています。Microchip 社製品のコード保護機能の侵害は固く禁じられており、デジタル ミレニアム著作権法に違反します。
- Microchip社を含む全ての半導体メーカーで、自社のコードのセキュリティを完全に保証できる企業はありません。コード保護機能とは、Microchip 社が製品を「解読不能」として保証するものではありません。コード保護機能は常に進化しています。Microchip 社では、常に製品のコード保護機能の改善に取り組んでいます。

法律上の注意点

本書および本書に記載されている情報は、Microchip 社製品を設計、テスト、お客様のアプリケーションと統合する目的を含め、Microchip 社製品に対してのみ使う事ができます。それ以外の方法でこの情報を使う事はこれらの条項に違反します。デバイス アプリケーションの情報は、ユーザの便宜のためにのみ提供されるものであり、更新によって変更となる事があります。お客様のアプリケーションが仕様を満たす事を保証する責任は、お客様にあります。その他のサポートはMicrochip 社正規代理店にお問い合わせ頂くか、<https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services>をご覧ください。

Microchip 社は本書の情報を「現状のまま」で提供しています。Microchip 社は明示的、暗黙的、書面、口頭、法定のいずれであるかを問わず、本書に記載されている情報に関して、非侵害性、商品性、特定目的への適合性の暗黙的保証、または状態、品質、性能に関する保証をはじめとするいかなる類の表明も保証も行いません。

いかなる場合もMicrochip 社は、本情報またはその使用に関連する間接的、特殊的、懲罰的、偶発的または必然的損失、損害、費用、経費のいかににかかわらず、またMicrochip 社がそのような損害が生じる可能性について報告を受けていた場合あるいは損害が予測可能であった場合でも、一切の責任を負いません。法律で認められる最大限の範囲を適用しようとも、本情報またはその使用に関連する一切の申し立てに対するMicrochip 社の責任限度額は、使用者が当該情報に関連してMicrochip 社に直接支払った額を超えません。

Microchip 社の明示的な書面による承認なしに、生命維持装置あるいは生命安全用途にMicrochip社の製品を使う事は全て購入者のリスクとし、また購入者はこれによって発生したあらゆる損害、クレーム、訴訟、費用に関して、Microchip 社は擁護され、免責され、損害をうけない事に同意するものとします。特に明記しない場合、暗黙的あるいは明示的を問わず、Microchip社が知的財産権を保有しているライセンスは一切譲渡されません。

商標

Microchip 社の名称とロゴ、Microchip ロゴ、Adapteck、AVR、AVR ロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi ロゴ、MOST、MOST ロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST ロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGA は米国とその他の国におけるMicrochip Technology Incorporated の登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLightLoad、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus ロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、ZL は米国におけるMicrochip Technology Incorporated の登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、KoD、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified ロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICTail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、RippleBlocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、TotalEndurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、ZENAは米国とその他の国におけるMicrochip Technology Incorporated の商標です。

SQTP は米国におけるMicrochip Technology Incorporated のサービスマークです。

Adaptec ロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom はその他の国におけるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

GestIC は、その他の国におけるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KG (Microchip Technology Incorporated の子会社) の登録商標です。

その他の商標は各社に帰属します。

© 2023, Microchip Technology Incorporated and its subsidiaries. All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-6683-2654-1

品質管理システム

Microchip社の品質管理システムについてはwww.microchip.com/qualityをご覧ください。

各国の営業所とサービス

南北アメリカ	アジア/太平洋	アジア/太平洋	欧州
<p>本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術サポート: http://www.microchip.com/support URL: www.microchip.com</p> <p>アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455</p> <p>オースティン, TX Tel: 512-257-3370</p> <p>ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088</p> <p>シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075</p> <p>ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924</p> <p>デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000</p> <p>ヒューストン, TX Tel: 281-894-5983</p> <p>インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380</p> <p>ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800</p> <p>ローリー, NC Tel: 919-844-7510</p> <p>ニューヨーク, NY Tel: 631-435-6000</p> <p>サンノゼ, CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270</p> <p>カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078</p>	<p>オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733</p> <p>中国 - 北京 Tel: 86-10 -8569-7000</p> <p>中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511</p> <p>中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588</p> <p>中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880</p> <p>中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029</p> <p>中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115</p> <p>中国 - 香港SAR Tel: 852-2943-5100</p> <p>中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460</p> <p>中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355</p> <p>中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000</p> <p>中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829</p> <p>中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200</p> <p>中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526</p> <p>中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300</p> <p>中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252</p> <p>中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138</p> <p>中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040</p>	<p>インド - バンガロール Tel: 91-80-3090-4444</p> <p>インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631</p> <p>インド - プネ Tel: 91-20-4121-0141</p> <p>日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160</p> <p>日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770</p> <p>韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301</p> <p>韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200</p> <p>マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906</p> <p>マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870</p> <p>フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065</p> <p>シンガポール Tel: 65-6334-8870</p> <p>台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366</p> <p>台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830</p> <p>台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600</p> <p>タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351</p> <p>ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100</p>	<p>オーストリア - ヴェルス Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393</p> <p>デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829</p> <p>フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820</p> <p>フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79</p> <p>ドイツ - ガーヒンク Tel: 49-8931-9700</p> <p>ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400</p> <p>ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400</p> <p>ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370</p> <p>ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44</p> <p>ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560</p> <p>イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705</p> <p>イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781</p> <p>イタリア - パドヴァ Tel: 39-049-7625286</p> <p>オランダ - ドリリュネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340</p> <p>ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-7288-4388</p> <p>ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737</p> <p>ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50</p> <p>スペイン - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91</p> <p>スウェーデン - ヨーテボリ Tel: 46-31-704-60-40</p> <p>スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654</p> <p>イギリス - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820</p>