

2.4~2.5 GHz ISM 帯域での干渉軽減の課題とソリューション

著者: Ram Kandiar

関連プロジェクト:あり

関連部品ファミリ: CYRF6936、CYRF6986

ソフトウェアバージョン: 該当なし

関連アプリケーションノート:なし

このアプリケーションノートの最新バージョン、または関連プロジェクトファイルを入手するには、<http://www.cypress.com/go/AN4004> にアクセスしてください。

無線スペクトルの 2.4 GHz ISM 帯域を使用する製品が増えるにつれて、設計者は別の製品からの干渉信号の増加に対処していく必要があります。無免許の周波数帯域の規制が干渉を受けます。このアプリケーションノートでは、2.4 GHz ワイヤレスシステムで提供されるさまざまな干渉管理技術を検証し、低コストのツールを使用して、2.4 GHz の設計で周波数安定性を得る方法について説明します。

目次

Wi-Fi (802.11b)	2
Bluetooth	2
WirelessUSB	2
ZigBee	2
2.4 GHz コードレス電話	3
衝突回避	3
Bluetooth での干渉の処理	3
WirelessUSB および ZigBee での干渉の処理	4
何ができるか	4
干渉への受容性	5
ダイレクトシーケンススペクトラム拡散	5
エラー訂正	6
周波数アジリティ	7
WirelessUSB LP/LPstar と他の 2.4 GHz テクノロジーとの相互作用	8
802.11 (Wi-Fi)	8
Bluetooth	9
DSSS コードレス電話	10
FHSS コードレス電話	13
FHSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar の相互作用	14
電子レンジ	15
複数のシステムの相互作用	16
Wi-Fi	16
その他の複数システム	16
まとめ	17
改訂履歴	18

はじめに

ワイヤレスデバイスにおける主なパフォーマンスの課題は、別の無線通信デバイスからの干渉です。サイプレスの WirelessUSB 2.4 GHz 無線システムオンチップソリューションは、2.4 GHz の免許不要の産業、科学、医療 (ISM) 帯域を他のテクノロジーと共有しています。これらのテクノロジーには、802.11b/g、Bluetooth、2.4 GHz コードレス電話、電子レンジ、およびそれ以外の独自の 2.4 GHz デバイスが含まれます。

WirelessUSBはこれらのテクノロジーと共存し、過度の劣化を引き起こすことなく、これらの干渉を許容する必要があります。このアプリケーションノートでは、WirelessUSB LP/LPstar が干渉回避を通じて、これらの目標を達成する方法について説明します。WirelessUSB LP/LPstar キーボードマウスリファレンスデザインと、Wi-Fi、Bluetooth、コードレス電話、電子レンジとの相互作用の具体例があります。

WirelessUSB LP/LPstar は、既存の WirelessUSB ポートフォリオに、ライセンス不要の 2.4 GHz ISM 帯域を使用する低コストのワイヤレスソリューションを追加します。2.4 GHz ISM 帯域は世界中で利用できる低電力無線通信であるため、多くのテクノロジーにとって魅力的です。このアプリケーションノートは、読者が WirelessUSB デバイスの操作に精通していることを前提としています。

設計者はどのようにして過酷な条件下で 2.4 GHz ソリューションから最高のパフォーマンスを引き出すことができるでしょうか？多くの場合、製品は管理されたラボ環境で動作しますが、現場では別の 2.4 GHz ソリューションからの干渉のためにパフォーマンスが低下します。設計者は Wi-Fi、Bluetooth、ZigBee の規格が提供する以上のことはできません。しかし、設計者がプロトコルを制御する場合、他のソースからの干渉を最小限に抑えるのに役立つ手順があります。

このアプリケーションノートでは、2.4 GHz ワイヤレスシステムが提供するさまざまな干渉管理技術を検証し、低レベルのツールを使用して、2.4 GHz 設計で周波数安定性を実現する方法について説明します。

Wi-Fi (802.11b)

ライセンスのない 2.4 GHz ISM 帯域での無線周波数変調の 2 つの方法は、周波数ホッピングスペクトラム拡散 (FHSS) とダイレクトシーケンススペクトラム拡散 (DSSS) です。Bluetooth は FHSS を使用し、WirelessUSB、802.11b/g/a (一般に Wi-Fi として知られています)、および 802.15.4 (上位ネットワークレイヤーと組み合わせて ZigBee として知られています) は DSSS を使用します。これらのテクノロジーはすべて、世界中で利用可能な ISM 周波数帯 (2.400–2.483 GHz) で動作します。

Bluetooth

Bluetooth は、携帯電話、ヘッドセット、および PDA 間のアドホック相互運用性のために使用されます。ほとんどの Bluetooth デバイスでは、定期的な充電が必要です。

Bluetooth は FHSS を使用し、2.4 GHz ISM 帯域を 79 個の 1 MHz チャンネルに分割します。Bluetooth デバイスは、これらの 79 チャンネル間を 1 秒あたり 1600 回疑似ランダムパターンでホップします。接続された Bluetooth デバイスはピコネットと呼ばれるネットワークにグループ化され、各ピコネットには 1 つのマスターと最大 7 つのアクティブスレーブが含まれます。

各ピコネットのチャンネルホッピングシーケンスは、ピコネットマスタークロックから派生します。すべてのスレーブデバイスは、このクロックとの同期を維持する必要があります。

転送エラー訂正 (FEC) は、ヘッダーの各ビットを 3 回送信することにより、すべてのパケットヘッダーで使用されます。ハミングコードも、一部のパケットタイプのデータペイロードのエラー訂正を転送するために使用されます。ハミングコードは各データパケットに 50% のオーバーヘッドを追加しますが、すべての単一エラーを修正し、各 15 ビットコードワードのすべての二重エラーを検出します (各 15 ビットコードワードには 10 ビットの情報が含まれます)。

表 11. 2.4 GHz ISM 帯域を占有するさまざまなテクノロジー

2.4 GHz ISM Band Technology Comparison				
	Data Rate	Number of Channels	Interference Mitigation Method	Minimum Quiet Bandwidth Required
Wi-Fi (802.11b)	11 Mbps	3	Fixed Channel Collision Avoidance	22 MHz
Bluetooth	723 Kbps	79	Adaptive Frequency Hopping	15 MHz (Dynamic)
WirelessUSB	250 Kbps (DSSS)	79	Frequency Agility	1 MHz (Dynamic)
Zigbee	128 Kbps	16	Fixed Channel Collision Avoidance	3 MHz (Static)

WirelessUSB

WirelessUSB は主に、マウスやキーボードなどのコンピューター入力デバイス用のワイヤレスオプションとして設計されています。そしてワイヤレスセンサーネットワークもまた対象としています。WirelessUSB デバイスは、アルカリ電池で数か月間動作し、定期的な充電が必要です。

WirelessUSB は、FHSS の代わりに DSSS 周波数変調を使用します。各 WirelessUSB チャンネルの幅は 1 MHz であり、Bluetooth と同様に、WirelessUSB は 2.4 GHz ISM 帯域を 79 個の 1 MHz チャンネルに分割します。Bluetooth とは異なり、WirelessUSB デバイスは周波数に俊敏です。つまり、固定チャンネルを使用しますが、チャンネルのリンク品質が最適でなくなると、チャンネルを動的に変更します。

WirelessUSB は、擬似ノイズ (PN) コードを使用して各情報ビットをエンコードします。ほとんどの WirelessUSB システムは 2 つの 32 チップ PN コードを使用し、各 32 チップシンボルで 2 つの情報ビットをエンコードします。このスキームは、シンボルごとに最大 3 つのチップエラーを訂正でき、シンボルごとに最大 10 のチップエラーを検出できます。32 チップ (場合によっては 64 チップ) の PN コードを使用すると、WirelessUSB のデータレートは 62.5 k ビット (LP の場合のみ) に制限されますが、データの整合性は、特にノイズの多い環境では Bluetooth よりもはるかに高くなります。

ZigBee

ZigBee は、センサーおよび制御ネットワークの標準化されたソリューションとして設計されています。ほとんどの ZigBee デバイスは非常に消費電力に敏感であり (サーモスタット、セキュリティセンサーなど)、バッテリー寿命は年単位です。

ZigBee は DSSS 周波数変調を使用し、ヨーロッパでは 868 MHz 帯域、北米では 915 MHz 帯域で、その他の地域では 2.4 GHz ISM 帯域を使用します。2.4 GHz ISM 帯域では 16 チャンネルが定義され、各チャンネルは 3 MHz を占有し、チャンネルは互いに 5 MHz を中心として、チャンネルのペア間に 2 MHz のギャップがあります。

ZigBee は 11 チップの PN コードを使用し、4 つの情報ビットが各シンボルにエンコードされて、最大データレートは 128 Kbps になります。物理層と MAC 層は IEEE 802.15.4 ワーキンググループによって定義されており、IEEE 802.11b 規格と同じ設計特性を多く共有しています。

2.4 GHz コードレス電話

2.4 GHz コードレス電話は北米で人気があります。これらの電話のほとんどは DSSS を使用していますが、一部は FHSS を使用しています。それらは標準のネットワーク技術を使用していません。DSSS およびその他の固定チャンネルアルゴリズムを使用する電話機には通常、チャンネルボタンがあり、ユーザーが手動でチャンネルを変更できます。FHSS 電話機は常にチャンネルを変更するため、チャンネルボタンはありません。ほとんどの 2.4 GHz コードレス電話は、5~10 MHz のチャンネル幅を使用します。

衝突回避

同種および異種の環境で各テクノロジーがどのように相互作用するかを理解することも重要です。

Wi-Fi の衝突回避アルゴリズムは送信前に、静かなチャンネルをリッスンします。これにより、複数の Wi-Fi クライアントが単一の Wi-Fi アクセスポイントと効率的に通信できます。Wi-Fi チャンネルにノイズが多い場合、Wi-Fi デバイスはチャンネルを再度リッスンする前にランダムにバックオフします。チャンネルにまだノイズがある場合、チャンネルが静かになるまでこのプロセスが繰り返されます。チャンネルが静かになると、Wi-Fi デバイスは送信を開始します。チェックを繰り返してもチャンネルにノイズがある場合、Wi-Fi デバイスは利用可能な別のアクセスポイントの、別のチャンネルを検索します。

衝突回避アルゴリズムのため、同じまたは重複するチャンネルを使用する Wi-Fi ネットワークは共存しますが、各ネットワークのスループットは低下します。同じエリアで複数のネットワークを使用する場合は、チャンネル 1、6、11 などの重複しないチャンネルを使用するのが最適です。これにより、各ネットワークは別のネットワークと帯域幅を共有しないため、スループットを最大化できます。

Bluetooth 送信のホッピングの性質により、Bluetooth からの干渉は最小限です。Wi-Fi デバイスが、送信前にリッスンするモードのときに、Bluetooth デバイスが Wi-Fi チャンネルと重複する周波数で送信する場合、Wi-Fi デバイスはランダムにバックオフし、Bluetooth デバイスはオーバー

ラップしていないチャンネルにホップして、Wi-Fi デバイスが送信を開始できるようにします。

2.4 GHz コードレス電話からの干渉により、たとえコードレス電話が DSSS ではなく FHSS を使用していても、Wi-Fi ネットワークが完全に停止する可能性があります。これは、Bluetooth (1 MHz) と比較してコードレス電話のチャンネルが広い (5~10 MHz) ことと、コードレス電話信号の出力が高いことが原因の 1 つです。Wi-Fi チャンネルの中央にホッピングする FHSS コードレス電話は Wi-Fi 送信を破損させ、Wi-Fi デバイスが送信を繰り返す可能性があります。2.4 GHz FHSS コードレス電話はすべての Wi-Fi デバイスに干渉を引き起こすため、Wi-Fi ネットワークの近くでは使用しないでください。コードレス電話が DSSS である場合、コードレス電話と Wi-Fi アクセスポイントが使用するチャンネルが重複しないように構成することにより、干渉を排除できます。

Bluetooth での干渉の処理

Bluetooth では、各ピコネットが独自の疑似ランダム周波数ホッピングパターンを使用するため、他の Bluetooth ピコネットからの干渉は最小限です。同じ場所に配置された 2 つのピコネットがアクティブな場合、衝突の確率は 1/79 です。衝突の確率は、同じ場所に配置されたアクティブなピコネットの数とともに直線的に増加します。Bluetooth は当初、干渉を処理するために周波数ホッピングアルゴリズムに依存していましたが、単一のアクティブな Wi-Fi ネットワークは、Bluetooth チャンネルの 25% に大きな干渉を引き起こす可能性があります。オーバーラップが原因で失われたパケットは、静かなチャンネルで再送信する必要があります。これは Bluetooth デバイスのスループットに悪影響を及ぼします。

Bluetooth 仕様バージョン 1.2 は、適応周波数ホッピング (AFH) アルゴリズムを定義することで、この問題に対処しています。このアルゴリズムにより Bluetooth デバイスは、チャンネルを良好、不良、または不明としてマークできます。周波数ホッピングパターンの不良チャンネルは、ルックアップテーブルを介して良好なチャンネルに置き換えられます。Bluetooth マスターは定期的に不良チャンネルをリッスンして、干渉がなくなったかどうかを判断します。干渉がない場合、チャンネルは良好としてマークされ、ルックアップテーブルから削除されます。Bluetooth スレーブは、マスターから要求されると、チャンネル品質の評価を通知するレポートもマスターに送信します。たとえばスレーブは、Wi-Fi ネットワークをリッスンできますが、マスターはリッスンできません。連邦通信委員会 (FCC) では、少なくとも 15 の異なるチャンネルを使用する必要があります。

AFH アルゴリズムにより Bluetooth は、Wi-Fi や WirelessUSB などの DSSS システムが占有するチャンネルを回避できます。2.4 GHz FHSS コードレス電話は、両方

のシステムが 2.4 GHz ISM 帯域全体で動作しているため、Bluetooth との干渉を引き起こす可能性があります。Bluetooth の信号は 1 MHz 幅しかないため、FHSS コードレス電話と Bluetooth 間の衝突の頻度は、Wi-Fi と FHSS コードレス電話間の衝突の頻度よりも大幅に低くなります。

Bluetooth には 3 つの異なるパケット長があり、通信のチャンネル上では異なる滞留時間に変換されます。Bluetooth には、データスループットの信頼性を高めるために、パケット長を短くするオプションがあります。このシナリオでは、通常のデータレートで大きなパケットを失うよりも、遅いデータレートで小さなパケットを通過させる方が適切です。

WirelessUSB および ZigBee での干渉の処理

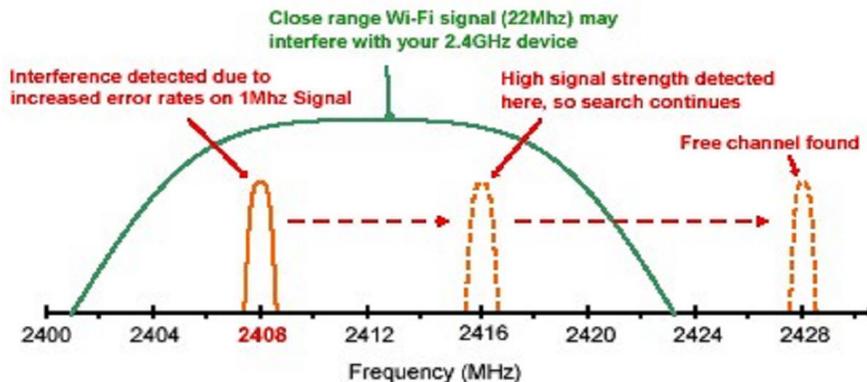
WirelessUSB では、チャンネルを選択する前に他の WirelessUSB ネットワークをチェックします。したがって、他の WirelessUSB ネットワークからの干渉は、最小限です。WirelessUSB は、チャンネルのノイズレベルを、少なくとも 50 ms ごとにチェックします。Wi-Fi デバイスからの干渉により、連続して高ノイズの読み出しが発生し、WirelessUSB マスターが新しいチャンネルを選択します。

図 1 に示すように、WirelessUSB は Wi-Fi ネットワーク間の静かなチャンネルを見つけるため、複数の Wi-Fi ネットワークと共存します。

Bluetooth からの干渉により、WirelessUSB はパケットを再送信します。Bluetooth のホッピングの性質により、Bluetooth デバイスが別のチャンネルに移動するため、WirelessUSB 再送信は Bluetooth 送信と衝突しません。Bluetooth ネットワークでは、WirelessUSB マスターがチャンネルを変更する程の高ノイズの連続読み出しが発生しません。

ZigBee は、802.11b と同様の衝突回避アルゴリズムを指定しています。各デバイスは、ZigBee デバイス間の衝突の頻度を最小限に抑えるために、送信前にチャンネルをリスンします。ZigBee は干渉が激しい場合にチャンネルを変更しません。代わりに低デューティサイクルと衝突回避アルゴリズムを利用して、衝突によるデータ損失を最小限に抑えます。ZigBee が使用頻度の高い Wi-Fi チャンネルと重複するチャンネルを使用する場合、フィールドテストではパケットの衝突により、すべての ZigBee パケットの最大 20% が再送信されることを示しています。

図 1. ワイヤレス USB チャンネルの選択



何ができるか

Bluetooth、Wi-Fi、または ZigBee を開発する時、設計者は仕様で提供される方法を使用する必要があります。802.15.4、WirelessUSB、またはその他の 2.4 GHz 無線に基づく独自のシステムを開発する場合、設計者は周波数の俊敏性を実現するために、低レベルのツールを使用できます。

DSSS システムは、他の DSSS システムと重複するリスクがあります。しかしながら、DSSS システムは、以下に説明するように、FHSS システムの周波数アジリティを特定の方法で取得できます。

そのようなアプローチの 1 つは、ネットワークの監視です。DSSS システムがポーリングされたプロトコル (指定された間隔でパケットが期待される) を使用する場合、マスターは、送信の失敗または不良パケットが受信された後にチャンネルを切り替えることができます。別のアプローチは、無線機にこの機能がある場合、空中のエネルギーレベルを読み出すことです。受信強度信号インジケータ (RSSI) は、空中のエネルギー量を測定するために使用され、そのレベルが一定期間にわたって高すぎる場合は、よりクリアなチャンネルに切り替えます。FHSS システムが通過している場合にはチャンネルを変更しないように、期間は考慮されません。

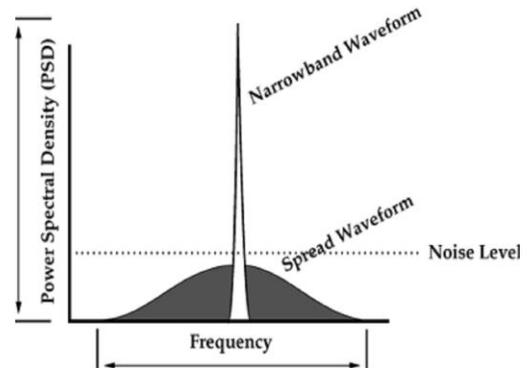
ネットワークの監視と RSSI の読み出しでは、両方の無線機がトランシーバーであると想定しています。これらの無線機は、パケットを送受信できます。一方が送信機で他方が受信機である DSSS システムでは、複数の送信アプローチを使用して周波数アジリティを取得します。送信機は複数の周波数で同じパケットを送信し、受信機はレーザチャネルを介してはるかに遅いレートで繰り返し受信します。このシステムは、受信機が電源に接続されており、バッテリー駆動の送信機の使用頻度が低い場合に機能します。ワイヤレスリモートはこのアプローチを使用します。

干渉への受容性

ダイレクトシーケンススペクトラム拡散

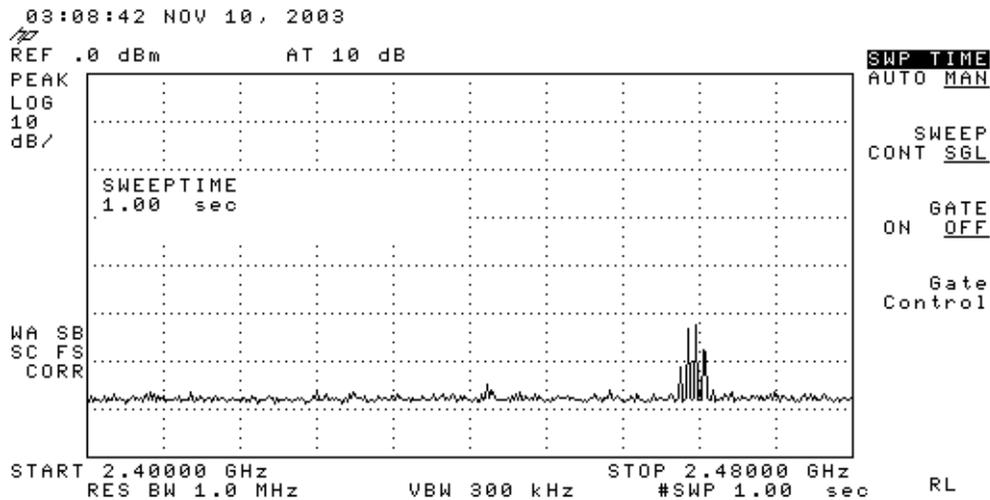
WirelessUSB LP/LPstar は、ダイレクトシーケンススペクトラム拡散 (DSSS) 信号を使用します。DSSS 信号は図 2 に示すように、従来の狭帯域無線で生成される信号よりも短くて広いものです。DSSS 信号によって提供される広い帯域幅により、WirelessUSB LP/LPstar はノイズの多い環境で動作し、従来の狭帯域信号によって引き起こされる干渉を低減します。

図 2. 信号の拡散



WirelessUSB LP/LPstar は、帯域を 78 の異なる周波数チャネルに分割します。各チャネルの幅は 1 MHz です。多数のチャネルにより、多くの WirelessUSB LP/LPstar デバイスを同じ物理空間に配置でき、WirelessUSB LP/LPstar が他の信号間の静かなチャネルを見つけることができます。図 3 はスペクトラムアナライザでキャプチャされた WirelessUSB LP/LPstar 信号を示します。

図 3. 2.4 GHz ISM 帯域の WirelessUSB LP/LPstar 信号

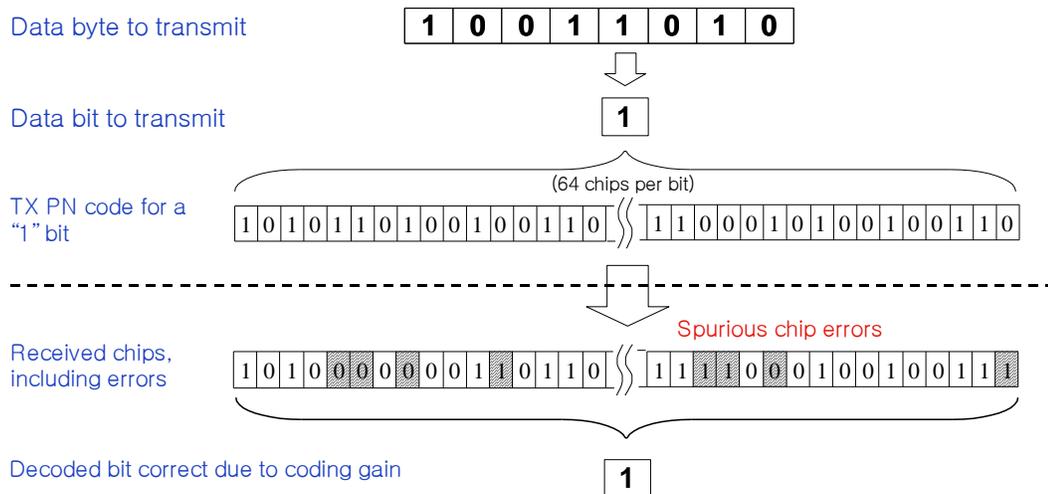


エラー訂正

DSSS システムは、各データビットを疑似ノイズ (PN) コードとして送信します。PN コードの各要素は、チップと呼ばれます。干渉がある場合 (または範囲の限界に近い場合)、送信された PN コードは、一部の破損した PN コードチップと受信されることがよくあります。DSSS レシーバーは、データコリレーターを使用して着信データストリームをデコードします。チップエラーの数が相関エラーのしきい値より少ない場合、データは正しく受信されています。したがって、WirelessUSB システムは、10%を超えるチップエラーレートを引き起こす干渉の影響を受ける周波数で、エラーなしにデータを正常に受信することができます。図 4 は WirelessUSB LP 64 チップ PN コードの例を示します。WirelessUSB LP は、32 または 64 チップ PN コードを使用できます (LP Star は 32 チップ PN コードのみを使用できます)。

図 4. チップエラー訂正

Chip Error Correction

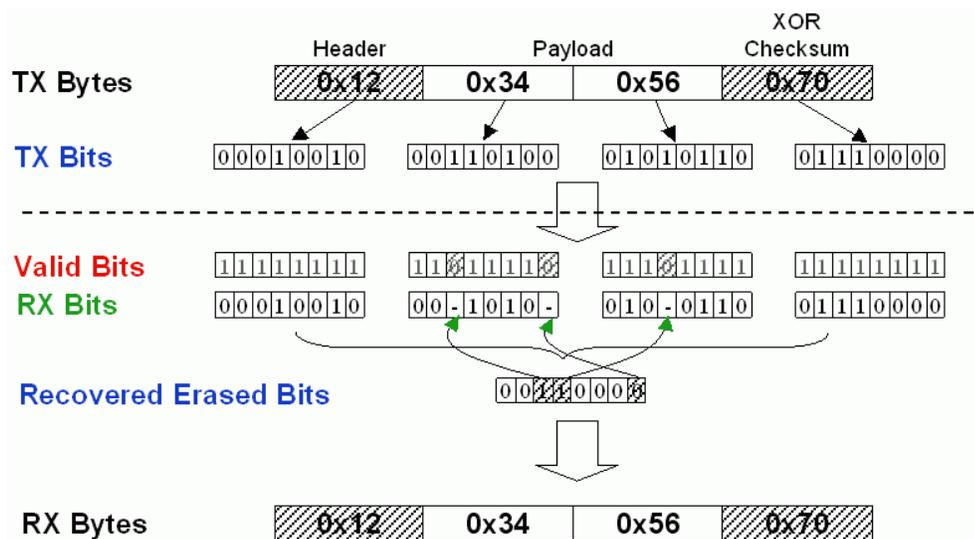


相関エラーのしきい値を超えた場合、受信データビットは破損していませんが消去されます。データが消去されるのではなく破損する可能性はごくわずかです。これは、着信データストリームが、反対の論理状態に対応する PN コードと相関するように、チップの大部分を破損する干渉が必要になるためです。

消去はエラーよりも修正がはるかに簡単です。各データバイトを XOR し、結果のチェックサムを各パケットの最後のバイトとして送信することにより、このチェックサムを使用して、受信したパケットの各ビット位置の 1 つのエラーを修正できます。

図 5 は、XOR チェックサムを使用して修正された 3 つの破損ビットを示します。

図 5. ビット誤り訂正



周波数アジリティ

強力なエラー修正と組み合わせた DSSS 信号を使用して提供される堅牢性により、WirelessUSB LP/LPstar はあらゆる環境で動作できます。WirelessUSB LP/LPstar システムのすぐ近くにある Wi-Fi やコードレス電話などの強い干渉は、2.4 GHz ISM 帯域のセクションに過度の干渉を引き起こす可能性があります。

WirelessUSB LP/LPstar は、現在のチャンネルが過度の干渉を受けた場合にチャンネルを変更することによって、強い干渉と共存するように設計されています。WirelessUSB LP/LPstar は、チャンネルの品質を判断するために、破損したパケットの頻度を監視します。破損したパケットの頻度が定義されたしきい値を超えると、WirelessUSB LP/LPstar システムはより静かなチャンネルに移動します。

チャンネル上の非常に強い干渉は、WirelessUSB LP/LPstar 信号の受信を完全にブロックする可能性があります。このような状況では、パケットが送信されていることを受信側が認識していないため、破損したパケットの頻度のしきい値に達することはありません。したがって WirelessUSB LP/LPstar は、破損したパケットの頻度を監視するだけでなく、チャンネルの信号強度を定期的に監視します。チャンネル信号強度が高い場合は、WirelessUSB LP/LPstar 以外のデバイスがチャンネルで送信している可能性があることを示しています。信号強度が一定の期間高いままである場合、WirelessUSB LP/LPstar はチャンネルをより静かなチャンネルに変更します。これにより、WirelessUSB LP/LPstar は Wi-Fi などの強力な干渉源の存在下でチャンネルを変更できますが、FHSS デバイスが WirelessUSB LP/LPstar と同じチャンネルでパケットを送信するたびに、チャンネルを変更できません。

WirelessUSB LP/LPstar と他の 2.4 GHz テクノロジーとの相互作用

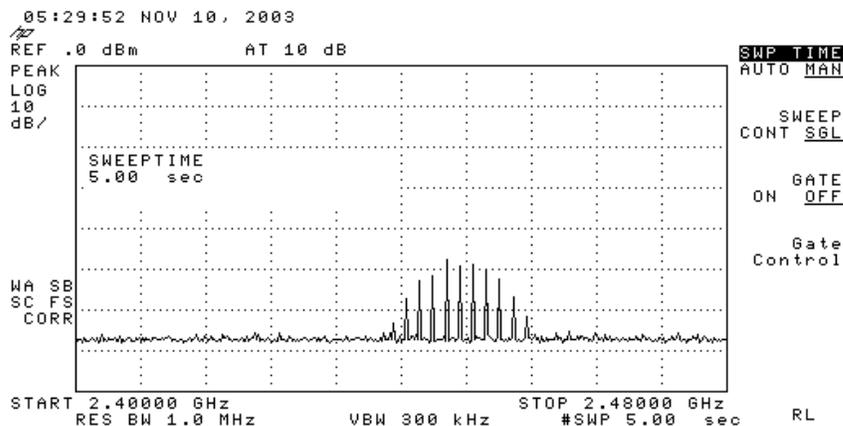
ここでは、2.4 GHz ISM 帯域を使用する最も一般的なシステムの特性と各システムが、WirelessUSB LP/LPstar とどのように相互作用するかについて説明します。信号の強度と幅を示す、各テクノロジーのスペクトルアナライザのスクリーンショットが提供されます。テスト結果には、WirelessUSB LP/LPstar に対する各テクノロジーの影響の説明も含まれます。

802.11 (Wi-Fi)

特性

802.11b および 802.11g は、2.4 GHz ISM 帯域で動作する IEEE ワイヤレスローカルエリアネットワーク (WLAN) 規格であり、Wi-Fi とも呼ばれます。図 6 に示すように、Wi-Fi は 22 MHz 幅の DSSS 信号を使用します。最大 3 つの個別の Wi-Fi ネットワークが、異なるチャンネルのスペクトルが広がる同じ物理空間で動作できます。Wi-Fi デバイスは、アクセスポイントのチャンネルが手動で変更された場合にのみチャンネルを変更します (ほとんどのアクセスポイントはチャンネル選択用の Web インターフェイスを提供します)。

図 6. Wi-Fi 信号 (5 秒間のキャプチャ)



Wi-Fi と WirelessUSB LP/LPstar の相互作用

構成の詳細

テストは次の構成を使用して実行されました。

1 つの Wi-Fi ネットワーク

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 つの Wi-Fi アクセスポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 0.25メートル以内にある 1 つの Wi-Fi エンドポイント (802.11 と WirelessUSB LP/LPstar の両方を備えたラップトップをシミュレートするため)。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

2 つの Wi-Fi ネットワーク

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する、2 つの別々のチャンネルの Wi-Fi アクセスポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 つの Wi-Fi エンドポイント

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 0.25メートル以内にある 1 つの Wi-Fi エンドポイント (802.11 と WirelessUSB LP/LPstar の両方を備えたラップトップをシミュレートするため)。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

3 つの Wi-Fi ネットワーク

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する、3 つの別々のチャンネルの Wi-Fi アクセスポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 2 つの Wi-Fi エンドポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar Bridge の 0.25メートル以内にある 1 つの Wi-Fi エンドポイント (802.11 と WirelessUSB LP/LPstar の両方を備えたラップトップをシミュレートするため)。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました。

- WirelessUSB LP/LPstar マウスで知覚される待ち時間がない。
- Wi-Fi ネットワークでのデータスループットの損失が5%未満。

Bluetooth

特性

Bluetooth は、2.4 GHz ISM 帯域で動作するワイヤレスパーソナルエリアネットワーク (WPAN) 規格です。Bluetooth は、図 2 に示す狭帯域波形に類似した周波数ホッピングスペクトラム拡散 (FHSS) 信号を使用します。ただし、Bluetooth は 2.4 GHz ISM 帯域を 78 チャンネル (WirelessUSB と同様) に分割し、疑似ランダムチャンネル選択アルゴリズムを使用して 1 秒あたり 1600 回チャンネルをホップします。図 7 は、500 ミリ秒間を超える Bluetooth 信号を示します。図 3 および図 6 に示すように、Bluetooth 信号の幅を WirelessUSB LP/LPstar および Wi-Fi 信号とそれぞれ比較します。

図 8 は 5 秒間の Bluetooth 信号を示します。信号は 2.4 GHz ISM 帯域全体をカバーすることに注意してください。

図 7. Bluetooth (500 ms 間のキャプチャ)

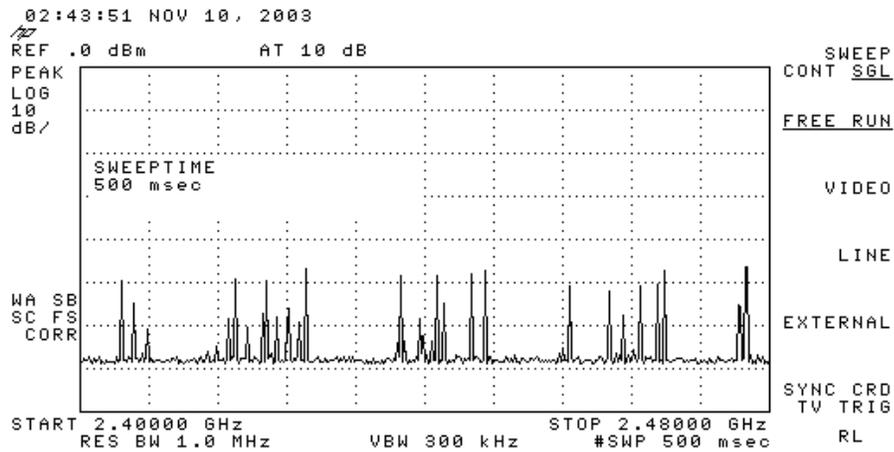
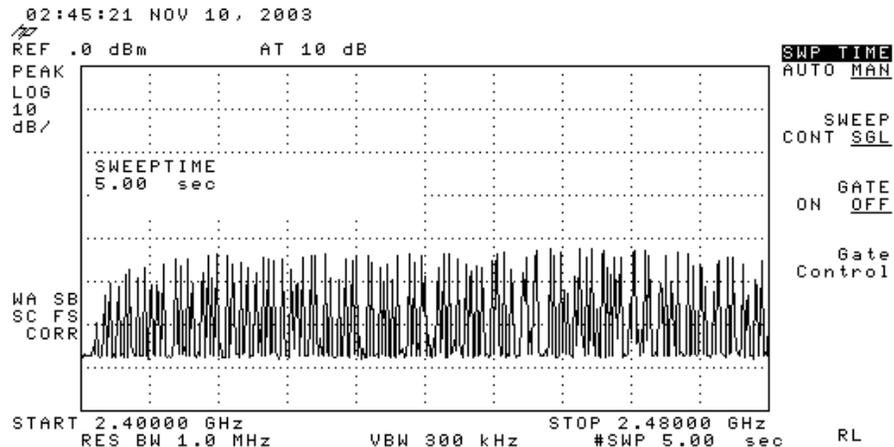


図 8. Bluetooth (5 秒間のキャプチャ)



Bluetooth と WirelessUSB LP/LPstar の相互作用

1%以上の Bluetooth パケットが WirelessUSB LP/LPstar と同じチャンネルで送信されますが、Bluetooth は WirelessUSB LP/LPstar に顕著な干渉を引き起こしません。これは、典型的な WirelessUSB LP/LPstar デバイスのデューティサイクルが低いことと、堅牢なエラー修正と再送信がその理由です。

構成の詳細

テストは次の構成で実行されました。

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 5 メートルに位置する Bluetooth デバイス 1 台。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 0.25 メートルに位置する 1 つの Bluetooth デバイス (Bluetooth と WirelessUSB LP/LPstar の両方を備えたラップトップをシミュレートするため)。

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました：

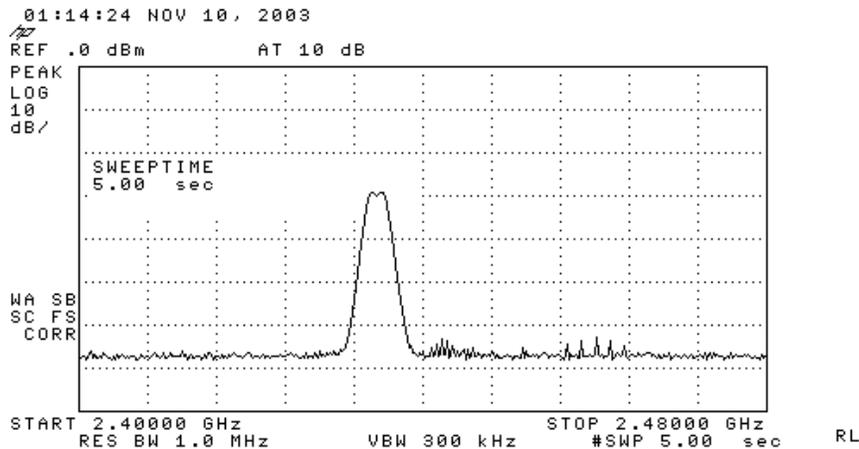
- WirelessUSB LP/LPstar マウスでは知覚される待ち時間はありません。
- Bluetooth ネットワークでのデータスループットの損失は 5%未満です。

DSSS コードレス電話

特性

2.4 GHz ISM 帯域で動作する多くのコードレス電話があり、DSSS を使用するものと FHSS を使用するものがあります。図 9 に示すように、パナソニックと GE の両方に非常に強い信号を生成する DSSS 電話があります。これらの DSSS コードレス電話は、電話のチャンネルボタンが押されたときにのみチャンネルを変更します。

図 9. DSSS コードレス電話 (5 秒間のキャプチャ)



DSSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar の相互作用

DSSS コードレス電話信号の中央の 2 MHz が WirelessUSB LP/LPstar 信号と重複しない限り、WirelessUSB LP/LPstar は DSSS コードレス電話と共存します。

☑ 10 は互いに干渉しない DSSS コードレス電話信号と WirelessUSB LP/LPstar 信号を示します。

☑ 10. DSSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar

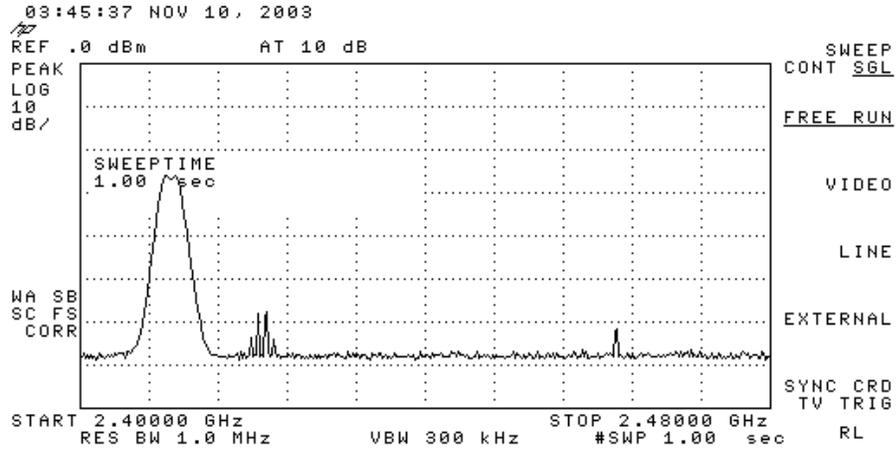


図 11 は DSSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar 信号のオーバーラップを示します。この状況では、WirelessUSB LP/LPstar トラフィックが破損し、破損したパケットしきい値モニターにより、WirelessUSB LP/LPstar デバイスがチャンネルを変更し、DSSS コードレス電話信号から離れます。WirelessUSB LP/LPstar 信号が

DSSS コードレス電話信号にカバーされている場合、DSSS コードレス電話信号は WirelessUSB LP/LPstar 信号を完全にブロックします。しかしながら、RSSI しきい値モニターがトリガーされ、WirelessUSB LP/LPstar デバイスはチャンネルを変更します。

図 11. DSSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar 信号の重複

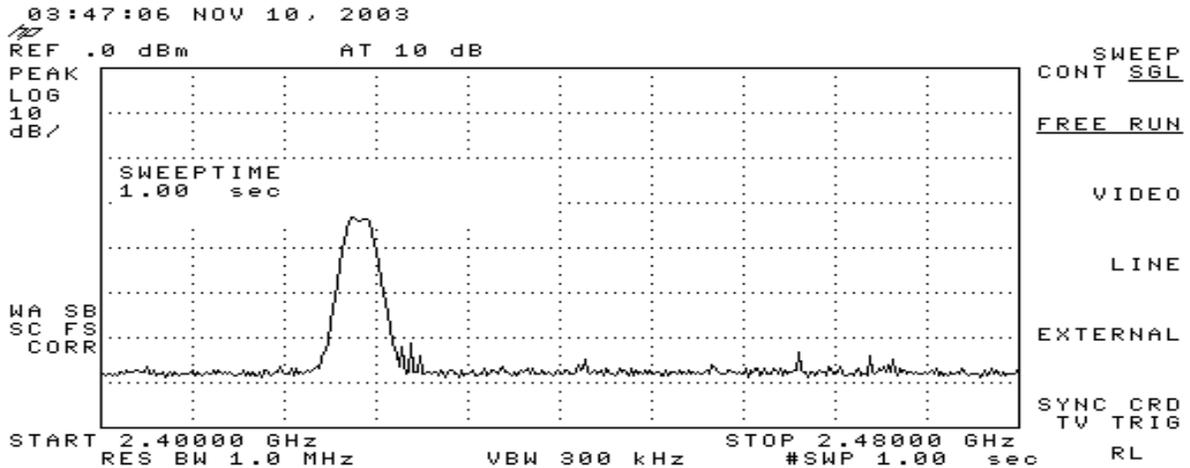
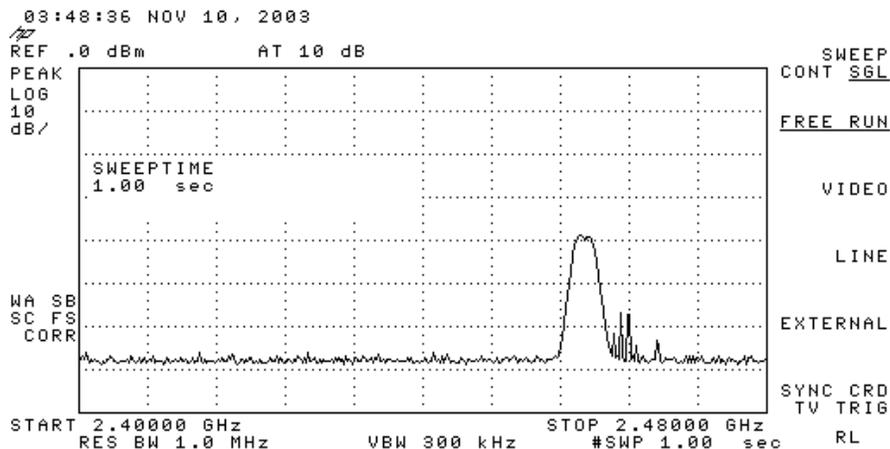


図 12 は DSSS コードレス電話信号と、わずかにオーバーラップしているが干渉を引き起こす程ではない WirelessUSB LP/LPstar 信号を示します。どちらのシステムも、品質を損なうことなく正常に機能します。

図 12. 重複していない DSSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar 信号



構成の詳細

テストは次の構成で実行されました。

- WirelessUSB LP/LPstarブリッジから10メートルに位置するDSSSコードレス電話1台。
- ワイヤレス USB LP/LPstarブリッジから1メートルにあるDSSSコードレス電話1台 (DSSSコードレス電話とワイヤレス USB LP/LPstarを搭載したコンピューターが設置されたオフィスをシミュレートするため)。
- WirelessUSB LP/LPstarブリッジから10メートルに位置する1つのWirelessUSB LP/LPstarマウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました：

- WirelessUSB LP/LPstar マウスでは知覚される待ち時間はありません。
- DSSSコードレス電話での音声品質の低下は、知覚されません。

FHSSコードレス電話

特性

FHSSコードレス電話はBluetoothと同様に周波数をホップしますが、信号強度は図13のようにBluetooth信号よりもはるかに高くなります。図14ではFHSS信号は2.4 GHz ISM帯域全体をカバーしていますが、図8に示すようにBluetooth信号よりも散発的です。

図13. FHSSコードレス電話 (500 ms間のキャプチャ)

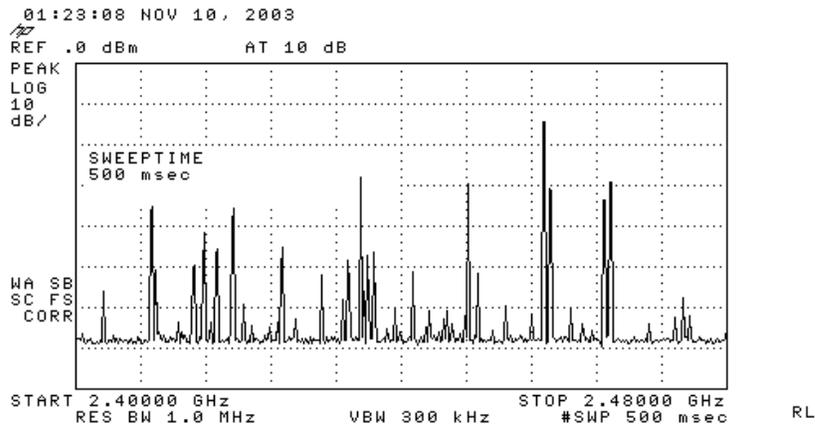
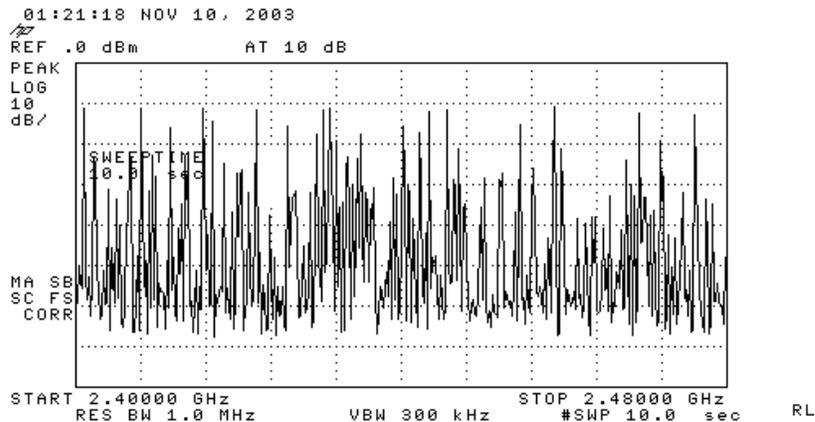


図14. FHSSコードレス電話 (10秒間のキャプチャ)

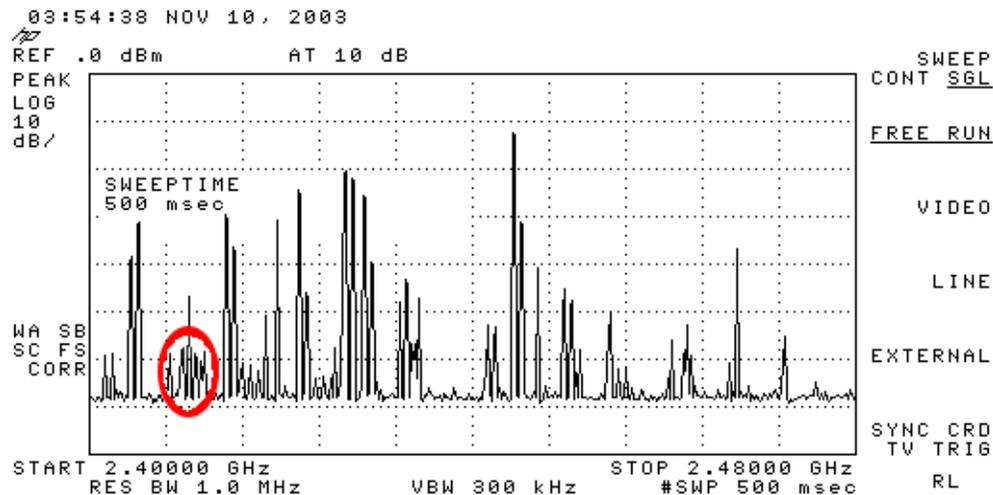


FHSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar の相互作用

FHSS コードレス電話信号は WirelessUSB LP/LPstar 信号を著しく劣化させることはありませんが、信号が衝突したときにパケットの再送信を引き起こします。。

これは FHSS コードレス電話信号が WirelessUSB LP/LPstar 信号よりもはるかに強いからです。図 15 は FHSS コードレス電話信号と WirelessUSB LP/LPstar 信号 (赤で表示) を示します。

図 15. FHSS コードレス電話と WirelessUSB



構成の詳細

テストは次の構成で実行されました。

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 台の FHSS コードレス電話。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 1メートルに位置する 1 台の FHSS コードレス電話 (FHSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar を搭載したコンピューターが設置されたオフィスをシミュレートするため)。
-

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました。

- WirelessUSB LP/LPstar マウスでは知覚される待ち時間はありません。
- FHSS コードレス電話の音声品質の低下は、知覚されません。

複数のシステムの相互作用

Wi-Fi

Wi-Fi と Bluetooth

構成の詳細

テストは次の構成で、複数の 2.4 GHz ISM システムを使用して実行されました。

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 2 つの別々のチャンネルの Wi-Fi アクセスポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する Bluetooth デバイス 1 台。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 1 つの Wi-Fi エンドポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 0.25 メートルに位置する 1 つの Bluetooth デバイスと 1 つの Wi-Fi エンドポイント (Wi-Fi、Bluetooth、および WirelessUSB LP/LPstar を備えたラップトップをシミュレートするため)。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました。

- WirelessUSB LP/LPstar マウスでは知覚される待ち時間はありません。
- Wi-Fi ネットワークでのデータスループットの損失は 1%未満です。
- Bluetooth ネットワークでのデータスループットの損失は 1%未満です。
- DSSS コードレス電話での音声品質の低下は、知覚されません。
- FHSS コードレス電話の音声品質の低下は、知覚されません。

その他の複数システム

FHSS コードレス電話と DSSS コードレス電話

構成の詳細

テストは次の構成で、複数の 2.4 GHz ISM システムを使用して実行されました。

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する DSSS コードレス電話 1 台。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 5 メートルに位置する、2 台のインターコムモードの FHSS コードレス電話。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する、2 台のインターコムモードの FHSS コードレス電話と、2 台のインターコムモードの DSSS コードレス電話。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました。

- WirelessUSB LP/LPstar マウスでは知覚される待ち時間はありません。
- Wi-Fi ネットワークでのデータスループットの損失は 1%未満です。
- Bluetooth ネットワークでのデータスループットの損失は 1%未満です。
- DSSS コードレス電話での音声品質の低下は、知覚されません。
- FHSS コードレス電話の音声品質の低下は、知覚されません。

Wi-Fi、FHSS コードレス電話、DSSS コードレス電話

構成の詳細

テストは次の構成で、複数の 2.4 GHz ISM システムを使用して実行されました。

- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する、3 つの個別のチャンネルの Wi-Fi アクセスポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 2 つの Wi-Fi エンドポイント。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジの 0.25 メートル以内にある 1 つの Wi-Fi エンドポイント (802.11 と WirelessUSB LP/LPstar の両方を備えたラップトップをシミュレートするため)。

- WirelessUSB LP/LPstar Bridge から 1 メートルに位置する DSSS コードレス電話 1 台 (DSSS コードレス電話と WirelessUSB LP/LPstar を搭載したコンピューターが設置されたオフィスをシミュレートするため)。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 5 メートルに位置する 2 台の FHSS コードレス電話。
- WirelessUSB LP/LPstar ブリッジから 10 メートルに位置する 1 つの WirelessUSB LP/LPstar マウス。

合格基準

すべてのテストは次の基準で合格しました。

- WirelessUSB LP/LPstar マウスでは知覚される待ち時間はありません。
- Wi-Fi ネットワークでのデータスループットの損失は 1%未満です。
- Bluetooth ネットワークでのデータスループットの損失は 1%未満です。
- DSSS コードレス電話での音声品質の低下は、知覚されません。
- FHSS コードレス電話の音声品質の低下は、知覚されません。

まとめ

すべての標準 2.4 GHz ネットワーキングテクノロジーは、干渉の影響を軽減または回避するために設計上のトレードオフを行っています。設計者は、実装されている標準規格から提供される手順を使用するか、ここに記載されている方法を使用して RSSI などの無線機能と組み合わせて独自のプロトコルを構築することにより、周波数に俊敏なシステムを作成できます。

2.4 GHz 以外のシステムからの干渉を完全に排除することはできませんが、設計者は周波数に俊敏なシステムを作成できるため、競争の激しい今日の 2.4 GHz ISM 帯域環境で製品が生き残るための最良の機会を提供できます。

WirelessUSB LP/LPstar は、他のすべての 2.4 GHz テクノロジーと共存するように設計されています。DSSS、強力なエラー訂正、再送信、および周波数アジリティにより、WirelessUSB LP/LPstar は他のテクノロジーからの干渉に対して堅牢になります。これにより、WirelessUSB LP/LPstar は、一般的なオフィスの無線環境の 10 メートルで確実に動作します。さらに WirelessUSB LP/LPstar は別の 2.4 GHz テクノロジーに過度の干渉を引き起こしません。

改訂履歴

文書名: AN4004 – 2.4～2.5 GHz ISM 帯域での干渉軽減の課題とソリューション

文書番号: 001-15255

版数	変更内容
**	本版は英語版 001-15255 Rev. *Dについて、CYPRESS DEVELOPER COMMUNITYの参画者によって日本語に翻訳されたドキュメントです。

セールス、ソリューションおよび法律情報

ワールドワイドな販売と設計サポート

サイプレスは、事業所、ソリューションセンター、メーカー代理店、および販売代理店の世界的なネットワークを保持しています。お客様の最寄りのオフィスについては、[サイプレスのロケーションページ](#)をご覧ください。

製品

Arm® Cortex® Microcontrollers	cypress.com/arm
車載用	cypress.com/automotive
クロック&バッファ	cypress.com/clocks
インターフェース	cypress.com/interface
IoT (モノのインターネット)	cypress.com/iot
メモリ	cypress.com/memory
マイクロコントローラ	cypress.com/mcu
PSoC	cypress.com/psoc
電源用 IC	cypress.com/pmuc
タッチセンシング	cypress.com/touch
USB コントローラー	cypress.com/usb
ワイヤレス	cypress.com/wireless

PSoC®ソリューション

[PSoC 1](#) | [PSoC 3](#) | [PSoC 4](#) | [PSoC 5LP](#) | [PSoC 6 MCU](#)

サイプレス開発者コミュニティ

[コミュニティ](#) | [サンプルコード](#) | [Projects](#) | [ビデオ](#) | [ブログ](#) | [トレーニング](#) | [Components](#)

テクニカルサポート

cypress.com/support

本書で言及するその他すべての商標または登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。



Cypress Semiconductor
An Infineon Technologies Company
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709

© Cypress Semiconductor Corporation, 2008-2020. 本書面は、Cypress Semiconductor Corporation 及び Spansion LLC を含むその子会社 (以下「Cypress」という。) に帰属する財産である。本書面 (本書面に含まれ又は言及されているあらゆるソフトウェア若しくはファームウェア (以下「本ソフトウェア」という。) を含む) は、アメリカ合衆国及び世界のその他の国における知的財産法令及び条約に基づき Cypress が所有する。Cypress はこれらの法令及び条約に基づく全ての権利を留保し、本段落で特に記載されているものを除き、その特許権、著作権、商標権又はその他の知的財産権のライセンスを一切許諾しない。本ソフトウェアにライセンス契約書が伴っておらず、かつ Cypress との間で別途本ソフトウェアの使用方法を定める書面による合意がない場合、Cypress は、(1) 本ソフトウェアの著作権に基づき、(a) ソースコード形式で提供されている本ソフトウェアについて、Cypress ハードウェア製品と共に用いるためののみ、かつ組織内部でのみ、本ソフトウェアの修正及び複製を行うこと、並びに (b) Cypress のハードウェア製品ユニットに用いるためののみ、(直接又は再販売者及び販売代理店を介して間接のいずれかで) 本ソフトウェアをバイナリコード形式で外部エンドユーザーに配布すること、並びに (2) 本ソフトウェア (Cypress により提供され、修正がなされていないもの) が抵触する Cypress の特許権のクレームに基づき、Cypress ハードウェア製品と共に用いるためののみ、本ソフトウェアの作成、利用、配布及び輸入を行うことについての非独占的で譲渡不能な一身専属的ライセンス (サブライセンスの権利を除く) を付与する。本ソフトウェアのその他の使用、複製、修正、変換又はコンパイルを禁止する。

適用される法律により許される範囲内、Cypress は、本書面又はいかなる本ソフトウェア若しくはこれに伴うハードウェアに関しても、明示又は黙示をとわず、いかなる保証 (商品性及び特定の目的への適合性の黙示の保証を含むがこれらに限られない) も行わない。いかなるコンピューティングデバイスも絶対に安全ということはない。従って、Cypress のハードウェアまたはソフトウェア製品に講じられたセキュリティ対策にもかかわらず、Cypress は、Cypress 製品への権限のないアクセスまたは使用といったセキュリティ違反から生じる一切の責任を負わない。加えて、本書面に記載された製品には、エラーと呼ばれる設計上の欠陥またはエラーが含まれている可能性があり、公表された仕様とは異なる動作をする場合がある。適用される法律により許される範囲内、Cypress は、別途通知することなく、本書面を変更する権利を留保する。Cypress は、本書面に記載のある、いかなる製品若しくは回路の適用又は使用から生じる一切の責任を負わない。本書面で提供されたあらゆる情報 (あらゆるサンプルデザイン情報又はプログラムコードを含む) は、参照目的のためのみに提供されたものである。この情報で構成するあらゆるアプリケーション及びその結果としてのあらゆる製品の機能性及び安全性を適切に設計、プログラム、かつテストすることは、本書面のユーザーの責任において行われるものとする。Cypress 製品は、兵器、兵器システム、原子力施設、生命維持装置若しくは生命維持システム、蘇生用の設備及び外科的移植を含むその他の医療機器若しくは医療システム、汚染管理若しくは有害物質管理の運用のために設計され若しくは意図されたシステムの重要な構成部分としての使用、又は装置若しくはシステムの不具合が人身傷害、死亡若しくは物的損害を生じさせるようなその他の使用 (以下「本目的外使用」という。) のためには設計、意図又は承認されていない。重要な構成部分とは、その不具合が装置若しくはシステムの不具合を生じさせるか又はその安全性若しくは実効性に影響すると合理的に予想できるような装置若しくはシステムのあらゆる構成部分をいう。Cypress 製品のあらゆる本目的外使用から生じ、若しくは本目的外使用に関連するいかなる請求、損害又はその他の責任についても、Cypress はその全部又は一部をとわず一切の責任を負わず、かつ Cypress はそれら一切から本書により免除される。Cypress は Cypress 製品の本目的外使用から生じ又は本目的外使用に関連するあらゆる請求、費用、損害及びその他の責任 (人身傷害又は死亡に基づく請求を含む) から免責補償される。

Cypress, Cypress のロゴ, Spansion, Spansion のロゴ及びこれらの組み合わせ, WICED, PSoC, CapSense, EZ-USB, F-RAM, 及び Traveo は、米国及びその他の国における Cypress の商標又は登録商標である。Cypress のより完全な商標のリストは、cypress.com を参照すること。その他の名称及びブランドは、それぞれの権利者の財産として権利主張がなされている可能性がある。