

Application Note

TI の Wi-SUN® ネットワークの性能



Liangcheng Tao, Henry Isobe, Simeon Aleksandrov, and Robert Liang

概要

このアプリケーションノートは、複数のネットワーク構成とスタック構成を対象とした TI の Wi-SUN® ネットワークの性能調査の結果を紹介します。この資料は、テスト方法と結果に加え、Wi-SUN フィールドエリアネットワーク (FAN) スタックの概略説明を提示します。この結果は、異なるネットワーク構成とフィールドで予想でされる性能を備えた設計実践に関する一般的なガイドラインを提供するものです。

API と実装の詳細については、[TI の Wi-SUN スタック ユーザーガイド](#)および [SIMPLELINK-LOWPOWER-SDK の製品ページ](#)を参照してください。

目次

1 略称.....	3
2 はじめに.....	4
3 ネットワークの構成.....	5
4 Wi-SUN FAN と参加のプロセス.....	6
4.1 Wi-SUN の FAN.....	6
4.2 接続プロセス.....	6
5 テスト結果.....	8
5.1 接続時間 - 応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化.....	8
5.2 1 つのルータノードでの再接続時間.....	9
5.3 フルネットワークの再接続時間.....	10
5.4 スループット - 応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化.....	12
5.5 BR による RN 接続解除の検出.....	14
5.6 BR 接続解除時の RN 検出.....	15
6 レイテンシ.....	16
7 優先ペアレントと 接続解除されたペアレント.....	18
7.1 優先ペアレント.....	18
7.2 ペアレントの接続解除.....	19
7.3 優先ペアレントおよび 接続解除されたペアレントのテスト結果.....	20
8 追加情報.....	21
9 まとめ.....	22
10 参考資料.....	22

図の一覧

図 3-1. SysConfig ネットワーク構成設定メニュー.....	5
図 4-1. FAN の例.....	6
図 4-2. ルータノードの接続プロセス.....	7
図 5-1. LNT ボードのセットアップ.....	8
図 5-2. 大規模ネットワークテスト (LNT) の設定.....	8
図 5-3. Wi-SUN® 接続時間による応答性の最大化、平衡モード、スケーラビリティの高いネットワーク構成 (50kbps PHY).....	8
図 5-4. Wi-SUN® 接続時間による応答性の最大化、平衡モード、スケーラビリティの高いネットワーク構成 (300kbps PHY).....	9
図 5-5. 1 つのルータノードが再接続する時間のテスト図.....	9
図 5-6. 1 つのルータノードの再接続時間による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク設定の最大化.....	10
図 5-7. フルネットワーク再接続時間テストの設定.....	10
図 5-8. フルネットワーク再接続時間による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化のネットワーク構成 (50kbps PHY).....	11

図 5-9. フルネットワーク再接続時間による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化のネットワーク構成 (300kbps PHY).....	11
図 5-10. 1 つのルータノード スループットテスト図.....	12
図 5-11. 50kbps、150kbps、300kbps PHY のための 1 つのルータノード スループットテスト.....	12
図 5-12. LNT スループットテストの構成.....	12
図 5-13. LNT スループットテストによる応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化のネットワーク構成 (50kbps PHY).....	13
図 5-14. BR による RN 接続解除の検出例図.....	14
図 5-15. BR の応答性の最大化と RN 接続解除検出の時間設定.....	14
図 5-16. BR 接続解除時の RN 検出例: 初期設定.....	15
図 5-17. BR 接続解除時の RN 検出例: BR1 を接続解除し、BR2 を接続します。.....	15
図 6-1. 1 つのルータノード Ping レイテンシ (ミリ秒単位) による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化.....	16
図 6-2. 1 つのルータノード Ping のレイテンシ (ミリ秒単位) による応答性の最大化のネットワーク構成を使用した、異なる PHY 構成.....	16
図 6-3. ユニキャスト Ping テスト (ミリ秒単位)による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化.....	17
図 7-1. 優先ペアレントの例: 初期設定.....	18
図 7-2. 優先ペアレントの例: RN4 の接続.....	18
図 7-3. 優先ペアレントの例: RN3 の迂回路の観測.....	18
図 7-4. 接続解除されたペアレントの例: 初期設定.....	19
図 7-5. 接続解除されたペアレントの例: RN1 の接続解除.....	19
図 7-6. 接続解除されたペアレントの例: RN4 経由のルート変更の観測.....	19
図 8-1. Ping レイテンシヒストグラム (1 ルータノード、50kbps) による応答性の最大化のネットワーク設定.....	21
図 8-2. 平衡モードネットワーク構成のための Ping レイテンシヒストグラム (1 ルータノード、50kbps).....	21
図 8-3. Ping レイテンシヒストグラム (1 ルータノード、50kbps) によるスケーラビリティの最大化のネットワーク構成.....	21

表の一覧

表 1-1. 略称一覧.....	3
表 2-1. TI の Wi-SUN のサポート.....	4
表 3-1. LNT ネットワーク構成のオプション.....	5
表 5-1. BR および RN 接続解除検出時間のネットワーク構成デフォルト設定.....	14
表 5-2. RN 接続解除の BR 検出ネットワーク構成による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化.....	14
表 5-3. BR 接続解除時間の RN 検出による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化.....	15
表 7-1. 最大応答性ネットワーク構成 (50kbps PHY) のための優先ペアレントの結果.....	20
表 7-2. 最大応答性ネットワーク構成 (50kbps PHY) のための 接続解除されたペアレントの結果.....	20

商標

コードコンポーザースタジオ™ is a trademark of Texas Instruments.

Wi-SUN® is a registered trademark of Wi-SUN Alliance.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 略称

表 1-1. 略称一覧

略称	定義
LNT	大規模ネットワークテスト
Wi-SUN の FAN	ワイヤレス スマートユーティリティ ネットワーク フィールドエリア ネットワーク
IDE	統合開発環境
SDK	ソフトウェア開発キット
RTOS	リアルタイム 作動システム
UDP	ユーザ データグラム プロトコル
RFC	コメントのリクエスト
IOT	インターネット関係
IETF	インターネット技術タスク委員会
FAN	フィールドエリア ネットワーク
CCS	コード コンポーザー スタジオ
RN	ルータノード
BR	ボーダールータ
PAN	パーソナルエリア ネットワーク
GTK	グループキー
PHY	OSI モデルの物理層
EAPOL	LAN 上の拡張認証プロトコル
IPv6	インターネットプロトコル バージョン 6
IPv4	インターネットプロトコル バージョン 4
WAN	ワイドエリア ネットワーク
DLMS/COSEM	デバイス言語のメッセージ仕様とエネルギー計測のためのコンパニオン仕様
CSMA/CA	衝突回避機能付きキャリアセンス多重アクセス

2 はじめに

Wi-SUN は、ライン電源のルータとゲートウェイで構成されるネットワークを使用して、メッシュ構造の大規模 IOT ネットワークを有効にすることを目的とした無線通信規格です。[Wi-SUN® Alliance](#) には、46 か国から 300 社を超えるメンバーがあり、世界中で 1 億台以上のデバイスが導入されています。Wi-SUN FAN v1.0 の設計は、Wi-SUN 準拠の TI 15.4 スタック周波数ホッピング スキーム上に統合されたオープンソースの IETF RFC コンポーネントに基づいています。オープンソースの SPINEL インターフェイスを基盤としたネットワークインターフェイスモデルが提供されています。通常、IPv6 上に UDP をトランスポート層として使用するアプリケーションで開発されています。Wi-SUN FAN スタックは、オープンソースコンポーネントの 6LoWPAN、RPL、IPv6、ICMPv6、UDP 層を適応しています。Wi-SUN FAN v1.0 の設計は、組み込みデバイスに適合するよう、メモリ使用量を最小限に最適化されています。ソフトウェア スタックの統合とテストは、タグ付きの認定済みリリースで実施されます。テキサス インスツルメンツは、Wi-SUN Alliance に対して複数の FAN プロファイルを検証済みであり、CC13x2x および CC13x4x10 デバイスで利用できることを確認しています。内部メモリの制約により、すべてのデバイスがすべての FAN プロファイルをサポートしているわけではありません。[表 2-1](#) に、このドキュメントのリリース時点でサポートされているソフトウェアおよびデバイスの概要を示します。

表 2-1. TI の Wi-SUN のサポート

部品	バージョン
TI の Wi-SUN FAN	1.0
ディストリビューション	CC13x2 と CC13x4 の各デバイス向けの SDK8.30 に、ライブラリコードとして含まれています。
IDE のサポート	コードコンポーザースタジオ™ (CCSTUDIO を参照)
コンパイラのサポート	TI の Clang 2.1 LTS
RTOS のサポート	TI-RTOS、無償 RTOS
サポートされているデバイス	ボーダールータ: CC1312R7 、 CC1352P7 、 CC1314R10 、 CC1354R10 、 CC1354P10 ルータノード: CC1312R 、 CC1312PSIP 、 CC1352R 、 CC1352P 、 CC1312R7 、 CC1352P7 CC1314R10 、 CC1354R10 、 CC1354P10

このアプリケーションノートの目的は、CC1312R1、CC1312R7、CC1352R1、CC1354P10-1 を使用して性能をテストすることで、メッシュネットワークの性能、接続性、および信頼性を説明することです。

3 ネットワークの構成

このセクションでは、TI の Wi-SUN FAN ネットワーク内で使用できるさまざまなネットワークプロファイルについて説明します。多くのワイヤレスネットワークと同様に、Wi-SUN ネットワークにはネットワークの形成、データパケットのルート決定、およびリンクの障害処理を行う制御トラフィック（ルーティングパケットの送信、ネイバーディスカバリ、リンクメンテナンスなど）が含まれます。制御トラフィックの増加は、異なるプロトコル層でタイムアウトを短縮できることを意味し、これによりより応答性の高いネットワークが実現されます。ただし、このような制御トラフィックからのプロトコルオーバーヘッドも通信時間を要するため、アプリケーションデータトラフィックで使用可能な最大ネットワークキャパシティが制限されます。

TI の Wi-SUN FAN ソリューションは、ネットワークコントロールパケットのオーバーヘッド量を決定する 3 つのプロファイルを定義しています。各プロファイルには推奨される設定があり、追加要件に合わせて対応することができます。プロファイルは、SysConfig を使用して簡単に選択できます。表 3-1 では、各ネットワークプロファイルの違いについて簡単に説明します。

表 3-1. LNT ネットワーク構成のオプション

ネットワークプロファイル	構成概要
応答性の最大化	プロトコルのタイムアウトが短くなったため、ネットワークコントロールパケットトラフィックが増加しました。
バランスモード	他の 2 つのプロファイルと比較して、ネットワークオーバーヘッドとアプリケーショントラフィックのバランスを取ります。
スケーラビリティの最大化	各ノードあたりのネットワークコントロールトラフィックを最小化することで、デバイスごとの応答性の低下をしながら、全体的なネットワーク容量を向上させることを目的としています。

SysConfig を使用すると、表 3-1 に指定した条件に基づいて希望のネットワークプロファイルを選択できます。各プロファイルの変更フィールドは、詳細設定タブにあります (図 3-1 を参照)。

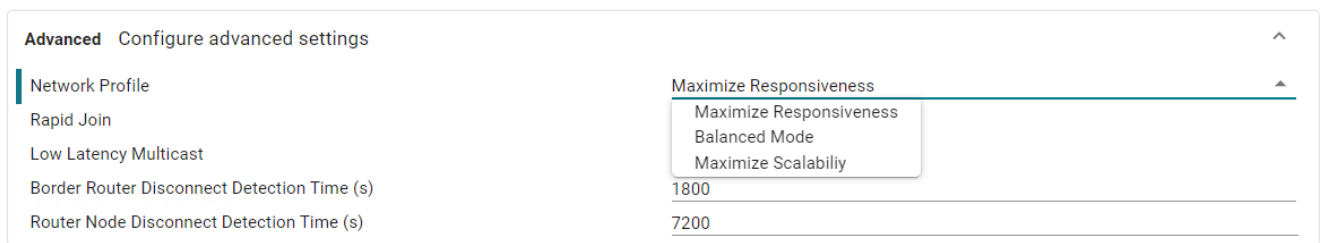


図 3-1. SysConfig ネットワーク構成設定メニュー

4 Wi-SUN FAN と参加のプロセス

このセクションのアプリケーションノートでは、ネットワーク接続の例を示し、ルータノードがネットワークに接続するために必要な通過プロセスを説明しながら、Wi-SUN FAN について簡単に説明します。

4.1 Wi-SUN の FAN

大規模なフィールドエリアネットワークの例を、[図 4-1](#) を参照ください。このようなネットワークは、大規模な通信を必要とする機器で使用されます。たとえば、都市内の街路灯や工場内で通信を行うセンサーなどです。

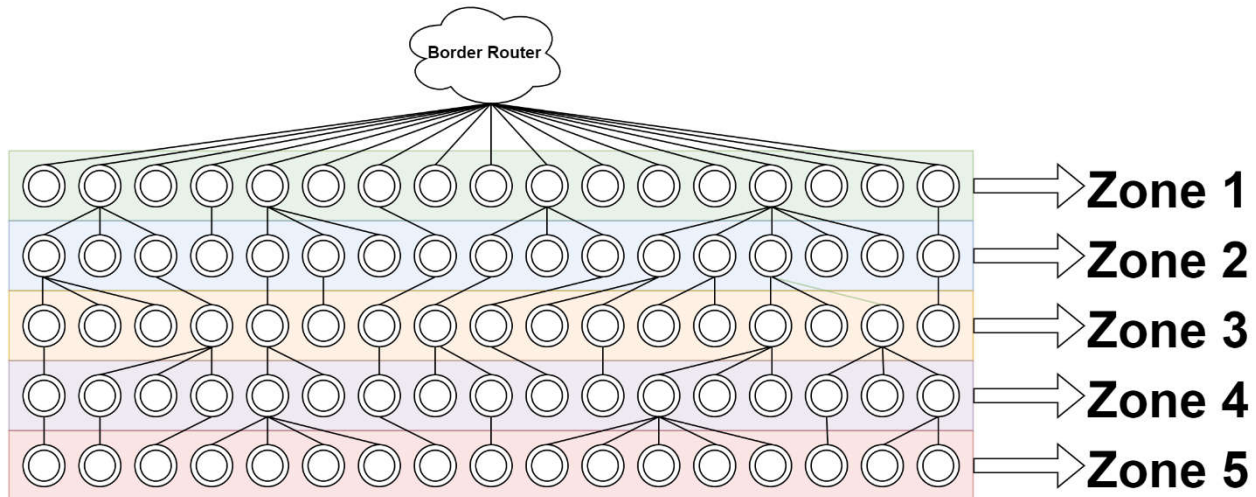


図 4-1. FAN の例

FAN は、多くの小規模なパーソナルエリアネットワーク (PAN) で構成されています。[図 4-1](#) に、WAN 接続用のヘッドデバイスとしてボーダールータ (BR) を使用し、エンドデバイスとして多数のルータノード (RN) を使用した 1 つの PAN 配信の例を示します。BR は、ネットワーク内のすべてのルータノードのアドレスを追跡し、それらへのルーティングを管理します。各 RN は、PAN 内での上方と下方の packets 転送を提供し、セキュリティおよびアドレス プロトコルを新しいデバイスと共有することで、ネットワークに新しいデバイスを追加するために使用できます。Wi-SUN FAN の追加情報については、[TI の Wi-SUN FAN](#) をご覧ください。

4.2 接続プロセス

ルータノードは、エリア内で PAN 広告要請を送信することでネットワークに参加でき、周囲のネットワークのイメージを取得できます。ルータノードは、ネットワークの PAN ID を使用して接続するネットワークを選択し、EAPOL レイヤーを通じて認証プロセスを開始します。認証されると、セキュリティ交換が実行され、ルータノードは GTK を受信します。GTK を使用して着信構成メッセージを復号化することにより、さらに安全に PAN 設定が行われます。PAN 構成が完了すると、ルータノードはネットワークとルーティング情報を交換します。これが正常に行われた場合、接続デバイスはネットワーク内の操作可能なルータノードになります。接続ルータノードは、ネットワークに新しいルータノードを追加できます。[図 4-2](#) に、プロセスの手順を表示します。各状態の詳細については、[TI の Wi-SUN スタック ユーザーガイド](#) を参照してください。

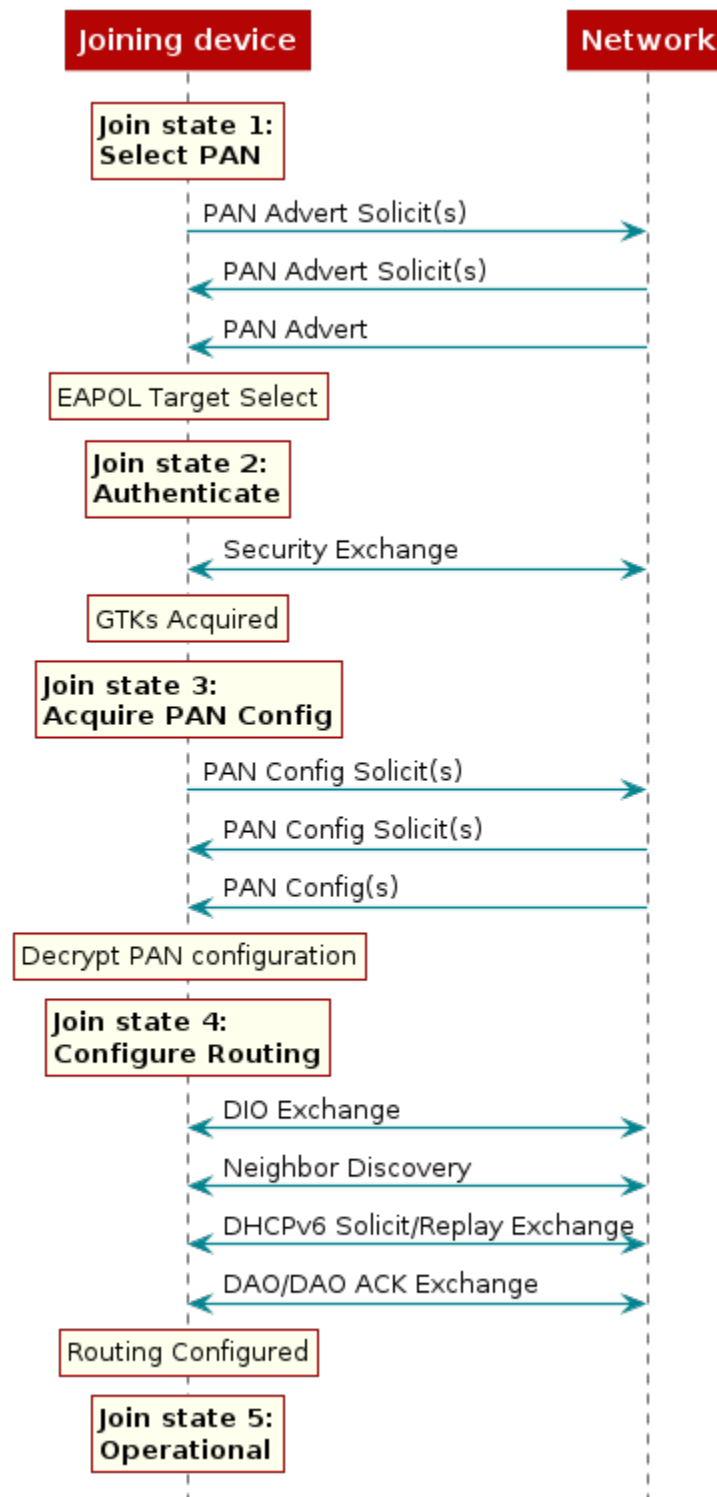


図 4-2. ルーターノードの接続プロセス

5 テスト結果

この章に示すテストは、表 2-1 に示す SDK バージョンを使用して実施されました。測定のボード構成を図 5-1 に示します。



図 5-1. LNT ボードのセットアップ

5.1 接続時間 - 応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化

接続時間は、すべてのルータノードが新しいネットワークに接続するために必要な時間です。このテストは、図 5-2 に示す設定を使用して、各ネットワーク構成で実行されます。図 5-3 に、ネットワークに接続するノード数と、それに必要な時間を示します。

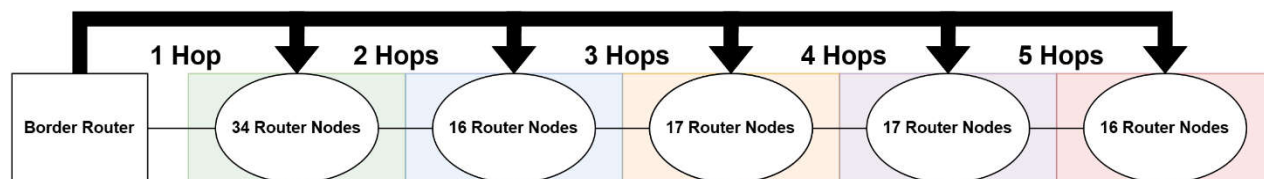


図 5-2. 大規模ネットワークテスト (LNT) の設定

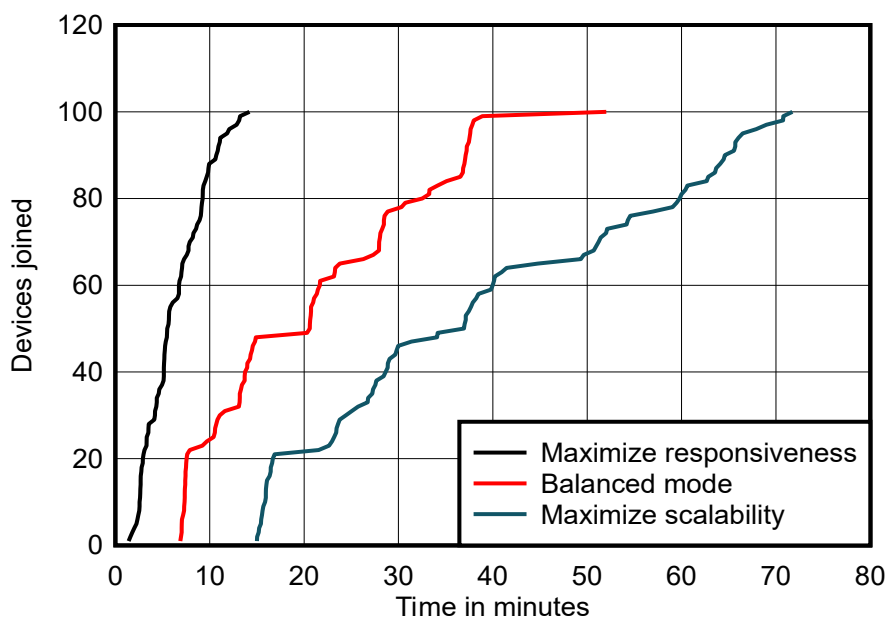


図 5-3. Wi-SUN® 接続時間による応答性の最大化、平衡モード、スケーラビリティの高いネットワーク構成 (50kbps PHY)

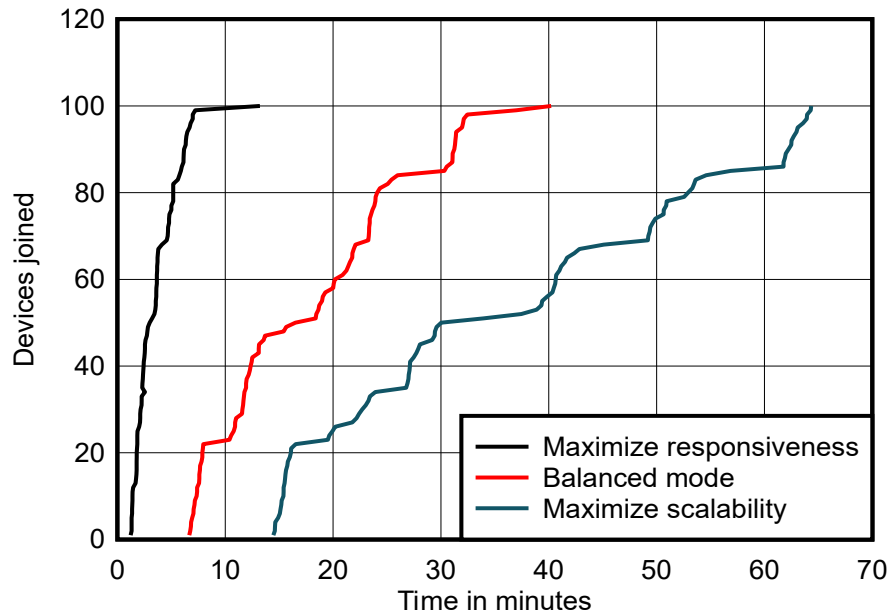


図 5-4. Wi-SUN® 接続時間による応答性の最大化、平衡モード、スケーラビリティの高いネットワーク構成 (300kbps PHY)

応答性の最大化のネットワーク構成は、[セクション 3](#) 内の各構成の定義に基づいて期待される結果として、最も高速な接続を確立します。

300kbps はデータレートが高いため接続時間が短くなりますが、これによる削減効果は顕著または比例的なものではありません。これは、プロトコルスタックの異なるレイヤーにおけるプロトコルタイマー構成が、接続時間の決定要因となるためです。

5.2 1 つのルータノードでの再接続時間

操作中は、ルータノードをネットワークから接続解除します。1 つのルータノードの再接続時間は、ルータノードが PAN に再接続するのに必要な時間を測定します。測定は、完全に接続されたネットワーク内でデバイスの接続解除することによって行われ ([図 5-5](#) を参照)、各ネットワーク構成 (応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化) に引き継がれます。

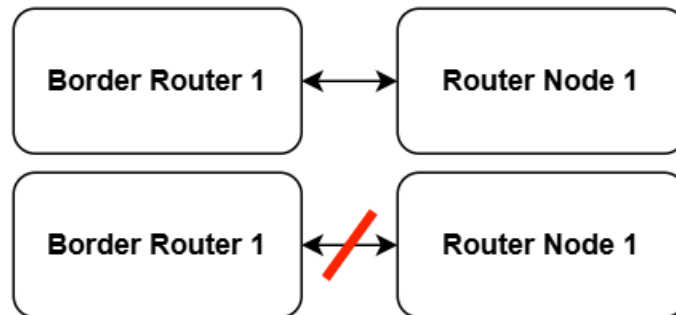


図 5-5. 1 つのルータノードが再接続する時間のテスト図

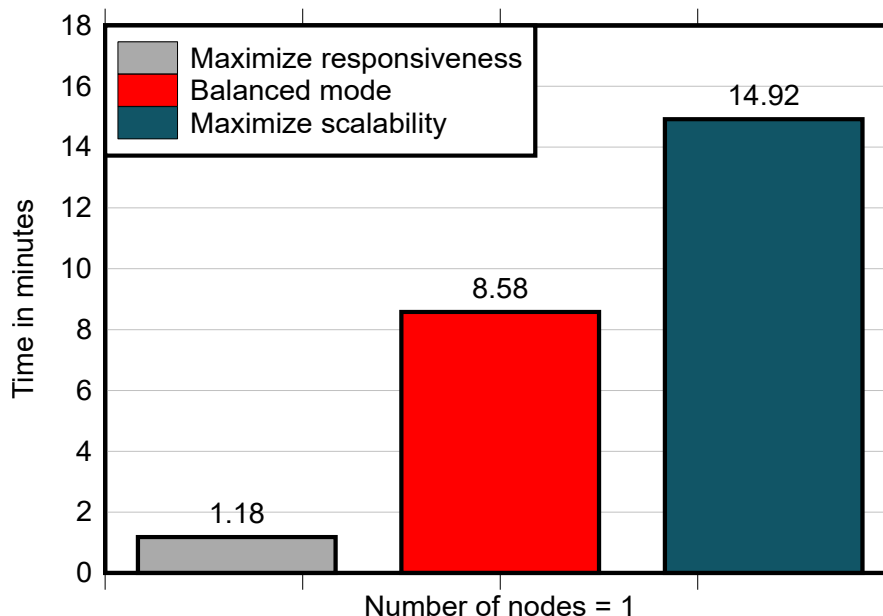


図 5-6. 1 つのルータノードの再接続時間による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク設定の最大化

接続時間の結果と同様に、RN と BR の間で一定期間にわたって交換されるメッセージの数が増加したため、応答性の最大化のネットワークが最も速く再接続します。

5.3 フルネットワークの再接続時間

1RN 再接続時間と同様に、フルネットワーク再接続時間は、すべてのルータノードがボーダールータデバイスに再接続するまでの時間を測定します。このテストを使用して、現場で完全な電源オフシナリオをシミュレートし、ルータノードの電力損失のリスクが高い領域でのパフォーマンスを推定できます。フルネットワーク再接続テストでは、初期接続時間のテストと同じポロジータを使用し、ネットワークポロジータの違いによる変更を回避します。図 5-7 に、フルネットワーク再接続テストの図を示します。すべてのルータノードがリセットされ、ネットワークに再接続される時間が測定されます。

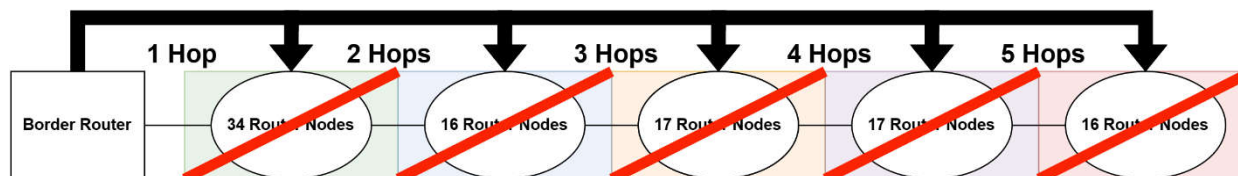


図 5-7. フルネットワーク再接続時間テストの設定

図 5-8 および図 5-9 に上記のセットアップを使用した再接続時間の結果を示します。このテストは、50kbps と 300kbps の PHY の両方を使用して実行されています。

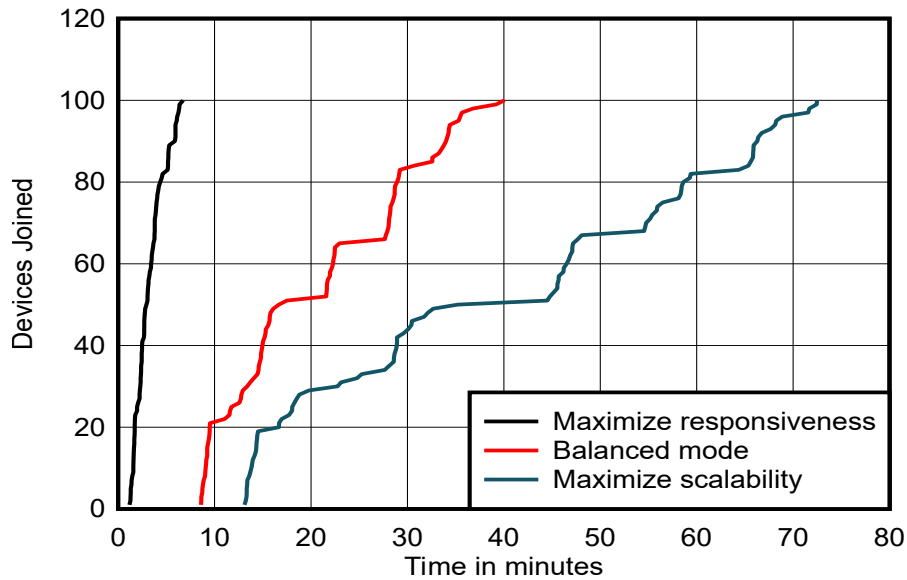


図 5-8. フルネットワーク再接続時間による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化のネットワーク構成 (50kbps PHY)

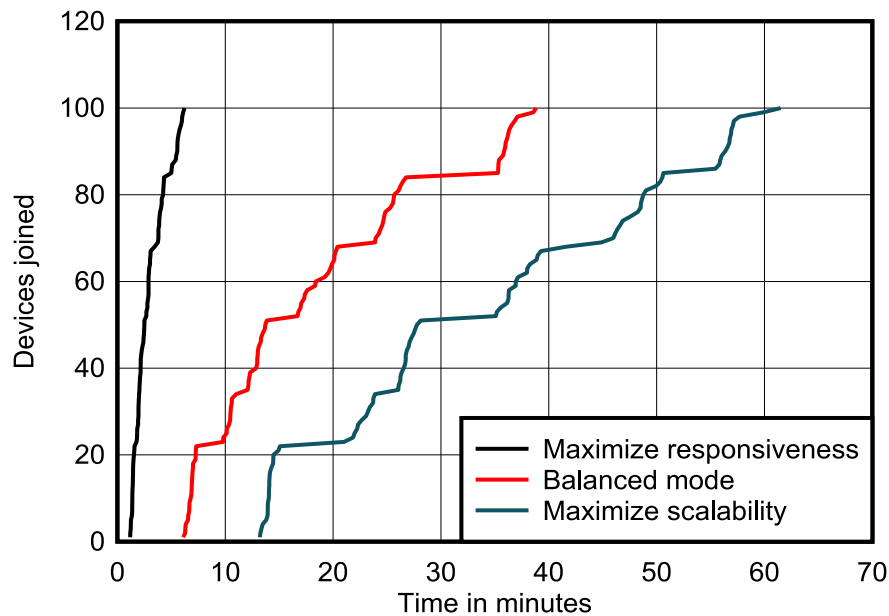


図 5-9. フルネットワーク再接続時間による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化のネットワーク構成 (300kbps PHY)

ルータノードは初期接続時にすでに設定されているため、ルータノードは構成と GTK を保持できるため、再接続時間が初期接続時間よりも短くなります。応答性の最大化と平衡モードの構成には、PHY は大きな違いをもたらさず、決定要因は依然としてプロトコルタイマーです。ただし、スケーラビリティの最大化は、プロトコルのオーバーヘッドが低いいため、プロトコルタイマだけが決定要因ではなく、データレートの向上により再接続時間が大幅に改善されます。

5.4 スループット - 応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化

スループットテストは、ユニキャスト **iPerf** を使用して実行します。[図 5-11](#) は、応答性の最大化のネットワーク構成を使用した、各種 PHY のスループットを示します。テストは、[図 5-12](#) に示すように、ボーダールータに接続された 1 つのルータノード間で 1200 バイトのペイロード パケットを 60 秒間送信することによって実行されます。

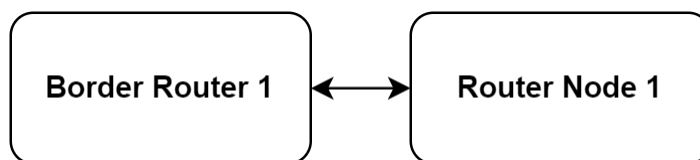


図 5-10. 1 つのルータノード スループットテスト図

[図 5-11](#) に、1 つのルータノードのスループットテストにおける各 PHY の結果を示します。

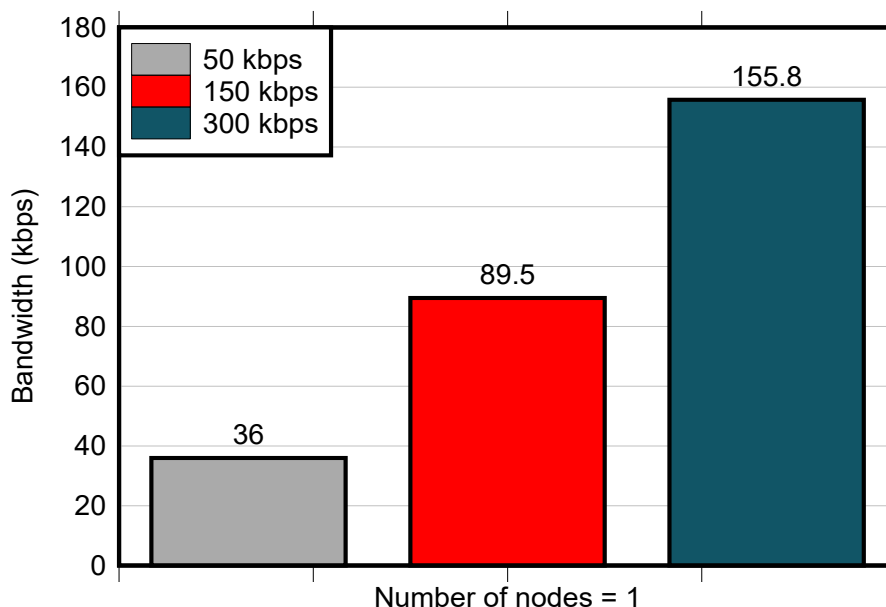
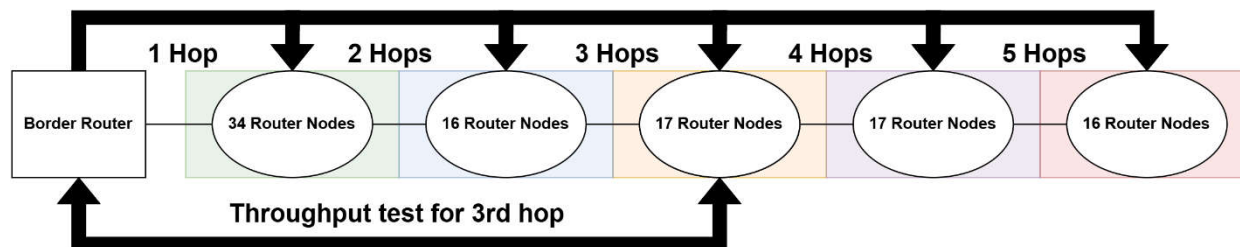


図 5-11. 50kbps、150kbps、300kbps PHY のための 1 つのルータノード スループットテスト

[図 5-11](#) は測定結果を示し、予想通りデータレートが上昇するにつれてスループットが向上していることが確認できます。スループットテストは、接続テストと同じ構成を使用して、特定のデータレートにおいて大規模なネットワーク構成で繰り返し実施され、ホップ数や他の隣接デバイスが 1 組のデバイス間のスループットに与える影響を調査し、その結果は[図 5-12](#) に示されています。



A. 3 番目のホップでのノードテストは、図の下に矢印で示されています。

図 5-12. LNT スループットテストの構成

上記のネットワークの完全な接続入後、このホップから 3 つの異なるルータノードを選択し、ボーダールータと各ノードの間で 1200 バイトのペイロードパケットを 60 秒間送信することによって、各ホップのスループットがテストされます。これにより、パケットのエラーレートが 2% を超えるまで、最大スループットが向上します。このテストは、ホップ (1~5) およびネットワーク構成 (応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化) ごとに繰り返されます。図 5-13 に、結果を形状示します。

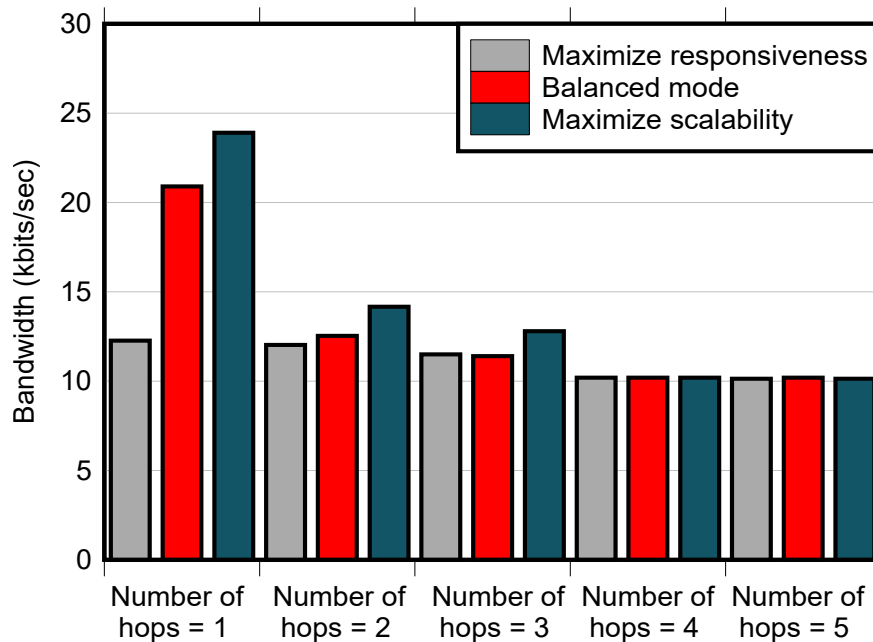


図 5-13. LNT スループットテストによる応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティの最大化のネットワーク構成 (50kbps PHY)

スループットテストは、ネットワークに双方向 UDP パケットを注入するユニキャスト **iPerf** のベーストラフィックを使用して実行されます。TI の Wi-SUN のデフォルト構成では、ブロードキャスト滞在時間とブロードキャスト間隔はそれぞれ 250ms と 1 秒に設定されており、これによりユニキャストトラフィックで使用できるエアタイムは 75% となります。50kbps のデータレートを考慮すると、ユニキャストトラフィックの最大ネットワーク容量は 37.5kbps となります。

スケーラビリティの最大化の構成では、制御オーバーヘッドが最も少なく、使用可能な帯域幅の大部分をデータスループットに割り当てるため、その結果スループットは約 24kbps になります。これは、CSMA ベースのネットワークで予想される通り、ネットワーク容量の 65% です。

応答性の最大化の構成では、約 12kbps のデータスループット (使用可能な能力の約 33%) は、スケーラビリティの最大化の構成で使用可能だった残りの 32% が追加ネットワークコントロールトラフィックによって占有されることを意味します。

ホップ数が増加すると、空間の多様性により、特定のパケットを通過させるために必要なホップの総数に比較して、最大パラレル転送が増加します。

Wi-SUN スタックの周波数ホッピング方式は、マルチホップシナリオでネットワークスペクトルを利用します。理論上、他の条件がすべて良好で、ホップが 1 つのネットワークの通過量が X である場合、ホップが 2 つのネットワークのスループットは $\frac{1}{2}X$ になります (2 ホップを跨ぐ並列伝送は 1 つのみであるため)。ホップが 3 つのネットワークのスループットは $\frac{1}{2}X$ ですが、3 ホップを跨ぐために、1 または 2 の並列リンクのいずれかの転送が必要です。同様に、ホップが 4 つのネットワークとホップが 5 つのネットワークのスループットはどちらも $\frac{1}{2}X$ です。

スケーラビリティの最大化の構成では、ネットワークキャパシティの大部分がアプリケーションのスループットに使用される場合、このパターンはより明白になります。応答性の最大化とバランスモードの構成では、ネットワーク内のすべてのノードからのプロトコル オーバーヘッドが全体のトラフィックの大部分を占め、ホップ数の増加に伴って増加するため、アプリケーションのスループットはホップ数の増加に対して大きな比例損失を示しません。他のデータレートを使用したスループットテストでは、使用可能なネットワーク容量に応じて同様の傾向が示されることが予想されます。

5.5 BR による RN 接続解除の検出

メッシュネットワークの動作中、一部のルータノードは電源喪失、信号不良、またはその他の環境要因により接続が切断される可能性があります。ボーダールータがこの接続の切断を検出するまでに要する時間を理解するため、[図 5-14](#) ボーダールータ 1 に接続された 2 つのルータノードを用いたテストシナリオを説明します。

テスト中、ルータノード 2 は接続解除されます。ボーダールータ 1 がこの変更を検出するまでの時間が記録されます。

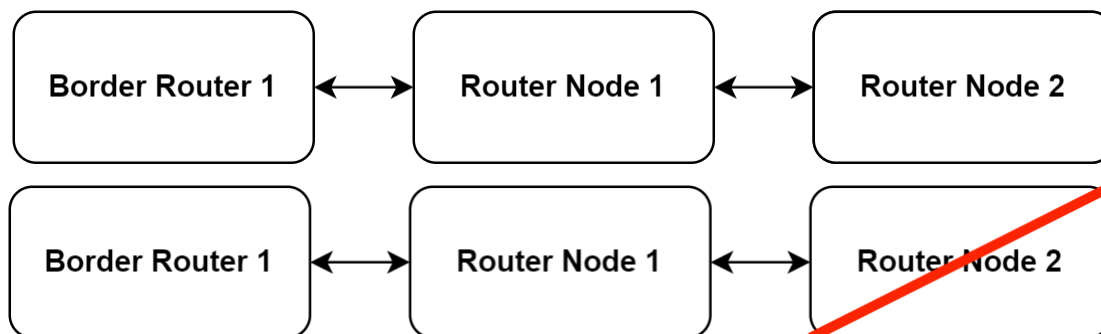


図 5-14. BR による RN 接続解除の検出例図

異なるネットワーク構成を使用する場合、[図 5-15](#) に示すように SysConfig を使用して BR と RN の接続解除検出時間を変更してください。

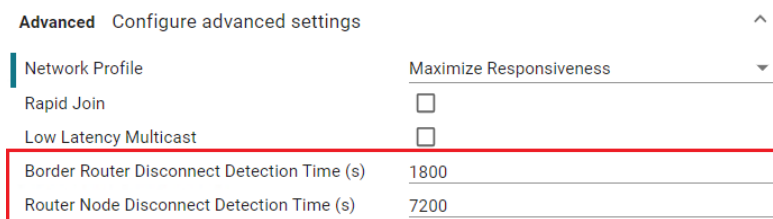


図 5-15. BR の応答性の最大化と RN 接続解除検出の時間設定

各 構成のデフォルト値は、[表 5-1](#) に表示されています。これらの値はネットワークへの影響を最小限に抑えるように選択されていますが、積極的なルートでリフレッシュする戦略略を選択するか、他の適用方法を使用することで、より応答性の高い検出を実現できます。

表 5-1. BR および RN 接続解除検出時間のネットワーク構成デフォルト設定

ネットワークの構成	デフォルトのルータノード接続解除検出時間 (分単位)	デフォルトのボーダールータノード接続解除検出時間 (分単位)
スケーラビリティの最大化	480	90
バランスモード	240	60
応答性の最大化	120	30

[表 4](#) は、ボーダールータ 1 がルータノード 2 の接続解除を検出するまでに要する時間を示しています。

表 5-2. RN 接続解除の BR 検出ネットワーク構成による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化

ネットワークの構成	接続解除の検出時間 (分)
スケーラビリティの最大化	478
バランスモード	238
応答性の最大化	119

測定時間は、プロトコルタイムと測定精度を考慮して、各ネットワークプロファイルの SysConfig で設定されたデフォルトの検出時間と一致しています。

5.6 BR 接続解除時の RN 検出

このシナリオは、上記と同様に、ルータノードがボーダールータ側の 接続解除を検出し、同じネットワーク名を持つ別のボーダールータに接続しようとするのに必要な時間を示しています。図 5-16 は、ボーダールータ 1 に接続された 2 つのノードを示します。

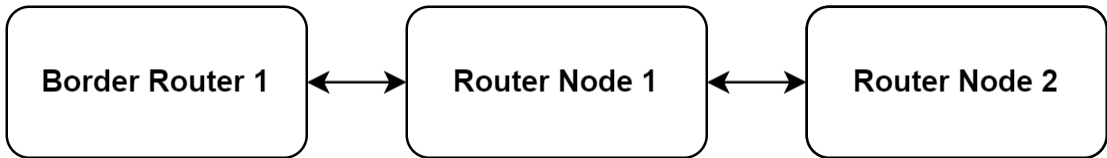


図 5-16. BR 接続解除時の RN 検出例: 初期設定

テスト実行中、ボーダールータ 1 は切断されます。同じネットワーク名を持つボーダールータ 2 がオンになっています。このテストでは、ルータノード 1 がこの変更を検出し、それに応じて適応するまでの時間を測定します。その過程を図 5-17 に示します。

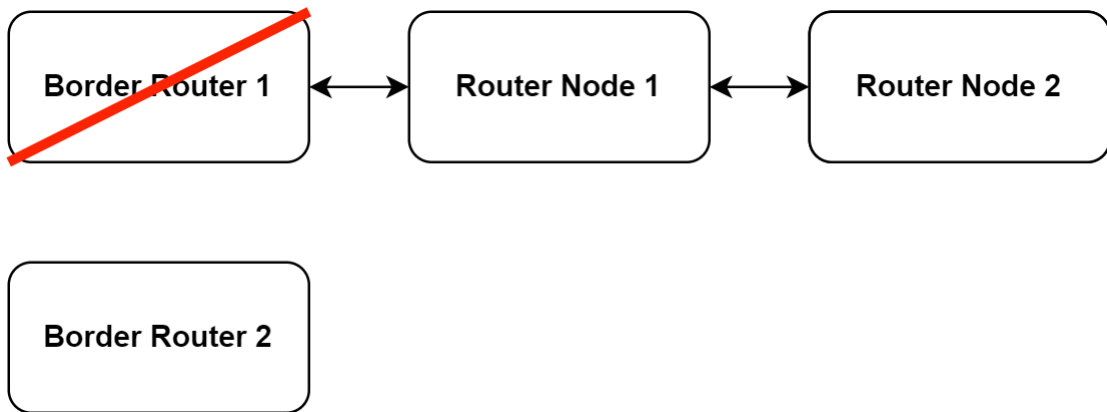


図 5-17. BR 接続解除時の RN 検出例: BR1 を接続解除し、BR2 を接続します。

表 3 に示すように 接続解除に同じデフォルト時間を使用すると、BR 接続解除の RN 検出時間を表 5-3 に表示示します。

表 5-3. BR 接続解除時間の RN 検出による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化

ネットワークの構成	接続解除の検出時間 (分)
スケーラビリティの最大化	89
バランスモード	58
応答性の最大化	26

RN 接続解除の BR 検出と同様に、BR 接続解除の RN 検出は SysConfig で設定されているデフォルト値と一致します。

6 レイテンシ

図 6-1 は、平均的な 1 つのルータノードの ping 遅延をエラーバー付きで概要を示し、テスト中に記録された最大値と最小値の遅延値を示します。このテストの設定では、BR が RN に対して 64 バイトサイズの packets を 3600 個送信します。各 packet の送信時間は記録され、その平均値がグラフに表示されます。

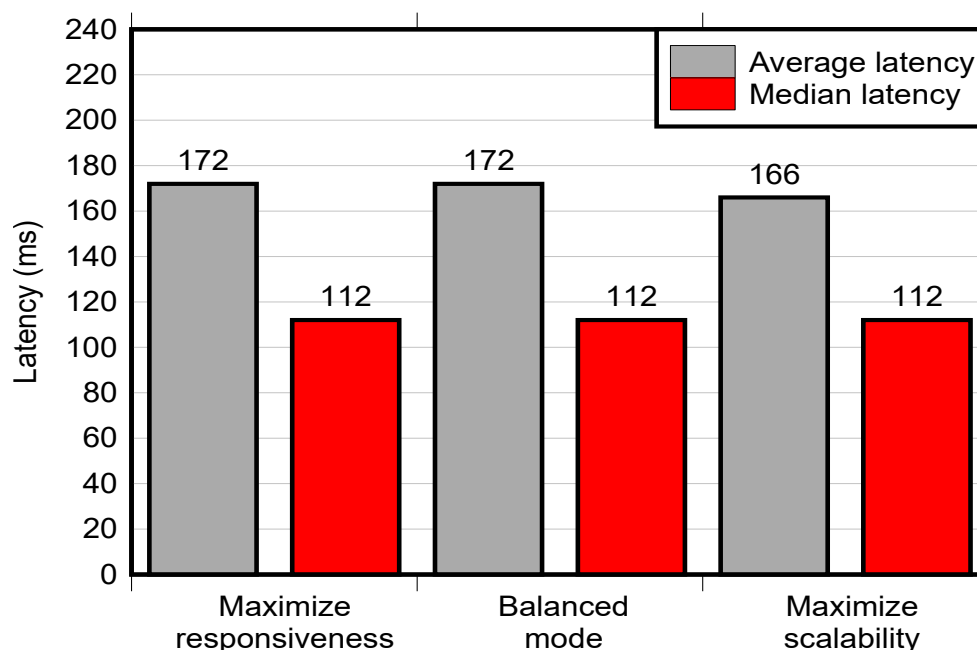


図 6-1. 1 つのルータノード Ping レイテンシ (ミリ秒単位) による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化

テスト結果は、ネットワーク構成の変更が 1 つのノードのレイテンシに大きな影響を及ぼさないことが示されています。各ネットワーク構成のレイテンシテストのヒストグラムについては、[セクション 8](#) を参照してください。

図 6-2 は、異なる PHY を使用した応答性の最大化ネットワーク構成におけるレイテンシーの変化をミリ秒単位で示しています。

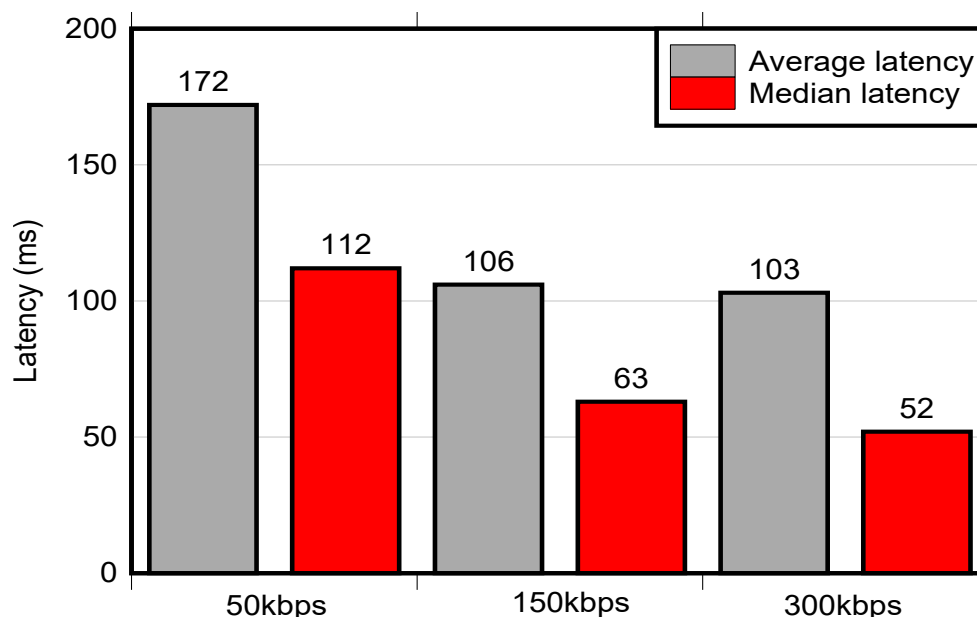


図 6-2. 1 つのルータノード Ping のレイテンシ (ミリ秒単位) による応答性の最大化のネットワーク構成を使用した、異なる PHY 構成

注

PHY データレートを上げると、レイテンシは減少します。

図 6-3 に、ルータノードをさらに接続することによって中間ホップ数が増加する場合の ping 時間の変化をミリ秒単位で示します。

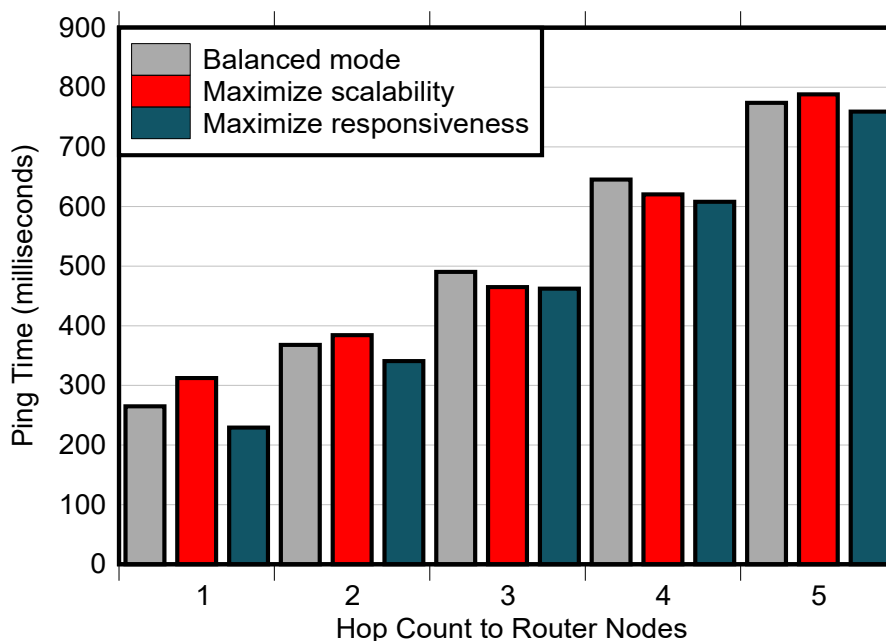


図 6-3. ユニキャスト Ping テスト (ミリ秒単位)による応答性の最大化、バランスモード、スケーラビリティネットワーク構成の最大化

特定の ping パケットは、中間ホップがデータパケットを転送するために別の制御パケットを送信する必要がある場合、その中間ホップの 1 つによって遅延されます。制御オーバーヘッドが高くなるにつれて可能性は増加しますが、それでもネットワークのごく一部でしか発生しないと予想されています。これは、図 6-3 に示す結果によって証明されています。

7 優先ペアレントと 接続解除されたペアレント

7.1 優先ペアレント

優先ペアレントのテストケースは、接続を改善するためにルータノードが異なるペアレントのルータノードに切り替えるのに必要な時間を示します。この例では、制約のない 3 つのホップネットワークに新しいルータノードが提示され、切り替えにかかる時間が測定されます。接続は図 7-1 に表示されます。

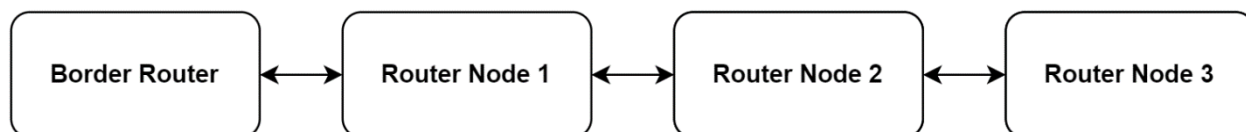


図 7-1. 優先ペアレントの例: 初期設定

ルータノード 4 がネットワークに追加され、隣接するルータノードが ボーダールータへの代替経路として利用可能になります(図 7-2 を参照)。

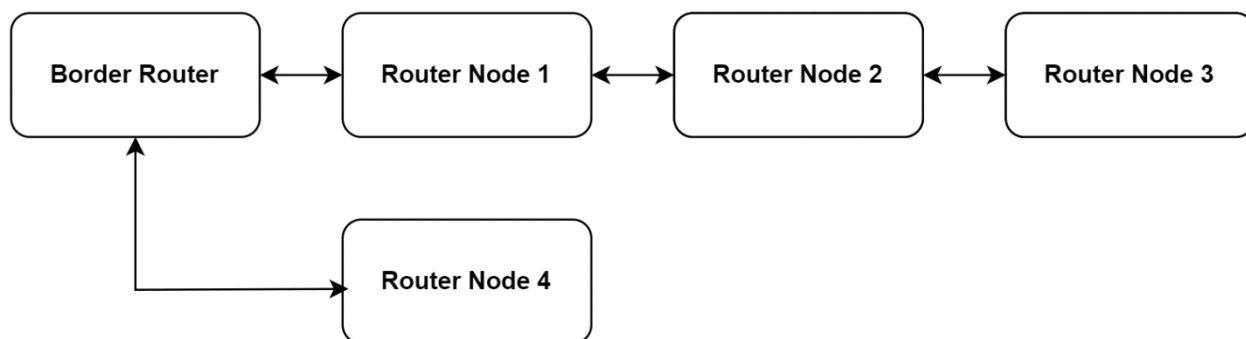


図 7-2. 優先ペアレントの例: RN4 の接続

図 7-3 は、ルータノード 3 がルータノード 2 からルータノード 4 へのスイッチングをへて、BR との通信に必要なホップ数を減らしていることを示しています。

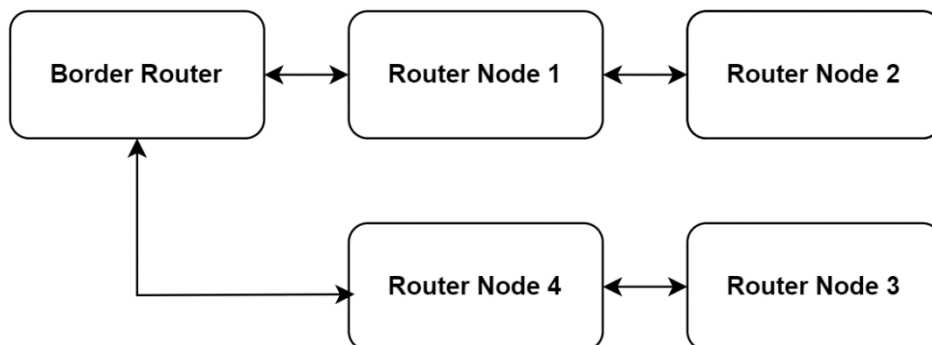


図 7-3. 優先ペアレントの例: RN3 の迂回路の観測

7.2 ペアレントの接続解除

セクション 7.1 に示すように、同じ構成を使用して、接続解除されたペアレントのケースの概要を表示できます (図 7-4 を参照)。

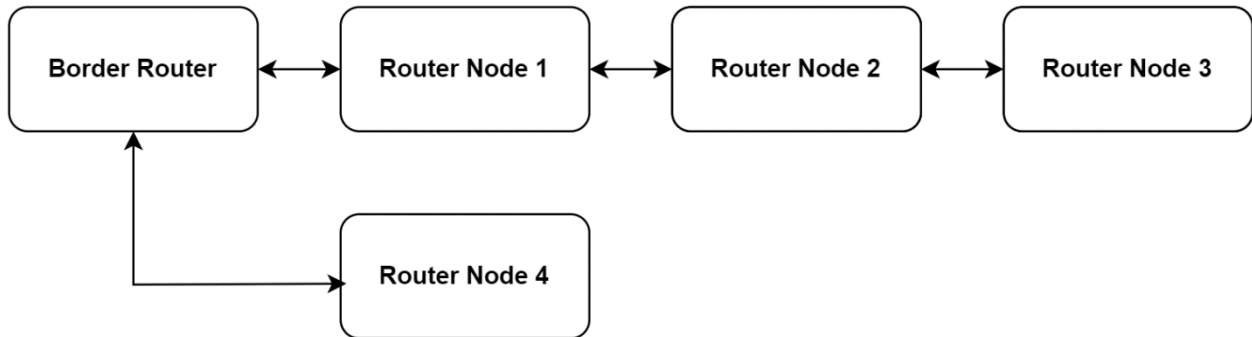


図 7-4. 接続解除されたペアレントの例: 初期設定

このシナリオでは、ルータノード 1 が 接続解除され、図 7-5 に示すように、ボーダールータとルータノード 2 と 3 の間の通信が 接続解除されます。

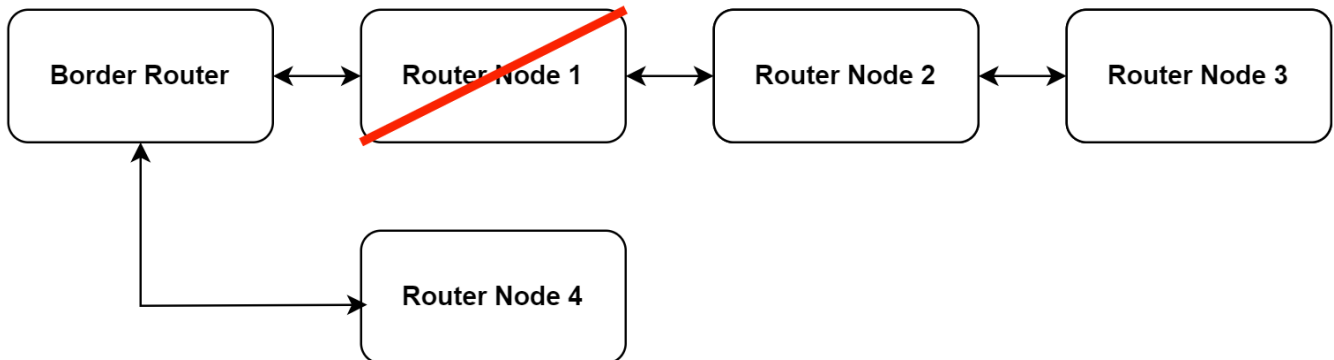


図 7-5. 接続解除されたペアレントの例: RN1 の接続解除

ペアレントのルータノードの 接続解除がルータノード 2 によって検出されると、ルータノード 2 は使用可能な最も近い代替ルータへの接続を試みます (図 7-6 を参照)。このシナリオでは、ルータノード 4 です。

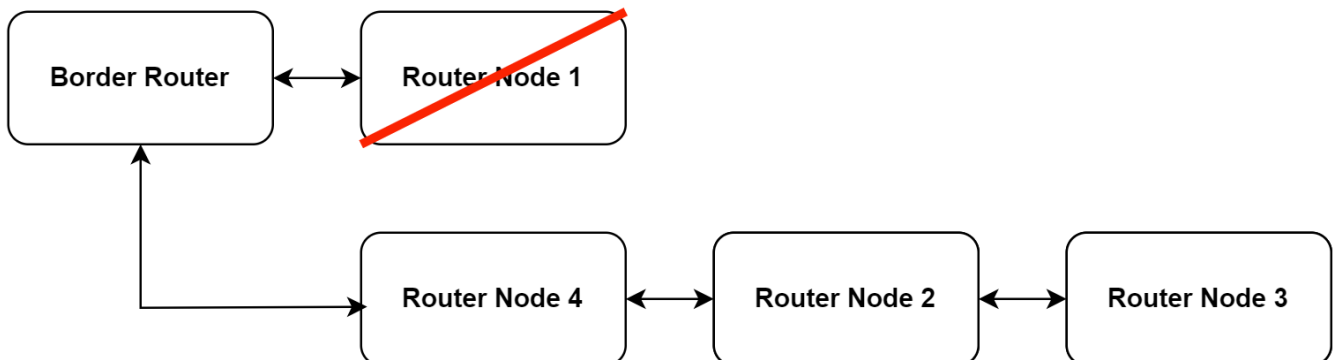


図 7-6. 接続解除されたペアレントの例: RN4 経由のルート変更の観測

7.3 優先ペアレントおよび 接続解除されたペアレントのテスト結果

表 7-1 は、優先ペアレントの記録時間を表示し、RN が優先ペアレント変更する必要があった 5 回の個別のテストを実施しました。平均時間は表 7-1 の最後の行に表示されています。

表 7-1. 最大応答性ネットワーク構成 (50kbps PHY) のための優先ペアレントの結果

テスト番号	時間 (秒)
1	46
2	36
3	41
4	66
5	51
平均的	48

優先ペアレントのテスト中、ルータノードは通常 1 分以内に再構成されます。

優先ペアレントテストと同様に、チェーン内の前の RN が 接続解除されたために RN がペアレントを変更する必要があった場合でも、表 7-2 は切断された 5 つの個別のペアレントのテストの記録時間を表示します。平均時間は表 7-2 の最後の行に表示されています。

表 7-2. 最大応答性ネットワーク構成 (50kbps PHY) のための 接続解除されたペアレントの結果

実行番号	時間 (秒)
1	73
2	156
3	110
4	141
5	108
平均的	117

接続解除のペアレントの例から、ルータノードは通常 BR への接続が切断されたことを 2 分以内に検知し、それに応じて自動的に再構成することがわかります。ただし、ボーダールータの 接続解除時間は 30 秒であるため、接続解除されたペアレントの検出時間は 87 秒に短縮されます。

8 追加情報

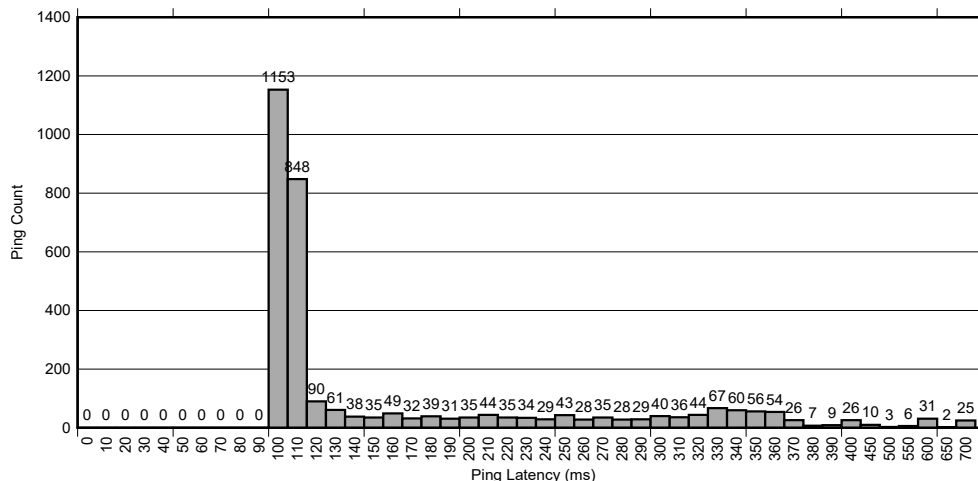


図 8-1. Ping レイテンシヒストグラム (1 ルータノード、50kbps) による応答性の最大化のネットワーク設定

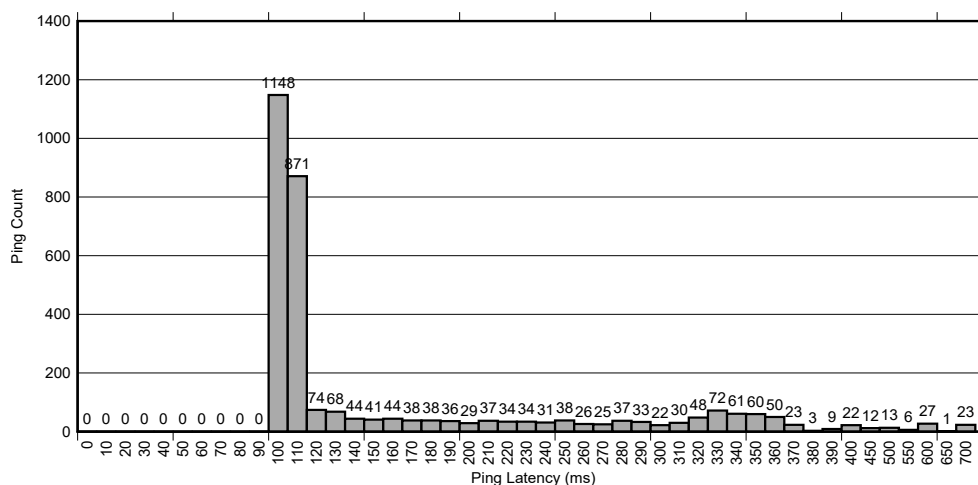


図 8-2. 平衡モードネットワーク構成のための Ping レイテンシヒストグラム (1 ルータノード、50kbps)

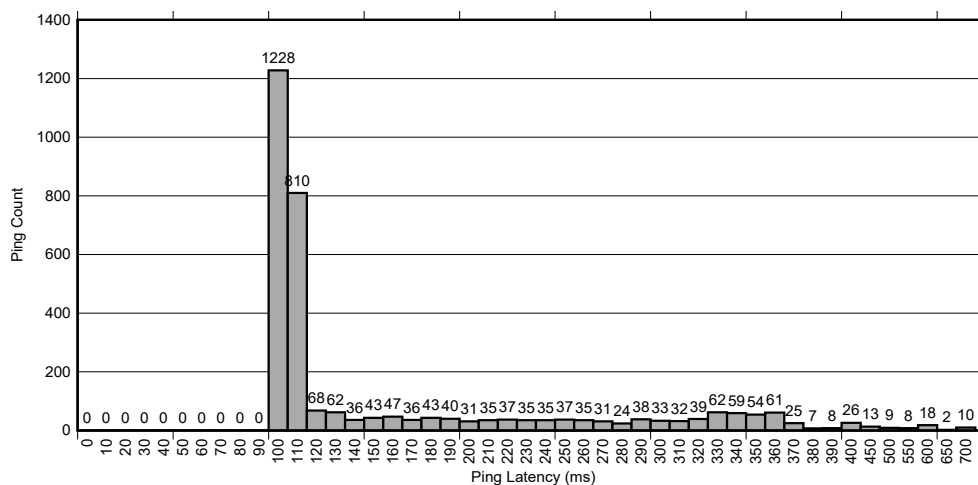


図 8-3. Ping レイテンシヒストグラム (1 ルータノード、50kbps) によるスケーラビリティの最大化のネットワーク構成

9 まとめ

TI の Wi-SUN FAN の設計は、特定のネットワーク構成プロファイルとトポロジに対して、期待されるネットワークパフォーマンスを提供します。TI の Wi-SUN FAN は、ネットワークのサイズに応じて、ネットワークコントロールパケットのオーバーヘッドをさまざまなレベルに設定するための 3 つの異なるネットワークプロファイルを提供します。

ネットワークプロファイルは、必要なネットワークサイズとアプリケーショントラフィックプロファイルに基づいて、ネットワーク管理者によって決定されます。

- ネットワークサイズが大規模なネットワーク (1000 以上など) では、必要な制御プロトコルのオーバーヘッドが使用可能なネットワーク容量よりも大きいため、**応答性の最大化**設定はできません。
- アプリケーショントラフィックプロファイルでは、典型的なデータトラフィックプロファイルが、要求または応答タイプのトランザクションにて特定の時間に通信するノードのペアが 1 組のみである場合、そのようなデータトラフィックによるオーバーヘッドは、あらゆる構成において利用可能なデータオーバーヘッドよりも小さくする必要があります。この場合、ネットワークサイズのみを考慮する必要があり、TI はより応答性の高いネットワークを実現するために、可能な限り積極的なプロファイルを選択することを推奨しています。これは**レイテンシ**内のレイテンシテスト結果で、ネットワーク構成の影響を受けなかったことによっても証明されます。ただし、アプリケーショントラフィックが、各ノードが同時に大量のデータを並行して送受信する必要があり、かなりのデータ容量を消費する可能性がある場合には、控えめなネットワークプロファイルが推奨されます。

DLMS または COSEM に基づく一般的な電子計測アプリケーションでは、トラフィックパターンは各サーバーの中央クライアントによる読み取りに基づくことが最も予想されるため、ネットワークサイズに対して可能な限り最も積極的なプロファイルが推奨されます。。実際のネットワークオーバーヘッドは、ノードの配置とトポロジに依存し、ネットワークプロファイルの決定に影響を与える可能性があります。以下の推奨事項は、特定のサイズを持つ典型的なネットワークを対象としています。

ネットワークプロファイル	推奨ネットワークサイズ
応答性の最大化	< 300
バランスモード	300 - 500
スケーラビリティの最大化	> 500

10 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、[TI の Wi-SUN®FAN スタックのソフトウェア概要](#)、製品概要
- テキサス インスツルメンツ、[TI の Wi-SUN スタック ユーザーガイド](#)
- テキサス インスツルメンツ、[SIMPLELINK - LOWPOWER - SDK 製品ページ](#)
- iPerf、[TCP、UDP、SCTP のための究極の速度テストツール](#)

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated