

Cisco XR 12000シリーズ サービス分離アーキテクチャの試験

概要

2005年4月、シスコシステムズは、IOS XRの機能を次世代サービスプロバイダネットワークにより広く展開するためXR 12000シリーズ ルータを発表しました。このIOS XRの中核をなすシスコ サービス分離アーキテクチャ (SSA) により、サービス プロバイダは、1台のルータを物理的および論理的に異なるルーティング ドメインに分離し、同一のプラットフォーム内で安全にパブリック サービスとプライベート サービスを仮想化することが可能になります。SSA は、Cisco XR 12000上の論理的な各ルーティング インスタンス間でのネットワークおよびシステム リソースの完全な分離を実現するとともに、専用メモリおよび処理能力の追加を可能することで、コントロール プレーンのボトルネックを解消します。

試験のハイライト

- この試験で、Cisco XR 12000は異なるロジカルルータ エンティティを完全に分離させて動作し、ロジカルルータ間ではオーバーラップや相互へのトラフィック転送が一切発生しないことが確認されました。
- 1つのロジカルルータ上でのソフトウェアおよびハードウェアのアップグレードは、他のロジカルルータの性能に影響を与えませんでした。
- 各ロジカルルータのルート プロセッサ上のCPU およびメモリ リソースは、それぞれ独立していることが裏付けられました。
- Cisco XR 12000は、3,200,000のフルメッシュ フローの現実的なサービス シナリオを利用した試験において、10ギガビット/秒のライン レートで100%のIPv4転送レートと低遅延を達成しました。
- Cisco XR 12000は、アクセス コントロール リストおよび不正なトラフィックのロギングを有効にした際も、IPv4/IPv6混合トラフィックの100%の転送レートと低遅延を達成しました。
- 3,000,000のBGPルートのアドバタイズに成功し、すべてのルートでゼロ損失転送性能と低遅延を達成しました。

試験場所および試験装置

シスコは、European Advanced Networking Test Center (EANTC) に、サービス分離アーキテクチャの性能と機能の検証を依頼しました。この試験は、2005年5月にカリフォルニア州サンノゼのシスコの試験ラボで実施されました。EANTCの試験エンジニアがすべての試験を実施し、Cisco XR 12000の動作を評価しました。試験環境では、Spirent社のSmartBits 負荷生成装置とTeraRouting Testerソフトウェア4.50が使用されました。SmartBits 6000-C



Cisco XR 12000

シャーシには、Terametrics 10-Gigabit Ethernet XFPカード6つと、4ポートのTerametricsファイバ/銅線モジュールで構成された1000Base-SXポート20個を装備しました。

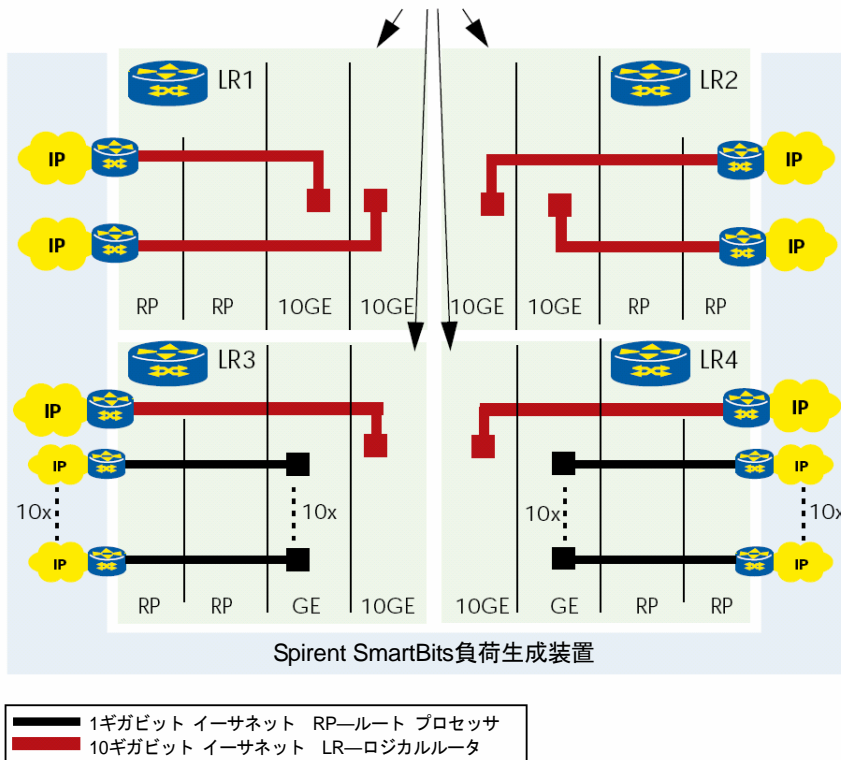
試験構成と方法

試験では、IOS-XRソフトウェアを実行し、4つの独立したロジカルルータとして構成されている1台のCisco 12416シャーシを使用しました。すべてのロジカルルータには、パフォーマンス ルート プロセッサ 2 (PRP-2) モジュール2つとSPAインターフェイス プロセッサ 600 (SIP-600) 1つを装備しました。



EANTCは、Cisco XR 12000のサービス分離アーキテクチャの拡張性、堅牢性、機能性の包括的な試験を実施しました。この試験では期待通りの性能値が確認され、シスコが主張するロジカルルータの性能とリソースの独立性が実証されました。

Cisco XR 12000ロジカルルータ



また、2つのロジカルルータにはLRプラグブルオプテックス付きの1ポート10ギガビット イーサネット共有ポートアダプタ (SPA) 2つ (SPA-1XTENGE-XFP; XFP-10GLR-OC192SR) を装備しました。残り2つのロジカルルータにはLRプラグブルオプテックス付きの1ポート10ギガビット イーサネットSPA 1つと (SPA-1XTENGE-XFP; XFP-10GLR-OC192SR)、SXプラグブルオプテックス付きの10ポート1000BaseイーサネットSPA1つ (SPA-10X1GE; SFP-GE-S) を装備し、試験装置と接続しました。試験構成を上図に示します。

IPv4の中継ネットワークでは、30ビットのサブネットマスクを、IPv6のネットワークでは124ビットのネットワークマスクを使用しました。すべての試験はルーティングプロトコルを使用せず、顧客のネットワークはフラットネットワークを使用しました (IPv4では8ビットマスク、IPv6では64ビットマスク)。

論理試験構成

私たちは、エミュレートされたインターネットフローの平均帯域幅は50キロビット/秒 (双方向) と仮定しました。したがって、ギガビットイーサネットポートあたりのフロー数は40,000、10ギガビットイーサネットポートあたりのフロー数は400,000となりました。

IPパケットストリームの定義

すべての負荷試験では、Internet Mix Traffic (IMIX、詳しい情報については、<http://pma.nlanr.net/Detacube>を参照) に対応するパケットサイズを混合して使用しました。IMIXトラフィックには、実際のインターネットトラフィックに近い現実的なフレームサイズを混合したものが含まれています。IMIXのパケットサイズとその内訳は、以下のように定義されました。



物理試験構成 (シスコの試験ラボ、サンノゼ)
Cisco XR 12000 (左)、Spirent SmartBits (右)

IPv4混合パケット (IMIX)			IPv6混合パケット		
パケットサイズ (バイト)	フレームサイズ (バイト)	帯域幅 (%)	パケットサイズ (バイト)	フレームサイズ (バイト)	帯域幅 (%)
40	64	57%	60	78	38%
552	570	7%	174	192	23%
576	594	16%	750	768	16%
1500	1518	20%	1500	1518	23%

IMIXトラフィックを使用することで、単一のサイズのパケットで順番に試験する場合よりも現実的な状況下でルータを試験することが可能になります。

1) ロジカルルータの分離性試験

試験のハイライト

→ 1台のXR 12000シャーシ上に構成された異なるロジカルルータ エンティティは、確実に分離されていることが実証されました。ルータの境界を越えるように要求されたトラフィックは、転送されませんでした。

試験の目的

各ロジカルルータ エンティティがオーバーラップや相互へのトラフィック転送を行わず、確実に分離されていることを証明する

試験方法

この試験構成では、2つのロジカルルータ (LR1およびLR2) が使用されました。構成のすべてのポートに対してフルメッシュのIPv4およびIPv6 IMIXトラフィック ストリームがワイヤスピードで転送されました。ポート1およびポート2はLR (ロジカルルータ) 1のポート、ポート3およびポート4はLR2のポートです。

転送されたパケットと損失したパケットを検証した結果、分離されているロジカルルータ間ではパケット転送が行われなかったことが確認されました。

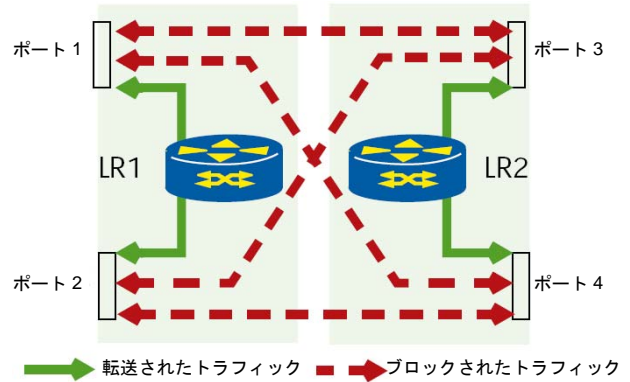
また、この構成の長時間の堅牢性を検証するために、300秒に時間を延長して追加試験を実施しました。

試験パラメータ設定	
トラフィック パターン	IPv4/IPv6フルメッシュ
フレーム サイズ	64/78バイト
トラフィック レート	100%
試験所要時間	60秒/300秒 (ロバストネス)

試験結果

ストリーム	結果 予想	測定された スループット
LR1/ポート1⇔LR1/ポート2	許可	549,450,548
LR1/ポート1⇔LR2/ポート3	ブロック	0
LR1/ポート1⇔LR2/ポート4	ブロック	0
LR1/ポート2⇔LR2/ポート3	ブロック	0
LR1/ポート2⇔LR2/ポート4	ブロック	0
LR2/ポート3⇔LR2/ポート4	許可	549,450,548

試験結果 (図)



EANTCの試験分析

予想どおり、ロジカルルータ内ではワイヤ スピードでフローが転送され、ロジカルルータの境界を越えるトラフィック ストリームの場合には100%パケットが損失することが確認されました。試験対象システムは、ロジカルルータ間のトラフィックを効果的にブロックすることが証明されました。

2) アベイラビリティとリソースの独立性

試験のハイライト

- 1つの分離されたルータでソフトウェアおよびハードウェアのアップグレードを実施したときに、他のロジカルルータの性能に影響はありませんでした。
- 各ロジカルルータのルート プロセッサ上のCPUおよびメモリ リソースは、それぞれ独立していることが実証されました。

パートA: 一般的なソフトウェア アップグレード

試験の目的

ソフトウェア アップグレード中のルータの動作を監視する

試験方法

私たちは、ソフトウェア アップグレード中にもルータがすべてのピアとの隣接関係を維持し、トラフィック転送を継続することを検証するために、ソフトウェアのアップグレードを開始する前にBGP試験 (以下の試験ケース6を参照) を実行しました。次に、オーナーロジカルルータであるLR1のソフトウェアをアップグレードし (オーナーLR上のソフトウェア アップグレードは、他のすべてのLRに影響)、追加のルーティング ソフトウェアを含むPackage Installation Envelope (PIE) をインストールしました。このアップグレードによって、予想どおりにアクティブなBGPプロセスもリスタートされました。

試験結果

ソフトウェア アップグレード	結果
IPv4/IPv6パケット レート	7,007,129パケット/秒
パケット損失	0
IPv4/IPv6スループット (双方向)	40 ギガビット/秒
IPv4/IPv6遅延	23.5 ms (マイクロ秒)
BGP隣接関係	グレースフル リスタート インターバル中に回復

EANTCの試験分析

予想どおり、ソフトウェアのアップグレード/ダウングレードはXR 12000の転送およびルーティング インスタンスに影響を及ぼしませんでした。パケット損失と転送遅延の変化は観測されませんでした。遅延が増加しなかったことは、パケットがバッファされなかったことを示します。また、予想どおりわずかの間BGPセッションが中断されましたが、グレースフル リスタートのインターバル内に回復したため、ルートは消えませんでした。

パートB：ハードウェア モジュール交換手順

試験の目的

ハードウェア モジュール交換中のルータの動作を監視する

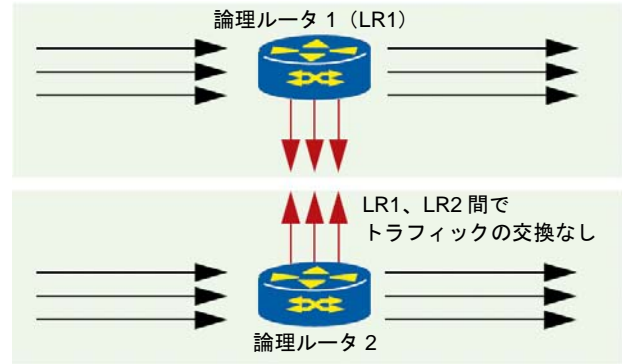
試験方法

再びeBGPピアリング試験を実施し、試験トラフィックの転送中に以下を実行しました。

1. 非オーナーLR (LR2) で、プライマリ ルート プロセッサ モジュール、セカンダリ モジュールを順に取り外しました。
2. 使用されていないSPA (共有ポート アダプタ) の1つの取り外し、再装着を行い、このLRのトラフィックを検証しました。
3. 事前にソフトウェアをシャットダウンした場合、しなかった場合の各ケースで、スイッチ ファブリック モジュールの取り外し、再装着を行いました。
4. ラインカード (SIP) の取り外し、再装着を行い、他のLRのトラフィックを観察しました。

試験ストリームは、遅延、スループット、フレーム損失の点から分析を行いました。

サービス分離アーキテクチャ



試験結果

1. アクティブなRPを取り外しても、LR2およびその他のLRの転送パラメータに影響はありませんでした。セカンダリRPを取り外したときも、どのLRにもパケット損失、遅延増加は生じませんでした (試験時間が短かったため、特定の遅延の後のラインカードのレポートは確認できませんでした)。
2. 使用されていないSPAの取り外しと再装着は、他の試験ストリームに全く影響を与えずに実施できました。最初にSPAを再装着したときに、このSPAのラインカードがリポートしましたが、シスコはこの (ソフトウェアの) 問題を調査し、すでに解決しました。
3. スイッチ ファブリック モジュールの1つの取り外しと再装着の試験では、このモジュールが事前にソフトウェアによって無効にされていたかどうかを問わず、すべての試験ストリームでパケット損失、遅延増加は見られませんでした。再び装着してしばらくたつと、BGPによる過負荷のためにSpirent社のSmartBitsが動作しなくなり、試験終了時にパケット カウンタが無効になりました。このレポート発行の時点で、Spirent社はこの問題を調査中です。
4. ラインカードの取り外し、再装着の結果は予想通りでした。この作業を行っても、他のロジカルルータ上でパケットの損失、遅延の増加は観測されませんでした。

EANTCの試験分析

ルート プロセッサ、インターフェイス モジュール、インターフェイス プロセッサ、スイッチ ファブリック モジュールを取り外しても、予期していなかったパケットの損失や遅延の変化は発生しませんでした。インターフェイス モジュール (SPA) を再び装着したときに、インターフェイス プロセッサがリポートされましたが、シスコはこの問題を解決済みです。

パートC：ロジカルルータ リソースの独立性

試験の目的

1つのロジカルルータのリソースが他のロジカルルータから独立していることを検証する

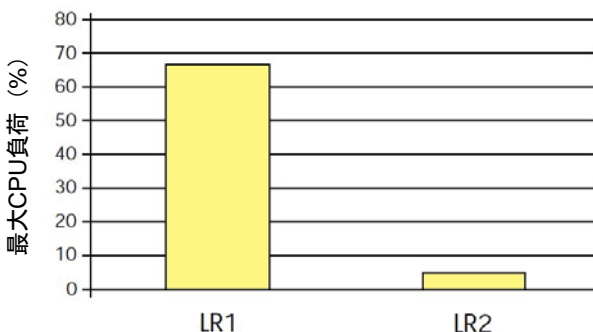
試験方法

CPUリソースが独立していることを検証するために、ロジカルルータLR1上で周期的なSNMP Walkを開始し、LR1のCPUの負荷が大幅に上昇することを確認しました。次に、転送性能に影響が及ばないことを確認するために、すべてのLR上でeBGPピアリング試験を実施しました。この試験と並行して、LR1およびLR2のCPU負荷を監視しました。

また、メモリ割り当てプロセスおよびルート プロセッサが独立していることを検証するため、私たちはBGPピアリング試験中に(上記のパートBのように2つのルート プロセッサを取り外すのではなく)1つのロジカルルータのスイッチを完全にオフにしました。試験ストリームは、遅延、スループット、フレーム損失の点から分析を行いました。

試験結果

試験中のLR1およびLR2の最大CPU負荷：



LR1上でのSNMP Walk実行中のBGPピアリング試験	すべてのLRの結果
IPv4/IPv6パケット レート	7,007,129パケット/秒
パケット損失	0
IPv4/IPv6スループット	40ギガビット/秒
IPv4/IPv6遅延	23.5ms

LR4のスイッチをオフにしても、LR1、LR2、LR3のパケット損失および遅延の値に影響はありませんでした。

EANTCの試験分析

LR1の高いCPU負荷は、LR1およびその他のすべてのLRの性能に影響を与えなかったため、CPUリソースの独立性が検証されました。

1つのロジカルルータのスイッチを完全にオフにした場合にも、同一シャーシ内に構成された他のロジカルルータのトラフィックに影響はありませんでした。

3) IPv4 IMIXベース転送

試験のハイライト

➔ 分離された各ルータは、同種の最小(64バイト)フレーム サイズのトラフィックおよびIMIXトラフィックを使った試験で、10ギガビット/秒のワイヤ スピードのIPv4転送性能を実証しました。

試験の目的

現実的な状況下において試験対象システムの最大IPv4転送性能を測定する

試験方法

この試験では、事前に定義されたIMIX IPv4混合パケットが使用されました。試験ストリームは、LR1、LR2の2つのロジカルルータの2つの10ギガビット イーサネット ポートに対してペアで生成されました。また LR3、LR4が装備する1つの10ギガビット イーサネット ポートと10個の1ギガビット イーサネット ポートとの間にも生成されました。これらの各ストリーム内で異なるIPアドレスへのフルメッシュのフローが設定され、合計で1,6000,000フローが生成されました。分離されたロジカルルータ間にフローは設定されませんでした。

この設定を利用し、RFC 2544にしたがって最大スループットおよび転送遅延を測定しました。長時間での転送の堅牢性を検証するために、300秒に時間を延長して最大スループットで追加試験も実施しました。

また、IPv4転送性能の限界を測定するために、64バイトのイーサネット フレームのみを使用して転送および遅延試験を繰り返しました。

試験パラメータ設定	
トラフィック パターン	IPv4フルメッシュ
パケット サイズ	IMIXおよび64バイトのみ
トラフィック レート	100%
試験所要時間	60秒(パケット損失) / 120秒(遅延) / 300秒(ロバストネス)

試験結果

IPv4	IMIX60秒／300秒	64バイトのみ
パケット レート	72,950,342 パケット／秒	119,047,619 パケット／秒
パケット損失	0	0
スループット	40ギガビット／秒	40ギガビット／秒
遅延	24.5ms	24.5ms

EANTCの試験分析

この試験の結果、Cisco XR 12000は、IMIXトラフィックだけでなく小パケットのみのトラフィックを使用した場合でも、10ギガビット／秒のワイヤスピード転送を達成することが確認されました。

4) IPv4/IPv6 IMIXベース転送

試験の目的

試験のハイライト

- ➔ 分離された各ルータは、IMIX IPv4/IPv6混合トラフィックを使用して完全な10 ギガビット／秒のワイヤスピード転送を達成しました。

試験対象システムのIPv4/IPv6混合トラフィックの最大転送性能を検証する

試験方法

この試験では、事前に定義されたIMIX IPv4およびIPv6混合パケットが使用されました。フローは、IPv4の試験ケースと同じ方法で生成されました。1つのロジカルルータの異なるポートに接続された各ストリーム内で、異なるIPアドレスへのフルメッシュのフローが設定されました。IPv4およびIPv6は、合計で3,200,000のフローを生成しました。IPv4のみを使用した試験と同様に、分離されたロジカルルータ間にフローは設定されませんでした。

この設定を利用し、RFC 2544にしたがって最大スループットと転送遅延を測定しました。

また、長時間での転送の堅牢性を検証するために、300秒に時間を延長して最大スループットで追加試験を実施しました。

試験パラメータ設定	
トラフィック パターン	IPv4/IPv6フルメッシュ
パケット サイズ	IMIX

試験パラメータ設定	
トラフィック レート	100%
試験所要時間	60秒（パケット損失）／120秒（遅延）／300秒（ロバストネス）

試験結果

IPv4/IPv6	IMIX60秒／30秒
IPv4/IPv6パケット レート	69,980,815パケット／秒
パケット損失	0
IPv4/IPv6スループット	40ギガビット／秒
IPv4/IPv6遅延	24.1ms

EANTCの試験分析

この試験の結果、Cisco XR 12000はIMIX IPv4およびIPv6混合トラフィックでワイヤスピードの性能を達成することが確認されました。

5) サービス設定時のIPv4/IPv6 IMIXベース転送

試験のハイライト

- ➔ アクセス コントロール リスト、不正トラフィック ストリームのロギングのようなセキュリティ サービスを追加した後も、ラインスピードでの転送が観測されました。

試験の目的

この試験は、アクセス コントロール リストや不正トラフィックのロギングが設定されたときに、IPv4およびIPv6混合トラフィックの転送性能が低下しないことを検証するために計画されました。

今日、通信事業者やエンタープライズ環境で使用されているIPスイッチの大半は、セキュリティ、トラフィックの分類、SLA保証、時には基本的な侵入検知機能（ACLロギング）のために、基本的な アクセス コントロール ルールを監視する必要があります。

試験方法

5,001個のエントリを持つアクセス コントロール リスト（ACL）をIPv4およびIPv6の各プロトコル用に設定し、そのうち5,000個のエントリをDENY文、最後のエントリをPERMIT-ALL文としました。ACLのDENY基準はシーケンシャルではなく擬似ランダムとすることで、シーケンシャル範囲が1つのACLエントリに変換されるのを防止しました。また、DENYエントリの50%を、送信したデータ ストリームのIPアドレスに一致させ、データトラフィックのUDPポートには一致させないよう設定しました。ACLは、入力、

出力両フィルタとして各ポートに適用されました。

これまでのIPv4/IPv6試験ケースと違い、IPパケットでなくUDPパケットが送信され、UDP宛先ポートは5,000から7,500の間で変化しました。すべてのトラフィックは最終行の「Permit-All」ACLエントリのみで一致するように設定されていたため、スイッチは各ポートでトラフィックと5,001個すべてのACLエントリを入力、出力の両方向で比較しなければなりません（ダブル ルックアップ）。

- 最初の試験では、RFC 2544にしたがって、最大スループットと平均転送遅延を測定しました。
- ACLがアクティブにネットワークを保護していることを確認するため、ACLの5,000番目のDENYエントリに一致する1つのトラフィック フローを使って再び試験を実施しました。他のIPアドレスはどのDENYエントリにも一致していませんでした。この試験中、DENYエントリに一致するトラフィックが100%ドロップされ、他のトラフィックが損失なく転送されることを検証するために、システムを監視しました。
- 最後に、2番目の試験と同じトラフィックの送信中にACLログを有効にし、ACLログ機能が性能や遅延に影響を与えるのか、また記録された詳細情報がACLバリアの通過を試みる個別のフローの特定に役立つかを観察しました。

また、潜在的な長期的な堅牢性の問題を発見するため、300秒に時間を延長して最大スループットで追加試験を実施しました。

試験パラメータ設定	
トラフィック パターン	IPv4/IPv6フルメッシュ (UDP)
パケット サイズ	IMIX
トラフィック レート	100%
試験所要時間	60秒/300秒 (ロバストネス)

試験結果

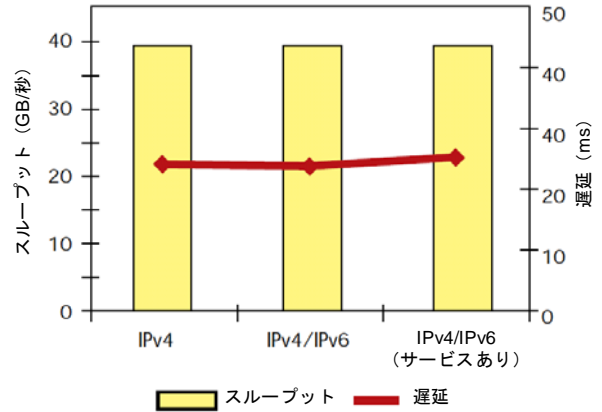
IPv4/IPv6 (サービスあり)	結果
IPv4/IPv6パケット レート	69,541,829パケット/秒
パケット損失	0
IPv4/IPv6スループット	40ギガビット/秒
IPv4/IPv6遅延	25.5ms

予期しなかったパケット損失は観測されませんでした。1つのフローのみをACLに一致させた試験では、適切なフローのパケット損失のみが発生しました。他のフローはパケット損失の影響を受けませんでした。

ACLログを有効にしたときも、性能と遅延の値は変化せず、以下のレコードが記録されました。

```
ip4_acl_mgr[188]:%ACL-IPV4_ACL-6-IPACCESS-LOGP:access-list IPV4_Test(50000) deny udp 140.0.0.1(1024) -> 141.100.0.1(5000),1 packet
```

時間を拡張して実施した試験において、長期的な堅牢性の問題は見られませんでした。



EANTCの試験分析

Cisco XR 12000は、アクセス コントロール リストおよびログが追加されたときもラインレートの性能を維持しました。遅延は非常に低い値にとどまり、サービスが設定されていないIPv4転送と比較してほとんど増加しませんでした。いずれのケースでも、遅延は非公式の業界標準に匹敵する、または期待を上回る結果を残しました。

6) BGPピアリング試験

試験のハイライト

➔ 3,000,000のBGPルートのアドバタイズに成功し、すべてのルートで転送性能の損失は発生せず、低遅延を維持しました。

試験の目的

IPv4とIPv6ルートおよびトラフィックを使用したBGP実装の性能を測定する

試験方法

この試験では、4つすべてのロジカルルータに分散された合計3,000,000のIPv4およびIPv6ルートを使用して現実的な環境をエミュレートしました。全ルートの20%をIPv6ルートで構成し、混合IMIXパケットを使ってすべてのルートにトラフィックを送信しました。

以下の内訳のeBGPプレフィクスが使用されました。

	プレフィクス長	ロジカルルータあたりのルート数	プロトコルあたりの内訳
IPv4	/19	60,000	10%
	/24	360,000	60%
	/29	180,000	30%
IPv6	/48	15,000	10%
	/64	90,000	60%
	/96	45,000	30%

各ポートには、eBGP4 over IPv4、eBGP4+ over IPv6のピアを1つずつ設定しました。アドバタイズされたすべてのルートは、IPv4およびIPv6 IMIXトラフィックで検証されました。フルメッシュトラフィックの送信のために、各ルートで1つのソースIPアドレスが使用されました。

試験パラメータ設定	
トラフィック パターン	IPv4/IPv6フルメッシュ
パケット サイズ	IMIX
トラフィック レート	50%
試験所要時間	60秒

試験結果

BGPピアリング	結果
IPv4/IPv6パケット レート	7,321,190パケット/秒
パケット損失	0
IPv4/IPv6スループット	40ギガビット/秒
IPv4/IPv6遅延	22.9ms

EANTCの試験分析

アドバタイズされたすべてのBGPルートおよびアップデータの処理は成功し、正常動作中にすべてのルートで100%のスループットを達成しました。

結論

Cisco XR 12000は、分析されたすべての分野において、シスコが主張している性能および機能を実現しました。

これらの試験により、Cisco XR 12000が市場で最も強力なルータの1つであることが改めて裏付けられた結果となりました。私たちは、これらの試験の結果を踏まえ、この製品が次世代ネットワークの構築を計画している通信事業者に支持される選択肢であり続けると確信しました。

シスコシステムズについて

米国シスコシステムズ社は、インターネットのネットワーク構築分野で世界的なリーダー企業です。シスコに関する情報は、<http://www.cisco.com/> で入手できます。

Cisco、Cisco Systems、Cisco Systemsのロゴマークは、米国およびその他の地域におけるCisco Systems Inc.の登録商標です。本文書に記載されている他のすべての商標は、各社の所有物です。

Spirent Communicationsについて



Spirent Communicationsは、次世代型ネットワークテクノロジーの性能分析システムおよびサービス保証システムを世界に提供しています。Spirentのソリューションを利用することにより、顧客はラボで実世界の状況をエミュレートして大規模ネットワークのエンドツーエンドの性能を保証できるようになり、結果として、コストを抑えながら効率的にネットワーク機器およびサービスを開発し、導入することが可能になります。

Spirent Communicationsは、国際的なネットワークテクノロジー企業であるSpirent plcの完全所有のビジネスグループです。Spirent、Spirent Communications、Spirentのロゴマークは、Spirent plcの商標です。

<http://www.spirentcom.com/>

EANTCについて



European Advanced Networking Test Center (EANTC) は、メーカー、サービスプロバイダー、企業顧客のために、ベンダーに中立的なネットワーク試験サービスを提供しています。主な取扱分野は、IP、MPLS、ATM、Triple Play、IPアプリケーションの相互運用性、適合性、性能試験です。

EANTC AG

Einsteinufer 17, 10587 Berlin, Germany

info@eantc.com <http://www.eantc.com/>