

ホワイトペーパー

電力事業者向け 超低遅延ソリューション

2003年、アメリカ合衆国北東部は米国史上最大の停電に見舞われました。2日間にわたり、8つの州とオンタリオ州の一部で5,000万世帯が停電し、約60億ドルの経済的損失が生じました。停電の主な原因は、広域に及ぶ電力網で使用されていた部品の不備および劣化を認識、評価、把握できなかったことでしたが、人々がこのような重大なインフラストラクチャー管理の失態を耳にするのは初めてではありません。評判の毀損や高額な罰金から、数十億ドルに及ぶ直接的な財務損失までの甚大な被害にいたる可能性があり、電力業界では当時から今にいたるまで、極めて重要なインフラストラクチャー・レベルでのネットワークの信頼性が最大の懸念事項となっています。

電力システムの障害は、修理に多額の費用を要するシステムと機器の損傷を引き起こすだけでなく、通常のシステム動作に支障をきたす可能性があります。深刻な障害が発生すると、システムの安定性が失われ、大規模な停電を招く恐れさえあります。だからこそ、送電システムと配電システムの設計、保守、および運用において、障害の除去が必要不可欠な要素となります。障害の識別と除去を目的とするプロテクション・スキームでは、ネットワーク全体でさまざまな目標に取り組みます。

- 欠陥のある要素のシステムの残りの部分からの除去
- 機器の損傷の抑制または防止
- 重度の電力動揺やシステムの不安定さの抑止
- 契約者への負荷につながる悪影響の最小化
- 電力システムの転送機能の維持
- 身体傷害の防止

スキーム、アプリケーション、統合

電力変電所で一般的に実施されている手法のひとつに、WANを介した通信ベースのプロテクション・スキームがあります。このようなタイプスキームによってプロテクション機器間の調整とデータ共有が容易になり、スキームの信頼性、選択性、安全性、スピードを高める手法の採用が促進されます。信頼性の高い通信により、線電流差動(87L)プロテクションなどの差動比較方式を実施できます。

WANは、他の変電サービス(音声、遠隔保護、テレメトリー、ビデオ、制御と自動化、Eメール、企業LAN)の伝送に加え、継電器プロテクションの多重化チャネルの伝送に使用され、最新の電力ネットワークのプロテクション・システムで不可欠な部分となっています。

TDM/SONETは、低遅延で確実性が高く、非対称性が最も小さいパフォーマンスを提供するため、優先されるWAN伝送技術として電力業界で広く採用されてきました。しかし、業界では、プロテクションを含めたすべての電力アプリケーションとサービスで、イーサネットとパケット・ベースのネットワークングに移行する明らかな傾向があります。ITとOTのネットワーク統合およびインターフェイスの共通セットによる標準化を通じて設備投資と運用コストを削減したいという要望から、TDMベースのシステム、特にSONETとSDHシステムから移行しようとするモチベーションが強まっています。キャリア・イーサネットなどのパケット・ベースのネットワークング技術への移行にあたり、遠隔保護サービスを設計して、プロテクション・アプリケーションが必要とする確実性と保証されたパフォーマンスを提供する課題が生じています。

Power to keep the lights on
詳細を見る



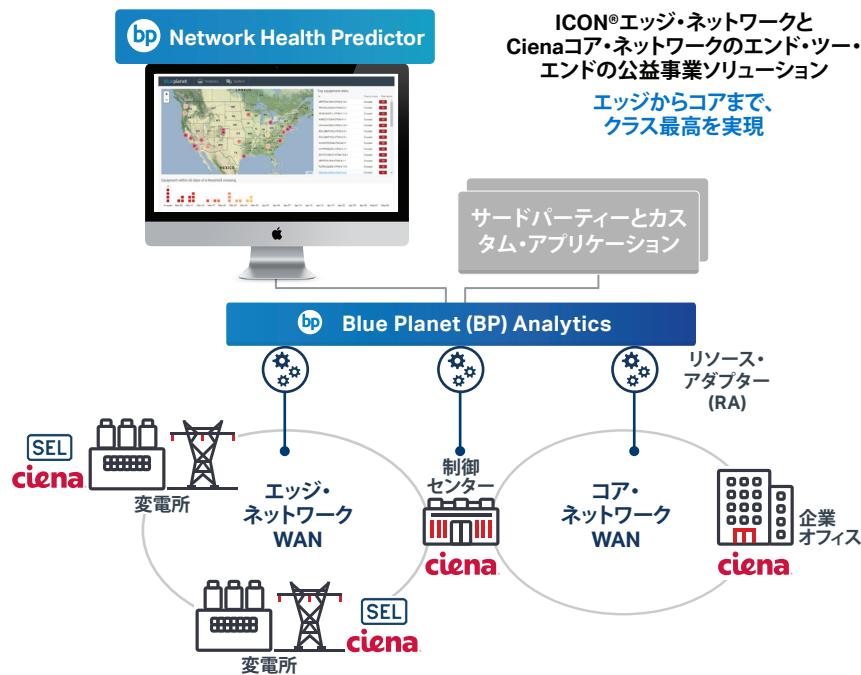


図1. ICONエッジ・ネットワークとCienaコア・ネットワークのエンド・ツー・エンドの公益事業ソリューション

ITとOTのネットワーク統合およびインターフェイスの共通セットによる標準化を通じて設備投資と運用コストを削減したいという要望から、TDMベースのシステム、特にSONETとSDHシステムから移行しようとするモチベーションが強まっています。

新たなアプローチを提供します。そのコンセプトは、TDMのパフォーマンス特性を維持することであり、ICON SONETプラットフォームでは現在、パフォーマンスを低下させることなく、キャリア・イーサネット経由でTDMをWANトランスポート・プロトコルとして伝送できます。

CienaとSELのソリューションの詳細



2003年のような停電が二度と起こらないようにするには、超低遅延と高速なフェイルオーバー・パフォーマンスを実現するソリューションが必要です。通信ベースのプロテクション・スキームは、電力システムの障害が起こると、WAN全体で障害を分離して不安定さが生じないように機能します。主要な送電線インフラストラクチャーの障害を除去するために必要な時間はミリ秒単位でなければならない、電力システムの障害の状況の検知と伝達が超低遅延で実行されない場合、機器が損傷して、電力網の大半が影響を受ける可能性があります。

Cienaはこれらの課題に対応するために、電力変電所のクラス最高のソリューションについて、Schweitzer Engineering Labs (SEL) とパートナーを組んでいます。

確実性の高いSEL Integrated Communications Optical Network (ICON) パケット・トランスポート・ソリューションは、Cienaキャリア・イーサネット・トランスポート・ネットワークを介して極めて重要なトラフィックを確実性の高い低遅延で伝送する革

Cienaキャリア・イーサネット・コアで実施したSONETカプセル化のレイテンシーとフェイルオーバーのテスト結果

次のテスト結果では、SEL ICONのVirtual SONET Network (VSN) のコンセプトを用いることで、コアとエッジのネットワーク障害に対して低遅延、低いチャネル非対称性、極めて高速なOTシステム・レストレーションを一貫して提供できることが実証されています。これらのパフォーマンス結果は、プロテクション・アプリケーションの要件を満たしています。

さまざまな標準において、電力変電所アプリケーション向けに通信チャネルのパフォーマンス要件が規定されています。IEEE 1646とIEC TR 61850-90-12で規定されているパフォーマンス要件、および継電器メーカーの非対称性とレストレーションの要件を考察して、プロテクション・アプリケーションの通信チャネルのパフォーマンス要件を表1のようにまとめることができます。

スキーム	レイテンシー (ms)	非対称性 (ms)	レストレーション (ms)
87Lプロテクション	5	0.5未満	5
パイロット・プロテクション	8	5	5
直接転送遮断	10	5	5

表I. プロテクション回線の通信チャンネルのパフォーマンス要件

レイテンシー・パフォーマンス・テストと結果

次のテスト・ケースにより、キャリア・イーサネット (Ciena 3930/3932 IT WANノード) のコア・ネットワーク経由で、SEL ICONを使用したサービス・カプセル化のパフォーマンス・データが示されています。このネットワークでは、図2に示すトポロジーを採用しました。

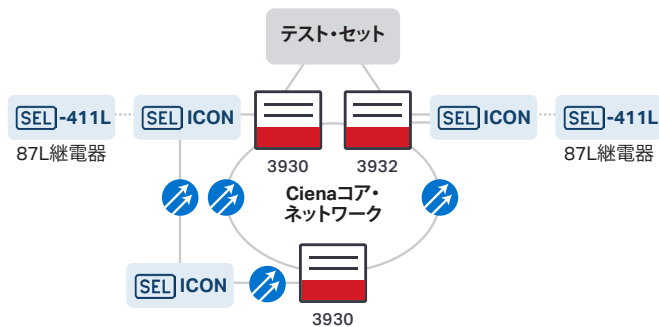


図2. テスト・ネットワーク・トポロジー

一連のベースライン・データを設定するために、光ファイバー・ジャンパーを使用して2台の87L継電器をバックツーバック接続しました (図3)。

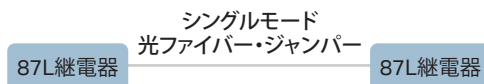


図3. テスト・ネットワーク・トポロジー

次に、ベースライン87L継電器を3ノード構成のVSNに接続しました。ベースライン継電器のデータに対して比較を行うために、レイテンシーと非対称性の情報を記録しました。図4は、VSNテスト・システムのテスト・トポロジーを示しています。

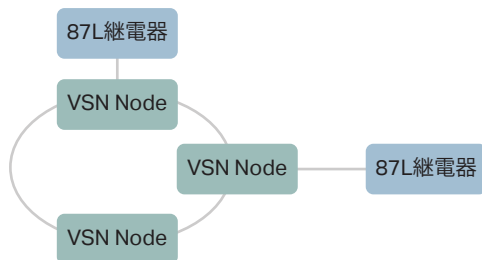


図4. VSNテスト・ネットワーク

次に、VSNテスト・ネットワークを図1に示すトポロジーに拡張しました。3ノード構成のCienaキャリア・イーサネットWANがコア・ネットワークとして動作するように挿入されたため、テストVSNはWAN経由でトンネリングされ、87L継電器はVSNに接続されたままです。テスト・セットを使用してネットワーク・トラフィックを生成し、一般的なトラフィック負荷の状態をシミュレートしました。このシミュレーションの目的は、コア・ネットワークが、他のネットワーク・トラフィックより高い優先度がVSNに付与されるQoS設定を使用して、確実性の高いパフォーマンスを維持できるか検証することです。Cienaキャリア・イーサネット・ネットワーク・コアでは、VSNに0の固定R-CoS (F-RCoS) 値を指定し、テスト・セットのトラフィックに7のF-RCoS値を指定しました。

テストが実施されたのは、図1に示すCienaキャリア・イーサネット・コアWANノードです。各テストで、87L継電器を使用して87Lプロテクション回線を確認し、継電器に内蔵されている測定機能を使用してチャンネルのレイテンシーと非対称性を測定しました。キャリア・イーサネット・ネットワーク実装では、レイテンシーと非対称性のパフォーマンス・パラメーターが記録されました。各テストでは一連の測定を5回個別に実施して、レイテンシーと非対称性の平均を計算しました。

表IIIは、ベースライン・データとVSNのみのデータとの比較結果を示しています。各VSN OTエッジ・デバイスは、コア・ネットワークのPDVに基づいて可変サイズのジッター・バッファーを使用し、ITコア・ネットワークを通じてレイテンシーを最適化しました。ジッター・バッファー・サイズを調整するためにPDV設定を使用しました。キャリア・イーサネット・ネットワークでは、50 μsのPDVが使用されました。

表IIのテスト結果によると、Cienaキャリア・イーサネット・ネットワークのラウンド・トリップ・レイテンシーは、ベースライン構成とVSNのみの構成と比較して1ms増えただけでした。コア・ネットワークにもたらされる非対称性は最小であり、結果は、表Iにまとめられた87Lプロテクション回線の通信チャンネルのパフォーマンス要件の範囲内に収まっています。

パラメーター	ベースライン (ms)	VSN (ms)	VSNおよびキャリア・イーサネット (ms)
レイテンシー (RTD)	0.1	0.1	1.1
非対称性	0.0	0.0	0.04

表II. 通信チャンネルのパフォーマンス・テストの結果

さらに重要なことは、テストにより、適切なQoS設定を定義することでVSN回線に他のサービスよりも十分に高い優先度が付与され、VSNフレームを確実に伝送できることが検証されたことです。これにより、カプセル化されたSONETデータの整合性とタイミングを維持することができます。

確実性の高いパケット・トランスポートが業界をリードするパフォーマンスを提供

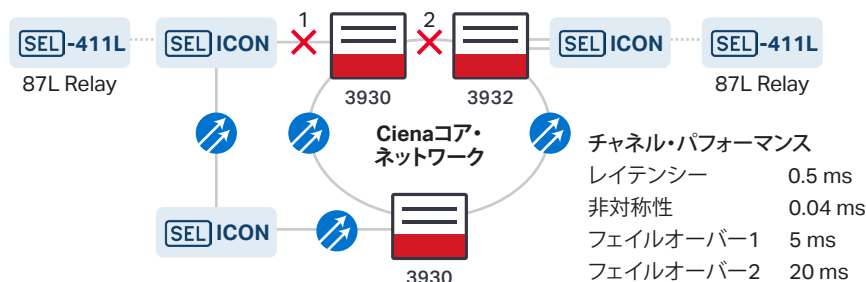


図5. コアおよびエッジ・ネットワークのフェイルオーバー・テストの結果

ネットワーク修復のテスト結果

コア・ネットワークを経由するポイントツーポイントの保護されていないトンネルを設定することで、VSNパスのネットワーク修復パフォーマンスを最適化できます。ネットワーク修復は、コア・ネットワークではなく、VSN OTエッジ・デバイスによって実行されます。

エッジとコアのネットワークのフェイルオーバー・パフォーマンスを測定して比較するために、次の修復テストを実施しました。コア・ネットワークのフェイルオーバー・テストでは、図5（フェイルオーバー-1）に示すようにリンク上のファイバーを切断し、リングの反対側にある冗長パスへのフェイルオーバーがコア・ネットワークによって実行されるようにしました。図5（フェイルオーバー-2）に示すエッジ・ネットワークのフェイルオーバー・テストでは、OTエッジ・デバイスからCienaキャリア・イーサネットWANノードへのリンクを切断し、OTエッジ・ネットワークによる修復が行われるようにしました。

図5のフェイルオーバー・テストの結果により、OTエッジ・ネットワークを使用してネットワーク修復を実行することにより、パフォーマンス上の大きなメリットが得られることが示されました。

まとめ

電力事業者は、運用効率の向上、消費者の需要への対応、政府規制への準拠のために、高度なインテリジェンスを備えた電力グリッドを導入しています。これらのスマート・グリッドで利用される双方向通信ネットワークは、極めて信頼性が高く、低遅延でありながら、低コストで設置、運用できなければなりません。

このホワイトペーパーでは、VSNアプローチは、通信チャンネルのパフォーマンス特性をIEEE 1646とIEC TR 61850-90-12で規定された要件に準拠させながら、キャリア・イーサネットWAN経由で極めて重要なプロテクションとシステム・トラフィック制御を実現する手段を提供することが示されています。VSNアプローチは、ネットワーク・パフォーマンスに影響することなく、TDMベースのプロテクション回線をイーサネットに移行する課題に洗練された方法で対応します。変電所のエッジとコアのネットワークの元素には、メーカーの機器と伝送技術の組み合わせが必要であり、そのような元素が導入された複雑なネットワークで、OTネットワークの設計、計画、実装が大幅に簡素化されます。

このソリューションは、ネットワーク・トポロジーの変化と成長に応じて簡単にスケーリングできる簡素化されたプロビジョニング・モデルを採用しています。NMS未満の最も高いQoSが設定されたキャリア・イーサネット・コア・ネットワーク経由のポイントツーポイント・トンネルを使用することで、ネットワークに変化が生じた場合でも重要な回線のパフォーマンスを確実に維持できるので、プロテクション回線を個別に管理する必要がなくなります。また、トラフィックに高い優先度が設定されている場合でも、それ以外のすべてのトラフィックの遅延は小さく、無視できる程度です（10GbEコア・ネットワークのネットワーク・リンクあたり最大0.1 μ s）。

疑問を解決する
Cienaコミュニティー

