

光海底ケーブルシステム用ネットワークプロテクション装置

Network Protection Equipment for Optical Undersea Cable System

近藤 利徳
T. Kondo

綾目 省吾
S. Ayame

高見 昌之
M. Takami

近年の国際通信の増大に伴い、伝送容量 5 Gbps (電話換算約 60,000 回線) の大容量伝送が国際間の光海底ケーブルネットワークに適用されている。このような大容量伝送システムでは、ネットワークの高信頼化が要求されている。このため、ネットワークをリング構成にし、障害が起きたときにネットワーク内で自動的にトラフィックを迂回させる方式が注目されている^{(1),(2)}。

当社は、このようなニーズに対応するため、リングネットワーク内で自動的にトラフィックを迂回させて障害を回避する機能をもつネットワークプロテクション装置 (NPE) を開発した。さらに、リングネットワーク全体を監視制御する網管理装置 (NME) を開発した。

Due to the growth in international telecommunications traffic in recent years, the transmission capacity of 5 Gbps, corresponding to more than 60,000 telephone circuits, has been adopted for the optical undersea cable network. High reliability is required in this high-capacity network. For this reason, major emphasis has been placed on configuring the network as a ring, with traffic restored automatically in the ring network in the event of a failure.^{(1),(2)}

To provide this high reliability in the network, we have developed network protection equipment which has self-healing restoration capability in the event of a failure. Moreover, we have also developed network management equipment which supervises and controls an entire ring network.

1 まえがき

光海底ケーブルネットワークは、光ファイバ伝送の特長である広帯域・低損失を利用し、国際間の通信ネットワークに広く取り入れられている。近年の国際通信の増大に伴い、伝送容量も 5 Gbps (電話換算約 60,000 回線) と大容量化してきている。

この大容量化に伴いネットワークの高信頼化が要求され、ネットワークをリング状に構成し、ネットワークに障害が発生した場合に自ネットワーク内で迂回させる方式が注目

されている。このネットワークプロテクション方式は、ITU (国際電気通信連合) で検討されており、ITU-T G.841 勧告案として出されている。

このリングネットワークは、KDD (国際電信電話(株)) と AT&T 社 (米国電話通信会社) が主体となって建設した TPC-5 (第 5 次太平洋横断ケーブル) ケーブルネットワーク、また AT&T 社、British Telecom 社および France Telecom 社が主体となって建設した TAT-12/13 (第 12/13 大西洋横断ケーブル) ケーブルネットワークに適用された^{(1),(2)}。当社はこれらのネットワークの中核をなすネットワークプロテク

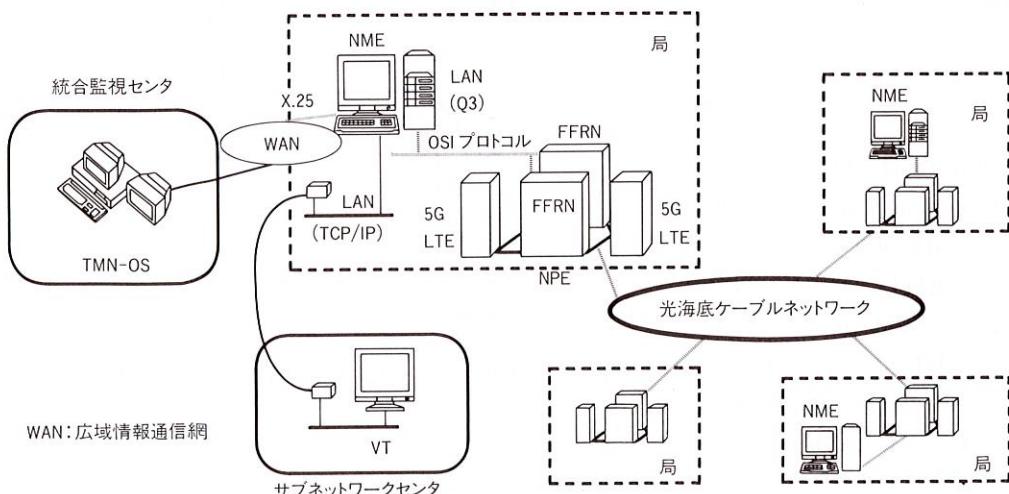


図 1. 4 局のリングネットワーク構成例 各局間を相互に接続し、リングネットワークを構成している。

Ring network configuration

ション装置と網管理装置を納入した。

ここでは、ITU勧告に準拠した新しいネットワークプロトコルを採用したNPE、およびリングネットワークを監視制御するNMEについて紹介する。

2 ネットワーク構成

TPC-5ケーブルネットワークは6局をリング状に構成、またTAT-12/13ケーブルネットワークは4局をリング状に構成している。4局のリングネットワーク構成例を図1に示す。

リングネットワークは、NPEを介して、互いに隣り合う局を相互接続することにより構成される。

NPEは、2台のフォーファイバリングノード(FFRN)で構成され、このFFRNに障害時の迂回機能が実装されている。FFRNは、SDH(Synchronous Digital Hierarchy)のSTM(同期伝送モジュール)-16(2.5 Gbps)信号を採用したAdd/Drop(分岐・挿入)多重化装置である。多重化端局装置(LTE)は、2台のFFRNからのSTM-16信号を5 Gbpsにビットインタリープ多重して、対向局に送出する。

このように、LTEで多重されているため、物理的にはリングネットワークは一つであるが、障害時の迂回はFFRN単位で行うため、論理的には二つのリングネットワークが存在している。

NMEは、LANを介してFFRNと接続され、FFRNの制御とFFRNからの警報の表示や性能情報の蓄積などを行う。NME-FFRN間の通信プロトコルは、統一された新しい監視・制御インターフェースであるITU-T勧告Q3インターフェースを採用している。また、FFRNにIS-ISルーティング機能をもたせ、NMEから他局のFFRNの監視・制御が行えるようにした。

さらに、VT(仮想端末)用のLANインターフェースおよびITU-T勧告に準拠したTMN(Telecommunications Management Network)インターフェースも用意して、キャリアの統合監視センタからの遠隔操作も可能にしている。

3 障害時の迂回切換方式

リングネットワークにおける切換方式は、ITU-T G.841(Draft) Four Fiber MS Shared Protection Ringとして、世界的に標準化され普及している。FFRN間をサービス用とプロテクション用のファイバペアで接続し、サービス用ファイバ側に障害が発生した場合には、STM-16フレームのSOH(Section OverHead)内にあるK1/K2バイトを用いて、障害区間のFFRN間でネットワーク内で相互通信し、決められたプロトコルに従って切換えを行うものである。

一つの区間のサービスファイバに障害が起こった場合に

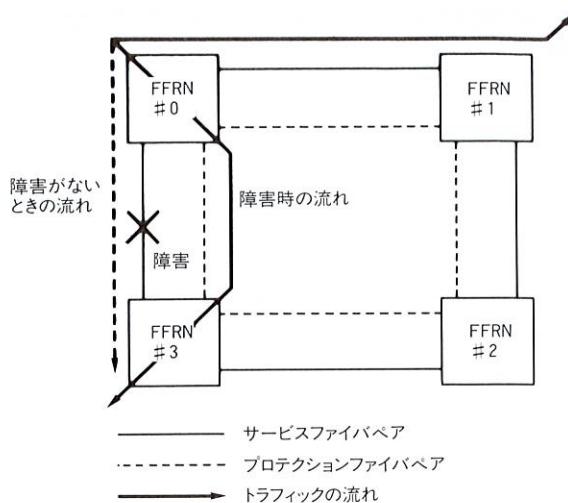


図2. スパン切換え時のトラフィックの流れ サービスファイバに障害が起こった場合には、トラフィックは障害区間のプロテクションファイバ側に切り換わる。

Span switch

は、トラフィックは障害が起こった区間だけプロテクションファイバ側に切り換わる。例えば、図2に示すようにFFRN #0を経由するFFRN #1-#3間のトラフィックは、FFRN #0-#3間のサービスファイバに障害が起こった場合には、FFRN #0-#3間のトラフィックがプロテクションファイバ側に切り換わる。

一つの区間のサービス用とプロテクション用の両方のフ

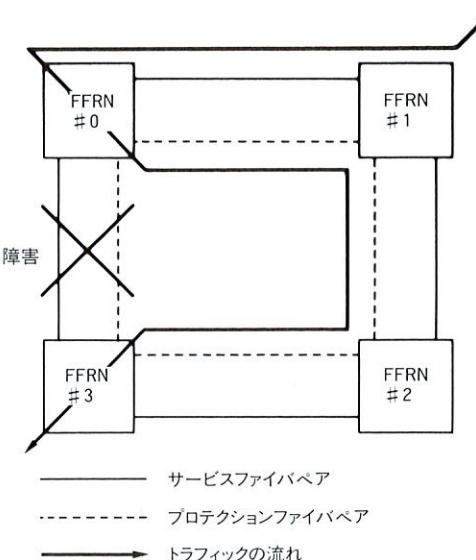


図3. リング切換え時のトラフィックの流れ(ループバック方式) サービスおよびプロテクションファイバに障害が起こった場合には、障害区間のFFRNで逆方向のプロテクションファイバにループバックして、トラフィックが迂回される。

Ring switch (loopback method)

アイバに障害が発生した場合の切換方式（リング切換）として、最短経路切換方式を採用した。

従来は、図3に示すように、制御が簡単である障害区間のFFRN (FFRN #0) で逆方向のプロテクションファイバにループバックする方式が、陸上のリングネットワークに用いられている。

この方式を国際間の10,000 km になる光海底ケーブルネットワークに適用すると、ループバック時の迂回ルートがさらに長くなり、衛星に比べ遅延時間の短い光海底ケーブルシステムのメリットが損なわれてしまう。

今回採用した最短経路の切換えを図4に示す。この方式は、制御は複雑になるが障害区間のFFRNでループバックを行わず、障害に接していないFFRNでも切換えを行うことにより、迂回ルートを最短にすることができる。この方式は、ITUから海底ケーブルシステム用として勧告されている。

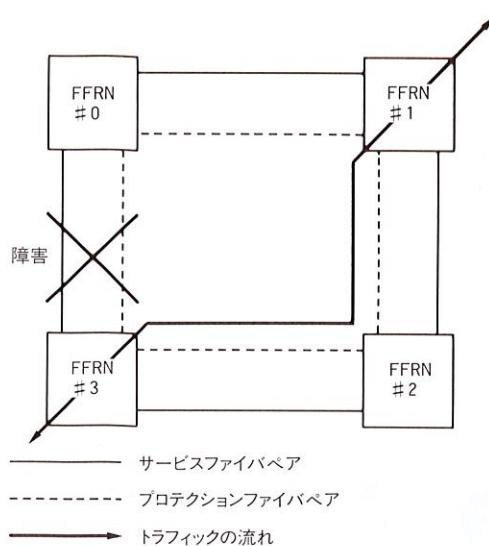


図4. リング切換え時のトラフィックの流れ(最短経路切換え) 障害に接していないFFRN #1でプロテクション側に切り換えることにより、迂回ルートが最短になる。
Ring switch (transoceanic version)

上述の切換プロトコルはFFRN内のソフトウェアで実現されている。この切換プロトコルは、多重障害を考慮する結果、複雑な動作となる。このためソフトウェアの開発効率、保守性および信頼性を向上させるため、CASE (Computer Aided Software Engineering)ツールを使い、ソフトウェアを自動生成した⁽³⁾。また、ソフトウェア評価のため、コンピュータシミュレーションによる擬似ネットワーク環境を作り検証を行い、実環境では発生させにくい事象についても評価可能とした。

4 NPE

NPEは2台のFFRNで構成され、FFRNは、STM-16の高速側信号STM-1 (155.52 Mbps) 単位でAdd/Dropを行うADM (Add/Drop Multiplex) 装置である。

FFRNの構成を図5に示す。FFRNは、サービスファイバおよびプロテクションファイバにSTM-16を伝送するための四つの高速インターフェース部 (HS I/F), Add/Dropする信号のインターフェースを行う低速インターフェース部 (LS I/F), 任意の低速インターフェースの信号をSTM-16のタイムスロットに割り当てるTSA (Time Slot Assignment) 部および監視・制御部 (OAM) で構成されている。

LS I/Fは、32チャネルのSTM-1インターフェースが実装可能であり、光インターフェース (STM-1o) および電気インターフェース (STM-1E) がプラグコンパチブルで実装できる。プロテクションファイバは、障害が起こったときのサービスストラフィックの迂回ルートとして用意されているが、障害がないときに空いているので、このプロテクションファイバ側を用いて伝送することも可能である。この伝送をパートタイム (P/T) 伝送と言い、FFRNはP/T用のSTM-1インターフェースも32チャネル収容できる。

装置の信頼性を上げるため、LS I/FおよびTSAを冗長構成している。LS I/Fは、ITU-T G.783で勧告されている1+1または1:1のAPS (Automatic Protection Switch) が実装されている。APSは、NMEからの制御により1+1または1:1のどちらにも設定可能である。

また、FFRNは、ネットワークの運用形態に柔軟に対応するため、外部クロックモード、自走モード、スルータイ

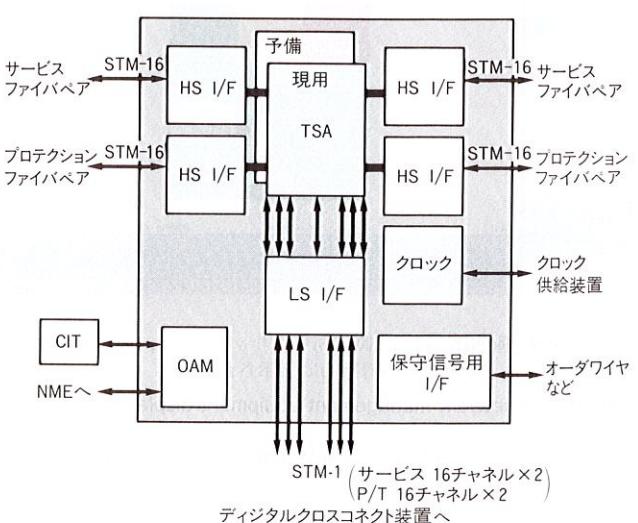


図5. FFRNの構成 FFRNは、主にHS I/F, TSA, LS I/F, OAM部で構成される。

Configuration of FFRN functions

ミングモード、ラインタイミングモードおよびループタイミングモードの5種類のタイミングモードをサポートしている。さらに、クロック系に障害が発生した場合に障害前の周波数を保持するホールドオーバ機能をもたせ、トラフィックに影響を与えない設計になっている。

OAM部は、FFRNの監視制御を行うとともに、NMEへ障害やエラー情報の通知を行う。また、NMEの他局のFFRNに対するアクセスのため、OSI(Open System Interconnection)のIS-ISルーティングも実装している。NMEから他局に対するアクセスは、IS-ISルーティング機能を介し、STM-16フレームのSOH内のD4-D12バイトを用いたECC(Embedded Communication Channel)通信により行われる。

5 NME

NMEは、保守者がネットワークの監視制御を行うため、豊富なGUI(Graphical User Interface)をもっている。NMEはワークステーションで構成され、OSはSolaris^(注1)を使用してOpenWindows^(注2)上にGUIを実現している。

図6はGUI画面の一例であり、障害が発生したFFRNが赤色表示になる。この赤色表示されたFFRNをクリックするとFFRNの構成画面に移り、障害が発生しているシェルフが赤色表示される。さらに、赤色表示しているシェルフをクリックすると、シェルフ内の基板実装画面が表示さ

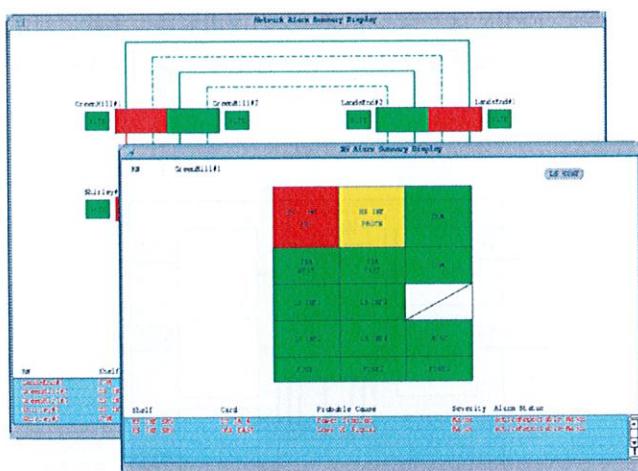


図6. NME画面の一例 障害局をクリックすると、障害が発生しているシェルフ、障害基板が階層的に表示される。

Example of network management equipment display

(注1)、(注2) Solaris、OpenWindowsは、Sun Microsystems社の登録商標。

れ、障害が発生している基板が赤色表示される。このように、GUIを充実することにより、障害の切分け、復旧などの保守を容易にしている。

また、各FFRNからNMEへ通知される警報や性能情報をハードディスク装置(HDD)上に蓄積し、テープにバックアップする機能、検索およびプリントアウトする機能をもたらしている。さらに、性能情報はFFRNから定期的にNMEへ通知され、この情報を基に日報、月報、年報の編集が行われ、ネットワーク運用の保守を容易にしている。

6 あとがき

大容量の光海底ケーブルシステムに適用するリング切替え機能をもつNPEと、システムを監視制御するNMEを開発した。これらの装置を適用することにより、高品質の光海底ケーブルネットワークが構築できる。

リングネットワーク内で、自動的にトラフィックを最短経路で切り換える機能を実用化したのは世界初であり、TPC-5ケーブルネットワークおよびTAT-12/13ケーブルネットワークに実装された。

なお、この装置は国際電信電話(株)の指導の下で開発した。

文 献

- (1) W.C. Barnett, et al : The TPC-5 Cable Network, IEEE Commun. Mag., 34, 1, pp.36-40 (1996)
- (2) P. Trischitta, et al : The TAT-12/13 Cable Network, IEEE Commun. Mag., 34, 1, pp.24-28 (1996)
- (3) 金地克之, 他: 大規模通信ソフトウェアの統合化開発支援環境——上流設計の統合化支援システム——, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会, 92-SE-83 (1992)

近藤 利徳 Toshinori Kondo

日野工場光伝送システム設計部副参事。
光伝送装置の開発設計に従事。
Hino Works



綾目 省吾 Syougo Ayame

日野工場通信システム設計第二部主務。
通信機器の監視装置の開発設計に従事。
Hino Works



高見 昌之 Masayuki Takami

日野工場光伝送システム設計部主査。
光伝送装置の開発設計に従事。
Hino Works

