

解説

汎用大型コンピュータを中心とした
情報ネットワーク高信頼化技術†

宮崎 聡†† 平田 俊明†† 柳生 和男††

1. はじめに

情報システムはコンピュータ中心からネットワーク中心へと変化してきている。ネットワークの応用範囲の多様化、大規模化にともない、情報ネットワークシステムは社会のインフラストラクチャとして障害時の社会的影響が重大かつ多方面にわたる可能性が高くなってきた。したがって、情報ネットワークの高信頼化は従来にもまして重要な課題となっている¹⁾。

情報ネットワーク一般に関係する高信頼化技術についての解説はすでに多数ある^{2)~6)}。そこで、本稿では金融機関のオンラインシステムに代表される汎用大型コンピュータを中心として構成される情報ネットワークを対象とする。情報ネットワークにおける汎用大型コンピュータには次の三つの側面がある。

(1) 終端システム：ネットワークが提供する通信サービスを利用して他システムと情報交換する。

(2) ネットワーク：フロントエンドプロセッサと連携して自律したネットワークサービスを提供する。

(3) 情報処理センタ：オンライントランザクション処理システムなどにおいてデータの処理と管理を行う。

上記を実現する上での信頼性に関する技術として、特に汎用大型コンピュータにおける通信ソフトウェアに適用される高信頼化技術を中心に紹介する。

2. では情報ネットワークシステムに関する高

信頼化技術を概観する。3. ではネットワークを利用する終端システムとして、終端システム間通信におけるメッセージ誤りに対処する通信プロトコルに関する高信頼化技術について述べる。4. ではネットワークを構成する要素として、メッセージの経路選択を中心とするネットワーク構成制御における中継装置や回線の故障に対処する高信頼化技術について述べる。5. では他システムからみた情報処理センタとして、汎用大型コンピュータ自身の故障に対処する高信頼化技術について述べる。

2. 情報ネットワークシステムにおける
高信頼化技術

本章では、汎用大型コンピュータを中心とした情報ネットワークシステムにおける高信頼化技術について概観する。

2.1 信頼性に関する課題

情報ネットワークに特徴的な信頼性に関する課題を次に示す。

(1) 終端システム間通信（伝送）上の課題

(a) ネットワークシステムは伝送系の雑音やほかの環境問題の影響を受けやすいため単独システムよりも信頼性が低下する。

(b) データや制御情報は消失したり、誤りが混入したりする。これはハードウェアの原因だけでなく、ネットワーク輻輳や経路選択アルゴリズム誤りのようなソフトウェア的原因によっても生じる。

(2) 分散システム（ネットワーク）制御実現上の課題

(a) ネットワークをとおして関連するプロセス間の同期化処理、デッドロック防止などによる制御アルゴリズムの複雑化および多数の関連要素の相互依存性のため故障の検出・診断・回避には

† Fault Tolerant Techniques Related to Mainframe Computers as Core Systems in Information Networks by Satoshi MIYAZAKI, Toshiaki HIRATA and Kazuo YAGYU (Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所システム開発研究所

単独システムよりもコストがかかる。さらに、複雑な制御は通信プロトコルの欠陥や実装誤りの原因となりやすい。

(b) 一つのネットワーク構成要素の故障がほかの構成要素に波及する可能性がある。たとえば、1990年1月に米国で長距離電話サービスが9時間にわたって途絶した原因は、ソフトウェアバグにより1台の交換機の障害が全米の交換機に波及したためと言われている⁷⁾。

(3) 運用管理上の課題⁸⁾

(a) 大規模ネットワークシステムの場合には端末装置の増設や移動によるシステムの構成変更が生じる可能性が高い。操作誤りなどにより構成変更を失敗する可能性があるため、構成変更の頻度が高いシステムの信頼性は低下することが多い。

(b) 大規模ネットワークシステムの場合には多数の端末装置が各地に分散して設置されることが多いため、すべてのネットワーク構成要素を冗長化することが困難である。

2.2 高信頼化技術

一般に、システム高信頼化のアプローチには、図-1に示すように故障回避と耐故障化の二つに大別される。

これらの高信頼化対策はコンピュータ/通信関連装置製造者、通信サービス事業者、ネットワーク利用者(システム管理/運用者)それぞれの立場から必要である。通信サービス事業者の立場からの高信頼化技術については参考文献9)、10)に詳しい。また、ネットワーク利用者の立場からの高信頼化対策として郵政省¹¹⁾、通商産業省¹²⁾を始めとする種々の行政機関から安全性・信頼性に関するガイドラインが示されている。そこで、本稿ではコンピュータ/通信関連装置製造者の立場からの高信頼化技術について述べる。

2.3 汎用大型コンピュータにおける高信頼化技術の実現例

汎用大型コンピュータで実現されている情報ネットワークに関する高信頼化機能の実現例として日立製作所の通信管理プログラム XNF の高信頼化機能を紹介する^{32)~34)}。XNF はコンピュータとそのフロントエンドプロセッサとなる通信制御処理装置(CCP: Communication Control Processor)上で動作し、複数のコンピュータと CCP からなるネットワークの構築を実現する。XNF の障害対応機能を次に示す。

(1) 終端システム機能関係: 端末回線の障害
 端末回線障害の復旧は XNF が監視し、復旧を待って通信を再開する。

(2) ネットワーク機能関係

(a) CCP 障害

CCP の障害に対してその CCP の復旧を待って再開する方法と予備 CCP に切り替えて再開する方法がある。

また、CCP が障害の間、ネットワーク利用者が中断した通信に対して再接続を要求すれば、XNF が使用可能な別のルートを選択して接続する。

(b) 中継回線の障害

中継回線障害の復旧は XNF が監視し、復旧を待って通信を再開する。中継回線が障害の間、ほかの中継回線または CCP を経由するルートを使用すれば、通信可能である。

(3) 情報処理センタ機能関係: コンピュータ障害

障害コンピュータが CCP を管理していた場合には、その機能を別のコンピュータが代行できる。CCP は管理するコンピュータが一時的に不在でも、そのまま運転を継続できる。

コンピュータ障害時、ホットスタンバイ再開機能を使用すれば、待機コンピュータに切り替えて、システム回復できる。

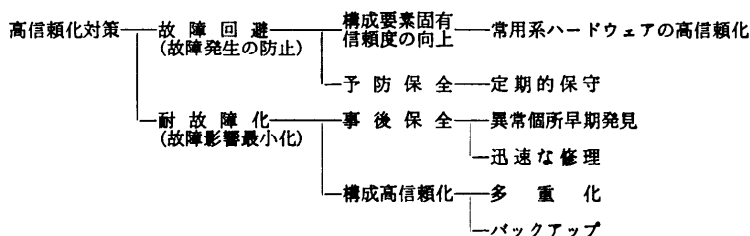


図-1 システム高信頼化対策

(1)の通信再開に関連した通信プロトコルに関する高信頼化技術については3.で述べる。(2)における交替ルート選択に関連するルート状態通知方式を含むネットワーク構成制御に関する高信頼化技術については4.で述べる。(3)におけるホットスタンバイ方式を含む汎用大型コンピュータ自身の高信頼化技術については5.で述べる。

3. 通信プロトコルにおける高信頼化技術

通信が物理的に離れたシステム間で実行されるかぎり、通信媒体やシステムの障害により、メッセージに誤りが生じたり、メッセージそのものが失われたりすることは避けられない。そこで、通信プロトコルにおいてもこれらの障害に対処することが重要な課題の一つとなっている。本章ではネットワークの終端システムにおいて実装される通信プロトコルに関する高信頼化技術について述べる。

3.1 通信プロトコルにおける高信頼化の意味

通信プロトコルは多くの場合階層化され、各層に適した高信頼化技術が使用されている。通信プロトコルにおける高信頼化技術は利用する通信メディアの信頼性とアプリケーションから要求される信頼性を考慮し、全体としての要求性能が確保できるかどうかという観点から適用を考える必要がある¹³⁾。たとえば、低速な専用線をベースとする広域網においては下位層プロトコルで障害回復処理を行うことにより上位層における障害回復処理の負荷を軽減するアプローチをとる。一方、高速/高信頼な通信メディアを利用するLANにおいては高性能を実現するため下位層プロトコルではオーバーヘッドの大きい障害回復処理は行わず、上位層プロトコルで障害回復を行うアプローチをとることが多い。したがって、次に示す通信プロトコルにおける高信頼化技術は、必ずしもすべての方式が同時に使用されるわけではないことに注意する必要がある。

3.2 OSI 基本参照モデルにおける高信頼化技術

以下では、国際標準ネットワークアーキテクチャ OSI (Open Systems Interconnection) の基本参照モデル^{14), 15)} (図-2 参照) に合わせた順序で各層における高信頼化技術について説明する。

(1) 物理層 (電気・物理条件)

ビット列の伝送を保証するため、雑音影響の多い環境においては受信側で誤り訂正符号を用いて誤りを訂正する FEC (Forward Error Correction) 方式を利用することがある。

(2) データリンク層 (隣接間データ転送)

メッセージ (フレーム) の伝送を保証するため受信側で誤りを検出すると送信元に再送要求を出す ARQ (Automatic Repeat Request) 方式を用いる。ARQ 方式の原理は単純であるが、再送要求や再送メッセージにも誤りが含まれる可能性があるため誤り率の高い環境や伝搬遅延時間の長い環境では再送機構のオーバーヘッドを少なくしスループットを上げる工夫が必要になる。ARQ 方式には、一つのメッセージ受信を確認してから次のメッセージを送信する stop-and-wait 方式、受信確認なしに n 個までのメッセージを送信し、受信誤りが検出されるとそのメッセージから再送し直す go back n 方式、go back n 方式において誤りが検出されたメッセージのみを再送する selective repeat 方式などがある¹⁶⁾。

(3) ネットワーク層 (通信網内/間の中継)

データリンク層プロトコルは隣接ノード間のメッセージ転送を保証するものである。したがって、中継ノードを介したメッセージ (パケット) 転送においてノード/リンク故障が生じる場合には、終端システム間のメッセージ転送を保証することはできない。このため、ネットワーク層またはトランスポート層でも ARQ (go back n) 方式と類似の機能が必要になる。しかし、ネットワーク層では ARQ 方式を終端システム間の受信確認というよりは、むしろネットワークや宛先ノードの受信バッファ不足を防止するためのフロー制御という目的で使用することが多い。

(4) トランスポート層 (終端システム間デー

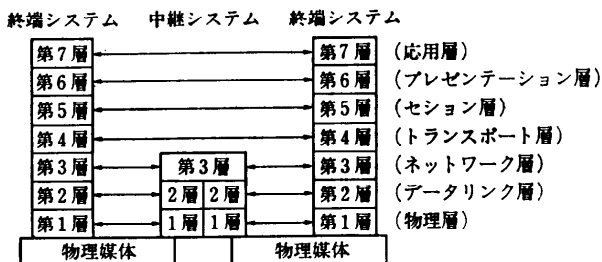


図-2 OSI 基本参照モデル

タ転送)

トランスポート層では、メッセージ紛失、重複、順序誤りを検出するためにデータリンク層のARQ (go back n) 方式と同様の順序番号と受信確認を用いる。トランスポート層がデータリンク層と異なる点は比較的長時間メッセージがネットワーク内に滞留し、その間にトランスポート層コネクション (論理通信路) が何度か確立/解放される可能性があることである。あるコネクションが解放されて、再確立された後で古いメッセージが到着し、新しいメッセージと間違えられる可能性がある。これに対応する方法には、全ネットワークにおける最大可能遅延時間が経過するまでコネクション再確立を待つ方法、コネクションごとにユニークなラベル付けをする方法、ネットワーク内に一定時間 (生存時間) 以上滞留するメッセージを廃棄する方法などがある¹⁷⁾。

(5) セッション層 (会話制御)

トランスポート層プロトコルが保証するのはメッセージ転送であり、転送後の障害による情報の紛失には対応できない。これに対応するための機能がセッション層プロトコルの同期点設定機能と再同期機能である。アプリケーションの種類と特性に応じて適当な処理の区切りで同期点を設定しておくことにより、異常発生時に同期点から処理のやり直しが可能となる。なお、セッション層は再同期の機構を提供するだけであり、メッセージの保持や再送は上位層で行う。

(6) プレゼンテーション層 (情報表現形式)

特に、高信頼化に関係する機能はない。

(7) 応用層 (用途向き通信機能)

OSI 応用層プロトコルは種々の応用サービス要素の集まりである。このサービス要素の中に高信頼処理が要求されるアプリケーションによって共通に利用される CCR (Commitment, Concurrency and Recovery) がある。

CCR はシステム故障が繰り返される環境でも分散された複数の資源の更新同期化制御を行う。すなわち、障害が発生したときに資源の更新を中止し、更新開始前の状態に戻す制御を行う。本機能は、セッション層の再同期機能を利用して実現する。

4. ネットワーク構成制御における高信頼化技術

本章では故障の原因や場所についての情報に基づき、故障箇所を回避する技法について述べる。最初に静的ルーチング方式を用いるネットワークにおけるルート状態通知方式について紹介する。次に動的ルーチング方式を用いるネットワークにおけるネットワークトポロジ情報更新方式について紹介する。

4.1 ルート状態通知方式

広域コンピュータネットワークにおいては、通信開始時に設定された論理通信路を通信終了まで使用するコネクション型サービスを提供するものが多い¹⁵⁾。このサービスを実現する手段は種々あるが、システム生成時に送信元ノードから宛先ノードに至るすべてのリンクやノードの順序集合 (ルート) を定義しておく静的ルーチング方式が実現容易な方法の一つである。この静的ルーチング方式の特徴は次のものである。

- (1) ルーチング処理の単純性
- (2) システム設計時における性能評価の容易性
- (3) データ順序の保持性
- (4) 用途別ルートの設定容易性

静的ルーチング方式では、論理通信路の設定失敗を防止するため、通信開始時にルートが使用可能 (活性: ルートを構成するすべてのノードおよびリンクが活性) か、使用不能 (非活性: ルートを構成するノードおよびリンクの中の少なくとも一つが非活性) かをルート端点で把握可能とする機構が必要である。上記の機構を用いることによりルート両端において論理通信路設定時には活性状態にあるルートの中から最適なものの選択が可能となる。

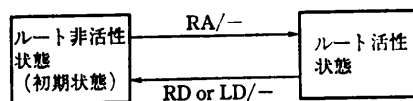
ルート状態を把握する一般的なアプローチには同報通信によるものと生存メッセージ交換によるものがある。同報通信によるアプローチは、ネットワークのノードまたはリンク状態の変化を検出したノードがほかのすべてのノードに通知するというものである。生存メッセージ交換によるアプローチは、周期的にルートの両端から生存メッセージを送信し、メッセージの周期的受信がルートの活性を保証するというものである。しかし、

同報通信や生存メッセージ交換アプローチにはネットワークのオーバーヘッドトラフィックが大きという問題がある¹⁰⁾。

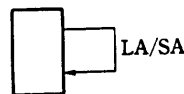
上記の問題を解決するアプローチの一つとして、静的ルーティング方式を用いるネットワークにおけるルート状態通知方式が提案されている¹⁰⁾。本方式は、各ノードが隣接リンクまたはノードの非活性化を検出した場合にそれをネットワーク全体に同報しないで、その情報を必要とするルート端点だけに通知するものである。これは、中継ノードにおいてルート端点ノードからの到達可能性（ルート端点ノードから中継ノードに至る経路にあるすべてのノードおよびリンクが活性であるか否か）を記憶し、到達可能であれば出力方向リンク活性化または入力方向リンク非活性化を次のノードに通知し、到達不能であれば通知しないことにより実現できる。この方式の状態遷移図を図-3に示す。ルート状態通知方式を用いることにより、ルート状態通知に関する冗長な制御メッセージの送信を防止すると同時に、他ノードが必要とする制御メッセージの送信を保証できる。また、ルート状態通知方式では各ノードがルート識別子とそれに対応する入出力リンクに関する情報のみがあればよく、ネットワーク全体のトポロジ情報は不要である。

4.2 トポロジ情報更新方式

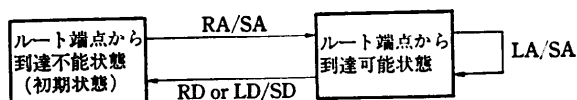
静的ルーティングはリンクやノードの故障/回復には交代ルートの使用により対応し、構成の変更には固定ルーティングテーブルの更新により対応するというアプローチであり、構成変更の頻度が少ない場合に適している。一方、本節で対象とする動的分散ルーティングはリンクやノードの故障/回復と追加/削除をネットワークトポロジの変化ととらえ、統一的に扱うアプローチである。動的分散ルーティングにはローカル情報に基づき経路選択を行うアプローチとグローバル情報に基づくアプローチとがある。ローカルなアプローチは実現容易であるために多数のネットワークで実用化されているが、アルゴリズムの安定性（収束性）や信頼性に問題がある。一方、グローバルなアプローチはメッセージの経路選択に必要なネットワークトポロジの最新情報を全ノードに伝えるという



(a) ルートの入力方向に対する端点ノードの状態遷移図



(b) ルートの出力方向に対する端点ノードの状態遷移図



(c) ルートの一方方向に対する中継ノードの状態遷移図

→: 状態遷移方向

- RA: ルート活性化通知メッセージの受信
- RD: ルート非活性化通知メッセージの受信
- LA: 隣接 (出力方向) リンク活性化検出
- LD: 隣接 (入力方向) リンク非活性化検出
- SA: ルート活性化通知メッセージの送信
- SD: ルート非活性化通知メッセージの送信
- : 特定動作なし (状態遷移のみ)

図-3 ルート状態通知方式の状態遷移図

ネットワークトポロジデータベース更新が主要な課題となる。このとき考慮すべきことを次に示す¹⁰⁾。

- (1) トポロジ更新情報はリンク故障により正しく転送されない可能性がある。
 - (2) 複数回数のトポロジ変化に対応するために新旧トポロジ更新情報を区別しなければならない。
 - (3) 新ルート計算中に新たなトポロジ更新情報を受信する可能性がある。
 - (4) 一つのリンク回復が2分されていたネットワークの再結合を引き起こす可能性がある。すべてのノードが現時点での正しいネットワークトポロジを同時に知ることは不可能であるため、有限回数のトポロジ変化に有限時間内に対応できることが目標となる。トポロジ情報更新に関する多くの研究は特に次の二つの課題を克服することを目的としている。
 - (5) プロトコルオーバーヘッド (特に制御メッセージ数) の削減
 - (6) 順序番号オーバーラップの対策
- 課題(5)の観点からは周期的にトポロジ情報を交換する周期起動型アプローチよりもトポロジ変化検出時に情報交換するイベント駆動型アプ

チが優る。しかし、イベント駆動型アプローチでは、転送誤り、メモリ誤りなどが未検出となり、トポロジ情報に誤りが生じた場合には、誤り情報に関連したイベントが発生しないかぎり、修正不可能になるという本質的な問題がある（周期起動型アプローチでは次の起動時に修正できる）。したがって、両方式を合わせたハイブリッド型アプローチが有力である。課題(6)は課題(2)の解決策として順序番号を利用する場合に順序番号フィールドが有限長であるために生じる問題である。これについては次に示すような現在の同報サイクルと過去の同報サイクルを区別するための手法が提案されている。

(a) 順序(サイクル)番号の利用

(i) ローカル(ノードごとユニーク)+生存時間²⁰⁾

(ii) グローバル(ネットワーク内ユニーク)²¹⁾

(b) 同報サイクル上限時間の利用²²⁾

(c) ホップ数の利用(最短ホップ数のノードからの情報を信用する)²³⁾

これらの理論的解決策に対して、順序番号フィールドを十分に大きくとれば実用的に十分であるという考え方もある。

実用化上の課題にはほかに次に示すものがある。

(7) ノードの階層化²⁴⁾

ネットワークが大規模な場合や構成ノードの処理能力の差が大きい場合に考慮する必要がある。

(8) ローカルトポロジ情報の不一致²⁵⁾

一つのリンクに関して両端のノードが状態を報告するため、それらの情報が矛盾する可能性がある。

5. 汎用大型コンピュータの高信頼化技術

銀行、証券会社などにおいては、汎用大型コンピュータに障害が発生した場合、その影響は局所的に留まらずに情報ネットワーク全体に波及する可能性がある。その業務停止時間の大きさによっては、取引の機会を失い、重大な損失を招くこととなる。したがって、汎用大型コンピュータに障害が発生したときの障害回復時間の短縮は最重要課題の一つとなっている。

5.1 汎用大型コンピュータのシステム高信頼化技術

汎用大型コンピュータによるシステム高信頼化方式として最もよく用いられる方法は、複数台のコンピュータによる冗長構成²⁶⁾であり、図-4に示すものがある。以下では、本体系(プロセッサ、メモリ、チャンネルなどのシステム基本部)と通信系(フロントエンドプロセッサなど)に分けて汎用大型コンピュータのシステム高信頼化技術を述べる。

5.2 本体系のシステム高信頼化技術

最近では、フォールトトレラントコンピュータ(FTC)が商用化され、適用される例が特にオンライントランザクション処理の分野に増えてきている。しかし、FTCはバッチ処理や大規模な入出力処理には向かないという点からFTCのみで構築されたシステムが利用者のすべての要求を満足できるわけではない²⁶⁾。そこで、本節では汎用大型コンピュータによる高信頼化技術として代表的なホットスタンバイ方式について述べる。

ホットスタンバイ方式には次の4つのフェーズがある。

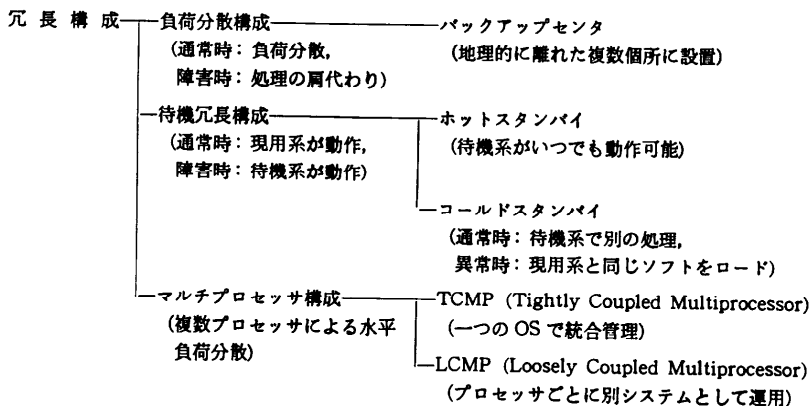


図-4 汎用大型コンピュータの冗長構成

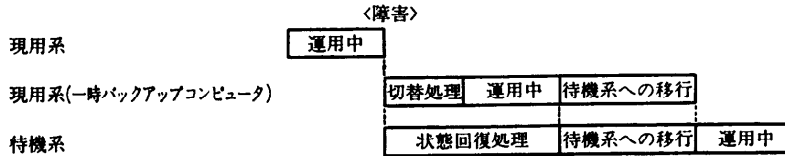


図-5 一時バックアップ方式

- (1) 現用系障害の検出
- (2) 待機系への切り替え
- (3) 情報の回復
- (4) 端末との通信再開

ここではフェーズ(2)と(4)に関連した課題と対策を中心に紹介する。フェーズ(1)と(3)については参考文献 35)などを参照されたい。

5.2.1 中断時間の短縮

本課題に対して次の3方式が提案されている。

(1) 並列実行方式²⁷⁾: 障害系から待機系への切り替えは、セッション切替処理、実行中断トランザクション復旧処理、運転状態復旧処理からなる。これらの処理を疎結合多重プロセッサ(LCMP)構成の待機系において並列実行することにより切り替え処理時間の短縮ができる。

(2) 一時バックアップ方式²⁸⁾: 現用系障害発生時、別の業務を実行しているほかの現用系(一時バックアップコンピュータ)が状態引継ぎ処理を実施することなく業務を引き継ぐ。次に待機系での状態引継ぎ処理終了時、待機系が前記業務を引き継ぐという2段階の切り替えを行う(図-5参照)。

(3) 端末無中断方式²⁹⁾: フロントエンドプロセッサでセッションの管理、メッセージの保留を行い、コンピュータでは利用者・サービスプログラムを実現することによりセッション再設定を不要にする。

5.2.2 通信相手からみた現用系と待機系のネットワークアドレス

待機系と通信を再開するために通信相手側で新しい名称とアドレスを意識しなければならないならば、システムの運用が複雑となり、また高速な通信再開が難しい。このため、次に示す方式が提案されている。

論理ノード方式^{30),34)}: 通信相手は現用系/待機系コンピュータを意識せず、論理ノードと通信する。ある一時点では現用系/待機系いずれか一方が論理ノードとして動作可能になるように制御する。

5.3 通信系のシステム高信頼化技術

フロントエンドプロセッサ(FEP: Front End Processor)は、本体系とともに汎用大型コンピュータシステムを構成するキーコンポーネントであり、主に待機冗長構成を用いたシステム高信頼化方式が用いられる。ここでは、中断時間の短縮のため、FEPをホットスタンバイ化した方式を紹介する。

(1) 1+1 ホットスタンバイ方式³¹⁾

複数のコンピュータに接続する現用系FEPおよび現用系と同一のプログラムロードを完了した待機系FEPからなるシステムを対象とする。現用系FEP障害発生時、障害FEPに接続されたコンピュータの中であらかじめ決められた1台のコンピュータが待機系FEPに切り替え、ほかのコンピュータに待機系FEP経由でFEP切り替えを指示する。指示されたコンピュータは待機系FEPに切り替える。以上の処理により全コンピュータでのFEP切り替えの同期をとることができる。

(2) N+1 ホットスタンバイ方式³⁰⁾

現用系FEP N台に対して待機系FEP 1台の構成でホットスタンバイ化を実現するため、FEP上のプログラムと制御データを分離する構成をとる。待機系FEPには、全現用系FEPの機能を含むプログラムと全現用系FEPの制御データをローディングしておき、どのFEPの予備として働くか判明した時点でほかのFEPの制御データ領域を解放する。

6. おわりに

本稿では、コンピュータ/通信関連装置製造者の立場から汎用大型コンピュータの情報ネットワークに関連した高信頼化技術について次の三つの側面から紹介した。

(1) ネットワークを利用する終端システムとして通信プロトコルで 사용되는種々の高信頼化技術

(2) ネットワーク構成要素として経路選択を中心とするネットワーク構成制御における高信頼化技術

(3) 他システムからみた情報処理センタとして汎用大型コンピュータ自身の高信頼化技術

これらの技術の適用先が汎用大型コンピュータに限定されるものではないことは言うまでもない。

参考文献

- 1) 浅見, 小林, 高木, 鈴木, 松永: 1990年代のエレクトロニクス: “信頼性” が表舞台に, 日経エレクトロニクス, No. 492, pp. 117-144 (1990).
- 2) Morgan, D. E., Taylor, D. J. and Custeau, G.: A Survey of Methods for Improving Computer Network Reliability and Availability, IEEE Comput. Mag., Vol. 10, No. 11, pp. 42-50 (1977).
- 3) 浦野, 鍛冶, 松岡編: 大特集: 高信頼化技術, 情報処理, Vol. 23, No. 4 (1982).
- 4) 宇都宮敏男編: 特別小特集: 情報ネットワークの信頼性とセキュリティ, 信学誌, Vol. 69, No. 1 (1986).
- 5) 長谷川聡, 阪田史郎: 分散処理の高信頼性技術, 情報処理, Vol. 28, No. 4, pp. 395-402 (1987).
- 6) 当麻喜弘, 向殿政男: コンピュータシステムの高信頼化技術入門, 日本規格協会 (1988).
- 7) Neumann, P. G.: Some Reflections on a Telephone Switching Problem, Comm. ACM, Vol. 33, No. 7, p. 154 (1990).
- 8) 伊藤敦之: 情報ネットワークにおけるソフトウェアの信頼性, 信学誌, Vol. 69, No. 1, pp. 28-32 (1986).
- 9) 清原新治: 電話網における高信頼化技術, 情報処理, Vol. 23, No. 4, pp. 368-372 (1982).
- 10) 石川 宏: ネットワークシステムにおける信頼性技術, 情報処理, Vol. 28, No. 4, pp. 1208-1215 (1987).
- 11) 秋山 稔, 小嶋 弘: 電気通信システムの安全・信頼性対策—郵政省のガイドラインを中心に—, 信学誌, Vol. 70, No. 2, pp. 191-198 (1987).
- 12) 木本裕司: 電子計算機のリスクマネジメント, 信学誌, Vol. 72, No. 1, pp. 19-34 (1989).
- 13) Saltzer, J. H., Reed, D. P. and Clark, D. D.: End-to-End Arguments in System Design, ACM Trans. Comput. Syst., Vol. 2, No. 4, pp. 277-288 (1984).
- 14) 田畑孝一: OSI—明日へのコンピュータネットワーク, 日本規格協会 (1987).
- 15) Tanenbaum, A. S.: Computer Networks, 2nd ed., Prentice-Hall (1988).
- 16) Bertsekas, D. and Gallager, R.: Data Networks, Prentice-Hall (1987).
- 17) Schwartz, M.: Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis, Addison-Wesley (1987).
- 18) Seeger, J. and Kharna, A.: Reducing Routing Overhead in a Growing DDN, IEEE MILCOM '86 (1986).
- 19) 宮崎, 古橋, 古屋: コンピュータネットワークにおけるルート状態通知方式の検討, 昭 62 信学総全大.
- 20) McQuillan, J. M., Richer, I. and Rosen, E. C.: The New Routing Algorithm for the ARPANET, IEEE Trans. Commun., Vol. 28, No. 5, pp. 711-719 (1980).
- 21) Segall, A.: Distributed Network Protocols, IEEE Trans. Inf. Theory, Vol. IT-29, No. 1, pp. 23-35 (1983).
- 22) Topkis, D. M.: Concurrent Broadcast for Information Dissemination, IEEE Trans. Softw. Eng., Vol. SE-11, No. 10, pp. 1107-1112 (1985).
- 23) Spinelli, J. M. and Gallager, R. G.: Event Driven Topology Broadcast Without Sequence Numbers, IEEE Trans. Commun., Vol. 37, No. 5, pp. 468-474 (1989).
- 24) Jaffe, J. M. and Segall, A.: Automatic Update of Replicated Databases, IEEE Trans. Commun., Vol. COM-33, No. 10, pp. 1076-1084 (1985).
- 25) Jaffe, J. M., Baratz, A. E. and Segall, A.: Subtle Design Issues in the Implementation of Distributed, Dynamic Routing Algorithms, Comput. Networks and ISDN Syst., Vol. 12, No. 3, pp. 147-158 (1986).
- 26) 木崎健太郎: 利用が広がるフォールト・トレラント機, 日経コンピュータ, No. 167, pp. 67-79 (1988).
- 27) 宮島, 竹田, 宮崎: 高信頼度オンライン・トランザクション・システム, 情報処理学会オペレーティング・システム研究会報告, OS-43-1 (1989).
- 28) 平田, 田中, 田中: ホスト計算機の高速切替方式とそのプロトコルの提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 6, pp. 761-770 (1989).
- 29) 川原, 柴垣, 中谷, 大石: システム高速再開における端末無中断方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 2, pp. 214-225 (1989).
- 30) 鶴保, 仲谷, 郷原: 大規模機能分散型システムにおける高信頼化方式, 信学論, Vol. J73-D-I, No. 2, pp. 235-244 (1990).
- 31) 平田, 柳生, 川飛: 通信制御処理装置の高速予備切替方式の提案, 第 40 回情報処理学会全国大会, pp. 1483-1484 (1990).
- 32) 宮崎, 谷口, 服部, 川飛, 神山: 通信管理プログラムにおける OSI の実現, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会報告, DSP-38-1 (1988).
- 33) 峰尾, 松崎, 重田, 山田, 柳生, 山川: ネットワーク基盤を実現する通信管理 “XNF”, 日立評論, Vol. 71, No. 9, pp. 913-920 (1989).
- 34) 日立製作所: プログラムプロダクト VOS 3 通信管理 XNF 解説, HITAC マニュアル, 6180-3-571 (1990).
- 35) 上田恭雄: オンラインシステム, 昭見堂 (1987).
(平成 2 年 9 月 13 日受付)



宮崎 聡 (正会員)

1955年生。1978年京都大学工学部電気工学第二学科卒業。1980年同大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。以来、同社システム開発研究所において、プラントの安全性、信頼性に関する研究、計算機通信ソフトウェアに関する研究開発に従事。1988~1989年イリノイ大学客員研究員。工学博士。IEEE, ACM 各会員。



柳生 和男 (正会員)

1949年生。昭和47年福井大学工学部電気工学科卒業。昭和49年同大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。現在同社システム開発研究所・第4部に勤務。大型計算機の通信ソフトウェア、LANを中心としたネットワークシステムの構築に関する研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。



平田 俊明 (正会員)

昭和36年生。昭和58年慶應義塾大学工学部計測工学科卒業。昭和60年同大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。現在、同社システム開発研究所勤務。CCPを中心とした汎用大型計算機の通信管理に関する研究開発に従事。電子情報通信学会会員。

