

n 層状態モデルにもとづくネットワーク障害検出法

4D-2

釘本 健司 岡 敦子 伊藤 正樹

NTT ソフトウェア研究所

1 はじめに

近年、計算機ネットワークの広域化/大規模化にもなっており、有効なネットワーク管理の必要性が高まっている。計算機ネットワークの管理は分散した情報や時間的に変化する情報を扱う分散処理であり、障害の原因究明等、目的が明確な場合でもその実現性は常には保証されない。したがって、ネットワーク管理においては、目的の実現可能性を特定できることが重要である。そのためには、ネットワーク管理をモデル化し、形式的に定義する必要がある。

本稿では、TCP/IP のネットワーク管理の中で障害管理に焦点を当て、障害検出手法のモデル化について検討する。なお、モデル化にあたってはパケットの流れに着目する。

以下では、まず障害を定義するために IP(Internet Protocol) 層以下のネットワークの n 層の状態を定義する n 層状態モデルを提案する。さらに、この n 層状態モデルをもとに、管理エージェントを用いた障害管理の枠組を示し、この管理エージェントが持つべき基本機能を検討する。

2 n 層状態モデルによる障害の定義

既存のネットワーク管理ツールの多くは、SNMP (Simple Network Management Protocol) を利用し、ネットワークノードの故障をアラーム収集するなどして、ノードの稼働状況を把握して障害を検出している。しかし、ネットワークノードに実装されたソフトウェアにバグがある場合、これらのツールにより全てのネットワーク機器が一見正常に稼働していると診断される場合でもネットワーク全体に渡っての正常動作は保証されない。したがって、障害管理はノードの稼働状態の把握だけでは十分とはいえず、通信を行なっている計算機間の通信路全体に渡っての管理を必要とする。通信路全体の状況を見渡すために、二点間のパケットの流れに着目した障害検出について考察する。

まず、接続性の障害の検出および位置特定のために、任意の二点間のパケットの流れを通信路の状態という概念で説明し、これにより通信路の障害を定義する。

パケットの流れに着目して考えると、計算機ネットワークの二点間の通信を確保するには、以下の三つの条件が成立している必要がある。

1. 意図通りの計算機に誤りなくパケットが送られること (二点間の接続性条件)
2. 発せられたパケットが要求される時間内に相手の

計算機に到着すること (二点間の通信のパフォーマンス条件)

3. プロトコルの規定のとおりパケットのハンドシェイクが行なわれること (ハンドシェイク条件)

ネットワーク障害とは、指定された二点間において、これらの少なくともいずれかが成立しないことである。本稿では、層ごとに上記の三つの要素を表現する n 層状態モデルを提案する。ただし、今回は三つの要素のうち 1. の二点間の接続性条件だけに絞る。

2.1 n 層接続性

計算機ネットワークにおける通信は、層ごとに独立性を持たせて階層化されているため、障害の定義にあたっては、物理的な発生位置だけでなく、層における発生位置についても考慮する必要がある。したがって、ある n 層における n 層接続性を考える。本稿では、3 層以下、すなわち IP 層以下のみを対象とする。 n 層接続性の定義の前に、定義に必要なネットワーク上の情報の表記を与える。

二点間の通信路の n 層接続性を表現する時に必要となる基本情報は、パケットとその位置、パケットの始点および終点、ルーティングテーブルの三つである。

パケットは始点終点を通して必ずしも同じ形式で伝搬されない。例えば IP 層において、あるパケットがルータを経由して経路づけされる時に、データ部分は変化しないが、ヘッダ中の TTL(Time To Live) フィールドおよび CheckSum フィールドは変化する。本稿では、このようにヘッダの部分に何らかの変化が起こるか、あるいは経路づけが行なわれるネットワークのノードを分界点と定義する (図 1)。

分界点が層によって異なることを考慮して、ある n 層における分界点を i_n と表記し、分界点 i_n を要素と

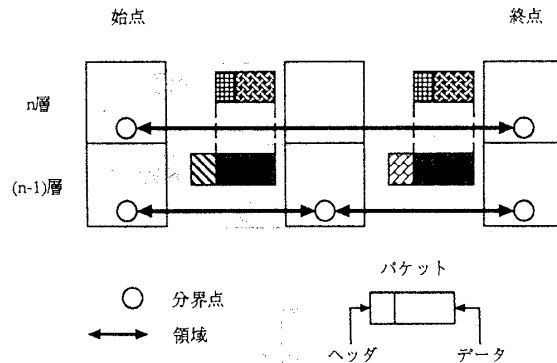


図 1: 分界点と領域

A Network fault detection method and an N-layer state model

Takeshi Kugimoto, Atsuko Oka and Masaki Itoh
NTT Software Laboratories

する集合を I_n とする。なお、分界点に関する構成情報は既知であるとする。また、分界点と分界点に挟まれたグラフを領域とし、ある n 層における領域を l_n と表記する(図 1)。領域 l_n において x で識別されるバケットを $p(x, l_n)$ とし、 n 層の領域 l_n において両端を表す分界点の組を $a(l_n)$ とする。

2.2 n 層接続性の定義

n 層接続性は、前節に示した情報の表記を用いて次式で表すことができる。

$$\begin{aligned}
 S(n, a(l_{n+1})) &= \forall x \forall l_n R_1(d(p(x, l_n), n)) \\
 &\quad \wedge \forall x \forall l_n R_2(h(p(x, l_n), n)) \\
 &\quad \wedge \forall x \forall l_{n-1} R_3(h(p(x, c(l_{n-1})), n), \\
 &\quad \quad \quad h(p(x, l_{n-1}), n-1)) \\
 &\quad \wedge \exists I_n R_4(I_n) \\
 &\quad \wedge \forall l_n S(n-1, a(l_n)) \quad (1)
 \end{aligned}$$

式(1)の詳細は以下の通りである。

$S()$ は、通信路の状態を表す述語である。 $R_1()$ は、通信路上の全ての位置にわたってデータが破壊されていないことを表す述語である。また、 $R_2()$ は、ある位置においてバケットヘッダが正常であることを示す述語である。ここでは、チェックサムが正常であることや未定義のプロトコル番号でないことなどを判定する。 $R_3()$ は、ある位置において層の間の整合性が正常であることを示す述語である。 n 層におけるデータの長さと $(n-1)$ 層における全体の長さが一致していることなどをここで判定する。 $R_4()$ は、ルーティングテーブルをたどっていった時に、始点から終点にいたる経路が存在することを示す述語である。

また、関数 $d()$ はバケットからデータ部分を取り出す関数であり、関数 $h()$ はバケットからヘッダ部分を取り出す関数である。 $c()$ は $(n-1)$ 層における位置を n 層における位置に変換する関数とする。

3 管理エージェントによる分散管理

前節で述べたように、 n 層接続性の定義で必要となる情報は、始点・終点アドレス、およびその間をなされるバケット、また、始点と終点の間の構成情報である。それらのうちのバケットは、通信路上の各々の位置で収集できなければならないため、バケット収集用の機構を配置しておく必要がある。この収集用機構を管理エージェントと呼ぶ。管理エージェントは、各ネットワークインターフェイス間を結ぶ伝送路上に一つずつ配置される。

障害の検出は、この管理エージェントが収集したバケットを処理することやユーザの申告により行なわれる。バケットの処理については、(1) 各々の管理エージェントの取得したバケットを専用の計算機で一括して処理する集中型の処理方式、(2) 管理エージェント単体、あるいはいくつかの管理エージェントをひとつのシステムとし、これらの協調による分散型の処理方式の二つが考えられる。前者では、(1) ネットワーク規模の増大により処理システムの負荷が増大する、(2) 通信コストの増大、(3) 処理専用の計算機と管理エージェント間の通信が途絶すると管理が行えなくなるなどの問題点が考えられるため、後者を採用する。以下、このような枠組の中で管理エージェントに必要な機能を考える。

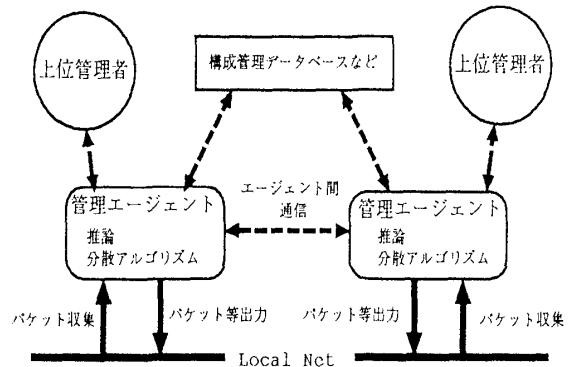


図 2: 管理エージェントの機能

n 層接続性で定義される障害の中には、(1) 層間の不整合のような局所的なバケット監視だけで検出可能なもの、(2) 経路上でのデータの変化のような経路全体を監視して検出可能になるものの二つがある。前者については、各管理エージェントにバケットヘッダの内容を比較するような検出アルゴリズムを内蔵させるだけでよいが、後者については、エージェントが協調する必要があるため、分散アルゴリズムを含む検出アルゴリズムが必要となる。また、障害位置を特定するために試験バケットの出力が必要となる場合がある。

管理エージェントに必要な機能を図 2 に示した。

4 まとめ

本稿では、障害管理要求の実現可能性を明確化するための第一段階として、バケットの流れに着目した障害検出法について考察した。二点間の通信路の n 層の状態のうち接続性条件を定義し、さらに、接続性条件の定義にもとづいた障害管理の枠組を示した。

今後は、本稿で提案した n 層状態モデルの接続性条件については、時間の概念を導入するなどにより詳細化を進め、今回未検討の通信路のパフォーマンス条件およびハンドシェイク条件について検討し、実験等を通じて n 層状態モデルの妥当性の検証を進める。また、IP 層以上についても同様のアプローチでの定義を目指す。

参考文献

- [1] 西田竹志著: TCP/IP, ソフトリサーチセンター刊(1989).
- [2] M.T.Rose 著, 西田竹志訳: TCP/IP ネットワーク管理入門, トッパン(1992).
- [3] T.Sugawara: A Cooperative LAN Diagnostic and Observation Expert System, Proc. of IEEE International Phoenix Conference on Computers and Communication, pp.667-674 (1990).
- [4] D. Bertsekas, R. Gallager, 八星礼剛: データネットワーク, オーム社, 1990.
- [5] Douglas Comer 著, 村井純訳: TCP/IP によるネットワーク構築, bit 別冊, 共立出版(1991).