

# SIP サービスにおけるシグナリングメッセージロス区間特定方式の提案

臼井 健 久保 健 北辻 佳憲 長谷川 輝之 横田 英俊

株式会社 KDDI 研究所 〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原 2 丁目 1 番 15 号

E-mail: ta-usui@kddilabs.jp

**あらまし** 近年、SIP を利用したサービスが増加している。通信キャリアでは、SIP に基づいた通信制御や課金情報収集を行うことから、その基盤である SIP サーバの安定運用実現が重要な課題であり、様々な障害に対応可能な高度な運用監視技術が求められている。一般的に、SIP サーバ障害の多くは SIP メッセージロスを伴うことが予想される。SIP メッセージの中継経路の中から SIP メッセージロスが発生した区間が特定できれば、その後の迅速な運用対処が可能となる。そこで本稿では、SIP サーバに実装された MIB 情報から、SIP メッセージロスが発生した区間を特定する手法を提案する。また、数理モデル、シミュレーションにより、実運用に適した性能で SIP メッセージロスを検知できることを検証する。

**キーワード** SIP サーバ、シグナリングメッセージ、ネットワーク運用

## On locating lossy segments for signaling message in SIP service

Takeshi Usui Takeshi Kubo Yoshinori Kitatsuji Teruyuki Hasegawa and Hidetoshi Yokota

KDDI Laboratories Inc. 2-1-15 Ohara Fujimino-Shi Saitama, 356-8502 Japan

E-mail: ta-usui@kddilabs.jp

**Abstract** Recently, the number of SIP-based communication by Service Providers has been increasing. SIP allows Service Providers to gather the information for traffic control and charging from SIP. So, the stability of SIP servers is critical for Service Providers. Therefore, more sophisticated operational techniques for various network faults related to SIP servers are required to maintain this stability of SIP servers. Generally, the SIP service failures involve the loss of SIP messages. If we can specify the segments where SIP messages are lost in the relay route of the SIP messages, we can take actions quickly for these events. In this paper, we propose a method obtaining the information from the MIB implemented in SIP server and specifying the segments where SIP messages are lost. Through the mathematical model and the simulation experiments, we show that the proposed method can detect the loss of SIP messages with sufficiently small rate of overlook and specify the segment of the loss.

**Keyword** SIP server, Signaling message, Network operation

### 1. はじめに

近年、通信キャリアの電話サービスは IP ネットワーク上で提供されるようになり、呼制御プロトコルとして SIP (Session Initiation Protocol) [1] が利用されている。SIP によるサービス提供では、まず SIP シグナリングメッセージ (以後、「SIP メッセージ」とする) がユーザと SIP サーバの間で交換され、その後メディアトラフィックの転送が開始される。したがって、サービス提供に影響する障害は、SIP メッセージ交換とメディアトラフィック転送の不具合に大別することができる。ユーザが通話を開始するときや提供中の通話状態を変更する (デバイス間ハンドオーバー [1] や SIP サーバ間のセッションハンドオーバー [2] の) ときは、正常な SIP メッセージの交換が重要になる。SIP は再送機構を備えているため、上述のようなサービス制御を完遂できることが多い。しかし、SIP メッセージが失われると、サービス開始の遅滞あるいは通話中のメディアトラフィックの停滞が引き起こされる恐れがある。そこで、本稿では SIP メッセージロスの監視手法を検討する。SIP シグナリングでは、基本的にユーザ端末間でリクエスト/レスポンス型のメッセージ交換が行われ、SIP サーバは必要に応じてサービスに関する情報を更新して SIP メッセージを中継する。SIP メッセージの中継経路のどこで SIP メッセージが失われたかを特定できれば、その後の迅速な運用対処 (トラブルシューティング) が可能と考えられる。

最も直接的な監視方法として、全ての SIP サーバ間で交換される全 SIP メッセージを取得・照合する方法が考えられる。しかし、多数のユーザを収容する SIP サービスでは、監視する SIP メッセージ数が膨大になる。その結果、SIP メッセージロスの発生区間特定に、多くの時間と計算リソースを要する可能性がある。

そこで筆者らは、SIP サーバ向けに標準化されている MIB (Management Information Base) [3] で参照できる程度の情報から SIP メッセージロスが発生した区間を特定する方法を提案する。提案手法では、SIP メッセージのロスとそれによって引き起こされる特定の SIP メッセージの再送 (再受信) との関係性を照合することにより、その再送の原因となるメッセージロスの発生区間 (SIP サーバ間、SIP サーバとユーザ端末の間) を限定できる点に注目する。具体的には、MIB で定義されている SIP メッセージの再受信カウントを利用して区間を特定する。

ロス区間の特定レベルとしては、個々の物理回線・中継装置のレベルから、ネットワークポロジリーレベル、SIP サーバ・ユーザ端末間のレベルまで、いくつかの段階が考えられるが、本稿では、区間特定の容易性・迅速性ならびに初期警報としての有用性を考慮し、SIP メッセージの処理ノードである SIP サーバおよびユーザ端末の各ノード間のレベルで区間を定義する。なお、ノード内で失われるメッセージはこの区

間に含まれるものとする。また、提案手法の効果を平易に示すことを主眼として、SIPサービスが1台あるいは2台のSIPサーバで実施される構成(3章に詳細を述べる)に限定して、提案手法を説明する。

以下2章では、SIPメッセージのロス区間を特定する際の問題点を明確にし、3章でSIPシグナリングシーケンスの分析を行い、4章でメッセージロス区間特定手法を提案する。5章では提案手法の数理モデルについて述べ、6章でシミュレーション実験から提案手法を評価する。最後に、7章で今後の課題を述べ、本稿をまとめる。

## 2. SIPシグナリング監視手法の課題

一般的にネットワークの障害監視ではユーザの申告よりも前に障害を発見し、SIPメッセージが失われた箇所を特定することが求められる。その方法の一つとして、定期的にサービスの正常性を検証する手法が考えられる。SIPシグナリング監視に当てはめると、SIPメッセージのロスやサーバの動作異常の検知・箇所特定がこの正常性検証に位置づけられ、これを短い時間間隔(数分程度)で実施できることが望ましい。

本稿では、想定するSIPシステムは、多数のユーザにVoIPサービスを提供する通信キャリアの環境を想定する。ユーザは分散してSIPサーバに収容(登録)される。任意のユーザペアがVoIPサービスを利用するため、SIPメッセージは全てのサーバペアの間で交換される。監視システムは各SIPサーバから交換されるSIPメッセージに関する情報を収集し、SIPメッセージが失われた箇所を特定する。図1にシステムの概要図を示す。破線は中央サーバにおける、各SIPサーバからの情報取得を示し、実線はSIPメッセージの交換を示している。

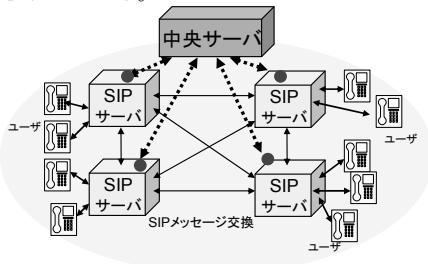


図1 監視システム概要

既存の監視システムには、SIPメッセージを全てキャプチャしてSIPメッセージが失われている箇所を特定するものがある[5]。SIPメッセージが失われたロス区間を特定するためには、SIPメッセージのロスに伴い再送される複数のSIPメッセージのグループを再構築する必要がある(詳しくは次章で述べる)。具体的には、複数のSIPサーバから取得したキャプチャデータの中から、特定のシーケンスに関連するSIPメッセージのみを全て抽出し、時系列に並べ、サーバまたはユーザ端末に届かないメッセージを検出する必要がある。このような処理を、多数のユーザを収容する大規模ネットワークで行うと、キャプチャデータが膨大になるため、短い時間間隔(数分)で障害検知・箇所特定を実施することが困難になると考えられる。

次章では、SIPシグナリングのシーケンスとメッセージのグループについて述べ、メッセージが失われた時の再送の特徴を説明する。

## 3. SIPシグナリングシーケンスの分析

SIPでは、まずユーザ端末はSIPサーバに登録を行う。通話を開始する時は、(発呼側)ユーザ端末からその登録サーバへ通話(セッション)開始要求を送信する。そのユーザ端末を収容するSIPサーバは着呼先のユーザ端末が登録される着呼側SIPサーバへセッション開始要求を中継し、着呼側SIPサーバはユーザ端末へセッション開始要求を中継する。着呼ユーザ端末の応答メッセージは、セッション開始要求の転送経路と逆向きに中継される。SIPでは、このような要求メッセージを「リクエスト」、応答メッセージを「レスポンス」と呼ぶ。以後、セッション開始要求/応答と同様に、リクエスト/レスポンス型のSIPメッセージが何度か交換され、通話が開始される。発呼ユーザ端末および着呼ユーザ端末が同一のSIPサーバに登録される場合には、一台のSIPサーバでSIPメッセージが中継される。

SIPのトランスポートプロトコルとしては、UDP、TCP、SCTPが規定されているが[3]、多くのVoIPサービスではUDPが用いられているため、本稿でもUDPを想定する。UDPが用いられる場合、SIPメッセージの到達性を保証するために、SIPプロトコルレベルの再送機能が提供される。ユーザおよびSIPサーバは、あるメッセージを送信した後に、受信を期待するメッセージを一定時間受信しない場合に、メッセージが再送される。SIPに関する障害の多くは、SIPメッセージロスを伴うため、再送を引き起こす。そこで、以下では、SIPメッセージの再送に関するシグナリングを分析する。

SIPのリクエストメッセージには、いくつかのメソッド(リクエストの種類)がある。さらにレスポンスメッセージはいくつかのレスポンスコードがある。再送を伴うリクエストおよびレスポンスの組み合わせは、メソッドやレスポンスコードによって異なる。本稿では、標準的なSIPシグナリングシーケンス[1]として図2に示すシーケンス(2台のSIPサーバの場合)を前提に再送を考える。図2では、INVITEあるいは100 Tryingが失われるとINVITEに戻って再送が行われる。図2のシーケンスの中で、同様に再送に戻る二つのSIPメッセージの組み合わせと、再送が開始されるメッセージを、表1にまとめる。以下では、同一の再送メッセージに戻るSIPメッセージの組み合わせをSIPメッセージグループと定義する。さらに、二つのメッセージのうち最初(一つめ)のメッセージをインシヤルメッセージ、終わり(二つめ)のメッセージをセカンドメッセージとする。

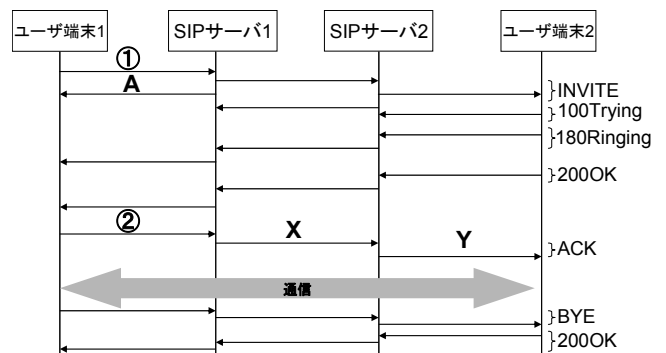


図2 SIPシグナリングシーケンス

表 1 同じ再送メッセージに戻るメッセージの組み合わせ

同じ再送メッセージに戻るメッセージペア	再送に戻るメッセージ
INVITE/100 Trying	INVITE
180Ringing	再送なし
200 OK/ACK	200 OK
BYE/200 OK	BYE

メッセージグループを単位として再送(再受信)の有無を監視すれば、ロス区間を絞り込めると考えられる。例えば、ユーザ端末 1 と SIP サーバ 1 の間の INVITE/100 Trying メッセージグループに注目すると、SIP サーバ 1 が INVITE を受信すれば 100 Trying メッセージをユーザ端末へ応答する。もし SIP サーバ 1 が INVITE を再度受信すれば、SIP サーバが送信した 100 Trying メッセージが失われてユーザ端末 1 へ到達しなかったことになる。同様に、SIP サーバ 1 と SIP サーバ 2 の間であっても、SIP サーバ 2 が再度 INVITE を受信すれば、SIP サーバ 1 と SIP サーバ 2 の間で 100 Trying が失われたことを意味する。このように、SIP サーバがメッセージの再送とメッセージグループを関連づけることができれば、再送メッセージの受信からメッセージが失われた区間を特定できる。

上述のためには、SIP サーバはメソッドおよびレスポンスコード毎の再受信数を、ノードを区別して計数できることが求められるが、SIP の MIB[4]がこれを可能とする。MIB では、再送メッセージの受信から、再受信メッセージの再送元ノードと、再受信メッセージの次の送信メッセージの転送先ノードを区別して計数することが規定されている。たとえば、図 2 の SIP サーバ 1 が ACK メソッドを再受信すると、ユーザ端末 1(送信元)と SIP サーバ 2(次のメッセージ転送先)のカウンタがそれぞれ増加する。SIP サーバ 1 が INVITE を受信すると、ユーザ端末 1 の送信元カウンタと次のメッセージ転送先カウンタがそれぞれ増加する。本稿では、ユーザを個別に区別すると多数のユーザ端末を収容する状況に対応できないため、ユーザ端末のカウンタを一つに集約する(同様に集約再送カウンタが規定されている)。次章では、このメッセージ再受信の有無をもとに SIP メッセージが失われた箇所を特定する手法を述べる。

#### 4. 提案方式

本手法では、SIP システムをグラフに例え、SIP メッセージロスが発生しているエッジを特定する。ユーザ端末と SIP サーバをノード、SIP メッセージが中継される経路をエッジとみなす。ただし、ひとつの SIP サーバに登録される複数のユーザ端末はひとつのノードとみなす。図 2 をグラフ化したものを図 3 に示す。図 3 では、ノード S1 から S4 を SIP サーバとし、ノード U1 から U4 をユーザ端末群とする。提案手法は、次に示す手順で、全ての SIP サーバペア間で交換される SIP メッセージが通過する SIP メッセージ中継路に対して 3 区間のロス区間の有無を判定する。そのため、グラフ上の任意のエッジにおける SIP メッセージロスの発生を特定できる。

1. 全ての SIP サーバからメッセージ再受信数を収集する。
2. 1 台の SIP サーバの再受信数の情報から、その SIP サーバが中継する各 SIP メッセージの中継経路に着目し、表 2 のメッセージグループの分類を行い、表 3 に示すルー

ルに従って障害の有無を判定する。これを全ての SIP サーバについて行う。

3. 手順 2 の 2 つの SIP サーバの判定結果から、この 2 つの SIP サーバを通る SIP メッセージ中継経路について、3 区間を分けてロス区間を判定する。これを全ての SIP サーバペアについて行い、グラフ上の全てのエッジについてロス区間を判定する。

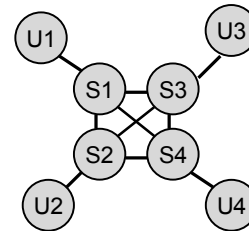


図 3 SIP サーバ・ユーザ端末群の接続関係グラフ

表 2, 3 は、手順 2 で用いるメッセージグループのタイプの定義と、SIP メッセージ再受信とロス区間が判定される区間の対応を示している。

表 2 SIP メッセージグループのタイプ

タイプ	再送の有無	再送に関係するノード
MSG1	あり	Hop-by-hop
MSG2	あり	End-to-end
MSG3	なし	-

表 2 は、メッセージグループを 2 つの特徴: メッセージ再送の有無、および再送に関係するノード構成の違い、から区別している。再送に関係するノード構成とは、再送が 1 ホップ毎に起きる(たとえば、INVITE/100 Trying メッセージグループ)か、ユーザ端末間で再送が起きる(たとえば、200 OK/ACK メッセージグループ)かの違いを指す。

表 3 は、SIP サーバがメッセージグループを構成するイニシャルまたはセカンドメッセージを再受信したときに、SIP メッセージロス発生の可能性のある区間(エッジ)を説明したものである。メッセージロスが含まれる可能性のある区間は、再送メッセージを受信する SIP サーバを中心に二つの区間: 再送メッセージ受信側区間(図 2 で SIP サーバ 1 が INVITE を受信する場合のユーザ端末 1 と SIP サーバ 1 の間の区間)と逆区間(SIP サーバ 1 からユーザ端末 2 の区間)の二つに区別する。なお MSG3 は再送が起きないため、ルールに含んでいない。

ルール R1 は、たとえば INVITE/100 Trying メッセージグループの INVITE を再度受信すること(図 2 の ①)を指し、SIP サーバが応答したはずの 100 Trying(図 2 の A)がユーザ端末 1 に到達していないことに該当する。R1 は、SIP サーバ 1, 2 間および SIP サーバ 2 とユーザ端末 2 の間についても当てはまる。R2 は R1 と同じメッセージグループだが、シグナリングが完結しているにもかかわらず 100 Trying を再度受信するため、SIP サーバに異常動作が起きている可能性が高い(本稿では監視対象の障害に含まない)。R3 は、たとえば BYE/200 OK メッセージグループの BYE を再度受信することを指し、SIP サーバが中継したイニシャルメッセージか後続のセカンドメッセージのどちらかが失われたことを示唆している。受信側または逆区間側のどちらの区間で SIP メッセージが失われた場合にも適合してしまうため、R3 は SIP メッセ

ージが失われた区間を区別できない。R4 は SIP サーバが送信したはずのセカンドメッセージが失われたことを示唆している。このルールは、図 2 の 200OK/ACK メッセージグループでメッセージ X または Y が失われ、メッセージ②を再受信するときの判定に該当する。

なお、MSG2 に分類される図 2 の BYE/200 OK メッセージグループは 200 OK メッセージがセカンドメッセージとなり、R4 に適用できる可能性がある。しかし、同じ 200 OK メッセージが他のメッセージグループ (200 OK/ACK) のイニシャルメッセージとして、R3 (区間区別不可能) に該当するため SIP メッセージが失われた区間を区別できない。この例外は、MSG1 メッセージグループにも当てはまり、R1 のイニシャルメッセージが R3 のイニシャルメッセージと一致するなら区間区別が不可能である。

以上より、ルール R1, R4 によって、サーバを中心とする 2 つの区間 (再送メッセージ受信側か逆区間側) を区別してロス区間を判定可能である。

表 3 メッセージグループと SIP メッセージロス区間判定の関係

ルール	MSG タイプ	再受信メッセージの 区別	メッセージロスが生じていた可能性 がある区間 (エッジ)
R1	MSG1	イニシャルメッセージ	再受信メッセージ受信側区間
R2		セカンドメッセージ	対象外
R3	MSG2	イニシャルメッセージ	区間区別不可能
R4		セカンドメッセージ	再受信メッセージの受信と逆区間

手順 3 は、2 台の SIP サーバで構成される SIP メッセージ中継経路 (U をユーザ端末、S を SIP サーバとして、U1-S1-S2-U2 と表す) を用いて、3 つの区間 (U1-S1, S1-S2, S2-U2) を分けてメッセージロス発生の有無を判定する。メッセージブロックと R1~R4 の組み合わせで多様なロス区間判定が考えられるが、本稿では簡単のため、次の二つを判定に用いることにする。

- ① SIP サーバ S1 または S2 が R1 によって、U1-S1 区間または U2-S2 区間のメッセージのロス発生について判定をする。
- ② S1 が R4 によって S1-U2 区間にメッセージが失われたと判定し、かつ S2 が R4 によって S2-U1 区間にメッセージが失われたと判定するときは、S1-S2 区間に障害があると判定する。

本章ではこの二つの判定について、数理モデルを用いてロス区間の検出性能を評価する。

## 5. システム評価のための数理モデル

### 5.1. 評価指標の検討

提案手法では、中央の監視サーバはある一定時間ごとに (以下この期間をインターバルと呼ぶ) SIP メッセージロス区間特定を行う。1 インターバル内に、ある特定の SIP サーバにおいて SIP メッセージの再受信が 1 回以上発生していたとき、その SIP サーバが関連する区間のいずれかで SIP メッセージのロス発生を特定できる。逆にいえば、実際にはある区間でパケットロスなど何らかの障害が起こっていたとしても (以下このような区間をロス区間と呼ぶ)、インターバル内に SIP メッセージの再受信が計数されなければ、SIP メッセージロスを検知することができない。障害があるにも関わらず、

インターバル内で SIP メッセージの再受信を計数できない事例として、以下の a)、b)がある。

- a) そもそもその区間を通る SIP シグナリング (発呼) が発生しなかった。
- b) SIP メッセージのやり取りは発生したがメッセージロスが発生しなかった。

理想的には、システム上に存在するロス区間はあらゆるインターバルで特定されるべきである。しかし実際には、上述の a)、b)のためにロス区間を特定できないインターバルが発生する可能性がある。そこで、本稿では、あるひとつのロス区間に対して 1 インターバルで障害を検出できない確率 (これを見落とし率と呼ぶ) を提案手法の評価指標として用いる。

本稿では、システム評価を実施するため、まずユーザ端末側 (U1-S1, S2-U2) の区間は、S1 および S2 から取得した U1, U2 再送送信元カウンタの増加に対してルール R1 を適用して障害の有無を判定する。さらに SIP サーバ間の障害判定については、S1 と S2 から取得した情報に対して R4 を適用し、両者ともに区間 S1-S2 を含む区間に障害があると判定される場合に、SIP サーバ間で SIP メッセージが失われたと判定する判定ルールを採用する。具体的には、S1 がユーザ端末側から ACK メッセージを再受信すれば、R4 によって区間 S1-U2 に障害があると判定され、S2 もユーザ端末側から ACK メッセージを再受信すれば、同様に区間 S2-U1 に障害があると判定される。なお、2 ノード (U-S-U) の構成でユーザ端末間の障害の判定には、上述と同様に R1 の判定を適用する。

### 5.2. システム評価モデル

障害の見落としの発生は (つまり見落とし率が 0 より大きくなるのは)、上述の a) または b) に起因する。ここで、ユーザ端末からの発呼の頻度および、中央監視サーバのインターバルの長さ ( $I$  とする) が a) の事例発生に影響を与えられられる。また、b) の事例発生に影響を与える、それぞれの区間でメッセージがロスする確率 (メッセージロス率  $p$  とする) は、SIP メッセージ中継経路上のパケットロス率に関係すると考えられる。本稿では、メッセージロス率とパケットロス率は等しいとする。そこで、ある 1 つの SIP サーバに登録しているユーザ端末群全体からの単位時間当たりの平均発呼数  $\lambda$ 、インターバル  $I$  およびメッセージロス率  $p$  と見落とし率の関係を導出する。なお、本稿では、ユーザ端末群全体からの発呼はポアソン分布に従うものとし、障害は 1 インターバル内に同時に一区間でしか発生しないと仮定する。

本稿では、図 3 のように複数の SIP サーバによって構成されたシステムにおいて、あるユーザ端末側をロス区間であると仮定し、INVITE/100Trying のメッセージグループを利用してそのロス区間を特定する場合について検討する。

INVITE/100Trying のメッセージグループを利用して、あるユーザ端末と SIP サーバの区間がロス区間であることを特定するためには、その SIP サーバがユーザ端末側からの発呼に関連した INVITE を再受信すればよい。つまり、例えばロス区間が区間 U1-S1 だとしたとき、SIP メッセージ中継経路の違い (例えば、U1-S1-S2-U2, U1-S1-U1 や U1-S1-S3-U3 等の違い) によらず、区間 U1-S1 を再送された INVITE が通過するかどうかだけに依存して特定の可否が決まる。したがって、ある 1 種類の SIP メッセージ中継経路のみしか発生しないと仮定しても、一般性を失わないと考

えられる。そのため以降では、U1-S1-S2-U2 の SIP メッセージ中継経路のみが発生するものと仮定して検討する。

区間 U1-S1 に SIP メッセージロスがあると判定するためには、SIP サーバ S1 がインターバル  $I$  の期間内にユーザ U1 からの発呼に関連した SIP メッセージ (INVITE) 再受信を計数しなければならない。ここで、ユーザ U1 からの発呼が平均発呼数  $\lambda$  のポアソン分布に従うことから、ある SIP サーバがインターバル  $I$  の期間内にちょうど  $k$  回の SIP シグナリングシーケンスを中継する確率  $P_k(I, \lambda)$  は次式で表わされる。

$$P_k(I, \lambda) = \frac{(\lambda I)^k}{k!} e^{-\lambda I} \quad (式 1)$$

一方、やり取りされた  $k$  回の SIP シグナリングシーケンスの中で、判定に利用可能なメッセージグループである INVITE/100Trying がメッセージのロスが発生しない (つまり再送が発生しない) 確率  $X_k(p)$  は次のとおりである。

$$X_k(p) = (1-p)^k \quad (式 2)$$

SIP シグナリングシーケンスの発生事象と、あるシグナリングシーケンス中に SIP メッセージロスが発生する事象とは独立であるため、 $k$  回の SIP シグナリングシーケンスのうち、一つの SIP メッセージロスも発生しない確率  $Y_k(I, \lambda, p)$  は以下のようになる。

$$Y_k(I, \lambda, p) = (1-p)^k \frac{(\lambda I)^k}{k!} e^{-\lambda I} \quad (式 3)$$

したがって、インターバル  $I$  の期間内にまったく SIP メッセージロスが発生しない確率、すなわち見落とし率  $M_{us}(I, \lambda, p)$  は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} M_{us}(I, \lambda, p) &= \sum_{k=0}^{\infty} Y_k(I, \lambda, p) = \sum_{k=0}^{\infty} (1-p)^k \frac{(\lambda I)^k}{k!} e^{-\lambda I} \\ &= e^{-\lambda I} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{((1-p)\lambda I)^k}{k!} = e^{-\lambda I + (1-p)\lambda I} \\ &= e^{-p\lambda I} \end{aligned} \quad (式 4)$$

次に SIP サーバ間の区間がロス区間であると仮定し、200OK/ACK のメッセージグループを用いてこのロス区間を特定する場合について検討する。

200OK/ACK のメッセージグループを利用して、ある SIP サーバ (S1 とする) ともう一方の SIP サーバ (S2 とする) の区間がロス区間であることを特定するためには、S1 が S2 から ACK を再受信し、かつ S2 が S1 から ACK を再受信すればよい。なお、SIP サーバ間の区間において、障害は双方向の SIP メッセージ中継で同様に発生するものとする。

ここで、ユーザ端末群の数を  $N$  とし ( $N$  は SIP サーバの台数とも等しい)、あるユーザ端末群全体からの発呼が別のあるユーザ端末群へ着呼する確率を  $1/N$  と仮定する。また、ユーザ U1 全体、U2 全体の平均発呼数がともに  $\lambda$  であると仮定すると、S1 から S2 へ中継される SIP シグナリングシーケンスの単位時間当たりの発生数は  $\lambda/N$  となる。

S1 がインターバル  $I$  の期間内にちょうど  $i$  回の SIP メッセージを SIP サーバ S2 へ中継する確率  $P_{1,2,i}(I, \lambda)$  は、式 1 の  $P_k(I, \lambda)$  において  $\lambda$  を  $\lambda/N$  とすることで得られる。また、S2 から S1 への SIP メッセージについてもインターバル  $I$  の期間内にちょうど  $j$  回の中継を行う確率  $P_{2,1,j}(I, \lambda)$  も同様にして得ることができる。あるインターバルで S1 から S2 へ  $i$  回、S2 から

S1 へ  $j$  回の SIP メッセージの転送が行われた時に、区間 S1-S2 の障害を検知できる確率  $Z_{i,j}(I, \lambda, p)$  は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} Z_{i,j}(I, \lambda, p) &= (1-(1-p)^i) P_{1,2,i}(I, \lambda, p) (1-(1-p)^j) P_{2,1,j}(I, \lambda, p) \\ &= (1-(1-p)^i) \frac{\left(\frac{\lambda}{N} I\right)^i}{i!} e^{-\frac{\lambda}{N} I} \cdot (1-(1-p)^j) \frac{\left(\frac{\lambda}{N} I\right)^j}{j!} e^{-\frac{\lambda}{N} I} \end{aligned} \quad (式 5)$$

ここで、SIP サーバ間の区間における見落とし率  $M_{ss}(I, \lambda, p)$  は次のようになる。

$$\begin{aligned} M_{ss}(I, \lambda, p) &= 1 - \sum_i \sum_j Z_{i,j}(I, \lambda, p) \\ &= 1 - \left\{ \sum_i \left[ \frac{\left(\frac{\lambda}{N} I\right)^i}{i!} e^{-\frac{\lambda}{N} I} - \frac{\left((1-p)\frac{\lambda}{N} I\right)^i}{i!} e^{-\frac{\lambda}{N} I} \right]^2 \right\} \\ &= 1 - e^{-2\frac{\lambda}{N} I \left( e^{\frac{\lambda}{N} I} - e^{(1-p)\frac{\lambda}{N} I} \right)^2} \\ &= 1 - \left( e^{\frac{\lambda}{N} I} - e^{(1-p)\frac{\lambda}{N} I} \right)^2 \\ &= 1 - \left( 1 - e^{-p\frac{\lambda}{N} I} \right)^2 \end{aligned} \quad (式 6)$$

以上より、ユーザ端末群と SIP サーバ間の区間および SIP サーバ間の区間について、それぞれの区間がロス区間となった場合の見落とし率  $M_{us}(I, \lambda, p)$  および  $M_{ss}(I, \lambda, p)$  を式 4 および式 6 により求めることができる。

## 6. シミュレーションによる評価

### 6.1. シミュレーション構成

提案手法の見落とし率を評価するため、シミュレーションを実施した。シミュレーションでは、5 台の SIP サーバ (S1, S2, ..., S5) と、S1 から S5 を利用する 5 つのユーザ端末群 (U1, U2, ..., U5) の環境におけるユーザ端末群同士の SIP メッセージの交換を模擬した。あるユーザ端末群からの単位時間あたりの平均発呼数を  $\lambda$  とし、前章と同じく着呼先のユーザ端末群がそれぞれ 5 分の 1 ずつの確率で選ばれるものとする ( $N=5$ )。各ユーザ端末群全体からの発呼の間隔は、ポアソン分布に従うものとする。また、シミュレーションでは、シーケンスは図 2 に従うものとする。

さらに、区間 U1-S1 で一定割合のメッセージロスが発生する条件とした。シミュレーションでは、メッセージロス率  $p$  ( $=0.001, 0.05, 0.01$ ) を変化させ、中央監視サーバが SIP メッセージ再受信数を受信するインターバル  $I$  に対する区間 U1-S1 の見落とし率の性能を評価した。見落とし率の算出は、1 万インターバル中から障害判定を誤った割合とした。

シミュレーションでは、シーケンスは図 2 に従うものとする。また、見落とし率の統計的検定を実施するため、見落とし率が 5% 以下になるインターバルがどの程度の値になるか評価

する。また、メッセージロス  $p$  の値は 0.001, 0.005, 0.01 と低い値で変化させる。シミュレーションにおける SIP メッセージロス区間判定であるが、各インターバルで 1 万回実行し、その間どれほどの区間  $U1-S1$  の SIP メッセージロスを特定できたか検証する。

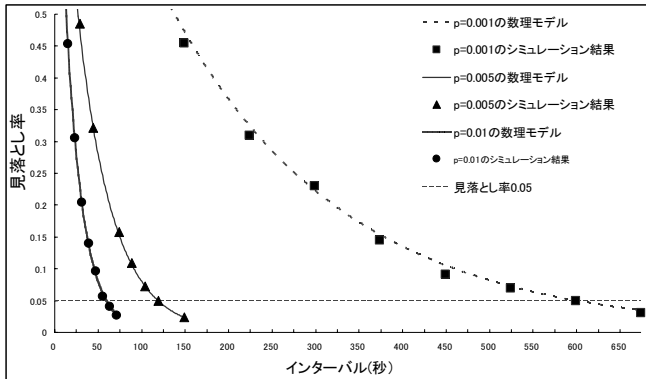


図 4 メッセージロス率  $p$  インターバル  $I$  と見落とし率との関係

図 4 に、シミュレーション実験の結果と、5 章で導出した見落とし率を示す。縦軸は見落とし率を示し、最上位の値を 0.5 としている。横軸はインターバル(単位は秒)を示している。

図 4 から、式 4 と実験結果は小さい誤差で一致していることがわかる。各メッセージロス率でインターバル  $I$  を大きくすると見落とし率を下げるができる。同じインターバルであってもメッセージロス率が小さくなると、見落とし率が大きくなっている。本実験では、見落としはインターバル中に  $R1$  に該当するメッセージ再受信が一度も起きなかったことに当たる。メッセージロス率が大きく(小さく)なれば、メッセージ再受信が起き易く(難しく)なるため、このような結果となっている。

実環境への適用を考え、見落とし率 5% を達成すること(図 4 の破線より下)を目標性能としてインターバルに求められる長さを比較すると、メッセージロス率が小さくなるほど、インターバルを大きくすることが求められる。たとえば、メッセージロス率 0.5% のときは 120 秒のインターバルがあれば目標性能を達成できるが、メッセージロス率が 0.1% のときは 600 秒のインターバルが必要となる。

## 6.2. 考察

本節では、ある見落とし率を達成するインターバルについて考察する。

テレコムデータブック[6]によれば、年間を通した 1 加入(契約)者の平均発信回数は約 1.5(回/日)となっている。3000 万規模のユーザを収容する大規模な SIP システムを考えると、ユーザ全体の平均発呼到着率は約 500 発呼/秒に換算される。また、市販される SIP サーバ製品では最大 80 万ユーザを収容可能な製品があり、平均利用率を 40% 程度に留めると仮定すると、3000 万ユーザは約 100 台のサーバに収容されることになる。よって、SIP サーバ一台当たりの平均発呼到着率は約 5 発呼/秒となる。一方、通信キャリアでは、 $10^{-6}$  以下のビットエラー発生率の運用が求められている。SIP メッセージの平均パケット長を 400 バイトと仮定すると、SIP メッセージロスは 0.32% に換算される。

このメッセージロス率で見落とし率 5% を達成するためには、インターバルは 120~600 秒の間の値になると予想される。

つまり、本方式を用いると、メッセージロスを引き起す障害の約 95% は数分で検出できることを意味する。多くのネットワーク・サービス運用監視では約 5 分を基準とする監視情報の収集が行われていることを鑑みると、同様の時間に高い確率で障害を検出できる本手法は、SIP メッセージロス区間特定に有効である。

本評価ではユーザ端末群—SIP サーバ間の SIP メッセージロスの特定に焦点をあてた。SIP サーバ間の SIP メッセージロスの見落とし率は式 6 から、ユーザ端末群—SIP サーバ間のそれよりも高くなるのが数理モデルよりわかっている。今後、複数のメッセージグループ、あるいは他の容易に取得可能な情報を用いる方法を検討する。

## 7. まとめ

本稿では、ユーザ端末、SIP サーバ間で交換される SIP メッセージの再送に着目し、SIP メッセージが失われる区間を特定する方式を提案した。提案方式は、MIB を利用しメッセージの再受信のみを用いるため、多数の SIP サーバが配置されたネットワークであっても、監視情報を少なく抑えることができる。また、数理モデルとシミュレーション実験により、提案手法が、0.1% 程度のパケットロスであっても、10 分程度の時間で、発生する SIP メッセージロスを高い確率で検出できることを確認、提案方式の有効性を示した。

本稿では、ロス区間を特定するため一つのメッセージグループのみを用いてロス区間を特定するという前提で性能(見落とし率)を評価したが、他のメッセージグループをロス区間特定に用いることで、さらに性能を改善できると考えられる。

今後は、実システムとして提案手法を実装し、ロス区間特定の計算時間などについて性能を評価していく。また、提案手法を、2 台以上の SIP サーバで中継する IP Multimedia Subsystem [7] の呼制御サーバ(Call Session Control Function)の監視に応用する。

## 文 献

- [1] S. Salsano and S. Niccolini, draft-salsano-sipping-siphandover-solution-02.txt IETF, May 2008
- [2] T. Chiba and H. Yokota et al, "Trombone Routing Mitigation Techniques for IMS/MMD Networks" WCNC2007
- [3] M. Handley and H. Schulzrinne, "SIP: Session Initial Control Protocol," RFC 3261, IETF, June 2002.
- [4] K. Lingle et al, "Management Information Base for the Session Initiation Protocol," RFC4780, IETF, April 2007
- [5] 小林、他, "IP 電話サービスの品質を維持する VoIP ネットワーク監視ソリューション", 三菱電機技報 2006 年 4 月
- [6] テレコムデータブック 2008 電気通信事業者協会
- [7] IP Multimedia Subsystem (IMS) <http://www.3gpp.org>