社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Reports

2006－ＱＡＩ－21（８）
2006／10／24

LSAの広報パターン解析に基づくOSPF障害特定

屏 雄一郎† 大岸 智彦† 阿野 茂浩†

† 株式会社KDDI研究所 〒356–8502 埼玉県ふじみ野市大原2–1–15
E-mail: †{hei,ogishi,ano}@kddilabs.jp

あらまし IPネットワークの安定運用のためには，IPネットワークでの経路制御プロトコルの監視が重要である．本稿ではISPや企業内ネットワークでよく利用される経路制御プロトコルであるOSPFに着目する．OSPFではルータが自身のリンク状態をリンク状態メッセージ（LSA）としてネットワークに広報するため，LSA監視によりOSPFの障害を検知することができる．しかし障害特定を正確に行うには，障害時に広報される複数のLSAの関連性や，各ルータでの障害検知時間の違い等によりLSA観測に時間差が生じる場合を考慮する必要がある．そこで本稿では，障害発生時に広報されるLSAのパターン解析に基づくOSPF障害特定手法を提案する．
キーワード 経路制御，OSPF，LSA，障害特定

Identifying OSPF Failures Based on the Analysis of LSA Flooding

Yuichiro HEI†, Tomohiko OGISHI†, and Shigehiro ANO†

† KDDI R&D Laboratories Inc. Ohara 2–1–15, Kamifukuoka-shi, Saitama, 356-8502 Japan
E-mail: †{hei,ogishi,ano}@kddilabs.jp

Abstract It is important to monitor routing protocols for stable operation of IP networks. In this paper, we focus on OSPF, a widely deployed intra-domain routing protocol. Routers running OSPF advertise their link states on Link State Advertisements (LSAs) to the network, so the location of OSPF failures on the IP network can be detected by monitoring LSAs. However,in order to identify OSPF failures correctly, it is necessary to consider the association of multiple flooded LSAs when OSPF failures occurred and LSA delay. In this paper, we propose a method of OSPF failure identification based on LSA flooding analysis taking these aspects into account.
Key words Routing, OSPF, LSA, Failure Identification

1. まえがき

今日IPネットワークは社会に欠かせない重要なインフラとなった．音声や映像など，パケット損失や遅延に敏感なアプリケーションのトラフィックもIPネットワークで伝送されるようになったため，IPネットワークに対して高い信頼性や安定性が求められるようになった．このような要求を満たすため，ネットワーク運用管理者はIPネットワークを常時監視し，問題を発見した場合は迅速かつ適切に対応する必要がある．そのため，IPネットワーク監視により問題を正確に検知，特定するような運用管理技術がより重要となる．

IPネットワークにおける重要な監視項目として，経路制御プロトコルの監視がある．本稿では，ISPや企業内ネットワークでよく利用されるOSPF(Open Shortest Path First) [1] に着目する．OSPFでは，ルータが自身のリンク状態をリンク状態メッセージ (LSA: Link State Advertisement) としてネットワークに広報するため，LSAを監視収集すればネットワークのトポロジーを知ることができる．またOSPFルータは，障害等によりリンク状態が変更されたことを検知すると即座にLSAを広報するため，LSAの監視によりリンク障害等を検知することができる．

以上の通りOSPFのLSA監視により，ネットワーク運用管理者はIPネットワークの状態把握に有用な情報を得ることができる．しかし，LSAにはルータやネットワーク障害に関して明示された情報は含まれないので，LSAを監視するだけでは，ルータ障害やネットワーク障害を正確に特定できない場合がある．これらの障害を正確に特定するには，障害発生時のLSAの広報パターンを解析しておく必要がある．本稿では，(1) 複数LSAの関連性，(2)LSAの遅延，を考慮した解析を行う．

通常一つの障害に対して，リンクダウンを検知した複数のルータがそれぞれLSAを広報するため，障害時に広報される複数のLSAの関連性を考慮した上で障害を特定する必要がある．例えば，あるルータが突然障害となった場合を考える．この時障害ルータはLSAを広報できないが，その隣接ルータは

障害ルータへのリンクがダウンしたことを検知すると，自身のリンク状態を更新し，障害ルータへのリンク情報を除いたLSAを広報する．このようなLSAは障害ルータの全てのルータが広報するため，LSA監視点においてこれらのLSAを全て観測した場合は，複数リンク障害ではなく，一つのルータ障害が発生したと特定する必要がある．

また一つの障害に関連する複数のLSAは，監視点にほぼ同時に到着するとは限らない．各ルータでの障害検知時間がずれる場合やLSAの伝播遅延等により，一つの障害に関連する複数のLSAが，監視点ではある程度の時間差をもって観測される場合も考えられる．このようなLSAが同じ障害に関連するLSAであるかどうかを正確に判断しないと，障害を誤って特定する可能性もある．例えば前述と同様に，あるルータが突然障害となった場合を考える．このとき障害ルータの隣接ルータはLSAを広報するが，これらのLSAのうちいくつか遅れて観測されたとする．この時先に述べた複数LSAの関連性とLSAの遅延の両方を考慮しない場合，複数のリンク障害が発生したと特定する可能性がある．

そこで本稿では，障害発生時に広報されるLSAのパターン解析に基づくOSPF障害特定手法を提案する．提案手法では，LSAの広報パターンを詳細に解析した上で障害特定を行っており，複数の障害が同時に発生した場合もほぼ正確に特定することができる．また障害の種類も特定するので，障害原因特定や対処にかかる時間を削減することができる．

2. 関連研究

OSPFの監視方法については既にいくつか提案されている[2][3][4][5]．Baccelliら[2]は，SNMPトラップを利用したリンク状態追跡とLSA収集を組み合わせたOSPFの監視方法を提案している．Shaikhら[3]は，OSPFトポロジーをリアルタイム監視するために，SNMPトラップでトポロジーサーバに通知する方法と，収集ノードが監視対象ネットワークを流れるLSAを収集する方法を比較し，後者の方が信頼性や堅牢性などの点で優れていることを示している．またShaikhら[4]は文献[3]での検討をもとに，OSPFのエリア毎にLSA収集ノードとなるLSA reflector(LSAR)を設置してネットワークからLSAを収集し，収集したLSAをLSA aggregator(LSAG)に集めてリアルタイム解析を行うような，OSPF監視アーキテクチャを提案している．

しかしいずれの論文も，LSAの収集によりネットワークのトポロジーや，リンク状態の変化によるトポロジーの変更や障害が発生したことを把握できる点については述べているが，LSAの広報パターンを詳細に分析した上での障害特定については述べていない．

3. OSPF概要

大規模ネットワークでOSPFを動作させる場合，通常図1のように，ネットワークを複数のエリアに分割する．各エリアは必ずバックボーンエリア(エリア0)に接続する必要がある．リンクは一つのエリアのみに属し，異なるエリアに属するリンクを持つルータはエリア境界ルータ(ABR)と呼ばれる．例えば，図1ではルータR6とR7がABRとなる．またOSPFドメインと外部ネットワーク(OSPF以外で経路制御を行っているネットワーク)を接続するルータを，AS境界ルータ(ASBR)と呼ぶ．図1ではR5がASBRとなる．ASBRは外部ネットワークから広報されるプレフィックスをOSPFに注入する．

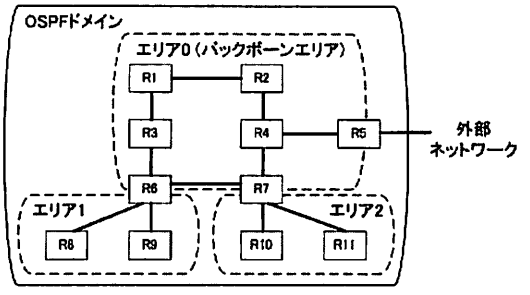

図1 OSPFネットワーク

OSPFはリンク状態プロトコルであり，OSPFルータは，自身が持つリンク状態をLSAメッセージとして広報する．LSAの種類として，ルータLSA，ネットワークLSA，サマリLSA，AS外部LSA等がある．

ルータLSAは全てのOSPFルータで生成され，そのルータが接続しているリンクやネットワークとコストを含む．ネットワークLSAは，ネットワークの指名ルータ(DR)で生成され，ネットワークにどのルータが接続しているかの情報を含む．OSPFでは，ネットワークに複数のルータが接続している場合，それらのルータからDRとバックアップ指名ルータ(BDR)を選出する．BDRはDRが障害となったときに代わりにDRとなるルータである．サマリLSAはABRで生成され，他のエリアで生成されたプレフィックスの情報を含む．例えば図1では，ルータR6はエリア1のプレフィックスをサマリLSAでエリア0に広報する．AS外部LSAはASBRで生成され，外部ネットワークで生成されたプレフィックスの情報を含む．

OSPFルータはLSAを定期的に広報するほかに，リンク状態が変更された場合は，即座にその変更を反映したLSAを広報する．ルータは隣接するルータからLSAを受信すると，確認メッセージを返信して隣接ルータにLSAを受信したことを伝える．ルータは受信したLSAをリンク状態データベース(LSDB)として保持し，それをもとにネットワークの最短パスツリーを算出し経路表を作成する．ルータは生成されてからMaxAge秒経過したLSAをリンク状態データベースから削除する．MaxAgeのデフォルト値は3600である．

4. OSPF障害特定

4.1 概　　要

提案するOSPF障害特定手法の概要は以下の通りである．まずLSAの監視により検知可能な障害を定義し，それらの障害が発生したときのLSAの広報パターンから，複数LSAの関連性をあらかじめ把握しておく．そしてリンク状態変更のLSAが観測された場合，その後ある短い期間に観測されるLSAを

収集し，収集されたLSAと，LSAの広報パターンを比較して障害発生を推定する．監視点で遅れて観測されるLSAが存在した場合，障害推定結果が変わる場合が考えられる．そのため最初の障害推定後に，遅れて観測される可能性があるLSAを予測する．本稿ではこのようなLSAを待ち受けLSAと呼ぶ．待ち受けLSAが存在しない場合は，障害推定結果を確定させる．待ち受けLSAが存在する場合は，その待ち受けLSAの到着を一定期間待つ．待ち受けLSAがその間に観測された場合，先に収集したLSAも含めて再度障害特定を行い，その結果を確定させる．

4.2 検出可能な障害

LSA監視で検知可能な障害として以下の障害を考える．

（1） 自律ルータ障害：ルータの再起動など，ルータプロセスが自律的に落ちる障害．

（2） ルータ障害：不意の電源断等により，ルータプロセスが突然落ちる障害．

（3） トランジットネットワーク障害：トランジットネットワーク全体の障害．トランジットネットワークとは，マルチアクセスネットワークで複数のルータが接続されているネットワークである．例えば複数のOSPFルータが接続するレイヤ2スイッチに障害が発生した場合，トランジットネットワーク障害が発生する．

（4） PtoPリンク障害：二つのルータを接続するPoint-to-Pointリンクの障害．ルータのインタフェース障害やルータ間の伝送路障害等により発生する．

（5） トランジットネットワークリンク障害：ルータの，トランジットネットワークに接続するリンクの障害．ルータのインタフェース障害や，トランジットネットワークを構成するスイッチのインタフェース障害等により発生する．

（6） スタブネットワーク障害：ルータの，スタブネットワークに接続するリンクの障害．スタブネットワークとは，ルータが一台しか接続されていないネットワークである．

（7） エリア外ネットワーク障害：エリア外のプレフィックスが広報されない障害．

（8） 外部ネットワーク障害：外部ネットワークのプレフィックスが広報されない障害．

4.3 複数LSAの関連性と障害特定

障害発生時に広報される複数LSAの関連性を明確にするため，前節で述べた障害が発生した時の，LSAの広報パターンを述べる．また観測されたLSAからOSPF障害を特定する方法について述べる．

（1） 自律ルータ障害：障害となるルータが，障害前にLSA生成からの経過時間(age)をMaxAgeとしたルータLSAを広報する．これは，自身が持つリンクを全て削除することを意味する．そのルータがトランジットネットワークのDRであれば，ageをMaxAgeとしたネットワークLSAも広報する．ageがMaxAgeであるLSAを受信したルータは，そのLSAをLSDBから削除する．障害ルータに隣接するルータは，障害を検知すると，障害ルータへの接続リンクを削除するルータLSAを広報する．障害ルータがトランジットネットワークに接続しており，かつDRでない場合は，そのトランジットネットワークのDRは，接続しているルータを示すAttached Routerフィールドから，障害ルータを除いたネットワークLSAを広報する．

LSA観測点においてageがMaxAgeであるLSAが観測された場合，そのLSAを生成したルータで自律ルータ障害が発生したと特定する．前述の他のLSAは本障害に関連するLSAであるが，自律ルータ障害の特定においてこれらのLSAは必ずしも観測される必要はない．また自律ルータ障害発生が特定された場合は，これらのLSAは観測点において観測されたとしても，他の障害を特定する際に参照されることはない．

（2） ルータ障害：障害となるルータはLSAを広報できないが，隣接ルータはリンクダウンを検知すると，障害ルータへの接続リンクを削除するルータLSAを広報する．障害ルータがトランジットネットワークに接続している場合は，そのネットワークのDRが，Attached Routerフィールドから障害ルータを除いたネットワークLSAを広報する．

LSA観測点において，先に述べたLSAが全て観測された場合に，ルータ障害が発生したと特定する．

（3） トランジットネットワーク障害：障害となるトランジットネットワークのDRが，ageをMaxAgeとしたネットワークLSAを広報する．またトランジットネットワークに接続していたルータは，そのネットワークへのリンクを削除するルータLSAを広報する．

LSA観測点において，先に述べたLSAが全て観測された場合に，トランジットネットワーク障害が発生したと特定する．

（4） PtoPリンク障害：障害となるリンクに接続した二つのルータが，そのリンクを削除するルータLSAを広報する．LSA観測点において両方のLSAが観測された場合，PtoPリンク障害が発生したと特定する．片方のLSAのみ観測された場合は，その時点ではPtoPリンク障害が発生したと推定する．

（5） トランジットネットワークリンク障害：障害となるリンクに接続したルータがトランジットネットワークのDRである場合，そのルータはそのリンクを削除するルータLSAと，ageをMaxAgeとしたネットワークLSAを広報する．そのルータがトランジットネットワークのDRではない場合は，そのルータはそのリンクを削除するルータLSAを広報し，そのトランジットネットワークのDRが，Attached Routerフィールドからそのルータを除いたネットワークLSAを広報する．

LSA観測点において，先に述べたルータLSAとネットワークLSAの両方が観測された場合は，トランジットネットワークリンク障害が発生したと特定する．片方のLSAのみ観測された場合は，トランジットネットワークリンク障害が発生したと推定する．

（6） スタブネットワーク障害：ルータは障害となるスタブネットワークへのリンクを削除したルータLSAを広報する．LSA観測点でこのLSAが観測された場合，スタブネットワーク障害が発生したと特定する．

（7） エリア外ネットワーク障害：エリア境界ルータは，エリア外のあるプレフィックスを削除するサマリLSAを広報する．LSA観測点でこのLSAが観測された場合，エリア外ネッ

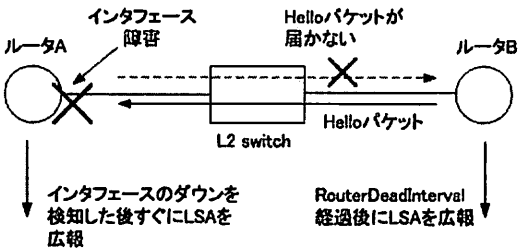

図 2　LSA 遅延の例

トワーク障害が発生したと特定する．

（8） 外部ネットワーク障害：AS 境界ルータは，外部ネットワークのあるプレフィックスを削除する AS 外部 LSA を広報する．LSA 観測点でこの LSA が観測された場合，外部ネットワーク障害が発生したと特定する．

4.4 LSA の遅延

OSPF ルータは，リンク状態変更を検知すると，すぐにリンク状態を更新し関連する LSA を広報する．例えば前節で述べたように，ある PtoP リンクに接続した二つのルータは，そのリンクが落ちたことを検知すると，それぞれリンク状態を更新して新たなルータ LSA を広報する．

しかし，ルータはある障害に対して，ほぼ同時に障害を検知して新たな LSA を広報するとは限らない．例えば図 2 のように，PtoP リンクで接続している二つのルータが，物理的には何らかの装置 (レイヤ 2 スイッチ等) を介して接続されていたとする．ここでルータ A のインタフェースが落ちたとする．このときルータ A は，ルータ A と B の間の PtoP リンクが落ちたことをすぐに検知できるので，新たな LSA をすぐに広報する．一方ルータ B は，ルータ B とスイッチの間のリンクは生きているので，PtoP リンクが落ちたことをすぐには検知できない．

隣接する OSPF ルータ間では，隣接関係を確立し維持するために，Hello パケットの送受信が行われている．Hello パケットは *HelloInterval* 秒間隔 (デフォルト 10 秒) で送信される．ルータは隣接ルータから Hello パケットを *RouterDeadInterval*(デフォルト 40 秒) の間受信しなかった場合，そのルータは落ちていると判断する．従って図 2 の例では，ルータ B は，PtoP リンクが落ちてから最大 40 秒後に，ルータ A 向きの PtoP リンクが落ちたと認識して，更新した LSA を広報する．この場合，同じ PtoP リンク障害に対して，ルータ A とルータ B の LSA の広報に約 40 秒の差が生じることになる．

また LSA は，通常のデータパケットと同じ回線や機器を通ってネットワークに広報されるため，途中に混雑した回線や高負荷なルータが存在する場合には，LSA の伝播遅延が大きくなる可能性もある．そのため，仮に同じ障害に対応する複数の LSA が各ルータでほぼ同時に生成，広報されたとしても，それらの LSA は LSA 監視点ではある時間差を持って観測される可能性がある．

5. 実　　装

LSA の監視は，ネットワークに LSA 監視端末を設置して

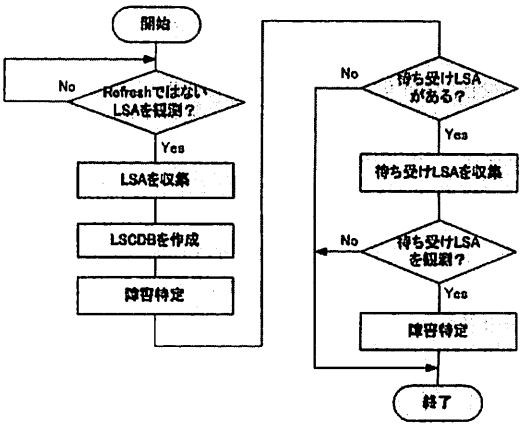

図 3　障害特定フローチャート

From / To	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	NULL	DEL	NULL	NC	NULL	NULL
R2	DEL	NULL	DEL	NULL	DEL	NULL
R3	NULL	DEL	NULL	NULL	NULL	NC
R4	NC	NULL	NULL	NULL	NC	NULL
R5	NULL	DEL	NULL	NC	NULL	NC
R6	NULL	NULL	NC	NULL	NC	NULL

図 4　LSCDB の例

行う．LSA 監視端末は，観測した LSA を一定期間保持する．OSPF ルータから広報される定期的な LSA(リフレッシュLSA) ではない，リンク状態の変更情報を含む LSA を観測した場合は，そのリンク状態の変更情報も併せて保持する．

図 3 に障害特定のフローチャートを示す．障害特定は，リンクが削除された情報を含む LSA が観測された時に行う．LSA 監視端末はそのような LSA を観測すると，その後ある短い期間に観測された，同様の LSA を収集する．この期間は LSA の伝播遅延を吸収するために設ける期間であり，長くても数秒程度でよいと考えられる．

LSA を収集した後，LSA 監視端末が保持しているリンク状態の変更情報を参照して障害特定を行う．リンク状態の変更情報は図 4 のような二次元マトリックスで管理する．本稿では，このマトリックスをリンク状態変更データベース (LSCDB: Link State Change Database) と呼ぶ．LSCDB の各要素は，リンク状態の変更に応じて次の状態を持つ．

- NULL：リンクなし
- NC：リンク状態の変更なし
- DEL：削除されたリンク
- RDEL：障害特定において既に参照された削除リンク

図 4 から，例えばルータ R1 からルータ R2 へのリンクが削除されたことが分かる．

障害特定を行う前に，まず保持している LSA とリンク状態

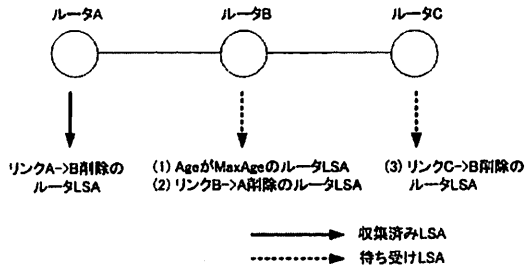

図 5 待ち受け LSA

の変更情報から LSCDB を作成する．その後前章で述べた LSA 広報のパターンと LSCDB を参照して障害特定を実施する．障害特定では，前章で述べた障害が発生しているかどうかを検査する．障害特定の順序については，より多くの LSA が広報される障害を先に特定したほうが良いと考えられる．そこで本実装では，前章で提示した順序で OSPF 障害を検査する．障害特定プロセスでは，LSCDB で"DEL" となっている要素が参照され，参照された要素は"RDEL" に変更される．LSCDB に"DEL" がなくなった時点で，最初の障害特定プロセスを終了する．

例えば図 4 では，ルータ R2 からの全てのリンクが"DEL" となっているので，R2 で自律ルータ障害が発生したと特定し，これらの"DEL" を"RDEL" に変更する．また R2 へのリンクで"DEL" となっている要素も"RDEL" に変更する．"RDEL" となった要素は，以降の障害特定では参照しない．

その後，LSA 監視端末で収集した LSA のパターンから，遅れての観測が予想される LSA を求め，それらを待ち受け LSA として登録する．例えば図 5 で，LSA 監視端末ではルータ A からの，リンク A → B が削除されたルータ LSA のみ収集したとする．この場合，待ち受け LSA は次の通りである．(1) ルータ B からの，age が MaxAge であるルータ LSA，(2) ルータ B からの，リンク B → A が削除されたルータ LSA，(3) ルータ C からの，リンク C → B が削除されたルータ LSA．もしルータ B で自律ルータ障害が発生していたとすれば，(1) と (3) の LSA が観測され，ルータ B でルータ障害が発生していたとすれば (3) の LSA が観測されると予想される．またルータ A-B 間の PtoP リンク障害だとすれば，(2) の LSA 観測が予想される．

なお待ち受け LSA がない場合は，そこで障害特定プロセスを終了する．例えば図 5 で，上述の (2) の LSA が既に収集されていたとすれば，この時点でルータ A-B 間の PtoP リンク障害が確定され，かつ収集した LSA のパターンからは待ち受け LSA を求めることはできない．このような場合は，待ち受け LSA はないと判断する．

待ち受け LSA が存在する場合は，一定期間待ち受け LSA を観測する．その間に待ち受け LSA が観測されたら，その LSA を収集し再び障害特定を行う．もしその間に，待ち受け LSA ではないが，新たにリンクを削除する LSA が観測された場合は，新たに障害特定プロセスを起動する．待ち受け LSA を観測する期間は，OSPF ルータでの障害検知の遅れを吸収できればよいので，数十秒程度でよいと考えられる．

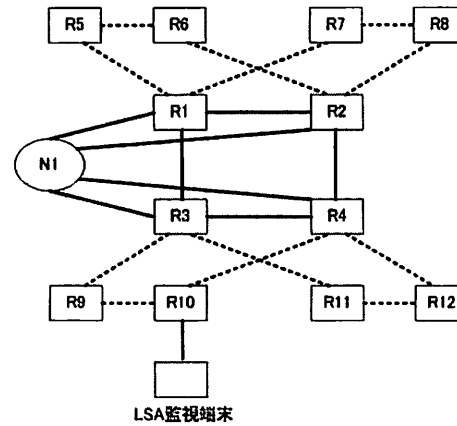

図 6 実験ネットワーク

6. 評　　価

6.1 実験環境

図 6 に実験ネットワーク環境を示す．図中の R1 から R2 は OSPF ルータ，N1 はトランジットネットワークであり，DR は R3 であるとする．ルータは，商用ルータと，PC 上で動作するソフトウェアルータ *quagga* [6] を利用した．トランジットネットワーク N1 は，レイヤ 2 スイッチに複数のルータを接続することで構成した．二台のルータ間のリンクは全て PtoP リンクであり，かつリンクの両端には IP アドレスを割り当てている．図 6 で，実線のリンクはルータがイーサネットで直接接続されていることを表し，破線のリンクはルータ間に何らかの装置 (レイヤ 2 スイッチ等) が存在することを表す．LSA 監視端末をネットワークに接続し，OSPF を動作させ接続ルータと隣接関係を確立することで LSA を観測，収集した．

6.2 動 作 例

提案する OSPF 障害特定の動作例として，図 7 にルータ R1 と R4 がほぼ同時に障害となった場合の障害特定ログを示す．ルータ R1 と R4 が障害となった時，隣接するルータ R2 と R3 はリンクダウンをすぐに検知して，R1 と R4 向きのリンクを削除するルータ LSA を広報する．しかし他の隣接ルータ (R5, R7, R10, R12) はリンクダウンをすぐには検知できないため，この時点では LSA は広報しない．またトランジットネットワーク N1 の実体はレイヤ 2 スイッチであるため，N1 の DR である R3 は，この時点では R1 と R4 への N1 を介した接続が切れたことは検知できない．そのため R3 はこの時点ではネットワーク LSA を広報しない．

LSA 監視端末はルータ R2 と R3 が広報したルータ LSA を観測すると，最初の障害特定プロセスでいくつかの PtoP リンク障害が発生したと推定し，待ち受け LSA の観測状態に入る．その後 *RouterDeadInterval* 経過後に，他の隣接ルータも R1 と R4 へのリンクダウンを検知して，R1 と R4 向きのリンクを削除するルータ LSA を広報する．また R3 は，R1 と R4

```
2006/08/18 11:17:52  Failure: PtoP link failure R2 -> R4
2006/08/18 11:17:52  Failure: PtoP link failure R2 -> R1
2006/08/18 11:17:52  Failure: PtoP link failure R3 -> R4
2006/08/18 11:17:52  Failure: PtoP link failure R3 -> R1
2006/08/18 11:18:18  Clear: PtoP link failure R2 -> R1
2006/08/18 11:18:18  Clear: PtoP link failure R3 -> R1
2006/08/18 11:18:18  Failure: Router failure R1, Confirm
2006/08/18 11:18:20  Clear: PtoP link failure R2 -> R4
2006/08/18 11:18:20  Clear: PtoP link failure R3 -> R4
2006/08/18 11:18:20  Failure: Router failure R4, Confirm
```

図 7　障害特定ログの例

が N1 から切断されたことを検知して，R1 と R4 を Attached Router フィールドから除いたネットワーク LSA を広報する．LSA 監視端末でこれらの LSA を観測した場合，これらは待ち受け LSA であるので二回目の障害特定を行う．その結果，ルータ R1 と R4 でルータ障害が発生したと特定できるので，先に推定した PtoP リンク障害を解除し，ルータ障害発生を確定する．なお図 7 では，障害特定動作を説明するため比較的詳細なログを示しているが，実運用の場合は，確定結果の出力のみでもよいと考えられる．

6.3　隣接ルータでの同時障害

図 6 において，ルータ R1 と R3 で同時に障害が発生したとする．この時リンクダウンを検知した隣接ルータは，LSA を更新して広報する．図 8 に，本障害が発生した後のリンク状態を示す．図中"X" で示したリンクは削除されたリンクを表す．ここで，R1 と R3 の間のリンクについて，このリンクに関する LSA は広報されないので，このリンクはまだ生きていると認識される．そのため提案手法では R1 と R3 でルータ障害が発生したとは特定せず，複数の PtoP リンク障害とトランジットネットワークリンク障害が発生したと推定する．R1 と R3 が障害前に広報したルータ LSA の age が MaxAge となるまでこの LSA は保持されるため，その時点までは R1 と R3 の間のリンクは生きていると認識される．この LSA は，age が MaxAge となると削除され，その結果 R1 と R3 に関して，そのリンクが全て削除されたのでルータ障害が発生したと特定される．図 9 にこの場合の障害特定ログ出力例を示す．本例では，ルータ R1 と R3 に関する LSA が観測されてからルータ障害と特定されるまで，約 46 分かかっている．

この問題を解決する一方法として，ルータ障害特定に関してあるしきい値を設定することが考えられる．例えば，あるルータ向きのリンクのうち X%以上のリンクが削除された場合，そのルータでルータ障害が発生したと特定する．

7. むすび

本稿では，障害発生時に広報される複数の LSA の関連性や LSA の遅延を考慮した，LSA の広報パターン解析による OSPF 障害特定手法を提案した．また提案手法を実装し，実験環境で評価した結果を示した．本手法を OSPF 経路制御監視機能に組み込むことにより，障害特定の迅速化が期待できるなど，IP ネットワークの効果的な運用監視に貢献できる．今後は隣接ルータで同時に障害が発生した場合の障害特定方法の詳細な検討や，

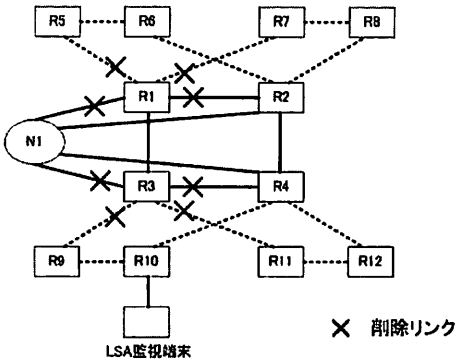

図 8　R1 と R3 で同時に障害が発生した場合のリンク状態

```
2006/08/17 11:07:24  Failure: PtoP link failure R4 -> R3
2006/08/17 11:07:24  Failure: PtoP link failure R2 -> R1
2006/08/17 11:07:47  Failure: Transit network link failure N1 -> R1
2006/08/17 11:07:47  Failure: PtoP link failure R7 -> R1
2006/08/17 11:07:51  Failure: PtoP link failure R9 -> R3
2006/08/17 11:07:55  Failure: PtoP link failure R5 -> R1
2006/08/17 11:07:55  Failure: Transit network link failure N1 -> R3
2006/08/17 11:07:55  Failure: PtoP link failure R11 -> R3
2006/08/17 11:54:08  Clear: PtoP link failure R2 -> R1
2006/08/17 11:54:08  Clear: PtoP link failure R7 -> R1
2006/08/17 11:54:08  Clear: PtoP link failure R5 -> R1
2006/08/17 11:54:08  Clear: Transit network link failure N1 -> R1
2006/08/17 11:54:08  Failure: Router failure R1, Confirm
2006/08/17 11:54:08  Clear: PtoP link failure R4 -> R3
2006/08/17 11:54:08  Clear: PtoP link failure R9 -> R3
2006/08/17 11:54:08  Clear: PtoP link failure R11 -> R3
2006/08/17 11:54:08  Clear: Transit network link failure N1 -> R3
2006/08/17 11:54:08  Failure: Router failure R3, Confirm
```

図 9　隣接ルータ同時障害の場合の障害特定ログ

実ネットワークでの評価などを行う予定である．

文　献

[1] J.Moy, "OSPF Version 2", RFC 2328, April 1998.

[2] E.Bacceli and R.Rajan," Monitoring OSPF Routing", Proc. IFIP/IEEE Integrated Network Management (IM), 2001.

[3] A.Shaikh, M.Goyal, A.Greenberg, R.Rajan and K.Ramakrishnan, "An OSPF Topology Server: Design and Evaluation", IEEE J.Selected Areas in Communications, vol.20, no.4, 2002.

[4] A.Shaikh and A.Greenberg, "OSPF Monitoring: Architecture, Design and Deployment Experience", Proc. USENIX Symposium on Network System and Design and Implementation (NSDI), 2004.

[5] 永見，松嶋，菊地，中川，"OSPF LSA 情報を用いた経路情報監視システムの提案と評価"，信学会論文誌 D-I，Vol.J87-D-I，No.5，pp.572-579，2004 年 5 月．

[6] http://www.quagga.net