

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-69620
(P2017-69620A)

(43) 公開日 平成29年4月6日(2017.4.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4L 12/26 (2006.01)	HO4L 12/26	5K030
HO4L 12/70 (2013.01)	HO4L 12/70 100Z	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2015-189828 (P2015-189828)	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(22) 出願日	平成27年9月28日 (2015.9.28)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
		(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
		(74) 代理人	100124844 弁理士 石原 隆治
		(72) 発明者	川原 亮一 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	斎藤 洋 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 信頼性評価装置、信頼性評価方法、及びプログラム

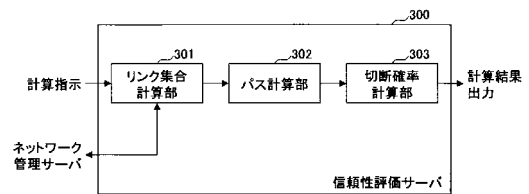
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】被災する可能性のあるエリア内のいずれかの場所で災害が生じた際のネットワークへの影響を事前に評価する。

【解決手段】リンク集合とノード集合により構成される地理的なネットワークにおいて、予め定めた被災する可能性のある被災可能エリア内で前記ネットワークの一部が被災した際に、始点ノードと終点ノードとの間で通信ができなくなる確率である切断確率を算出する信頼性評価装置300において、前記被災可能エリア内に一部又は全部が含まれるリンクの集合Fを算出するリンク集合計算手段301と、前記集合Fに含まれる1つ又は複数のリンクを前記ネットワークから除いたグラフにおいて、前記始点ノードと前記終点ノードとの間にパスが存在しない場合に前記1つ又は複数のリンクが前記被災可能エリア内のいずれかの場所で発生する被災エリア内で故障する確率を算出し、当該確率を用いて前記切断確率を算出する切断確率計算手段303とを備える。

【選択図】 図3

本発明の実施の形態における信頼性評価サーバ300の構成例を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リンク集合とノード集合により構成される地理的なネットワークにおいて、予め定められた被災する可能性のあるエリアである被災可能エリア内で前記ネットワークの一部が被災した際に、指定された始点ノードと終点ノードとの間で通信ができなくなる確率である切断確率を算出する信頼性評価装置であって、

前記被災可能エリア内に一部又は全部が含まれるリンクの集合Fを算出するリンク集合計算手段と、

前記集合Fに含まれる1つ又は複数のリンクを前記ネットワークから除いたグラフにおいて、前記始点ノードと前記終点ノードとの間にパスが存在しない場合に、前記1つ又は複数のリンクが、前記被災可能エリア内のいずれかの場所で発生する被災エリア内で故障する確率を算出し、当該確率を用いて前記切断確率を算出する切断確率計算手段とを備え、

前記切断確率計算手段は、

前記被災可能エリア内の2地点をつなぐ線分が前記被災エリアに含まれる確率を計算する確率計算関数を保持し、

前記確率計算関数により前記1つ又は複数のリンクの故障評価箇所が前記被災エリアに含まれる確率を計算し、当該確率と前記故障評価箇所が故障する確率とを掛ける演算を故障評価箇所毎に行い、演算結果を足し合わせることにより前記切断確率を算出する

ことを特徴とする信頼性評価装置。

【請求項 2】

3つ以上の複数のリンクが同時に故障して初めて切断が生じる場合において、前記切断確率計算手段は、

前記集合Fに属するある第1リンクと第2リンクの組について、第1リンク上の点uと第2リンク上の点vとを結ぶ線分と交わるリンクであって、前記集合Fに属するリンクを特定し、当該リンク、第1リンク、及び第2リンクが全て故障する確率を求めることにより前記切断確率を算出する

ことを特徴とする請求項1に記載の信頼性評価装置。

【請求項 3】

前記被災可能エリアは、気象情報に関するメトリックを計算し、当該メトリックと閾値との比較により求められたエリア、又は、気象情報において指定された地区に対応するエリアである

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の信頼性評価装置。

【請求項 4】

リンク集合とノード集合により構成される地理的なネットワークにおいて、予め定められた被災する可能性のあるエリアである被災可能エリア内で前記ネットワークの一部が被災した際に、指定された始点ノードと終点ノードとの間で通信ができなくなる確率である切断確率を算出する信頼性評価装置が実行する信頼性評価方法であって、

前記被災可能エリア内に一部又は全部が含まれるリンクの集合Fを算出するリンク集合計算ステップと、

前記集合Fに含まれる1つ又は複数のリンクを前記ネットワークから除いたグラフにおいて、前記始点ノードと前記終点ノードとの間にパスが存在しない場合に、前記1つ又は複数のリンクが、前記被災可能エリア内のいずれかの場所で発生する被災エリア内で故障する確率を算出し、当該確率を用いて前記切断確率を算出する切断確率計算ステップとを備え、

前記信頼性評価装置は、前記被災可能エリア内の2地点をつなぐ線分が前記被災エリアに含まれる確率を計算する確率計算関数を保持し、

前記切断確率計算ステップにおいて、前記信頼性評価装置は、前記確率計算関数により前記1つ又は複数のリンクの故障評価箇所が前記被災エリアに含まれる確率を計算し、当該確率と前記故障評価箇所が故障する確率とを掛ける演算を故障評価箇所毎に行い、演算

結果を足し合わせるにより前記切断確率を算出する

ことを特徴とする信頼性評価方法。

【請求項 5】

3つ以上の複数のリンクが同時に故障して初めて切断が生じる場合において、前記切断確率計算ステップにおいて、前記信頼性評価装置は、

前記集合Fに属するある第1リンクと第2リンクの組について、第1リンク上の点uと第2リンク上の点vとを結ぶ線分と交わるリンクであって、前記集合Fに属するリンクを特定し、当該リンク、第1リンク、及び第2リンクが全て故障する確率を求めることにより前記切断確率を算出する

ことを特徴とする請求項4に記載の信頼性評価方法。

10

【請求項 6】

前記被災可能エリアは、気象情報に関するメトリックを計算し、当該メトリックと閾値との比較により求められたエリア、又は、気象情報において指定された地区に対応するエリアである

ことを特徴とする請求項4又は5に記載の信頼性評価方法。

【請求項 7】

コンピュータを、請求項1ないし3のうちいずれか1項に記載の信頼性評価装置における各手段として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、情報通信ネットワークをはじめとする様々なネットワークにおいて、自然災害による被災の影響を事前に評価する技術に関連するものである。

【背景技術】

【0002】

情報通信ネットワークにおいて、ネットワークの信頼性を評価する様々な手法が存在する。例えば非特許文献1には、ネットワークを構成する各リンクが故障する確率を用いて、着目する始点ノードと終点ノード間の疎通確率を計算する方法が開示されている。

【0003】

非特許文献1では、装置故障のような予測不可能な事象に対応するための信頼性を評価する方法を対象にしている。その他、例えば、IPネットワークのように、一部故障があってもOSPF等のルーティングプロトコルで自律的に経路制御する場合も考慮して信頼性を評価する従来技術もある。

30

【0004】

その他の従来技術として、特許文献1には、災害時の信頼性評価として、ノードの重要度（ユーザ規模、トラフィック等）等を考慮して信頼度を定義する方法が開示されている。また、特許文献2には、ネットワークに上位・下位の階梯の構造があるときに、どの下位ノードを上位ノードとつなぐと信頼度が大きくなるかを考慮して上位ノードを決定する方法が開示されている。

【0005】

40

一方、非特許文献2では大雨等の予測可能な自然災害を対象に、その被災のネットワークへの影響を事前に評価することで、被災回避制御を行う方法が提案されている。この場合、ある特定の地域（例えば大雨洪水警報が出た地域）に属するネットワーク設備（リンクやノード）が被災する確率を考慮して、ネットワークの信頼性を評価する必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2014-23064号公報

【特許文献2】特開2014-93743号公報

【非特許文献】

50

【 0 0 0 7 】

【非特許文献 1】林，阿部，“通信ネットワークの信頼性，” 社団法人電子情報通信学会，2010.

【非特許文献 2】Hiroshi Saito, Ryoichi Kawahara, and Takeshi Fukumoto, Proposal of Disaster Avoidance Control, Networks 2014, 2014.

【非特許文献 3】梶谷他，実効雨量指標を用いた降雨に対する運転規制方法について，地盤工学会誌，60-3.

【非特許文献 4】H. Saito. Spatial design of physical network robust against earthquakes. IEEE Journal of Lightwave Technology, 33, 2, pp.443-458, 2015.

【 発 明 の 概 要 】

10

【 発 明 が 解 決 し よ う と す る 課 題 】

【 0 0 0 8 】

非特許文献 2 では、例えば気象情報等を元に、災害の起こる可能性のあるエリア D を与え、災害が起きた時にネットワークへどのような影響を与えるかを計算している。一方で、例えば災害の種類によっては、D を所与とすることが困難な場合も考えられる。

【 0 0 0 9 】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、被災する可能性のあるエリアをおおまかに特定した上で、当該エリア内のいずれかの場所で D が生じた際のネットワークへの影響を事前に評価することを可能にする技術を提供することを目的とする。

【 課 題 を 解 決 す る た め の 手 段 】

20

【 0 0 1 0 】

本発明の実施の形態によれば、リンク集合とノード集合により構成される地理的なネットワークにおいて、予め定めた被災する可能性のあるエリアである被災可能エリア内で前記ネットワークの一部が被災した際に、指定された始点ノードと終点ノードとの間で通信ができなくなる確率である切断確率を算出する信頼性評価装置であって、

前記被災可能エリア内に一部又は全部が含まれるリンクの集合 F を算出するリンク集合計算手段と、

前記集合 F に含まれる 1 つ又は複数のリンクを前記ネットワークから除いたグラフにおいて、前記始点ノードと前記終点ノードとの間にパスが存在しない場合に、前記 1 つ又は複数のリンクが、前記被災可能エリア内のいずれかの場所で発生する被災エリア内で故障する確率を算出し、当該確率を用いて前記切断確率を算出する切断確率計算手段とを備え、

30

前記切断確率計算手段は、

前記被災可能エリア内の 2 地点をつなぐ線分が前記被災エリアに含まれる確率を計算する確率計算関数を保持し、

前記確率計算関数により前記 1 つ又は複数のリンクの故障評価箇所が前記被災エリアに含まれる確率を計算し、当該確率と前記故障評価箇所が故障する確率とを掛ける演算を故障評価箇所毎に行い、演算結果を足し合わせるにより前記切断確率を算出する

ことを特徴とする信頼性評価装置が提供される。

【 0 0 1 1 】

40

また、本発明の実施の形態によれば、リンク集合とノード集合により構成される地理的なネットワークにおいて、予め定めた被災する可能性のあるエリアである被災可能エリア内で前記ネットワークの一部が被災した際に、指定された始点ノードと終点ノードとの間で通信ができなくなる確率である切断確率を算出する信頼性評価装置が実行する信頼性評価方法であって、

前記被災可能エリア内に一部又は全部が含まれるリンクの集合 F を算出するリンク集合計算ステップと、

前記集合 F に含まれる 1 つ又は複数のリンクを前記ネットワークから除いたグラフにおいて、前記始点ノードと前記終点ノードとの間にパスが存在しない場合に、前記 1 つ又は複数のリンクが、前記被災可能エリア内のいずれかの場所で発生する被災エリア内で故障

50

する確率を算出し、当該確率を用いて前記切断確率を算出する切断確率計算ステップとを備え、

前記信頼性評価装置は、前記被災可能エリア内の2地点をつなぐ線分が前記被災エリアに含まれる確率を計算する確率計算関数を保持し、

前記切断確率計算ステップにおいて、前記信頼性評価装置は、前記確率計算関数により前記1つ又は複数のリンクの故障評価箇所が前記被災エリアに含まれる確率を計算し、当該確率と前記故障評価箇所が故障する確率とを掛ける演算を故障評価箇所毎に行い、演算結果を足し合わせることにより前記切断確率を算出する

ことを特徴とする信頼性評価方法が提供される。

【発明の効果】

10

【0012】

本発明の実施の形態によれば、あるエリアに含まれるネットワーク構成要素が被災する可能性がある場合に、当該被災可能エリア内で確率的に発生する災害がネットワークへ与える影響を事前に評価することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施の形態におけるシステム構成例を示す図である。

【図2】被災可能エリアA0及び被災エリアDの例を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態における信頼性評価サーバ300の構成例を示す図である。

【図4】信頼性評価サーバ300が実行する計算手順のフローチャートである。

20

【図5】地理的ネットワークの例を示す図である。

【図6】図5をグラフ的ネットワーク化した例を示す図である。

【図7】 u の集合の例を示す図である。

【図8】切断確率計算手順を示す図である。

【図9】切断確率計算手順で用いられる関数 $G(w)$ の計算手順を示す図である。

【図10】点 u を含む被災エリアDとリンクセグメント e が交わる長さの計算を説明するための説明図である。

【図11】線分 (u,v) を含む被災エリアDとリンクセグメント e が交わる長さの計算を説明するための説明図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0014】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。なお、以下で説明する実施の形態は一例に過ぎず、本発明が適用される実施の形態は、以下の実施の形態に限られるわけではない。

【0015】

(システム構成)

図1(a)は本発明の実施の形態におけるシステム構成の一例を示す構成図である。図1(a)に示すように、本発明の実施の形態におけるシステムは、管理対象となるネットワーク100、ネットワーク管理サーバ200、及び信頼性評価サーバ300を備える。なお、図1(a)では、ネットワーク管理サーバ200と信頼性評価サーバ300が、管理対象とするネットワーク100に接続されている構成を示しているが、これは一例であり、管理対象とするネットワーク100は、ネットワーク管理サーバ200/信頼性評価サーバ300に接続されていなくてもよい。なお、本発明の実施の形態では、ネットワーク管理サーバ200と信頼性評価サーバ300との間は、何等かのネットワークにより接続されていることを想定している。

40

【0016】

ネットワーク管理サーバ200は、ネットワーク100を構成する装置(リンクとノード)に関する情報を管理(格納)している。具体的には、図1(b)に示すように、ノード情報として、各ノード v のid、地理的位置(例えば、緯度・経度等)を管理している。

図1(b)に示すように、リンク情報は、各リンクの端点ノード1、端点ノード2、地理的

50

位置、故障確率情報を有する。

【0017】

図1(b)の例では、リンクの地理的位置を、リンクの両端点の緯度・経度、及び、リンクを複数区間に分割したときの各分割点の緯度・経度の組により表現している。例えば、図1(b)における1番目のリンクは、3つの区間に分割されており、

$[(lat1, lon1), (lat11, lon11), (lat12, lon12), (lat2, lon2)]$

と表現される。この例におけるリンクの両端点の位置は $(lat1, lon1)$ と $(lat2, lon2)$ であり、2か所 $(lat11, lon11)$, $(lat12, lon12)$ が分割位置となる。

【0018】

以下では、上記のように分割された各リンク区間をリンクセグメントと呼ぶ。また以降では、当該リンクセグメントをリンクと再定義し、用語「リンク」と「リンクセグメント」は等価なものとして用いることにする。

【0019】

また、故障確率情報の一例として、各リンクセグメントにおけるリンク長当りの故障率 $[/km]$ をパラメータとして与えておく。を用いて、微小区間 $dx [km]$ が故障する確率を dx と表すことができる。

【0020】

なお、故障率は、災害種別やその規模に応じて、値を変えて設定してもよい。例えば、土砂災害の危険地域マップ情報を利用して、リンクセグメントの一部又は全部が当該危険地域内に含まれる場合には、 >0 とし、それ以外の場合は、 $=0$ としてもよい。

【0021】

ここで定義されているノードの集合を V 、リンクセグメントの集合を E とし、この地理的ネットワークを (V, E) と記す。

【0022】

信頼性評価サーバ300では、例えば気象情報等から被災可能エリア $A0$ を決定する。例えば各地点での時点 t での単位時間雨量 r_t を元に、非特許文献3に記載の手順で「実効雨量」 R_t を、 $R_t = r_t + 0.5^{(1/H)} R_{t-1}$ により計算する。なお、 H は半減期と呼ばれるパラメータで、いくつかの H 毎に R_t を計算する。各 H に対して閾値を設け、いずれかの H での R_t の値が閾値を超えていたら、その地点は災害警報地域とする。これを例えば、地理メッシュ毎に行い、閾値を超えたメッシュの集合を覆う凸包を $A0$ と定義する。

【0023】

図2に、凸包の構成方法の例を示す。図2に示すように該当する各メッシュが完全に覆われるよう(つまりメッシュの4点がいずれも覆われるよう)に構成してもよいし、そうする代わりにメッシュの中心点だけを覆うように構成してもよい。

【0024】

信頼性評価サーバ300は、上記の手順を一定周期毎に行い、閾値を超えたメッシュの個数が予め定めた値よりも小さい場合は、災害の影響はないものとする。メッシュの個数が予め定めた値以上の場合は、上述の手順で $A0$ を定義し、以降の手順を実施する。

【0025】

$A0$ が観測されたら、その $A0$ の中のいずれかのエリアで災害が生じると考える。当該被災エリアを D とする。 D が発生する場所は事前に予測できないとし、 $A0$ 内のいずれかの場所で発生する確率事象とする。つまり、本実施の形態では、例えば大雨情報等からおおよその被災可能な地域($A0$)を特定し、その中のどこで実際に土砂災害等の災害が起きるかは分からないものとして、被災の影響を評価する。

【0026】

被災可能エリア $A0$ の求め方は上記の方法に限られず、他の方法で求めてもよい。例えば、気象警報がXX地区に発令されたとしたら、そのXX地区を含む凸包をもって $A0$ としてもよい。

【0027】

被災可能エリア $A0$ の計算・観測は信頼性評価サーバ300が行ってもよいし、信頼性評

10

20

30

40

50

価サーバ300の外部で行って、信頼性評価サーバ300に被災可能エリアA0を入力することとしてもよい。

【0028】

また、Dの面積 $a(D)$ と外周長 $b(D)$ をパラメータとして、信頼性評価サーバ300内の記憶手段に保持しておく。面積 $a(D)$ と外周長 $b(D)$ については、例えば、過去の災害の事例から規模の情報を集めておき、それらを元に用意しておく。なお、これらの値は、例えば雨量の大きさに応じて、何段階か用意しておいてもよい。一例として、雨量が1時間 $x[\text{mm}]$ 以上であれば、 $a(D) = \text{aaa}1 [\text{km}^2]$ 、 $b(D) = \text{bbb}1 [\text{km}]$ とし、 $x[\text{mm}]$ 未満 $y[\text{mm}]$ 以上のときは、 $a(D) = \text{aaa}2 [\text{km}^2]$ 、 $b(D) = \text{bbb}2 [\text{km}]$ のように用意する。

【0029】

信頼性評価サーバ300は、DがA0内のいずれかの場所で発生するとしたときの、指定した始点ノード s ・終点ノード t 間で通信ができなくなる確率である切断確率を計算する。

【0030】

信頼性評価サーバ300の構成例を図3に示す。図3に示すとおり、信頼性評価サーバ300は、リンク集合計算部301、パス計算部302、切断確率計算部303を有する。各部の処理の内容については、後述する実施例の説明において詳細に説明する。

【0031】

本発明の実施の形態に係る信頼性評価サーバ300は、例えば、コンピュータに、本発明の実施の形態で説明する処理内容を記述したプログラムを実行させることにより実現可能である。すなわち、信頼性評価サーバ300が有する機能は、当該コンピュータに内蔵されるCPUやメモリなどのハードウェア資源を用いて、信頼性評価サーバ300で実施される処理に対応するプログラムを実行することによって実現することが可能である。信頼性評価サーバ300においては、ネットワーク管理サーバ200から取得されたノード、リンク、故障率等のデータや、A0、 $a(D)$ 、 $b(D)$ 等がメモリ（記憶手段）に記憶され、上記プログラムに従って、CPUがメモリから当該データを読み出し、処理を実行することにより、始点ノード s ・終点ノード t 間の切断確率を計算する。なお、後述するように、信頼性評価サーバ300は、各種関数の計算を行うが、当該関数の手順は上記プログラムに組み込まれていてもよいし、全体の（メインとなる）プログラムとは別に、メモリに関数の処理モジュールを格納し、関数の処理が必要になったときに、当該処理モジュールを使用することとしてもよい。なお、当該処理モジュールもプログラムの例である。

【0032】

上記プログラムは、コンピュータが読み取り可能な記録媒体（可搬メモリ等）に記録して、保存したり、配布したりすることが可能である。また、上記プログラムをインターネットや電子メール等、ネットワークを通して提供することも可能である。

【0033】

（信頼性評価サーバ300が実行する処理）

以下では、信頼性評価サーバ300が実行する信頼性評価の処理内容を実施例1、実施例2として詳細に説明する。

【実施例1】

【0034】

図4は、実施例1において信頼性評価サーバ300が実行する信頼性評価手順のフローチャートである。図4に示す手順に沿って、信頼性評価サーバ300が実行する処理を説明する。

【0035】

<ステップS1：リンク集合計算>

ステップS1では、まず、信頼性評価サーバ300のリンク集合計算部301が、管理対象とするネットワーク100におけるリンク集合を算出する。具体的には以下のとおりである。

【0036】

A0が得られたら、A0を、リンク集合計算部301に入力する。リンク集合計算部301

10

20

30

40

50

は、A0及び各リンクセグメントをその位置情報（例えば緯度経度）から二次元平面へマッピングし、A0内に一部又は全て含まれるリンクセグメントを特定し、その集合をFとする。

【0037】

図5に、リンク集合計算部301の計算対象となるネットワークの例を示す。図5に示すネットワークは、リンクセグメントやノード、A0の地理的位置を反映した地理的ネットワークである。この例では、 $F=\{LS_1, \dots, LS_{11}\}$ となる。このうち、ネットワーク管理サーバ200で保持している情報を用いて $\neq 0$ となるリンクセグメントを除外して、その集合をFとしてもよい。その理由は、 $\neq 0$ のリンクセグメントは故障しないため、以下での切断確率計算に影響しないからである。リンク集合計算部301は、Fをパス計算部302に通知する。

10

【0038】

<ステップS2：パス計算>

ステップS2では、信頼性評価サーバ300のパス計算部302がパス計算を行う。具体的には以下のとおりである。

【0039】

パス計算部302は、地理的ネットワーク(V,E)をグラフ的ネットワーク化したものをGとし、Gを保持している。ここでグラフ的ネットワークとは、地理的ネットワークから地理的情報を除き、ノード間の結合関係だけに情報を絞ったものである。図6に、図5に示すネットワークをグラフ的ネットワーク化した例を示す。ここでは、リンクの分割点（リンクセグメント同士をつなぐ点）もノードとし、これを図中の黒丸で示す。また、リンクやノードの位置は関係なく、接続関係のみ保持されていればよい。

20

【0040】

信頼性評価サーバ300において、Gからリンク集合Xを除いたグラフにおいて、s-t間にパスが存在するかを判定する関数 $\text{path.exist}(s,t,X)$ が保持されているとする。つまり、パス計算部302は、当該関数を用いて、Gからリンク集合Xを除いたグラフにおいて、s-t間にパスが存在するかを判定することができる。 $\text{path.exist}(s,t,X)$ は、s-t間にパスがあれば1を返し、パスがなければ0を返す関数である。また、切断確率を計算する関数を $\text{pdisconn}(s,t)$ とする。

【0041】

パス計算部302は、当該関数 $\text{path.exist}(s,t,X)$ を用いて、 $\text{path.exist}(s,t,F)$ を計算し、その値が1なら、 $\text{pdisconn}(s,t)=0$ として出力する。そうでなければ、切断確率計算部303にFを渡す。

30

【0042】

<ステップS3：切断確率の計算>

ステップS3では、信頼性評価サーバ300の切断確率計算部303が切断確率の計算を行う。具体的には以下のとおりである。

【0043】

ここでは、A0内のある二地点u, vをつなぐ線分がDに含まれる確率 $f(u,v)$ を、 $a(D)$, $b(D)$ 、及びA0の面積 $a(A0)$ 、外周長 $b(A0)$ を用いて計算する関数が用意されているとし、切断確率計算部303が当該関数を有しているものとする。例えば、当該関数として、非特許文献4の定理6に記載の式を用いることができる。

40

【0044】

まず、切断確率計算部303は、各リンク $e \in F$ に対して、予め定めた微小区間長 ϵ で区切り、その分割点のうち、A0に含まれるuの集合を V_e とする。図7にuの集合の例を示す。図7には、リンクセグメント LS_7 の分割点（4つ）の集合を V_7 とすることが示されている。なお、当該分割点は、リンクセグメントにおける故障評価箇所（仮にこの箇所が被災して故障したときにs-t間で切断が生じるか否か、生じる場合はその切断確率はいくつになるかを評価する際に着目する箇所）に相当する。

【0045】

50

切断確率計算部 303 は、変数 p_d を 0 に設定し、空の集合 T_d を用意し、以下のステップ S3-1、S3-2 を実行する。

【0046】

<ステップ S3-1 : 各 $e \in F$ に対して以下の手順を実行する >

$\text{path.exist}(s, t, \{e\})$ が 1 ならば何もしない。0 ならば、 T_d に e を追加登録し、 $u \in V_e$ に対し $p_d = p_d + f(u, u) (e)$ とし、これを全ての $u \in V_e$ に対して繰り返す。なお、 $f(u, u) (e)$ は、 e についての値である。

【0047】

<ステップ S3-2 : 各組 $(e1, e2) (e1, e2 \in F - T_d)$ に対して以下の手順を実施する >

$\text{path.exist}(s, t, \{e1, e2\})$ が 1 ならば何もしない。0 ならば、 T_d に組 $(e1, e2)$ を追加登録し、組 $(u, v) (u \in V_{e1}, v \in V_{e2})$ に対し、 $p_d = p_d + f(u, v) (e1) (e2)$ とし、これを全ての組 (u, v) に対して繰り返す。

【0048】

以上の手順のうち、ステップ S3-1 では 1 つのリンクセグメントが故障したときの切断確率を計算している。つまり、 $f(u, u) (e)$ は、 u が D に含まれる確率と微小区間の故障確率とを掛けたものであり、これを全ての $u \in V_e$ に対して足し合わせることで 1 つのリンクセグメントが D において故障する確率を計算している。

【0049】

ステップ S3-2 では、2 つのリンクセグメントが同時に故障としたときの切断確率を計算していることに相当する。つまり、 $f(u, v) (e1) (e2)$ は、 u と v が D に含まれる確率と 2 つの微小区間が同時に故障する確率とを掛けたものであり、これを全ての組 (u, v) に対して足し合わせることで 2 つのリンクセグメントが D において同時に故障する確率を計算している。なお、S3-2 において、「 $e1, e2 \in F - T_d$ 」としている。 T_d を除いている理由は、S3-1 で既に切断のケースが考慮されているリンクセグメントを除外するためである。S3-1 で計算済みのリンクを含めて、S3-2 でも計算を行うと、切断確率を余分に加算することになるため、それを回避している。

【0050】

切断確率計算部 303 は、以上の手順を実行して得られる p_d を、 s - t 間での切断確率 $p_{disconn}(s, t)$ として出力する。

【実施例 2】

【0051】

実施例 1 のステップ S3 では、1 リンク、又は 2 リンクが同時に故障する場合のみを考慮して計算していたが、3 リンク以上が同時に故障して初めて切断が生じるケースも考慮し、以下の手順を実施することとしてもよい。この手順を実施例 2 として説明する。なお、以下の手順は、実施例 1 のステップ S3-2 の後で、 p_d を出力する前に実施する。

【0052】

<ステップ S3-3 >

切断確率計算部 303 は、各組 $(e1, e2) (F$ に属する $e1, e2$ のうち、 $e1$ かつ $e2$ かつ組 $(e1, e2)$ のいずれも T_d に属さないような組 $(e1, e2)$) に対して、以下の手順を実行する。

【0053】

< S3-3-1 >

空の集合 T_{d2} を用意する。

【0054】

< S3-3-2 : 各組 $(u, v) (u \in V_{e1}, v \in V_{e2})$ に対して以下の手順を実行する。詳しくは後述する図 8、図 9 のフローの通りであるが、ここでは手順の中心的な流れを記載する。 >

切断確率計算部 303 は、 F に属するリンクのうち、例えば、地理的ネットワーク上において二点 (u, v) を結ぶ線分と交わるリンクを特定し、その集合を w とする。 w の中から i 個 ($i=1$ から $|w|$) のリンクを選択し、その集合を $w1$ とする。 $w1$ の中から $i-1$ 個のリンクを選ぶ

10

20

30

40

50

組合せのいずれかのうち、一つでも T_{d_2} に存在すれば何もしない。そうでなければ、 $\text{path. exist}(s, t, \{e_1, e_2\}, w_1)$ を調べ、1ならば何もしない。0ならば、 T_{d_2} に w_1 を追加登録し、 $\{e_1, e_2\}, w_1$ に属するリンクが全て故障する確率を求め、その値を p_d に加算する。以上を各 i ($i=1$ から $|w|$)に対する全ての組 w_1 に対して繰り返し実施する。

【 0 0 5 5 】

なお、 $\{e_1, e_2\}, w_1$ に属するリンクが全て故障する確率は、後述する図9に示すフロー内において、「 $f(u, v) = (e_1) \cdot (e_2) \cdot g(e, u, v)$ 」、「 $f(u, v) = (e) \cdot w_1 \cdot \{e_1, e_2\} \cdot g(e, u, v)$ 」として示される式で求める。

【 0 0 5 6 】

ここで、 V_{e_1} を構成する際、 e_1 を w_1 で区切り、 e_1 の端点は片方だけ含むように定義してもよいし、両端点を含むように定義してもよい。後者を採用すると、よりもれなく e_1 と e_2 の間に存在するリンクセグメント $e \in w_1$ を抽出することができる。具体的には、図7の例でリンクセグメント LS_7 を w_1 で4区間に区切っているが、図7の例では片方の端点(ノード3上の黒丸)のみを集合 V_7 に含めた例となっている。ここで、リンクセグメント LS_7 のもう片方の端点(LS_8 との共通の点)も含めて、計5点を V_7 としてもよい。

【 0 0 5 7 】

切断確率計算部303は、以上の手順を実施して得られる p_d を、 s - t 間での切断確率 $\text{pdiscconn}(s, t)$ として出力する。

【 0 0 5 8 】

(全体フロー例)

実施例1と実施例2の手順を含む全体の切断確率計算手順を図8、図9に示す。図8が全体のフローを示し、図9が図8の中で用いる関数 $G(w)$ の手順を示す。

【 0 0 5 9 】

図8において、上述したステップS3-1、ステップS3-2、ステップS3-3に対応する箇所を明記してある。

【 0 0 6 0 】

図8、図9に示す手順で用いる記号の意味は以下の通りである。

【 0 0 6 1 】

・ $d(u, v)$: u - v 間距離

・ $C(F, r)$: 集合 F から r 個の要素を抽出する組合せ。例えば、 $F=\{1, 2, 3\}$ 、 $r=2$ のとき、 $C(F, r)=\{(1, 2), (1, 3), (2, 3)\}$ となる。

【 0 0 6 2 】

・ $g(e, u, v)$: 以下の計算を行う関数であり、 e が故障する確率を表す。

【 0 0 6 3 】

< $g(e, u, v)$ の説明 >

もし $b(D)^2 - 16 \cdot a(D)$ であれば、 $a = \{b(D) - (b(D)^2 - 16 \cdot a(D))^{1/2}\} / 4$ 、 $b = \{b(D) + (b(D)^2 - 16 \cdot a(D))^{1/2}\} / 4$ とする。そうでなければ、 D の形状を仮定して該 D を囲む長方形のうち、 D との面積の差がなるべく小さいものを求め、その長方形の短辺の長さを a 、長辺の長さを b とする。

【 0 0 6 4 】

$d(u, v)=0$ のとき、 $g(e, u, v) = \min\{1, ab / (a+b) \cdot (e)\}$ とする。ここで $ab / (a+b)$ の意味を説明する。これは、図10に示すように、ある点 u が D に含まれるときに、横長に D が配置された(つまり、 e が D の長辺と垂直に交わる)場合と縦長に配置された(e が D の短辺と垂直に交わる)場合の2通りを考え、被災エリア D が前者のようになる確率を $b / (a+b)$ 、後者となる確率を $a / (a+b)$ とする。また前者の場合、 D とリンクセグメント e の交わる長さの平均を $a/2$ 、後者のそれを $b/2$ とする。以上を用いて、 D とリンクセグメント e の交わる長さの期待値を $L = a/2 \cdot b / (a+b) + b/2 \cdot a / (a+b) = ab / (a+b)$ と見積もっている。 e の故障確率が L に比例するとして、 $ab / (a+b) \cdot (e)$ としている。なお、 $g(e, u, v)$ において、その値と1との最小値を取る理由は、確率が1を超えないようにするためである。

【 0 0 6 5 】

10

20

30

40

50

$d(u,v)>0$ のとき、 u と v を結ぶ線分が D に含まれるときに、 D と e が交わる長さの期待値 L を以下の(1)、(2)のように見積り、 $g(e,u,v)=\min\{1, (e)L\}$ とする。

【0066】

(1) $d(u,v)<a$ の場合

図11の(a)ケースB1に示すように、 e が D と交わるケースとして、 D の長辺と交わる場合と、短辺と交わる場合の2ケースを考え、それぞれの起こる確率を $b'/(a'+b')$ 、 $a'/(a'+b')$ とし、 $L=a \cdot b'/(a'+b')+b \cdot a'/(a'+b')$ とする。ここで、 $a'=a - d(u,v)\sin \theta$ 、 $a'=b - d(u,v)\sin \theta$ とする。なお、角度 θ が非常に小さい場合は、 e は点 u と v で終端されているとみなし $L=d(u,v)$ とする。

【0067】

(2) $d(u,v) \geq a$ の場合

図11の(b)ケースB2に示すように、 u と v を結ぶ線分と D の長辺が平行となるように交わりと仮定し、交わる長さを $L=a/\sin \theta$ とする(本図の上の図)。この L を $L1$ とおく。ただし、角度 θ が非常に小さい場合は、この $L1$ が非常に大きくなってしまふケースがあるため、本図の下図のように、線分 (u,v) と垂直な点 u を通る直線と点 v を通る直線の間で e は終端されているとみなし、 $L=d(u,v)/\cos \theta$ とする。この L を $L2$ とおく。以上より、 u と v を結ぶ線分と D の交わる長さを $L=\min\{L1,L2\}$ とする。

【0068】

なお、上述の手順に限らず、他の方法で L や $g(e,u,v)$ を求めてもよい。例えば、図10、11に示した条件の下で、予め用意したいくつかの D のパターンそれぞれについて、 D をランダムに生成し、 u と v を結ぶ線分と D が交わる長さを測定するという実験を繰り返し実施し、その平均の値を L として予め計算して記憶しておいてもよい。

【0069】

(実施の形態のまとめ)

以上、説明したように、本実施の形態では、リンク集合とノード集合により構成される地理的なネットワークにおいて、予め定めた被災する可能性のあるエリアである被災可能エリア内で前記ネットワークの一部が被災した際に、指定された始点ノードと終点ノードとの間で通信ができなくなる確率である切断確率を算出する信頼性評価装置であって、前記被災可能エリア内に一部又は全部が含まれるリンクの集合 F を算出するリンク集合計算手段と、前記集合 F に含まれる1つ又は複数のリンクを前記ネットワークから除いたグラフにおいて、前記始点ノードと前記終点ノードとの間にパスが存在しない場合に、前記1つ又は複数のリンクが、前記被災可能エリア内のいずれかの場所で発生する被災エリア内で故障する確率を算出し、当該確率を用いて前記切断確率を算出する切断確率計算手段とを備える信頼性評価装置が提供される。

【0070】

前記切断確率計算手段は、例えば、前記被災可能エリア内の2地点をつなぐ線分が前記被災可能エリアに含まれる確率を計算する確率計算関数を保持し、前記確率計算関数により前記1つ又は複数のリンクの故障評価箇所が前記被災可能エリアに含まれる確率を計算し、当該確率と前記故障評価箇所が故障する確率とを掛ける演算を故障評価箇所毎に行い、演算結果を足し合わせるにより前記切断確率を算出する。

【0071】

3つ以上の複数のリンクが同時に故障して初めて切断が生じる場合において、前記切断確率計算手段は、前記集合 F に属するある第1リンクと第2リンクの組について、第1リンク上の点 u と第2リンク上の点 v とを結ぶ線分と交わるリンクであって、前記集合 F に属するリンクを特定し、当該リンク、第1リンク、及び第2リンクが全て故障する確率を求めることにより前記切断確率を算出することとしてもよい。

【0072】

前記被災可能エリアは、例えば、気象情報に関するメトリックを計算し、当該メトリックと閾値との比較により求められたエリア、又は、気象情報において指定された地区に対応するエリアである。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

上記のような構成を備える信頼性評価装置により、あるエリアに含まれるネットワーク構成要素が被災する可能性がある場合に、当該被災可能エリア内で確率的に発生する災害がネットワークへ与える影響を事前に評価することが可能となる。

【 0 0 7 4 】

本発明は、上記の実施の形態に限定されることなく、特許請求の範囲内において、種々変更・応用が可能である。

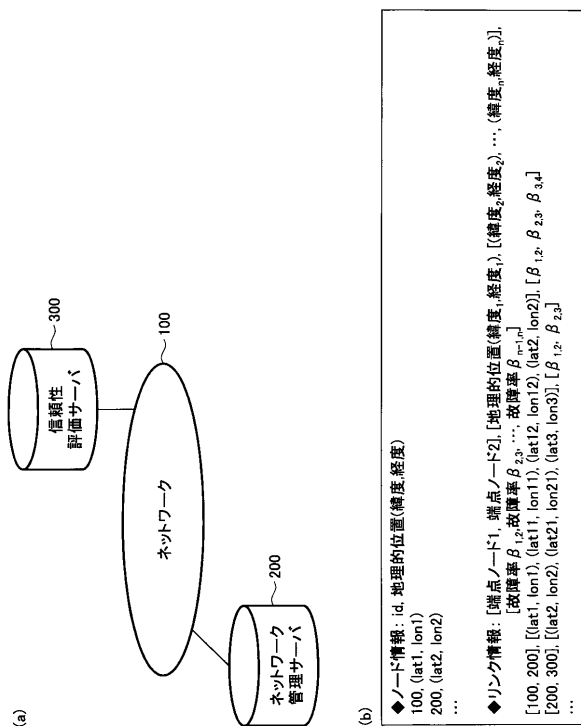
【 符号の説明 】

【 0 0 7 5 】

- 1 0 0 ネットワーク
- 2 0 0 ネットワーク管理サーバ
- 3 0 0 信頼性評価サーバ
- 3 0 1 リンク集合計算部
- 3 0 2 パス計算部
- 3 0 3 切断確率計算部

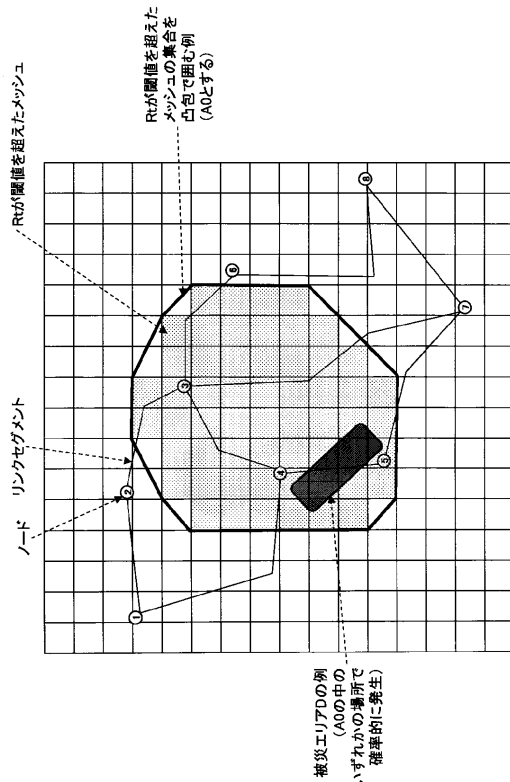
【 図 1 】

本発明の実施の形態におけるシステム構成例を示す図



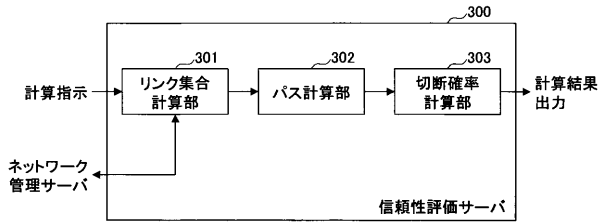
【 図 2 】

被災可能エリアA0及び被災エリアDの例を示す図



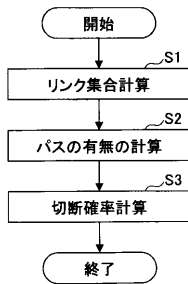
【 図 3 】

本発明の実施の形態における信頼性評価サーバ300の構成例を示す図



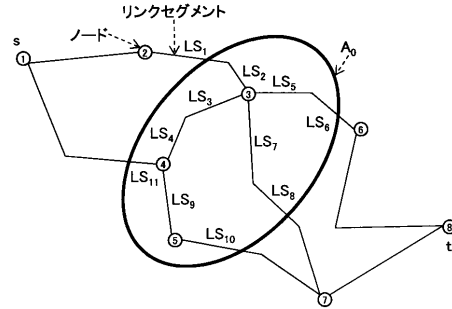
【 図 4 】

信頼性評価サーバ300が実行する計算手順のフローチャート



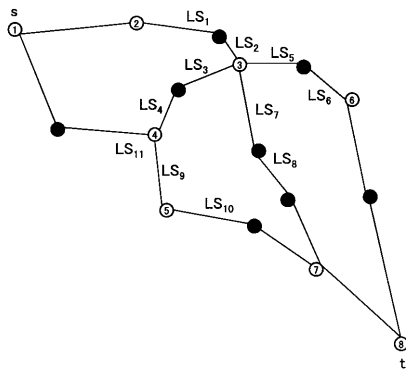
【 図 5 】

地理的ネットワークの例を示す図



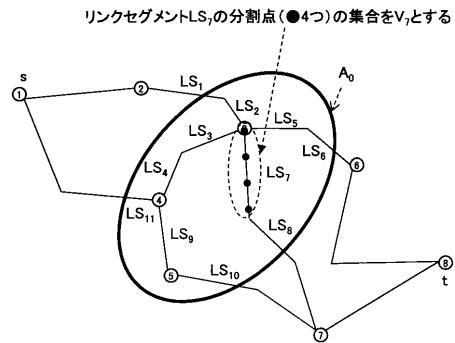
【 図 6 】

図5をグラフ的ネットワーク化した例を示す図



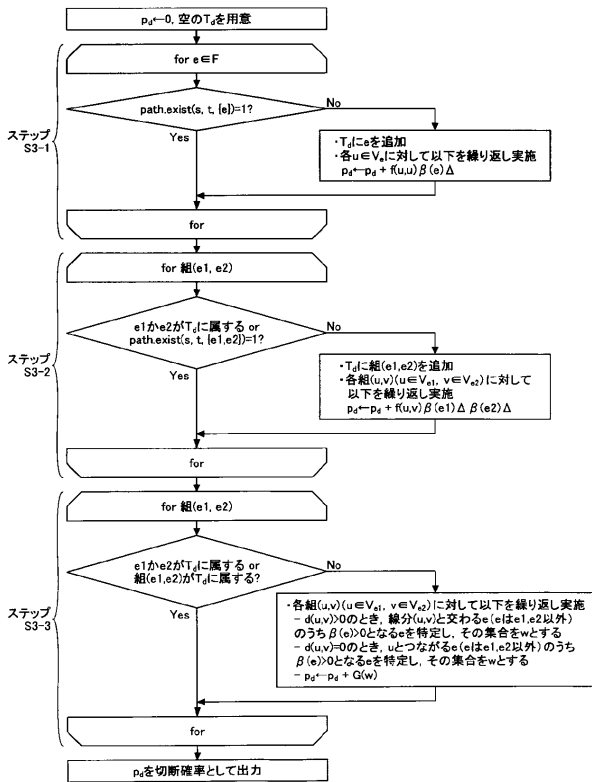
【 図 7 】

uの集合の例を示す図



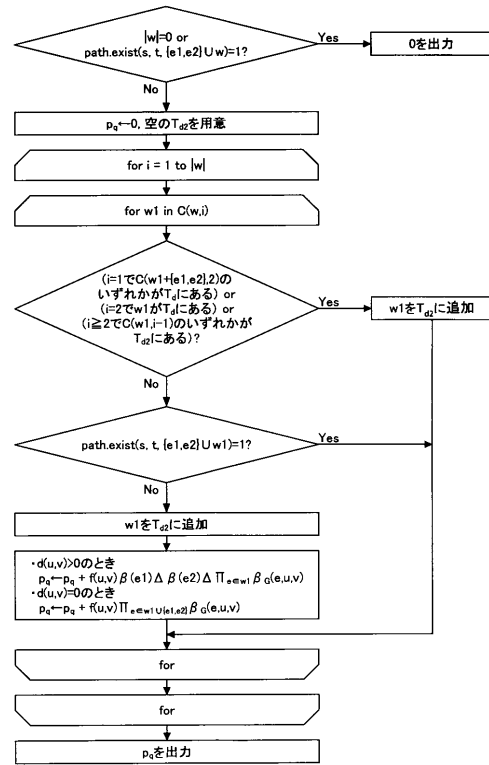
【 図 8 】

切断確率計算手順を示す図



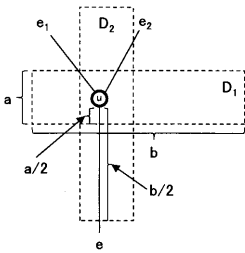
【 図 9 】

切断確率計算手順で用いられる関数 G(w) の計算手順を示す図



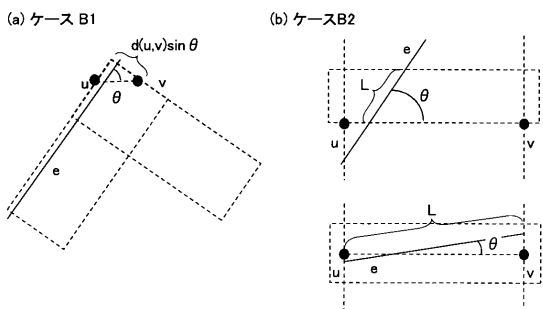
【 図 10 】

点 u を含む被災エリア D とリンクセグメント e が交わる長さの計算を説明するための説明図



【 図 11 】

線分 (u, v) を含む被災エリア D とリンクセグメント e が交わる長さの計算を説明するための説明図



フロントページの続き

(72)発明者 石塚 美加

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5K030 GA12 HC01 MB20 MD07