

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年8月31日(31.08.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/145391 A1

- (51) 国際特許分類:
H04W 40/12 (2009.01) *H04W 92/20* (2009.01)
H04W 84/18 (2009.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/055938
- (22) 国際出願日: 2016年2月26日(26.02.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 近藤 泰二 (KONDO, Taiji); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 酒井 昭徳 (SAKAI, Akinori); 〒1020094 東京都千代田区紀尾井町3番12号 紀尾井町ビル7階 酒井総合特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

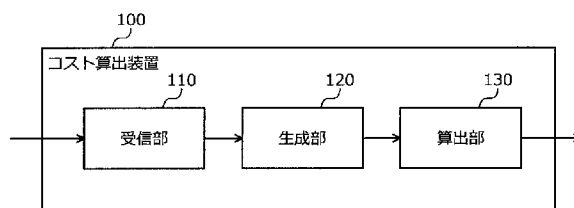
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: COMMUNICATION COST CALCULATION PROGRAM, COMMUNICATION COST CALCULATION DEVICE AND COMMUNICATION COST CALCULATION METHOD

(54) 発明の名称: 通信コスト算出プログラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法



100 Cost calculation device
110 Reception unit
120 Generation unit
130 Calculation unit

(57) Abstract: A reception unit (110) receives quality information indicating communication qualities at a plurality of different times for a plurality of paths from a node thereof to a destination node. A generation unit (120) generates correlation information indicating a time correlation between the respective communication qualities of the plurality of paths on the basis of the quality information received by the reception unit (110). A calculation unit (130) calculates cost information indicating a communication cost from the node thereof to the destination node on the basis of the correlation information generated by the generation unit (120), the communication cost becoming lower as the time correlation becomes lower.

(57) 要約: 受信部 (110) は、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの複数の異なる時間における通信品質を示す品質情報を受信する。生成部 (120) は、受信部 (110) によって受信された品質情報に基づき、複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関を示す相関情報を生成する。算出部 (130) は、生成部 (120) によって生成された相関情報に基づき、自ノードから宛先ノードまでの、時間相関が低いほど低くなる通信コストを示すコスト情報を算出する。



WO 2017/145391 A1

明 細 書

発明の名称：

通信コスト算出プログラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法

技術分野

[0001] 本発明は、通信コスト算出プログラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、無線で接続できる端末同士で構成され、無線LAN（Local Area Network：構内通信網）のアクセスポイントなどがなくても通信を行うことができるアドホックネットワークが知られている。また、アドホックネットワークにおいて、経路ごとに過去の通信コストを蓄積しておき、経路同士の通信コストの時間相関により各経路の優先順位を決定する技術が知られている（たとえば、下記特許文献1参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-66568号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上述した従来技術では、ハローパケットなどによって自ノードから他ノードへ通知する通信コストに、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路におけるルートダイバーシティ効果の大きさを反映させることができない。このため、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制可能なコスト情報を生成することができないという問題がある。

[0005] 1つの側面では、本発明は、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制可能なコスト情報を生成することができる通信コスト算出プログ

ラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法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

[0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するため、本発明の一側面によれば、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの複数の異なる時間における通信品質を示す品質情報を受信し、受信した前記品質情報に基づき、前記複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関を示す相関情報を生成し、生成した前記相関情報に基づき、前記自ノードから前記宛先ノードまでの、前記時間相関が低いほど低くなる通信コストを示すコスト情報を算出する通信コスト算出プログラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法が提案される。

発明の効果

[0007] 本発明の一側面によれば、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制可能なコスト情報を生成することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]図1は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置の一例を示す図である。

[図2]図2は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

[図3]図3は、実施の形態にかかる通信システムの一例を示す図である。

[図4]図4は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置が保持する通信コストリスト群の一例を示す図である。

[図5]図5は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置が有する通信コストリスト群の具体例を示す図である。

[図6]図6は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置が生成する経路順位リストの一例を示す図である。

[図7]図7は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による相関値の算出テーブルの一例を示す図である。

[図8]図8は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による相関値の算出テーブルの更新の一例を示す図である。

[図9]図9は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による平均送信回数の算出対象のマルチホップの一例を示す図である。

[図10]図10は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による平均送信回数の算出対象の冗長経路を有するマルチホップの一例を示す図である。

[図11]図11は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置によるルート選択の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下に図面を参照して、本発明にかかる通信コスト算出プログラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法の実施の形態を詳細に説明する。

[0010] (実施の形態)

(実施の形態にかかる通信コスト算出装置)

図1は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置の一例を示す図である。図1に示すように、実施の形態にかかる通信コスト算出装置100は、受信部110と、生成部120と、算出部130と、を備える。通信コスト算出装置100は、他ノードから受信したデータを宛先ノードへ向けて転送する通信ノードに適用される。

[0011] 受信部110は、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの複数の異なる時間における通信品質を示す品質情報を受信し、受信した品質情報を生成部120へ出力する。品質情報は、ノード間の受信電力、再送回数、エラー率（到達率）などの通信品質を示す情報であってもよいし、これらの通信品質が高い（良好な）ほど低くなるコストを示す情報であってもよい。たとえば、受信部110は、他ノードから定期的または不定期的に送信されるハローパケットに含まれる情報を品質情報として受信する。

[0012] 生成部120は、受信部110から出力された品質情報に基づき、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関を示す相関情報を生成する。相関情報は、一例としては、-1から1の間の実数値

をとる相関値（相関係数）である。この場合に、相関情報の絶対値が大きいほど、経路間で通信品質の相関が強いことを示す。生成部１２０は、生成した相関情報を算出部１３０へ出力する。

[0013] 算出部１３０は、生成部１２０から出力された相関情報に基づき、自ノードから宛先ノードまでの通信コストであって、相関情報が示す時間相関が低いほど低くなる通信コストを示すコスト情報を算出する。相関情報が示す時間相関が低いとは、たとえば相関値が低く類似性の度合いが低いことである。算出部１３０は、算出したコスト情報を出力する。算出部１３０から出力されるコスト情報は、自ノードから宛先ノードまでのデータ送信のコストを示す情報である。

[0014] たとえば、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路には、第１経路および第２経路が含まれているとする。第１経路は、第２経路よりも、自ノードから宛先ノードまでのデータ送信に優先的に使用される経路である。この場合に、算出部１３０は、第１経路によるデータ送信の成功の確率と、第１経路によるデータ送信の失敗を条件とする、第２経路によるデータ送信の成功の事後確率に基づいてコスト情報を算出する。

[0015] 第１経路によるデータ送信の失敗を条件とする、第２経路によるデータ送信の成功の事後確率は、品質情報が示す第１経路と第２経路との間の時間相関に基づいて算出することができる。たとえば、第１経路によるデータ送信の失敗を条件とする、第２経路によるデータ送信の成功の事後確率は、第２経路によるデータ送信の成功の確率を、第１経路と第２経路との間の時間相関に基づいて補正することにより算出することができる。

[0016] このように、実施の形態にかかる通信コスト算出装置１００によれば、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関が低いほど低くなる通信コストを算出することができる。これにより、自ノードから宛先ノードまでの冗長経路におけるルートダイバーシティ効果が高いほど低くなる通信コストを算出することができる。このため、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制可能な通信コストを算出すること

ができる。

[0017] したがって、通信コスト算出装置 100 によって算出された通信コストを他ノードに通知し、他ノードがこの通信コストに基づいて送信先ノードの選択を行うことで、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制することができる。

[0018] また、通信コスト算出装置 100 は、算出部 130 から出力されたコスト情報を、自ノードから宛先ノードまでの通信コストを示す情報（たとえばハローパケット）として他ノードへ送信する送信部を備えていてもよい。これにより、他ノードにおいて、通信コスト算出装置 100 のノードから宛先ノードまでの冗長経路におけるルートダイバーシティ効果が反映された通信コストを用いて、通信コスト算出装置 100 のノードを送信先として評価することが可能になる。

[0019] （実施の形態にかかる通信コスト算出装置のハードウェア構成）

図 2 は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置のハードウェア構成の一例を示す図である。図 1 に示した通信コスト算出装置 100 は、たとえば図 2 に示す通信装置 200 によって実現することができる。通信装置 200 は、CPU 201 と、メモリ 202 と、通信インタフェース 203 と、を備えるコンピュータである。CPU 201、メモリ 202 および通信インタフェース 203 は、バス 209 によって接続される。また、CPU 201 およびメモリ 202 は、マイコンなどにより実現されてもよい。

[0020] CPU 201 (Central Processing Unit) は、通信装置 200 の全体の制御を司る。メモリ 202 には、たとえばメインメモリおよび補助メモリが含まれる。メインメモリは、たとえば RAM (Random Access Memory) である。メインメモリは、CPU 201 のワークエリアとして使用される。補助メモリは、たとえば磁気ディスクやフラッシュメモリなどの不揮発メモリである。補助メモリには、通信装置 200 を動作させる各種のプログラムが記憶されている。補助メモリに記憶されたプログラムは、メインメモリにロードされて CPU 201 によっ

て実行される。

[0021] 通信インタフェース203は、たとえば無線によって通信装置200の外部（たとえば他ノード）との間で通信を行う通信インタフェースである。通信インタフェース203は、CPU201によって制御される。ただし、通信インタフェース203は、無線に限らず、有線の電気信号や光信号などによって通信装置200の外部との間で通信を行う通信インタフェースであってもよい。

[0022] 図1に示した受信部110は、たとえば通信インタフェース203により実現することができる。図1に示した生成部120および算出部130は、たとえば、CPU201およびメモリ202により実現することができる。また、算出部130から出力されたコスト情報を他ノードへ送信する送信部は、たとえば通信インタフェース203により実現することができる。

[0023] （実施の形態にかかる通信システム）

図3は、実施の形態にかかる通信システムの一例を示す図である。図3に示す通信システム300は、ノードA～I、X、Y（ノード301～311）によって構成されるモバイルアドホックネットワークである。ノードA～I、X、Yのそれぞれは、移動通信が可能なモバイル端末である。

[0024] 一例として、図1に示した通信コスト算出装置100をノードAに適用する場合について説明する。この場合に、通信コスト算出装置100は、たとえば、ノードAからノードEまでの通信コストを算出し、算出した通信コストを他ノード（たとえばノードX、Y）へ通知する。

[0025] ノードAからノードEへの経路 $root\#E_i$ （ $i=1, 2, \dots$ ）には、ノードH、Iを経由する経路 $root\#E_1$ と、ノードF、Gを経由する経路 $root\#E_2$ と、ノードB、C、Dを経由する経路 $root\#E_3$ と、が存在する。

[0026] $cost_{R_H}(t_n)$ は、時間 t_n に取得された、経路R（ $R=root\#E_1, root\#E_2, root\#E_3$ ）のホップ数H（ $H=h_1, h_2, \dots$ ）における通信コストを示している。なお、本説明において、上付き文字Bお

よび下付き文字Cを有する記号Aを A^B_C のように表記している。時間 t_n ($n = 1, 2, 3, \dots$)は、離散時間に対応するインデックスであり、たとえば受信部110によって経路ごとの通信コスト（品質情報）が受信された各時刻を示す。

[0027] たとえば、 $\text{cost}^{\text{root}\#E1}_{\text{hop}\#1}(t_n)$ は、時間 t_n に取得された経路 $\text{root}\#E1$ のホップ数 $h1$ （ノードAからノードH）における通信コストを示している。また、 $\text{cost}^{\text{root}\#E1}_{\text{hop}\#2}(t_n)$ は、時間 t_n に取得された経路 $\text{root}\#E1$ のホップ数 $h2$ （ノードHからノードI）における通信コストを示している。また、 $\text{cost}^{\text{root}\#E1}_{\text{hop}\#3}(t_n)$ は、時間 t_n に取得された経路 $\text{root}\#E1$ のホップ数 $h3$ （ノードIからノードE）における通信コストを示している。

[0028] したがって、経路 $\text{root}\#E1$ の全体の通信コスト $\text{COST}^{\text{root}\#E1}$ は、 $\text{cost}^{\text{root}\#E1}_{\text{hop}\#1}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E1}_{\text{hop}\#2}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E1}_{\text{hop}\#3}(t_n)$ となる。同様に、経路 $\text{root}\#E2$ の全体の通信コスト $\text{COST}^{\text{root}\#E2}$ は、 $\text{cost}^{\text{root}\#E2}_{\text{hop}\#1}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E2}_{\text{hop}\#2}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E2}_{\text{hop}\#3}(t_n)$ となる。また、経路 $\text{root}\#E3$ の全体の通信コスト $\text{COST}^{\text{root}\#E3}$ は、 $\text{cost}^{\text{root}\#E3}_{\text{hop}\#1}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E3}_{\text{hop}\#2}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E3}_{\text{hop}\#3}(t_n) + \text{cost}^{\text{root}\#E3}_{\text{hop}\#4}(t_n)$ となる。

[0029] 図3に示す例ではノードAからノードEへの経路として経路 $\text{root}\#E1 \sim \text{root}\#E3$ が存在する場合について説明したが、ノードAからノードEへの経路としてさらに経路 $\text{root}\#E4, \text{root}\#E5, \dots$ が存在していてもよい。

[0030] また、通信システム300がノード間の無線通信によってデータを転送するモバイルアドホックネットワークである場合について説明したが、通信システム300は、このような構成に限らない。たとえば、通信システム300は、ノード間の電気信号通信や光信号通信などの有線通信によってデータを転送するネットワークであってもよい。

[0031] （実施の形態にかかる通信コスト算出装置が保持する通信コストリスト群）

図4は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置が保持する通信コストリスト群の一例を示す図である。ノードAに適用された通信コスト算出装置100は、時間 $t_1 \sim t_n$ における経路ごとの通信コストを受信して蓄積することにより、たとえば図4に示す通信コストリスト411～41nを保持する。

[0032] 通信コストリスト411～41nは、それぞれ時間 $t_1 \sim t_n$ における、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの通信コストを示す。たとえば、通信コスト算出装置100は、それぞれ時間 $t_1 \sim t_n$ において受信部110によって受信された、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの通信品質を示す品質情報に基づいて通信コストリスト411～41nを取得する。

[0033] たとえば、通信コストリスト41nのNo. 1～No. 3のそれぞれは、ノードEを宛先とする各経路の通信コストを示している。すなわち、通信コストリスト41nのNo. 1は、経路root#E1の通信コスト $COST^{root\#E1}(t_n)$ を示している。通信コストリスト41nのNo. 2は、経路root#E2の通信コスト $COST^{root\#E2}(t_n)$ を示している。通信コストリスト41nのNo. 3は、経路root#E3の通信コスト $COST^{root\#E3}(t_n)$ を示している。なお、 $N_{root\#E1} \sim N_{root\#E3}$ は、それぞれ経路root#E1～root#E3の合計ホップ数を示している。

[0034] また、通信コストリスト41nのNo. 4以降に示すように、通信コストリスト41nには、ノードDを宛先とする各経路など、ノードE以外のノードを宛先とする各経路の通信コストが含まれていてもよい。また、通信コストリスト411～413、…も通信コストリスト41nと同様に、ノードAから各ノードへの各経路の通信コストを示している。

[0035] (実施の形態にかかる通信コスト算出装置が有する通信コストリスト群の具体例)

図5は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置が有する通信コストリスト群の具体例を示す図である。ノードEを宛先とする各経路の優先順位の決定について説明する。たとえば、ノードAに適用された通信コスト算出装置

100が、図5に示す通信コストリスト511～516を有しているとする。通信コストリスト511～516は、それぞれ時間 $t_1 \sim t_6$ において受信部110によって受信された品質情報に基づく通信コストリストである。

[0036] 通信コスト算出装置100は、通信コストリスト511～516に基づいて、ノードEを宛先とするデータをノードAが転送する際に使用する経路を、経路 $root \# E1$, $root \# E2$, …の中から選択する。たとえば、通信コスト算出装置100は、通信コストの時間平均が小さい経路ほど優先的に、使用する経路として選択する。また、通信コスト算出装置100は、経路同士の通信コストの時間相関により、使用する複数の経路の優先順位を決定してもよい。そして、通信コスト算出装置100は、選択した経路と、選択した経路の優先順位と、を示す経路順位リストを生成する。

[0037] (経路順位リスト)

図6は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置が生成する経路順位リストの一例を示す図である。図6に示す経路順位リスト600は、図5に示した例において生成される経路順位リストの一例を示している。経路順位リスト600においては、宛先ごとに、各経路が優先順位の順に並べられている。たとえば、経路順位リスト600は、ノードEを宛先とする各経路について、経路 $root \# E1$, $root \# E3$, $root \# E4$, $root \# E2$, …の順に優先順位が高いことを示している。

[0038] ノードAは、経路 $root \# E1$, $root \# E3$, $root \# E4$, $root \# E2$, …の中から、他ノード（たとえばノードX, Y）へ通知するためのノードEへの通信コストに反映させる経路を、優先順位が高い経路を優先的に選択する。ここでは、ノードAは、他ノードへ通知するためのノードEへの通信コストに反映させる経路として経路 $root \# E1$, $root \# E3$, $root \# E4$ （優先順位が高い順に3個の経路）を選択したとする。

[0039] この場合に、ノードAは、他ノードへ通知するためのノードEへの通信コストとして、たとえば、経路 $root \# E1$, $root \# E3$, $root \#$

E 4 の全体を合わせた通信コストを算出する。たとえば、ノード A は、経路 $root \# E 1$, $root \# E 3$, $root \# E 4$ の全体を合わせた通信コスト $E [COST_{root \# E 1, root \# E 3, root \# E 4} (t_n)]$ を、下記 (1) 式によって計算する。

[0040] [数1]

$$\begin{aligned} & E[COST_{root \# E 1, root \# E 3, root \# E 4}(t_n)] \\ &= 10 \times \left[\frac{E[COST_{root \# E 1}(t_n)]}{10} \right. \\ & \quad \times \left\{ \rho(COST_{root \# E 1}(t_n), COST_{root \# E 3}(t_n)) \left(\left(\frac{10}{E[COST_{root \# E 3}(t_n)]} - 1 \right) + 1 \right) \frac{E[COST_{root \# E 3}(t_n)]}{10} \right. \\ & \quad \times \left\{ \rho(COST_{root \# E 1}(t_n), COST_{root \# E 4}(t_n)) \left(\left(\frac{10}{E[COST_{root \# E 4}(t_n)]} - 1 \right) + 1 \right) \right. \\ & \quad \times \left. \left. \frac{E[COST_{root \# E 4}(t_n)]}{10} \right] \right\} \dots (1) \end{aligned}$$

[0041] 上記 (1) 式に示した通信コスト $E [COST_{root \# E 1, root \# E 3, root \# E 4} (t_n)]$ は、経路 $root \# E 1$, $root \# E 3$, $root \# E 4$ の全てにおいてデータ転送に失敗する確率の 10 倍を示す通信コストとしている。 $E [X]$ は、 X の期待値を示している。

[0042] 上記 (1) 式における $E [COST_{root \# E 1} (t_n)]$ は、経路 $root \# E 1$ の通信コスト $COST_{root \# E 1}$ の時間平均を示す。図 5 に示した例では、 $E [COST_{root \# E 1} (t_n)]$ は下記 (2) 式に示すように 0.5 になる。

[0043] [数2]

$$E[COST_{root \# E 1}(t_n)] = \frac{1}{6}(1+0+1+0+0+1) = 0.5 \quad \dots (2)$$

[0044] 上記 (1) 式における $E [COST_{root \# E 3} (t_n)]$ は、経路 $root \# E 3$ の通信コスト $COST_{root \# E 3}$ の時間平均を示す。図 5 に示した例では、 $E [COST_{root \# E 3} (t_n)]$ は下記 (3) 式に示すように 1.5 になる。

[0045] [数3]

$$E[COST_{root \# E 3}(t_n)] = \frac{1}{6}(3+0+0+3+3+0) = 1.5 \quad \dots (3)$$

[0046] 上記 (1) 式における $E [COST_{root \# E 4} (t_n)]$ は、経路 $root \# E 4$ の通信コスト $COST_{root \# E 4}$ の時間平均を示す。図 5 に示した例では、 $E [C$

$\text{OST}_{\text{root}\#E4}(t_n)$] は下記 (4) 式に示すように 2 になる。

[0047] [数4]

$$E[\text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n)] = \frac{1}{6}(4+0+0+4+0+4) = 2 \quad \dots(4)$$

[0048] 上記 (1) 式における $\rho(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n))$ は、経路 $\text{root}\#E1$ の通信コスト $\text{COST}_{\text{root}\#E1}$ と、経路 $\text{root}\#E3$ の通信コスト $\text{COST}_{\text{root}\#E3}$ と、の間の相関値である。図 5 に示した例では、 $\rho(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n))$ は、下記 (5) 式に示すように 0.333 になる。

[0049] [数5]

$$\begin{aligned} \rho(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n)) &= \frac{E[(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n))(\text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n))]}{\sqrt{E[(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n))^2]E[(\text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n))^2]}} \\ &= \frac{\frac{1}{6}(1 \times 3 + 0 \times 0 + 1 \times 0 + 0 \times 3 + 0 \times 3 + 1 \times 0)}{\sqrt{\frac{1}{6}(1^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2) \times \frac{1}{6}(3^2 + 0^2 + 0^2 + 3^2 + 3^2 + 0^2)}} = 0.333 \quad \dots(5) \end{aligned}$$

[0050] 上記 (1) 式における $\rho(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n))$ は、経路 $\text{root}\#E1$ の通信コスト $\text{COST}_{\text{root}\#E1}$ と、経路 $\text{root}\#E4$ の通信コスト $\text{COST}_{\text{root}\#E4}$ と、の間の相関値である。図 5 に示した例では、 $\rho(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n))$ は、下記 (6) 式に示すように 0.666 になる。

[0051] [数6]

$$\begin{aligned} \rho(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n)) &= \frac{E[(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n))(\text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n))]}{\sqrt{E[(\text{COST}_{\text{root}\#E1}(t_n))^2]E[(\text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n))^2]}} \\ &= \frac{\frac{1}{6}(1 \times 4 + 0 \times 0 + 1 \times 0 + 0 \times 4 + 0 \times 0 + 1 \times 4)}{\sqrt{\frac{1}{6}(1^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2) \times \frac{1}{6}(4^2 + 0^2 + 0^2 + 4^2 + 0^2 + 4^2)}} = 0.666 \quad \dots(6) \end{aligned}$$

[0052] 上記 (1) 式における $\rho(\text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n))$ は、経路 $\text{root}\#E3$ の通信コスト $\text{COST}_{\text{root}\#E3}$ と、経路 $\text{root}\#E4$ の通信コスト $\text{COST}_{\text{root}\#E4}$ と、の間の相関値である。図 5 に示した例では、 $\rho(\text{COST}_{\text{root}\#E3}(t_n), \text{COST}_{\text{root}\#E4}(t_n))$ は 0.666 になる。

[0053] したがって、上記（１）式に示す通信コスト $E [COST_{root\#E1, root\#E3, root\#E4} (t_n)]$ は、下記（７）式に示すように 0.1201 になる。この場合は、ノード A は、ノード A からノード E への通信コストとして 0.1201 を他ノード（たとえばノード X, Y）へ通知する。

[0054] [数7]

$$10 \times \left[\frac{0.5}{10} \times \left\{ \left| 0.333 \left| \left(\frac{10}{1.5} - 1 \right) + 1 \right| \right\} \frac{1.5}{10} \times \left\{ \left| 0.666 \left| \left(\frac{10}{2} - 1 \right) + 1 \right| \right\} \frac{2}{10} \right] \right. \\ \left. = 0.1201 \quad \dots (7) \right.$$

[0055] 上記（７）式の通信コスト（0.1201）は、たとえば優先順位が最も高い経路 $root\#E1$ においてデータ転送に失敗する確率の 10 倍（0.5）よりも小さい、すなわち有利なコストになる。これは、上記（７）式の通信コスト（0.1201）に、経路 $root\#E1$ においてデータ転送に失敗しても、冗長経路である経路 $root\#E2$ または経路 $root\#E4$ によりデータ転送に成功する可能性が加味されているためである。このように、実施の形態にかかる通信コスト算出装置 100 によれば、経路間の相関値を用いて、冗長経路の効果の大きさを加味した通信コストを算出することができる。

[0056] たとえば、経路 $root\#E1$, $root\#E3$, $root\#E4$ の中に、物理的に遠く、それにより通信品質の時間相関も互いに小さい各経路が含まれている場合は、ノード A からノード E への転送におけるルートダイバーシティ効果が大きい状況である。このような状況においては、上述した上記（１）式の相関値が小さくなり、より低い通信コストを算出することができる。このため、ノード E を宛先とするデータを転送先としてノードが選択されやすくなることができる。仮に、経路 $root\#E1$, $root\#E3$, $root\#E4$ の相関値を 0 とすると、上記（７）式の通信コストは、0.0150 となる。

[0057] また、経路 $root\#E1$, $root\#E3$, $root\#E4$ の全てが物理的に近く、それにより通信品質の時間相関も互いに大きい場合は、ノード A からノード E への転送におけるルートダイバーシティ効果が小さい状況で

ある。このような状況においては、上述した上記（１）式の相関値が大きくなり、より高い通信コストを算出することができる。このため、ノードEを宛先とするデータを転送先としてノードを選択することを抑制することができる。仮に、経路 $root \# E1$, $root \# E3$, $root \# E4$ の各組み合わせの相関値を１とすると、上記（７）式の通信コストは、経路 $root \# E1$ においてデータ転送に失敗する確率の１０倍と同じ０．５になる。

[0058] 図５の通信コストリスト５１１～５１６を例に説明したが、上述した通信コストの時間平均は、忘却平均を用いて算出してもよい。また、上記（１）式に基づく通信コストの算出は一例であり、通信コスト算出装置１００が算出する通信コストは、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関が低いほど低くなる通信コストであればよい。

[0059] （実施の形態にかかる通信コスト算出装置による相関値の算出テーブル）

図７は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による相関値の算出テーブルの一例を示す図である。ノードAに適用された通信コスト算出装置１００は、たとえば、図７に示すテーブル７００のように、ノードAのLD（Local Destination）の組み合わせごとに相関値を算出する。LDは、アドホック転送においてノードAがデータを直接送信する送信先ノードである。

[0060] 図７に示す例では、ノードAにはLDとして４個のLD１～LD４が設定されている。LD１～LD４は、たとえば図６に示した経路順位リスト６００のNo．１～No．４である。LD１が最も優先順位が高いLDであり、次いでLD２、LD３の順に優先順位が高いLDであり、LD４が最も優先順位が低いLDである。

[0061] 図７に示す例では、LD１～LD４はそれぞれノードa～dである。品質d１～d４は、それぞれLD１～LD４に対応するノードの通信品質であり、たとえば上述した通信コストの時間平均である。

[0062] たとえば、通信コスト算出装置１００は、LD１であるノードaの経路と、LD２であるノードbの経路と、の間の通信コストの時間相関として ρ （

a, b) を算出する。また、通信コスト算出装置 100 は、LD2 であるノード b の経路と、LD3 であるノード c の経路と、の間の通信コストの時間相関として $\rho(b, c)$ を算出する。また、通信コスト算出装置 100 は、LD1 であるノード a の経路と、LD3 であるノード c の経路と、の間の通信コストの時間相関として $\rho(a, c)$ を算出する。

[0063] また、通信コスト算出装置 100 は、全ての LD の組み合わせについて相関値を算出しなくてもよい。たとえば、優先順位が最も低い LD4 は、入れ替えが頻発すると考えられる。このため、図 7 に示すように、通信コスト算出装置 100 は、LD4 を含む組み合わせについては相関値を算出しないようにしてもよい。

[0064] (実施の形態にかかる通信コスト算出装置による相関値の算出テーブルの更新)

図 8 は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による相関値の算出テーブルの更新の一例を示す図である。ノード A における LD1 ~ LD4 は、ノード A と、ノード A の周辺のノードと、の間の通信品質に応じて変更される。図 8 に示す例では、ノード A の LD2 がノード c になり、ノード A の LD3 がノード b になっている。これに対して、通信コスト算出装置 100 はテーブル 700 の相関値を追従させる。

[0065] たとえば、通信コスト算出装置 100 は、LD1 であるノード a の経路と、LD2 であるノード c の経路と、の間の通信コストの時間相関として $\rho(a, c)$ を算出する。また、通信コスト算出装置 100 は、LD2 であるノード c の経路と、LD3 であるノード b の経路と、の間の通信コストの時間相関として $\rho(b, c)$ を算出する。また、通信コスト算出装置 100 は、LD1 であるノード a の経路と、LD3 であるノード b の経路と、の間の通信コストの時間相関として $\rho(a, b)$ を算出する。

[0066] たとえば、通信コスト算出装置 100 は、ある時刻における品質情報を受信するごとに、テーブル 700 を更新する。そして、通信コスト算出装置 100 は、他ノード (たとえば X, Y) へのハローパケットの送信契機ごとに

、テーブル700に基づいて、上記（1）式に基づく通信コストを算出し、算出した通信コストを格納したハロー packets を他ノードへ送信する。

[0067] （スケール性能の評価）

パケットを最終宛先（たとえばノードE）まで到達させるために要する送信回数を求めて、その大小をスケール性能の評価基準とする場合について説明する。まず、1ホップリンクの平均送信回数について説明する。再送のある1ホップリンクにおいてt回目に送信が成功する確率は、下記（8）式により表すことができる。

[0068] [数8]

$$P_{N(i),N(0)}^{\alpha=t} = (P_e(N_i, N_0))^{t-1} (1 - P_e(N_i, N_0)) \quad \dots(8)$$

[0069] 上記（8）式における $P_e(N_i, N_j)$ はノード N_i からノード N_j へのパケットエラー率である。すなわち、ノード N_i からノード N_j への送信がt回目に成功する確率は、ノード N_i からノード N_j へのt-1回目の送信に失敗する確率と、ノード N_i からノード N_j へのt回目の送信に成功する確率と、の乗算により得られる。

[0070] たとえばノード N_i からノード N_j への送信における最大再送回数を3とすると、1ホップの送信成功に要する平均送信回数は、期待値の公式より下記（9）式により表すことができる。

[0071] [数9]

$$E[N_{N(0)}^{\alpha}] = \sum_{t=1}^{\infty} t (P_e(N_i, N_0))^{t-1} (1 - P_e(N_i, N_0)) \quad \dots(9)$$

[0072] つぎに、マルチホップの平均総送信回数について説明する。

[0073] （実施の形態にかかる通信コスト算出装置による平均送信回数の算出対象のマルチホップ）

図9は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による平均送信回数の算出対象のマルチホップの一例を示す図である。図9に示すノード900～90R（ $N_0 \sim N_R$ ）は、マルチホップ経路上の各ノードである。ノード900は、マルチホップ経路の最後のノード（GD: Global Destination）

tion) である。ノード 901, 902, ... は、マルチホップ経路の最後から 2 番目、3 番目... のノードである。ノード 90R は、マルチホップ経路の最初のノード (GS: Global Source) である。

[0074] $E[N_{N(1)}^{tx}]$ は、ノード 901 からノード 900 への送信における平均送信回数である。 $E[N_{N2}^{tx}]$ は、ノード 902 からノード 901 への送信における平均送信回数である。 $E[N_{N(R)}^{tx}]$ は、ノード 90R からノード 90R のつぎのノードへの送信における平均送信回数である。

[0075] パケットを送信元 (たとえばノード A) から最終宛先 (たとえばノード E) へ到達させるために要する平均総送信回数は、たとえば下記 (10) 式に示すように、各ホップの転送に要する平均送信回数を積算することによって算出することができる。

[0076] [数10]

$$C_{N(R)}^{Route} = \sum_{r=1}^R E[N_{N(r)}^{tx}] \quad \dots(10)$$

[0077] 上記 (10) 式に示す平均総送信回数を最小にするよう経路構築することでスケール性能を向上させることができる。

[0078] (リカバリ経路の評価)

マルチホップ転送において、転送失敗時にはリカバリ経路による再送が実施される。一例としては、ノード A は、上述した経路 root # E1, root # E3, root # E4 を有し、まず経路 root # E1 によりパケットを転送する。そして、ノード A は、経路 root # E1 の経路障害が発生した場合は迂回経路として経路 root # E3 を用いてパケットを転送する。また、経路 root # E3 の経路障害が発生した場合は迂回経路として経路 root # E4 を用いてパケットを転送する。このようなりカバリ経路によるルートダイバーシティ効果を考慮して経路を評価し、評価結果を経路構築に反映させる。

[0079] つぎに、マルチホップ経路全体の到達率について説明する。

[0080] (実施の形態にかかる通信コスト算出装置による平均送信回数の算出対象の

冗長経路を有するマルチホップ)

図10は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置による平均送信回数の算出対象の冗長経路を有するマルチホップの一例を示す図である。図10に示すノード1010 ($N_{x,0}$) は、マルチホップ経路の最後のノード (GD) である。ノード1021 ($N_{1,r}$) は、経路R1における、マルチホップ経路の最後から $r+1$ 番目のノードである。ノード1022 ($N_{2,r}$) は、経路R2における、マルチホップ経路の最後から $r+1$ 番目のノードである。ノード1023 ($N_{3,r}$) は、経路R3における、マルチホップ経路の最後から $r+1$ 番目のノードである。ノード1030 ($N_{1,r+1}$) は、マルチホップ経路の最後から $r+2$ 番目のノードである。ノード1040 ($N_{x,R}$) は、マルチホップ経路の最初のノード (GS) である。

[0081] まず、経路R1における経路全体の到達率について説明する。ノード1030 ($N_{1,r+1}$) において集まる平均総送信回数の情報より、1ホップあたりの平均送信回数は下記(11)式のように算出することができる。ここで、 $r+1$ は、ノード1030 ($N_{1,r+1}$) からノード1010 ($N_{x,0}$) までのホップ数である。下記(11)式における $C_{N(1,r)}^{\text{Route}}$ は、ノード1030 ($N_{1,r+1}$) において集まる平均総送信回数の情報が示す、上記(10)式に示した平均総送信回数である。

[0082] [数11]

$$\tilde{N}_{N(1,x)}^{\text{tx}} = \frac{C_{N(1,r)}^{\text{Route}}}{r+1} \quad \dots(11)$$

[0083] 平均送信回数と平均パケット到達率は、下記(12)式に示す関係にあり、平均パケット到達率は下記(13)式によって表すことができる。下記(12)式において、 $P_a(N_i, N_j)$ はノード N_i からノード N_j へのパケット到達率である。

[0084] [数12]

$$\tilde{N}_{N(1,x)}^{\text{tx}} = \frac{1}{\tilde{P}_a(N_{1,x+1}, N_{1,x})} \quad \dots(12)$$

[0085]

[数13]

$$\tilde{P}_a(N_{1,x+1}, N_{1,x}) = \frac{1}{\tilde{N}_{N(1,x)}} = \frac{r+1}{C_{N(1,r)}^{Route}} \quad \dots(13)$$

[0086] 上記（１３）式によって得られた平均パケット到達率とホップ数の指数関数として経路 R 1 の全体の到達率が下記（１４）式のように表される。

[0087] [数14]

$$P_a^{Route}(N_{1,r}) = (\tilde{P}_a(N_{1,x+1}, N_{1,x}))^{r+1} = (1 - \tilde{P}_e(N_{1,x+1}, N_{1,x}))^{r+1} = \left(\frac{r+1}{C_{N(1,r)}^{Route}} \right)^{r+1} \quad \dots(14)$$

[0088] 経路 R 2, R 3 の全体の到達率も同様に、それぞれ下記（１５）式および下記（１６）式によって表される。

[0089] [数15]

$$P_a^{Route}(N_{2,r}) = (\tilde{P}_a(N_{2,x+1}, N_{2,x}))^{r+1} = (1 - \tilde{P}_e(N_{2,x+1}, N_{2,x}))^{r+1} = \left(\frac{r+1}{C_{N(2,r)}^{Route}} \right)^{r+1} \quad \dots(15)$$

[0090] [数16]

$$P_a^{Route}(N_{3,r}) = (\tilde{P}_a(N_{3,x+1}, N_{3,x}))^{r+1} = (1 - \tilde{P}_e(N_{3,x+1}, N_{3,x}))^{r+1} = \left(\frac{r+1}{C_{N(3,r)}^{Route}} \right)^{r+1} \quad \dots(16)$$

[0091] つぎに、冗長経路を考慮した平均総送信回数の合成について説明する。経路ごとの平均総送信回数をその到達率を用いて合成し、冗長経路を持つノード 1 0 3 0 ($N_{1,r+1}$) からノード 1 0 1 0 ($N_{x,0}$) までの平均総送信回数は下記（１７）式により表される。これにより、冗長経路の効果を評価し、その評価結果を経路構築に反映させることができる。

[0092] [数17]

$$C_{N(1,r+1)}^{Route} = P_a^{Route}(N_{1,r}) C_{N(1,r)}^{Route} + P_a^{Route}(N_{2,r}) (1 - P_a^{Route}(N_{1,r})) (C_{N(1,r)}^{Route} + C_{N(2,r)}^{Route}) + P_a^{Route}(N_{3,r}) (1 - P_a^{Route}(N_{2,r})) (1 - P_a^{Route}(N_{1,r})) (C_{N(1,r)}^{Route} + C_{N(2,r)}^{Route} + C_{N(3,r)}^{Route}) \quad \dots(17)$$

[0093] 上記（１７）式において、 $P_a^{Route}(N_{2,r}) (1 - P_a^{Route}(N_{1,r}))$ は、経路 R 1 の失敗後の経路 R 2 の到達率である。 $P_a^{Route}(N_{3,r}) (1 - P_a^{Route}(N_{2,r})) (1 - P_a^{Route}(N_{1,r}))$ は、経路 R 1 および経路 R 2 の失敗後の経路 R 3 の到達率である。

[0094] (経路の多様性評価)

G S から G D までに複数の経路があり、これらの各経路が物理的に近接していると、エラーの発生に関して各経路の間で高い相関が予想され、冗長化によるルートダイバーシティ効果を十分に得られない場合がある。このため、経路間の多様性を評価してリカバリ経路の有用性を評価する。

[0095] まず、事後確率によるパケットエラー率について説明する。リカバリ経路のパケットエラー率を、優先経路のエラー発生後の事後確率として定義し、経路の多様性を考慮に入れる。たとえば、通信コスト算出装置 100 は、平均総送信回数を下記 (18) 式により算出する。

[0096] [数18]

$$C_{N(1,r)+1}^{Route} = P_a^{Route}(N_{1,r})C_{N(1,r)}^{Route} + P_a^{Route}(N_{2,r} | \overline{N_{1,r}})(1 - P_a^{Route}(N_{1,r}))(C_{N(1,r)}^{Route} + C_{N(2,r)}^{Route}) \\ + P_a^{Route}(N_{3,r} | \overline{N_{1,r}} \cap \overline{N_{2,r}})(1 - P_a^{Route}(N_{2,r} | \overline{N_{1,r}}))(1 - P_a^{Route}(N_{1,r}))(C_{N(1,r)}^{Route} + C_{N(2,r)}^{Route} + C_{N(3,r)}^{Route}) \quad \dots(18)$$

[0097] 上記 (18) 式は、上記 (17) 式において、経路 R 2 の到達率および経路 R 3 の到達率を事後確率とした式である。すなわち、上記 (18) 式における $P_a^{Route}(N_{2,r} | \overline{N_{1,r}})$ は、経路 R 1 において転送に失敗したことを条件とする事後確率による経路 R 2 の到達率である。なお、本説明において、オーバーラインが付いた記号 A を $\overline{A}$ と表記している。 $P_a^{Route}(N_{3,r} | \overline{N_{1,r}} \cap \overline{N_{2,r}})$ は、経路 R 1 および経路 R 2 において転送に失敗したことを条件とする事後確率による経路 R 3 の到達率である。

[0098] 上記 (18) 式における事後確率の部分を事前に観測可能な相関値によって表現することで、経路品質重みとして利用できる。まず、経路 R 2 の事後確率による到達率について説明する。

[0099] 経路 R 1 と経路 R 2 とが互いに無相関で独立の場合は、経路 R 2 の事後確率による到達率は、下記 (19) 式のようにになる。

[0100] [数19]

$$P_a^{Route}(N_{2,r} | \overline{N_{1,r}}) = P_a^{Route}(N_{2,r}) \quad \dots(19)$$

[0101] 経路 R 1 と経路 R 2 とが互いに相関が高く独立でない場合は、経路 R 2 の

事後確率による到達率は、下記（２０）式ようになる。

[0102] [数20]

$$P_a^{\text{Route}}(N_{2,r} | \bar{N}_{1,r}) = 0 \quad \dots(20)$$

[0103] 以上より、経路 R 2 の事後確率による到達率は、下記（２１）式のように定義することができる。下記（２１）式において、 $\rho(N_{1,r}, N_{2,r})$ は、経路 R 1 と経路 R 2 の間のエラー率の相関（時間相関）である。

[0104] [数21]

$$P_a^{\text{Route}}(N_{2,r} | \bar{N}_{1,r}) = P_a^{\text{Route}}(N_{2,r}) (1 - |\rho(N_{1,r}, N_{2,r})|) \quad \dots(21)$$

[0105] つぎに、経路 R 3 の事後確率による到達率について説明する。

[0106] 経路 R 1 と経路 R 2 と経路 R 3 とが互いに無相関で独立の場合は、経路 R 3 の事後確率による到達率は、下記（２２）式ようになる。

[0107] [数22]

$$P_a^{\text{Route}}(N_{3,r} | \bar{N}_{1,r} \cap \bar{N}_{2,r}) = P_a^{\text{Route}}(N_{3,r}) \quad \dots(22)$$

[0108] 経路 R 1 と経路 R 2 と経路 R 3 とが互いに相関が高く独立でない場合は、経路 R 3 の事後確率による到達率は、下記（２３）式ようになる。

[0109] [数23]

$$P_a^{\text{Route}}(N_{3,r} | \bar{N}_{1,r} \cap \bar{N}_{2,r}) = 0 \quad \dots(23)$$

[0110] 以上より、経路 R 3 の事後確率による到達率は、下記（２４）式のように定義することができる。下記（２４）式において、 $\rho(N_{1,r}, N_{3,r})$ は、経路 R 1 と経路 R 3 の間のエラー率の相関（時間相関）である。 $\rho(N_{2,r}, N_{3,r})$ は、経路 R 2 と経路 R 3 の間のエラー率の相関（時間相関）である。

[0111] [数24]

$$P_a^{\text{Route}}(N_{3,r} | \bar{N}_{1,r} \cap \bar{N}_{2,r}) = P_a^{\text{Route}}(N_{3,r}) (1 - |\rho(N_{1,r}, N_{3,r})| |\rho(N_{2,r}, N_{3,r})|) \quad \dots(24)$$

[0112] したがって、通信コスト算出装置 100 は、たとえば上記（１８）式、上記（２１）式および上記（２４）式を用いることで、自ノードから宛先ノードまでの冗長経路におけるルートダイバーシティ効果が大きいほど低い通信

コストを算出することができる。

[0113] たとえば、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路のうちの優先順位が最も高い経路を主経路、残りの経路を迂回経路とすると、複数の経路全体の到達率は、たとえば下記（２５）式により算出することができる。

[0114] [数25]

$$\begin{aligned} & \text{経路全体の到達率} \\ & = \text{主経路の到達率} + (1 - \text{経路間の相関}) \times \text{迂回経路の到達率} \quad \dots(25) \end{aligned}$$

[0115] そして、上記（２５）式における経路間の相関は、たとえば下記（２６）式により算出することができる。

[0116] [数26]

$$\text{経路間の相関} = \sum_{i=0}^{\infty} (\text{主経路の到達率} \times \text{迂回経路の到達率}) \quad \dots(26)$$

[0117] すなわち、主経路がエラーになった場合に迂回経路がエラーとなる確率を相関によって算出することで、迂回経路の到達率向上の効果を考慮した経路全体の到達率を求めることができる。

[0118] （実施の形態にかかる通信コスト算出装置によるルート選択）

図１１は、実施の形態にかかる通信コスト算出装置によるルート選択の一例を示す図である。図１１に示す通信システム１１００は、ノード１１０１～１１１３，１１２０によって構成されるモバイルアドホックネットワークである。ノード１１０１～１１１３，１１２０のそれぞれは、移動通信が可能なモバイル端末である。

[0119] たとえば、通信コスト算出装置１００をノード１１０２，１１１０のそれぞれに適用し、ノード１１０２，１１１０が、ノード１１２０を宛先（ＧＤ）とする通信コストをノード１１０１へ通知する場合について説明する。図１１に示す例では、ノード１１０２とノード１１２０との間には多くの冗長経路がある。一方、ノード１１１０とノード１１２０との間には冗長経路が少ない。

[0120] このような場合に、たとえば、ノード１１０２に適用された通信コスト算

出装置１００は、ノード１１０１へ通知する通信コストとして比較的低い通信コストを算出する。また、ノード１１１０に適用された通信コスト算出装置１００は、ノード１１０１へ通知する通信コストとして比較的高い通信コストを算出する。これにより、ノード１１０１において、ノード１１２０を宛先とするデータのノード１１０１からの送信先について、ノード１１１０よりもノード１１０２が選択されやすくなる。

[0121] また、通信コスト算出装置１００は、複数の経路の間の通信品質の相関に応じたルートダイバーシティ効果を、ノード１１０１へ通知する通信コストに反映させることができる。たとえば、ノード１１０２とノード１１２０との間に多くの冗長経路があっても、ノード１１０２とノード１１２０との間の複数の経路の間の通信品質の相関が強い場合は、ノード１１０２とノード１１２０との間のルートダイバーシティ効果は小さくなる。この場合は、ノード１１０２に適用された通信コスト算出装置１００は、ノード１１０１へ通知する通信コストとして比較的高い通信コストを算出することができる。

[0122] このように、実施の形態にかかる通信コスト算出装置１００によれば、自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関が低いほど低くなる通信コストを算出することができる。これにより、自ノードから宛先ノードまでの冗長経路におけるルートダイバーシティ効果が高いほど低くなる通信コストを算出することができる。このため、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制可能な通信コストを算出することができる。

[0123] 以上説明したように、通信コスト算出プログラム、通信コスト算出装置および通信コスト算出方法によれば、ネットワーク状況の時間変動に起因する送信異常を抑制可能なコスト情報を生成することができる。

[0124] なお、本実施の形態で説明した通信コスト算出方法は、予め用意されたプログラムをパーソナル・コンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することにより実現することができる。このプログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＭＯ、ＤＶＤ等のコンピ

ュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行される。CD-ROMはCompact Disc-Read Only Memoryの略である。MOはMagneto Optical diskの略である。DVDはDigital Versatile Discの略である。またこのプログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布することが可能な伝送媒体であってもよい。

符号の説明

- [0125] 1 0 0 通信コスト算出装置
- 1 1 0 受信部
- 1 2 0 生成部
- 1 3 0 算出部
- 2 0 0 通信装置
- 2 0 1 CPU
- 2 0 2 メモリ
- 2 0 3 通信インタフェース
- 2 0 9 バス
- 3 0 0, 1 1 0 0 通信システム
- 3 0 1 ~ 3 1 1, 9 0 0 ~ 9 0 R, 1 0 1 0, 1 0 2 1 ~ 1 0 2 3, 1 0
- 3 0, 1 0 4 0, 1 1 0 1 ~ 1 1 1 3, 1 1 2 0 ノード
- 4 1 1 ~ 4 1 n, 5 1 1 ~ 5 1 6 通信コストリスト
- 6 0 0 経路順位リスト
- 7 0 0 テーブル

請求の範囲

- [請求項1] 自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの複数の異なる時間における通信品質を示す品質情報を受信し、
- 受信した前記品質情報に基づき、前記複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関を示す相関情報を生成し、
- 生成した前記相関情報に基づき、前記自ノードから前記宛先ノードまでの、前記時間相関が低いほど低くなる通信コストを示すコスト情報を算出する、
- 処理をコンピュータに実行させることを特徴とする通信コスト算出プログラム。
- [請求項2] 前記コスト情報を算出する処理は、前記複数の経路に含まれる第1経路によるデータ送信の成功の確率と、前記第1経路によるデータ送信の失敗を条件とする、前記複数の経路に含まれ前記第1経路と異なる第2経路によるデータ送信の成功の事後確率であって、前記第1経路と前記第2経路との間の前記時間相関に基づく事後確率と、に基づいて前記コスト情報を算出する処理であることを特徴とする請求項1に記載の通信コスト算出プログラム。
- [請求項3] 前記事後確率は、前記第2経路によるデータ送信の成功の確率を、前記第1経路と前記第2経路との間の前記時間相関に基づき補正した確率であることを特徴とする請求項2に記載の通信コスト算出プログラム。
- [請求項4] 算出した前記コスト情報を他ノードへ送信する処理を前記コンピュータに実行させることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の通信コスト算出プログラム。
- [請求項5] 自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの複数の異なる時間における通信品質を示す品質情報を受信する受信部と、
- 前記受信部によって受信された前記品質情報に基づき、前記複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関を示す相関情報を生成する生成

部と、

前記生成部によって生成された前記関連情報に基づき、前記自ノードから前記宛先ノードまでの、前記時間相関が低いほど低くなる通信コストを示すコスト情報を算出する算出部と、

を備えることを特徴とする通信コスト算出装置。

[請求項6]

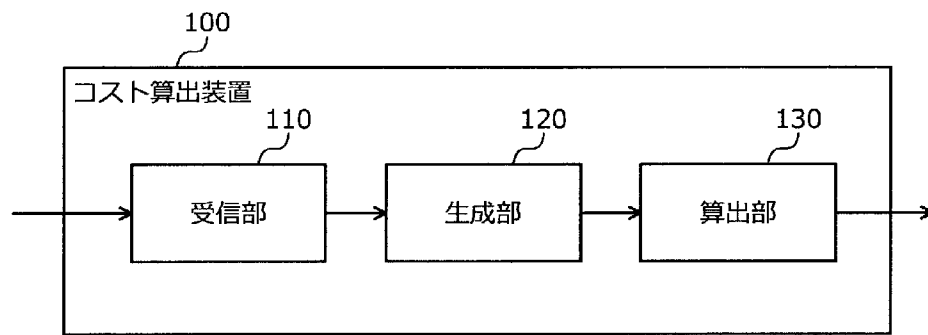
自ノードから宛先ノードまでの複数の経路それぞれの複数の異なる時間における通信品質を示す品質情報を受信し、

受信した前記品質情報に基づき、前記複数の経路それぞれの通信品質間の時間相関を示す関連情報を生成し、

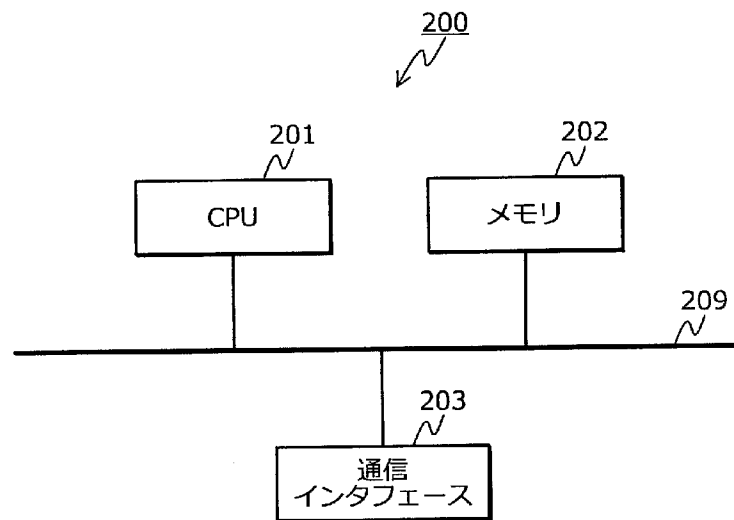
生成した前記関連情報に基づき、前記自ノードから前記宛先ノードまでの、前記時間相関が低いほど低くなる通信コストを示すコスト情報を算出する、

ことを特徴とする通信コスト算出方法。

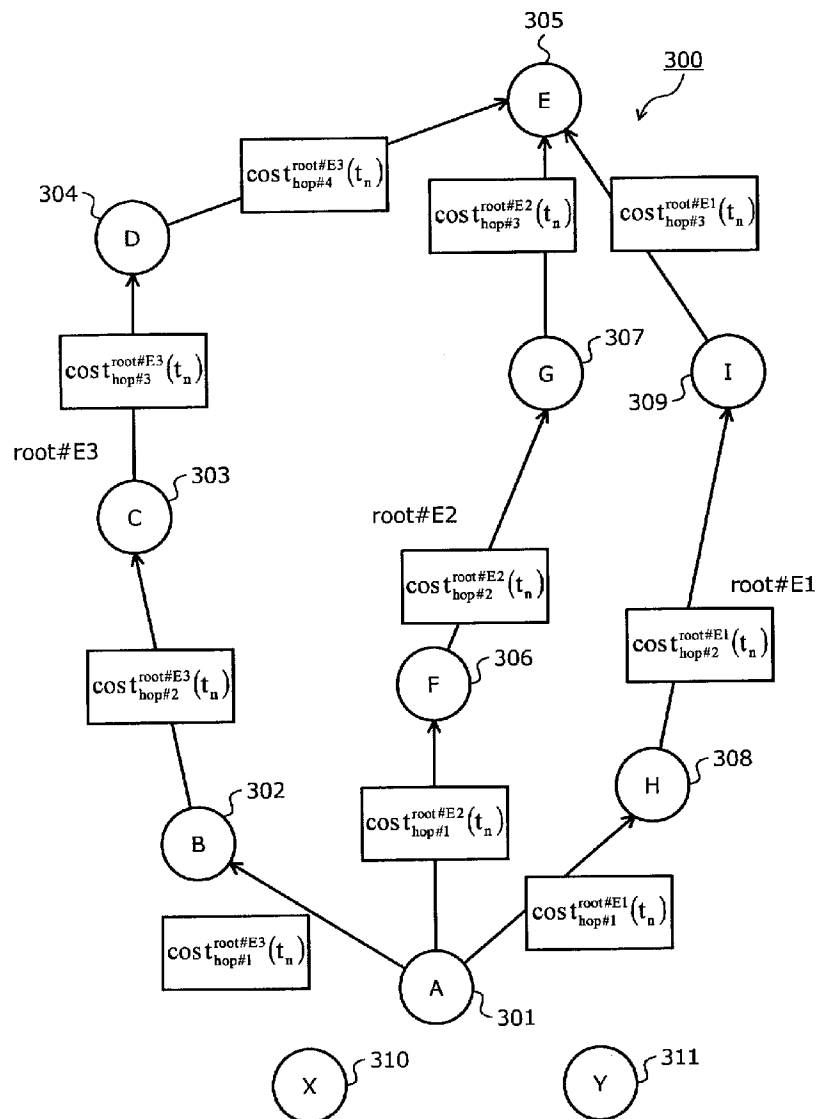
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

No.	宛先	通信コスト	41n
1	E	$\text{COST}^{\text{root\#E1}}(t_n) = \sum_{j=1}^{N_{\text{root\#E1}}} \text{cost}_{\text{hop\#j}}^{\text{root\#E1}}(t_n)$	413
2	E	$\text{COST}^{\text{root\#E2}}(t_n) = \sum_{j=1}^{N_{\text{root\#E2}}} \text{cost}_{\text{hop\#j}}^{\text{root\#E2}}(t_n)$	412
3	E	$\text{COST}^{\text{root\#E3}}(t_n) = \sum_{j=1}^{N_{\text{root\#E3}}} \text{cost}_{\text{hop\#j}}^{\text{root\#E3}}(t_n)$	411
4	D	$\text{COST}^{\text{root\#D1}}(t_n) = \sum_{j=1}^{N_{\text{root\#D1}}} \text{cost}_{\text{hop\#j}}^{\text{root\#D1}}(t_n)$	
⋮	⋮	⋮	

[図5]

511		
No.	宛先	通信コスト
1	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E1}(t_1) = 1$
2	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_1) = 2$
3	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E3}(t_1) = 3$
4	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E4}(t_1) = 4$
:	:	:

512		
No.	宛先	通信コスト
1	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E1}(t_2) = 0$
2	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_2) = 0$
3	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E3}(t_2) = 0$
4	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E4}(t_2) = 0$
:	:	:

513		
No.	宛先	通信コスト
1	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E1}(t_3) = 1$
2	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_3) = 2$
3	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_3) = 0$
4	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E4}(t_3) = 0$
:	:	:

514		
No.	宛先	通信コスト
1	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E1}(t_4) = 0$
2	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_4) = 0$
3	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E3}(t_4) = 3$
4	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E4}(t_4) = 4$
:	:	:

515		
No.	宛先	通信コスト
1	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E1}(t_5) = 0$
2	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_5) = 0$
3	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E3}(t_5) = 3$
4	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E4}(t_5) = 0$
:	:	:

516		
No.	宛先	通信コスト
1	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E1}(t_6) = 1$
2	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E2}(t_6) = 2$
3	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E3}(t_6) = 0$
4	E	$\text{COST}^{\text{root}\#E4}(t_6) = 4$
:	:	:

[図6]

600

No.	宛先	経路
1	E	root#E1
2	E	root#E3
3	E	root#E4
4	E	root#E2
:	:	:

[図7]

700

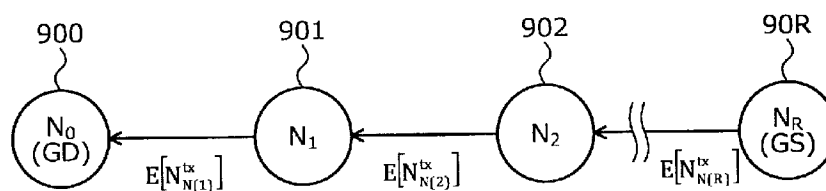
		品質	相関値			
			LD1	LD2	LD3	LD4
LD1	a	d1	-	$\rho(a,b)$	$\rho(a,c)$	-
LD2	b	d2	$\rho(a,b)$	-	$\rho(b,c)$	-
LD3	c	d3	$\rho(a,c)$	$\rho(b,c)$	-	-
LD4	d	d4	-	-	-	-

[図8]

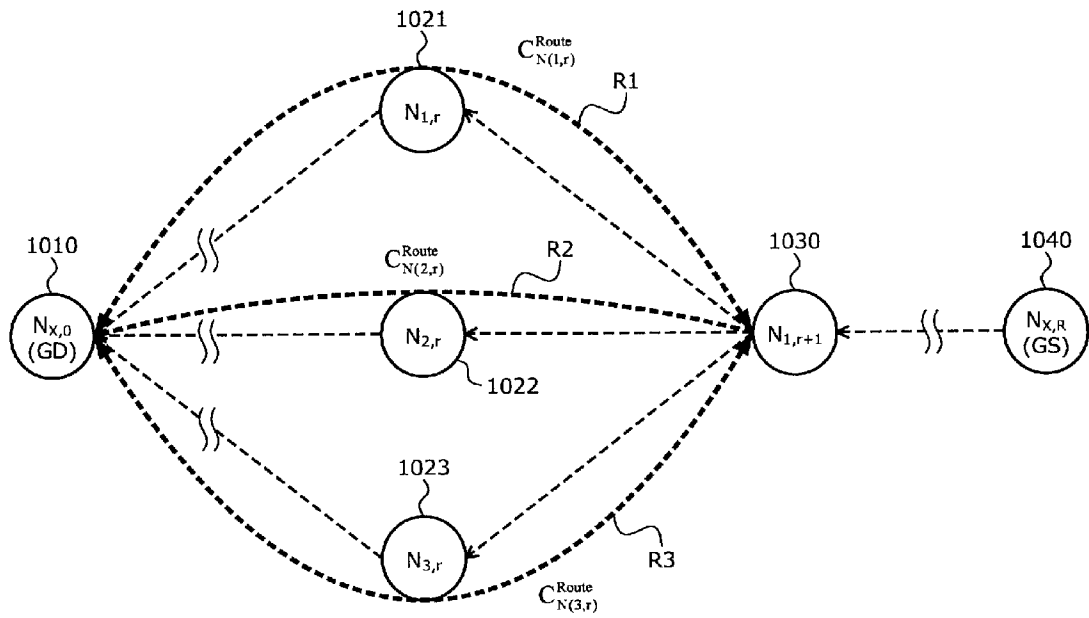
700

		品質	相関値			
			LD1	LD2	LD3	LD4
LD1	a	d1	-	$\rho(a,c)$	$\rho(a,b)$	-
LD2	c	d2	$\rho(a,c)$	-	$\rho(b,c)$	-
LD3	b	d3	$\rho(a,b)$	$\rho(b,c)$	-	-
LD4	d	d4	-	-	-	-

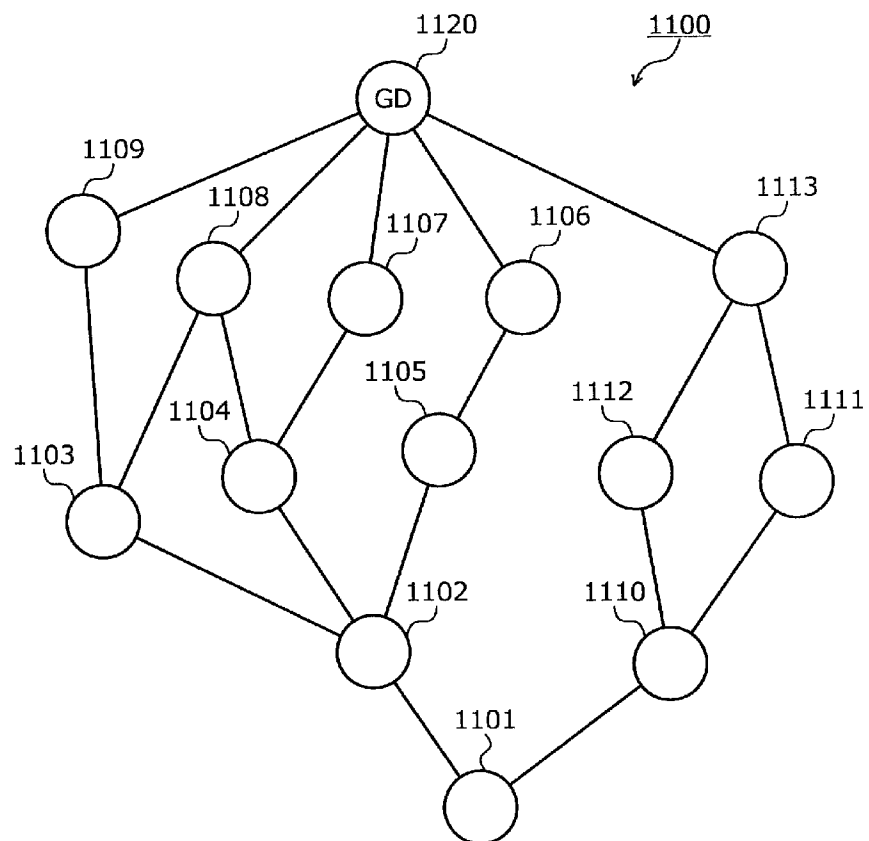
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/055938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04W40/12(2009.01)i, H04W84/18(2009.01)i, H04W92/20(2009.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B7/24-7/26, H04W4/00-99/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2011-066568 A (Fujitsu Ltd.), 31 March 2011 (31.03.2011), abstract; claims 1 to 5; paragraphs [0016] to [0051] & US 2011/0063980 A1 abstract; claims 1 to 5; paragraphs [0018] to [0048]	1, 4-6 2-3
A	WO 2010/119627 A1 (NEC Corp.), 21 October 2010 (21.10.2010), entire text & US 2012/0020222 A1 entire text	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 April 2016 (07.04.16)

Date of mailing of the international search report
19 April 2016 (19.04.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/055938

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/134281 A1 (NEC Corp.), 25 November 2010 (25.11.2010), entire text & US 2012/0069738 A1 entire text	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04W40/12(2009.01)i, H04W84/18(2009.01)i, H04W92/20(2009.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04B7/24-7/26, H04W4/00-99/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2011-066568 A（富士通株式会社）2011.03.31, 要約, 請求項 1-5, 段落[0016]-[0051] & US 2011/0063980 A1, 要約, 請求項 1-5, 段落[0018]-[0048]	1, 4-6 2-3
A	WO 2010/119627 A1（日本電気株式会社）2010.10.21, 全文 & US 2012/0020222 A1, 全文	1-6
A	WO 2010/134281 A1（日本電気株式会社）2010.11.25, 全文 & US 2012/0069738 A1, 全文	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.04.2016

国際調査報告の発送日

19.04.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

土居 仁士

5 J

5885

電話番号 03-3581-1101 内線 3534