

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4849326号  
(P4849326)

(45) 発行日 平成24年1月11日(2012.1.11)

(24) 登録日 平成23年10月28日(2011.10.28)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4W 84/12	(2009.01)	HO4L	12/28	310	
HO4W 88/08	(2009.01)	HO4L	12/28	307	
HO4W 74/08	(2009.01)	HO4L	12/28	300Z	

請求項の数 9 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2006-242935 (P2006-242935)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成18年9月7日(2006.9.7)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(65) 公開番号	特開2008-67066 (P2008-67066A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成20年3月21日(2008.3.21)	(74) 代理人	100112715
審査請求日	平成21年7月23日(2009.7.23)		弁理士 松山 隆夫
(出願人による申告)平成18年度、支出負荷行為担当 官、総務省大臣官房会計課企画官、研究テーマ「コグニ ティブ無線通信技術の研究開発」に関する委託研究、産 業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100085213
			弁理士 鳥居 洋
		(72) 発明者	滝沢 泰久
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
		(72) 発明者	谷口 典之
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線通信ネットワークシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

相互に異なる複数の無線システムを装備し、各々が装備した無線システムを用いて無線通信を行なう複数の基地局と、

各々が前記複数の無線システムとマルチホップ無線システムとを装備し、各々が前記複数の無線システムから選択された少なくとも1つの無線システムと前記マルチホップ無線システムとを用いて前記複数の基地局のうちの所望の基地局にアクセスする複数の無線装置とを備え、

前記複数の基地局の各々は、前記複数の無線装置のうちのn(nは3以上の整数)個の無線装置が前記少なくとも1つの無線システムと前記マルチホップ無線システムとを用いて複数の無線通信経路により自己と無線通信を行なう場合、前記複数の無線通信経路を用いた無線通信のスループットを維持し、かつ、前記複数の無線通信経路を用いた無線通信の遅延時間を相対的に低下させる経路切換処理を行なうように前記n個の無線装置のうちの特定無線装置を制御し、

前記特定無線装置は、前記基地局からの制御に応じて、前記経路切換処理を行なう、無線通信ネットワークシステム。

【請求項2】

前記複数の基地局の各々は、前記複数の無線通信経路の各々における待機トラフィック数を演算し、その演算した複数の待機トラフィック数のうち最大の待機トラフィック数を有する無線通信経路を選択し、その選択した無線通信経路を構成する前記特定無線装置へ

前記経路切換処理を行なうための経路切換指示を送信し、

前記特定無線装置は、前記経路切換指示に応じて、前記経路切換処理を行なう、請求項 1 に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 3】

前記複数の基地局の各々は、前記最大の待機トラフィック数を有する無線通信経路が前記マルチホップ無線システムを用いて無線通信を行なうためのマルチホップ無線通信経路である場合、前記マルチホップ無線通信経路を構成する  $i$  ( $i$  は  $2 \leq i < n$  を満たす整数) 個の無線装置のうち自己から  $x$  ( $x$  は正の整数) ホップ目に位置する前記特定無線装置へ前記経路切換指示を送信する、請求項 2 に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 4】

前記複数の基地局の各々は、 $t$  ( $t$  は 2 以上の整数) 回目の前記経路切換処理において前記最大の待機トラフィック数を有する第 1 のマルチホップ無線通信経路が  $t - 1$  回目の前記経路切換処理において前記最大の待機トラフィック数を有する第 2 のマルチホップ無線通信経路と同じであるとき、前記  $t - 1$  回目の前記経路切換処理におけるホップ数と同じホップ数である前記  $x$  ホップ目に位置する前記特定無線装置へ前記経路切換指示を送信し、前記第 1 のマルチホップ無線通信経路が前記第 2 のマルチホップ無線通信経路と異なるとき、 $x + 1$  ホップ目に位置する前記特定無線装置へ前記経路切換経路を送信する、請求項 3 に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 5】

前記特定無線装置は、自己の周囲に存在する無線装置との間の無線通信経路のうち前記待機トラフィック数が最小である無線通信経路を探索し、前記経路切換指示に応じて、前記探索した無線通信経路へ経路を切換える、請求項 2 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 6】

前記特定無線装置は、前記探索した無線通信経路へ経路を切換えるための切換先無線装置を含む経路切換応答を前記基地局へ送信し、前記基地局から応答確認を受信すると、前記探索した無線通信経路へ経路を切換え、

前記基地局は、前記経路切換応答を受信すると、その受信した経路切換応答に含まれる切換先無線装置に応じて、前記  $n$  個の無線装置が自己にアクセスするための複数の無線通信経路の経路トポロジーを更新して前記応答確認を前記特定無線装置へ送信する、請求項 5 に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 7】

前記基地局は、前記切換先無線装置と前記経路トポロジーとに基づいて、前記  $n$  個の無線装置がループ経路からなる無線通信経路を構成するか否かを判定し、前記  $n$  個の無線装置が前記ループ経路からなる無線通信経路を構成しないとき、前記応答確認を前記特定無線装置へ送信する、請求項 6 に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 8】

前記基地局は、前記切換先無線装置と前記経路トポロジーとに基づいて、前記  $n$  個の無線装置がループ経路からなる無線通信経路を構成するか否かを判定し、前記  $n$  個の無線装置が前記ループ経路からなる無線通信経路を構成するとき、前記拒否応答を前記特定無線装置へ送信し、

前記特定無線装置は、前記拒否応答に応じて、前記探索した無線通信経路への経路切換を中止する、請求項 6 に記載の無線通信ネットワークシステム。

【請求項 9】

前記複数の基地局の各々は、前記複数の無線システムのうち、最も通信範囲が広い無線システムを用いて前記経路切換指示を前記特定無線装置へ送信する、請求項 2 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の無線通信ネットワークシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

この発明は、無線通信ネットワークシステムに関し、特に、無線通信環境に適した無線システムを異なる複数の無線システムから選択して無線通信を行なう無線通信ネットワークシステムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、携帯電話機、PHS (Personal Handyphone System)、IEEE 802系の無線LAN (Local Area Network) および Bluetooth等の多様な無線システムの利用拡大が進んでいる。また、コピキタス通信においては、センサーネットワークが構成され、ZigBee等の近距離無線システムの利用も予想される。

10

【0003】

このような、無線システムは、利用拡大と多様化とが急速に進み、異なる周波数帯域および異なる通信方式を持つ多様な無線システムが混在する無線通信環境となりつつあり、多様なアプリケーションの利用が期待されている。

【0004】

一方、無線リソースは、有限であるため、無線システムの利用拡大と多様化に従い、無線リソースの枯渇が懸念される。この問題を解決する技術として、コグニティブ無線技術が提案されている(非特許文献1)。

【0005】

そして、コグニティブ無線技術は、異なる複数の無線システムを装備した基地局と、同様に異なる複数の無線システムを装備した端末とのネットワークにおいて、無線通信状況およびユーザ要求に応じて、複数の無線システムを適宜使い分け、または同時に利用する技術である。

20

【非特許文献1】原田, “コグニティブ無線を利用した通信システムに関する基礎検討”, 信学技報, SR2005-17, pp. 117-124, 2005.

【非特許文献2】D. Bertsekas, and R. Gallager, Data Networks, Prentice-Hall Inc 1987.

【非特許文献3】L. Kleinrock, “Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay”, McGraw-Hill, 1964.

【非特許文献4】J. P. Kelly, “Reversibility and Stochastic Networks”, John Wiley & Sons, 1979.

30

【非特許文献5】L. Walrand, “Probabilistic Look at Networks of Quasi-Reversible Queues”, IEEE Trans Inf Theory, IT-29, pp.825-831, 1983.

【非特許文献6】J. Little, “A Proof of the Quenching Formula  $L = W$ ”, Opre Res J. 18:172-174, 1961.

【非特許文献7】笠原正治, “インターネットトラヒックモデリング - 通信トラヒック理論からインターネット設計理論へ - ”, 信学会技報, NS2001-217, pp.25-30, 2002.

【非特許文献8】S-T. Sheu and J. Chen, “A Novel Delay-Oriented Shortest Path Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks”, in Proc. IEEE ICC '01, 2001.

【非特許文献9】R. L. Rivert, “Network Control by Bayesian Broadcast”, Report MIT/LCS/TM-285, 1985.

40

【非特許文献10】D. J. Aldous, “Ultimate Instability of Exponential Back-Off Protocol for Acknowledgment-Based Transmission Control of Random Access Communication Channels”, IEEE Trans Inf Theory, Vol. IT-33, No.2, pp.219-223, 1987.

【非特許文献11】IEEE Std 802.16-2004, “Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”, 2004.

【非特許文献12】S. Wecker, “The Digital Network Architecture”, IEEE Trans Comm, COM-28, pp.510-526, 1980.

【非特許文献13】D. S. J. De Couto, D. Aguayo, B. A. Chambers, and R. Morris, “Performance of Multihop Wireless Networks: Shortest Path is Not Enough”, Proc

50

eedings of the First Workshop on Hot Topics in Networking (HotNets-I), 2002.

【非特許文献14】S-T. Sheu and J. Chen, "A Novel Delay-Oriented Shortest Path Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", in Proc. IEEE ICC '01, 2001.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、現在のコグニティブ無線ネットワークにおいては、複数の無線システムの各々は、端末と基地局との間で、直接、無線通信を行なうものであるため、各端末が所望の基地局に高能率でアクセスすることが困難であるという問題がある。

【0007】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、所望の基地局に高能率でアクセス可能な無線通信ネットワークシステムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明による無線通信ネットワークシステムは、複数の基地局と、複数の無線装置とを備える。複数の基地局は、相互に異なる複数の無線システムを装備し、各々が装備した無線システムを用いて無線通信を行なう。複数の無線装置は、各々が複数の無線システムとマルチホップ無線システムとを装備し、各々が複数の無線システムから選択された少なくとも1つの無線システムとマルチホップ無線システムとを用いて複数の基地局のうちの所望の基地局にアクセスする。複数の基地局の各々は、複数の無線装置のうちの  $n$  ( $n$  は3以上の整数) 個の無線装置が少なくとも1つの無線システムとマルチホップ無線システムとを用いて複数の無線通信経路により自己と無線通信を行なう場合、複数の無線通信経路を用いた無線通信のスループットを維持し、かつ、複数の無線通信経路を用いた無線通信の遅延時間を相対的に低下させる経路切換処理を行なうように  $n$  個の無線装置のうちの特定無線装置を制御する。そして、特定無線装置は、基地局からの制御に応じて、経路切換処理を行なう。

【0009】

好ましくは、複数の基地局の各々は、複数の無線通信経路の各々における待機トラフィック数を演算し、その演算した複数の待機トラフィック数のうち最大の待機トラフィック数を有する無線通信経路を選択し、その選択した無線通信経路を構成する特定無線装置へ経路切換処理を行なうための経路切換指示を送信する。特定無線装置は、経路切換指示に応じて、経路切換処理を行なう。

【0010】

好ましくは、複数の基地局の各々は、最大の待機トラフィック数を有する無線通信経路がマルチホップ無線システムを用いて無線通信を行なうためのマルチホップ無線通信経路である場合、マルチホップ無線通信経路を構成する  $i$  ( $i$  は  $2 \leq i < n$  を満たす整数) 個の無線装置のうち自己から  $x$  ( $x$  は正の整数) ホップ目に位置する特定無線装置へ経路切換指示を送信する。

【0011】

好ましくは、複数の基地局の各々は、 $t$  ( $t$  は2以上の整数) 回目の経路切換処理において最大の待機トラフィック数を有する第1のマルチホップ無線通信経路が  $t - 1$  回目の経路切換処理において最大の待機トラフィック数を有する第2のマルチホップ無線通信経路と同じであるとき、 $t - 1$  回目の経路切換処理におけるホップ数と同じホップ数である前記  $x$  ホップ目に位置する特定無線装置へ経路切換指示を送信し、第1のマルチホップ無線通信経路が第2のマルチホップ無線通信経路と異なるとき、 $x + 1$  ホップ目に位置する特定無線装置へ経路切換経路を送信する。

【0012】

好ましくは、特定無線装置は、自己の周囲に存在する無線装置との間の無線通信経路のうち待機トラフィック数が最小である無線通信経路を探索し、経路切換指示に応じて、探

10

20

30

40

50

索した無線通信経路へ経路を切換える。

【0013】

好ましくは、特定無線装置は、探索した無線通信経路へ経路を切換えるための切換先無線装置を含む経路切換応答を基地局へ送信し、基地局から応答確認を受信すると、探索した無線通信経路へ経路を切換える。基地局は、経路切換応答を受信すると、その受信した経路切換応答に含まれる切換先無線装置に応じて、n個の無線装置が自己にアクセスするための複数の無線通信経路の経路トポロジーを更新して応答確認を特定無線装置へ送信する。

【0014】

好ましくは、基地局は、切換先無線装置と経路トポロジーとに基づいて、n個の無線装置がループ経路からなる無線通信経路を構成するか否かを判定し、n個の無線装置がループ経路からなる無線通信経路を構成しないとき、応答確認を特定無線装置へ送信する。

10

【0015】

好ましくは、基地局は、切換先無線装置と経路トポロジーとに基づいて、n個の無線装置がループ経路からなる無線通信経路を構成するか否かを判定し、n個の無線装置がループ経路からなる無線通信経路を構成するとき、拒否応答を特定無線装置へ送信する。特定無線装置は、拒否応答に応じて、探索した無線通信経路への経路切換を中止する。

【0016】

好ましくは、複数の基地局の各々は、複数の無線システムのうち、最も通信範囲が広い無線システムを用いて経路切換指示を特定無線装置へ送信する。

20

【発明の効果】

【0017】

この発明においては、複数の基地局の各々は、複数の無線通信経路を用いた無線通信のスループットを維持し、かつ、複数の無線通信経路を用いた無線通信の遅延時間を相対的に低下させる経路切換処理を行なうようにn個の無線装置のうち特定無線装置を制御する。そして、特定無線装置は、基地局からの制御に応じて、経路切換処理を行なう。その結果、無線通信ネットワークシステムにおいては、スループットを維持し、かつ、遅延時間を相対的に低下させる無線通信が行なわれる。

【0018】

したがって、この発明によれば、高能率で所望の基地局にアクセスできる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0020】

図1は、この発明の実施の形態による無線通信ネットワークシステムの概略図である。無線通信ネットワークシステム100は、無線WAN(Wide Area Network)端末1~4と、無線LAN端末5,6と、無線WAN基地局10と、無線LAN基地局20,30とを備える。

【0021】

40

無線LAN端末5および無線LAN基地局20は、無線LANセル60内に存在し、無線LAN端末6および無線LAN基地局30は、無線LANセル70内に存在する。そして、無線LAN端末5,6は、無線LANシステムによってそれぞれ無線LAN基地局20,30にアクセスする。

【0022】

無線WAN端末1~4、無線LAN端末5,6、無線WAN基地局10、および無線LAN基地局20,30は、無線WANセル80内に存在する。そして、無線WAN端末1~4は、無線WAN基地局10に独立にアクセスする。

【0023】

無線WAN基地局10および無線LAN基地局20,30は、それぞれ、有線ケーブル

50

41～43によってインターネット等のネットワーク50に接続される。また、端末51～54は、パーソナルコンピュータおよびサーバ等からなり、ネットワーク50に接続される。

【0024】

無線WAN端末1～4および無線LAN端末5,6の各々は、後述するように、複数の無線システムおよびマルチホップ無線システムを装備し、その装備した複数の無線システムおよびマルチホップ無線システムを適宜使い分け、または同時に使用して所望の基地局にアクセスする。

【0025】

無線WAN基地局10または無線LAN基地局20,30は、後述する方法によって、無線通信ネットワークシステム100におけるネットワークコストが最小となるように無線WAN端末1～4および無線LAN端末5,6が行なう無線通信の経路を制御する。

10

【0026】

なお、無線通信ネットワークシステム100は、次の特徴を有する。

【0027】

(A)無線WAN基地局10がカバーする通信領域であるアクセスネットワーク内に、1個以上の無線LAN基地局が一様に分布する。そして、いずれの無線LAN基地局も、共通のアクセスネットワークに収容される。

【0028】

(B)無線WAN端末1～4および無線LAN端末5,6は、無線WAN基地局10および無線LAN基地局20,30と通信可能であり、マルチホップ端末間通信において無線WAN基地局10または無線LAN基地局20,30へ中継する機能を有する。

20

【0029】

(C)無線WAN端末1～4および無線LAN端末5,6は、無線WAN基地局10へのアクセス、無線LAN基地局20,30へのアクセスおよびマルチホップ端末間通信の3種類の通信を同時に実施可能であり、これらの3種類の通信にトラフィックを分岐する機能を有する。

【0030】

図2は、図1に示す無線WAN端末1の構成を示す概略ブロック図である。無線WAN端末1は、アンテナ11と、無線モジュール12～14と、スイッチング手段15と、コントローラ16と、アプリケーションプロセッサ17と、探索モジュール18と、バスBSとを含む。

30

【0031】

スイッチング手段15、コントローラ16、アプリケーションプロセッサ17および探索モジュール18は、バスBSによって相互に接続される。無線モジュール12～14は、スイッチング手段15に接続される。

【0032】

アンテナ11は、無線通信空間を介して他の無線WAN端末または無線LAN端末からデータを受信し、その受信したデータを無線モジュール12～14の少なくとも1つへ出力するとともに、無線モジュール12～14の少なくとも1つからのデータを無線通信空間を介して他の無線WAN端末または無線LAN端末へ送信する。

40

【0033】

無線モジュール12～14は、それぞれ、異なる無線システムを装備する。より具体的には、無線モジュール12は、無線WANシステム(IEEE802.16)を装備し、無線モジュール13は、無線LANシステム(IEEE802.11j)を装備し、無線モジュール14は、複数の端末を介して無線通信を行なうマルチホップ無線システム(IEEE802.11g)を装備する。

【0034】

そして、無線モジュール12は、無線WANシステムを用いてアンテナ11を介して無線WAN基地局10と無線通信を行なう。この場合、無線モジュール12は、2～11G

50

Hzの周波数、約15Mbpsの伝送速度、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)の変調方式およびCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)のアクセス方式を用いる。

【0035】

また、無線モジュール13は、無線LANシステムを用いてアンテナ11を介して無線LAN基地局20または30と無線通信を行なう。この場合、無線モジュール13は、2.4GHzの周波数、54Mbpsの伝送速度、OFDMの変調方式およびCSMA/CAのアクセス方式を用いる。

【0036】

更に、無線モジュール14は、マルチホップ無線システムを用いて、無線WAN基地局10および無線LAN基地局20,30のいずれかを送信先とする無線通信経路を確立し、その確立した無線通信経路を介して送信先と無線通信を行なう。この場合、無線モジュール14は、2.4GHzの周波数、54Mbpsの伝送速度、DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)の変調方式およびCAMA/CAのアクセス方式を用いる。

【0037】

このように、無線モジュール12~14は、相互に異なる無線システムを装備し、その装備した無線システムを用いて、スイッチング手段15から受けたパケットをスイッチング手段15からの制御に従って単独または同時に送信する。

【0038】

スイッチング手段15は、バスBSを介してコントローラ16から経路選択情報を受け、その受けた経路選択情報によって示された経路を用いて所望の基地局(無線WAN基地局10および無線LAN基地局20,30のいずれか)にアクセスするように無線モジュール12~14を統合的に制御する。この場合、「統合的に制御する」とは、3個の無線モジュール12~14から選択した少なくとも1つの無線モジュールによって無線通信を実現するように無線モジュール12~14を全体的に制御することを言う。

【0039】

そして、スイッチング手段15は、経路選択情報によって示された経路を用いて無線通信を行なう無線モジュール(無線モジュール12~14の少なくとも1つの無線モジュール)へアプリケーションプロセッサ17から受けたパケットを送信する。

【0040】

コントローラ16は、他の無線WAN端末または他の無線LAN端末からHelloメッセージを受信するとともに、その受信したHelloメッセージから他の無線WAN端末のIDまたは他の無線LAN端末のIDを抽出し、その抽出したIDからなる隣接端末リストを作成する。

【0041】

また、コントローラ16は、探索モジュール18によって最小経路コストが探索されると、送信先IPアドレス、転送先IPアドレス、最小経路コストおよび無線WAN端末1のIPアドレスを含む経路情報を生成し、その生成した経路情報をスイッチング手段15および無線モジュール12~14を用いて無線WAN端末1の近傍端末へ送信する。

【0042】

また、コントローラ16は、探索モジュール18によって最小経路コストが探索されると、送信先IPアドレス、転送先IPアドレスおよび最小経路コストからなる経路テーブルを作成し、その作成した経路テーブルを保持する。

【0043】

更に、コントローラ16は、無線WAN端末1におけるトラフィック発生率を取得する。

【0044】

更に、コントローラ16は、無線WAN基地局10または無線LAN基地局20,30

10

20

30

40

50

から経路切換指示を受信すると、探索モジュール 18 によって探索された最小コスト経路（経路コストが最小である経路）へ無線通信経路を切換えるために、切換先 IP アドレスを含む経路切換応答を作成してスイッチング手段 15 へ出力する。そして、コントローラ 16 は、無線 W A N 基地局 10 または無線 L A N 基地局 20, 30 から経路切換の応答確認を受信すると、最小コスト経路へ無線通信経路を切換える。

【 0 0 4 5 】

アプリケーションプロセッサ 17 は、パケットを生成し、その生成したパケットをスイッチング手段 15 へ送信する。

【 0 0 4 6 】

探索モジュール 18 は、経路コストの初期値を生成し、その生成した経路コストの初期値を無線 W A N 端末 1 の近傍端末へ送信する。また、探索モジュール 18 は、無線 W A N 端末 1 の近傍端末から経路コストの初期値を受信すると、その受信した経路コストの初期値を用いて、後述する方法によって、無線 W A N 端末 1 から送信先の端末までの経路の最小経路コストを演算する。そして、探索モジュール 18 は、その演算した最小経路コストをコントローラ 16 へ出力する。

10

【 0 0 4 7 】

なお、図 1 に示す無線 W A N 端末 2 ~ 4 および無線 L A N 端末 5, 6 の各々も、図 2 に示す無線 W A N 端末 1 の構成と同じ構成からなる。

【 0 0 4 8 】

図 3 は、図 1 に示す無線 W A N 基地局 10 の一部の構成を示す概略図である。無線 W A N 基地局 10 は、図 2 に示す無線 W A N 端末 1 の無線モジュール 14 および探索モジュール 18 を削除し、無線 W A N 端末 1 のコントローラ 16 をコントローラ 16 A に代えたものであり、その他は、無線 W A N 端末 1 の構成と同じである。

20

【 0 0 4 9 】

無線 W A N 基地局 10 においては、無線モジュール 12 は、無線 W A N システムを用いて無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5, 6 と無線通信を行なうとともにマルチホップ無線システムを用いたマルチホップ無線通信によるパケットを無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5, 6 から受信し、無線モジュール 13 は、無線 L A N システムを用いて無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5, 6 と無線通信を行なうとともにマルチホップ無線システムを用いたマルチホップ無線通信によるパケットを無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5, 6 から受信する。

30

【 0 0 5 0 】

コントローラ 16 A は、無線 W A N 基地局 10 にアクセスするための複数の経路の各々において経路コストを後述する方法によって演算する。そして、コントローラ 16 A は、その演算した複数の経路コストを用いて、経路コストが最大である経路を選択し、その選択した経路を構成する特定端末（無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5, 6 のいずれか）へ経路切換指示を無線モジュール 12 を用いて送信する。

【 0 0 5 1 】

また、コントローラ 16 A は、特定端末から経路切換応答を受信すると、その受信した経路切換応答に含まれる切換先 IP アドレスに基づいて、ループ経路が形成されるか否かを判定する。そして、コントローラ 16 A は、ループ経路が形成されないと判定したとき、確認応答を生成し、その生成した確認応答を無線モジュール 12 を用いて特定端末へ送信する。一方、コントローラ 16 A は、ループ経路が形成されると判定したとき、拒否応答を生成し、その生成した拒否応答を無線モジュール 12 を用いて特定端末へ送信する。

40

【 0 0 5 2 】

図 1 に示す無線 L A N 基地局 20, 30 の各々も、図 3 に示す無線 W A N 基地局 10 と同じ構成からなる。

【 0 0 5 3 】

図 1 に示す無線通信ネットワークシステム 100 においては、無線 W A N 端末 1 ~ 4、無線 L A N 端末 5, 6、無線 W A N 基地局 10 および無線 L A N 基地局 20, 30 の各々

50

は、自己のIDを含むHelloメッセージを生成して定期的送信する。そして、無線WAN端末1～4、無線LAN端末5, 6、無線WAN基地局10および無線LAN基地局20, 30の各々は、隣接する端末または基地局からHelloメッセージを受信し、その受信したHelloメッセージから隣接する端末または基地局のIDを抽出するとともに、その抽出したIDからなる隣接端末リストを作成する。

【0054】

また、無線WAN端末1～4、無線LAN端末5, 6、無線WAN基地局10および無線LAN基地局20, 30の各々は、自己におけるトラフィック発生率を演算する。

【0055】

そうすると、無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6は、作成した隣接端末リストを無線WAN基地局10または無線LAN基地局20, 30へ送信する。

10

【0056】

そして、無線WAN基地局10および無線LAN基地局20, 30の各々は、無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6から隣接端末リストを受信するとともに、その受信した隣接端末リストに基づいて、無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6のトポロジを認識し、その認識したトポロジに基づいて、無線通信ネットワークシステム100における複数の無線通信経路を用いた無線通信のスループットを維持し、かつ、その無線通信の遅延時間を低下させるように無線通信経路の経路切換を特定端末(無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6のいずれか)に指示する。

【0057】

20

複数の無線通信経路を用いた無線通信のスループットを維持し、かつ、その無線通信の遅延時間を低下させるには、無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6から無線WAN基地局10への直接通信を無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6間のマルチホップ無線通信に切換えることが有効であるが、この有効性について説明する。

【0058】

[数理モデル]

(a) アクセス経路の解析モデル

マルチホップ無線通信の有効性を検証するために、次の3つの経路が定義された。

【0059】

(R1) W - 経路

30

W - 経路は、無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6のいずれかと無線WAN基地局10との間の直接通信による経路であり、単一リンクからなる。

【0060】

(R2) L - 経路

L - 経路は、無線WAN端末1～4および無線LAN端末5, 6のいずれかと無線LAN基地局20, 30との間の直接通信による経路であり、単一リンクからなる。

【0061】

(R3) マルチホップアクセス経路

マルチホップアクセス経路は、端末間のマルチホップ無線通信による基地局までの通信経路であり、複数のリンクが連結構成される。

40

【0062】

図1に示す無線通信ネットワークシステム100は、多数の端末から構成され、個々の端末におけるトラフィックは、無線通信ネットワークシステム100全体のトラフィックよりも十分に小さいと考えられる。

【0063】

従って、上記の各経路R1～R3を構成するリンクをM/M/1の待ち行列システムとして見なす。即ち、リンクへのトラフィック(以下、パケット)の到着間隔と、そのパケットの処理時間は指数分布であり(パケットサイズが指数分布であり、パケットの処理時間がパケットサイズに比例するので、パケットの処理時間は、指数分布となる)、パケット到着間隔とパケット処理時間とは、相互に独立であると仮定する。

50

## 【 0 0 6 4 】

しかし、無線システムの packets 処理時間は、メディア制御遅延および再送などが含まれるため、packet サイズに依存して指数分布とするモデル化では不十分である。また、無線システムのリンクは、送受信で近傍端末と通信メディアを共有するため、リンクへの packet 到着率とリンクでの packet 処理時間に相関が生じ、M / M / 1 の仮定が成り立たない。

## 【 0 0 6 5 】

そこで、解析可能性の観点からリンクを M / M / 1 の待ち行列システムとしてモデル化し、マルチホップアクセス経路の特性を説明し、packet 到着率と packet 処理時間に相関を有し、packet 処理時間が指数分布に従わない無線システムのリンクの場合においても、M / M / 1 と同様の特性であることを示すことによってモデルの不適合性を補うものとする。

10

## 【 0 0 6 6 】

## ( b ) 単一リンクのコスト

図 4 は、単一リンクおよび連結リンクを説明するための概念図である。端末 i における packet の平均到着率を  $F_i$  ( packets / sec ) とし、端末 i と端末 j との間のリンクの通信容量 ( 平均 packet 処理時間の逆数、即ち、packet 処理率 ) を  $C_{ij}$  ( packets / sec ) とすると、このリンクにおけるコスト  $d_{ij}$  は、M / M / 1 の待ち行列システムに基づき、次式のようになる ( 図 4 の ( a ) 参照 ) 。

## 【 0 0 6 7 】

## 【 数 1 】

20

$$d_{ij} = \frac{F_i}{C_{ij} - F_i} \dots(1)$$

## 【 0 0 6 8 】

式 ( 1 ) は、リンク内に待機する平均 packet 数 ( 処理中の packet を含む ) となり、平均遅延時間  $1 / ( C_{ij} - F_i )$  に packet 到着率  $F_i$  を乗じた値である。従って、この発明においては、コスト  $d_{ij}$  とは、「リンク内の待機トラフィック数」を言う。ここで、平均遅延時間とは、packet が到着し、待ち行列で待機し、更に packet の送信が完了するまでの時間の平均である。即ち、平均遅延時間は、各 packet の待ち行列内での待機時間と処理時間との和の平均である。

30

## 【 0 0 6 9 】

## ( c ) 連結リンクのコスト

マルチホップアクセス経路は、構成する各リンクに複数のリンクが合流し、それらのリンクが連結して、木構造のトポロジー ( 図 4 の ( b ) 参照 ) を形成する。従って、マルチホップアクセス経路を構成するリンクでは、合流する複数のリンクから転送された packet と、ローカル ( = 各端末 ) で発生する packet とが重畳して到着する。即ち、マルチホップアクセス経路において Kleinrock の独立近似 ( 非特許文献 3 ) が成り立ち、連結されたリンクにおいて packet 到着間隔は、packet サイズとの相関性が失われ、マルチホップアクセス経路は、個々に独立した M / M / 1 のリンクによる Jackson 網 ( 非特許文献 4 , 5 ) として考えられる。その結果、各リンクに到着する packet は、ポアソン過程となり、連結リンクのコストは、Jackson 網に従い、次式によって表される。

40

## 【 0 0 7 0 】

【数 2】

$$d_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{J_i} F_k + F_i}{C_{ij} - \left( \sum_{k=1}^{J_i} F_k + F_i \right)} \dots(2)$$

【0071】

式(2)において、 $J_i$ は、端末*i*に合流するリンク数であり、図4の(b)においては、“*n*”によって表されている。

10

【0072】

上述したように、マルチホップアクセス経路は、Jackson網として考えられるので、その経路コスト $d^M$ は、構成するリンクのコストの和として求まり、次式のようになる。

【0073】

【数 3】

$$d^M = \sum_{(i,j) \in R^M} d_{ij} \dots(3)$$

【0074】

但し、(*i*, *j*)は、端末*i*から端末*j*へのリンクであり、 $R^M$ は、マルチホップアクセス経路を構成するリンクの集合である。

20

【0075】

(d) 評価値としてのリンクコスト

上述したように、リンクコストは、パケット到着率 $F_i$ に $1 / (C_{ij} - F_i)$ を乗じた値であり、パケット到着率および平均遅延時間は、それぞれ、次のようなネットワークのメトリックとなる。

【0076】

(d-1) パケット到着率：リンクの混み具合を表すメトリックである。パケット到着率が高くなると、処理すべきパケットが大量にリンクに到着していることとなる。

30

【0077】

(d-2) 平均遅延時間：平均遅延時間は、待ち行列での平均待機時間とパケットの平均処理時間(転送時間)からなる。パケットの平均処理時間は、無線環境におけるリンクの品質(メディア制御遅延時間、送信レート、パケット誤り率)に強く依存する。また、待ち行列での平均待機時間は、待ち行列内の前方のパケット処理時間に依存する。即ち、平均遅延時間は、リンク品質を表すメトリックである。

【0078】

上記(1)、(2)のことから、リンクコストは、リンクの混み具合とリンクの品質とを乗じた値であり、リンク品質が良い(平均遅延時間が短い)リンクに大量のパケットが分配されていると(パケット到着率が高い)、リンク品質が良くても、リンクコストは、高くなる。一方、リンク品質が低い(平均遅延時間が長い)リンクに、パケットが殆ど分配されない場合、リンクコストは、低い値である。即ち、リンクの混み具合とリンク品質とによるリンクコストから複数のリンクにパケットを適切に分配することが可能である。

40

【0079】

以上のことから、リンクおよび経路の評価値としてリンクコストを用いることとする。

【0080】

(e) リンクの通信容量

各リンクの通信容量 $C_{ij}$ は、マクロ的な視点からその平均として、次のように設定さ

50

れる。

【 0 0 8 1 】

( e - 1 ) W 経路および L 経路の通信容量  $C_{ij}$  は、それぞれのセル内のリンク数で該当無線システムの最大通信容量を割った容量とする。

【 0 0 8 2 】

( e - 2 ) マルチホップアクセス経路を構成する複数のリンクは、無線リソースを共有する同一ネットワーク内にあると考える。即ち、各リンクの通信容量  $C_{ij}$  は、該当無線システムの最大通信容量を連結されたリンク数で割った容量とし、マルチホップアクセス経路の構成リンクの通信容量を低く設定する。

10

【 0 0 8 3 】

( e - 3 ) 複数のマルチホップアクセス経路において、各経路を構成する空間が重なる場合、複数の端末間経路の各リンクは、無線リソースを共有する同一のネットワーク内にあると考える。即ち、各リンクの通信容量  $C_{ij}$  は、該当無線システムの最大通信容量を複数のマルチホップアクセス経路を構成する全リンク数で割った容量とする。従って、マルチホップアクセス経路の構成する空間が他のマルチホップアクセス経路の構成空間と重ならない空間毎に無線リソースを再利用することになり、マルチホップアクセス経路のリンクの通信容量  $C_{ij}$  は、項目 ( e - 2 ) と同様に低く設定する。

20

【 0 0 8 4 】

( e - 4 ) 上述した 3 個の経路 ( = W 経路、L 経路およびマルチホップアクセス経路 ) で用いられる無線システムは、システム間で相互に干渉しないものとする。

【 0 0 8 5 】

( e - 5 ) 上述した 3 個の経路 ( = W 経路、L 経路およびマルチホップアクセス経路 ) の使用チャネルは、各システム毎に同一とする。

【 0 0 8 6 】

上述した通信容量の設定においては、マルチホップアクセス経路の通信容量は、W 経路および L 経路の通信容量の設定と比較して不利な条件となっている。従って、この発明においては、マルチホップアクセス経路に不利な通信容量の設定において、マルチホップアクセス経路の有効性を示す。

30

【 0 0 8 7 】

( f ) マルチホップアクセス経路の特性

図 1 に示されているネットワーク構成においてマルチホップアクセス経路の特性を検証する。即ち、1 つの無線 W A N 基地局 1 0 と、そのセル 8 0 内に一様に分布した複数の無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 と、セル 8 0 内に一様に分布した端末 ( 無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5 , 6 ) とから構成されるネットワークを考える。

【 0 0 8 8 】

各端末は、無線 L A N セル 6 0 , 7 0 内に存在する場合、無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 に接続して L 経路を形成する。それ以外の場合、各端末は、無線 W A N 基地局 1 0 に接続して W 経路を形成する。更に、各端末は、L 経路と異なる無線 L A N システムで通信可能な隣接端末と接続し、マルチホップアクセス経路を形成することも可能とする。また、各端末で発生する平均パケット数は、各端末で同一とする。

40

【 0 0 8 9 】

このようなネットワークにおいて、ネットワーク全体の総コスト ( 以下、「ネットワークコスト」と言う ) は、次式によって表される。

【 0 0 9 0 】

## 【数4】

$$G = D^W + D^L + D^M \dots(4)$$

## 【0091】

但し、 $D^W$  は、W経路のコストの総和であり、 $D^L$  は、L経路のコストの総和であり、 $D^M$  は、各マルチホップアクセス経路のコストの総和である。

## 【0092】

マルチホップアクセス経路の特性および有効性を、W経路の packets を経路切換によりマルチホップアクセス経路へ移動した場合のネットワークコストの変動によって検証する

10

## 【0093】

(f - 1) 各経路のコスト

マルチホップアクセス経路は、ホップ数と合流リンク数に応じて、複数台の無線WAN端末と、1台の無線LAN端末とを連結して構成される。図5は、W経路からマルチホップ無線通信経路への切換えを示す概念図である。マルチホップアクセス経路を構成する端末の到着 packets は、全て、W経路からマルチホップアクセス経路へ移動し、無線LAN基地局へ転送されるものとする(図5参照)。即ち、W経路からマルチホップアクセス経路への経路切換を行なう。

## 【0094】

各マルチホップアクセス経路のホップ数および各リンクへの合流リンク数を同一とした場合、各経路の総コストは、次の式(5)~(7)のようになる。

20

## 【0095】

## 【数5】

$$D^W = \frac{\left( N^W - n^L \left( \sum_{i=1}^h j^{i-1} - 1 \right) \right) F}{C^W - F} \dots(5)$$

## 【0096】

## 【数6】

$$D^L = \frac{(N^L - n^L) F}{C^L - F} \dots(6)$$

30

## 【0097】

## 【数7】

$$D^M = n^L \left( \sum_{k=2}^h j^{(h+1)-k} \frac{\sum_{i=k}^h j^{h-i} \cdot F}{C^M - \sum_{i=k}^h j^{h-i} \cdot F} + \frac{\sum_{i=1}^h j^{h-i} \cdot F}{C^L - \sum_{i=1}^h j^{h-i} \cdot F} \right) \dots(7)$$

40

## 【0098】

但し、 $N^W$  は、無線WAN接続端末数であり、 $n^L$  は、マルチホップアクセス経路に組み込まれる無線LAN接続端末数であり、 $j$  は、マルチホップアクセス経路を構成する各リンクに合流するリンク数であり、 $C^W$  は、W経路の通信容量であり、 $h$  は、マルチホップアクセス経路のホップ数であり、 $N^L$  は、無線LAN接続端末数であり、 $C^L$  は、L経路の通信容量であり、 $C^M$  は、マルチホップアクセス経路を構成する各リンクの通信容量であり、 $F$  は、各端末の packets 到着率である。

## 【0099】

(f - 2) ネットワークコスト

50

図6は、ネットワークコストとマルチホップアクセス経路へのパケット分配率との関係を示す図である。図6において、縦軸は、ネットワークコストを表し、横軸は、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率を表す。

【0100】

図6に示すネットワークコストは、マルチホップアクセス経路の構成リンクの合流リンク数が“2”である場合の各ホップ数におけるマルチホップアクセス経路へのパケット分配率に応じて式(5)~(7)を用いて計算されたネットワークコストである。

【0101】

なお、ネットワークコストの計算においては、全端末数は、1000に設定され、無線WANセルの半径は、1000mに設定され、無線WANの最大通信容量は、15Mbpsに設定され、無線LANセルの半径は、50mに設定され、無線LANの最大通信容量は、54Mbpsに設定され、端末間通信の通信可能距離は、100m(IEEE802.11gは、IEEE802.11jよりも低い周波数帯を用いることから、IEEE802.11jよりも通信距離が長くなる)に設定され、端末間通信の最大通信容量は、54Mbpsに設定された。

【0102】

また、ネットワークコストの計算においては、各端末の平均パケット到着間隔は、1secに設定され、平均パケットサイズは、10Kbitsに設定され、マルチホップアクセス経路のホップ数は、2ホップ、3ホップ、4ホップ、5ホップおよび6ホップの5通りとし、構成可能なマルチホップアクセス経路数は、ホップ数に比例した面積(端末間通信可能距離の(ホップ数-1)倍にした距離に無線LANセルの半径を加えた長さを半径とする円)内にある端末数により制限された。

【0103】

図6は、マルチホップアクセス経路へ経路切換を行なう端末数を増やして、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率を大きくした場合のネットワークコストを示す。図6から分かるように、いずれのホップ数においても、ネットワークコストは、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率が増加するに従って減少する。

【0104】

図7は、遅延時間とスループットとの関係を示す図である。図7において、縦軸は、遅延時間を表し、横軸は、スループットを表す。図7に示す遅延時間は、図6に示す5ホップのマルチホップアクセス経路の5つのパケット分配率(0.4, 0.5, 0.7, 0.8, 0.9)における基地局に単位時間当たり到着したパケットの端末から基地局までの遅延時間の和(以下、「遅延時間」と言う)の相関を式(5)~(7)を用いて算出した結果である。

【0105】

図7から分かるように、パケット分配率が0.7である場合、他のパケット分配率と比較して、最もスループットが向上し、かつ、遅延時間が減少する。パケット分配率が0.7である場合は、図6から分かるように、5ホップ数のマルチホップアクセス経路において、ネットワークコストが最小となるパケット分配率の近傍である。即ち、W経路のパケットをマルチホップアクセス経路へ移動することによりネットワークコストを減少させることは、その結果としてスループットを維持しつつ、遅延時間を減少させることになる。

【0106】

これは、端末は、セル内に一様に分散しているので、無線WANセル内の端末数とマルチホップアクセス経路の端末数との比率は、そのセル半径と通信可能距離との2乗比となり(1000<sup>2</sup>:100<sup>2</sup>=1000:1)、W経路の通信容量は、マルチホップアクセス経路の通信容量と比較して、格段に小さくなることによる。即ち、マルチホップアクセス経路のリンク品質が高い(平均遅延時間が小さい)ことによる。

【0107】

図8は、ネットワークコストとマルチホップアクセス経路へのパケット分配率との関係を示す図である。図8において、縦軸は、ネットワークコストを表し、横軸は、マルチホ

10

20

30

40

50

ップアクセス経路へのパケット分配率を表す。また、曲線 k 1 は、マルチホップアクセス経路のコストを示し、曲線 k 2 は、W 経路のコストを示し、曲線 k 3 は、ネットワーク全体のネットワークコストを示す。

【 0 1 0 8 】

図 7 において示したように、W 経路のパケットをマルチホップアクセス経路へ分配することによって、ネットワークコストは、減少する。しかし、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率が大きくなると、ネットワークコストは、増加に転じる（図 8 の曲線 k 3 参照）。これは、パケット分配率が大きくなると、マルチホップアクセス経路の各リンクへのパケット到着率が大きくなり、その結果として、そのコストが増大するためである。

10

【 0 1 0 9 】

( f - 3 ) パケット分配モデル

図 6 から図 8 に示されているように、コストの高い W 経路からコストの低いマルチホップアクセス経路へ経路切換によりパケットを分配すると、その結果としてスループットを維持しつつ、遅延時間を減少させることができる。

【 0 1 1 0 】

しかし、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率が大きくなり過ぎると、マルチホップアクセス経路のコストが W 経路のコストを上回り、コストの低い経路からコストの高い経路へパケットを移動することとなり、その結果として、スループットが低下し、遅延時間が増加へ転じる。従って、最適なパケット分配率があり、また、その最適分配率は、マルチホップアクセス経路のトポロジー（経路数、ホップ数および合流数）により変動する。

20

【 0 1 1 1 】

ネットワークコストを最小化するパケット分配率を求めるため、各経路の総コストである式 ( 5 ) ~ ( 7 ) をパケット到着率 F の関数と考え、その導関数を求めると、次のようになる。

【 0 1 1 2 】

【 数 8 】

$$\frac{dD^W}{dF} = \left( N^W - n^L \left( \sum_{i=1}^h j^{i-1} - 1 \right) \right) \frac{C^W}{(C^W - F)^2} > 0 \quad \dots(8)$$

30

【 0 1 1 3 】

【 数 9 】

$$\frac{dD^L}{dF} = (N^L - n^L) \frac{C^L}{(C^L - F)^2} > 0 \quad \dots(9)$$

【 0 1 1 4 】

【 数 1 0 】

$$\frac{dD^M}{dF} = n^L \cdot \sum_{k=2}^h j^{(h+1)-k} \cdot \sum_{i=k}^h j^{h-i} \frac{C^M - \sum_{i=k}^h j^{h-i} \cdot F + F}{\left( C^M - \sum_{i=k}^h j^{h-i} \cdot F \right)^2} + n^L \cdot \sum_{i=1}^h j^{h-i} \frac{C^L - \sum_{i=1}^h j^{h-i} \cdot F + F}{\left( C^L - \sum_{i=1}^h j^{h-i} \cdot F \right)^2} > 0 \dots(10)$$

40

【 0 1 1 5 】

式 ( 8 ) ~ ( 1 0 ) は、いずれも、取り得る値が正であり、また、式 ( 5 ) ~ ( 7 ) も同様であるので、各経路の総コストは、パケット到着率に関して凸単調増加関数である。更に、パケット到着率を W 経路からマルチホップアクセス経路へのパケット分配率として

50

見た場合、マルチホップアクセス経路の総コストは、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率に対して凸単調増加であり、一方、W経路の総コストおよびL経路の総コストは、マルチホップアクセス経路へのパケット分配率に対して凸単調減少となる（図8の曲線k2参照）。

【0116】

ネットワークコストは、凸単調増加関数（図8の曲線k1参照）と凸単調減少関数（図8の曲線k2参照）との和であるため、パケット分配率に対して下向きの凸関数となり、パケット分配率に最適解が存在する。即ち、次式により、解析的に最適解を求めることが可能である。

【0117】

【数11】

$$\left. \begin{aligned} \frac{dD^W}{dF^M} + \frac{dD^L}{dF^M} + \frac{dD^M}{dF^M} &= 0 \\ F^W + F^L + F^M &= F^{total} \end{aligned} \right\} \dots(11)$$

【0118】

但し、 $F^W$  は、W経路へ分配されたパケットの到着率であり、 $F^L$  は、L経路へ分配されたパケットの到着率であり、 $F^M$  は、マルチホップアクセス経路へ分配されたパケットの到着率であり、 $F^{total}$  は、全パケット到着率の和である。

【0119】

式(1)のリンクコスト $d_{ij}$ をパケット到着率 $F_i$ に関して導関数を求めると、次のようになる。

【0120】

【数12】

$$\frac{d}{dF_i} d_{ij} = \frac{C_{ij}}{(C_{ij} - F_i)^2} > 0 \dots(12)$$

【0121】

即ち、リンクコスト自身は、パケット到着率に関して凸単調増加関数であり、その和である経路コストも、また、パケット到着率に関して凸単調増加関数である。従って、個々の単独の経路およびリンク間（例えば、W経路とマルチホップアクセス経路間、2つのマルチホップアクセス経路間）においてもパケット分配に関する特性が成り立つ。

【0122】

以上のことから、W経路からマルチホップアクセス経路への経路切替を用いて、パケットを最適に分配することによって、ネットワークコストが最適化され、その結果としてスループットを維持しつつ、遅延時間を減少させることが可能となる。また、最適なパケット分配率は、パケット到着率と遅延時間とから算出するリンクコストと、経路コストとに基づいて求めることができる。

【0123】

(g) マルチアクセス通信におけるマルチホップアクセス経路の特性

上述したマルチホップアクセス経路の特性とその有効性は、無線リンクがM/M/1の待ち行列によりモデル化されることを前提としている。しかし、無線システムは、通信メディアであるチャンネル（周波数）を複数の端末と共有するマルチアクセス通信である。そのため、それぞれの通信は、相互に干渉および競合することになる。即ち、無線リンクのパケット到着率とパケット処理時間には、相関が生じる。また、メディアアクセス制御遅延および再送により、そのパケット処理時間は、そのサイズへの依存性が薄れ、指数分布に従わなくなる。従って、パケット到着率とパケット処理時間は、相互に独立であり、そのパケット処理時間の分布は、指数分布とするM/M/1によるモデル化では、無線リンクを適切にモデル化できていない。

【0124】

10

20

30

40

50

そこで、この発明においては、パケット到着率とパケット処理率とは、相関があり、パケット処理時間が指数分布に従わない無線リンクにおいても、マルチホップアクセス経路の特性と有効性とが成り立つことを示す。

【0125】

(g-1) 無線システムのパケット処理時間

無線リンクにおけるパケット処理時間は、次の処理遅延時間によって構成される。

【0126】

(i) 無線システムは、通信メディアであるチャネルを共有する。そのため、通信に先立ち、共有するチャネルに関してアクセス制御が必要となる。例えば、IEEE 802.11のDCF (Distributed Coordination Function) におけるアクセス制御では、各MACフレーム間には、最低限のIFS (Inter Frame Space) と呼ばれる待ち時間がある。その上で、アクセスポイントへのRTS (Request To Send) フレームの送信、およびアクセスポイントからのCTS (Clear To Send) フレームの受信を経て、各端末は、データフレームの送信が可能となる。更に、各端末は、アクセスポイントからACK (Acknowledge) フレームを受信する必要がある。また、チャネルが混雑している場合、各端末は、バックオフによる時間、送信を延期する。チャネルのアクセス制御による遅延時間は、データサイズに依存せず、近傍端末の送受信状況に依存する。以下、この遅延時間をMAC遅延時間と呼ぶ。

【0127】

(ii) 各端末は、ACKフレームの待ち時間が経過してもデータ送信先よりACKフレームを受信できない場合、データフレームの再送を行なう。再送処理時間は、MAC遅延時間に含まれ、無線リンクの品質に強く依存した遅延時間となる。

【0128】

(iii) IEEE 802.11は、マルチポート (自動レート制御) 機能により、無線環境 (パケット誤り率等) に応じて、自動的に送信レートを変更する。また、IEEE 802.16も、無線環境に応じた変調方式および符号化率を変更し、送信レートを調整する。これらも、無線リンクの品質に強く依存する。以下、この遅延時間を送信時間と呼ぶ。

【0129】

以上のことから、パケット処理時間は、パケットサイズとの比例関係が薄れ、リンクの品質に強く依存し、リンクへのパケット到着率と相関を持つこととなる。

【0130】

(g-2) 無線リンクにおけるリンクコスト

パケット到着率とパケット処理時間に相関があり、パケット処理時間が指数分布に従わない無線リンクにおいては、式(1)を用いることができない。しかし、パケット到着間隔が指数分布であるリンクにおいて、Littleの定理 (非特許文献6) が成立するため、無線リンクのコストは、その平均パケット到着率  $F_i$  と平均遅延時間  $T_{ij}$  とから、次のように容易に求まる

【0131】

【数13】

$$d_{ij} = F_i \cdot T_{ij} \quad \dots(13)$$

【0132】

また、上記の無線リンクにおける木構造を形成するマルチホップアクセス経路において、構成するリンクへのパケット到着率は、Kleinrockの独立近似が成り立ち、指数分布と考えられる (非特許文献7)。即ち、マルチホップアクセス経路を構成するリンクへのパケット分配率と後方リンクのパケット処理時間とは、独立であり、その経路コストは、式(13)によって示されるリンクコストの和となる。

【 0 1 3 3 】

( g - 3 ) パケット分配特性

( g - 3 - 1 ) IEEE 802.11による無線システムを用いた場合

無線リンクにおけるパケット分配特性を、無線リンクの遅延時間の特性を基に、CSMA/CAであるIEEE 802.11を前提として説明する。

【 0 1 3 4 】

図9は、DOSP Rにおける

CSMA/CAの遷移状態を示す図である。遅延時間は、待ち行列内待機時間とパケット処理時間とからなる。まず、パケット処理時間について説明する。非特許文献8においては、パケット到着過程をポアソン過程と仮定し、パケット処理時間は、次のように求められる。

10

【 0 1 3 5 】

【数14】

$$P_n(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} e^{-\lambda \cdot t} \quad \dots(14)$$

【 0 1 3 6 】

【数15】

$$P_0(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad \dots(15)$$

20

【 0 1 3 7 】

【数16】

$$\hat{\lambda} = |Adj(i)| \times \lambda \quad \dots(16)$$

【 0 1 3 8 】

【数17】

$$P_{idle}^i(t) = e^{-\hat{\lambda} \cdot t} \quad \dots(17)$$

30

【 0 1 3 9 】

【数18】

$$EA_i = P_{idle}^i(slot) \times (RTS + 2 \cdot SIFS + CTS) + (1 - P_{idle}^i(slot)) \times (RTS + 2 \cdot SIFS + EB_i) \quad \dots(18)$$

【 0 1 4 0 】

【数19】

$$EB_i = P_{idle}^i(DIFS) \times (DIFS + bf + EA_i) + (1 - P_{idle}^i(DIFS)) \times (B + EB_i) \quad \dots(19)$$

40

【 0 1 4 1 】

【数20】

$$B = RTS + 3 \cdot SIFS + CTS + DATA + ACK \quad \dots(20)$$

【 0 1 4 2 】

【数21】

$$\beta_i^{MAC} = P_{idle}^i(DIFS) \times (DIFS + bf + EA_i) + (1 - P_{idle}^i(DIFS)) \times (SIFS + EB_i) \quad \dots(21)$$

【 0 1 4 3 】

50

【数 2 2】

$$\beta_i^{\alpha} = \frac{\text{packet\_len}}{\text{tx\_rate}} \dots(22)$$

【0 1 4 4】

【数 2 3】

$$S_i = \beta_i^{MAC} + \beta_i^{\alpha} \dots(23)$$

【0 1 4 5】

但し、 $P_n(t)$  は、時間区間  $t$  において  $n$  個の packets が到着する確率であり、 $P_i$  は、端末  $i$  の packet 到着率であり、 $P_o(t)$  は、時間区間  $t$  において packet が到着しない確率（即ち、送信が成功する確率）であり、 $|Adj(i)|$  は、端末  $i$  の近傍端末数であり、 $P_{idle}^i(t)$  は、端末  $i$  が時間区間  $t$  でチャネルがアイドル状態であることを検出する確率であり、 $slot$  は、バックオフの単位時間であり、 $DIFS$  は、分散制御用フレーム間隔 ( $DCF$  Inter Frame Space) であり、 $SIFS$  は、短フレーム間隔 ( $Short$  Inter Frame Space) であり、 $b_f$  は、平均 packet オフ間隔であり、 $E A_i$  は、図 9 の試行状態における  $MAC$  遅延時間の期待値であり、 $E B_i$  は、図 9 のバックオフ状態における  $MAC$  遅延時間の期待値であり、 $RTS$  は、送信要求フレームの送信時間であり、 $CTS$  は、受信準備完了フレームの送信時間であり、 $DATA$  は、データフレーム送信時間であり、 $ACK$  は、確認応答フレームの送信時間であり、 $packet\_len$  は、平均 packet サイズであり、 $tx\_rate$  は、送信レートであり、 $\beta_i^{MAC}$  は、 $MAC$  遅延時間であり、 $\beta_i^{\alpha}$  は、送信時間であり、 $S_i$  は、端末  $i$  における packet 処理時間である。

【0 1 4 6】

各リンクで発生するローカルな packet 到着過程は、ポアソン過程であることを前提としており、また、マルチホップアクセス経路を構成するリンクへ転送される packet 到着過程も、 $Kleinrock$  の独立近似によりポアソン過程となる。従って、各経路のリンクにおいて、上述した式 (14) ~ (23) が成立する。

【0 1 4 7】

式 (17) では、端末  $i$  と 1 つのチャネルを共有する近傍端末の packet 到着率の総和に基づき、端末  $i$  で packet 送信が成功する確率を求めている。従って、packet 処理時間は、近傍端末と共有するチャネル（以下、「共有チャネル」と言う）の packet 到着率と相関を持つ。端末  $i$  の共有チャネルの packet 到着率を  $F_i^C$  と表記し、次の式を式 (17) の代わりに用いて、packet 処理時間  $S_i$  と  $F_i^C$  との相関について説明する。

【0 1 4 8】

【数 2 4】

$$P_{idle}^i(t) = e^{-F_i^C t} \dots(24)$$

【0 1 4 9】

$P_{idle}^i(t)$  の  $F_i^C$  に関する導関数は、次のようになる。

【0 1 5 0】

【数 2 5】

$$\frac{d}{dF_i^C} P_{idle}^i(t) = -te^{-F_i^C t} < 0 \dots(25)$$

【0 1 5 1】

式 (25) から、 $P_{idle}^i(t)$  は、 $F_i^C$  が増加すると減少する。即ち、 $F_i^C$  が増加すると、バックオフ状態へ遷移する確率が増えることになる。試行状態における  $M$

10

20

30

40

50

A C 遅延時間の期待値  $E A_i$  と、バックオフ状態における M A C 遅延時間の期待値  $E B_i$  とを比較すると、明らかに  $E B_i$  が大きな値となっている。従って、 $F_i^C$  が増加すると、M A C 遅延時間  $i^{M A C}$  は、増加することとなり、次のように示される。

【 0 1 5 2 】

【数 2 6】

$$\frac{d}{dF_i^C} \beta_i^{MAC} > 0 \quad \dots(26)$$

【 0 1 5 3 】

続いて、送信時間  $i^{tx}$  について説明する。式 ( 1 8 ) の 2 項目の  $(1 - P_{idle}^i(t))$  は、スロットタイムの期間にパケットが 1 個以上到着する確率である。即ち、 $(1 - P_{idle}^i(t))$  は、衝突の確率である。 $(1 - P_{idle}^i(t))$  の導関数を求めると、次のようになる。

【 0 1 5 4 】

【数 2 7】

$$\frac{d}{dF_i^C} (1 - P_{idle}^i(slot)) = slot \cdot e^{-slot} > 0 \quad \dots(27)$$

【 0 1 5 5 】

即ち、 $F_i^C$  が増加すると、衝突の可能性が高くなり、その結果として、マルチレート制御は、送信レートを減少させることとなる。従って、送信レート  $tx\_rate$  と  $F_i^C$  との相関は、次式によって表される。

【 0 1 5 6 】

【数 2 8】

$$\frac{d}{dF_i^C} tx\_rate < 0 \quad \dots(28)$$

【 0 1 5 7 】

以上より、パケット処理時間  $S_i$  と  $F_i^C$  との相関は、式 ( 2 6 ) , ( 2 8 ) に基づいて、次のようになる。

【 0 1 5 8 】

【数 2 9】

$$\frac{d}{dF_i^C} S_i = \frac{d}{dF_i^C} \beta_i^{MAC} - \frac{packet\_len}{tx\_rate^2} \frac{d}{dF_i^C} tx\_rate > 0 \quad \dots(29)$$

【 0 1 5 9 】

ここで、 $F_i^C$  と  $F_i$  との相関について説明する。 $F_i^C$  は、共有チャネルのパケット到着率であり、 $F_i^C$  が増える場合は、当該端末  $i$  のパケット到着率  $F_i$  が増えるか、またはその近傍端末のパケット到着率が増えるかのいずれかである。従って、 $F_i^C$  の増加分が  $F_i$  の増加分の期待値は、共有チャネル内の端末数で割った値であり、正の値となる。従って、 $F_i^C$  と  $F_i$  との相関は、次のようになる。

【 0 1 6 0 】

【数 3 0】

$$\frac{dF_i}{dF_i^C} > 0 \quad \dots(30)$$

【 0 1 6 1 】

更に、式 ( 2 9 ) を式 ( 3 0 ) を用いて表すと次のようになる。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 2 】

【 数 3 1 】

$$\frac{dS_i}{dF_i^C} = \frac{dS_i}{dF_i} \frac{dF_i}{dF_i^C} > 0 \quad \dots(31)$$

【 0 1 6 3 】

【 数 3 2 】

$$\frac{dS_i}{dF_i} > 0 \quad \dots(32)$$

10

【 0 1 6 4 】

即ち、式(31)、(32)とパケット処理時間 $S_i$ とは、取り得る値が正であることから、パケット処理時間 $S_i$ は、 $F_i$ の凸単調増加関数である。式(18)の2項目は、衝突確率 $(1 - P_{idle}^i(t))$ 、衝突に費やされる時間 $(RTS + 2 \cdot SIFS)$ 、および再送時間となる $EB_i$ から構成される。

【 0 1 6 5 】

$RTS / CTS$ を用いない場合、費やされる時間 $(RTS + 2 \cdot SIFS)$ をパケット送信時間 $t_x$ に置き換えることによって、そのパケット処理時間が求まる。従って、 $RTS / CTS$ を用いない場合も同様に、パケット処理時間 $S_i$ は、 $F_i$ の凸単調増加関数である。

20

【 0 1 6 6 】

次に、待ち行列での待機時間 $W_i$ と共有チャネルのパケット到着率 $F_i^C$ との相関について説明する。パケットが到着したとき、待ち行列に待機しているパケット(処理中のパケットを含まない)において、直前のパケットの処理完了から当該パケットの処理完了までの時間の期待値を $EW$ とする。 $EW$ は、パケットの送信をしない事象、パケットの送信が成功する事象、およびパケットの送信が失敗(衝突等)する事象の各期間から構成される。

【 0 1 6 7 】

ここで、疑似ベイズアルゴリズム(非特許文献9)と同じ方法を用いて $W_i$ を近似する。即ち、新着パケットを含めた全てのパケットを再送パケット(送信に失敗したパケット)として扱うこととし、各期間におけるパケット送信確率は、共有チャネルにおいて $n$ 個の再送パケットがあり、その送信確率が $q$ の場合、 $G = n \cdot q$ に従うこととする。また、各期間の送信確率は、 $G$ を平均とする指数分布とする。以上のことに基づいて、 $EW$ を次式に示す。

30

【 0 1 6 8 】

【 数 3 3 】

$$EW = e^{-G} \cdot EW + Ge^{-G} \cdot S_i + (1 - (1 + G)e^{-G})(EW + S_i) \quad \dots(33)$$

40

【 0 1 6 9 】

更に、上記の式から $EW$ を求めると、次のようになる。

【 0 1 7 0 】

【 数 3 4 】

$$EW = \frac{1 - e^{-G}}{Ge^{-G}} S_i \quad \dots(34)$$

【 0 1 7 1 】

待機パケット数 $M$ は、待ち行列での待機時間 $W_i$ と端末 $i$ のパケット到着率 $F_i$ をLittleの定理に適用して、次のように求まる。

50

【 0 1 7 2 】

【 数 3 5 】

$$M = F_i \times W_i \quad \dots(35)$$

【 0 1 7 3 】

待機時間  $W_i$  は、待機パケットの全てが処理完了する時間  $M \times EW$  に現在処理中のパケットの残余処理時間  $R$  を加えた時間である。パケットの処理中に新たなパケットが到着する確率は、 $F_i S_i$  であり、その場合のパケットの残余時間は、最大で  $S_i$  である。従って、 $R$  を  $F_i S_i^2$  として見積もる。その結果、待機時間  $W_i$  とその  $F_i^C$  に関する導関数は、次式のようにになる。

10

【 0 1 7 4 】

【 数 3 6 】

$$W_i = \frac{F_i S_i^2}{1 - F_i \cdot EW} \quad \dots(36)$$

【 0 1 7 5 】

【 数 3 7 】

$$\frac{dW_i}{dF_i^C} = \left( S_i^2 \frac{dF_i}{dF_i^C} + 2F_i S_i \frac{dS_i}{dF_i^C} \right) \frac{1}{1 - F_i \cdot EW} + \left( EW \frac{dF_i}{dF_i^C} + F_i \left( \frac{d}{dF_i^C} EW \right) \right) \frac{1}{(1 - F_i \cdot EW)^2} \quad \dots(37)$$

20

【 0 1 7 6 】

ここで、待ち行列での待機時間  $W_i$  と共有チャネルのパケット到着率  $F_i^C$  との相関を得るため、 $EW$  の  $F_i^C$  に関する導関数を求めると、次のようになる。

【 0 1 7 7 】

【 数 3 8 】

$$\frac{d}{dF_i^C} EW = \frac{1 - e^{-G}}{G e^{-G}} \cdot \frac{d}{dF_i^C} S_i + \frac{G e^{-G} + G - 1}{G^2 e^{-G}} \cdot S_i \cdot \frac{d}{dF_i^C} G \quad \dots(38)$$

30

【 0 1 7 8 】

式 ( 3 8 ) の第 1 項は、式 ( 2 9 ) から正の値となる。次に、同式の第 2 項について説明する。 $G e^{-G} + G - 1$  は、常に 0 以上の値である。式 ( 2 7 ) により  $F_i^C$  が増えると衝突が増えるため、再送回数が増える。この場合、2 進指数バックオフにおいて  $G$  は、増加することが知られている ( 非特許文献 1 0 )。従って、 $F_i^C$  が増えると、 $G$  は、増加する。即ち、式 ( 3 8 ) の第 2 項は、正の値となる。以上のことから、式 ( 3 8 ) は、次のようになる。

【 0 1 7 9 】

【 数 3 9 】

$$\frac{d}{dF_i^C} EW > 0 \quad \dots(39)$$

40

【 0 1 8 0 】

従って、式 ( 2 9 ) , ( 3 0 ) , ( 3 9 ) から、待ち行列での待機時間  $W_i$  の  $F_i$  に関する導関数は、次のようになる。

【 0 1 8 1 】

【数 4 0】

$$\frac{d}{dF_i} W_i > 0 \quad \dots(40)$$

【 0 1 8 2】

式(40)から、待ち行列での待機時間 $W_i$ は、パケット到着率 $F_i$ に関して凸単調増加関数であることが分かる。また、遅延時間 $T_{ij}$ は、 $W_i$ と $S_i$ との和であることから、遅延時間 $T_{ij}$ も、パケット到着率 $F_i$ に関して凸単調増加関数である。更に、リンクコスト $d_{ij}$ は、Littleの定理で $D_{ij} = F_i \times T_{ij}$ として求まり、リンクコスト $d_{ij}$ のパケット到着率 $F_i$ に関する導関数は、次のようになる。

10

【 0 1 8 3】

【数 4 1】

$$\frac{d}{dF_i} d_{ij} = T_{ij} + F_i \frac{d}{dF_i} T_{ij} > 0 \quad \dots(41)$$

【 0 1 8 4】

以上のことから、パケット到着率とパケット処理時間に相関があり、その処理時間が指数分布に従わないIEEE 802.11の無線リンクにおいても、リンクコスト $d_{ij}$ は、パケット到着率 $F_i$ に関して凸単調増加関数であり、(f-3)の項目で説明したパケット分配特性が成立することが分かった。

20

【 0 1 8 5】

(g-3-2) IEEE 802.16による無線システムを用いた場合

IEEE 802.16においては、QoSがサポートされ、帯域保障が実施される(非特許文献11)。帯域保障を仮定すると、パケット到着率とパケット処理時間の独立性が成立する。しかし、パケット処理時間の分布は、制御遅延および適応変調制御により、指数分布に従わず、一様分布として考えられる。従って、このような無線リンクは、M/G/1待ち行列としてモデル化され得る。M/G/1待ち行列におけるリンクコストは、次のように求まる。

【 0 1 8 6】

【数 4 2】

$$d_{ij} = \frac{F_i}{C_{ij}} + \frac{F_i^2 \cdot C_{ij} \cdot \bar{X}^2}{2(C_{ij} - F_i)} \quad \dots(42)$$

【 0 1 8 7】

但し、 $C_{ij}$ は、帯域保障として予約された通信容量であり、 $X^2$ (実際は、式(42)に示すように $X$ の上にバーが存在する、以下同じ)は、パケット処理時間の2次モーメントである。

【 0 1 8 8】

$C_{ij}$ 、 $X^2$ のいずれも、パケット到着率 $F_i$ とは、独立であることから、リンクコストの $F_i$ に関する導関数は、次のようになる。

40

【 0 1 8 9】

【数 4 3】

$$\frac{d}{dF_i} d_{ij} = \frac{1}{C_{ij}} + \frac{F_i \cdot C_{ij} \cdot \bar{X}^2}{C_{ij} - F_i} + \frac{F_i^2 \cdot C_{ij} \cdot \bar{X}^2}{(C_{ij} - F_i)^2} > 0 \quad \dots(43)$$

【 0 1 9 0】

従って、IEEE 802.16の無線リンクコストも、IEEE 802.11と同様に

50

パケット到着率  $F_i$  に関して凸単調増加関数であり、( f - 3 ) の項目で説明したパケット分配特性が成立することが分かった。

【 0 1 9 1 】

以上より、無線 W A N 基地局の無線システムを I E E E 8 0 2 . 1 6 とし、無線 L A N 基地局の無線システムを I E E E 8 0 2 . 1 1 j とし、端末間通信に用いる無線システムを I E E E 8 0 2 . 1 1 g とするコグニティブ無線ネットワークにおいて、マルチホップアクセス経路の特性と有効性は、次のようになる。

【 0 1 9 2 】

( E f f 1 ) マルチホップアクセス経路へ経路を切換え、適量のパケットを分配することにより、ネットワーク全体のスループットを高く維持しつつ、遅延時間を減少させることが可能である。

10

【 0 1 9 3 】

( E f f 2 ) マルチホップアクセス経路への最適パケット分配率は、パケット到着率と遅延時間とから算出するリンクコストと経路コストとに基づいて求めることができる。

【 0 1 9 4 】

上述した数理モデルによって、無線通信ネットワークシステム 1 0 0 内に存在する無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5 , 6 は、W 経路のみを用いた無線通信または L 経路のみを用いた無線通信によって所望の基地局 ( 無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 のいずれか ) へアクセスするよりも、W 経路 ( または L 経路 ) とマルチホップアクセス経路とを用いて所望の基地局 ( 無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 のいずれか ) へアクセスする方が無線通信ネットワークシステム 1 0 0 において、スループットを維持しつつ、遅延時間を減少できることが分かった。

20

【 0 1 9 5 】

即ち、無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5 , 6 が W 経路 ( または L 経路 ) とマルチホップアクセス経路とを併用して所望の基地局へアクセスすることによって、無線通信ネットワークシステム 1 0 0 においてスループットを維持しつつ、遅延時間を減少できる。

【 0 1 9 6 】

そして、スループットを維持しつつ、遅延時間を減少させる方式で無線通信を行なうためには、時々刻々、変化する無線環境に適応して、経路コスト、究極的には、リンクコストを的確に把握する必要がある。

30

【 0 1 9 7 】

上述したように、無線リンクのリンクコストは、式 ( 1 3 ) によって表されるが、この式 ( 1 3 ) は、時間に非依存 ( 計測時間が無限大 ) である定常状態の式である。しかし、想定するネットワークは、次の点において定常状態ではなく、変動する環境である。

【 0 1 9 8 】

( M 1 ) リンク品質 : 無線環境に応じて、M A C 遅延時間と送信時間が変動し、その結果として、遅延時間が変動する。

【 0 1 9 9 】

( M 2 ) トラフィック : 個々の端末から発生するパケット到着率の変動および経路切換によりパケット到着率の変動が発生する。

40

【 0 2 0 0 】

従って、式 ( 1 3 ) を変動環境にそのまま適用することはできない。そこで、小さな時間区間 (  $t, t + \Delta t$  ) において、リンクコストを求める必要があるが、L i t t l e の定理を用いると、パケットの処理時間分布に依存せずに、次のように容易にリンクコストを求めることができる。

【 0 2 0 1 】

【数 4 4】

$$d_y(t + \Delta t) = F_i(t + \Delta t) \cdot T_{ij}(t + \Delta t) \dots (44)$$

【0202】

但し、 $F_i(t + t)$  は、端末  $i$  の時間区間  $(t, t + t)$  におけるパケット到着率であり、 $T_{ij}(t + t)$  は、リンク  $i, j$  の時間区間  $(t, t + t)$  における平均遅延時間である。

【0203】

パケット到着率および平均遅延時間は、十分に計測可能なメトリックである。従って、時間区間  $(t, t + t)$  において、各リンクのパケット到着率と平均遅延時間とを計測することにより、トラフィックの変動と無線リンク品質の変動とに対応してリンクコストを算出できる。

10

【0204】

スループットを維持しつつ、遅延時間を減少させるには、リンクコストの総和が最小となるようにマルチホップアクセス経路を探索する必要がある。経路コストは、経路を構成するリンクのリンクコストの和として求まる。想定するコグニティブ無線ネットワークでは、基地局が存在することから、各端末における経路情報とリンクコストとを基地局に集めて、最小コスト経路を探索することも可能である。しかし、リンクコストは、短期間に変動し、無線WANでは、収容端末数が多くなることから、端末から基地局への情報伝送による無線リソースの消費は、無視できない量になると考えられる。従って、コストが最小である経路の探索は、端末間で分散的に実施するため、分散型非同期 Bellman-Ford (非特許文献 12) を用いて、次のように探索する。

20

【0205】

任意の端末  $d$  または基地局  $d$  が  $d$  から  $d$  までの経路コストを  $D_d^d = 0$  として初期化し、近傍端末  $s$  へ配信する。近傍端末へ配信する情報を経路情報と呼び、経路情報は、送信先 IP アドレス、転送先 IP アドレスおよび経路コストを含む。

【0206】

そして、経路情報を受信した近傍端末  $s$  は、 $d$  から  $s$  までの最小コストとなる経路コスト  $D_d^s$  を次のように求める。

30

【0207】

【数 4 5】

$$D_d^s = \min_{m \in N(s)} (D_d^m + d_{sm}) \dots (45)$$

【0208】

但し、 $N(s)$  は、端末または基地局  $s$  の近傍端末集合であり、 $d_{sm}$  は、端末  $s$  と近傍端末  $m$  との間のリンクのリンクコストである。また、式 (45) は、式 (44) に示す一定時間  $t$  における待機トラフィック数に基づいて導かれる式であるので、式 (45) における経路コスト  $D_d^s$  は、定常状態における経路コストではなく、短期間  $t$  における経路コストである。

40

【0209】

その後、近傍端末  $s$  は、最小コストの経路コスト  $D_d^s$ 、送信先 IP アドレス  $d$ 、および転送先 IP アドレス  $s$  を含む経路情報を近傍端末へ配信する。

【0210】

図 10 は、最小コスト経路の探索を示す概念図である。最小コスト経路を探索する動作について詳細に説明する。端末  $a$  の探索モジュール 18 は、経路コスト  $D_a^a = 0$  を生成し、その生成した経路コスト  $D_a^a = 0$  と、送信先 IP アドレス = IP address \_\_  $a$  と、転送先 IP アドレス = IP address \_\_  $a$  とを含む経路情報 RTIF1 = [ IP address \_\_  $a$  / IP address \_\_  $a$  /  $D_a^a = 0$  ] を生成する。そして、端

50

末 a の探索モジュール 18 は、経路情報  $R T I F 1 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ a / D_a^a = 0 ]$  を近傍の端末  $j, k$  へ送信する。

【0211】

端末  $j$  の探索モジュール 18 は、端末 a から経路情報  $R T I F 1$  を受信し、その受信した経路情報  $R T I F 1$  に含まれる  $D_a^a = 0$  を検出する。そして、端末  $j$  の探索モジュール 18 は、端末  $j$  と、端末  $j$  の近傍端末との間の少なくとも 1 つのリンクにおける平均パケット到着率  $F_j(t + t)$  と平均遅延時間  $T_{j m}(t + t)$  とを計測し、その計測した平均パケット到着率  $F_j(t + t)$  および平均遅延時間  $T_{j m}(t + t)$  を式 (44) に代入して、少なくとも 1 つのリンクにおけるリンクコスト  $d_{j m}$  を演算する。

【0212】

そうすると、端末  $j$  の探索モジュール 18 は、 $D_a^a = 0$  と、演算したリンクコスト  $d_{j m}$  とを式 (45) に代入して、端末 a を送信先とする経路のうち、最小コストとなる経路コスト  $D_a^j$  を求める。そして、端末  $j$  の探索モジュール 18 は、その求めた経路コスト  $D_a^j$  と、送信先 IP アドレス =  $I P a d d r e s s \_ a$  と、転送先 IP アドレス =  $I P a d d r e s s \_ j$  とを含む経路情報  $R T I F 2 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ j / D_a^j ]$  を生成し、その生成した経路情報  $R T I F 2 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ j / D_a^j ]$  を近傍の端末へ送信する。

【0213】

また、端末  $k$  の探索モジュール 18 は、同様にして、端末 a から経路情報  $R T I F 1$  を受信し、端末 a を送信先とする経路のうち、最小コストとなる経路コスト  $D_a^k$  を求める。そして、端末  $k$  の探索モジュール 18 は、その求めた経路コスト  $D_a^k$  と、送信先 IP アドレス =  $I P a d d r e s s \_ a$  と、転送先 IP アドレス =  $I P a d d r e s s \_ k$  とを含む経路情報  $R T I F 3 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ k / D_a^k ]$  を生成し、その生成した経路情報  $R T I F 3 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ k / D_a^k ]$  を近傍の端末へ送信する。

【0214】

端末  $i$  の探索モジュール 18 は、端末  $j$  から経路情報  $R T I F 2 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ j / D_a^j ]$  を受信し、端末  $k$  から経路情報  $R T I F 3 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ k / D_a^k ]$  を受信する。そして、端末  $i$  の探索モジュール 18 は、端末  $i$  と、端末  $i$  の近傍端末との間の少なくとも 1 つのリンクにおける平均パケット到着率  $F_i(t + t)$  と平均遅延時間  $T_{i m}(t + t)$  とを計測し、その計測した平均パケット到着率  $F_i(t + t)$  および平均遅延時間  $T_{i m}(t + t)$  を式 (44) に代入して、少なくとも 1 つのリンクにおけるリンクコスト  $d_{i m}$  を演算する。

【0215】

そうすると、端末  $i$  の探索モジュール 18 は、経路情報  $R T I F 2$  に含まれる経路コスト  $D_a^j$  と、経路情報  $R T I F 3$  に含まれる経路コスト  $D_a^k$  とを比較し、小さい方の経路コストを式 (45) の  $D_a^m$  に代入し、演算したリンクコスト  $d_{i m}$  を式 (45) の  $d_{s m}$  に代入して、端末 a を送信先とする経路のうち、最小コストとなる経路コスト  $D_a^i$  を求める。そして、端末  $i$  の探索モジュール 18 は、その求めた経路コスト  $D_a^i$  と、送信先 IP アドレス =  $I P a d d r e s s \_ a$  と、転送先 IP アドレス =  $I P a d d r e s s \_ i$  とを含む経路情報  $R T I F 4 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ i / D_a^i ]$  を生成し、その生成した経路情報  $R T I F 4 = [ I P a d d r e s s \_ a / I P a d d r e s s \_ i / D_a^i ]$  を近傍の端末へ送信する。

【0216】

各端末は、上記の動作を繰り返し行なって送信先 (= 端末 a) に対するマルチホップアクセス経路のうち、最小の経路コスト  $D_a^m$  をするマルチホップアクセス経路を探索する。

【0217】

図 10 においては、端末 a が経路コストの初期値  $D_a^a = 0$  を生成して送信する場合に

10

20

30

40

50

ついて説明したが、経路コストの初期値  $D_d^d = 0$  は、任意の端末によって生成され、近傍端末へ送信されるので、各端末は、上記の経路情報 R T I F の通信を通じて、各送信先 (= 経路コストの初期値  $D_d^d = 0$  を生成した端末)、各送信先へパケットを送信するときの転送先および最小の経路コスト  $D_d^s$  を取得する。

【 0 2 1 8 】

図 1 1 は、経路テーブルの概念図である。経路テーブル R T T は、送信先、転送先および経路コストからなり、送信先、転送先および経路コストは、相互に対応付けられる。送信先は、送信先 I P アドレスからなり、転送先は、転送先 I P アドレスからなり、経路コストは、式 ( 4 5 ) によって演算される経路コスト  $D_d^s$  からなる。

【 0 2 1 9 】

各端末は、経路情報 R T I F の通信を通じて、各送信先 (= 経路コストの初期値  $D_d^d = 0$  を生成した端末)、各送信先へパケットを送信するときの転送先および最小の経路コスト  $D_d^s$  を取得するので、各端末のコントローラ 1 6 は、その取得した経路情報 R T I F に基づいて、経路テーブル R T T を作成して保持する。

【 0 2 2 0 】

また、上述した経路情報 R T I F の通信を通じて、無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 の各々は、W 経路、L 経路およびマルチホップアクセス経路の少なくとも 1 つの経路によって自己にアクセスする複数の端末のトポロジを認識するとともに、その認識したトポロジを管理する。そして、無線 E A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 の各々は、新たな経路情報 R T I F を端末から受信すると、その受信した新たな経路情報 R T I F に基づいて、管理しているトポロジを更新するとともに、その更新したトポロジを管理する。その結果、無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 の各々は、自己にアクセスするマルチホップアクセス経路を構成する複数の端末の各々が経路コストの初期値  $D_d^d = 0$  を生成した場合における経路情報 R T I F を受信することによって、経路コストの初期値  $D_d^d = 0$  を生成した端末が自己から何ホップ目に存在するかを認識できる。

【 0 2 2 1 】

なお、各端末は、上述した最小コスト経路の探索を一定時間  $t$  毎に行なう。

【 0 2 2 2 】

スループットを維持しつつ、遅延時間を減少させるためのパケット分配は、上述した方法によって最小コスト経路を探索し、その探索した最小コスト経路へパケットを送信するためのパスを切換えることによりパケットを分配する。

【 0 2 2 3 】

しかし、次の点において問題が発生する。

【 0 2 2 4 】

( P b 1 ) ある時間区間で最小コスト経路において、その近傍端末の大部分が当該経路へパスを切換えてパケットを分配するため、パケットが集中することとなる。その結果、次の時間区間において、当該経路の経路コストが増大し、近傍端末は、パスを他の経路へ切換えることとなる。このように、経路切換の発振が発生し、不安定な状態となる可能性が高い。

【 0 2 2 5 】

( P b 2 ) 一時的にループ経路を構成する可能性がある。

【 0 2 2 6 】

これらの問題は、次の原因によって発生する。

【 0 2 2 7 】

( O r g 1 ) 各端末は、周期的に経路情報を近傍端末へ配信するため、近傍端末は、他の近傍端末の経路切換による経路コストの変動を少なくとも次の周期の経路情報を取得するまで分からない。その結果として、各端末は、経路コストの変動に気づかずに、多数の端末が前の配信周期においてコストの低い経路へパケットを分配することになる。即ち、コストの高い経路からコストの低い経路へ過度のパケットが移動する。

10

20

30

40

50

## 【0228】

(Org 2)各端末は、如何なる情報を経路情報に含めたとしても、他の端末の経路切換によるトポロジー変動をその変動内容を含む経路情報を取得するまで分からない。従って、ループ経路の発生原因は、トポロジー変動に気づかずに経路を決定するためである。

## 【0229】

そこで、これらの問題を解決するためには、各端末の経路切換周期と比較して経路情報配信周期を相当短い周期とすることである。しかし、分散型非同期 Bellmann - Ford などの端末の自律分散による情報配信では、端末数が多くなると、そのコスト（情報が伝達するまでの遅延時間および通信量）が膨大となる。従って、パケット分配のための経路切換と端末による最小コスト経路の探索とを基地局（無線WAN基地局10および無線LAN基地局20, 30）により制御する。

10

## 【0230】

なお、この基地局による経路切換の制御を行なう場合、基地局を端末における経路切換の同期点（サーバ）とすると、基地局と端末との間の通信量の増加と基地局における処理増加とが問題となる。従って、基地局による経路切換の制御は、全ての端末からの要求に应答するのではなく、最適な端末を選択し、その選択した端末に動作指示を行なう能動的な制御によって実現される。

## 【0231】

以下、基地局による経路切換の制御について説明する。パケット分配における経路切換の発振問題は、結果的に、コストの高い経路からコストの低い経路へ過度のパケットが移動したことにある。従って、基地局は、適量のパケットをコストの高い経路からコストの低い経路へ徐々に移動するために、端末のパケット分配動作を能動的に制御する。

20

## 【0232】

図12は、パケットの分配方法を説明するための図である。上述したように、パケット分配率においてネットワークコストの最適解が存在し、ネットワークコストは、パケット分配率に対して下に凸の関数である（図12の曲線k3参照）。

## 【0233】

従って、降下法を用いてコストの高い経路に次式を繰り返し適用して最小解を求める。

## 【0234】

## 【数46】

$$D^H(p) > D^H(p - \alpha(t) \cdot \Delta p) \dots (46)$$

30

## 【0235】

但し、 $D^H$  は、高コスト経路のコストであり、 $p$  は、経路の現在のパケット量であり、 $(t)$  は、繰り返し  $t$  回目の  $(t)$  の値 ( $0 < (t) < 1$ ) であり、 $p$  は、初期パケットの移動量である。

## 【0236】

コストの高い経路（= W 経路）からその一部のパケット（ $p$  を決定）をコストの低い経路へ移動する（図12の矢印ARW1参照）。そして、一部のパケットを移動させた後において、コストの高い経路が前回と同一である場合、前回と同じ量のパケット（ $(t+1) = (t)$ ）をコストの低い経路へ移動する。一方、コストの高い経路が入れ替わった場合は、コストの高い新たな経路から前回より少ない量のパケット（ $(t+1) < (t) - \dots$ ,  $0 < (t+1) < 1$ ）をコストの低い経路へ移動する（図12の矢印ARW2参照）。そして、上述した動作を繰り返し、パケット分配量を減少させつつ、最小解の近傍へ徐々に近づく（図12のARW3, ARW4参照）。

40

## 【0237】

基地局（無線WAN基地局10および無線LAN基地局20, 30）は、図12において説明した方式によって、セル内の全端末と直接通信可能なW経路を用いて次のように端末におけるパケット分配を能動的に制御する。

## 【0238】

50

まず、基地局は、W経路、L経路および複数のマルチホップアクセス経路が合流する木構造のルート毎に平均遅延時間 (  $sec / packet$  ) と平均スループット (  $packet / sec$  ) をある時間区間で計測し、その積 ( = 式 ( 44 ) ) を経路コストとして算出する。

【 0 2 3 9 】

その後、基地局は、経路コストが最大である経路を選択し、その選択した経路を構成する特定端末へ経路切換指示をW経路を介して送信する。この場合、基地局は、経路コストが最大である経路がマルチホップアクセス経路である場合、次のように、経路切換を実行する特定端末を決定する。最大コスト経路が前回の計測区間における最大コスト経路と同じである場合、前回と同じ切換えホップ数  $x$  (  $= 1$  と同等 ) に位置する端末を特定端末として選択する。一方、最大コスト経路が前回計測区間における最大コスト経路と異なる場合、前回の切換えホップ数  $x$  に “ 1 ” を加算したホップ数  $x + 1$  (  $< 1$  と同等 ) に位置する端末を特定端末として選択する。

10

【 0 2 4 0 】

このように、基地局は、経路の切換位置を後方のホップ ( = 基地局から遠ざかるホップ ) へ徐々に移動させるように、即ち、切換位置の後方にある端末数を減らすことにより、パケット分配量を減少させ、最小解の近傍に近づける。

【 0 2 4 1 】

経路切換指示を受信した特定端末は、基地局からの制御とは独立して行なっている最小コスト経路の端末によって見つけた経路 ( W経路およびL経路も含める ) へ切換えるために、転送先IPアドレスを含む経路切換応答を基地局へW経路を用いて送信する。

20

【 0 2 4 2 】

経路切換応答を受信した基地局は、その応答内容に基づいて基地局で管理する経路トポロジを更新し、端末へ応答確認を送信する。特定端末は、基地局から応答確認を受信すると、自己が探索した最小コスト経路へ経路を切換える。基地局および特定端末は、上述した動作を繰り返し行なう。これによって、スループットを維持しつつ、遅延時間を減少させるための最適パケット分配率へパケット分配率が近づく。

【 0 2 4 3 】

また、基地局 ( 無線WAN基地局 10 および無線LAN基地局 20 , 30 ) は、無線WAN端末 1 ~ 4 および無線LAN端末 5 , 6 による最小コスト経路の探索を次のように制御する。

30

【 0 2 4 4 】

端末が無線通信ネットワークシステム 100 に新たに参加した場合、基地局は、新規端末に最小コスト経路探索を指示する。但し、マルチホップアクセス経路が全く構成されていない場合、コスト計算ができないので、このような場合、基地局は、新規端末に最小ホップ数による経路探索を指示する。

【 0 2 4 5 】

新規端末は、経路探索指示を受信し、その受信した経路探索指示に従って最小コストまたは最小ホップ数による経路探索を行なう。

【 0 2 4 6 】

そして、基地局は、経路探索を指示した後、一定時間経過後に該当端末に経路切換指示をW経路を用いて送信し、この経路切換指示の応答として端末から転送先IPアドレスを取得する。これにより、基地局は、新規端末のマルチホップアクセス経路のトポロジを獲得する。その後、新規端末は、経路コストに基づいて、基地局からの制御とは独立に最小コスト経路の探索を行なう。

40

【 0 2 4 7 】

基地局は、上述したパケット分配のための制御における端末からの応答も含め、経路切換指示に対する応答に含まれている転送先IPアドレスと、保持している経路トポロジとからループ経路が構成され得るか否かを判定する。そして、基地局は、ループ経路が構成されない場合、応答確認をW経路を用いて特定端末へ送信し、ループ経路が構成される

50

場合、拒否応答をW経路を用いて特定端末へ送信する。

【0248】

特定端末は、基地局から応答確認を受信すると、自己が探索した最小コスト経路へ経路を切換え、基地局から拒否応答を受信すると、経路の切換えを行なわない。

【0249】

このように、基地局は、特定端末からの応答に含まれている転送先IPアドレスに基づいて、ループ経路が構成されるか否かを判定し、ループ経路が構成されない場合に経路切換えを許可する応答確認をW経路を用いて特定端末へ送信し、特定端末は、応答確認に応じて、経路切換えを実行する。これによって、ループ経路が構成されるのを回避できる。

【0250】

図13は、最小コスト経路を探索する動作を説明するためのフローチャートである。なお、図13に示すフローチャートは、端末が無線通信ネットワークシステム100に新規に参加した場合に実行される。

【0251】

一連の動作が開始されると、基地局は、無線通信ネットワーク100に新規に参加した新規端末のIDを含むHelloパケットを新規端末から受信することによって、無線通信ネットワークシステム100に新規に参加した端末があることを検知する。

【0252】

そして、基地局は、自己が管理している経路トポロジーに基づいて、無線通信ネットワークシステム100においてマルチホップアクセス経路が形成されているか否かを判定し（ステップS1）、マルチホップアクセス経路が形成されていない場合、最小ホップ数による経路探索の指示をW経路を用いて新規端末へ送信する（ステップS2）。この場合、基地局は、各送信先IPアドレスを経路探索指示に含めて新規端末へ送信する。

【0253】

新規端末は、最小ホップ数による経路探索の指示を受信し（ステップS3）、その受信した経路切換え指示に含まれる各送信先IPアドレスに基づいて、各送信先に対する最小ホップ数の経路を探索する（ステップS4）。新規端末は、無線通信ネットワークシステム100に参加した後、各端末のIDを含むHelloパケットを受信するので、その受信したHelloパケットに含まれる各端末のIDに基づいて、各端末を送信先とする経路トポロジーを認識する。従って、新規端末は、その認識した経路トポロジーに基づいて、基地局によって指定された各送信先に対する最小ホップ数の経路を探索できる。

【0254】

そして、新規端末は、各送信先に対する最小ホップ数の経路を探索すると、その探索した最小ホップ数の経路における転送先IPアドレスを含む応答を基地局へ送信する（ステップS5）。

【0255】

そして、基地局は、新規端末から応答を受信し、その受信した応答に含まれる転送先IPアドレスと、保持している経路トポロジーとから新規端末のマルチホップアクセス経路におけるトポロジーを取得する（ステップS6）。

【0256】

ステップS1においてマルチホップアクセス経路が形成されていると判定されたとき、またはステップS6の後、新規端末は、基地局からの制御とは独立に、図10において説明した動作に従って最小コスト経路を探索する（ステップS7）。そして、一連の動作は、終了する。

【0257】

このように、基地局は、端末が無線通信ネットワークシステム100に新規に参加した場合、その新規に参加した新規端末に対して、最小ホップ数による経路探索を指示し、その指示に対する応答に基づいて、新規端末のマルチホップアクセス経路におけるトポロジーを取得する。そして、新規端末は、応答を基地局へ送信した後、基地局の制御とは独立に経路コストによる最小コスト経路の探索を行なう。

10

20

30

40

50

## 【0258】

図14は、パケット分配率を最適化する動作を説明するためのフローチャートである。一連の動作が開始されると、基地局は、 $t = 1$ を設定し(ステップS11)、W経路、L経路および複数のマルチホップアクセス経路が合流する木構造のルート毎に平均遅延時間および平均スループットをある時間区間で計測し、その計測した平均遅延時間および平均スループットを式(44)に代入して経路コスト $d_{ij}$ を算出する(ステップS12)。

## 【0259】

基地局は、算出した複数の経路コストに基づいて、複数の経路のうち、経路コストが最大である経路を選択し(ステップS13)、その選択した経路を構成する特定端末を後述する方法によって選択する(ステップS14)。

10

## 【0260】

そして、基地局は、W経路を介して経路切換指示を特定端末へ送信する(ステップS15)。この経路切換指示は、経路切換指示を送信した基地局を送信先とする経路を最小コスト経路へ切換えるための指示である。

## 【0261】

そうすると、特定端末は、基地局から経路切換指示を受信し(ステップS16)、その受信した経路切換指示に応じて、自己から基地局までの経路を、図13に示すステップS7において探索した最小コスト経路へ切換えるときの転送先IPアドレスを含む経路切換応答を生成してW経路で送信する(ステップS17)。

## 【0262】

そして、基地局は、経路切換応答を受信し(ステップS18)、経路切換応答に含まれる転送先IPアドレスに基づいて、ループ経路が形成されるか否かを判定する(ステップS19)。

20

## 【0263】

基地局は、ループ経路が形成されないと判定したとき、応答確認を特定端末へ送信し(ステップS20)、 $t = t + 1$ を設定する(ステップS21)。そして、特定端末は、応答確認を受信するとともに(ステップS22)、その受信した応答確認に応じて、基地局までの経路を最小コスト経路へ切換える(ステップS23)。その後、一連の動作は、ステップS16へ戻る。

## 【0264】

一方、ステップS19において、基地局は、ループ経路が形成されると判定したとき、拒否応答を特定端末へ送信する(ステップS24)。そして、特定端末は、拒否応答を受信し(ステップS25)、拒否された経路以外の経路の中で経路コストが最小である経路を探索する(ステップS26)。その後、一連の動作は、ステップS17へ戻る。

30

## 【0265】

このように、図14に示すフローチャートは、一度、スタートすると、上述したステップS11~ステップS26に従って、パケット分配率を最適化する動作を繰り返し行なう。そして、パケット分配率が一定値になった時点でパケット分配率が最適化されたことになる。

## 【0266】

なお、パケット分配率を最適化する動作は、図14に示すフローチャートのステップS11~ステップS26を備えるプログラムを実行させることによって行なわれる。そして、パケット分配率を最適化する動作は、パケット分配率が一定値になった時点でプログラムの実行を停止させることによって停止される。

40

## 【0267】

図15は、図14に示すステップS14の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。図14に示すステップS13の後、基地局は、 $t$ 回目にステップS13において選択した最大コスト経路(=経路コストが最大である経路)がマルチホップアクセス経路であるか否かを判定し(ステップS141)、最大コスト経路がマルチホップアクセス経路であるとき、最大コスト経路が前回(= $t - 1$ 回目)の計測区間における最大コスト経

50

路と同じであるか否かを更に判定する（ステップS142）。

【0268】

そして、基地局は、最大コスト経路が前回の計測区間における最大コスト経路と同じであると判定したとき、前回と同じ切換えホップ数 $x$ に位置する端末を特定端末として選択する（ステップS143）。

【0269】

一方、基地局は、最大コスト経路が前回の計測区間における最大コスト経路と同じでないと判定したとき、切換えホップ数 $x + 1$ に位置する端末を特定端末として選択する（ステップS144）。

【0270】

ステップS141において、最大コスト経路がマルチホップアクセス経路でないと判定されたとき、経路コストが最大である経路を構成する端末を特定端末として選択する（ステップS145）。

【0271】

そして、ステップS143、ステップS144およびステップS145のいずれかの後、一連の動作は、図14に示すステップS15へ移行する。

【0272】

図16および図17は、それぞれ、図15に示すフローチャートに従って特定端末を選択する第1および第2の概念図である。なお、図16および図17において、M1～M7は、無線WAN端末1～4または無線LAN5, 6である端末を表す。

【0273】

端末M1は、W経路RT1を用いて無線WAN基地局10へアクセスし、端末M7は、W経路RT2を用いて無線WAN基地局10へアクセスし、端末M6は、端末M2 - 端末M3 - 端末M4 - 端末M5 - 端末M6からなるマルチホップアクセス経路RT3を用いて無線WAN基地局10へアクセスする（図16の(a)参照）。

【0274】

このような状況において、無線WAN基地局10は、複数の経路RT1～RT3の各々において経路コスト $d_{ij}$ を上述した方法によって算出し、その算出した複数の経路コスト $d_{ij}$ に基づいて、経路コストが最大である経路を選択する（図14のステップS13参照）。

【0275】

経路切換を最初に行なう場合において、最大コスト経路がマルチホップアクセス経路RT3である場合（図15のステップS141の“YES”参照）、無線WAN基地局10は、マルチホップアクセス経路RT3の2ホップ目に位置する端末M3を特定端末として選択し、経路切換指示をW経路を用いて端末M3へ送信し、端末M3は、無線WAN基地局10から応答確認を受信すると、無線WAN基地局10までの経路を自己が探索した最小コスト経路へ切換える（図14のステップS21, S22参照）。これにより、パケット分解率を最適化するための経路切換が開始される。

【0276】

そして、経路切換が2回目以降に実行される場合において、最大コスト経路がマルチホップアクセス経路RT3であり（図15のステップS141の“YES”参照）、マルチホップアクセス経路RT3が前回の計測区間における最大コスト経路と同じである場合（図15のステップS142の“YES”参照）、無線WAN基地局10は、前回と同じ切換えホップ数 $x$ （=2）に位置する端末M3を特定端末として選択し（図15のステップS143参照）、経路切換指示をW経路を用いて端末M3へ送信する。なお、前回と同じ切換えホップ数 $x$ に位置する端末を特定端末として選択することは、式(46)において、 $(t)$ を $(t) = 1$ に設定することに相当する。

【0277】

そして、端末M3は、無線WAN基地局10から応答確認を受信すると、無線WAN基地局10までの経路を自己が探索した最小コスト経路（=端末M7を経由する経路）へ切

10

20

30

40

50

換える（図14のステップS21, S22および図16の(b)参照）。これにより、無線WAN基地局10にアクセスする経路は、経路RT1, RT4, RT5に更新される。

【0278】

無線WAN基地局10へアクセスする経路として経路RT1, RT4, RT5が形成された状況において（図17の(a)参照）、無線WAN基地局10は、経路RT1, RT4, RT5の各々において経路コスト $d_{ij}$ を上記した方法によって算出し、その算出した複数の経路コスト $d_{ij}$ の総和を演算して総経路コストを演算する（図14のステップS23参照）。そして、無線WAN基地局10は、パケット分配率が最適でない判定すると（図14のステップS26の“NO”参照）、複数の経路コスト $d_{ij}$ に基づいて、マルチホップアクセス経路RT5を最大コスト経路として選択する（図14のステップS13参照）。

10

【0279】

そして、無線WAN基地局10は、最大コスト経路がマルチホップアクセス経路RT5であり（図15のステップS141の“YES”参照）、マルチホップアクセス経路RT5が前回の計測区間における最大コスト経路（=マルチホップアクセス経路RT3）と異なるので（図15のステップS142の“NO”参照）、切換えホップ数 $x+1$ に位置する端末M4を特定端末として選択し（図15のステップS144参照）、経路切換え指示をW経路を用いて端末M4へ送信する。なお、切換えホップ数 $x+1$ に位置する端末を特定端末として選択することは、式(46)において、 $(t)$ を $(t) < 1$ に設定することに相当する。

20

【0280】

そして、端末M4は、無線WAN基地局10から応答確認を受信すると、無線WAN基地局10までの経路を自己が探索した最小コスト経路（=端末M2を経由する経路）へ切換える（図14のステップS21, S22および図17の(b)参照）。これにより、無線WAN基地局10にアクセスする経路は、経路RT1, RT6, RT7に更新される。

【0281】

また、経路コストが最大である経路がマルチホップアクセス経路ではないW経路RT1である場合（図15のステップS141の“NO”参照）、無線WAN基地局10は、W経路RT1を構成する端末M1を特定端末として選択し（図15のステップS145参照）、経路切換え指示をW経路を用いて端末M1へ送信する。

30

【0282】

そして、端末M1は、無線WAN基地局10から応答確認を受信すると、無線WAN基地局10までの経路を自己が探索した最小コスト経路（例えば、端末M7を経由する経路）へ切換える。

【0283】

このように、無線WAN基地局10は、最大コスト経路が前回の計測期間の最大コスト経路と同じである場合、前回と同じ切換え数 $x$ に位置する端末を特定端末として選択し、経路切換えを行なうように特定端末を制御し、最大コスト経路が前回の計測期間の最大コスト経路と異なる場合、前回の切換えホップ数 $x$ に“1”を加算した切換えホップ数 $x+1$ に位置する端末を特定端末として選択し、経路切換えを行なうように特定端末を制御し、最大コスト経路がマルチホップアクセス経路ではない場合、W経路を構成する端末を特定端末として選択し、経路切換えを行なうように特定端末を制御する。

40

【0284】

特定端末としてW経路を構成する端末が選択され、経路切換えが行なわれた場合、経路切換えが行なわれた後は、1個のW経路のパケットをマルチホップアクセス経路へ分配することになるので、パケット分配率が最適値に近づくことになり、マルチホップアクセス経路のパケットを別のマルチホップアクセス経路へ分配する場合は、切換えホップ数が“1”ずつ増加するように（即ち、前回のパケット分配量より少なく量のパケットを別のマルチホップアクセス経路へ分配するように）、経路切換えが行なわれるので、図14に示すステップS12~S23, S26, S27からなるループが繰り返し実行されることは、パケ

50

ット分配率が図 1 2 に示す矢印 A R W 1 ~ A R W 4 に従って最適分配率に近づくことに相当する。即ち、図 1 4 に示すステップ S 1 2 ~ S 2 3 , S 2 6 , S 2 7 からなるループが繰り返し実行されることは、スループットを維持し、かつ、遅延時間を相対的に低下させる経路切換処理を行なうことに相当する。

【 0 2 8 5 】

なお、基地局が無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 である場合も、上述した動作と同じ動作によってパケット分配率が最適化される。この場合、上記における“ W 経路 ”を“ L 経路 ”に読み替えばよい。

【 0 2 8 6 】

従って、無線通信ネットワークシステム 1 0 0 内に存在する無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 の各々が上述した動作によって W 経路 ( または L 経路 ) およびマルチホップアクセス経路に分配するパケットのパケット分配率を最適化することによって無線通信ネットワークシステム 1 0 0 におけるネットワークコストが最小になる。

【 0 2 8 7 】

そして、無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5 , 6 の各々は、ネットワークコストが最小になった状態で無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 へアクセスする。

【 0 2 8 8 】

従って、この発明によれば、無線 W A N 端末 1 ~ 4 および無線 L A N 端末 5 , 6 の各々は、所望の基地局 ( 無線 W A N 基地局 1 0 および無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 のいずれか ) に高能率でアクセスできる。

【 0 2 8 9 】

[ シミュレーションによる評価 ]

この発明によるパケット分配率の最適化方法のシミュレーションによる評価結果について説明する。シミュレーションには、O P N E T C o r e S o f t w a r e 1 1 . 5 A P L 1 および O P N E T 0 3 - O c t - 2 0 0 5 - W i M A X を用いた。

【 0 2 9 0 】

無線通信ネットワークの構成は、シミュレーションによる評価時間を考慮して図 1 に示す無線 W A N セル 8 0 の空間の 1 0 分の 1 のスケールの空間とし、次のような構成とした。

【 0 2 9 1 】

( C M 1 ) 無線通信ネットワークの空間を 5 6 0 m x 5 6 0 m の正方空間とする ( 面積を 1 / 1 0 ) 。

【 0 2 9 2 】

( C M 2 ) 1 台の無線 W A N 基地局を無線通信ネットワークの空間にランダムに配置する。

【 0 2 9 3 】

( C M 3 ) 2 台の無線 L A N 基地局 2 0 , 3 0 を無線通信ネットワークの空間にランダムに配置する ( 無線 L A N 基地局数は、 1 / 1 0 ) 。

【 0 2 9 4 】

( C M 4 ) 1 0 0 台の端末を無線通信ネットワークの空間にランダムに配置する ( 端末数は、 1 / 1 0 ) 。

【 0 2 9 5 】

( C M 5 ) 無線 W A N 基地局における I E E E 8 0 2 . 1 6 は、 1 セル当たりの端末数が 1 / 1 0 となるため、その端末数に比例して最大送信レートを約 1 / 1 0 の 1 . 4 5 M b p s とした。

【 0 2 9 6 】

( C M 6 ) 無線 L A N 基地局における I E E E 8 0 2 . 1 1 j は、 1 セル当たりの端末数が同じであるので、通信レートも同一の最大 5 4 M b p s とした。

【 0 2 9 7 】

10

20

30

40

50

(CM7) マルチホップアクセス経路の IEEE 802.11g は、近傍端末数が同一であるので、通信レートも同一の最大 54 Mbps とした。

【0298】

(CM8) IEEE 802.11j のチャンネル割当は、自動とし、IEEE 802.11g のチャンネル割当は、固定の同一チャンネルとした。

【0299】

(CM9) IEEE 802.11g/j において、MAC 遅延時間を考慮し、RTS/CTS の代わりに CTS-to-self (CTS を自己宛に送信する) を用いた。

【0300】

IEEE 802.11g および IEEE 802.11j において、電波伝搬モデルは、伝搬環境を LOS (Line-Of-Sight、見通し内) として、受信信号強度を距離の二乗による自由空間伝搬損失した値とした。また、IEEE 802.11g は、100m、IEEE 802.11j は、50m をそれぞれ超えると、パケット誤り率を 100% とするように、パケット受信が可能なしきい値を調整した。IEEE 802.16 においては、使用した OPNET のバージョンでは、伝搬部分が未実装である (干渉およびパケットロス等が不考慮) ため、端末数で均等に分配された容量が損失なしに使用可能となる。従って、IEEE 802.16 は、端末数で均等に分配された帯域を保証する高品質な無線システムである。

10

【0301】

トラフィックは、無線通信ネットワーク全体の平均パケットサイズを設定し、それを平均として指数分布で各端末の平均パケットサイズを分散させた。各端末は、割当てられた平均パケットサイズを平均として指数分布に従ったサイズのパケットを発生させる。また、そのパケット到着間隔は、指数分布に従うこととした。

20

【0302】

シミュレーション開始時の無線通信ネットワークのトポロジーは、次のように設定された。

【0303】

(CM10) 端末は、無線 LAN 基地局のセル内に存在する場合、無線 LAN 基地局と接続し、L 経路を形成する。

【0304】

(CM11) 端末は、無線 LAN 基地局のセル以外に存在する場合、無線 WAN 基地局と接続し、W 経路を形成する。

30

【0305】

(CM12) シミュレーションの評価時間は、1000 秒とし、シミュレーション開始から 100 秒後に各端末でパケットの発生を開始した。

【0306】

(CM13) シミュレーション開始から 150 秒後に基地局から新規端末 (全端末) へ最小ホップ数で経路探索開始の指示を送信した。

【0307】

(CM14) シミュレーション開始から 300 秒後に基地局から新規端末 (全端末) へ経路切替指示を送信し、それ以降、基地局制御により各端末で最小コスト経路探索と経路切替を繰り返し行なう。

40

【0308】

上記において、各端末の最小コスト経路探索における経路情報の配信間隔を 10 秒、リンクコストの更新間隔を 10 秒、基地局から端末への経路切替指示の送信間隔を 20 秒とした。

【0309】

評価項目は、単位時間あたりに基地局に到着したパケットの遅延時間 (パケットが発生してから基地局に到着するまでの時間) の和 (sec、以下、遅延時間) と、単位時間あたりの基地局に到着したパケットの総量 (bits、以下、スループット) とした。

50

## 【0310】

また、この発明による方式の有効性を示すために、以下の3つの方式と評価項目において比較した。

## 【0311】

(MTD1)リンクコストをホップ数とする方式(経路切換において最小ホップ数の経路を選択する方式)

(MTD2)DLAR(Dynamic Load Aware Routing, 非特許文献13)で用いられているリンクコストを待機パケット数とする方式(経路を構成する各リンクの待機パケット数の和を経路コストとして、経路切換で最小コスト経路を選択する方式)

(MTD3)DOSPR(Delay Oriented Shortest Path Routing, 非特許文献14)で用いられているリンクコストを平均遅延時間とする方式(経路を構成する各リンクの平均遅延時間(MAC遅延時間+送信時間)の和を経路コストとして、経路切換で最小コスト経路を選択する方式)

図18は、平均パケットサイズが180ビットであり、平均パケット到着間隔が70msである場合の遅延時間のタイミングチャートである。図19は、平均パケットサイズが180ビットであり、平均パケット到着間隔が70msである場合のスループットのタイミングチャートである。図20は、平均パケットサイズが64ビットであり、平均パケット到着間隔が50msである場合の遅延時間のタイミングチャートである。図21は、平均パケットサイズが64ビットであり、平均パケット到着間隔が50msである場合のスループットのタイミングチャートである。

## 【0312】

図18および図20において、縦軸は、遅延時間を表し、横軸は、時間を表す。また、図19および図21において、縦軸は、スループットを表し、横軸は、時間を表す。

## 【0313】

更に、図18において、曲線k4, k5, k6, k7は、それぞれ、この発明による方式、方式MTD1、方式MTD2および方式MTD3による遅延時間のタイミングチャートを示す。

## 【0314】

更に、図19において、曲線k8, k9, k10, k11は、それぞれ、この発明による方式、方式MTD1、方式MTD2および方式MTD3によるスループットのタイミングチャートを示す。

## 【0315】

更に、図20において、曲線k12, k13, k14, k15は、それぞれ、この発明による方式、方式MTD1、方式MTD2および方式MTD3による遅延時間のタイミングチャートを示す。

## 【0316】

更に、図21において、曲線k16, k17, k18, k19は、それぞれ、この発明による方式、方式MTD1、方式MTD2および方式MTD3によるスループットのタイミングチャートを示す。

## 【0317】

更に、図18および図19においては、無線通信ネットワーク全体のトラフィック総量が256Kbpsであり、図20および図21においては、無線通信ネットワーク全体のトラフィック総量が128Kbpsである。

## 【0318】

平均パケット到着時間が70msである場合、経路切換後、ホップ数方式は、遅延時間が減少する(曲線k5参照)。DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式は、一時的に経路切換前よりも遅延時間が増加する。しかし、DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式においては、遅延時間は、時間が経過するに従って減少し、経路切換前の遅延時間よりも小さくなり(曲線k4, k6, k7参照)、更に、ホ

10

20

30

40

50

ップ数方式の遅延時間よりも小さくなる（曲線 k 4 ~ k 7 参照）。

【 0 3 1 9 】

これは、切換直後においては、基地局におけるリンクコストの計算がデータ不足から偏りがあるが、時間の経過に伴ってデータの偏りが改善されると、パケット分配率が徐々に最適解の近傍へ近づくためである。

【 0 3 2 0 】

また、DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式を比較すると、この発明による方式は、最も遅延時間を減少させる。DLAR方式およびDOSPR方式は、この発明による方式よりも最小コスト経路としてW経路を選択するが多い。そのため、この発明による方式においては、遅延時間が最も小さくなる。即ち、この発明による方式は、DLAR方式およびDOSPR方式と比較して、コストがより低い経路によってマルチホップアクセス経路を構成し、W経路へトラフィックを戻すことを抑制していると考えられる。従って、この発明による方式のリンクコストがDLAR方式およびDOSPR方式のリンクコストよりも有効である。

10

【 0 3 2 1 】

図20に示す場合は、図18に示す場合よりも、より小さいパケットがより頻繁に発生する。即ち、トラフィック総量は、小さいが、通信回数が増え、また、1回の通信に占める制御通信の割合が多くなる。その結果、遅延時間が増加することになる（曲線 k 1 2 ~ k 1 5 参照）。

【 0 3 2 2 】

このような場合において、マルチホップアクセス経路は、基地局までに複数回の通信を必要とするため、W経路およびL経路よりも遅延時間の増加の影響を受け易い。従って、リンク品質を考慮しないホップ数方式は、経路切換前よりも遅延時間が大きくなる結果となる。DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式は、図18に示す場合と同様に、経路切換直後において遅延時間が増えるが、時間の経過に従い遅延時間が減少し、経路切換前よりも遅延時間が小さくなる（曲線 k 1 2 , k 1 4 , k 1 5 参照）。

20

【 0 3 2 3 】

また、DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式を比較すると、この発明による方式は、最も小さい遅延時間を示し、図18に示す場合よりも、DLAR方式およびDOSPR方式の遅延時間との差が拡大する。即ち、より小さいパケットがより頻繁に発生し、制御遅延、衝突およびパケット誤り率が増える状況においても、この発明によるリンクコストは、DLAR方式およびDOSPR方式より、マルチホップアクセス経路を効果的に構成することができる。

30

【 0 3 2 4 】

次に、スループットの評価結果について説明する。図19から分かるように、いずれの方式も、スループットは、経路切換前後でほぼ同一である。このシミュレーションにおいて、無線WANとして使用したOPNETのWiMAX (IEEE 802.16) は、電波伝搬部分が未実装であるため、干渉およびパケットロスなどは考慮されない。そのため、割り当てられた容量内のトラフィックであれば、結果として高品質な通信となり、無線通信ネットワーク全体のパケット到着率とほぼ同一の高いスループットとなる。即ち、いずれの方式も、スループットが経路切換前後でほぼ同一であることから、遅延時間を減少させつつ、高いスループットを維持している（曲線 k 8 ~ k 1 1 参照）。

40

【 0 3 2 5 】

一方、図21に示す場合においては、いずれの方式も、経路切換後、スループットが減少する。これは、より小さいパケットがより頻繁に到着すると、通信回数が増え、また、制御通信時間が大きくなるため、マルチホップアクセス経路は、通信遅延時間が大きくなり、パケットロスが増大するためである。

【 0 3 2 6 】

しかし、DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式においては、スループットは、遅延時間と同様に、時間が経過し、経路探索と経路切換とを繰り返し行なうに

50

従って、スループットが改善し、最終的には、経路切換前と同一となるまで回復する（曲線 k 1 6 , k 1 8 , k 1 9 参照）。

【 0 3 2 7 】

図 2 2 は、平均パケット到着間隔が 5 0 m s e c である場合のマルチホップアクセス経路のパケットロスのタイミングチャートである。また、図 2 3 は、W 経路のトラフィック量のタイミングチャートである。図 2 2 において、縦軸は、パケットロスを表し、横軸は、時間を表す。また、曲線 k 2 0 ~ k 2 3 は、それぞれ、この発明による方式、ホップ数方式、D L A R 方式および D O S P R 方式におけるパケットロスのタイミングチャートを示す。

【 0 3 2 8 】

更に、図 2 3 において、縦軸は、W 経路のトラフィック量を表し、横軸は、時間を表す。また、曲線 k 2 4 ~ k 2 7 は、それぞれ、この発明による方式、ホップ数方式、D L A R 方式および D O S P R 方式における W 経路のトラフィック量のタイミングチャートを示す。

【 0 3 2 9 】

図 2 2 から分かるように、ホップ数方式以外のいずれの方式も、パケットロスが減少し、最終的には、ほぼ“ 0 ”になる（曲線 k 2 0 ~ k 2 3 参照）。但し、図 2 3 から分かるように、D L A R 方式および D O S P R 方式は、経路探索と経路切換を繰り返し行なうに従い、W 経路のトラフィック量が線形的に増える（曲線 k 2 6 , k 2 7 参照）。即ち、D L A R 方式および D O S P R 方式は、経路を W 経路へ切換えることによってパケットロスを減少させている。この発明による方式も、W 経路のトラフィック量が増加するが、その増加量は、D L A R 方式および D O S P R 方式の両方と比較して少なく、かつ、次第に定常的になる。即ち、W 経路への経路切換だけでなく、マルチホップアクセス経路の構成変更により、パケットロスを減少させている。

【 0 3 3 0 】

図 2 4 および図 2 5 は、それぞれ、遅延時間とスループットとの関係を示す第 1 および第 2 の相関図である。図 2 4 および図 2 5 において、縦軸は、遅延時間を表し、横軸は、時間を表す。また、図 2 4 において、曲線 k 2 8 ~ k 3 1 は、それぞれ、この発明による方式、ホップ数方式、D L A R 方式および D O S P R 方式による遅延時間とスループットとの相関図を示す。更に、図 2 5 において、曲線 k 3 2 ~ k 3 5 は、それぞれ、この発明による方式、ホップ数方式、D L A R 方式および D O S P R 方式による遅延時間とスループットとの相関図を示す。更に、図 2 4 は、平均パケット到着間隔が 7 0 m s e c である場合を示し、図 2 5 は、平均パケット到着間隔が 5 0 m s e c である場合を示す。

【 0 3 3 1 】

図 2 4 および図 2 5 の遅延時間およびスループットは、ランダムに生成した 1 0 通りのトポロジーにおいて、無線通信ネットワーク全体の平均トラフィック総量を 1 2 8 K b p s から 1 M b p s までの各トラフィック量で計測した結果の平均である。そして、計測期間は、全ての方式の状態が安定するシミュレーション時間である 9 0 0 秒以降とした。

【 0 3 3 2 】

無線通信ネットワークの平均トラフィック総量を増やすと、無線通信ネットワーク全体で端末の平均パケットサイズは、指数分布であるため、各端末間の平均パケットサイズの分散が大きくなる。また、大きな平均パケットサイズとなる端末が増え、そのような端末では、発生するパケットサイズの分散が大きくなる。即ち、無線通信ネットワーク全体の平均トラフィック総量が増えると、各端末で処理するトラフィック量が増えると同時に、トラフィックがトポロジーと時間とにおいて大きく分散することとなる。

【 0 3 3 3 】

このような場合では、より効果的なトラフィック制御が必要となる。図 2 4 および図 2 5 から分かるように、ホップ数方式は、トラフィック量が増えると、スループットに対して遅延時間が急激に大きくなり、明らかに他の方式よりも劣る（曲線 k 2 9 , k 3 3 参照）。D L A R 方式、D O S P R 方式およびこの発明による方式は、パケット到着間隔が 7

10

20

30

40

50

0 m s e cである場合、相互に差が明確でない（曲線 k 2 8 , k 3 0 , k 3 1 参照）。

【 0 3 3 4 】

しかし、送信回数および M A C 制御遅延時間が増える図 2 5 の場合（パケット到着間隔が 5 0 m s e c である場合）においては、トラフィック量が増えると、D L A R 方式および D O S P R 方式は、遅延時間がスループットに対して増える（曲線 k 3 4 , k 3 5 参照）。この発明による方式は、トラフィック量が増えるとスループットに対して遅延時間が増えるが、その増加量は、D L A R 方式および D O S P R 方式と比較して低い値で安定している（曲線 k 3 2 参照）。従って、この発明による方式は、他の方式と比較して、高いトラフィック量で、かつ、分散が大きい場合においても、高いスループットと小さい遅延時間とする経路構成が可能である。

10

【 0 3 3 5 】

以上より、遅延時間が増大する無線通信ネットワークの状況において、トラフィック量が更に多く、かつ、分散が大きい無線通信ネットワーク状況においても、この発明による方式のリンクコストは、比較対象のいずれの方式のリンクコストよりも、高いスループットと小さい遅延時間とするマルチホップアクセス経路を構成できる。

【 0 3 3 6 】

次に、基地局による経路切替制御の有効性を示すために、各リンクコストに関して基地局による経路切替制御を適用しない（従来の分散型非動機 B e l l m a n n - F o r d を用いた自律制御）場合の遅延時間を示す。

【 0 3 3 7 】

自律制御は、各端末からの経路情報の配信間隔を 1 0 秒とし、各端末で近傍端末から経路情報を取得した際に、最小コスト経路が見つければ、経路切替を行なうこととした。

20

【 0 3 3 8 】

図 2 6 は、無線通信ネットワークの平均トラフィック総量が 5 1 2 K b p s であり、平均パケット到着間隔が 5 0 m s e c である場合のホップ数方式、D L A R 方式、D O S P R 方式およびこの発明による方式における遅延時間のタイミングチャートである。

【 0 3 3 9 】

図 2 6 において、縦軸は、遅延時間を表し、横軸は、時間を表す。また、曲線 k 3 6 ~ k 3 9 は、それぞれ、この発明による方式、ホップ数方式、D L A R 方式および D O S P R 方式による遅延時間のタイミングチャートを示す。

30

【 0 3 4 0 】

この発明による方式および D O S P R 方式は、遅延時間が大きく変動し、発振現象が発生していることが分かる（曲線 k 3 6 , k 3 8 参照）。一方、ホップ数方式および D L A R 方式は、発振現象が見られない（曲線 k 3 7 , k 3 9 参照）。

【 0 3 4 1 】

また、図 2 7 は、平均パケットサイズが 2 5 6 ビットであり、平均パケット到着間隔が 5 0 m s e c である場合における W 経路のトラフィック量のタイミングチャートである。図 2 7 において、縦軸は、遅延時間を表し、横軸は、時間を表す。そして、曲線 k 4 0 ~ k 4 3 は、それぞれ、この発明による方式、ホップ数方式、D L A R 方式および D O S P R 方式による W 経路のトラフィック量のタイミングチャートを示す。

40

【 0 3 4 2 】

ホップ数方式は、トラフィック変動を考慮しないため、そもそも経路切替が発生しない。D L A R 方式は、リンクコストが瞬時値の待機パケット数であるため、W 経路のような、高々、1 回の通信で済む経路では、遅延時間が小さく、パケットが待機している時間が極僅かであり、その瞬時値は、大部分の場合、“ 0 ” になる（マルチホップアクセス経路は、複数通信による通信遅延、および複数リンクコストの和であるため、“ 0 ” よりも大きな値になる可能性が高い）。即ち、D L A R 方式は、W 経路へ経路切替をした場合、リンクコストの解像度が低いため、経路を切替えた後の W 経路の経路コストが“ 0 ” となり、常に、W 経路への経路切替後は、その経路では、経路切替が発生しなくなる（図 2 7 の曲線 k 4 2 参照）。

50

## 【 0 3 4 3 】

以上より、ホップ数方式は、トラフィック変動を考慮しないため、また、DLAR方式は、リンクコストの解像度の低さからトラフィックの変動に鈍感であるため、経路切換の発振現象は発生せず、この発明による方式およびDOSPR方式は、トラフィック変動に敏感であるため、経路切換の発振現象が発生する。その結果、経路切換の発振現象は、リンクコストがトラフィックの変動に敏感であるために発生する。

## 【 0 3 4 4 】

従って、マルチホップアクセス経路において、精度の高いリンクコストを用いて経路切換によるトラフィック制御を行なう場合、経路切換の発振現象を抑制する制御が必須である。この発明による方式における基地局制御は、図26を図18および図20と比較して分かるように、経路切換による発振現象を抑制する。その結果、基地局による経路切換制御は、マルチホップアクセス経路の経路切換によるトラフィック制御に必須である。

10

## 【 0 3 4 5 】

上記においては、パケット分配率が最適化されるまで、経路切換処理を行なうと説明したが(図12および図14のステップS26参照)、この発明においては、これに限らず、図12に示すネットワークコストが基準値以下になるまで経路切換を実行するようにしてもよい。この場合、図14のステップS26において、ネットワークコストが基準値以下であるか否かが判定されることになる。

## 【 0 3 4 6 】

なお、この発明においては、無線WAN基地局10および無線LAN基地局20, 30は、「複数の基地局」を構成し、無線WAN端末1~4および無線LAN端末5, 6は、「複数の無線装置」を構成する。

20

## 【 0 3 4 7 】

また、端末M1~M7は、「複数の無線装置」を構成し、端末M1~M6は、「n個の無線装置」を構成する。

## 【 0 3 4 8 】

更に、特定端末は、「特定無線装置」を構成し、端末M2~M6は、「i個の無線装置」を構成する。

## 【 0 3 4 9 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

30

## 【産業上の利用可能性】

## 【 0 3 5 0 】

この発明は、所望の基地局に高能率でアクセス可能な無線通信ネットワークシステムに適用される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 3 5 1 】

【図1】この発明の実施の形態による無線通信ネットワークシステムの概略図である。

40

【図2】図1に示す無線WAN端末の構成を示す概略ブロック図である。

【図3】図1に示す無線WAN基地局の一部の構成を示す概略図である。

【図4】単一リンクおよび連結リンクを説明するための概念図である。

【図5】W-経路からマルチホップ無線通信経路への切換えを示す概念図である。

【図6】ネットワークコストとマルチホップアクセス経路へのパケット分配率との関係を示す図である。

【図7】遅延時間とスループットとの関係を示す図である。

【図8】ネットワークコストとマルチホップアクセス経路へのパケット分配率との関係を示す図である。

【図9】DOSPRにおけるCSMA/CAの遷移状態を示す図である。

50

【図10】最小コスト経路の探索を示す概念図である。

【図11】経路テーブルの概念図である。

【図12】パケットの分配方法を説明するための図である。

【図13】最小コスト経路を探索する動作を説明するためのフローチャートである。

【図14】ネットワークコストを低減する動作を説明するためのフローチャートである。

【図15】図14に示すステップS14の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。

【図16】図15に示すフローチャートに従って特定端末を選択する第1の概念図である。

【図17】図15に示すフローチャートに従って特定端末を選択する第2の概念図である。 10

【図18】平均パケットサイズが180ビットであり、平均パケット到着間隔が70 msecである場合の遅延時間のタイミングチャートである。

【図19】平均パケットサイズが180ビットであり、平均パケット到着間隔が70 msecである場合のスループットのタイミングチャートである。

【図20】平均パケットサイズが64ビットであり、平均パケット到着間隔が50 msecである場合の遅延時間のタイミングチャートである。

【図21】平均パケットサイズが64ビットであり、平均パケット到着間隔が50 msecである場合のスループットのタイミングチャートである。

【図22】平均パケット到着間隔が50 msecである場合のマルチホップアクセス経路の packet loss のタイミングチャートである。 20

【図23】W経路のトラフィック量のタイミングチャートである。

【図24】遅延時間とスループットとの関係を示す第1の相関図である。

【図25】遅延時間とスループットとの関係を示す第2の相関図である。

【図26】無線通信ネットワークの平均トラフィック総量が512 Kbpsであり、平均パケット到着間隔が50 msecである場合のホップ数方式、DLAR方式、DOSPR方式およびこの発明による方式における遅延時間のタイミングチャートである。

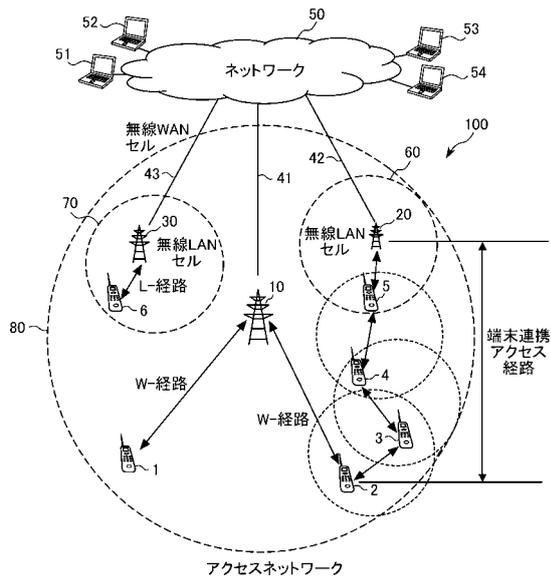
【図27】平均パケットサイズが256ビットであり、平均パケット到着間隔が50 msecである場合におけるW経路のトラフィック量のタイミングチャートである。

【符号の説明】 30

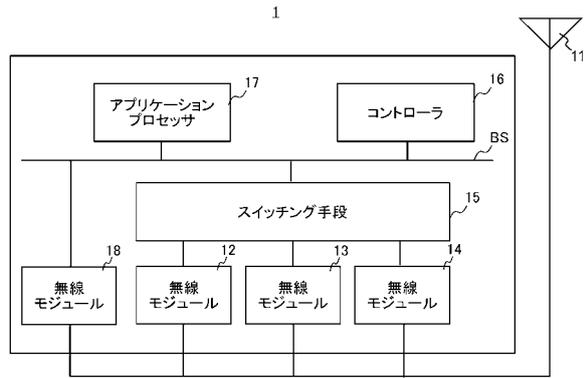
【0352】

1～4 無線WAN端末、5, 6 無線LAN端末、10 無線WAN基地局、11 アンテナ、12～14 無線モジュール、15 スイッチング手段、16, 16A コントローラ、17 アプリケーションプロセッサ、18 探索モジュール、20 無線LAN基地局、41～43 有線ケーブル、50 ネットワーク、51～54 端末、60, 70 無線LANセル、80 無線WANセル、100 無線通信ネットワークシステム。

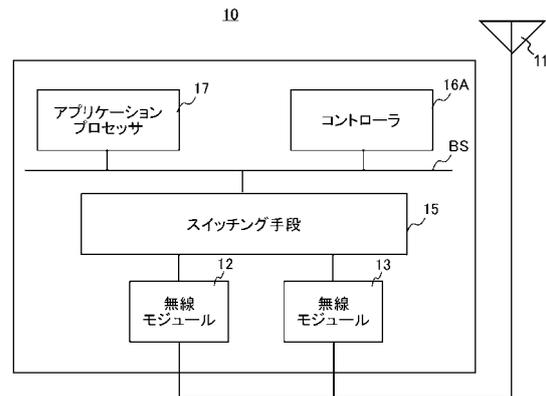
【図1】



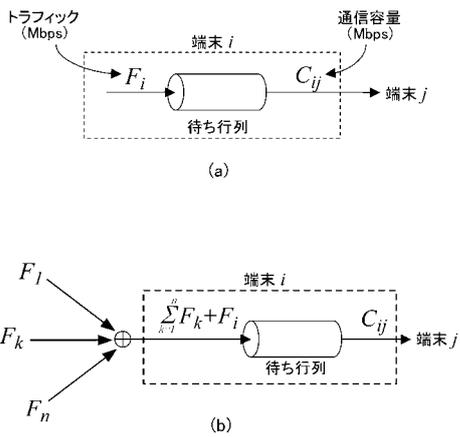
【図2】



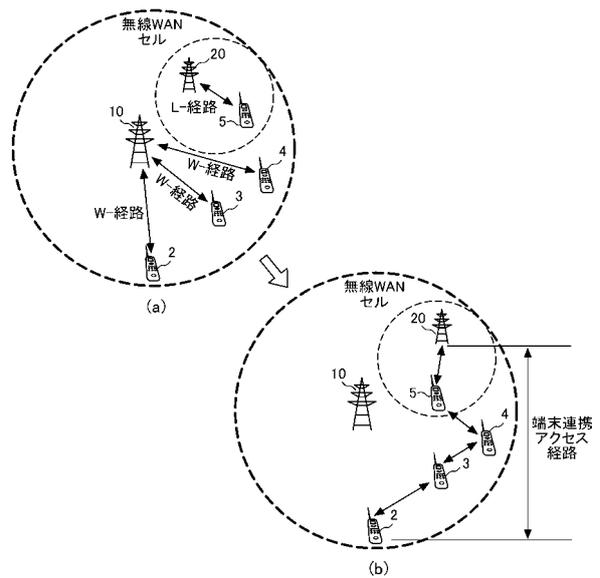
【図3】



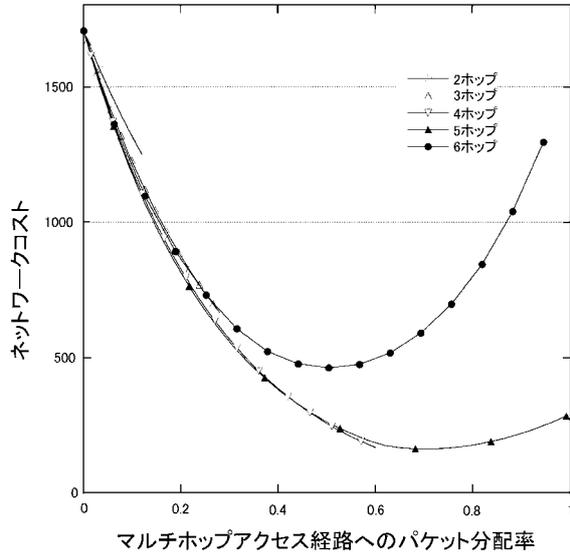
【図4】



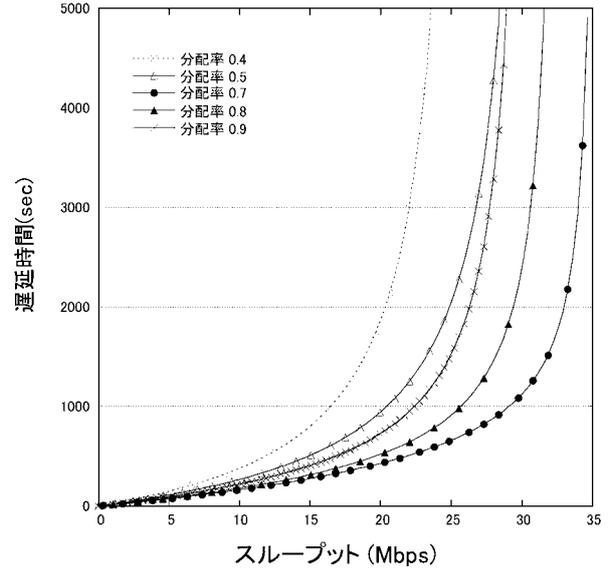
【図5】



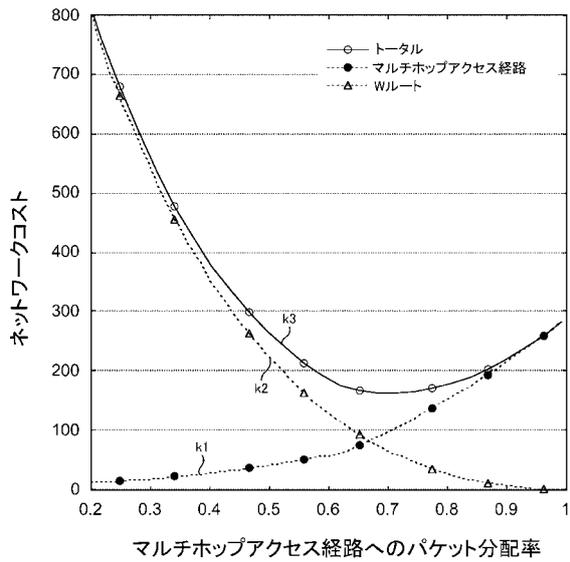
【 図 6 】



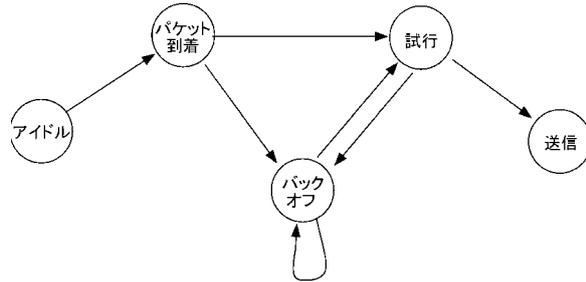
【 図 7 】



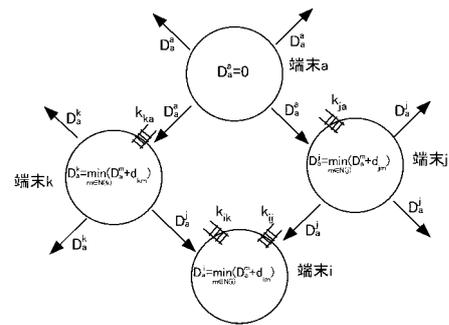
【 図 8 】



【 図 9 】



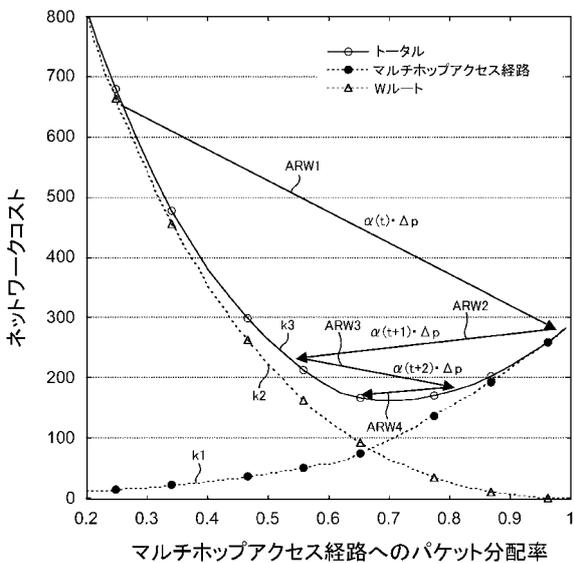
【 図 10 】



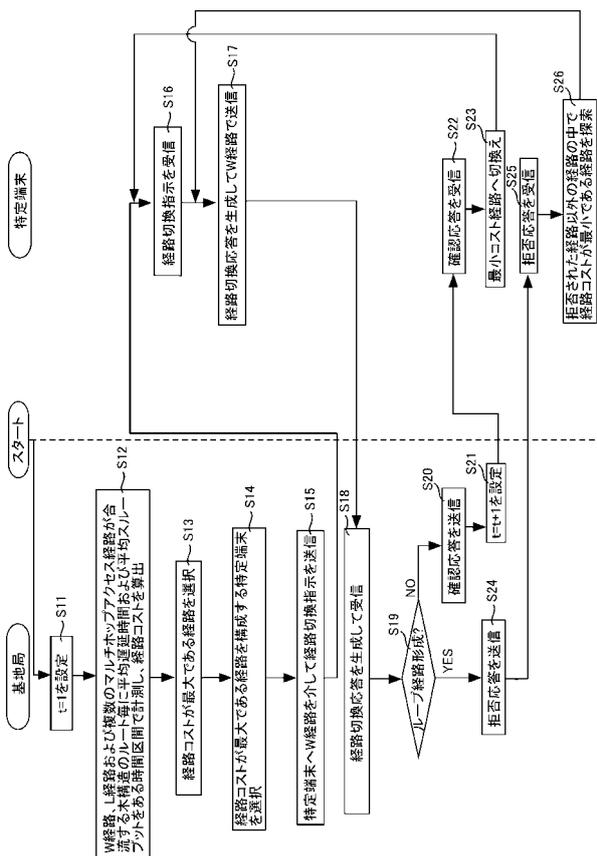
【図11】

送信先	転送先	経路コスト
-----	-----	-----
-----	-----	-----
...	...	...

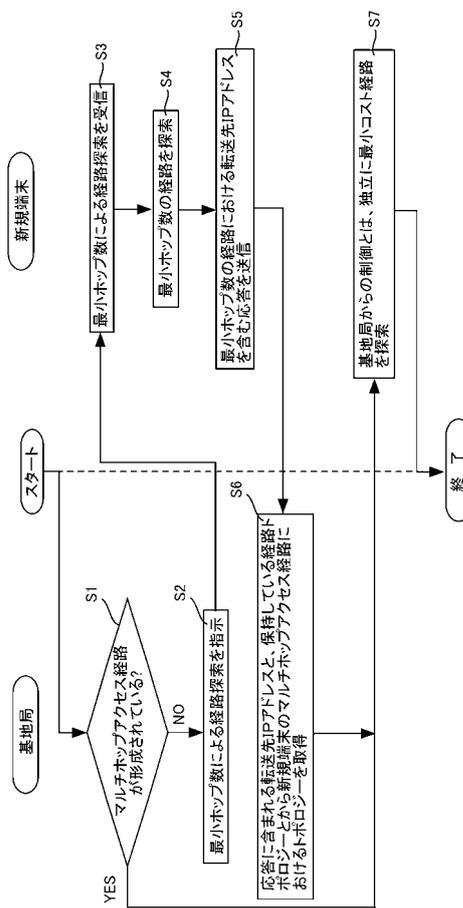
【図12】



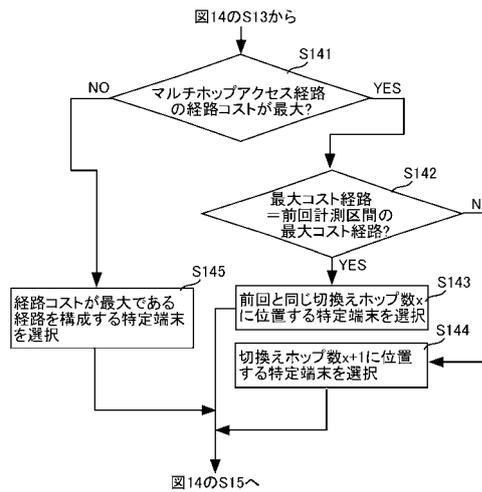
【図14】



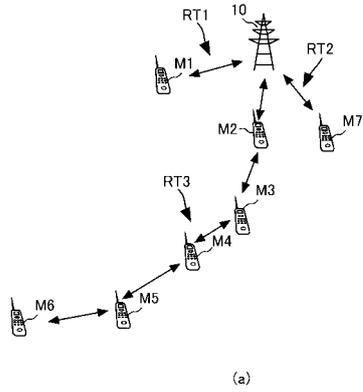
【図13】



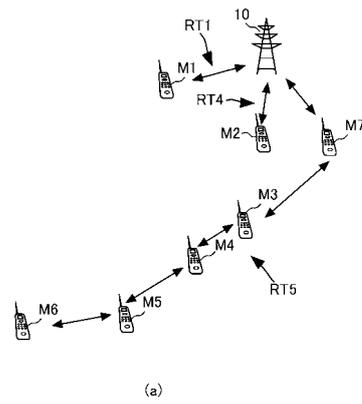
【図15】



【図16】

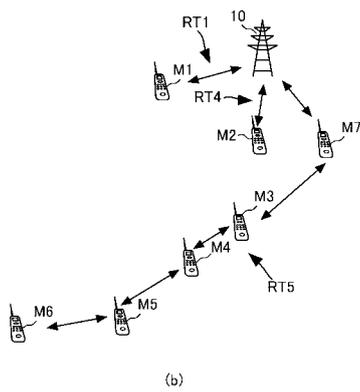


【図17】

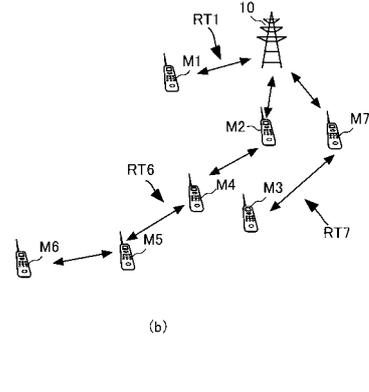


(a)

(a)

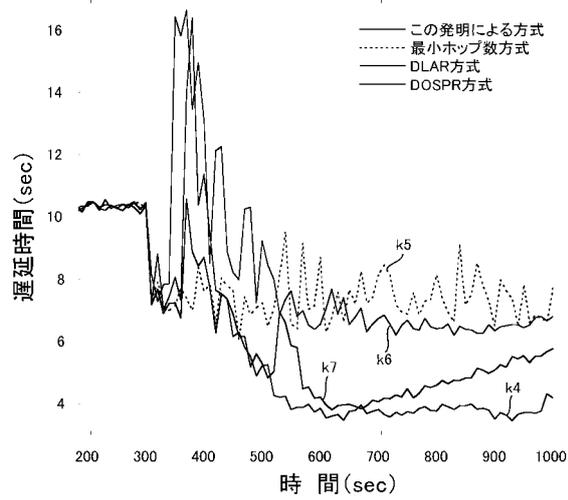


(b)

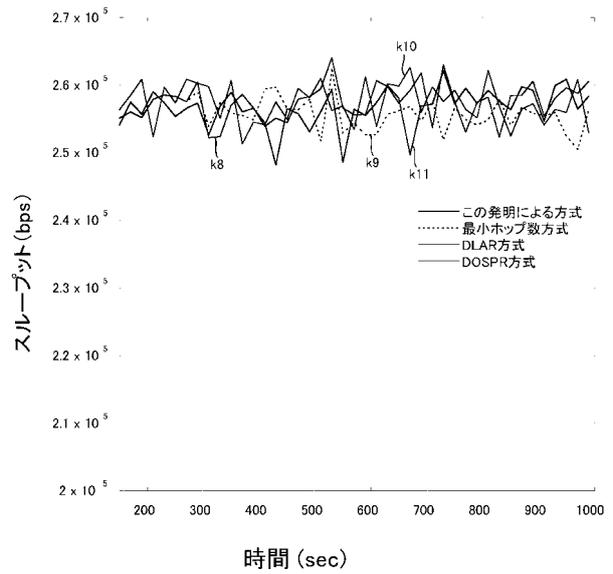


(b)

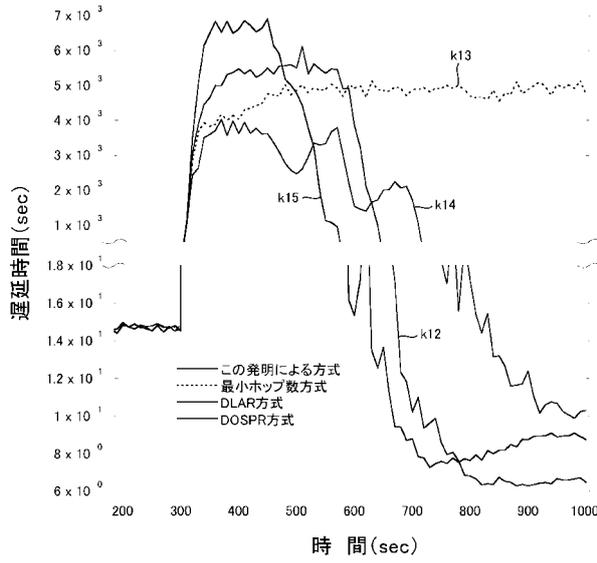
【図18】



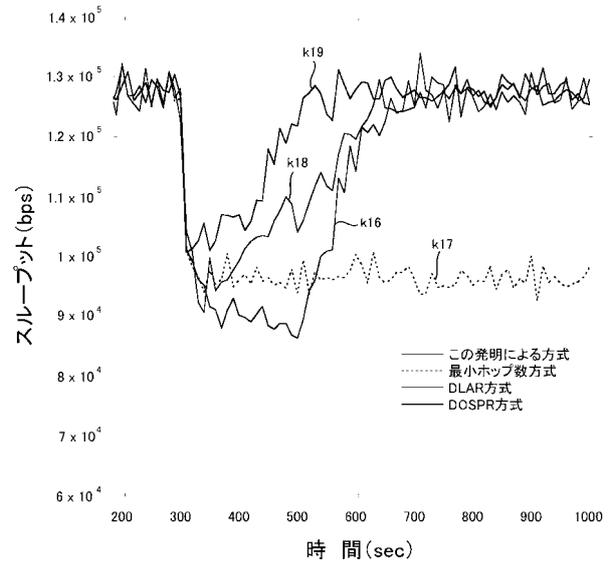
【図19】



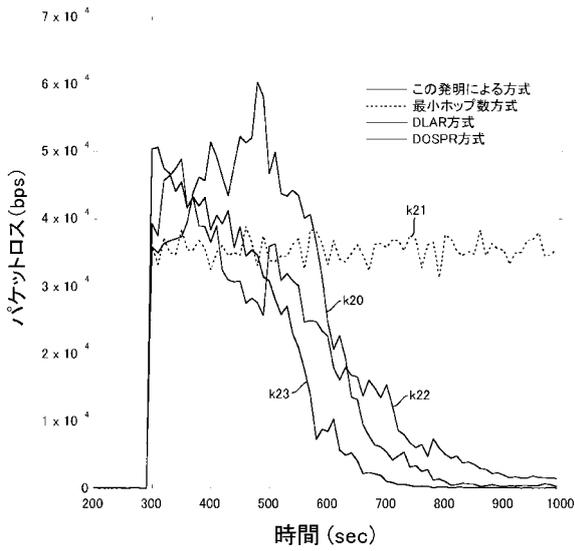
【図20】



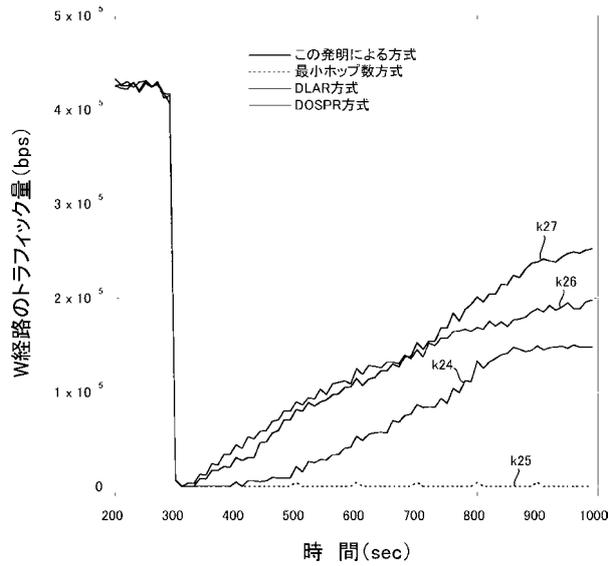
【図21】



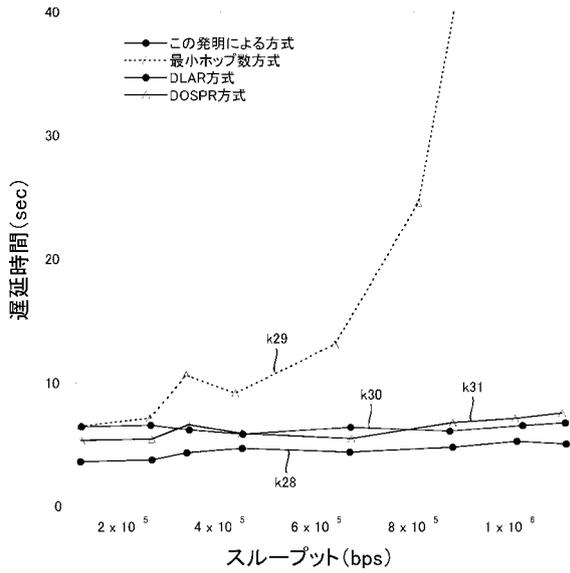
【図22】



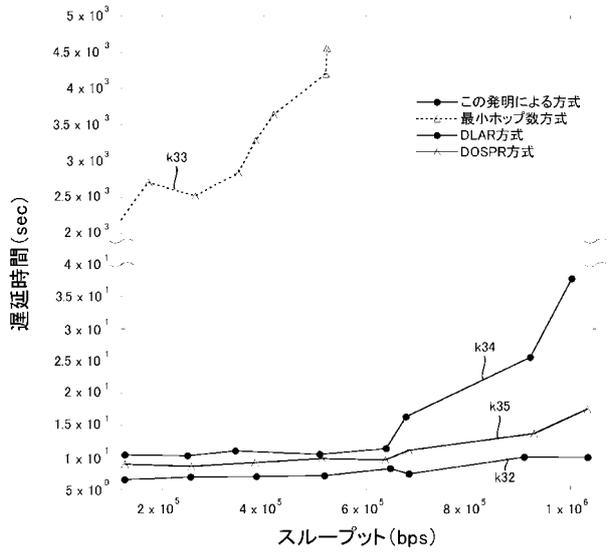
【図23】



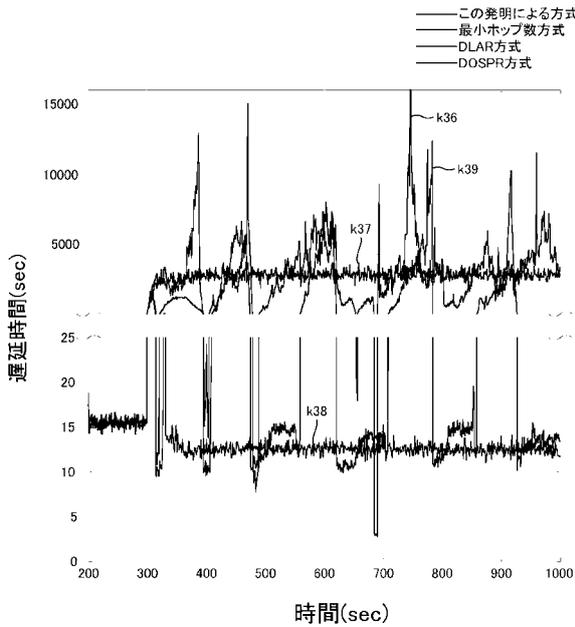
【図24】



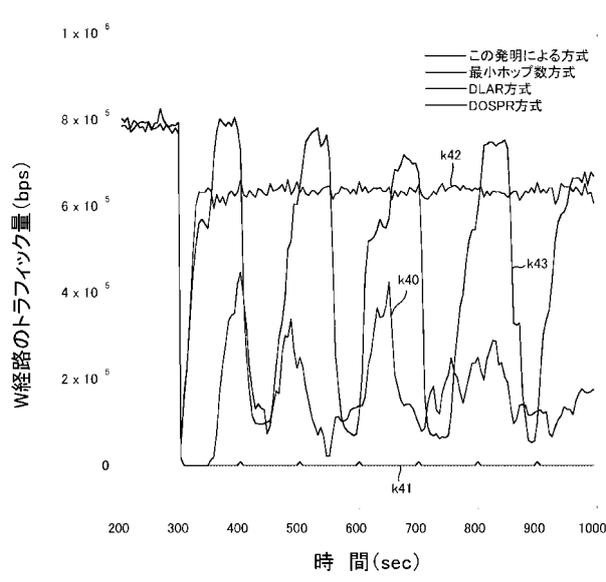
【図25】



【図26】



【図27】



## フロントページの続き

- (72)発明者 山中 佐知子  
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 山口 明  
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 小花 貞夫  
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 岩田 玲彦

- (56)参考文献 特開2004-248180(JP,A)  
特開2005-057356(JP,A)  
特表2003-536334(JP,A)  
滝沢泰久・谷口典之・山中佐知子・山口明・小花貞夫, コグニティブ無線ネットワークにおけるマルチホップ経路トラフィック制御方式, 情報処理学会論文誌, 日本, 社団法人情報処理学会, 2007年 7月15日, 第48巻 第7号, pp.2419-2433

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04W 84/12  
H04W 74/08  
H04W 88/08