

分散制御型無線多重アクセス方式による 車々間通信について

桑野 晃臣[†] 飯田 登[‡] 渡辺 尚[§]

[†] 静岡大学 情報学研究科

[§] 静岡大学 情報学部

〒432-8011 静岡県浜松市城北3丁目5-1

[‡] 浜松大学 国際経済学部

〒431-2102 静岡県浜松市都田町1230

E-mail: [†] § {cs6033, watanabe}@cs.inf.shizuoka.ac.jp, [‡] iida@hamamatsu-u.ac.jp

あらまし 即時系データと待時系データを統合したマルチメディアを無線で伝送する際にはメディアによって異なるトラフィック特性や要求品質を考慮する必要がある。また、ITS(Intelligent Transport System)などのモバイルコンピューティング環境下では、端末Aの動的出入りを考慮する必要がある。しかし、制御局が存在しない分散制御型の無線の環境下では隠れ端末 (Hidden terminals) の存在が大きな問題を生じさせる。そこで、本稿では IEEE802.11 を応用することにより、隠れ端末問題を考慮し、即時系データと待時系データのマルチメディアを統合的に送受信する分散制御型無線多重アクセス方式 DWMA/HT の提案を行い、システムの評価を行う。

キーワード アドホックネットワーク, 多重アクセス, モバイルコンピューティング

A distributed-controlled wireless multiple access considering of hidden terminals

Teruomi Kuwano[†], Noboru Iida[‡], and Takashi Watanabe[§]

[†] Graduate School of Information, Shizuoka University

[§] Faculty of Information, Shizuoka University

Johoku 3-5-1, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011 Japan

[‡] Department of International Economics, Hamamatsu University

1230, Miyakodacho, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-2102 Japan

E-mail: [†] § {cs6033, watanabe}@cs.inf.shizuoka.ac.jp, [‡] iida@hamamatsu-u.ac.jp

Abstract This paper discusses a wireless multiple access protocol for multimedia traffic and avoidance of the problem of hidden terminals. We called this protocol is DWMA/HT (Distributed-control Wireless Multiple Access considering of Hidden Terminals). The protocol is three features. 1) The protocol is used where a number of users dynamically migrate to and from an ad hoc network. 2) The protocol is able to communicate multimedia messages. 3) The protocol is considering the problem of hidden terminals. We propose DWMA/HT and evaluate its base of system.

Key words Ad hoc Network, Multiple Access, Mobile computing

1 はじめに

近年、移動通信技術の発展や計算機ハードウェアの高性能化によりノート PC や PDA の普及が進んでいる。より多くの人々が携帯端末を持つようになると、人の多く集まる場所では同時に多数の携帯端末が集まる場となる。このような場所で、既存のインフラに左右されず、必要な時間、必要な場所でユーザ同士が持ち寄った携帯端末間でネットワークを構築し、情報の交換や共有を行えるアドホックネットワークへの要求が増えている。例えば、走行中の突発事象、観光など旅行者情報をはじめとする ITS のバックシート情報を提供するインフラとして、アドホックネットワークは期待される。

移動体通信では音声、画像、FAX、コードデータなどといったあらゆる種類のデータに対応したネットワークの開発が要求されており、マルチメディアに対応した無線アクセス方式ではメディアによって異なるトラフィック特性や要求品質を考慮する必要がある[1]。

またモバイルコンピューティング環境では端末の動的で出入りを考慮する必要がある。この点に関して上記の研究は十分な検討はなされていない。端末の動的出入りを考えた場合には、新たにネットワークの状態をある有限期間内に把握する必要がある。それに対応した研究として、制御局が存在しない環境においても端末の動的出入りを許し、またネットワーク自体も移動が可能なマルチメディア方式 Distributed controlled Multiple Multimedia Access (DMMA)[2]を提案している。

無線の状況下では、建物の遮蔽の影響や距離の相違から、実際は送信しているにも関わらず、受信側で検出が不可能な場合がある。このような隠れ端末の存在(図 1)が大きな問題を生じさせる。分散制御型無線通信方式では、端末の動的出入りを考慮しているので、隠れ端末問題を考慮することが重要な課題となる。そこで本研究では IEEE 802.11[3]を応用することにより隠れ端末を考慮し、即時系データと待時系データのマルチメディアを統合的に送受信する分散制御型無線多重アクセス方式 DWMA/HT の提案を行う。DWMA/HT の主な

特徴は表 1 に示す。

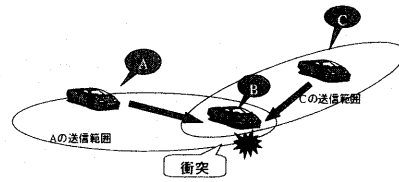


図 1 隠れ端末問題

表 1 DWMA/HT の特徴

- ・集中制御局が不要
- ・ネットワークの動的出入りが可能
- ・マルチメディア伝送
- ・予約による多重アクセス方式

DMMAの特徴の継承

- ・隠れ端末問題の解消
- ・使用禁止期間を拡張した
使用禁止スロットを設定可能

IEEE802.11の特徴の継承

2 従来の無線多重アクセス通信方式

2.1 DMMA

DMMA の概要を示す。

・制御局を必要としない分散制御方式である。したがって、端末が集ったその場でアドホック無線ネットワークを構築できる。またネットワーク自体の移動が可能となる。

・即時系の連続性を保証しつつ、低負荷時には待時系データの送信にこれまでの周期的なスロットに追加して複数のスロットを割り当て、チャンネルの有効利用と不必要な通信遅延を回避する。

・Tree アルゴリズムは多重アクセスシステムの安定性に優れているが、予約のコンテンション領域が可変となるため、即時系データを扱うには不向きである。そこで、予約が間欠的に現れる構造とすることで、即時系データの送信に支障がないように改良する。

・各端末はこれから必要となるスロットに関する情報をデータと共に送信する。これにより、新規加入端末はある有限時間ネットワー

クを監視すれば自分が送信すべきスロットを決定できる。

2.2 IEEE 802.11

IEEE802.11は無線LANのためのアクセス制御方式として提案されている。IEEE802.11の基本アクセス方式はCSMA/CAを基礎としており、フレームの種類は、データフレーム、RTS フレーム、CTS フレーム、ACK フレームである。ここで、ACK フレーム以外の3つのフレームにはデータの送信を無事に行うよう定義した時間、durationが含まれている。これによって、RTSを送信した端末とCTSを送信した端末以外の受信範囲内の端末は、その端末間が使用中であるときには送信不可能となる。つまり、送信端末の受信範囲内ではあるが、受信端末の範囲内にはいない端末や、その逆の端末などにdurationを知らせることができ、これらの端末が隠れ端末として動作し、隠れ端末問題を起こすことはなくなる。よってIEEE802.11の全体的なフローは以下ようになる。

- (1) 送信したいデータがある端末はキャリアセンスを行い、アイドル状態まで待つ。
- (2) アイドル状態になったらバックオフタイマーをセットし、タイマーを減少させる。
- (3) バックオフタイマーが0になったら、RTSを送信する。
- (4) 受信側でRTSを受信すれば、CTSを送信する。
- (5) 送信側でCTSを受信すれば、データを送信する。
- (6) 受信側でデータが正常受信されれば、ACKを送信する。

3 DWMA/HT

3.1 システムモデル

DWMA/HTプロトコルは次のシステムモデルを想定する。

- (1) 複数のモバイル端末（以下、端末という。）が集合したところで1つの無線チャネルを用いて網を構成し、端末相互間の要求時接続による通信システムである。
- (2) チャネルは後述するインターバルで区切られ、各インターバルは複数の予約スロットと複数のデータスロットで構成される。その予

約スロットは細分化し、細分化したスロットを予約小スロットと言い、RTSとCTSにより構成される。データ送信スロットではcaptureフラグを付加した送信データの送受信を行うために使用する（図2）。

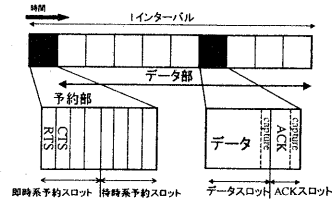


図2 DWMA/HTのスロット構成1

- (3) 即時系の連続性を保証するために必要なデータスロットの間隔を1インターバルと言う。また、予約スロットは1インターバルに一回周期的に割り当てる(図3)。
- (4) RTSスロットはデータスロットを送信端末が予約するために使用する。
- (5) CTSスロットは受信端末がRTSに対する受信許可を通知するために使用する。

インターバル

- ・即時系データの連続性を保証するための一定の間隔
- ・インターバルの先頭:予約部

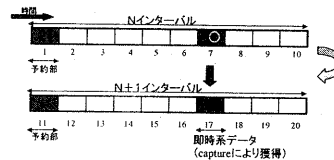


図3 DWMA/HTのスロット構成2

- (6) 無線チャネルはスロット化する。スロットはデータ送信用データスロットと送信要求を受け付ける予約スロットで構成する。RTSとCTSのペアを一組とする。予約小スロットは即時系専用予約小スロットと待時系専用予約小スロットの2種類で構成される。即時系専用のRTSとCTSの予約小スロットのペア数は1インターバルのデータスロット数と等しく取る。各即時系専用予約小スロットはインターバル内の位置が対応するデータスロットに対する予約を受け付ける。待時系専用予約小スロットは即時系専用予約小スロットで予

約できなかったデータ送信スロットを有効活用するために、待時系データを送信するために使用する。

(7)capture フラグは連続データ等で即時性を保証したい場合に次のインターバルの同じ位置のデータスロットへのデータ送信の継続を利用する際に用いられる。

(8)ACK スロットは、相手端末に正常に受信された場合、ACK を送信端末に返す。ACK に送信端末から受信した capture 情報を付加して送信を行うものとする。

(9)システムに参加している端末は以下の前提条件を満たす。

- ・各端末は global positioning system 受信機等により、スロット同期は確立済みとする。
- ・各端末の送信可能領域の範囲と受信可能領域の範囲は同一とする。
- ・各端末は立ち止まって送信を行う。

3.2 データスロットの新規獲得および割り当て、送信

送信したいデータが発生したとき、端末は予約スロットを用いて1データスロットを獲得する。以下、予約スロットに含まれる各小スロットの種類ごとに、各網内の手順を示す。いずれの端末も自分の送信範囲内における直前1インターバルの capture フラグを得ているものとする。以下データを送信する端末を送信局、データを受信する端末を受信局とする。

(1) 即時系データを送信する場合

i. データ発生時、送信局は最も近い予約部の即時系専用 RTS 小スロットを使用して、受信局に RTS を送信する。このとき、前インターバルの capture フラグによって獲得宣言をされていないデータスロットの対応する予約スロットに、S-ALOHA 方式[4]にしたがって RTS を送信する。

ii. RTS を受信した受信局は I の RTS スロットのペアとなる CTS 小スロットを使用して、送信局に CTS を送信する。このとき、送信局は受信局の送信した CTS 小スロットの内容により、下記の通り予約しようとしたデータスロットの状況を把握する。

・CTS 受信: 受信局に正常に予約が受理され、送信の予約が完了する [iiiへ]。

・Busy 受信 (図4): 送信局の RTS に対応するデータスロットは、他の端末が既に占有している状況、すなわち隠れ端末の存在等により、受信局が正常に受信できないと判断した場合、受信局は該当スロットにおける送信を抑制する。

その後、次に使用可能なデータスロットの予約部で予約を行う。[iへ]

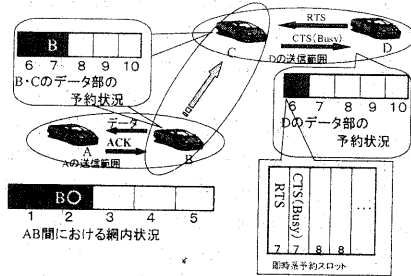


図4 Busy の起きる環境

・No Response: 受信局が送信局の送信データの受信可能な範囲にいない、もしくは複数の RTS が受信端末で衝突している。つまり RTS の受信が誤りとなる状況である。以上の場合、正常な応答はない。その後、S-ALOHA[4]による再送回数法により RTS の再送を行う。[iへ]

iii. RTS 小スロットに対応するデータスロットを使用して、送信局は受信局にデータを送信する。このとき、即時系のデータ送信を継続する場合は、capture フラグを立てる。

iv. データを正常受信した受信局は ACK スロットを使用して、送信局に ACK を送信する。iiiで capture フラグが立っている場合はフラグを付加する。

(2) 待時系データを送信する場合

i. データ発生時、予約部の待時系専用 RTS 小スロットを使用して、送信局は受信局に RTS を送信する。このとき S-ALOHA 方式に従って RTS を送信するものとする。ただし、送信局は以下の情報を RTS に付加して送信するものとする。

- ・前インターバルで送信された即時系データの capture 情報①
- ・現予約部の即時系専用予約小スロットによ

って、今後1インターバルの全データスロットの予約状況 (Busy, 空きスロット, 現予約部の即時系専用予約小スロットによって即時系データが占有したスロット) ②

ii. RTSを受信した受信局はRTS小スロットとペアのCTS小スロットを使用して、送信局にCTSを送信する。ここで、受信局は前1インターバルのcapture情報③を得るものとする。その後、①+②と③のANDを求めることにより、今後1インターバルの空きのデータスロット情報をCTSに付加して送信することにより、送信局はそのすべての空データスロットを予約する (図5)。

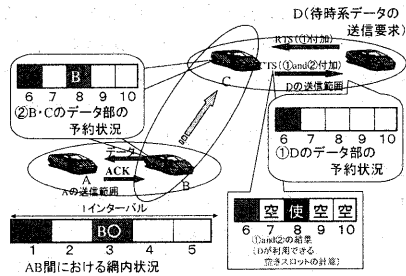


図5 待時系データの予約方法

iii. 予約されたデータスロットを利用して、送信局は受信局に待時系データを送信する。

3.3 本方式の通信例

DWMA/HTの理解を容易にするために、通信例を図に示す。この例では1インターバルを8スロットとし、新規ユーザがユーザAの送信からチャンネルを監視した場合を示している。

以下チャンネルの状況をスロット毎に示し、下記の項目番号は図のデータスロット番号に対応する。

(1) インターバルの最初のスロットなので、新規ユーザに対する予約を受け付ける。ここでは前1インターバルを監視していた端末AとBが即時系データを、端末Nが待時系データを送信したい要求がある。端末Aは即時系データ予約第2小スロット、端末Bは即時系データ予約第6小スロットにて送信予約を受け付けられ、端末Cは残りのスロットにて送信予約を受け付けている。即時系専用予約スロットの第3小スロットは端末C1の送信相手

らみて隠れ端末になっていると思われる端末Hが送信を要求しているため、端末C1が送信予約を不許可するBusyを端末Hに返している。即時系データ予約第4小スロットは端末C1が即時系データをインターバル間にまたがって送信している最中であるため、予約スロットは使用できない。待時系専用予約小スロットにおいては端末Nが待時系データ予約第5小スロットにおいて予約が受理され、このインターバルにおける待時系データの送信権利を獲得したものとする。

(2) 即時系専用予約スロットの第2小スロットにおいて端末Aの予約が受理されているため、端末Aが即時系データを送信する。即時系データの連続性を示すcaptureが宣言されているため、1インターバル後のスロット(第10スロット)は端末Aが占有する。

(3) 前1インターバルから即時系データを連続して送信していた端末C1がこのスロットにおいても占有して送信を行う。この端末もcaptureを宣言しているため、1インターバル後のスロット(第11スロット)は端末C1が即時系データを送信する。

(4) 第3スロットと同様前1インターバルからまたがって即時系データを送信している端末C2が送信を行う。ただし、capture宣言は解放しているため、1インターバル後のスロット(第12スロット)は端末C2に占有されることなく、新に別の端末が使用できることとなる。

(5) このスロットにおいては待時系専用予約スロットにおいて端末Nが空きスロットを有効活用しようとしたため、端末Nが待時系データを送信する。これは第7、第8スロットにおいても同様である。

(6) 即時系専用予約スロットの第6小スロットにおいて端末Bの予約が受理されているため、端末Bがこのスロットにおいて即時系データを送信する。この端末もcapture宣言しているため第14スロットは端末Bが即時系データを送信することになる。

(7) 第5スロットと同様に待時系データを端末Nによって送信する。

(8) 第5、7スロットと同様に待時系データを端末Nによって送信する(以上図6. 尚、予約部に付加している予約スロット番号はそれぞ

れ予約するデータスロットと対応している.)

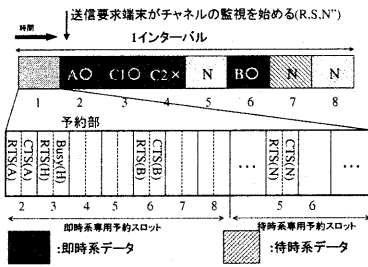


図6 チャンネルの使用例 1/2

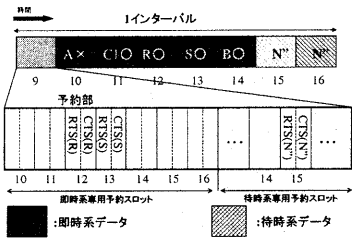


図7 チャンネルの使用例 2/2

(9) 1 インターバルの先頭であるので、スロットは予約部になる。前 1 インターバルを監視していた端末 R, S, N' はここで送信予約を行うものとする。ただし、1 インターバルの状況を見ているため即時系・待時系予約スロットの第 11, 第 14 小スロットは前 1 インターバルの即時系データの送信によって送信予約はできないことを知っているものとする。そこで、即時系データの送信要求が発生している端末 R と S は各々即時系専用予約スロットの第 12, 13 小スロットにおいて予約が受理され、第 12, 13 スロットにおいて送信を行う。また待時系専用予約スロットにおいては待時系データ予約第 15 小スロットにおいて端末 N' が予約を受理され、今後 1 インターバルの待時系データにおけるデータ送信の権利を獲得したものとする。

(10) 前 1 インターバルからまたがって即時系データを送信している端末 A が送信を行う。ここでは capture 宣言をしていないので、1 インターバル後のスロット(第 18 スロット)は端末 A を占有せず、新に別の端末も使えること

になる。

(11) 端末 C1 が前 1 インターバルから引き続き即時系データを送信する。ここでは capture 宣言をしているため、1 インターバル後のスロット(第 19 スロット)は端末 C1 が占有し、即時系データを送信するものとする。

(12) 即時系専用予約スロットの第 12 小スロットにおいて予約が受理された端末 R が即時系データを送信する。ここでも capture 宣言がされているため、1 インターバル後のスロット(第 20 スロット)を端末 R が即時系データを送信するために占有するものとする。

(13) 即時系専用予約スロットの第 13 小スロットにおいて端末 S が予約が受理されているので、端末 S が即時系データを送信する。同様に capture 宣言をしているので、1 インターバル後のスロット(第 21 スロット)は端末 S が即時系データを送信するために使用するものとする。

(14) 前 1 インターバルから即時系データを送信していた端末 B が capture 宣言をしていたため、引き続き端末 B が即時系データを送信する。この端末も capture 宣言をしているため、1 インターバル後のスロット(第 22 小スロット)において即時系データを送信する。

(15) 待時系専用予約スロットにおいて端末 N' が送信予約を受理されたため、空きスロットであった第 15 スロットにおいて待時系データの送信を行う。

(16) 第 15 スロットと同様に、端末 N' が待時系データの送信を行う(以上図 7)。

4 評価

ここでシミュレーションによって DWMA/HT の基本性能を評価する。各端末のメッセージ発生率はポアソン発生モデルに従い、予約の受付は S-ALOHA 方式で行う。表 2 に主なシミュレーション仮定を示す。網への端末の動的出入りを DWMA/HT では可能としているが、ここでは基本性能を示すためにスロット同期も確立済みとする。ネットワークの広域化の誤差や伝播遅延等の時間は無視できなくなるが、ここではモデルを単純化するために考慮しない。また遅延は端末がチャンネルの状況を確認するため、最大 2 インタ

ーバル(表 2 の仮定では約 2 秒)が加算される。

表 2 シミュレーション仮定

ネットワーク直径	1km
伝送速度	1Mbps
スロット長	5msec
送信要求端末数	400局
1インターバル	200slots
予約小スロット数	410mini slots/slot

即時系データのみを発生させ、待時系データは発生せず、また隠れ端末も発生しない環境における負荷に対するスループットと遅延を、端末数をそれぞれ変化させた場合で図 8, 9 に示す。

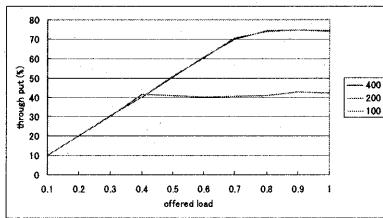


図 8 即時系データ通信のみの負荷とスループット

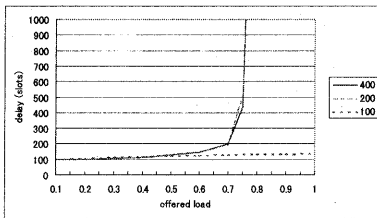


図 9 即時系データ通信のみの負荷と遅延

図 8 から端末数が 400 局と 200 局の場合、スループットは最大 75%程度達成する。これは S-ALOHA の最大スループットは $1/e$ で、S-ALOHA で予約を行っている場合のチャンネル全体のスループットにほぼ近い値になっている。また端末数が 100 局の場合には、予約スロットが 200 スロットであることに注意すれば、全 100 端末が送信中であってもスループ

ットは約 50%しか達成できないのは自明である。

図 9 からは負荷 0.7 までは遅延は 200 スロット以内で実現していることから、低負荷時には遅延がかからず送信を行えることを示している。

図 10 は隠れ端末の発生率を 10%に設定した場合における負荷に対するスループットと隠れ端末の発生率が 0%に設定した場合とを比較した図である。これも待時系データの発生はなく、端末数は 400 局とする。隠れ端末の影響は隠れ端末自身が影響を受けるだけではなく、その隠れ端末が送信しようとしている受信端末に送信している端末(図 1 では端末 A)までも障害を受ける。つまり隠れ端末に対する障害は最大 2 倍に増えることになる。しかし、DWMA/HT では隠れ端末からの影響を最大でも 10%程度に抑えることがわかった。DWMA/HT によって、送信を行いたい端末が受信端末に対して隠れ端末の有無を確認し、送信を行うからである。遅延に関しては図 9 と同様、負荷が 0.7 までは大きな遅延は観測されなかった。

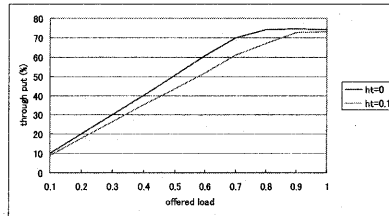


図 10 隠れ端末の発生時における負荷とスループット

図 11 はマルチメディアデータを扱った場合における負荷とスループットを求めたものである。待時系データ長は写真等を想定して 100kbit 考慮した。また図には即時系データと待時系データの発生率を 8:2 の状況と 5:5 の状況の 2 つを示した。またいずれも隠れ端末については考慮しておらず、端末数も 400 局とする。この環境下ではデータの発生率が 8:2 の状況ではスループットが 85%近くまで改善した。これは即時系データの連続性を保証しながら、即時系データに割り当てられなかった

空きスロットを待時系データが送信を行うことで、チャンネルのスループットの向上を実現している。

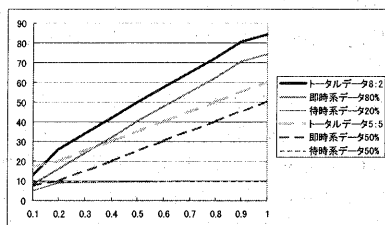


図 11 マルチメディア通信における
負荷とスループット

5. おわりに

我々は、ITS などのモバイルコンピュータ環境を対象として、IEEE 802.11 を応用することにより隠れ端末を考慮し、即時系データと待時系データのマルチメディアを統合的に送受信する分散制御型無線多重アクセス方式 DWMA/HT を提案と評価を行った。

DWMA/HT は制御局を必要としない分散制御型である。1 インターバルの監視の後に網に参加できるため、端末の動的出入りが可能である。即時系データでは定期的にスロットを確保することでデータの連続性を保証し、その空きスロットに待時系データの送信を行うことによりマルチメディア通信を行い、さらにスループットの向上を実現している。また送信予約を行う際に隠れ端末の有無を確認することで隠れ端末の影響を軽減したことを示した。

今後の課題としては高速道路や一般道の走行等の現実的な車々間通信への適応や、緊急時のデータに対する処理方法などが挙げられる。

参考文献

- [1] 藤野忠, 田近寿夫, “無線アクセス技術”, 電子情報通信学会誌, vol. 98, no. 2, pp. 127-132, Feb. 1995
- [2] 上野洋, 深川周和, 飯田登, 水野忠則, 渡辺尚, “アドホックネットワークのための分散制御型無線多重アクセス方式”, 信学論, B vol. J84-B, no. 4, pp. 707-716, Apr.

2001

[3] International Standard ISO/IEC 8802-11:1999 (E) ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition

[4] N. Abramson, “The ALOHA system Another alternative for computer communications,” in 1970 Fall Comput. Conf. AFIPS Conf. Proc. Vol. 37. Montvale, NJ: AFIPS Press, 1970, pp. 281-285