

既存のLANへの無線データ通信システムの収容方法

大平 千里、重野 寛、横山 光男、松下 温

慶應義塾大学

本稿では、無線通信特有の問題を最小限に抑え、端末をポータブル化するために、有線と無線の2層構造を持つ室内LANシステムを提案する。このシステムは有線部分にイーサネットを用い、無線部分に構内データ伝送システムを用いる。さらに通信の際のオーバヘッドをできるだけ少なくするために、エリア多重度という概念を新たに導入し、分散的なダイナミックチャネル配置法を提案する。シミュレーションを行い、本方式により、通信成功率の向上と有線ネットワークの使用量低減が可能な事を示した。

Accommodation of Radio Data Transmission System to Conventional LAN

Chisato OHIRA, Hiroshi SHIGENO, Teruo YOKOYAMA, Yutaka MATSUSHITA

Keio University

3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223, Japan

In this paper, we propose an indoor data network system with two layers (radio and wired LAN) to minimize the problems peculiar to radio media and for terminal portability. This system uses Ethernet and the indoor radio data transmission system allowed by Japanese Telecommunication Authority. A distributed dynamic channel assignment scheme with the concept of "station distribution index" is proposed to reduce transmission overhead. This method is evaluated by the transmission success probability and the utilization rate of Ethernet for control, and the fact that it works well is ensured through computer simulations.

1. まえがき

ローカルエリアネットワーク（LAN）の普及とともに、その敷設／設備工事の容易さが求められるようになってきている。特に、部屋の模様替えに伴って端末を頻繁に移動させることが要求される環境（レストランやデパートなど）では、いちいちケーブルを敷設することは不便である。ケーブルを用いずに済ませるには、通信媒体として無線を用いれば良さそうだが、無線のみによるネットワークシステムは、回線品質の問題や通信開始・終了時におけるオーバーヘッドの存在により、実用的なシステムを実現するのが困難である。

そこで、無線通信特有の問題を最小限に抑え、ネットワークのレイアウトの自由度をできるだけ大きくするために、有線と無線の2層構造を持つLANシステムを提案した¹⁾。本システムは、上位ネットワークの通信には既存のLANを用い、下位ネットワークには、通信媒体として無線を用いるようなハイブリッド構造を持つ（図1）。

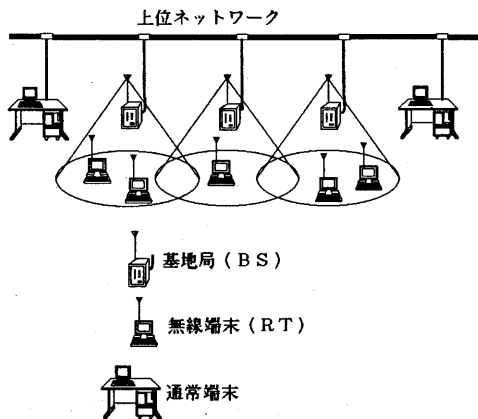


図1 室内無線LANの構成

本稿では、下位（無線）ネットワークの通信量などの条件を変えてシミュレーションを行い、通信成功率や上位（有線）ネットワークの通信量によりシステムの評価を行った。その結果、我々の提案したLANシステムが、ネットワークの自由度を失わずに無線通信のオーバーヘッドを抑えるという目的を実現し得ることを確認したことを報告する。

2. ネットワークの構成

2-1 上位（有線）ネットワークの構成
室内無線LANシステムにおける上位ネットワークとして、既存のLANシステムがそのまま使用できる様に設計する。これは、既存の有線LANを既に導入している場合、新たに無線データ通信用の有線LANを敷設する必要が無いようにするためである。本システムでは上位ネットワークとして、イーサネットを採用する。

2-2 下位（無線）ネットワークの構成
無線ネットワーク部分は、周波数の使用効率を良くするため、複数ゾーン構成とする。

無線方式は、昭和61年に法制化された「構内データ伝送システム」²⁾に基づく。これは、1.2GHzの周波数帯を用い、32kbpsのデータ伝送を行うシステムである。21の周波数チャンネルを用意し、その内の1つを通信制御用に、残りの20チャンネルをデータ通信用に割り当てる、マルチチャンネルアクセス方式を採用している。全2重通信を可能とするために、各々のチャンネルに対して上り用と下り用の2つの周波数を割り当てる。

無線端末からの通信可能な範囲に複数の基地局が存在する場合は、その無線端末に最も近いと思われる基地局を決定し、無線端末はその基地局とのみ通信を行う様にすることにより、下位ネットワークに論理的に接続される。下位ネットワークへの論理的な接続作業を、ここでは無線端末を基地局に収容すると表現する。

2-3 収容先基地局の決定方法と収容方法

無線端末は電源投入時には完全に孤立しているため、どの基地局に収容されるべきかを決定する手段を持っていない。そこで本システムでは、収容先基地局の決定は無線端末側ではなく、基地局側で行うようにする。無線端末は、電源投入後、まず最初に基地局への収容要求パケットを送出する。図2に収容作業の例を示す。収容要求パケットは、収容要

求パケットであることを示すデータと、無線端末の識別信号 (ID) とから成る。無線端末からの収容要求パケットを受け取った基地局は、それぞれ無線端末に対して応答を行う。この際に、上位ネットワーク上で送信権の獲得競争を行い、送信権を得た基地局のみが無線端末に対して実際に送信を行う。無線端末は一定時間まで基地局からの応答を待つ。一定時間の間応答がない場合は、正しく送信できなかったものとして新たに収容要求パケットを送信し直す。複数の基地局によって送信権の獲得競争が起きた場合は、優先度 (無線端末からの電波の各基地局における受信強度) によって収容先基地局が決定される。

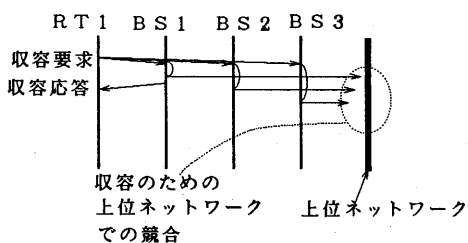


図2 収容作業の例

2-4 端末の移動に伴う再収容

無線端末が移動して、自分が現在収容されている基地局の通信可能範囲から出てしまう場合が考えられる。この際に、その端末が通信範囲にあるか否かは、電波の強さを調べたりするのではなく、通信可能範囲から出ることによって通信ができなくなり、一定の割合以上で再送が起こることによって判断を行う。この場合、無線端末は現在収容されている基地局の通信範囲からは離れたとみなし、再収容要求を出して他の基地局へ収容先を変更する。

2-5 無線端末で発生した通信要求に対する制御

無線端末は通信要求が発生すると、通信制御用のチャンネル (上り) に、通信チャンネル割り当て要求パケットを送出する。また、この要求パケットの中には、無線端末を収容している基地局の識別番号が含まれている。図3の様に、この通信要求は複数の基地局で受信される可能性がある。もし要求を受信した

基地局が、全て応答を行ったとすると、制御チャンネル (下り) で通信の衝突や妨害が起きるので、通信の衝突や妨害による通信の失敗は制御チャンネル上りよりも多くなる。応答する基地局は1つであれば、通信の失敗は制御チャンネル上り並になり、上位ネットワークによって通信の衝突が起こりそうな基地局との間で調停を行うことにより通信の失敗をほぼ0にすることもできる。そのために、基地局は通信割り当て要求を受信した場合、要求をだした無線端末が、もし自分の収容している端末であれば、チャンネル割り当てアルゴリズムに従ってチャンネルを決定し、応答を返す。要求をだした無線端末が、自分の収容している端末でない場合は、その割り当て要求を無視する。

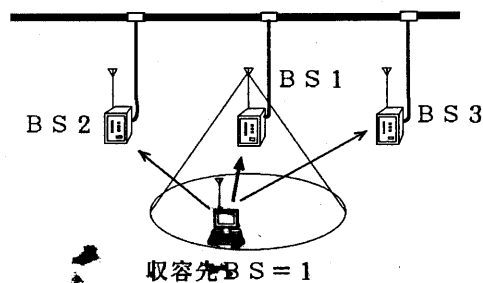


図3 通信要求の受信

無線端末は、割り当てられたチャンネルを用いてデータを基地局に送信する。基地局は、受け取ったデータの宛先が、自分が収容している無線端末であれば、基地局から無線端末へのアルゴリズムへと移行し、他の収容している無線端末であれば、グループ同報モードで無線端末の識別番号と受け取ったデータを1つのパケットとして、上位ネットワークに送出する。

2-6 基地局から無線端末への通信プロトコル

無線端末は常に移動する可能性があるため、送信元にとって送信先の無線端末が現在どの基地局に収容されているかを常に把握することは困難である。そこで、各基地局が自分の

收容している無線端末のみを管理するだけで、送信元が送信先の無線端末を探すことができる方法を考案する。送信元は、上位ネットワークのグループ同報モードによって、全ての基地局に対して同時に、送信先無線端末の識別番号とデータを1つのパケットとして送信する。パケットを受け取った基地局は、その無線端末が自分の收容している無線端末の場合は、まずパケットの送信元に対して確認応答を返す。次に、その無線端末に対してパケットを転送する。パケットの転送を行う場合、チャンネル割り当てアルゴリズムに従って、割り当てるチャンネルを決定し、制御チャンネルを通じて割り当てるチャンネルを相手にまず知らせしてからパケットを転送する必要がある。

2-7 エリア多重度の概念とエリア多重度表の作成方法

自動車電話等のシステムと異なり、室内無線LANシステムのおかれている環境は過酷である。壁などの障害物による電波の吸収・反射等を考慮して、システムを運用する前に設計段階で各基地局の最適な固定のチャンネル配置を決定することは困難である。ダイナミックチャンネル配置法はトラフィック密度が一定でない場合効果があるといわれているが、チャンネル配置を行うためには最低でも基地局間の位置関係を表す位置情報を知らなくてはチャンネルを割り当てることができない。この位置情報をシステムごとに個別に入力していたのでは、労力もさることながら、配置替えやシステムの拡張を行った場合に新たに位置情報を入力し直さなくてはならない。

従って本システムでは、エリア多重度³⁾という概念を新たに導入してエリア多重度表を作成し、位置情報の代用として用いる。これに基づき、チャンネルの割り当てを各基地局で分散して行う。

2-5で述べた通り、通信要求は複数の基地局で受信される。図4で、BS2およびBS3にいる無線端末はそれぞれ收容先と通信しているが、同時にその通信は基地局BS1でも受信可能である。このゾーン外からの制御パケットにどの基地局に收容されている端

末からの通信であるかを示すデータが含まれているので、ある基地局に收容されている端末からの制御パケットが多いほど、一般にその基地局は近くに存在するといえることができる。これがエリア多重度の概念である。

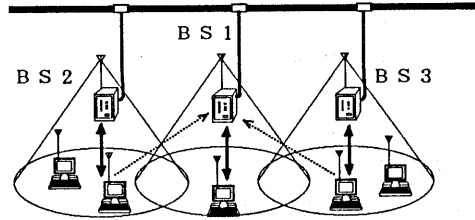


図4 ゾーン外からの制御パケット受信

制御チャンネル上り回線に送信されている、送信要求パケットのデータには、パケットを送信した無線端末の收容先基地局の識別番号が含まれている。基地局は、送信要求パケットのうち、最も新しいm個の誤りのないパケットを、履歴として保存しておく。この履歴データに含まれる基地局の識別番号と受信電波強度の積を基地局別に集計したものが、エリア多重度表となる。エリア多重度が大きいものほど互いに通信の妨害を引き起こし易いとみなすことで、ゾーンの重なり具合を判断することができるようになる。図5に、BS1で受信された送信要求パケットの履歴データの例、図6にBS1におけるエリア多重度表を示す。

	Time →				
收容先BS	BS2	BS4	BS7	BS2	BS4
受信強度	4	2	1	4	3

図5 送信要求パケットの履歴データ

收容先BS	BS1	BS2	BS4	BS7
受信電界強度の合計 (エリア多重度) a_i	--	8	5	1

図6 エリア多重度表

2-6 チャンネル別使用状況表の生成方法

基地局が無線端末からの通信要求に対してチャンネルを割り当てるには、周囲のチャンネル使用状況を知る必要がある。周囲の使用状況は基地局間での情報交換により情報を必要とする都度得れば、チャンネル割り当ては簡単である。しかし、上位ネットワークの負荷を少しでも少なくするためには、工夫が必要になる。

チャンネルを使用する前と使用が終りチャンネルを手放す際に上位ネットワークのグループ同報機能を用いて、他の基地局にチャンネルの使用状況の更新を知らせる。各基地局は、この更新データに基づいて自分の中にあるその基地局に対応するチャンネル使用状況表(図7)を更新する。チャンネル割り当ての際は、割り当てるチャンネルを決定するまでは他との交信を必要としないので、上位ネットワークの負荷はかなり低く押えられると期待できる。チャンネル使用状況表は、先に述べたエリア多重度表の値が1以上の基地局のもののみ持てば良い。なぜならば、エリア多重度が0の基地局は、全く隔絶された場所にあるものと考えることができるからである。

2-7 割り当てるチャンネルの決定方法

基地局(図7ではBS1)は、無線端末から送信要求があった場合、及び基地局から無線端末へ送りたいメッセージがある場合は、チャンネル使用状況表とエリア多重度表を基にしてチャンネルの割り当てを行う。i番目の隣接基地局を N_i として、 N_i に対するエリア多重度を a_i とする。チャンネルjが使用中であるとき $C_{ij} = 1$ 、使用中でないとき $C_{ij} = 0$ で示せば、チャンネルjの使用状況は、

$$\sum_{i=1}^n a_i C_{ij} \quad (1)$$

(nは隣接基地局数、図7では $n = 3$)で表され、この値の最も低いチャンネルを割り当てチャンネルとする。もし、最も低い値を持つチャンネルが複数ある場合はその中からランダムに選ぶ。

収容先BS Ch. j \ (Ni)	BS1 (N1)	BS2 (N2)	BS4 (N3)	BS7 (N3)	$\sum_{i=1}^3 a_i C_{ij}$
Ch.1	1	0	0	0	---
Ch.2	0	1	0	0	8
Ch.3	0	0	1	1	6
Ch.4	0	0	1	0	5
Ch.5	0	1	0	1	9
Ch.6	1	0	1	0	---
Ch.7	0	1	0	0	8
Ch.8	0	0	0	1	1

↑
 C_{ij}

図7 チャンネル使用状況表

3. シミュレーションモデル

シミュレーションは、離散的モデルによる、事象-事象進行型の記述によって行った。表1は環境モデルをまとめたものである。

表1のうちいくつかについて説明を加えたい。まず距離とビット誤りの率の関係であるが、フェージング等による場所的信頼性を考慮しない場合の距離と出力と受信入力レベルの関係は、室内では、

$$Pr = -19.584 - 41.273 \log(d) + 10 \log(Pt) \quad (2)$$

Pr: 受信入力レベル[dBm], d: 距離[m],
Pt: 送信出力[mW]

と表される⁴⁾。また、受信レベルとビット誤り率(BER)の関係は、

$$\log(BER) = -0.1Pr - 12 \quad (3)$$

と表される⁵⁾。これらの2式より

$$\log(BER) = 4.1271 \log(d) - 10.041 - \log(Pt) \quad (4)$$

が得られる。1.2GHz帯のデータ伝送システムにおける設計目標の、30mにおいて

10⁻⁴を考え、さらにシミュレーションをしやすくするために、式を簡略化して、

$$\log(\text{BER}) = 4\log(d) - 10 \quad (5)$$

を得る。この値は出力を100mWとした際に場所的信頼度としての余裕を約20dBしている事に匹敵し妥当な数値であるといえることができる。

表1 環境モデル

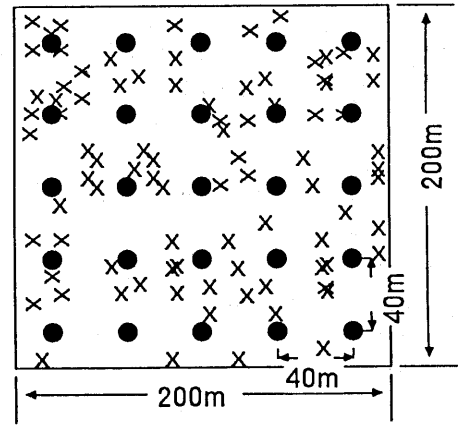
距離とビット誤り率の関係式	$\log(\text{BER}) = 4\log(d) - 10$
単位時間:	1bitの通信に要する時間
伝送速度	32Kbps
伝播遅延時間:	16bit
データチャネル数	複信20ch(40波)
制御パケット長	512bit
データパケット長	2Kbit
呼の発生間隔:	指数分布にしたがう。
キャリアセンス範囲	半径85m以内。
通信の衝突:	通信中の端末と基地局との距離の $\sqrt{2}$ 倍以内で通信がなされていたら失敗とする。
端末の移動:	それぞれの端末は1秒あたり1/200の確率で移動モードに入り、1/20の確率で抜け出す。移動モードにいる間はx/y方向に1秒間に±2mの範囲で移動する。
端末と基地局の数	端末局:100 基地局:25

キャリアセンスの範囲は、1.2GHz帯の通信規格をそのまま適用した場合30m以上であれば構わないことになる。しかし、エリア多重度を作成するために本方式では、隣接するゾーンに位置する無線端末の通信を受信できる必要があり、85mという値を用いることになった。

シミュレーションは提案した室内無線LANの通信方式のうち、無線端末から基地局に向けて行われるもののみを扱う。

端末及び基地局の配置は図8の様になっている。これらは特に断りが無い場合のパラメータ及び条件である。その他のパラメータは、実験結果ごとに与えたパラメータを記述する。プログラムは、C言語を用い、SUNワー

クステーションによりコンパイル・実行を行った。



●:基地局
X:無線端末

図8 端末及び基地局の配置

4. シミュレーションによるシステム評価

4-1 エリア多重度の生成

図9は、生成されたエリア多重度の例である。このエリア多重度表は中心に位置する局(一印)に関するものである。一番外側の局はほぼエリア多重度が0として認識され、遠い基地局であるとして認識されている。

0	0	4	0	0
2	1	26	25	0
2	8	-	40	3
0	4	27	1	1
0	0	2	0	0

図9 エリア多重度表の例

4-2 固定チャネル配置法との比較

図10は本稿で述べたチャネル配置法と、固定チャネル配置法との比較結果である。ここでトラフィックGは、単位時間あたりのパケット数である。

固定チャンネル配置法では、基地局当たり4個のチャンネルを割り当てている。つまりゾーンを5つのグループに分け、同じ周波数をなるべく離れて割り当てる様にしているものである。本稿で提案している方式は、最大20chを1つの基地局が割り当てることも可能であるが、ここでは10chに制限している。Gが10のとき、固定配置法の通信成功率は約0.6にまで減少するが、本方式（エリア多重度とチャンネル使用状況表を用いた分散型ダイナミックチャンネル配置法）では通信成功率はほとんど減少しない。

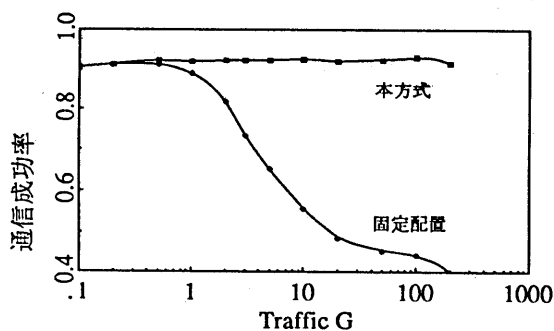


図10 本稿で述べたチャンネル配置法と、固定チャンネル配置法との比較

4-3 上位ネットワークの使用量

図11は、本稿で述べたチャンネル配置法における上位ネットワーク使用量である。無線端末が100程度では、その負荷は1%以下であり、負荷として問題にならないほど軽いものといえる。一方、従来提案されているダイナミックチャンネル配置法では、全ての基地局または隣接する基地局にチャンネルの使用状況を問い合わせた後に、割り当てるチャンネルを決定している。この問い合わせに上位ネットワークを使用したと仮定したものの結果が図12である。図11と比較して上位ネットワークの使用量のはるかに多い。図13は各方式の通信成功率の比較である。従来のダイナミックチャンネル配置法では、上位ネットワーク上の使用率が3%をこえると、システムの性能が急激に悪化していることがわかる。

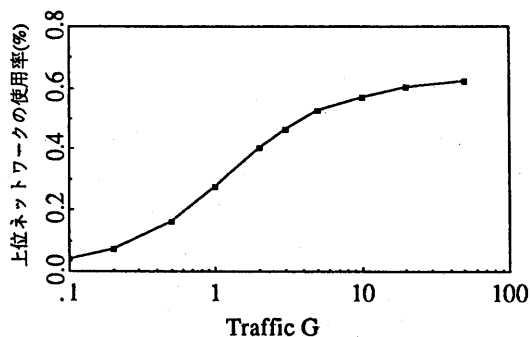


図11 本稿で述べたチャンネル配置法における上位ネットワーク使用量

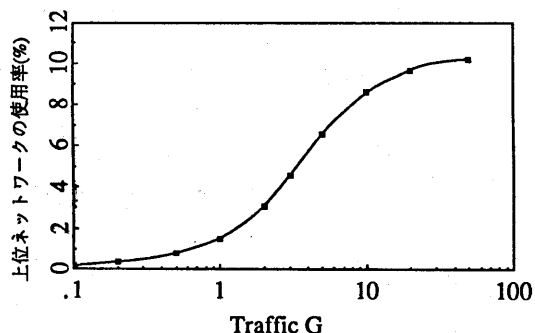


図12 従来のダイナミックチャンネル配置法における上位ネットワーク使用量

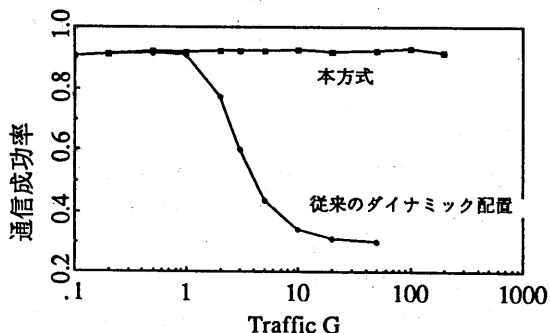


図13 各方式の通信成功率の比較

5. 結論

本稿で提案した室内無線LANシステムを構成するために導入した、

- ・無線端末の収容アルゴリズム
- ・エリア多重度及びエリア多重度表による、基地局同士の位置関係の情報の作成アルゴリズム
- ・エリア多重度及びチャネル使用状況表による、無線通信部の通信権を上位ネットワークの持つ競合アルゴリズムにより獲得し、衝突を未然に防ぐ方法
- ・エリア多重度表とチャネル使用状況表に基づいた、分散型ダイナミックチャネル配置アルゴリズム

の有効性が確認できた。特に上位ネットワークの使用率は1%に満たず、現在LANに直接接続されている端末を無線端末化することによる上位ネットワークの負荷の増加は僅かであり、100台の無線端末を接続しても問題ないことが証明された。

今回のシミュレーションでは、モデルを簡略化するために、フェージングの影響や、妨害電波による誤り率の線形の変化、を考慮していない。また、室内通信として壁や床、天井を透過して電波が減衰しながら届く、その減衰量についても本シミュレーションモデルでは考慮されていない。これらについて、さらに多くの検討を重ね、シミュレーションモデルのなかにパラメータとして取り込んでいくことが、今後の研究の直接的な課題である。また、パラメータをより現実的なものとするために、無線機器により実験を行うことも重要である。

参考文献

- 1) 重野他, "有線と無線の2層構造をもつLAN", 第40回情報処理学会全国大会, pp. 1407-1408 (1990)
- 2) 昭和61年5月27日付官報(号外第67号)
- 3) 大平他, "室内パケット無線LANにおけるダイナミックチャネル割当法",

第40回情報処理学会全国大会, pp. 1409-1410 (1990)

- 4) 岩間他, "1.2GHz帯における構内伝搬特性", 電子通信学会技術研究報告, AP86-134, pp. 45-50 (1987)
- 5) 山本他, "低振幅高能率直接変調方式による1.2GHz帯構内データ伝送システムの試作評価", 電子通信学会技術研究報告, CS86-132, pp. 43-48 (1987)