

企業団地における無線 LAN 空間の構築

中村美枝† 小西 修† 真野 浩‡

IEEE802.11b 規格の確立や日本国内の規制緩和を受け、無線 LAN は、急速な普及を遂げている。しかし、2.4GhzISM バンドは、無認可で利用できるため、普及に伴い、基本サービスエリア(BSA)の干渉による電波障害が起こる可能性も増大する。

無線 LAN をインフラとして企業間を接続した地域 WAN を構築することで、企業団地における地域コミュニティの新しい形を実現した。さらに、無線ルータによる経路制御によってマルチポイント接続を行い、他の BSA や信号機に設置された車両感知機による電波障害を回避した事例を挙げ、今後の地域における無線 LAN 空間利用の在り方についての提案を行うものである。

Implementation of a wireless routers based network system in the area of a wholesale corporation development

Mie Nakamura, † Osamu Konishi, † and Hiroshi Mano ‡

Wireless networks are a novel approach to local/wide area network systems. This paper explores the achievement of a wireless space in wide area networks supporting a wholesale corporation through the use of wireless router technology by which network flexibility is achieved. Our results show that a dynamic network environment in the development makes a good case for wireless networking.

We also examine the problem of interference among the wireless networks and propose a solution for a wireless space in the wide area.

1. はじめに

インターネット接続を前提としたネットワーク構築のソリューションとして、無線 LAN を採用するケースが増えてきている。国内での法改正による規制緩和を受け2000年初頭には、IEEE802.11b 対応の製品が、数多く供出され、めざましい普及を見せている。

高知県には、防災ネットとして、KCAN 実験研究協議会が、高知市、南国市、土佐山田町、野市町の学校を無線 LAN により接続し、実証実験を行っている1) 背景がある。また、最近では、町内や地域ネットワーク 2), 3), 4)を無線 LAN により構築した事例もある。

高知卸商センター協同組合は、流通企業が集まった中小企業団地である。企業の共同体(Community Village)として水道・道路・施設などのインフラを共有し、企業活動を行っているにも関わらず、情報インフラのみが存在しない。ネットワーク整備は、個々の企業に委ねられているのが現状であり、企業間格差が著しい。

本研究の目的は、無線 LAN をインフラとして企業をマルチポイントに接続し、地域 WAN(Wide Area Network)を構築・運用することである。これは、ビジネスや社員教育に適応させた地域コミュニティとしての新しい形を提案するものであり、今後も組織体全体で活用することで、コミュニケーションの向上を図ることも可能である。今回は、第1期工事6社とサーバ局7箇所、第2期工事8社9箇所を段階的に接続していった。

地域 WAN の運用を継続するには、無線 LAN 空間の管理が必要である。2.4Ghz ISM バンドの特徴として、その用途の広さから他の無線 LAN 機器以外にも医療器具や大型電子レンジなど様々な電波障害となる要素が、近隣に存在し得る。障害を回避するには、干渉を受けないチャンネルに切り替えることが一般的である。しかし、障害要因が、運用開始後にサービスエリア内で発生した場合、チャンネルの切り替えだけでは、回避は困難である。

以下に、本研究の特徴を列挙する。

- ・ 地域企業と大学との共同研究である。

† 高知大学理学部
Department of science, Kochi University

‡ ルート株式会社
Root Corporation

- ・ 無線 LAN により地域で共同利用できる情報インフラを整備し、システムの有用性を検証した。
- ・ 無線ルータの経路制御により電波障害を回避した。

本章以降は、実現し得た具体的な実施例として、システム構築と運用の詳細を記述する。

2. ネットワーク構成

2.1. システム概観

企業の集合体を1つの地域とみなし、無線 LAN をインフラとして、企業間を接続し、インターネット・イントラネット環境を構築する。無線 LAN には、無線ルータ(ルート社 RTB2400)を用い、インターネットには、ベストエフォード型の専用回線である OCN エコノミーにより常時接続する。接続企業は、募集形式をとり、適時接続企業を増やしていくものである。今後、ネットワークの利用状況やトラフィックに応じて、適時回線の再考を行うことを前提としている。

無線ルータ RTB2400 は、各企業に1台ずつ設置し、1企業で1つの LAN を形成する。無線ルータ間には、無線空間を共有した Multi Point to Multi Point 接続による対等分散型の接続形態をとる。

また、インターネット・イントラネットサーバは、すべてフリーソフトである Linux とそのディストリビューションで構築する。サーバをすべて事務局に設置するため、アプリケーションの制御は、サーバ設置局を中心とした集中型となる。図1にシステムの概観を示す。

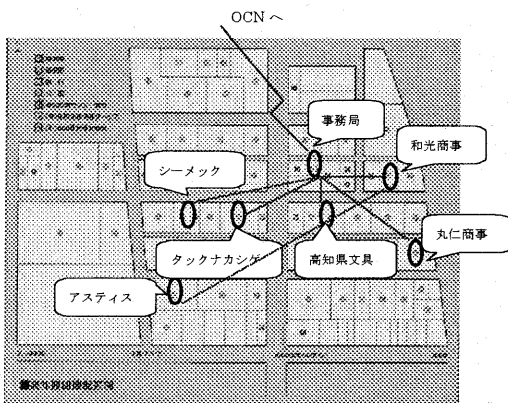


図1 システム概観(第1期工事分)

2.2. ネットワーク環境

サーバ設置局(事務局)では、リモートルータにより、OCN とインターネットサーバ機2台を専用線で

接続する。イントラネット環境のマシンには、クラス C のプライベート IP を設定し、Proxy によりインターネットへ接続を可能にする。また、リモートルータには、オプションで2つの 10BASET ポートを追加し、計3ポートでインターネット-イントラネット-無線ルータのルーティングを行う。

イントラネット環境では、各社を1つの LAN として、クラス C のプライベートアドレス(192.168.*.0/24)を配布し、無線ルータによる DHCP 機能により、IP アドレスを動的に設定する。これは、各社における LAN の自由度を高めるためである。

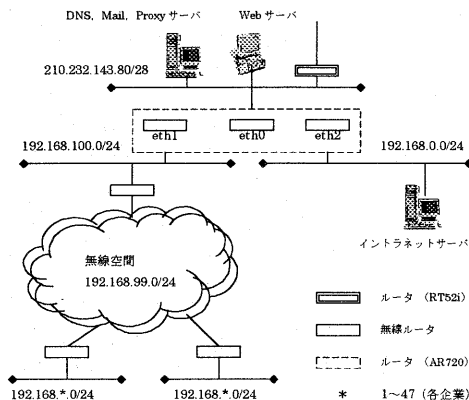


図2 ネットワーク全体

3. 無線ルータの技術

3.1. アクセス制御方式

通信のためにある周波数帯を複数のノードで使用するためには、何らかの方法で分割を行う必要がある。一定の帯域を複数のノードで共有し、アクセスすることを多元接続(multiple access)といい、周波数や時間によって多重化する方法やキャリアセンスによるパケットの衝突を防ぐ方法などがある。

3.1.1. 隠れ端末問題

無線通信において距離が長すぎたり、壁などの障害物があったりしてお互いの電波が到達しないノードを隠れ端末という。隠れ端末が存在すると、CSMA 方式では、キャリアセンスが有効に機能しないため、フレームの衝突頻度が増し通信品質を悪化させる。これを隠れ端末問題という。

3.1.2. CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)方式

CSMA/CA方式とは、隠れ端末問題の対策として従来のCSMA方式に加えて、何らかの衝突回避機構(Collision Avoidance)を備えたCSMAのことである。IEEE802.11bとして定義されているアルゴリズムである。

衝突回避機構としては、あらかじめ各ノードに優先度を設け、衝突が生じた場合、その優先度に応じた再送間隔を待って再送する方式がある。(図3)

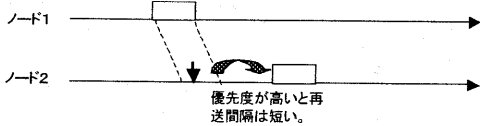


図3 優先度による衝突回避

また、キャリアセンスにより、チャンネルの空きを検出した後、さらにランダムに一定数のパルス(衝突検出ウィンドウ)を送信し、その間に他のノードが出したパルスを検出しなければ送信を行う方式などがある。(図4) 衝突検出ウィンドウが、長すぎるとスループットを低下させる。

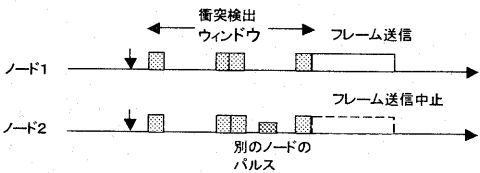


図4 衝突検出ウィンドウによる衝突回避

3.1.3. TDMA(Time Division Multiple Access)方式

TDMA方式は、チャンネルを時間で分割したスロットをそれぞれのノードに割り当てる方式であり、連続するN個のスロットをまとめてTDMAフレームという。図5にスロット数4のTDMAフレームを示す。

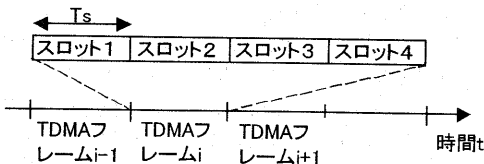


図5 TDMAフレーム

1タイムスロットの時間を T_s 、多重化するタイムスロット数が n であるとき、サイクルタイム T_c は、 $T_c = T_s \cdot n$ で表される。

物理層の伝送速度が V_i bit/Secである時、各無線

局に与えられる実質伝送速度 V_r bit/Secの理論限界は、送受信切り替え時間等のオーバーヘッド T_h Secから、次のように求めることができる。

$$V_r = V_i \cdot (T_s - T_h) / n \cdot T_s \text{ [bit/Sec]}$$

また、この時の伝播遅延を除くシステムの遅延時間 T_d は、

$$T_d = n \cdot T_s \text{ [Sec]}$$

となる。

従って、実質的な伝送速度は、多重化するスロット数によって大きく左右される。

従来のCSMA/CA方式では、トラフィック量の増加とともにパケットの衝突が発生し、通信品質が低下することが確認されている。また、隠れ端末環境下で、CSMA/CA方式のスループットがTDMA方式より高いが、アクセスの公平性においてはTDMA方式が効果的であることが報告されている。⁴⁾

今回のシステムでは、TDMAアルゴリズムに、(1)時刻同期方式、(2)収容局数の改善、(3)隠れ端末問題の解消、(4)伝送効率の改善を取り入れることで、特定の基地局を設けずに、隠れ端末問題の解消とスループットの保証をする動的TDMA方式⁵⁾によるアクセス制御を行った。

(1) 時刻同期方式

TDMAでは、各局間で時刻同期を取る必要がある。

予め自局のスロット番号を決め、サイクルタイムの時間以上受信動作を行う。この間、全く受信できない場合には、送信データに自局のスロット番号を付加し、任意のタイミングで送信を開始する。

上記受信により、他の送信局を受信した場合には、その送信開始点の時刻 T_{cd} とその局のスロット番号から以下のように、自身の使用スロット開始時刻 T_{ts} を求めて、その時刻に送信を行う。

自身のスロット番号： N_t

受信したスロット番号： N_r

受信スロットの開始時刻： T_{rs}

$$N_t < N_r: T_{ts} = (N_{max} - N_r) + N_t \cdot T_s + T_{rs}$$

$$N_t < N_r: T_{ts} = (N_{max} - N_r) + N_t \cdot T_s + T_{rs}$$

さらに、送信時にキャリアセンスを併用して、衝突回避を行う。

(2) 収容局数の改善

タイムスロットを各局に固定せず動的に割り当て、収容局数の改善を図るものである。

サイクルタイムの時間受信動作を行い、送信局がなければ、 $N_t = 1$ で送信する。受信した場合は、そのスロット番号 N_{rs} を記憶し、サイクルタイム以上これを

繰り返す。

求められた空きスロット番号を Ntx に割り当て、キャリアセンスを併用して送信、衝突回避を行う。

(3) 隠れ端末問題の解消

送信するデータに各無線局が受信しているスロット番号の情報を付加することによって、システム内に隠れ端末が存在しても動的 TDMA を可能にすることができる。

1次 map

自身が直接受信可能な使用中スロットのリスト

2次 map

自身が直接受信している局の1次mapの総和リスト

n次 map

自身が直接受信している局のn-1次mapの総和リスト

無線局Xは、最初の受信サイクルにおいて、使用中のタイムスロットのmap情報を得ることができる。これらmap情報の総和から未使用のタイムスロット番号を任意に使用して送信を開始する。

(4) 伝送効率の改善

取得するタイムスロットの数をその時の空きスロットの状況に合わせて増減し、最大伝送速度を上げることが可能となる。連続したタイムスロットを使用することでオーバーヘッドを減らしさらに、伝送効率の改善を図ることができる。

この場合、タイムスロット番号、map情報の他に連続して使用しているタイムスロット数を送信データに付加することが必要となる。

3.2. 無線空間

各企業に設置した無線ルータ間で通信を行うため、図6のような無線空間で、Multi Point to Multi Pointの接続が行われる。つまり、無線空間内のネットワークは、192.168.35.0/24であり、各企業のネットワークと無線空間は、無線ルータ(RTB:1, RTB:2, RTB:3)により、ルーティングされている。ここで、無線空間は、1つのサブネットとして取り扱われ、中継は、IP層ではなく、無線LINK層で行われている。RTB:1とRTB:3は、直接に無線通信ができない環境に設置されており、RTB:2によって中継をされている。

アンテナによる伝送距離の差は、アンテナ利得により決まり、この利得と、アンテナの指向性パターンの広さ(半値角)は相反する。つまり、高い利得のアンテナほど、通信できる角度が狭くなる。また、無指向

性アンテナといわれているコリニアアンテナ等も、水平方向に対して無指向性であるものの、垂直方向には指向性を有している。従って、複数の局で無線ネットワークを構成する場合には、アンテナの指向性とネットワークのトポロジを考慮する必要がある。

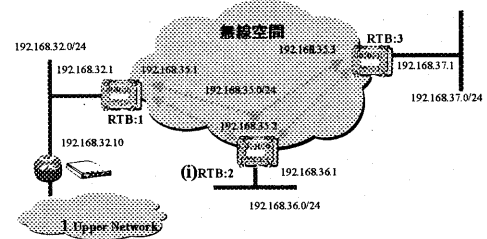


図6 無線空間

3.3. パケットの流れ

2.4Ghz帯は、直進性が強く非見通しの通信はできないが、無線ルータの持つ動的経路制御機能(RIPv2)と2層中継機能(L2 Auto Switch)により、中継を行う。各ノードが必要なデータを中継することで、直接電波の届かない施設間の接続を、ノード数と同じ無線ルータで実現される。各無線ルータが端末装置として働くだけでなく、同時に中継機能も供給するため、新たな中継局の設置が不要となる。

RTB2400では、図7が示すようにイーサネットと2.4GHzSSという二つのMAC層の上にIP層が構築され、さらにその上位層としてUDP層を介して、各種設定ツールなどのアプリケーションが実装されている。イーサネット側から送られてくるパケットは、IP層でルーティングテーブルを参照し、無線または、イーサネット側のLINK層へ送られる。

無線側のLINK層に送られたパケットは、無線側のArpテーブルを参照して、特定のRTBへ送るように無線用のMacヘッダが付加されるが、このとき中継を行うためにRadio switch tableを参照して直接無線で伝送する無線局を決定する。

また、無線空間から送られてきたパケットは、まず、この無線用Macヘッダを解析し、最終到達局がある場合は、上位層へ送り、中継の場合には、同様にRadio switch tableにより次の無線ルータへ伝送する。従って、それぞれのネットワークは、独立性を保ちながら、相互接続が可能となり無線WANを形成することができる。

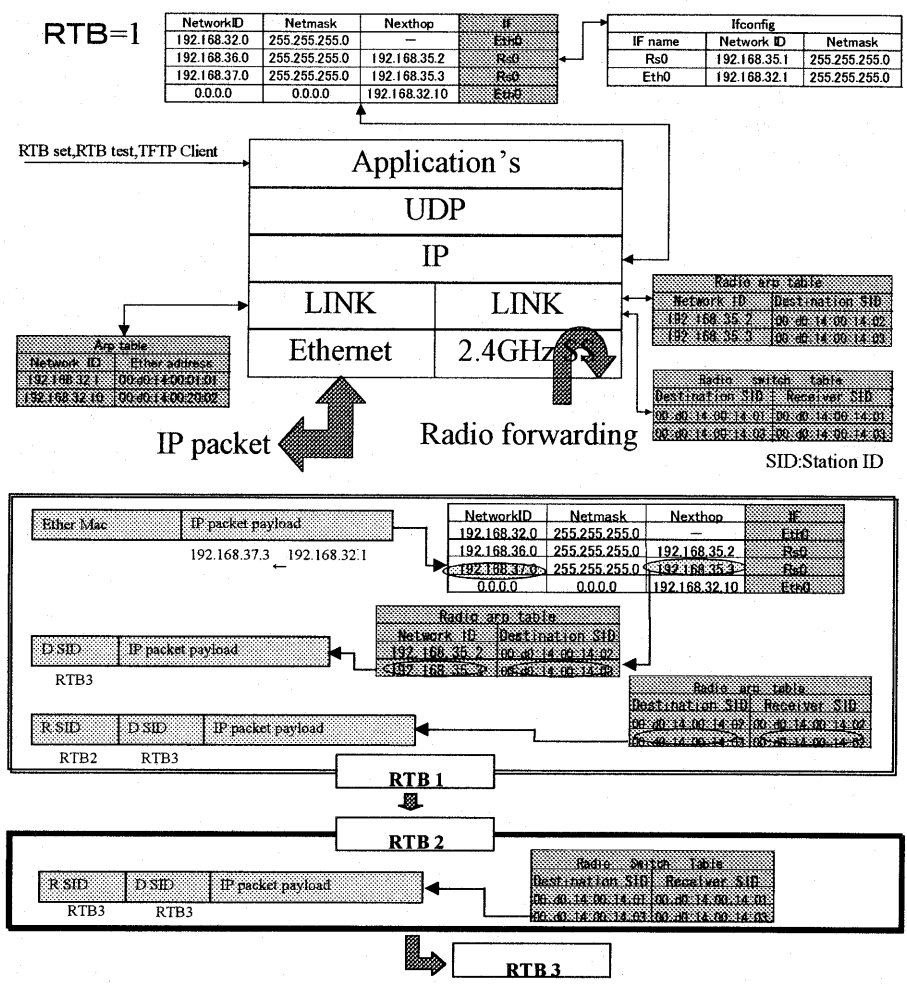


図7 パケットの流れ

4. 電波障害

4.1. 無線 LAN の構成と干渉

無線による通信は、距離や周囲の状況によって影響を受け、品質が劣化することがある。つまり、十分に通信が、確保できる範囲を1つのサービスエリアとして捕らえ、無線 LAN における単位となる。基本サービスエリア (Basic Service Area : BSA) は、他の BSA との干渉や無線通信の到達範囲を考慮して設定すべきである。この BSA に有線 LAN や専用回線を用いて拡張したサービスエリアを拡張サービスエリア (Extended Service Area : ESA) と呼び、ブリッジの役目をするアクセスポイントにより、BSA 同士を接続する。

複数の BSA あるいは、ESA が比較的近距離に存在する場合は、干渉が大きな問題となる。無線では伝送品質が非対称なため、無線は遠くに離れた通信の相手よりも、近くに干渉を与える雑音源がある場合、聞こえるのに届かない、届くのに聞こえないという状態が定期的に発生する。

サービスエリアは、通信エリアと干渉エリアからなり、円形のモデルで表すことができる。無線信号は、通信可能範囲から一部漏れ出して干渉エリアを形成する。この干渉エリアの信号は、図8が示すように BSA 内の通信には、影響しないが、他の BSA の通信に影響を及ぼす。実際に対応は、5章で記述する。

従って、干渉を受けずに複数の BSA で通信を行うには、十分離れた (25Mhz) チャンネルを使う必要が

ある。チャンネル数も限られているので、干渉のない組み合わせを選択することは困難である。しかし、実際には、電波の届く範囲は、それほど広くなく、多少の干渉があっても、通信は可能であるが、通信速度が低下する可能性がある。

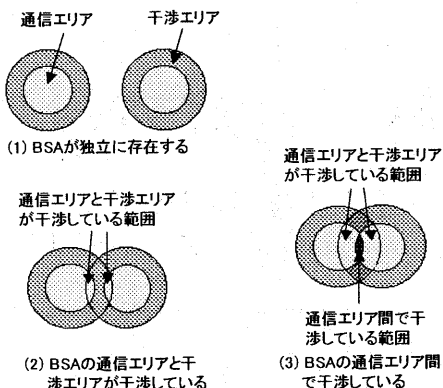


図8 2つのBSAの位置関係と干渉

4.2. 経路制御

動的ルーティングでは、ルータがネットワークの状態をリアルタイムにモニタしているため、あらかじめルータに指定した経路を設定する静的ルーティングとは異なり、どこかのルートで障害が発生した場合でも、別のルートを選択してパケットを転送することができる。またネットワークのトラフィックに応じてルートを選択できるなど、刻々と変わるネットワークの特性に対する適応力に優れているといえる。

RIPv2は、こうしたRIPv1の機能に加え、認証パスワード、サブネットマスクの指定、マルチキャストアドレッシングなどの拡張を行っている。しかし、メーカによって独自の拡張が行なわれている場合がほとんどで、RIP本来の規定以上のインターオペラビリティ（相互接続性）は確保されていない。

5. 実装と実験結果

5.1. 構築時における障害発生とその回避

無線ルータ設置工事を行い、事務局と6社を設置した際に、無線空間のみで通信を確認することはできたが、pingの到達率は、約30%程度であり、その信頼性は、著しく低いものであった。近隣の高知工業技術センターに無線通信ユニットを設置しているとのことから干渉が考えられた。従って、高知工業技術センターが使用しているチャンネルを確認し、33Mhz離すことにより解消された。

当初、無線空間においては、静的な経路制御を設定していた。しかし、今後無線ルータ設置局が、増加することに対するルータの設定や適切な中継路を確保する必要性が浮上してきた。以前より、企業LAN側(eth0)は、動的制御であったが、無線空間側(rs0)も設定を動的制御に切り替えた。

これにより、無線空間内での通信速度は、各段に向上した。無線の場合、動的制御を行うと、電波状況に応じてルーティングテーブルを変更する可能性が出てくる。その場合、静的なルーティング情報には、有り得ない経路を取ると、動的経路情報と静的経路情報に矛盾が生じ、静的経路情報が優先されてしまうからである。つまり、動的制御を行うには、すべてのルータ(無線ルータ、リモートルータ)に対して、RIPを設定する必要がある。

5.2. 運用後の障害とその回避

第2期工事完了後、設置前テスト時には見られなかった不規則な通信障害が発生した。現象は、サーバ設置局周辺の極めて通信環境がいいノードにおいても、90%近いパケットロスが発生する時間帯がある反面、全くパケットロスなく通信を行うことができる時間帯もあり、特定できないというものである。さらに、日々障害状況が異なっていた。

ルート社アナライザ(RBM2400)を用いて電波状態を測定した結果、サーバ設置局付近で図9にみられる2476Mhzと中心周波数とした±20Mhzの強い波形が見られ、警察により信号機に設置された光学式車両感知器のSS型端末区間用無線伝送装置が原因であることが判明した。団地周辺3箇所にSS型端末区間用無線伝送装置や車両感知器が見られた。

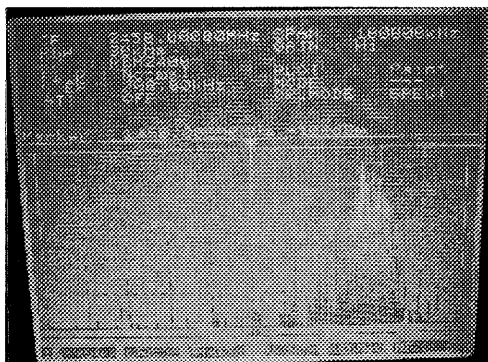


図9 測定結果

さらに、卸団地周辺には、工業技術センター、KCANなど幾つかの無線局があり、不規則なノイズとして検

出された。これらは、設置前テスト時には、障害にまでは至らない状況であったが、昨今の無線ブームを受けてか接続局が増えていることが原因と考えられる。

既設のRTB2400の大半は、2450~2483.5Mhzしかサポートしていなかったため、対応策として、図10,11が示すような22ch(2450Mhz)と55ch(2400Mhz)の2つのチャンネルにわけ、22chネットワークにおいては、静的、動的経路制御を併用して無線経路の周り込みを行っている。しかし、下流のノードにおいては、メトリックが増え通信時間の遅延が発生する。さらに、上流のパケットロスが、相乗的に加算されることが考えられる。

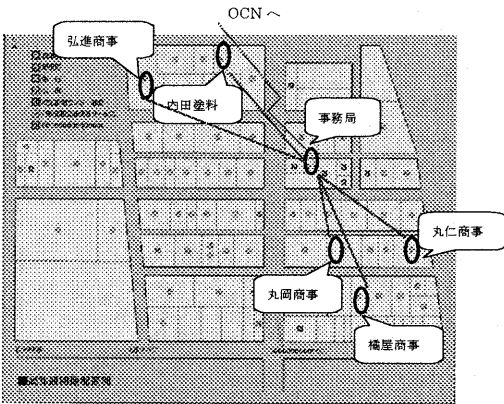


図10 55ch ネットワーク概観

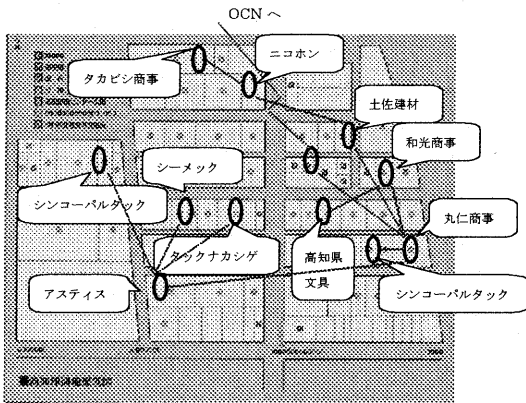


図11 22ch ネットワーク概観

5.3. 各ノードの安定性

各ノードの安定性を確認するために、サーバ設置局のネットワークより、各企業の無線ルータにpingを1秒ごとに100回実行し、パケット損失、到達時間を測定した。

図12は、第1期工事完了直後の測定結果である。6社においては、98~100%の到達率でパケットの損失もほとんどなく、シーメックの測定結果に多少ばらつきがあるものの伝送自体は、かなり安定しているという結果が得られた。

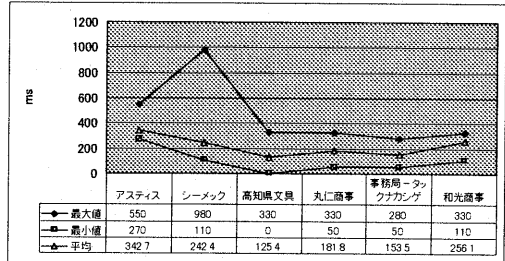


図12 測定結果

図13, 14は、電波障害回避後の測定結果である。すべてのノードで、5~10%程度のパケットロスにとどまっているが、全体的に伝送速度はかなり遅くなっており、Metricが大きいノードでは、それが顕著である。

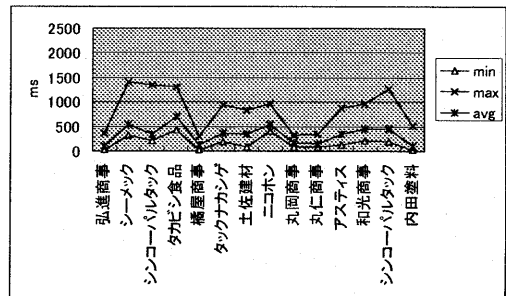


図13 測定結果(4/21 PM3:30)

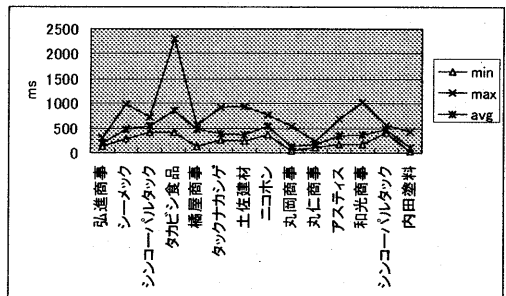


図14 測定結果(4/21 PM7:30)

6. 考察

(1) 取り組みについて

本研究は、大学と企業（高知卸商センター共同組合）との共同研究である。価格破壊と激変する流通メカニズム、消費者の購買形態の変化といった卸売業を取り巻く環境の変化に対応するため、「情報化元年」と銘打ち、地域インフラとして無線 LAN を用いたインターネット・イントラネット構築に着手し、ルート社 RTB2400 により無線空間を実現した。

短期ではなく、長期的な見解で費用を検討し、情報過疎地を作らないことが地方発展の要素となり得る。今後、より充実した物流システムの整備を行い、団地を単位とした情報武装型卸売業に発展するためにも、本研究は、先導的な位置付けになったと考える。

(2) 無線ルータについて

無線空間を構築に当たり、見通し確認と無線ルータ (RTB2400) 2 台での 1 対 1 通信による導入テストだけでは、干渉の有無や中継路の確定を行うことが困難であることを経験的に理解した。無線 LAN の使用する ISM バンドは、無認可で使用できるため、どこにどのような通信を行っているノードがあるかを知り得ることが困難である。干渉の可能性は、アナライザを用いて日々時間を変えて調査を行うことが必要である。ノードの位置が明確であるならば、無線の特性である非対称な伝送品質を考慮し、無指向性のあるアンテナの設置は最小限にとどめることが望ましい。

今回は、企業団地内の特定された範囲での構築であったため、通信距離を考慮する必要はなかったが、通常、無線通信ユニットを選定する際の検討事項として以下のような事項が挙げられる。

- ・見通し伝播
- ・無線通信ユニット間での通信距離と速度
- ・中継路の必要性
- ・干渉の可能性
- ・設置場所の状況確認
(アンテナ位置、屋内への引き込み口、屋内配線など)

特に、設置場所の状況次第で設置コストは大きく左右されるので注意が必要である。

無線ブリッジで通信する場合、無線空間内は、静的経路制御となり、通信経路は固定される。しかし、今回のような電波障害発生時には、通信経路の変更や中継路を取りことができる無線ルータのほうが、適応性

が高いといえる。

(3) 今後の対応について

2.4GhzISM バンドによる無線 LAN 空間は、無認可であるため日々増殖する可能性があり、ノイズ発生先を特定することは困難である。伝送距離の拡大やメーカー間の互換性が進めば進むほど無法地帯化し、お互いにノイズ発生源となっていることを認識しないまま、通信品質の劣化に悩まされることとなる。それゆえ、屋外における無線通信を行っている企業、機関による自治を組織化することが必要であり、その設置を提案するものである。

7. 結論

本研究の目的は、共同研究として、無線ルータを使った地域 WAN 構築・運用を行うことである。無線ルータを多用した無線トポロジーを設計し、実際に 10 数社からなる企業団地の無線 WAN 空間を構築し、その有用性を検証した。この構築の過程で、他のいくつかの BSA との競合及び警察の無線感知機の設置による、電波干渉の問題に遭遇し、無線ルータによる無線トポロジーの再設計で解決できた。また、無線 WAN 空間利用のあり方にも検討を加えた。

システムは、モデルとしてではなく、教育まで含めたトータルシステムとして提案し、ビジネスへの適応を示唆するものである。

参考文献

- 1) 板垣朝子：広域無線 LAN で地域ネットワーク KCAN 実験研究協議会、デジタル Explorer, No4. pp136-137, 1999 年
- 2) 山崎重一郎、井上崇、川根祐二、荒木啓二郎：無線による地域ネットワーク実験、情報処理 pp26-31, 2000 年 1 月
- 3) 大道仁美、白石善明、茂木武士、新倉武、能田益弘、森井昌克：無線 LAN による町内ネットワークの構築と運用実験、情報処理学会研究会、知能と複雑系 121-3 pp17-23, 2000 年 7 月
- 4) 地域振興のための電波利用に関する調査研究会、無線イントラネットに関する調査研究報告書、2000 年 3 月
- 5) 真野浩：Dynamic TDMA アルゴリズムの研究、パルテック 98, 1998 年 8 月
- 6) ルート社、RTB2400 Instruction Manual
- 7) 重野寛、無線 LAN 技術講座、SRC ハンドブック