

介護施設内における徘徊老人の位置情報追跡システムの研究

青野 雅樹 豊橋技術科学大学工学部教授

1 研究調査の目的

日本人の高齢化に伴い、老人の社会問題、特に認知症や徘徊老人の問題は、多くの人が直面する深刻な問題となってきている。通信インフラの整備に伴い、屋外での徘徊老人の検出は GPS センサなどにより、比較的容易に検出できるようになってきた。しかし、家庭内・施設内の徘徊、特に夜間の徘徊の安全対策には、監視モニタリングできる安価で有効な手段がほとんどなく、一部の大病院で試験的に導入されている PHS などを使った高価なシステムも、特定の危険区域への侵入を検知して警告するだけにとどまっており、屋内の徘徊老人が「今、どこにいるか」のモニタリングできるシステムに関しては、ほとんど研究されていないのが現状である。

その結果、徘徊老人が、特に夜間、介護施設や病院内の非常ドアから外出しようとしたり、あるいは実際抜け出したりして、施設内の他の老人への迷惑行為、トイレなどへの座り込みのまま動けなくなる危険、さらに非常ドアなどから外出する場合、迷子や交通事故、あてもない放浪の末の脱水症などの危険があり、早急の措置を講じる必要がある。

そこで、本研究では、情報通信技術を用いて、徘徊する老人の施設内の位置推定を以下の2つのアプローチで試みた。

- ① 試作品の一個の方向探知機（発信機）を用い、特定の施設内での徘徊老人の位置推定を行える情報システムを提案し、方向だけでなく、位置推定も行えるアルゴリズムの開発と検証を目的とした実証実験を行う。この際、小型の子機（受信機）からは RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) と呼ばれる信号強度が送られ、これを発信機で捉え、この値から位置推定を試みる。
- ② IEEE ICDM2007 データセット (<http://www.cs.ust.hk/~qyang/ICDMDMC07/>) を用い、WiFi の 101 個のアクセスポイントから得られた RSSI 値を用いて、屋内施設環境下での位置推定に関する、ロバストで、かつ、できるだけ精度のよい、データマイニング手法の研究開発を目指す。

本研究の目的は、認知症の社会問題、特に、徘徊老人の位置追跡は重要な問題となっている。本研究では、GPS の使えない施設内・家庭内を想定した徘徊老人の位置を推定・追跡できる情報システムを提案し、その有効性を調査することである。上述の2つの試みは、この目的に沿って実施した2つのアプローチである。特に□においては、試作品（菱進テクニカ（株）製）である電子走査導波器アレー（ESAPR）アンテナを用いて屋内における観測対象の位置の推定を行った。この場合、観測対象（徘徊老人）にこのアンテナの受信機を携帯させ、これが得る ESPAR アンテナからの受信信号強度（RSSI）値を用いて観測対象の位置推定を行った。□では、国際データマイニング学会で 2007 年のコンテスト課題である、複数地点でのアクセスポイントでの RSSI 値と訓練データ、およびテストデータからなるデータセットを用いた実験を行った。

2 研究調査の方法

2-1 関連技術・関連研究

徘徊老人の探索に関しては、海外ではアルツハイマー病のひとつの症状として、着目されており、ホームセキュリティなどを手がける企業から、警報装置などが売られ始めている。国内では、徘徊老人の問題は、日本人の高齢化とともに大きな問題に発展してきており、90年代後半から、研究だけでなく、海外同様、警報システムなどが製品化されてきている。また、特定の地方自治団体と企業（NTT ドコモやセコムなど）との共同研究なども行われている。代表的な実例として多く存在するのは、痴呆症の徘徊老人が、家屋あるいは施設から、勝手に外出するのを察知して、警報を鳴らすシステムである。不意の外出をガードする警報装置例としては、「徘徊老人感知システム」(<http://www.kokoroweb.org/cgi-bin/kokoro/exec.cgi?file=item&id=558>)（アイホン（株））、「徘徊老人外出保護緊急自動電話通報装置」(<http://www.security-s.com/linkp05.htm>)（（株）セキュリティシステム）、「徘徊性老人ガードシステム」(http://www.jpl.co.jp/products/guard_j.html)（（株）日本パルス技術研究所）など

が知られている。基本的には、不意の外出を察知し、警報するだけなので、間に合わなければ、徘徊老人の外出を許すことになる点に問題がある。

屋外の位置推定には、基本的に広域アンテナまたは GPS を使う研究が主である。太陽無線（株）は、複数の家庭において、家庭用の TV アンテナの支柱に広域探索用アンテナを搭載、もしくは車載要アンテナで発信機を保持させた徘徊老人の居場所を推定する試みを報告している (<http://www.taiyomusen.co.jp/JHome/fukuhaikai.html>)。しかし、かなり大掛かりな仕掛けと導入コストが必要であり、実験段階にすぎない。一方、GPS や PHS を使うシステムは、論文を含め幾つか報告されている。GPS に関しては、屋外での位置推定が簡単であり、モニタリングシステムと連動させれば、実用的なシステムが可能であると考えている。PHS の場合、農村部や山間部を除けば、日本国内ではアンテナも多く 3 箇所以上の PHS アンテナさえあれば、都市部での徘徊老人の位置推定に使える可能性は高いが、システムやソフトウェア的に、誰でもが使えるレベルには達していない。PHS を用いたシステムの論文例としては、小川ら[1]の、海外論文誌で報告されている。なお、PHS は、病院内での患者のナースコール（例、中央電子サービス：ナース呼び出しシステム：<http://www.cesnet.co.jp/product1.html>）などで実用化されはじめている。これは、PHS の周波数域が携帯電話と違い、ペースメーカーなどに悪影響を与えないことが理由である。ただし、病院内に導入する場合も、かなり大掛かりなシステムとなり、通常の入院施設がある開業医がすぐに導入できるシステムとは言いがたい。

屋内での位置推定をターゲットとした関連研究では、以下のようなものが代表的である。Hähnel ら[2]は RFID を用いて屋内における自己位置推定と環境地図作成を行った。屋内の通路の各場所に RFID タグを設置し、その通路を、RFID リーダを搭載したロボットが移動して RFID タグの発見具合からロボットの位置を推定するというものである。北須賀ら[3]は屋内における無線 LAN を用いた位置推定方式“WiPS”の実装を行った。これは無線 LAN 端末で周囲の端末を監視し、自分との RSSI を比較することにより他の端末との自己の相対的な位置を推定し、最終的に位置推定とその精度向上を行うというものである。無線 LAN を用いた位置推定は屋内に限らず屋外でも行われおり、伊藤ら[4]はより広域における無線 LAN による位置推定に取り組んでいる。カーナビなど屋外で GPS に使用されている装置を改造して屋内用に位置推定を行った例としては水谷ら[5]の位置追跡システムの報告もある。

総じて、GPS など屋外では有効な位置推定法があるが、屋内（特に夜間の徘徊の位置推定やモニタリング）では安価で、有効なものはほとんどない状態である。本研究では、大平ら[6]の作成した電子走査導波器アレー（ESPAR）アンテナの試作品エスパロンを購入し、方向探知機を位置推定装置として利用することを考えた。この背景として、エスパロンでは、アンテナの指向性を電子的に変化させることが出来、この指向性を変えることによる RSSI の変化から電波到来方向を探知する仕組みとなっているためである。大平らは、このアンテナを使い、電波到来方向探知機として利用した雪山におけるマイクロ波ビーコンの搜索実験[7]を行ったことを報告している。本報告では、最初の実験でエスパロンを使った、仮想徘徊老人の位置推定を試みた。エスパロンの発信機部分の実機画像を図 1 に示す。

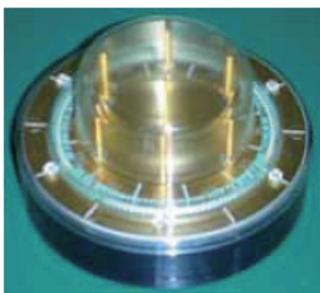


図 1：エスパロン（発信機）



図 2：アクティブ型無線 IC タグ（右）とその受信機（左）

研究調査としては、エスパロンだけでは、客観的な評価が難しいと考え、商用的な利用が始まっている WiFi 無線や類似の無線受信機を利用したアクティブ IC タグ（北興産業製）（図 2）も購入し、定性的な比較を行った。

2-2 方向探知機とアクティブ IC タグを用いた場合の類似点および定性的比較

(1) コスト的比較

初期投資は、建物の構造や広さによっても異なるが、一般にはエスパロンのような方向探知機の場合、親機の数が少なく済むため、たとえば100平方メートルの屋内を考えれば数機の親機と徘徊老人の数に応じた子機があればよく、それを監視するシステムと合わせて100万円程度の出資がかかると推定される。一方、アクティブICタグを利用する場合、一個の子機は数千円程度で買えるため一般には安価であるが、基本的に親機からの到達範囲内に特定の子機が入ったかどうかはかわからないので、相当数の親機（または子機）が必要となる。100平方メートル程度であれば、1~2メートル毎に必要であり、この数の親機と一台数千円~数万円かかるアクティブICタグとを合わせると、数100万円の投資が必要となる。なお、一部の病院では、PHSでの入退室管理を行っているところもあるが、PHSの周波数帯から病院各階でのアンテナを含め相当高額な初期投資が必要であることが知られている。

(2) 一般的問題

共通の問題として、子機のバッテリーの充電をどう行うかが問題となる。また、親機もACアダプタ式の場合、その電源確保が問題である。特に、アクティブICタグの親機では、WiFi型では相当数の親機が必要となるため、建物の設計において、親機の電源確保と全体を統括する端末などの設置も設計段階で考慮しておくことが望ましい。アクティブICタグの子機をびっしり敷き詰めて位置検出することも可能であるが、この場合図3に示すように、たとえば矩形の格子状にタグを敷き詰めた場合、図3のa,b,c,d,e,f,g,h,iのようにタグからの到達距離によって位置推定することが理論的には可能である。つまり、これらのアルファベットの組み合わせから位置推定が可能である。当然、相当数のタグを埋め込む必要とバッテリーの確保の問題がある。

一方、電波に共通の問題として、家屋が木造であれば、電波の到達距離が大きくなるが、金属のドアや壁があると電波が反射され、電波間の干渉の問題など、結果的に受信機に到達する電波から位置を割り出す際のノイズの多さに影響を与える。逆に、このような反射波が一般には多いため、屋内の電波を利用した位置推定問題が困難な問題であり、100%の精度がでない理由ともなっている。親機への送信の頻度は、アクティブICタグでは、平均1.2秒に一回程度、エスパロンでは、300msに一回送信する仕様となっている。なお、我々が調査した範囲で、徘徊老人が携帯した場合に健康に害を与える可能性のある電波強度のものはなく、通常の携帯電話の10分の1から100分の1以下の電波であり、安全性に関しては確認できた。

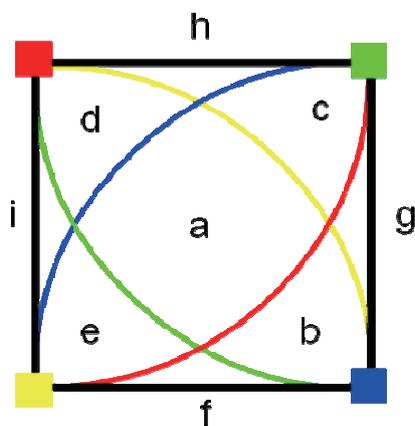


図3：四隅にタグを配置して位置検出を行う仕組み

2-3 エスパロンを用いた位置推定実験の報告

(1) 無方向性を仮定した実験

本節では、試作品を購入して行った、エスパロンでの位置推定に関する報告を行う。図4に概要を示す。送信機（発信機）からは、異なる周波数の微弱な電波が出て、これを12方向16周波数強度の合計192次元のRSSIが得られる仕組みとなっている。

通常は12方向のうち、もっともRSSIの強かった方向を探知する装置として使用されるが、我々はエスパロンを方向の探知機としてではなく、位置推定装置としての利用を試みた。ただし、一回のRSSI値では、ノイズは欠損値が生じるので、複数回取得することにした。WiFiなどの複数の親機で位置が推定可能なように、探知機も図5に示すように、一個の場合も、また複数個の場合も位置推定が理論上可能である。基本的には1個の場合、方向と、信号強度であるRSSIをうまく使うことになる。また、2個の場合、方向だけでも、同一直線上でない限り、位置推定が可能である。

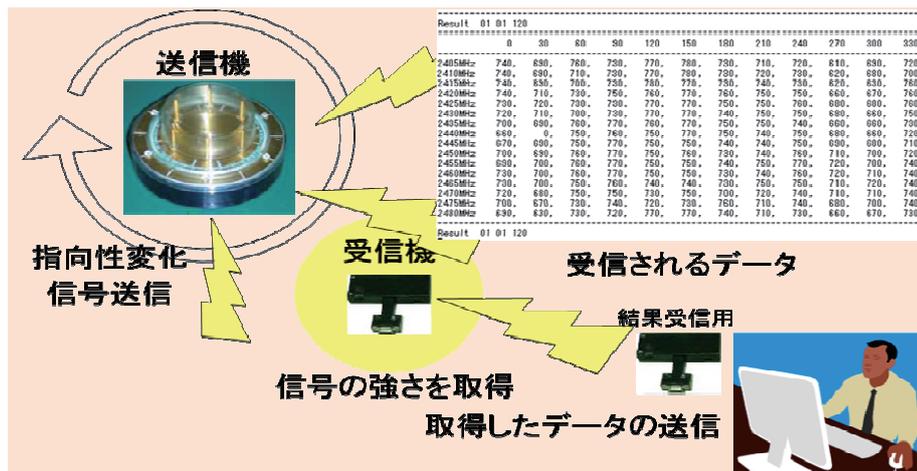


図4：エスパロンでの位置推定実験の概要

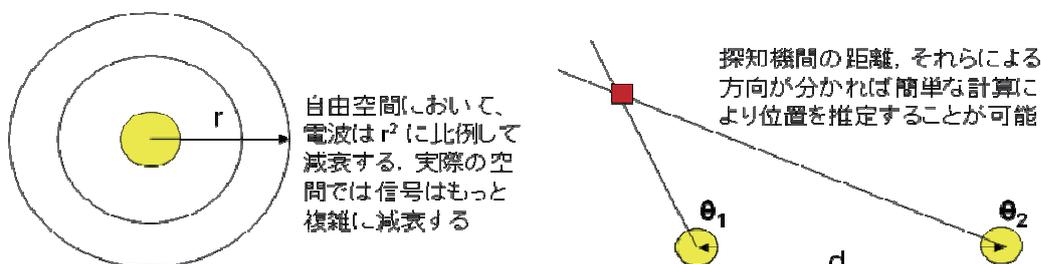


図5：1個の親機での位置推定（左）と2個の親機の場合の位置推定（右）の原理

エスパロン親機を1個使った最初の実験を、図6のように大学の研究室（4部屋+廊下）を介護施設とみなして行った。この実験では、エスパロンの親機は廊下のB2地点付近に据え付けて行った。また、子機をあらかじめ、廊下および3つの部屋で細かく3～5か所、合計16か所で事前に電波強度（RSSI値）を一か所につき50回、全体では800回計測した。それぞれ192次元のベクトル（図7に例示）を得た。その後、（徘徊老人にみたてたる）被験者に子機をもたせ、各場所3か所程度測定できるように（すなわち、各地点で300msの値が3回、すなわち1秒くらいの速度でゆっくり）移動してもらった。実際は、計測されたデータは1か所につき5回、計50か所で測定し、位置推定を試みた。この場合、2つの位置推定の評価尺度として以下の2つが考えられる。

- ① 事前に計測した16か所のどこに一番近いかを推定し、推定精度を評価する。
- ② 位置推定だけでなく、どの部屋（廊下を含む）にいるかを評価する。

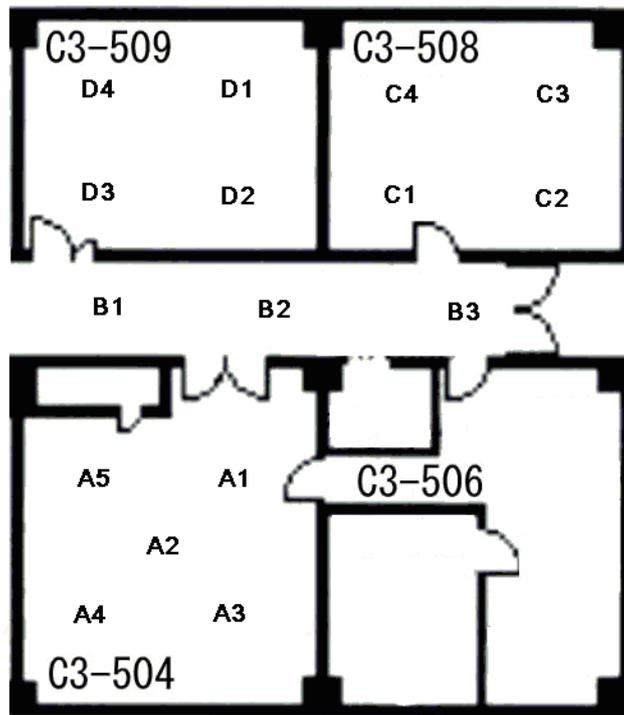


図6: 大学研究室での最初の実験環境(図のA(部屋 C3-504)、B(廊下)、C(部屋 C3-508)、D(部屋 C3-509))で、それぞれ何箇所かキャリブレーション(その地点での電波獲得)を行った。

この課題では、位置の近さに関する正解は 16 か所あるため、多値分類でよく利用される機械学習手法である k -最近傍法を利用して位置推定を試みた。なお、 k としては 5 (5 近傍) とし、多数決で位置推定を行った。

精度は $\text{Precision} = \frac{\text{正しい位置推定数}}{\text{推定の試行総数}}$ で求めた。比較のため、ESPAR アンテナの機能である角度推定の機能だけ (親機を全体の中央に配備しているため) を使った手法と比較を行った。

Result 01 01 120
=====

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
2405MHz	740,	690,	760,	730,	770,	780,	730,	710,	720,	610,	690,	720
2410MHz	740,	690,	710,	730,	770,	780,	730,	720,	730,	620,	680,	700
2415MHz	740,	690,	700,	730,	780,	770,	730,	740,	730,	620,	630,	760
2420MHz	740,	710,	730,	750,	760,	770,	760,	750,	750,	660,	670,	760
2425MHz	730,	720,	730,	730,	770,	770,	750,	750,	760,	680,	680,	760
2430MHz	720,	710,	700,	730,	770,	770,	740,	750,	750,	680,	660,	750
2435MHz	700,	690,	760,	770,	760,	770,	750,	750,	740,	660,	660,	730
2440MHz	660,	0,	750,	760,	750,	770,	750,	740,	750,	680,	660,	720
2445MHz	670,	690,	750,	770,	750,	750,	740,	740,	750,	690,	680,	710
2450MHz	700,	690,	760,	770,	750,	760,	730,	740,	760,	710,	700,	720
2455MHz	690,	700,	760,	770,	750,	750,	740,	750,	770,	720,	700,	740
2460MHz	730,	700,	760,	770,	750,	750,	730,	740,	760,	720,	710,	740
2465MHz	730,	700,	750,	760,	740,	740,	730,	750,	750,	710,	720,	740
2470MHz	720,	680,	750,	750,	730,	750,	700,	720,	740,	710,	710,	740
2475MHz	700,	670,	730,	740,	720,	730,	760,	710,	740,	680,	700,	740
2480MHz	690,	630,	730,	720,	770,	770,	740,	710,	730,	660,	670,	730

Result 01 01 120

図 7 : 子機から発信される RSSI 値 (192 次元) の実際の値の例

表1：エスパロンでの位置推定精度

部屋	位置精度平均	部屋精度平均
A	0.300	0.903
B	0.244	0.644
C	0.250	0.688
D	0.300	0.867
全体	0.277	0.792

表2：角度のみから推定する手法との比較

	部屋精度平均
提案手法	0.792
角度推定法	0.672

結果は表1からわかるように位置の精度は28%程度だったが、部屋精度は約80%を達成した。これは、表2にある比較手法である角度推定法で70%弱であったことを考えると、結構よい数値であった。ここまでの成果に関しては、論文[9]で学会発表を行っている。

(2) 方向性を仮定した実験

最初の実験では、被験者に対する子機を身につける位置、あるいは被験者の向きを考慮することなく、実験を行った。このような実験の前例がなかったため、最初は無方向性を仮定して行ったが、実験を行うなかで、信号の強さは探知機に対して人間が向いている方向に対しても影響している可能性があると考えた。そこで、イラストで示すと、図8のように4つの方向を向き、計測をやり直した。

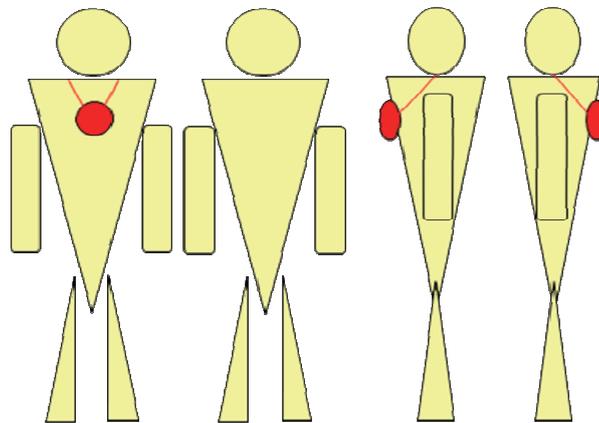


図8：被験者に事前測定箇所、4方向を向いてもらう

このように、子機を持っている人間の向きが結果に影響する（つまり人間自身が電波の遮蔽効果を有する）のではないかと、という仮定から、図8に示すように各固定位置で子機を体の前に持ち、東西南北の4方向を向いた状態でキャリブレーションをやり直した。また、16か所あった計測位置も21か所に増やし、向きを含め、合計84か所での事前計測を行った。図中の丸い位置が親機の位置である。この前提のもと、各位置で25回ずつRSSI値をコンピュータに記録した。

次に位置推定のための機械学習として、「 k -最近傍法」の他に、「多値SVM」（サポートベクトルマシン）および「カーネル部分空間法」などを追加し、比較実験を行った。また、徘徊する人が複数の部屋のどこかにいるとした場合、その人物がじっとしている（数秒程度同じ位置にいる）と仮定した場合と、その人物が移動している（0.8秒以下で移動）と仮定した場合で別々に実験を行った。（図10参照）

結果として、移動しないとした理想的な環境での実験では、 k -最近傍法で約 92% の位置精度、多値 SVM で約 94% の平均位置精度を得た。一方、移動する人物がこの実験設定の 21 か所のどこに一番近いかの予測では、 k -最近傍法で 28.2%、SVM で 29.6%、カーネル部分空間法で 30.3% の結果を得た。これは、移動時のほうが、信号がより不安定になるためと考えられる。

実用化に関しては、移動している人物が特定の部屋にいるか、それとも非常口を含む廊下にいるかの推定がより現実的な評価基準であり、この尺度だと、徘徊を仮定した移動する人物の位置推定の実験では、 k -最近傍法で約 80%、多値 SVM で約 90%、また、多値 SVM より高速に推定計算可能なカーネル部分空間法では、約 83% であった。

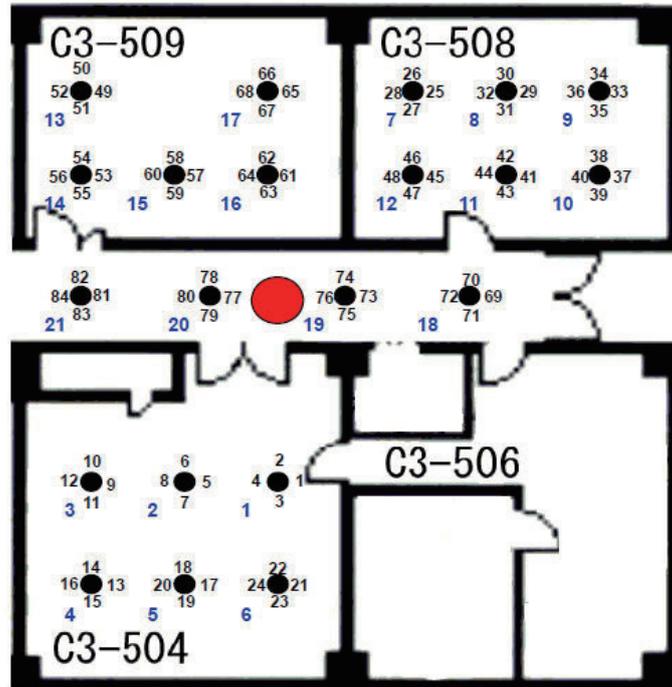


図 9 : 21か所、東西南北4つの向き、合計84か所でのキャリブレーションを行った地点

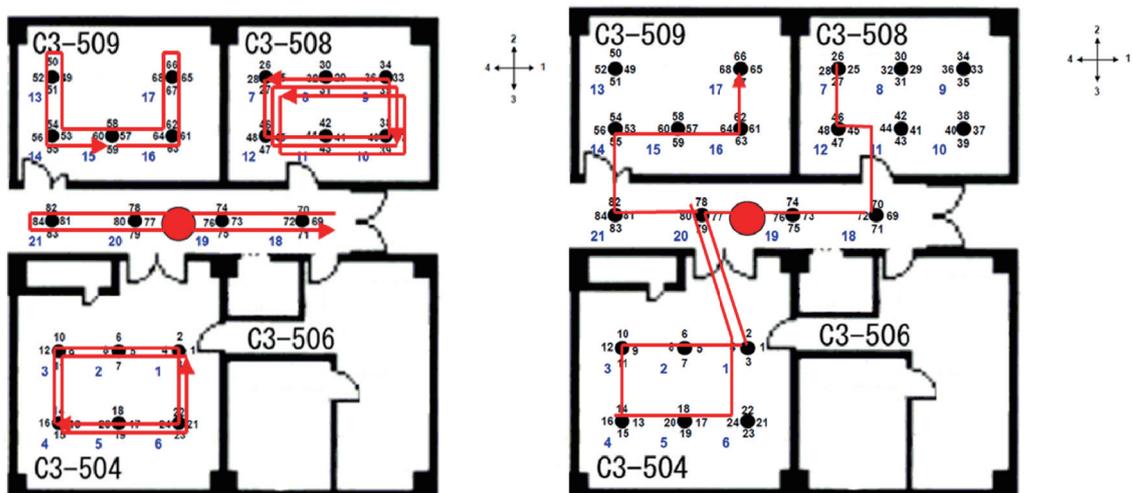


図 10 : 赤線が部屋を移動して計測した様子 (左)、左図からの移動経路を組み合わせて移動パターンを作成した例 (右)

これを「外出する可能性のある玄関や非常口からの外出防止」という立場から考察すると、図 9 の 18 番地点 (69, 70, 71, 72) の横には非常口が実際にあり、この位置精度で上記の結果とほぼ等価の結果を得た。なお、図 10 に示すように移動パターンを作成して実験を行った場合、さらに精度を上げる工夫として、最初の位

置、あるいはもっとも最近頻繁にいたと推測される位置の知識を活かして、これをもとに現在の位置を推定したところ、さらに5%以上の精度向上がみられた。ある意味では、当たり前かもしれないが、電波だけを頼りに位置推定する場合、直前の位置から、人間が瞬間移動しない限り絶対あり得ない位置にいると誤判定する可能性を減らせるためと考えられる。

2-4 IEEE ICDM2007 位置推定コンテスト用データを用いた位置推定実験

エスパロンの実験では、親機がひとつという限定された環境下での位置推定実験であった。現実的には、親機が複数ある環境下で、より正確な位置推定を行えることが望ましい。機材を多く購入して、このような環境を実現してもよいが、類似手法との比較が困難であるため、2007年に行われた国際会議でコンペティションとして公開されたデータセットを用いた実験を行ったので報告する

(1) IEEE ICDM2007 データセットでの問題設定

IEEE ICDM (国際データマイニング会議のデータセット) 2007 で提供されるデータを使った実験としては、以下のようなタスクが含まれている。

「タスクの概要」: WiFi のアクセスポイント (AP) で受信される RSS (Received Signal Strength) (RSSI と同じものを IEEE ICDM2007 データでは単に RSS と呼ぶ) を複数与えて、屋内の位置を推定しようというものである。訓練データとしては、(RSS 値, 位置ラベル) のペアが複数与えられたと仮定する。このうち、幾つかのデータにはペアのラベルがついており、その他のデータには RSS 値だけで、位置ラベルがないものとなっている。さらに、部分的にラベルと、どの位置を動いていたかのトレースデータも与えられるとする。すなわち、トレースとは、ヒトが屋内を歩いた順番に、道程標となる位置とそこでの RSS 値が歩いた順番を保持したものである。このような条件のもと、このタスクでは、テストデータを与えて、その位置を予測するアルゴリズムを設計することを求めている。なお、テストデータは、ヒトが屋内を歩いたところでの RSS 値を集めたものに他ならない。つまり RSS あるいはトレースデータから位置を予測する問題がこのタスクである。

このタスクで与えられたデータ (一行あたり) は、以下のような形式となっている。

<位置ラベル> <AP's Index_1>:<RSS 値> <AP's Index_2>:<RSS 値>...<AP's Physical Index_n>:<RSS 値>

たとえば、以下のようなデータで一か所の計測値が与えられる。:

-1 4:-56 5:-90 13:-92 18:-93 29:-65 31:-80 33:-96 34:-82 35:-90 36:-89 37:-90 42:-86 43:-92
11 2:-53 1:-94 33:-62 36:-89 37:-90

第一コラムが位置ラベルで、これが-1であれば位置は未定、既知の場合、整数値がアサインされる。たとえば”4:-56”は、位置4ではAPでの信号強度が-56dbmであることを表す。このように、1つの方向探知機の場合と異なり、複数のアクセスポイントからの信号強度が与えられる点に大きな違いがある。図11は、このデータを計測したとされる米国の大学の計測箇所247地点である。つまり、この課題では247値分類できることが期待されている。

さらに、方向探知機の場合との違いは、正解データが非常に少ないことである。実際、この247箇所のラベルがついた正解データは全体で505個しかなく、一か所あたり平均2個程度であり、場所によっては1個しか正解ラベルのない箇所もある。この上で、ラベルが未知なデータをあてよ、というものである。テストデータは全体で2137箇所ある。すなわち、ここでの精度とは

$$\text{Precision} = \frac{\text{正解した箇所}}{2137}$$

とあらわされる。

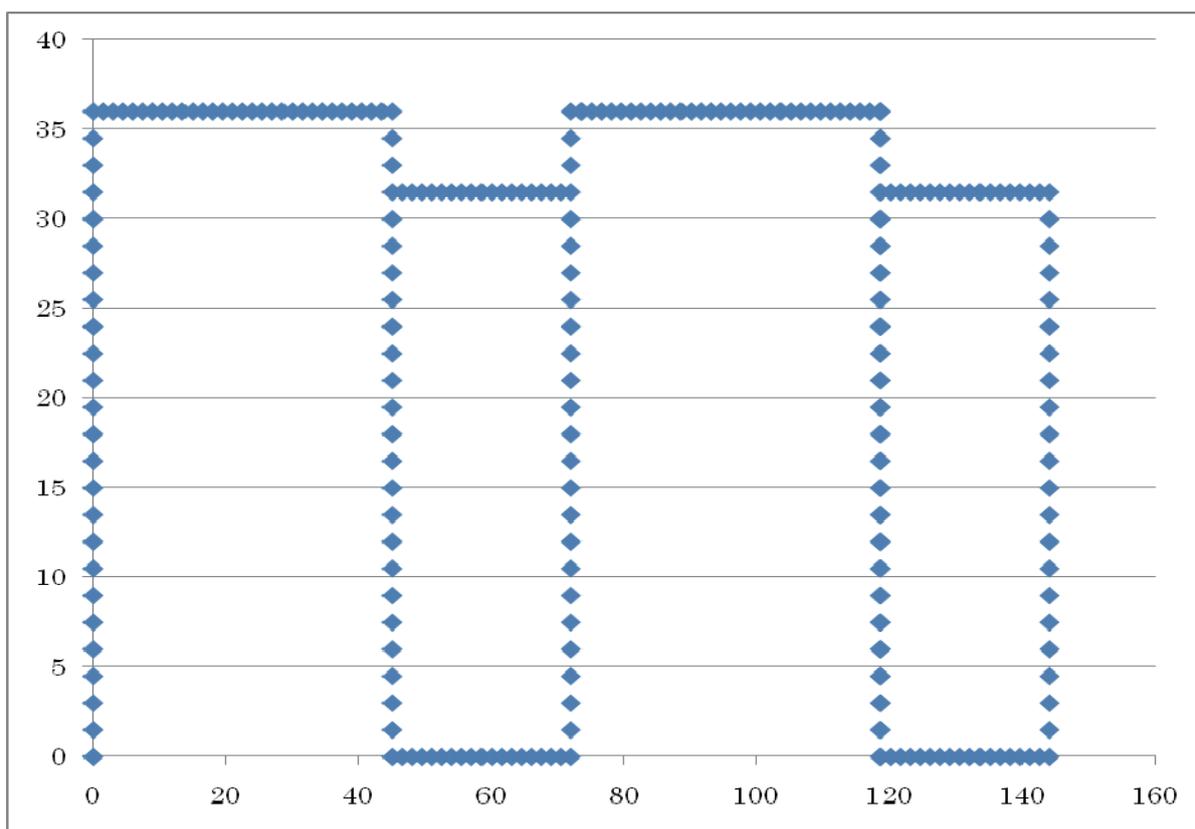


図11: IEEE ICDM2007 で使用された 247 か所の位置 (図のダイヤ形状が計測位置)

(2) 教師つき機械学習手法による位置推定

我々は、この問題に対処するために、まず、既知の機械学習手法がどのくらい有効かを調べた。最初に、多値 SVM を用いた実験を行った。通常、SVM は多くの訓練データがあつてはじめて高精度な結果を出す手法なので、かなり厳しい結果を予想したが、線形カーネルを用いて 1200 箇所の正解を得た。すなわち精度は $1200/2137 \approx 56\%$ であった。次に、エスパロンの時も用いた k -最近傍法で $k=1$ として実験をおこなった。結果として 1216 箇所の正解を得、56.9%の精度を達成した。

表 3 : ICDM DMC2007 コンテストの結果

Task 1 Evaluation Result

Rank	Submission ID (Paper ID)	Precision
1	50	0.822648573
2	18	0.695367337
3	13	0.689284043
4	61	0.68086102
5	49	0.645297146
6	23	0.63500234
7	34	0.626111371
8	29	0.613476837
9	41	0.598970519
10	27	0.585400094
11	15	0.583996256
12	37	0.564810482
13	35	0.560131025
14	39	0.474496958
15	43	0.039775386

56.9%の精度では、表3に示した参加者の中で12位に位置する。これは決して高精度とはいえないので、教師つき学習から、正解が少なくても動作するといわれる、「半教師あり学習」のアルゴリズムを実装することとした。

(3) 半教師あり学習手法による位置推定

一部しか正解がわからないデータに対して、われわれは、正解ラベルを増やす手法として、井上ら[10]が開発したラベル伝搬による部分教師付き学習をこの問題に適用することを考えた。ラベル伝搬法を数式で表すと以下ようになる。

$$x_i^{(\xi+1)} = \mu \left(\sum_{j \in T, j \neq i} w_{ij} x_j^{(\xi)} + \sum_{j \in T} w_{ij} t_j \right) \quad (i \notin T)$$

$$w_{ij} = v_i^{-1/2} s_{ij} v_j^{-1/2}$$

$$v_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n s_{ij}$$

$$s_{ij} = e^{-\alpha \|d_i - d_j\|^2}$$

ここで初期値として、 $x_i = 0$ 、定数 $t_i = 1$, $0 < \mu < 1$ (実験では 0.99) とした。T はラベル付きデータの (添え字) 集合で、 t_i ($i \in T$)、またその他の変数も上に示す通りである。重要なことは、ここではデータの近さをグラフ構造における重みで表現し、グラフ上で近い位置にラベルを伝搬することで、教師データを増やそうとすることである。パターン分類においては、以下の式を、元々のデータのあった、247クラス全部に対して反復的に求め、そのデータがもっとも属すると考えられるクラスに分類 (推定) する。

$$x(d) = \mu \left(\sum_{j \in T} v^{-1/2}(d) s_j(d) v_j^{-1/2} x_j + \sum_{j \in T} v^{-1/2}(d) s_j(d) v_j^{-1/2} t_j \right)$$

$$s_j(d) = e^{-\alpha \|d - d_j\|^2}$$

$$v(d) = \sum_{j=1, j \neq i}^n s_j(d)$$

247個のクラスごとに $x(d)$ を計算し、それが最大になるクラスに新規データを分類することにした。ただし、以下の3つの条件を変えて実験を3種類おこなった。

(1) 学習データを初期の集めたまま使う実験

- データ数 $N=3196$
- 類似度行列(近傍数 $k=10$) $\sigma=10$ 近傍目への距離

$$s_{ij} = \begin{cases} \exp\left\{-\|d_i - d_j\|^2 / \sigma_i \sigma_j\right\} & \text{データ } x_i \text{ から } k \text{ 近傍以内} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2) 学習データには重複データが存在しているとした実験

- ラベルあり、なし等含めて特徴が全く同じデータ
- 学習の際に不都合が生じることがある
- 重複無しデータにしてみる (重複無し学習データ $N=1624$)
 - $k=7$, $\sigma=7$ 近傍目への距離

- (3) ラベル伝搬法は自分が持っているラベルを周りに伝搬するという特性上、元のラベル付きデータ数により学習結果が影響を受ける可能性が高いと仮定した実験
- あるラベルへの所属度は周囲から受ける伝搬による総和である
 - 各クラスのラベル付きデータはクラスを代表する1つとする
 - 代表データはクラスのラベル付きデータの平均値 (k=12, $\sigma=7$ 近傍目の距離)

結果は表4のようになった。ただし、 $\|d_i - d_j\|$ の距離としては、ユークリッドノルムを用いた。

表4：ラベル伝搬法を用いた3つの実験結果

実験 1	58.82
実験 2	58.82
実験 3	62.42

なお、距離の定義を L_2 ノルム (ユークリッド距離) から、 $L_{1/2}$ ノルムに変更すると、上の実験結果がいずれも、平均 5% 向上することがわかった。ただし、 L_p ノルムとは、

$$d_p(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p$$

で与えることを意味する。これにより、実験 3 のタイプでは、表 3 に示した実験結果で第 5 位くらいに向上することができた。

3 研究調査のまとめと地域連携活動

徘徊老人の位置推定の研究を行い、実機を使った実験と、公開データセットを使った実験の2種類を通じてこれまで得られた成果をまとめた。なお、徘徊老人の問題提起はもともと、当大学の位置する豊橋市商工会議所の医工連携プロジェクトから生まれた要求であり、研究成果も平成 18 年から 21 年にかけて東三河での商工会議所主催の医工連携フォーラムなどで地域内の医師らの前で計測的に発表報告してきた。理論と実際とは、予想付かない事態など発生するためかけ離れることもあるが、いろいろな方から研究における有形無形の支援をいただいた。ここに感謝の意を表したい。同時に、実際の病院や介護施設で実験するに至らなかった点は、今後の課題とし、是非、将来はこの研究を地域の医療を結び付けて活かしていきたいと考えている。

【参考文献】

- [1] H. Ogawa, Y. Yonezawa, H. Maki, H. Sato, and W.M. Caldwell, "A mobile phone-based Safety Support System for wandering elderly persons", IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 2, No.1-5, pp.3316-3317, 2004
- [2] D. Hähnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose. "Mapping and Localization with RFID Technology". In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2003
- [3] 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃. "無線 LAN を用いた屋内向けユーザ位置測定方式 WiPS の実装," 情報処理学会 DICOMO 2004 シンポジウム論文集 pp.349-352, 2004 年 7 月
- [4] 伊藤 誠悟, 吉田 廣志, 河口 信夫. "無線 LAN を用いた広域位置情報システム構築に関する検討," 情報処理学会 Vol.47, No.12, 2006 年 12 月
- [5] 水谷俊夫他, "高齢者・障害者の徘徊行動のパターン分析に関する研究," ソフトピア共同研究報告書, ソフトピア財団 (http://www.softopia.or.jp/rd/pdf/research/h14_point_12.pdf), 2003
- [6] 大平 孝, 飯草 恭一. "電子走査導波器アレーアンテナ," 電子情報通信学会 C Vol. J87 - C No.1

pp.12-31 2004 年 1 月

- [7] 古樋 知重, 橋口 正哉, 大平 孝, 浅田 峯夫, 岡田 敏美. “腕時計型マイクロ波ビーコンと携帯型電波到来方向探知機の雪中実験,” 電子情報通信学会 B Vol. J86 – B No.2 pp.219-225 2003 年 2 月
- [8] 元田 浩, 津本 周作, 山口 高平, 沼尾 正行. “データマイニングの基礎” オーム社, 2006 年 12 月
- [9] 仲野 将, 関 洋平, 青野雅樹, "ESPAR アンテナを用いた屋内における観測対象の位置推定", 電子情報通信学会 総合大会, BS-10-6, 北九州学術研究都市, 3 月 20 日, 2008
- [10] 井上光平, 浦浜喜一, "ラベル伝搬による部分教師付き学習", 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, 103(738) pp.67-70, 2004

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
ESPAR アンテナを用いた屋内における観測対象の位置推定	電子情報通信学会 総合大会, BS-10-6	2008 年 3 月 20 日
Classifying biomedical text abstracts using binary and multi-class Support Vector Machine	人工知能学会 全国大会, 3B1-1	2008 年 6 月 13 日
多様体ランキングを用いた三次元物体の形状類似検索	情報処理学会論文誌, 情報処理学会	2008 年 10 月 Vol.49, No.10