

### 地上デジタル放送の電磁波を使用したヒトの 移動検出

村岡, 拓実 / MURAOKA, Takumi

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

60

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

8

(発行年 / Year)

2019-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00022080>

# 地上デジタル放送の電磁波を使用したヒトの移動検出

Detection of Human Movement Using Digital Terrestrial Television Broadcasting Wave

村岡 拓実

Takumi MURAOKA

指導教員 鈴木 郁

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻修士課程

There are a lot of needs to detect the human movement. For example, there are watching the elderly and security in the room. This research aims to detect the human movement using digital terrestrial television broadcasting (DTTB) wave. This method does not make people to feel like being monitored. Also, this method does not make people to be exposed by further electromagnetic waves. Furthermore, unlike the thermopile sensor, it is not affected by ambient temperature. A Support Vector Machine was used for the detection mentioned above, and it could classify with the rate of over 80%.

**Key Words** :human movement, UHF, SVM, digital terrestrial television broadcasting wave, spectrogram

## 1. 目的と概要

高齢者の見守り、留守宅のセキュリティなど室内におけるヒトの移動を検出することへのニーズは多い。主な移動検出方法として、熱を感知する赤外線を使用した方式、ドップラー効果を使用した方式、超音波の反射を検知する方式、ヒトの持つ電位を利用する方式、カメラを使用した方式等、数多くの研究が行われている[1]～[8]。本研究では、地上デジタル放送の電磁波を使用してヒトの移動検出を試みることにした。この方法は、受信機のみで検出を行うことができ、ヒトに被監視感を与えることがなく、新たに電磁波を暴露させることもない。また、サーモパイルセンサーと異なり周囲温度の影響を受けることもない。室内でヒトが移動すると、ヒトによる電磁波の吸収、反射、回折の影響の変化に伴い、室内で位置と角度の固定されたアンテナにおける受信強度が変化する。従来のUHF帯の電磁波を使用したヒトの移動検出手法[7]では、アナログテレビ放送におけるFM変調された音声放送の周波数の電磁波を受信し、1秒前との受信強度の差分を変動幅として解析して、そのレベルがある閾値を超えるか否かで室内におけるヒトの移動を識別している。従来手法はヒトの移動に伴って生じる受信強度変動の変動幅を使用しているため、室内でヒトが静止している時に、ヒトが静止している状態とヒトがいない状態を区別することが難しい。アナログ放送からデジタル放送への移行に伴い、OFDMと呼ばれる伝送方式が採用された。OFDM変調の放送波は、FM変調の放送波に比べて強度変動が大きい。その反面、1チャンネルごとに6MHzの帯域を有しており、関東圏内の放送は518MHz～560MHzまで、ガードを除けば連続的で広い周波数の情報が使用できる。

そこで本研究では、複数周波数を同時に使用して室内のヒトの移動検出を行うことを目的とする。この方法は、従来方法よりも多くの情報が使用できるため、検出漏れの少ない移動検出を行うことが期待できる。室内におけるヒトの移動検出に関して2つの検出ケースがある。一つ目は、室内にヒトがいることが保証された状態で、ヒトが動いていないのか移動しているのかを判定するケースである。二つ目は、室内にヒトがいることが保証されておらず、ヒトがいないまたは動いていない状態とヒトが移動している状態とを識別するケースである。後者のケースは、ヒトがいない状態とヒトが転倒等により動かない状態を区別しないため、緊急性の要する検出には使えない。そこで、前者の移動検出を行うため、ヒトがいない状態、ヒトが静止している状態、ヒトが移動している状態の3クラスを識別することとした。

## 2. ヒトの移動検出方法の概要

### 2.1 地上デジタル放送の電磁波の特徴

電磁波は、周波数が低いほど回折により物陰にも届き、高いほど直進性が増すという性質を持っている。地上デジタル放送の周波数は470～710MHzの周波数帯に属しており、広範囲への伝搬と直進性のバランスが良い。また、300～3000MHzのUHF帯に属する地上デジタル放送の電磁波は電離層の作用を受けにくいいため、放射された電磁波は主に見通し範囲内に伝搬することが知られている[9]。日本では、各住宅での地上デジタル放送の受信を可能とするため、全国12,076局の放送局が設置されている[10]。さらに、地上デジタル放送の電磁波の波長は0.4m～0.6mであり、ヒトの横幅に近いので、アンテナで受信する電磁波の受信強度は十分に変化することが見込める。送

信局は、関東広域圏親局は東京スカイツリー、放送大学親局は東京タワーであり、強電界地域である小金井市にはこの両局から放送されている[11]。弱電界地域である八王子市も東京スカイツリーのエリア内であるが、距離に伴う電波の減衰や地形やビル陰等による電波の遮蔽が大きい。そのため、親局のエリア範囲外の地域には中継局が設置されており、八王子市の場合、八王子デジタルテレビ中継局から放送されている[12]。小金井市の放送局である東京スカイツリーとは反対の方角に位置する、法政大学小金井キャンパスの西館5階の実験室で、地上デジタル放送の電磁波を受信した例を図1に示す。図1は、横軸周波数、縦軸時間、色の濃淡により受信強度を表すスペクトログラムと呼ばれるモードで観察した例である。濃い緑色になるに従って受信強度が大きいことを表し、淡い緑色になるに従って受信強度が小さいことを表している。地上デジタル放送は、放送1チャンネルに当たり6MHzの帯域を有する。受信した周波数の範囲は、関東圏で放送されているNHKやフジテレビ等の7チャンネルをカバーする範囲に設定した。図1では、ヒトが室内にいない時、ヒトが室内で静止した時、ヒトが室内で移動した時の受信強度の変化を表している。図2に、室内でヒトが静止している時のスペクトログラムと室内にヒトがいない時のスペクトログラムとの差分の絶対値、室内でヒトが移動した時のスペクトログラムと室内にヒトがいない時のスペクトログラムとの差分の絶対値を算出した結果を表す。図2から、室内のヒトの有無で大きく強度の異なる周波数が存在していることが確認できる。また、ヒトが室内で移動すると複数周波数にまたがって変化が生じていることが確認できる。この結果から、必ずそうなるとは言いきれないが、ヒトが移動するとスペクトログラムの時間軸方向に変化が生じ、静止したヒトの位置が変わると周波数軸方向に変化が生じる特徴が利用できることが確認できた。これらの特徴を利用することで、移動検出における検出漏れを低減させることが期待でき、室内にヒトが静止している状態も、室内にヒトがいない状態と区別できることが期待される。

## 2.2 測定器具と解析手法

測定から解析までの構成を図3に示す。アンテナで室内の地上デジタル放送の電磁波を受信する。受信信号は受信機を通して、各周波数別の強度に変換される。変換されたデータを、ノートパソコン上に存在するプログラムを使用して、ノートパソコン内部に連続記録する。記録したデータを使用して、室内のヒトの移動を検出することができる検出方法を検討し、検出に適したデータの前処理方法や受信機の設定等を調べる。アンテナに関して本来であれば、広い角度の受信強度を受信するべきか、狭い角度の受信強度を受信するべきか、どのくらい狭い角度にするべきかといったアンテナの指向性を検討する必要があるが、アンテナにはDXアンテナ株式会社製の8素子の八木アンテナ(型番:UA8)を使用した。ア

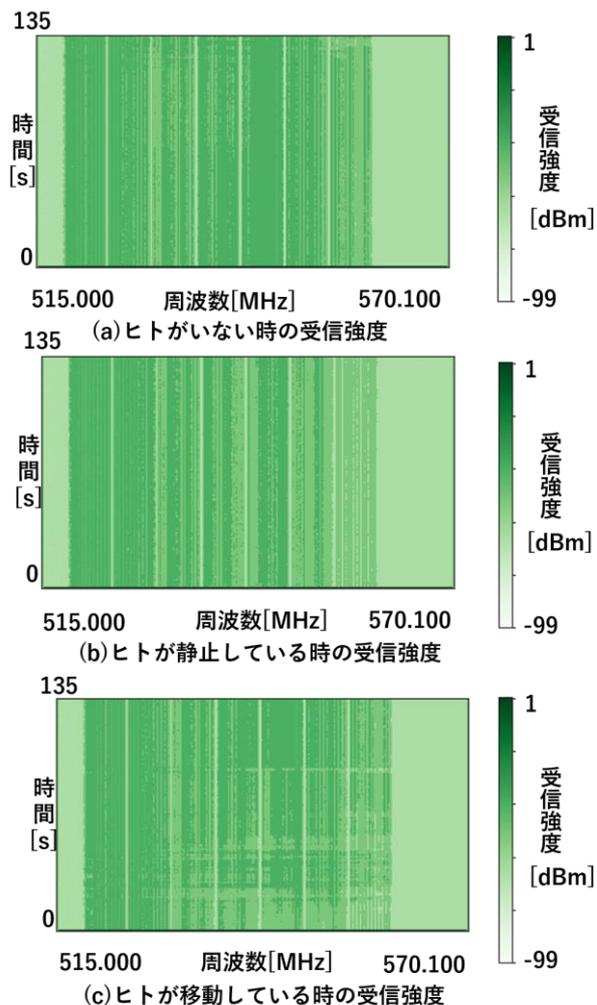


図1 室内にヒトがいない時と室内にヒトがいる時の受信強度

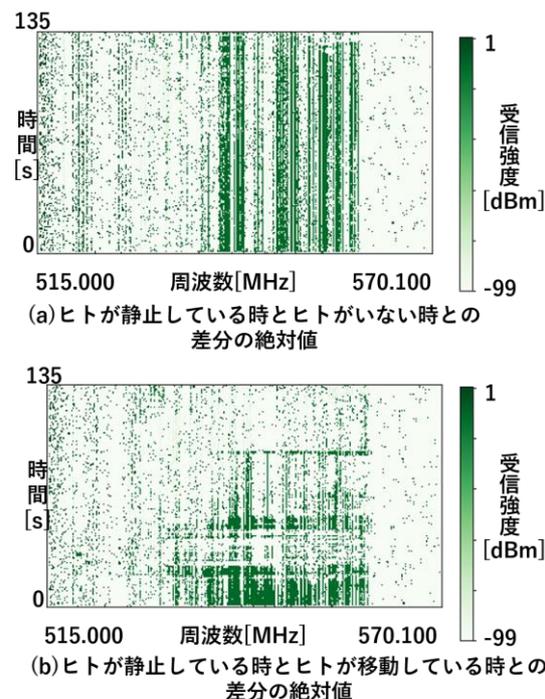


図2 室内にヒトがいない時と室内にヒトがいる時の受信強度の比較

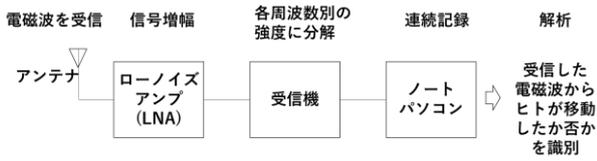


図3 測定から解析までの構成

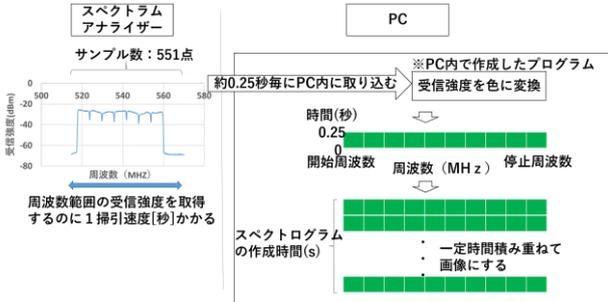


図4 スペクトログラム形式のデータの作成手順

アンテナにローノイズアンプを付けることで、地上デジタル放送の周波数帯に属する 500MHz 付近に対して、受信信号を 20dB 増幅させた。本研究では、図 1 に示したような横軸周波数、縦軸時間で表されたスペクトログラムと呼ばれる形式のデータを取得するため、アンリツ社製のデジタル式のスペクトラムアナライザー（型番：MS2712E）を使用した。また、スペクトラムアナライザーをリモート制御するために、ナショナルインスツルメンツ社製の LabVIEW（バージョン：2016）を使用してスペクトラムアナライザーの周波数別受信強度を取得し、スペクトログラムとしてデータを記録するプログラムを作成した。作成したプログラムによるスペクトログラム作成手順を図 4 に示す。スペクトラムアナライザーは 1 掃引時間かけて、予め設定しておいた周波数範囲における周波数毎の受信強度を、等間隔に 551 点取得する。数値で表現された 551 点の受信強度を約 0.25 秒毎に連続的に PC 内部に保存していく。保存された 551 点の数値データを色情報に変換し、図 1 で示される縦軸の時間幅をスペクトログラムの作成時間として積み重ねることで、スペクトログラムと呼ばれる形式の画像データを連続記録した。解析手法には、ヒトが移動したか否かの識別に有効な候補の一つである機械学習 [2] を使用することとした。本研究では初等的検討として、どのような初期値から最適化を始めても大域的最適解に辿り着くことが保証されている、データ数が少なくても予測できる、実装する上で最適化計算を高速化しやすい等の利点を有するサポートベクターマシンを使用して識別確度を確かめることとした。

### 3. サポートベクターマシン (SVM)

与えられた入力信号が二つのカテゴリーのどちらに属するか識別する問題を 2 クラス分類問題と呼ぶ。サポートベクターマシン（以下 SVM と記述する）は、2 クラス分類問題の代表的な手法である [13]。また、2 クラス分

類を繰り返すことで多クラス分類にも適用することができる。カーネル関数を使用することで、非線形分離も行うことができる。SVM を使用して入力信号をクラス毎に分類するまでの処理手順を図 5 に示す。SVM はベクトルデータに対して、分類を行うような境界線を求める。そのため前処理として、取得データに対してそのデータの持つ形状や性質等の特徴を抽出する作業を施す。SVM の本質ではないけれども、例えば画像进行分类の際は、まず画像データを画素値のヒストグラムの平均値等の数値データに変換する。この特徴量の抽出過程を通して、画像情報等の取得データをベクトルデータに変換する。次に抽出した特徴量にラベル付けを行う。ラベル付けの例として、図 5 におけるイヌの画像から抽出した特徴量に対して 0 という数字を割り当て置き、ネコの画像から抽出した特徴量に 1 という数字を割り当てて置き作業を行う。ここで、画像の特徴量とラベルの組（以下事例と記述する）进行分类器に学習させるための訓練データと分類器の識別確度を評価するために使用するテストデータに分割する。訓練データを分類器に学習させた後、分類器にテストデータがどのクラスに属するかを識別させ、正答率を調べることで、分類器の識別確度を評価する。SVM を使用した線形分類のイメージ図を図 6 に示す。図 6 で黒く囲まれた点のように、分類境界を支えているような点をサポートベクトルという。入力データを  $x$  とし、入力データに付与するラベルを  $y$  とし、 $n$  個の事例からなる訓練集合を  $\{(x_i, y_i)\}_{i \in \{1, \dots, n\}}$  とする。未知の  $d$  次元実数ベクトルを  $\omega$  とし、バイアスと呼ばれるスカラー値を  $b$  とし、分類境界である  $f(x)$  を表すと式 (3.1) となる。(3.1) の  $x$  は 2 つのクラスを分ける境界を形成している。SVM による分類では、分類境界である  $f(x)$  を推定するため、事前には分からな

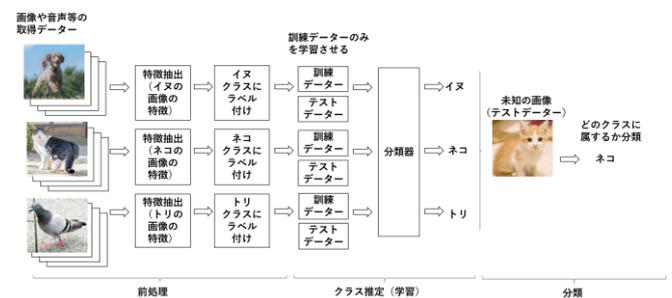


図5 動物の画像を入力として分類器を使用して入力信号をクラス毎に分類する例

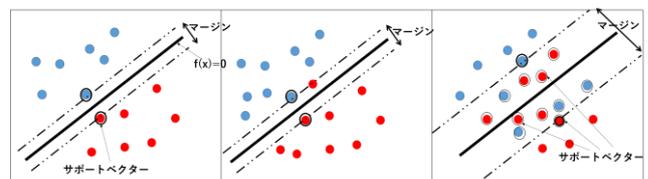


図6 SVM の正則化係数を変えた時の比較

い未知の変数である  $\omega$  と  $b$  を推定する.

$$f(x) = \omega^T x + b \quad (3.1)$$

SVM を用いた線形分類 (以下線形 SV 分類) では, 図 6 に示すように, 分類境界を挟んで 2 つのクラスがどれだけ離れているかをマージンと呼ぶ. SVM ではこのマージンがなるべく大きくなるように分類境界が決める. SVM では訓練集合内の点すべてを正しく分類できると仮定してマージンを決める方法をハードマージン呼び, 誤分類を許容してマージンを決める方法をソフトマージンと呼ぶ. 本研究では, ソフトマージンの SVM を使用することとした. ソフトマージンでは, マージンの内側の点もマージン形成に影響するため, マージン上の点とマージンの内側の点を合わせてサポートベクターと呼ぶ. マージン誤分類の許容率  $\xi$  と正則化係数  $C$  を加えると, SVM の最適化問題は (3.2) のように表せる.

$$\begin{aligned} \min_{\omega, b, \xi} & \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i \in [n]} \xi_i \\ \text{s.t.} & y_i(\omega^T x_i + b) \geq 1 - \xi_i, i \in [n] \\ & \xi_i \geq 0, i \in [n] \end{aligned} \quad (3.2)$$

図 6 に例を示したが, (3.2) では  $C$  が誤分類の抑制の度合いを調節する役割を果たし,  $C$  を大きくするほどハードマージンに近づき,  $C$  が小さいほど誤分類が許容されやすくなる. 正則化係数  $C$  のような事前に何らかの値を決めておかないといけない係数をハイパーパラメーターと呼ぶ. ハイパーパラメーターを具体的にどのような値に設定すべきかに関してはデータに依存する. そのため, 複数の値を試して当てはまりの良い結果を反映させる手法である交差検証法を使用することとした. また, 非線形分離を可能とするため, よく用いられるカーネル関数である, 線形カーネルと RBF (radial basis function) カーネルを使用した. RBF カーネル式を (3.3) に示す.

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2) \quad (3.3)$$

$\gamma > 0$  は事前に設定する必要のあるハイパーパラメーターであり, 決定境界の複雑さに影響を与える. 本研究では, ソフトマージンであり, 線形 SV 分類と非線形 SV 分類を活用してデータの分類を行うこととした. その際, 表 1 に示すように, 線形カーネルと RBF カーネルの 2 種類, 誤分類の許容度を変化させるコストパラメータ  $C$  を 5 種類と, 決定境界の複雑さに依存する RBF カーネルパラメーター  $\gamma$  を 2 種類の, 計 15 種類の組み合わせをすべて試し, 得られる最良のハイパーパラメーターの値を活用して SVM に訓練データを学習させ, テストデータを使用して評価する交差検証法を活用した. また, 訓練データの選定の際にランダムサンプリングを行ったため, 選んだデータによって識別確度のばらつきが生じることから, 10 回試行したうちの最大値, 最小値, 平均値で識別確度を評価した.

表 1 交差検証時のハイパーパラメーターの試行範囲

カーネル関数	ハイパーパラメーター
線形カーネル	$C=1, 10, 100, 1000, 10000$
RBFカーネル	$C=1, 10, 100, 1000, 10000$ $\gamma=0.001, 0.0001$

## 4. ヒトの移動に伴う受信強度変動を表す特徴量の選定

### 4.1 測定環境と実験器具の設定

SVM を使用するに当たり, 学習に使用するデータの特徴量を決める必要がある. 本研究では, 電界強度の強い地域と電界強度の弱い地域のどちらでも使用できる特徴量を検討し, 本研究の目的に適した特徴量を決めることとした. 測定には電界強度の強い小金井市の建物と電界強度の弱い八王子市の建物で実験を行った. 小金井市をカバーしている放送局は東京スカイツリーであり, 八王子市をカバーしている放送局は, 八王子デジタル中継局である. 放送局から送信されているチャンネルの周波数の値を表 2 に示す. 東京スカイツリーの送信電力は 10kW であり, 八王子デジタル中継局の送信電力は 3W である. 両局とも水平偏波で送信されている. 測定に使用した部屋の階高と放送局との位置関係を表 3 と図 7 に示す. アンテナの設置方法に関して, ヒトの移動により変化しやすい角度等を検討する必要があったが, 今回は図 8 の手順でアンテナの位置を決めた. アンテナを水平方向と垂直方向に動かし, 設定した周波数範囲上で, 均一に受信強度が得られる位置に決めた. スペクトラムアナライザの設定は, 関東圏で放送されている密な 7 チャンネルをカバーする周波数範囲に設定した. スペクトラムアナライザの掃引速度は, 周波数範囲と分解能帯域幅 (RBW) とビデオ帯域幅 (VBW) によって決まる. ヒト以外の影響によるノイズを低減するため, VBW を 100kHz にして信号を平滑化した. ヒトの移動が十分に検出できる掃引速度を確保するため, RBW の値を 300kHz に決めた. 取得する信号は強度情報であることから, PC 内で作成するスペクトログラムはグレースケールとした. 表 4 にデータ記録の際のスペクトルアナライザと PC 内で作成したプログラムの設定を示す. 掃引速度は, アンリツの資料から算出した [16].

### 4.2 特徴量別の識別評価

今回行った実験では, スペクトログラムを画像 (幅 488 画素, 高さ 331 画素) と捉えた. 室内に “ヒトがいない状態” に対して作成時間 30 秒のスペクトログラムを 50 枚取得した. “ヒトが静止している状態” に対して, 作成時間 30 秒のスペクトログラムを 50 枚ずつ位置別に 2 ケース取得した. “ヒトが移動している状態” に対して, アンテナから約 1.5m 離れた位置を, 0.5m/s の速さで 3m の区間横方向に往復した時の, 作成時間 30 秒のスペクトログラムを 50 枚取得した. 以上作成したスペクトログラムは, ヒトがいない状態 1 種類, ヒトが静止している状

態2種類, ヒトが移動している状態1種類で計200枚となった. 学習とテストの際は, ヒトがない状態50枚, ヒトが静止している状態計100枚からランダムに選択した50枚, ヒトが移動している状態50枚の中から, ランダムに選択した40枚を学習に使用し, 残った10枚をテストに使用することとした. “ヒトがない状態”, “ヒトが静止している状態”, “ヒトが移動している状

表2 東京スカイツリーと八王子デジタル中継局で共通に放送されている放送チャンネルの周波数

メディア	物理ch	中心周波数 (MHz)
フジテレビ	21	521.142857
TBS	22	527.142857
テレビ東京	23	533.142857
テレビ朝日	24	527.142857
日本テレビ	25	521.142857
NHK教育	26	515.142857
NHK総合	27	557.142857

表3 測定に使用した部屋の階高と放送局との位置関係

地域	部屋名称	部屋の階高	放送局との位置関係
小金井市	西ゼミ2	6階	正方向
	W601	6階	反対方向
	中央館実験室	2階	正方向
	電動ドア前	1階	反対方向
八王子市	玄関	1階	正方向
	リビング	1階	反対方向
	畳	1階	反対方向
	大部屋	2階	反対方向
	小部屋	2階	正方向

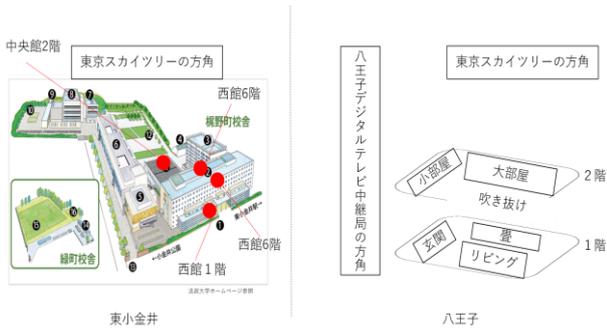


図7 実験に使用した部屋と放送局との位置関係 (左) 小金井市の部屋, (右) 八王子市の部屋

- ① 窓からできるだけ高い位置・窓の間に遮蔽物がない場所にアンテナを設置する.
- ② アンテナを上下させながら7つの放送の受信強度が目視で均一になる位置を見つける.
- ③ アンテナを左右に90度ずつ傾けながら7つの放送の受信強度が目視で均一になる位置を見つける.



図8 アンテナの設置位置の調整手順

表4 スペクトラムアナライザーとデーターを記録するプログラムの設定

スペクトログラムの作成元	Labviewに内包されている強度グラフ
画素数[ピクセル]	331×259
スペクトラムアナライザーのVBW[kHz]	1
スペクトラムアナライザーの掃引速度[s]	約0.55
スペクトラムアナライザーのRBW[kHz]	300
開始周波数[MHz] (start frequency)	514.818181
中心周波数[MHz] (center frequency)	542.474643
停止周波数[MHz] (stop frequency)	570.131105
プログラムの取得時間間隔[s]	約0.25
色の階調	256
色の表現方法	グレースケール
スペクトログラム1枚当たりの作成時間[秒]	30

態”の3クラスについて学習させることで, 室内でヒトが移動したか否かと室内にヒトがいるか否かに関して, 計算機により識別精度を評価することとした. 3で例を示したように, SVMでデーターを分類する際は, データーをベクトル表現された特徴量に変換する必要がある. データーを正しく分類するためには, 適切な特徴量を選択する必要がある. そこで2つの特徴量を比較して, データーに適した特徴を捉えており, 高い識別精度が得られる特徴量を選定することとした. 一つ目に使用した特徴量は, 電磁波の強度時系列の分散値を用いてヒトの存在判定を行う研究[19]からヒントを得て, スペクトログラムの輝度ヒストグラムを特徴量として使用した. スペクトログラム毎に, 最小値, 最大値, 平均値, 標準偏差, 四分位点, 最頻値, 歪度, 尖度を算出し, 各スカラー値を結合することで, 10次元のベクトルに変換して輝度ヒストグラム特徴量とした. この特徴量は, ヒトの移動に伴いデーターのばらつきが時間変化する等性質を持つ反面, 2で述べたようなヒトの移動が時間軸方向に影響を与え, ヒトの位置変化が周波数軸方向に影響を与えるとヒトの状態に伴いスペクトログラムに生じる特徴を利用していない. そのため, 二つ目に使用した特徴量として, スペクトログラム内の離れた二つの場所にある画素対の値から, 画素値の均一性や方向性等の性質を表すことのできる同時生起行列 (以下 GLCM) を用いて, スペクトログラムのテクスチャ情報を特徴量として使用した[17][18]. スペクトログラム毎に, GLCMを作成し, 水平方向と垂直方向に対して, それぞれエネルギー, コントラスト, 相関, 均質性, 異質性を算出し, 水平方向と垂直方向における各スカラー値を1つに結合することで, 10次元のベクトルに変換してテクスチャ特徴量とした. GLCMの作成方法[17]を図10に示す. ある画素*i*と,*i*から離れた位置にある*j*の画素対を考え, 画素*i*と画素*j*の相対的な位置<画素間の距離, 画素間の角度>を決める. 画素*i*, *j*それぞれの画素値を*L<sub>i</sub>*, *L<sub>j</sub>*とした時, 決めておいた画素対の位置における画素対 (*L<sub>i</sub>*, *L<sub>j</sub>*) の

出現頻度を  $H(i, j)$  とする.  $H(i, j)$  をすべての画素値について求めることで同時生起行列を作成する. 2 種類の各特徴量を使用して得られた検出確度を図 11, 図 12 に示す. 識別確度の評価試行を 10 回行ったうち, 最大値, 最小値, 平均値をそれぞれ示した. 図 11, 図 12 から, 室内にヒトがいることを保証したうえでヒトが移動したか否かに対する識別確度は, 10 回の評価試行を行った平均値で確認した時, テクスチャ特徴量をスペクトログラムの特徴として扱い学習させた結果はどの部屋でも 8 割以上の識別確度を有し, 輝度ヒストグラムをスペクトログラムの特徴として扱い学習させた結果はどの部屋でも 7 割以上の識別確度を有した. 本研究ではスペクトログラムの時間方向に生じる変化と周波数方向に生じる変化を区別している GLCM を用いて移動検出の適用範囲を評価していくこととした.

### 5. 複数周波数を使用した移動検出における適用範囲評価

取得したスペクトログラムの特徴量選定の過程を通して, 室内のヒトの移動検出が行える可能性が示唆された. しかし, 4 では検出に使用したスペクトログラムを取得する際, 部屋の局所的な場所で  $0.5\text{m/s}$  の移動速度における特定の移動パターンの識別しか行っていない. そこで本章では, 特定の位置の移動におけるスペクトログラムを学習させた後, 別の位置における移動のスペクトログラムに対して移動したことが正しく識別できるか否かについて確認する. また, 西らの研究[8]から, ヒトの移動に伴う受信強度の変動速度は, ヒトの移動速度によって変化することが分かる. そこで, 決められた任意の移動速度におけるヒトの移動時のスペクトログラムを学習させた後, 別の移動速度でヒトが移動した時のスペクトログラムに対して, 正しく移動したことが識別できるか否かについても確認することとした. 合わせて, 移動検出の識別確度が窓の開閉に影響を受けるか否かについても確認することとした.

#### 5.1 部屋全体における移動検出の識別可能性の評価

ヒトが移動する位置や移動速度の変化に対する検出性能を評価するため, 小金井市の 6 階で放送局と正方向に位置する部屋を使用して実験を行った. ヒトの移動に伴う受信強度変化の情報に対するノイズの影響に配慮するため, スペクトラムアナライザの設定は表 4 に加えて, 受信信号の平滑化を行う VBW の設定値を  $1\text{kHz}$  と  $100\text{kHz}$  の 2 種類用意した. アンテナは, 被験者の胸当たりの高さである床から  $1\text{m}20\text{cm}$  の高さに設定し, 窓の向きに固定した. アンテナの指向性から外れた位置でもヒトが移動できるようにするため, アンテナは部屋の中央あたりに設置した. 室内に“ヒトがいない状態”に対して作成時間 4 秒のスペクトログラムを 50 枚取得した. “ヒトが静止している状態”に対して, 作成時間 4 秒のスペクトログラムを 50 枚ずつ位置別に 2 ケース取得した. “ヒトが移動している状態”に対して, 窓の開閉状態が検出確度に影響を与えるか否かを確認するため, 窓を開けた状態

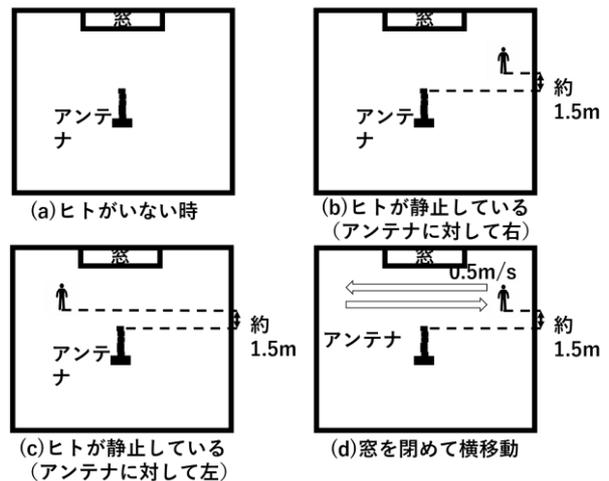


図 9 スペクトログラム取得時の室内の状況

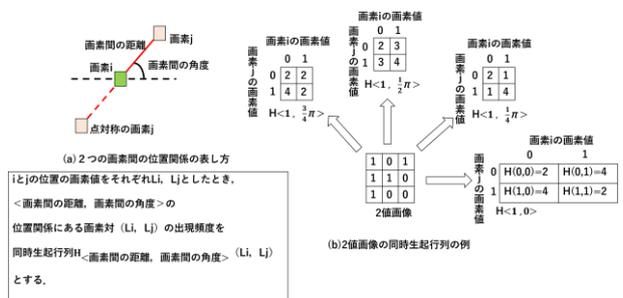


図 10 GLCM の作成方法

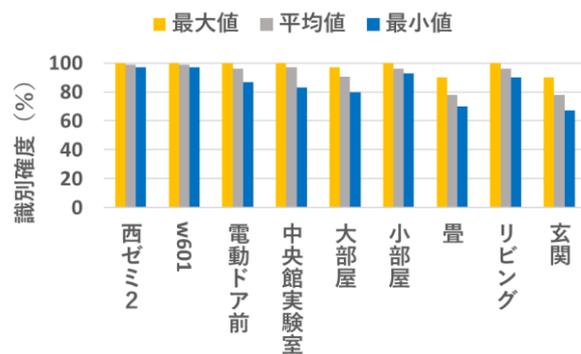


図 11 輝度ヒストグラム特徴量を使用時の識別確度

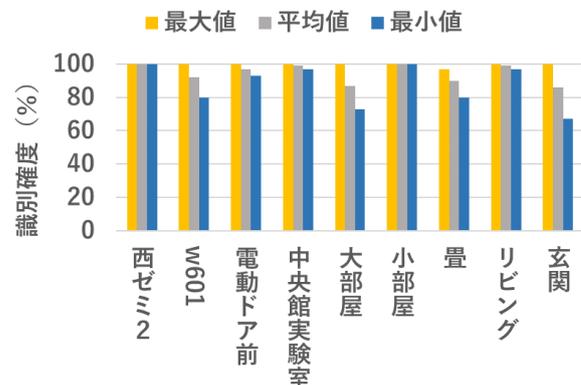


図 12 テクスチャ特徴量を使用時の識別確度

でアンテナから約 1.5m 離れた位置を、0.5m/s の速さで 3m の区間横方向に往復した時と、窓を閉めた状態でアンテナから約 1.5m 離れた位置を、0.5m/s の速さで 3m の区間横方向に往復した時の 2 種類の移動に対して、作成時間 4 秒のスペクトログラムを 50 枚ずつ取得した。合わせて、部屋の局所的な場所における 1 種類の特定の移動パターンのスペクトログラムを学習させた分類器を用いて、別の位置における移動のスペクトログラムを、移動したと正しく識別できるか否か、またヒトの移動速度が変化しても、ヒトが移動したことを正しく識別することができるか否かを確認するため、設置したアンテナの前方を 1.0m/s の速さで周回した時、設置したアンテナの後方を 1.0m/s の速さで周回した時、設置したアンテナの周囲を 1.0m/s の速さで周回した時の計 3 種類の移動に対して、作成時間 4 秒のスペクトログラムを 50 枚ずつ取得した。前半 2 種類の横の往復移動に比べて、後半 3 種類の周回移動は速い移動速度に設定した。以上作成したスペクトログラムは、図 13 に示すように、ヒトがいない状態 1 種類、ヒトが静止している状態 2 種類、ヒトが移動している状態 5 種類で計 400 枚となった。学習とテストの際は、ヒトがいない状態 50 枚、ヒトが静止している状態計 100 枚からランダムに選択した 50 枚、ヒトが移動している状態計 250 枚の内アンテナの周りを周回した 50 枚、の中からランダムに選択した各 40 枚をテキストチャ特徴量に変換して学習に使用した。3 クラスについて学習させた後、窓の開けた状態でヒトが移動したか否か、窓を閉めた状態でヒトが移動したか否か、アンテナの前方でヒトが移動したか否か、アンテナの後方でヒトが移動したか否か、アンテナの周囲でヒトが移動したか否か、室内にヒトがいるか否か、に関して各自ランダムに 10 枚ずつ選択しテキストチャ特徴量に変換することでテストデータを用意して、計算機により識別精度を評価することとした。ヒトの移動パターン別の識別精度を図 14 に示す。図 14 から、スペクトラムアナライザの VBW の値を 1kHz と小さくして、信号を平滑化することで、ヒトの移動する位置や速度が変化しても、10 回の評価試行を行った平均値で確認した時の識別精度は 8 割以上となった。

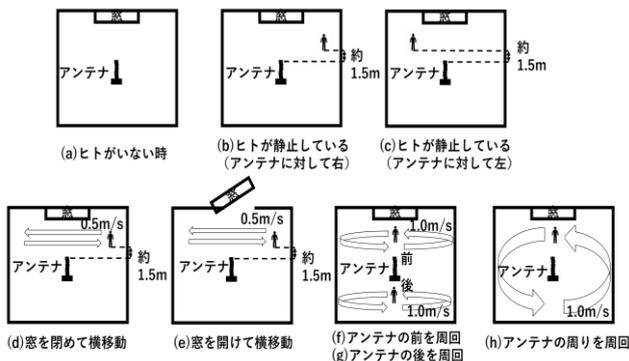


図 13 データ取得時のヒトの移動パターン

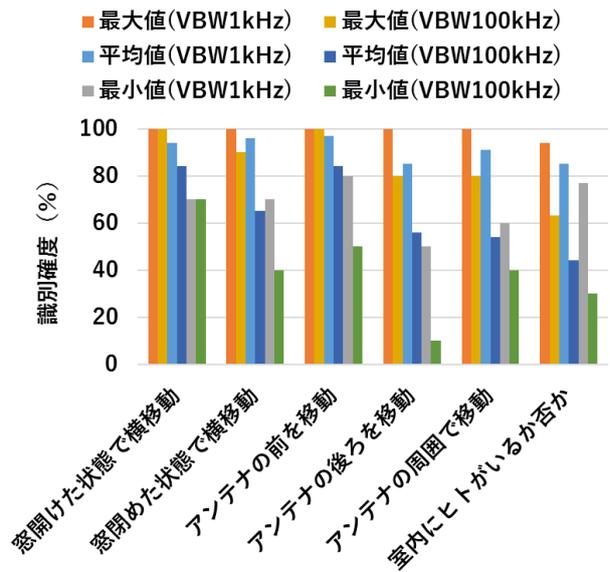


図 14 ヒトの移動パターン別の識別精度

## 6. まとめ

本研究では、複数周波数の情報を利用して室内におけるヒトの移動検出を行った。複数周波数の強度の情報と、ヒトの移動に伴う受信強度の時間変化を検出に利用するため、横軸周波数、縦軸時間、色の明るさが電磁波の受信強度を表すスペクトログラムと呼ばれる形式のデーターを取得した。条件の違う部屋ごとにスペクトログラムを取得し、スペクトログラムの特徴量を抽出して SVM に学習させることで、ヒトの移動検出を試みた。特徴量を抽出する際、輝度ヒストグラム特徴量とテキストチャ特徴量の 2 種類を個別に使用して、識別精度を比較した。その結果、室内にヒトがいることを保証したうえでヒトが移動したか否かに対する識別精度は、10 回の評価試行を行った平均値で確認した時、テキストチャ特徴量をスペクトログラムの特徴として扱い学習させた結果はどの部屋でも 8 割以上の識別精度を有し、輝度ヒストグラムをスペクトログラムの特徴として扱い学習させた結果はどの部屋でも 7 割以上の識別精度を有した。輝度ヒストグラムをデーターの特徴量として扱った際に、識別精度が 8 割を超えない部屋があったのは、スペクトログラムの持つ周波数情報と時間情報を区別していないことが原因だと考えられた。学習に使用した移動パターンのスペクトログラムとは異なる移動パターンのスペクトログラムを分類器に入力した時も、移動したと正しく識別するか否かを確認するため、ヒトの移動する位置と移動速度を変えて実験を行った。スペクトログラムの特徴としてテキストチャ特徴量を使用し、4 種類の移動パターンと 2 種類の移動速度に対して識別精度を評価した。その結果、受信信号を適切に平滑化させて、部屋全体を移動した際に取得したスペクトログラムを学習させることで、部屋の局所的な場所で移動した際に取得したスペクトログラムも正しく識別できる可能性が示唆された。これは、部屋

全体で移動したことで、小さな受信強度変化をサポートベクターとして選択していることに起因していると思われる。また、ヒトの移動速度が異なっても、正しく識別できる可能性が示唆された。今後の研究課題として、本研究ではアンテナの指向性やヒトの移動検出に有利となるアンテナの設置位置について十分な検討が行えていないことから、室内でのヒトの移動検出に適したアンテナの指向性とアンテナの設置位置について検討する必要がある。また、現在は記録したスペクトログラムを使用した識別を試みているが、実時間処理は行っていない。そのため、SVMの実時間処理への組み込みに関して検討する必要がある。地上デジタル放送の電磁波を使用した移動検出手法を一般家庭の見守りに適用する場合、ペット等の情報にも考慮する必要がある。提案した移動検出手法がペットの移動にどのくらい影響を受けるのか確認する必要がある。また、地上デジタル放送の電磁波は材質によっては部屋の壁等を透過する。そのため、室外の移動による識別確度への影響を確認する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 品川佳満, 岸本俊夫, 太田茂, “独居高齢者の居室滞在時間の分析と自動緊急通報システムへの応用”, ライフサポート, Vol. 13, No. 3, pp9-16, 2001
- 2) 久保肇, 森武俊, 佐藤知正, “マイクロ波ドップラーセンサによる移動・呼吸信号検出”, 生体医工学, 48巻, 6号, pp. 595-603, 2010
- 3) 田中幹也, 春山和男, 山田陽, 若佐裕治, 明石卓也, “超音波レーダと電灯線通信を用いた高齢者用移動確認システム”, ITヘルスケア, 第2巻, 2号, pp95-103, 2008
- 4) 関弘和, 堀洋一, “高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出”, T. IEE Japan, Vol. 122-D, No. 2, pp. 182-188, 2002
- 5) 栗田耕一, “非接触人体検出技術を用いた独居高齢者の元気度モニタリングシステムの開発”, 科学研究費助成事業研究成果報告書 (2013. ), pp. 1-6, 2013
- 6) Fadel Adib, Dina Katabi, ” See Through Walls with Wi-Fi!” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 43, Issue 4, pp. 75-86, 2013
- 7) 川口立朗, 高橋茂, 西正博, 吉田彰顕, “UHF帯テレビ放送波ヒト検知システムの提案”, 信学論 (B), vol. J89-B, no. 9, pp. 1789-1796, Sept. 2006
- 8) 坂本靖紀, 高橋茂, 西正博, 吉田彰顕, “TV受信波を用いたヒト検知システムにおける時間ダイバーシチの適用”, 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuc, モバイルマルチメディア通信 106(498), pp. 13-18, 2007-01-18
- 9) 明山哲, 伊藤泰宏, 井原俊夫, 電波伝搬ハンドブック, pp171-172, リアライズ社, 1999
- 10) 放送用周波数の割当ての現状, 総務省情報流通行政局放送技術課 (2019/01/19 閲覧)  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000530382.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000530382.pdf)
- 11) 八王子市役所ホームページ, 八王子市域に地上デジタルテレビ放送を放送している放送局・中継局 (2019/01/19 閲覧)  
<https://www.city.hachioji.tokyo.jp/kurashi/life/005/002/001/p007234.html>
- 12) 総務省ホームページ, デジタル中継局開局情報 (2019/01/19 閲覧)  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000192808.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000192808.pdf)
- 13) 竹内一郎, 鳥山昌幸, 機械学習プロフェッショナルシリーズ サポートベクトルマシン, 講談社, pp1-29, 2015
- 14) らずべりー (id:plant-raspberrypi3), 機械学習 (SVM) で花とそれ以外の部分を自動分類してみた<その3>  
URL:<https://plant-raspberrypi3.hatenablog.com/entry/2017/11/12/182333> (2018/07/19 閲覧)
- 15) 小野田崇, 知の科学サポートベクターマシン, オーム社, pp. 11, 14, 129-140, 2007
- 16) The Base of Spectrum Analyzers, アンリツ株式会社, <https://www.anritsu.com/ja-JP/test-measurement/support/downloads/technical-notes/dw1002784>
- 17) 江尻正員 他, デジタル画像処理, CG-ARTS 協会, pp. 198-203, 2015
- 18) scikits-image ホームページ (2019/02/12 閲覧)  
<http://scikit-image.org/docs/0.7.0/api/skimage.feature.texture.html>
- 19) 林原めぐみ, 藤井雅弘, 渡辺裕, “電界強度を用いた屋内環境向け人検知システムの開発”, 情報処理学会創立 50 周年記念 (第 72 回) 全国大会, pp. 479-480, 2010