

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560391
 研究課題名（和文） UHF 帯 TV 放送波を用いたヒト検知システムの高性能化に関する研究
 研究課題名（英文） Performance Improvement on Human Detection System using UHF band TV Broadcasting Waves
 研究代表者
 西 正博（NISHI MASAHIRO）
 広島市立大学・情報科学研究科・准教授
 研究者番号：30316137

研究成果の概要（和文）：本研究では TV 放送波を用いたヒト検知システムを高性能化することを目的として、様々なヒトの動きに対する検知確率の向上と地上 TV 放送のデジタル化への対応を主要課題として取り組んだ。新たに考案した時間差判定の適用により、0.5m/s のヒトの動きであっても効率よく検知することができた。また、地上デジタル TV 放送波を用いたヒト検知システムの検討では、従来のアナログ方式では取得できなかった CNR や BER もヒト検知に利用できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to improve performance on our proposed human detection system using UHF band TV waves, this study focused on the following two subjects; one is to improve the detection probability for various human motion. The other is to investigate the availability of using digital TV waves. It was found that our original time difference decision method could detect human motion with speed of 0.5 m/s. And it was also clarified that the human detection system using digital TV waves could be operated by use of both CNR and BER data which were not obtained in analog TV waves.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電波伝搬

キーワード：ヒト検知，屋内マルチパス，UHF 帯，時間差判定，地上デジタル放送

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、安心で安全な社会の実現への期待が高まっている。特に、一戸建ての家屋およびマンションなどの住居への不正侵入に対する防犯意識が高まりつつある。また単独で

生活している高齢者の世帯数も増加傾向にあり、家族の見守り意識も同様に高くなっている。これらの状況のもと、ヒトの侵入や異常を検知することを目的として、多くのシステムが開発されている。

我々は、ヒトの室内への不法侵入の検知を目的として、新たに UHF 帯テレビ放送波を用いたヒト検知システムを提案し、その検知エリアや検知確率などの特性を評価してきた。提案したシステムは、既存のテレビ放送波を送信源として利用するものであり、受信機のみで実現が可能である。また室内のマルチパス電波を積極的に利用するためシンプルなモノポールアンテナが利用できるという優れた特徴を有する。

これまでの方式では、1 秒前との受信レベルの差分がある閾値を超えるか否かで室内のヒトの有無を識別していた。しかし、ヒトの動きは様々であり、1 秒前との差分のみでは必ずしも高精度に検知できない可能性がある。ヒトが緩やかに動いた場合、周囲のマルチパス環境はその動きに応じて変化するため、受信レベルも同様に緩やかに変動する傾向にあり、これらの特徴を考慮した高精度な検知手法の検討が必要であった。

(2) またこれまでの方式では、NTSC 方式の地上アナログテレビ放送波を利用して来た。しかしながら、現在日本では地上テレビ放送システムはアナログ方式からデジタル方式に移行されつつある。2003 年からデジタル化が開始され、2011 年 7 月には地上アナログ放送波は完全に停止される予定である。さらにデジタル化に伴い、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号の遅延波に強い特徴を活かして、SFN (Single Frequency Network) 環境が実現されている。SFN 環境においては、複数の放送局から同一の周波数にて電波が送信されており、アナログ放送システムとは全く異なる電波伝搬環境となっている。

そこで我々の提案するヒト検知システムにおいても、地上デジタル放送波が利用可能か否かを調査する必要がある。また一般に、ワンセグチューナ等の地上デジタル放送用の受信機には、受信品質をモニタできる機能が実装されており、CNR (Carrier to Noise Ratio) と BER (Bit Error Rate) のデータが取得できるようになった。

2. 研究の目的

(1) まず本研究では、様々にヒトが動いた場合においても高精度に検知を可能とすることを目的とした。特にヒトが通常より遅く動いた場合に検知確率が低下する問題があり、これらの遅いヒトの動きを効果的に検知する手法を検討した。

(2) また本研究では、地上デジタル放送波を用いたヒト検知システムの実現を目的とした。特にアナログ方式では存在しなかった SFN 環境において、受信レベル (RSSI:

Received Signal Strength Indicator) のみならず、CNR と BER のヒトの動きに伴う影響を調べた。

3. 研究の方法

(1) 遅いヒトの動きの効果的な検知を実現するため、まず本研究では、遅いヒトの動きに伴う受信レベルの変動特性を実測により評価した。ヒトの動くスピードを 0.5 m/s および 2.0m/s とした場合の受信レベルを測定した結果、それぞれの変動特性には差異を確認でき、さらに各データの自己相関係数を解析した結果、受信レベルの変動のスピードを定量化することができた。また、実測データをもとに時間差を 1 秒のみならず、2 秒、3 秒、4 秒と複数の時間差を用いてその差分を解析したところ、各時間差における受信レベルの差分が無相関に変動していることを明らかにした。

これらの結果から、ヒトがゆっくり動いた場合 (受信レベルがゆっくり変動した場合) でもその変動を効率よく検出する手法として、図 1 に示す時間差判定 (TDD: Time Difference Detection) を適用したヒト検知システムを検討した。本システムでは、入力される受信レベルデータに対して、複数 (L 個) の遅延タップにより、それぞれの時間差における変動レベル (受信レベルの差分) を求め、その最大値をヒト検知に用いる出力データとする。これにより受信レベルの時間的変動が様々に異なる場合でも、適切な時間差での大きい変動レベルを検出できるため、検知性能の改善が期待できる。ヒトのいない状況では受信レベルの差分は時間差の長さにかかわらず小さな値をとるため、本手法から出力される変動レベルは大きくなることはない。つまり本手法を適用した場合でもヒトがいないにもかかわらず誤検出してしまふ可能性は大きくはならない。また本手法を適用したヒト検知システムでは、アンテナや受信機の数新たに増やすことなく、信号処理のみでシステムを実現できる点が大きな特徴である。

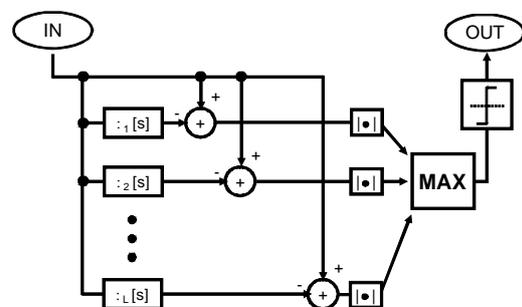


図 1 時間差判定を適用したヒト検知システムの構成

(2) 地上デジタル放送波を用いたヒト検知システムの実現可能性を検討するため、システムの普及が期待される一戸建て木造家屋に着目し、SFN環境において、単一の放送局のみから電波を受信できる環境と、複数の放送局から電波を受信できる環境にて、ヒトの有無によるRSSI, CNR, BERを実測した。測定にはワンセグ受信機の評価ボードを用い、デジタル放送波信号の受信品質データである、RSSI, CNR, BERをPCに連続記録できる測定システムを構築した。一般に市販のワンセグ受信機においてもこれら受信品質は取得可能である。

図2に測定環境を示す。本測定では、広島放送局または佐東放送局から送信された地上デジタル放送波を測定した。広島地域ではSFNの導入が進められており、広島放送局と佐東放送局からは同一周波数にて放送サービスが行われている。本測定では、Ch.22のワンセグチャンネルを利用した。測定場所は広島放送局から16.5km離れた木造家屋(以下、Location1)と、広島放送局から17.7km、佐東放送局から1.6km離れた木造家屋(以下、Location2)の2カ所とした。ここでLocation1は、広島放送局からの見通しがあり、また佐東放送局からは山により遮蔽されているため広島放送局からのみのテレビ放送波を受信している単一波到来環境となる。一方Location2は、広島放送局および佐東放送局から見通しがあるため、両放送局から同一周波数のテレビ放送波を受信している複数波到来環境となる。また広島放送局の送信出力は3kW、佐東放送局の送信出力は3Wであり、Location2においては広島放送局と佐東放送局からのテレビ放送波の受信強度が同程度であることを確認した。

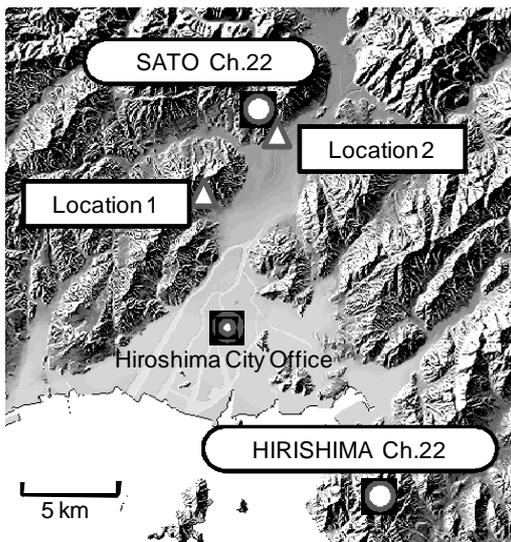


図2 デジタル放送波の測定環境

4. 研究成果

(1) 図3および図4にそれぞれ、ヒトの移動速度が0.5m/sおよび2.0m/sの場合における、従来のヒト検知システムである1.0秒の時間差での変動レベルと新たにTDDを適用したときの変動レベルの大きさ(絶対値)の累積確率を示す。ここでTDDでは1秒、2秒、3秒、4秒の4つの時間差にて変動レベルを求めた。また各図には、ヒトがいない状態での1.0秒の時間差での変動レベルとTDD適用時の変動レベルもあわせて示す。図3および図4より累積確率の10%値を求めると、従来の変動レベルに比べてTDD適用時の変動レベルは、ヒトの移動速度が0.5m/sのとき約3dB、2.0m/sのとき約2dB大きくなっていることがわかる。したがって、適切な時間差を用いたTDDを適用することによって、ヒトの動きに伴って変化する受信レベル変動を、どちらの移動速度においても、より大きく検出できることが判明した。

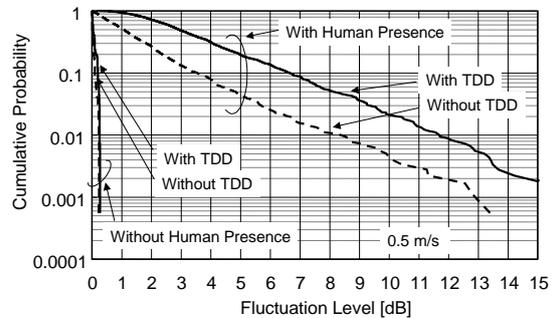


図3 TDD適用時の変動レベルの累積確率
(ヒトの移動速度: 0.5 m/s)

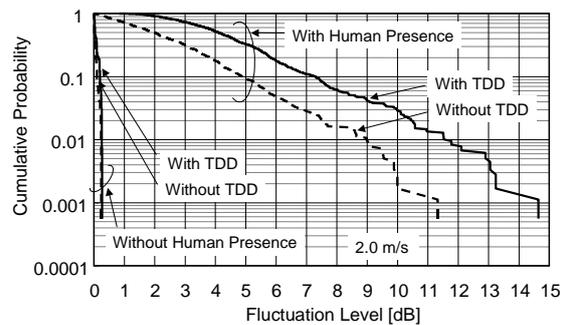


図4 TDD適用時の変動レベルの累積確率
(ヒトの移動速度: 2.0 m/s)

表1 検知確率

Moving speed	0.5 m/s	2.0 m/s
With TDD	93.4 %	98.9 %
Without TDD	53.6 %	72.2 %

また各図に示しているように、室内にヒトがない場合においても、TDDを適用したときの変動レベルは、従来の変動レベルとほとんど同じであり、0.3dB以下と十分小さい。このことから、TDDを適用した場合でも、ヒトがないにもかかわらず変動レベルが閾値を超えてしまうといった誤検知は、従来のシステムと比べてほとんど増加しないことがわかる。

本検討では、TDDを適用したシステムのヒト検知性能を評価するため、検知確率を求めた。ここでは、検知確率を“ヒトが室内にいる状況で、各サンプリングにおいて変動レベルがある閾値を超える確率”と定義した。また、図3、図4の結果から、ヒトのいない状況で変動レベルが超えない値として、閾値を1dBと設定した。表1に実験データから求めた、それぞれの移動速度に対する、従来のシステムおよびTDDを適用したシステムの検知確率を示す。表より、TDDを適用した場合、従来のシステムと比較して約27%から約40%検知確率を改善できることがわかった。また傾向として、TDD適用時の検知確率において、ヒトの移動速度が速い場合(2.0m/s)に比べて遅い場合(0.5m/s)での改善効果が高いことがわかった。これは、ヒトの移動速度が遅いほど、受信レベルの変動速度が遅くなる傾向があり、TDDを適用したシステムはこの遅い受信レベル変動を見逃すことなく検出できたためであると考えられる。

(2) デジタル放送波のRSSIを測定した結果、Location1の単一波到来環境においては、ヒトのいる場合にはヒトのいない場合と比較して大きく変動することが確認されたが、Location2の複数波到来環境においては、ヒトの有無にかかわらずRSSIは両条件下でほとんど変動しないことがわかった。これはFNに伴う複数波到来環境に起因する可能性があると考えられる。つまりLocation2では、ヒトの動きにより、ある放送波のRSSIが変動しても、他の一方の放送波のRSSIが十分大きく、変動成分がマスクされている状態が生じている可能性がある。これらの結果より、複数波到来環境においては、RSSIをモニタするのみでは、ヒトの有無による差はほとんどなく、ヒトを検知することは難しいことがわかる。

一方、CNRおよびBERを測定した結果、Location1の単一波到来環境およびLocation2の複数波到来環境の両環境において、ヒトのいる場合には、ヒトのいない場合と比較して、CNRとBERともに大きく変動することがわかった。つまり、RSSIにはほとんどヒトの影響を受けなかった複数波到来環境(Location2)においても、CNRおよび

BERにおいてはヒトの影響を受けやすく、ヒトの有無を識別可能なことがわかった。この理由として複数の放送波による干渉の影響が考えられ、RSSIは変化しない場合でも信号品質は劣化し得ることが要因であると考えられる。

本検討では、検知確率として、あるモニタ時間間隔にて受信品質値が1サンプリングでも設定した閾値を超える確率として定義した。ここで閾値には、ヒトのいない場合の各受信品質値における変動の最大値を用いた。測定データより各受信品質値を用いた場合の検知確率を算出するとともに、3つの受信品質値のうち1つでも閾値を超えた場合の検知確率をマルチプル検出(MD: Multiple Detection)における検知確率として算出した。

図5および図6にそれぞれ、Location1およびLocation2における、RSSI、CNR、BER、マルチプル検出のヒト検知確率を示す。図5から、Location1ではRSSI、CNR、BERの中でBERの検知確率が高いことがわかる。またマルチプル検出することで検知確率が向上しており、2秒のモニタ時間で95%以上、4秒のモニタ時間でほぼ100%ヒトを検知できることがわかる。図6から、Location2ではRSSIの検知確率が最も悪く、複数波到来環境ではRSSIのみでヒトを検知することは

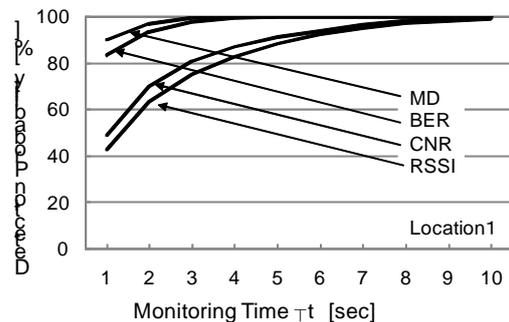


図5 Location1におけるモニタ時間に対するヒト検知確率

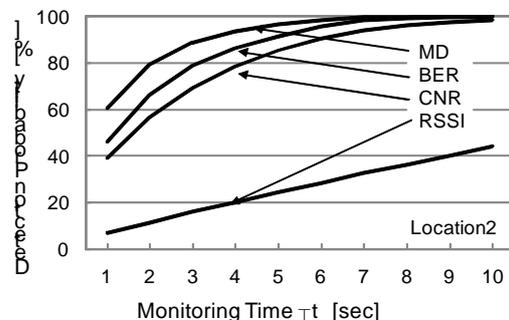


図6 Location2におけるモニタ時間に対するヒト検知確率

難しいが、CNR や BER は検知確率が高いことがわかる。またマルチプル検出により、5秒のモニタ時間で95%以上、9秒のモニタ時間でほぼ100%検知できることがわかる。以上の結果、RSSIのみではヒトの検知が困難となる、2波が同じレベルで受信されるような最も厳しい複数波到来環境においても、CNR や BER を用いることで、地上デジタル放送を用いたヒト検知システムを十分に実現でき、各受信品質値をマルチプル検出することで高性能化できることがわかった。

本研究では、UHF 帯 TV 放送波を用いたヒト検知システムを高性能化することを目的として、主に以下の2つのテーマについて研究を行った。それぞれ成果をまとめて示す。

(1) 時間差判定手法 (TDD) の適用

- ・従来の1秒差分のみならず複数の時間差にて受信レベルの差分をとり、その最大値を変動レベルとすることで、ヒトが0.5m/sのゆっくりした速度で移動した場合でも効率的に検知できることを明らかにした。

- ・例えば、1秒、2秒、3秒、4秒の4つの時間差を用いたTDD方式では、1秒のみの時間差を用いた場合と比較して、変動レベルの累積確率10%値が約3dB改善した。

- ・また閾値を1dBとした場合の検知確率を求めると、TDD方式は従来方式に比べて、約40%検知確率を改善できることがわかった。

(2) 地上デジタル放送波を用いたヒト検知の検討

- ・従来までのRSSIのみならず、BER、CNR等のデジタル放送を用いることで新たに測定が可能となった受信品質データもヒトの動きに伴い変動することがわかった。

- ・デジタル放送波特有の環境であるSFN環境においては、RSSIではヒトの動きにともなう変動は小さくなる傾向にあり、検知が困難となるが、BERやCNRはSFN環境においてもヒトの動きにともない大きく変動することがわかった。

- ・RSSIおよびBER、CNRを同時にモニタするマルチプル検出では、検知確率を改善することができ、10秒程度あればほぼ100%ヒトを検知することが可能であることを実験により明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

西正博、新浩一、吉田彰顕、”UHF帯テレビ放送波を利用したヒト検知システムにおける時間差判定の適用効果”，電子情報通信学会論文誌B, Vol. J93-B, No. 09, pp. - , 2009.

査読有 (採録決定)

M. Nishi, K. Kodama, K. Shin and T. Yoshida, ”PROPOSAL OF HUMAN DETECTION SYSTEM USING 1-SEG TUNER”, Proc. of The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2009), (5 pages), 2009. 査読有

M. Nishi, T. Amano and T. Yoshida, ”Estimation of Effective Earth Radius Factor Based on UHF Band Measurement”, Proc. of International Symposium on Information Theory and its Application (ISITA2008), pp.1520-1525, 2008. 査読有

M. Nishi, and T. Yoshida, ”Application of Time Difference Decision to the Human Detection System Using UHF-TV Waves”, Proc. of The 10th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2007), pp.110-114, 2007.

[学会発表] (計6件)

西正博、児玉孝太郎、新浩一、吉田彰顕、”ワンセグ受信におけるBER測定によるヒト検知の高感度化”，情報処理学会研究報告資料(情処研報), Vol. 2009-MBL-49, No. 3, 2009.

児玉孝太郎、西正博、新浩一、吉田彰顕、”地上デジタル放送波を用いたヒト検知システムの性能評価”，第11回IEEE広島学生シンポジウム, pp.509-512, 2009.

前田貴博、新浩一、西正博、吉田彰顕、”テレビ放送波ヒト検知システムにおける外乱の影響”，電気・情報関連学会中国支部第60回連合大会講演論文集, RENTAI2009, p. 245, 2009.

児玉孝太郎、西正博、新浩一、吉田彰顕、”地上デジタル放送波のBERを用いたヒト検知の高感度化”，電子情報通信学会2009年総合大会, B-1-47, 2009.

西正博、児玉孝太郎、吉田彰顕、新浩一、”UHF帯TV放送波を利用したヒト検知システムの検知エリア評価”，電気関係学会関西支部連合大会ポスターシンポジウム講演 P-35, 2008.

西正博、吉田彰顕、”UHF帯TV放送波を利用したヒト検知システム”，電気関係学会関西支部連合大会シンポジウム講演, 2007.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 1 件）

名称：屋内侵入検知システムおよび屋内侵入
検知情報発信システム
発明者：西 正博, 吉田彰顕
権利者：広島市
種類：特許査定
番号：未定
取得年月日：未定
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.wave.info.hiroshima-cu.ac.jp/naiyo/TVzyushin.pdf>

（環境メディア研究室・テレビ放送波を用いたヒト検知システムの概要）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西 正博 (NISHI MASAHIRO)
広島市立大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号：30316137

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

吉田彰顕 (YOSHIDA TERUAKI)
広島市立大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：50316139

新 浩一 (SHIN KOICHI)
広島市立大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：10509053