

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

西 正博, 児玉 孝太郎, 新 浩一, 吉田 彰頭[†]

概要: 本稿では新たに, ワンセグ受信機を用いたヒト検知システムを提案する. これまで筆者らが研究開発してきた TV 放送波を用いたヒト検知システムでは, アナログ TV 放送波の受信レベルの変動をモニターすることで, 室内の動くヒトを検知していた. 日本では現在, 地上 TV 放送システムがアナログ方式からデジタル方式へ移行されており, 本ヒト検知システムにおいてもデジタル TV 放送波の利用可能性を検証する必要がある. また, TV のデジタル化に伴いワンセグ受信機も広く普及してきているのが現状である. このワンセグ受信機では, 受信レベルのみならず, BER などの受信信号品質もモニター可能である. そこで本研究では, ワンセグ受信機を用いて, 受信機の周囲をヒトが動いた場合およびヒトがいない場合の受信レベルと BER を定量的に測定を行った. 測定結果から, 受信レベルのみならず BER をモニターすることで, ヒト検知を高感度化できることがわかった.

Improvement on Human Detection Performance based on BER Measurement with 1-seg Tuner

Masahiro Nishi, Kotaro Kodama, Koichi Shin and Teruaki Yoshida[†]

Abstract: This paper newly proposes the human detection system using a 1-seg tuner of terrestrial digital TV broadcasting. In our conventional human detection system using analog TV waves, a moving person in a room can be detected by monitoring the received levels of the UHF band TV waves. In Japan, the terrestrial TV broadcasting systems have been shifted from analog to digital systems. It is necessary to investigate the availability of using digital TV waves in our human detection system. Moreover, the 1-seg tuners for digital TV waves have been in widespread use in Japan. For example, many mobile phones and car navigation systems include the 1-seg tuner to watch the digital TV programs. The 1-seg tuners have some functions to monitor signal qualities such as received levels and BER (Bit Error Rate). This paper evaluates both received levels and BER in the digital TV waves by use of 1-seg tuner, under condition of human absence and presence around the receiving system. And this paper shows that to monitor not only received levels but also BER variations can increase the detection performance in our system.

[†] 広島市立大学大学院 情報科学研究科

1. はじめに

近年, 安心安全な社会の実現への要求が高まっており, 防犯を目的としたセキュリティシステムの需要が増大している. これまでも盗難防止を目的として, 赤外線やマイクロ波帯を用いたセキュリティシステムの研究開発が進められてきた¹⁾⁻³⁾.

筆者らは, 新たなセキュリティシステムとして, TV 放送波を用いたヒト検知システム(以下本システム)の研究開発を行ってきた⁴⁾⁻⁶⁾. 本システムでは, TV 放送波の受信レベルをモニターすることで, 室内へのヒトの侵入を検知することができる. 本システムのヒトの検知手法は, ヒトの動きにより, 室内の電波のマルチパス環境が乱され, マルチパスフェーディングやシャドウイングにより受信レベルが変動するという原理に基づいている. 本システムの特徴を以下にまとめる.

(1) 送信電力が安定している既存の TV 放送局を電波送信源として利用しており, アンテナや受信機を含む受信システムのみ設置することでヒト検知が可能となる.

(2) 本システムでは, 室内に必然的に構成される電波のマルチパス環境を積極的に利用するため, どの方向からの電波も効率的に受信できるよう, 指向性の広いモノポールアンテナ等のシンプルなアンテナを用いることができる.

筆者らが本システムを提案後, 他の研究機関においても, 電波によるヒト検知性能の定量評価が行われるようになってきた^{7), 8)}.

これまで筆者らが研究開発してきた本システムでは, NTSC 方式のアナログ TV 放送波(音声搬送波の FM 信号)を利用してきた. しかしながら, 現在日本では, 地上 TV 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 年にはアナログ方式の TV 放送波は完全に停止される予定である. そこで本システムにおいても, アナログ方式のみならず, デジタル方式の TV 放送波が利用可能か否かを調査する必要がある.

一方, デジタル TV 放送波のワンセグ受信機は現在広く普及してきた. 例えば, 多くの携帯電話やカーナビゲーションシステムやその他の携帯情報端末にもワンセグ受信機が搭載されているものが市販されている. 一般にワンセグ受信機にはデジタル TV 信号の受信品質がモニターできる機能が実装されており, 受信レベルのみならず, ビダビ復号後の BER や CN 比のデータがリアルタイムに取得できるようになった⁹⁾.

以上の背景を踏まえ, 本研究では新たに, ワンセグ受信機を用いたヒト検知システムを

提案する。そしてワンセグ受信機により得られる、受信レベルに加え BER にも着目し、それぞれが周囲のヒトの動きを検知できるか否かを定量的に評価するため、デジタル TV 放送波の測定実験を行った。測定の結果、受信レベルでは検知できなかったヒトの動きを BER により検知可能な場合が確認され、受信レベルのみならず BER をモニターすることで、ヒト検知を高感度化できることがわかった。

2. ワンセグ受信機を用いたヒト検知システム

図 1、図 2 に、ワンセグ受信機を用いたヒト検知システムの応用例を示す。図 1 では、受信機を室内に設置し、室内に侵入し壁や什器等で反射した TV 放送波を受信することで、一戸建てやマンションの一室における防犯システムとして応用した例を示す。ヒトがいない場合、室内のマルチパス環境は変化しないため、受信レベルは安定する。一方、ヒトが室内に入ると、位相が異なる複数の電波が受信されるためマルチパスフェーディングの影響を受け、またはヒトが電波経路を遮ることでシャドウイングの影響を受けるため、受信レベルは変動する。本システムでは、この変動の差異により、室内のヒトの有無を判断できる。図 2 では、他の応用例として、受信機を車内に設置し、車の周囲のヒトを検知する防犯システムの例を示す。車上荒しを防ぐためには、車の周囲にて物色する不審者をいち早く検知することが望まれる。車の周囲にヒトがいない場合、車内にて構成されるマルチパス環境は変化しないため、受信レベルは安定する。一方、車の周囲にてヒトが動くと、車内のマルチパス環境に加えて、車外のヒトによる反射・回折・遮蔽等が影響をおよぼし、受信レベルは変動する。

ワンセグ受信機を用いたヒト検知システムを実現するためには、携帯電話端末を用いることが最も有力であると考え。現在の携帯電話端末では、多機能化が進められており、多くの機種にデジタル放送を視聴できるようにワンセグ受信機が搭載されている。また携帯電話端末では、すでに通信機能を有しているため、検知情報を発信することが容易である。よって、携帯電話端末を用いることにより、ハードウェアを変更することなく、ソフトウェアの追加にて、ヒト検知の機能を実装することが可能である。またバッテリーも搭載していることから、停電にも耐力があり、防犯システムを実現するために適している。一方、ワンセグ受信機を搭載しているカーナビゲーションシステムも有力な候補の一つであるが、携帯電話などを利用し通信機能を追加することが、防犯システムを構築する上で必要になると考える。

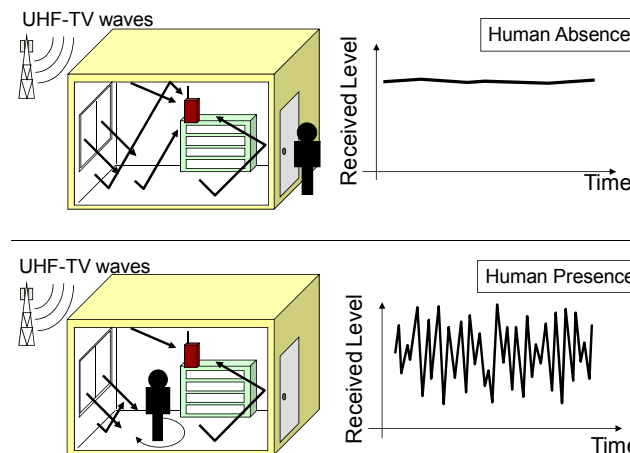


図 1 室内における防犯システムとしてのヒト検知応用例

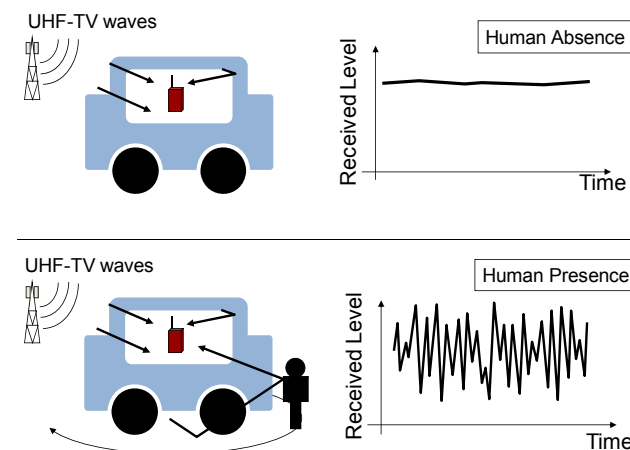


図 2 車両周辺における防犯システムとしてのヒト検知応用例

3. 受信レベルおよびBERの測定方法

3.1 測定システム

本研究では、車両周辺の防犯システムを、ワンセグ受信機を用いたヒト検知システムにて実現できるかどうかを調べるために、また、デジタル放送波を用いることで、ヒト検知性能の向上が図れるかどうかを調べるために、ワンセグ受信機を用いて実際にデジタル放送波の受信信号品質への車両周辺のヒトの影響を測定した。

図3に本研究で使用した測定システムの基本構成図を示す。本測定システムは、モノポールアンテナ、ワンセグ受信機（評価ボード）およびPCから構成されており、アンテナと受信機は75Ω同軸ケーブルにて接続され、受信器とPCはUSBにて接続されている。PCでは、ワンセグ受信機から受信レベルやC/N、ビタビ復号前BER、ビタビ復号後BERなどの受信信号品質情報を取得することができる。本研究では、受信レベルのみならずビタビ復号前のBERに着目し（本稿以下BERはビタビ復号前BERのことを指す）、それぞれが受けるヒトの影響を測定データにより定量的に評価した。

3.2 測定環境

図4および表1にそれぞれ、測定方法と測定諸元を示す。本測定では、3.1節の測定システムを車内に設置した。受信アンテナは車内のフロアに固定した。アンテナの長さは測定周波数の波長の1/4とした。ワンセグ受信機やPCへの電源供給には車両のバッテリーを用いた。

ヒトがいる場合には、図4に示すように、一人のヒトが車両から50cm離れた場所を一定速度で動くこととした。本測定では、ヒトの移動速度を1.0m/sとした。またサンプリング間隔は1.0秒とし、測定時間は10分とした。つまり1回の測定により取得できるデータ数は600サンプルであった。

図5に測定場所（△印）およびデジタル放送局（○印）の位置関係を示す。本研究では、Case-1とCase-2の2か所の測定場所を選定した。Case-1では、己斐（KOI）放送局から送信されるCh.13（周波数：473MHz）のデジタル放送波を測定対象とした。Case-1の測定場所と己斐放送局との間の距離は約2.0kmであり、見通し（LOS: Line Of Sight）伝搬路が存在する環境である。一方Case-2では、佐東（SATO）放送局から送信されるCh.22（周波数：527MHz）のデジタル放送波を測定対象とした。他の地域と同様、広島地域でもデジタル放送システム特有のSFN（Single Frequency Network）が構成されており、Ch.22のデジタル放送波は、図5に示すように、広島（HIROSHIMA）放送局

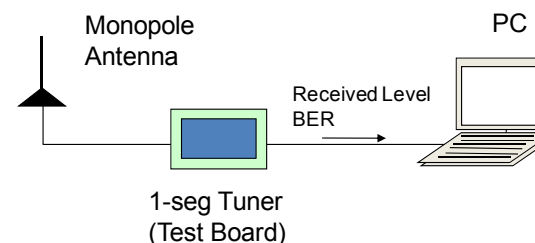


図3 測定システムの基本構成

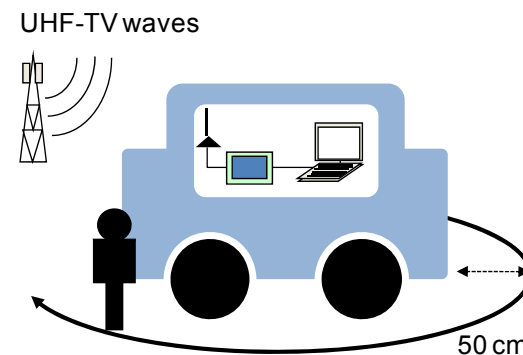


図4 測定方法

表1 測定諸元

Receiving antenna	Monopole
Length of the antenna	$\lambda / 4$
Human moving speed	1 m/s
Sampling interval	1 sec
Measurement time	10 min

からも送信されている。よって、Case-2 では、佐東放送局と広島放送局それぞれからの Ch.22 のデジタル放送波を受信できる環境である。Case-2 の測定場所と佐東放送局との間の距離は約 1.5km であり、LOS 伝搬路が存在する。また Case-2 の測定場所と広島放送局との間の距離は約 18km であり、伝搬路上に存在する山の影響により、LOS 伝搬路は存在しない。通常、LOS 伝搬路が存在しない場合、電波は回折して伝搬するため、受信レベルは LOS 伝搬路が存在する場合に比べて減少するが、広島放送局の送信電力は佐東放送局のそれと比べて 1,000 倍 (30dB) 大きいため、Case-2 の測定場所にも十分伝搬する。本測定の前調査にて、Case-2 では佐藤放送局と広島放送局からのそれぞれのデジタル放送波の受信レベルがほとんど同レベルであったことを確認している。表 2 に、本測定にて対象としたデジタル放送局の諸元をまとめる。

4. 測定結果

4.1 受信レベル変動の測定結果

図 6 および図 7 にそれぞれ、Case-1 における、ヒトのいない場合といる場合の受信レベル時間変動の測定結果を示す。図 6 から、ヒトがいない場合には、受信レベルが約 -69 dBm あたりで安定していることがわかる。一方、図 7 から、ヒトがいる場合には、受信レベルは -78 dBm から -68 dBm の間で変動していることがわかる。この受信レベル変動の主な理由としては、車両の周りをヒトが動くことにより、到来してきた電波が遮蔽されるシャドウイングや、直接波とヒトによる反射波が合成して受信されるマルチパスフェーディングの影響が考えられる。この場合、ヒトがいないときには、受信レベルは 1 dB 未満の変動しかなかったため、たとえば定常状態の値 (-69 dBm) から ±1 dB の値を閾値と設定して、その閾値を超えたときにヒトを検知する手法を適用すると、車両周辺を移動するヒトを検知できることがわかる。

図 8 および図 9 にそれぞれ、Case-2 における、ヒトのいない場合といる場合の受信レベル時間変動の測定結果を示す。図 8 から、ヒトがいない場合には、受信レベルが約 -62 dBm あたりで安定していることがわかる。また、図 9 から、ヒトがいる場合においても、ヒトがいない場合に比べると若干シンチレーションを受けているが、ヒトがいない場合と同様、受信レベルが約 -62 dBm あたりで安定していることがわかる。この結果は、Case-1 では確認できず、Case-2 にのみ生じた現象であるため、Case-2 における SFN のデジタル放送波受信環境が原因として考えられる。Case-2 では、佐東放送局および広島放送局からの放送波を同時に受信しているため、一つには、一方の電波は遮蔽されるがもう一方の電波

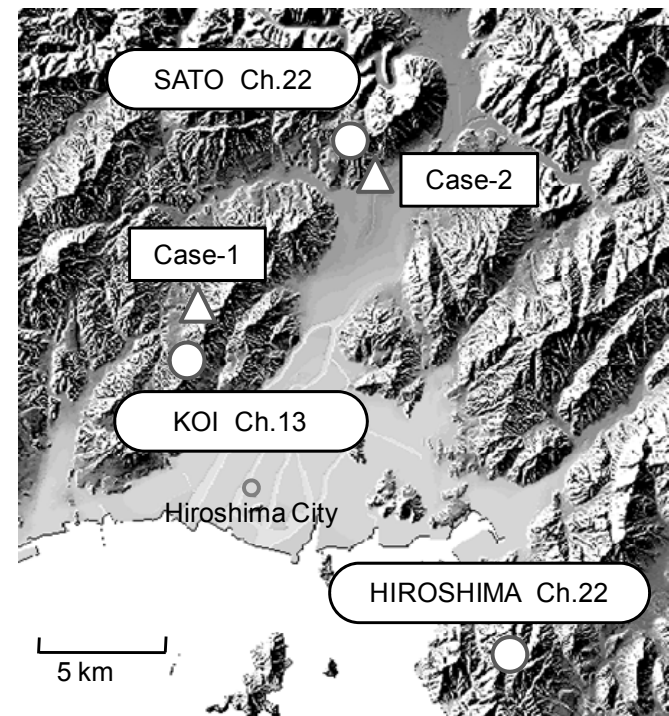


図 5 測定方法

表 2 デジタル放送局の諸元

Station	KOI	SATO	HIROSHIMA
Frequency (Ch.)	473 MHz (Ch.13)	527 MHz (Ch.22)	527 MHz (Ch.22)
Transmission Power	1 W	3 W	3 kW

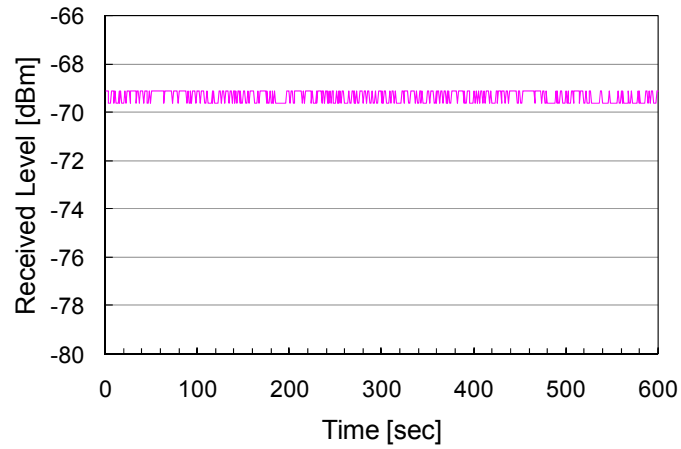


図6 Case-1におけるヒトのいない場合の受信レベル時間変動

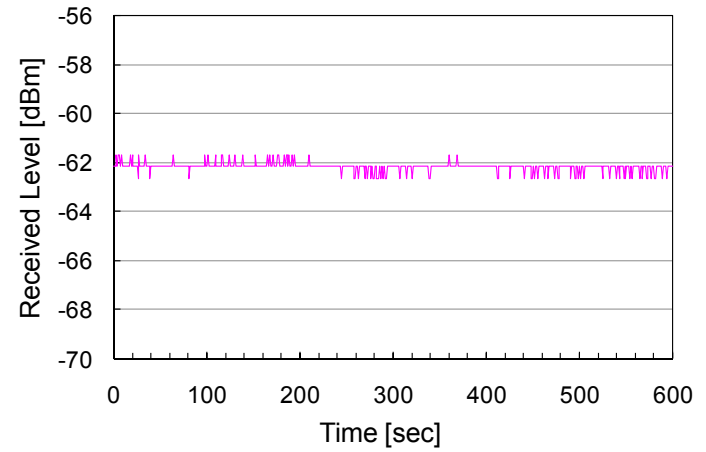


図8 Case-2におけるヒトのいない場合の受信レベル時間変動

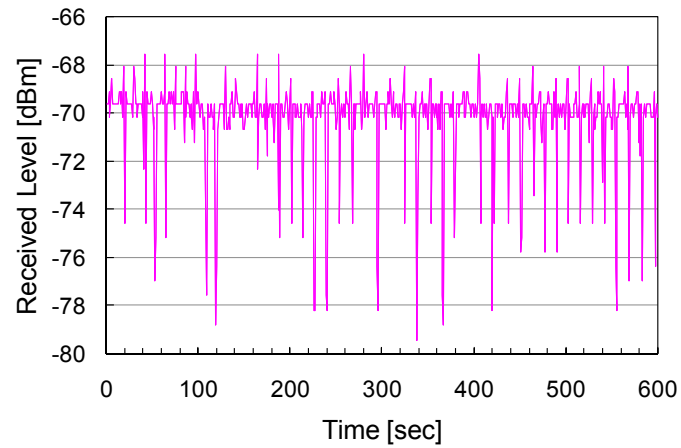


図7 Case-1におけるヒトのいる場合の受信レベル時間変動

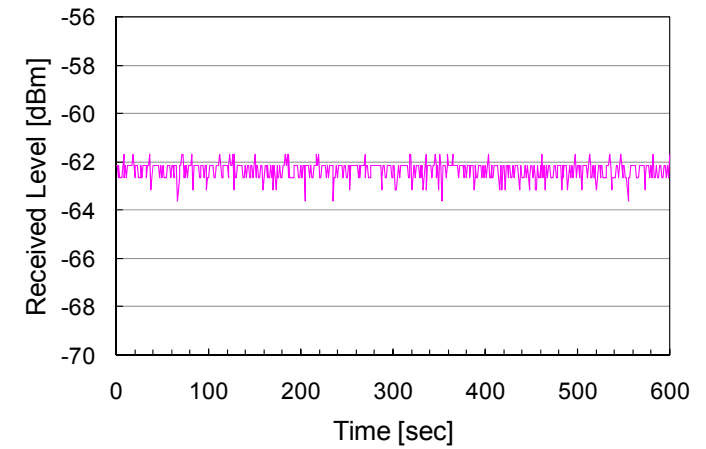


図9 Case-2におけるヒトのいる場合の受信レベル時間変動

が受信されるために受信レベル変動が大きく変動しないことが要因として挙げられる。また、放送局の設計仕様では、1 Hz 以内での送信周波数安定度が規定されており、佐東放送局と広島放送局が厳密には同一周波数とはなっておらず、可干渉性が低く、マルチパスフェーディングが生じにくいことも他の要因として考えられる。

4.2 BER変動の測定結果

図 10 および図 11 にそれぞれ、Case-1 における、ヒトのいない場合といる場合の BER 時間変動の測定結果を示す。図 10 から、ヒトがいない場合には、ビット誤りはほとんど発生しておらず、BER も 0 に近い値で安定していることがわかる。一方、図 11 から、ヒトがいる場合には、BER が増加する変動が記録されたことがわかる。また BER が増加する場合には、その値が 0.001 以上となる 때가ほとんどであり、大きいときは 0.01 を超える場合も記録した。この場合、ヒトがいないときには、BER は 0.001 以下であったため、たとえば 0.001 の値を閾値と設定して、BER がその閾値を超えたときにヒトを検知する手法を適用すると、受信レベルのみならず BER においても、車両周辺を移動するヒトを検知できることがわかる。

図 12 および図 13 にそれぞれ、Case-2 における、ヒトのいない場合といる場合の BER 時間変動の測定結果を示す。図 12 から、ヒトがいない場合には、Case-1 と比較して大きな BER の変動が記録されているが、その値は 0.002 以下であることがわかる。一方、図 13 から、ヒトがいる場合には、ヒトのいない場合と比較してより大きく、BER が変動しており、その値は 0.002 より大きいものもあり、時には 0.008 を超える BER が記録されたことがわかる。この場合、たとえば 0.002 の値を閾値と設定して、BER がその閾値を超えたときにヒトを検知する手法を適用すると、Case-2 の場合でも、BER をモニターすることによって、車両周辺を移動するヒトを検知できることがわかる。

4.3 BERによる検知性能向上

図 14 および図 15 にそれぞれ、Case-1 および Case-2 における、モニター時間に対する検知確率を示す。本研究における検知確率は、ある一定のモニター時間において、少なくとも 1 回以上、モニターしている変動レベル (FL: Fluctuation Level) や BER が閾値を超える確率と定義する。ここで、変動レベルとは、受信レベルの 1 秒前との差分の絶対値である。本研究では、検知確率を算出する際の閾値として、ヒトのいない状態での変動レベルおよび BER の最大値を設定した。また、図 14 および図 15 にも示しているように、変動レベルのみと BER のみが閾値を超える確率のみならず、変動レベルもしくは BER のどちらか一方が閾値を超える確率も調べた。図 14 および図 15 から、モニターする時間が

長くなるほど、検知確率が増加することがわかる。また Case-1 では、BER のみをモニターする場合に比べて、変動レベルをモニターする場合の検知確率が高く、Case-2 では、変動レベルをモニターする場合に比べて、BER をモニターする場合の検知確率が高いことがわかる。またどちらの測定場所においても、変動レベルのみならず BER もあわせてモニターすることにより、どちらか一方をモニターする場合に比べて、検知確率を向上することが可能であった。測定結果から、Case-1 および Case-2 ともに、約 10 秒モニターすることで、検知確率が 95%以上となることも確認できた。

これまでのアナログ放送波を用いたヒト検知では、受信レベルのみモニターしていればヒトを検知することが可能であったが、デジタル放送波を用いた場合には、特に SFN 環境では、受信レベルのみのモニターではヒトを検知しにくい状況が発生することがわかった。しかしながら、デジタル放送波を用いた場合には、ワンセグ受信機から得られる受信レベルのみならず、BER もあわせてモニターすることも可能となり、受信レベルのみをモニターする場合に比べて、ヒト検知性能を向上できることを明らかにした。

5. まとめ

本研究では新たに、ワンセグ受信機を用いたヒト検知システムを提案した。そしてワンセグ受信機により得られる、受信レベルのみならず BER にも着目し、各受信品質データにおける周囲のヒトの動きによる影響を定量的に評価するため、デジタル TV 放送波の測定実験を行った。測定の結果、以下のことを明らかにした。

- (1) 単一のデジタル TV 放送波のみが受信されている場合、ヒトがいないときには、受信レベルおよび BER はほとんど変動せず、ヒトがいるときには、受信レベルおよび BER はともに変動した。
- (2) SFN 環境のような複数のデジタル TV 放送波が受信されている場合、ヒトがいないときには、受信レベルおよび BER はともにほとんど変動せず、ヒトがいるときには、受信レベルはほとんど変動せず BER のみ変動した。
- (3) ワンセグ受信機により得られる、受信レベルのみならず BER もあわせてモニターすることで、SFN 環境のような受信レベルがほとんど変動しない場合においても、ヒト検知性能を向上できることがわかった。

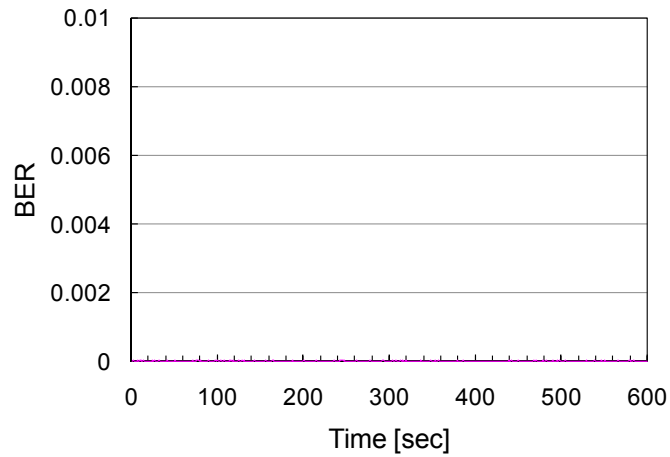


図 10 Case-1 におけるヒトのいない場合の BER 時間変動

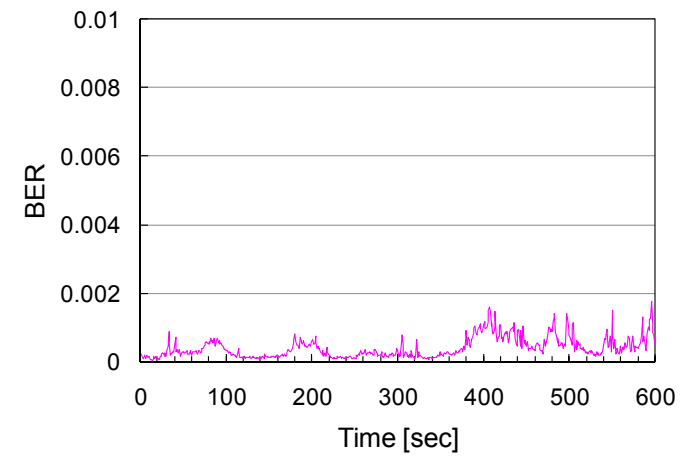


図 12 Case-2 におけるヒトのいない場合の BER 時間変動

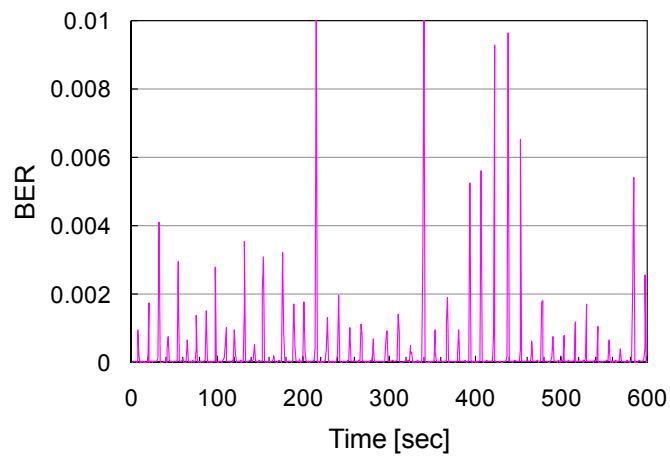


図 11 Case-1 におけるヒトのいる場合の BER 時間変動

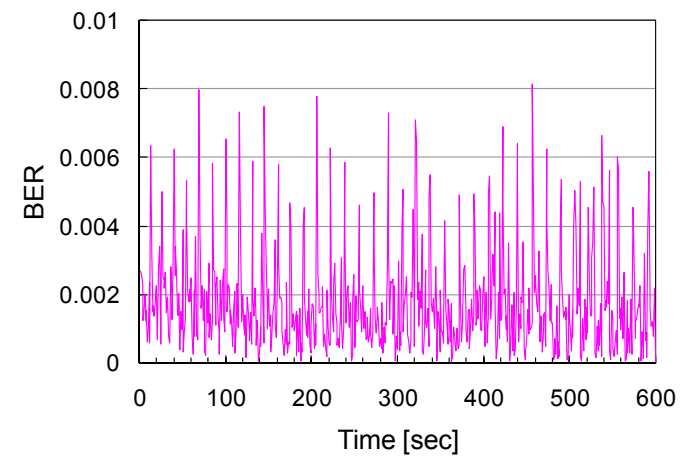


図 13 Case-2 におけるヒトのいる場合の BER 時間変動

謝辞

本研究の一部は、科学研究補助金（課題番号：19560391）により行われた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 根本 俊雄, センサエレクトロニクス, 電子情報通信学会, 1986.
- 2) 大西一昭 “各種防犯センサについて”, 電気設備学会誌, Vol.23, No.4, pp.262-265, 2003.
- 3) “特定小電力無線局移動体検知センサー用無線設備”, ARIB STD-T73, Vol.1.1, 電波産業会, 2005.
- 4) 西 正博, 吉田 彰顕, “TV 放送波を用いた屋内侵入検知システムの提案”, 信総大, B-1-41, 2005.
- 5) M.Nishi, S.Takahashi, T.Yoshida, “Human Detection System Using UHF Band Terrestrial TV Receiving Waves”, Proc. of 2006 IEEE APS, pp.3097-3100, 2006.
- 6) 西 正博, 川口 立朗, 高橋 茂, 吉田 彰顕, “UHF 帯テレビ放送受信波を用いたヒト検知システムの提案”, 信学論, Vol.J89-B, No.9, pp.1789-1796, 2006.
- 7) 奥川雄一郎, 秋山佳春, 田島公博, “電波を用いた侵入検知システムの精度向上に関する検討”, 信総大, B-1-30, 2006.
- 8) Y.Okugawa, Y.Akiyama, H.Yamane, K.Tajima, “Study on an intrusion detecting method using TV broadcasting waves”, Proc. of ISAP2007, pp.955-958, 2007.
- 9) 映像情報メディア学会誌編, デジタル放送ハンドブック, オーム社, 2003.

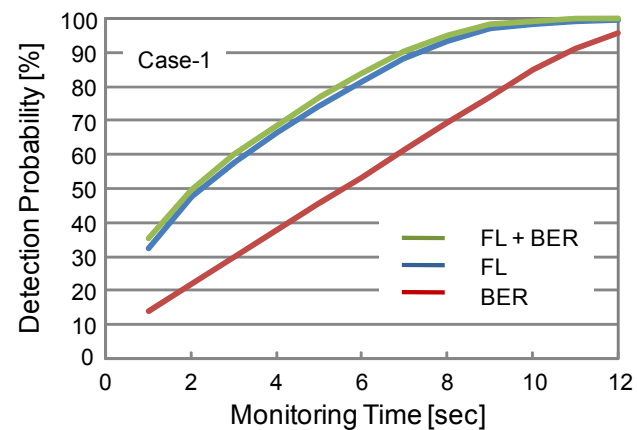


図 14 Case-1 におけるモニター時間に対する検知確率

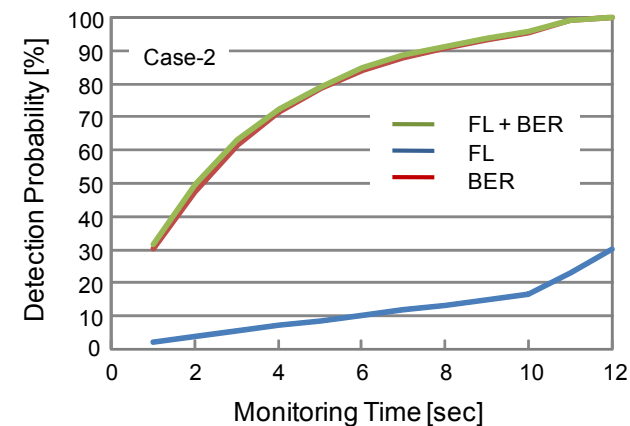


図 15 Case-2 におけるモニター時間に対する検知確率