

二波型マイクロ波ドップラーセンサを用いた咀嚼検出手法の提案

A Mastication Detection Method by using Microwave Doppler Sensor with Two IF Detectors

谷川 紗恵子*1
Saeko TANIGAWA

野田 徹*2
Tohru NODA

芳賀 博英*1
Hirohide HAGA

金田 重郎*1
Shigeo KANEDA

*1同志社大学大学院・工学研究科
Graduate School of Engineering, Doshisha University

*2同志社大学理工学部・知識工学科
Faculty of Engineering, Doshisha University

This paper proposes a new approach to detect mastication action by using the microwave Doppler sensor with two intermediate frequency (IF) detectors. The mastication movement direction of jaw can be detected by the two IF signals. Also, the cyclic IF signal pattern caused by the mastication can be detected by the auto-correlation function. Finally, the proposed approach achieves the short description interval (five second), compared to the long 20 second interval of the conventional method using only one IF detector. The two IF Doppler sensor is suitable for the more accurate mastication detection applications.

1. はじめに

著者らは、人には一切センサ等を装着しない「ハンズフリー」を前提として、咀嚼を検出する手法を検討して来た [谷川 08]。具体的には、マイクロ波ドップラーセンサを用いて、顎の上下運動の周期性から、咀嚼を検出している。評価実験の結果、精度に個人差があるものの、最大約 90%の確率で咀嚼を検出できた。しかしながら、この既存手法では、咀嚼の判定をする時間幅が 20sec と長く、実用的には改善の余地を残していた。

上記の既存手法では、同期検波器をひとつしか持たないドップラーセンサ [NJR09] を用いている。すなわち、顎の上下運動の「速度」を、ドップラー周波数から推定することはできるが、1) 顎がセンサに近づきつつあるのか、逆に、2) 遠のいてゆくのか、を判別することはできていない。

そこで、本稿では、対象物がセンサに近づいてくるのか、あるいは、遠のいているのかを判別できる「二波型」のドップラーセンサの適用を提案する。二波型とは、2つの同期検波器を有するマイクロ波ドップラーセンサであり、検出対象がセンサに接近して来ているか、遠ざかっているかを判別できる。これにより、より高い精度で咀嚼を検出できる可能性があると考えたからである。

以下、第 2 章では、従来技術とその問題点について述べる。第 3 章では、二波型のマイクロ波ドップラーセンサを用いた咀嚼の検出方法について提案する。第 4 章では評価を行い、第 5 章はまとめである。

2. 従来研究とその課題

2.1 従来研究 [谷川 08] と課題

2007 年度厚生労働省・国民生活基礎調査 [厚生労働 07] によれば、全世帯数の約 9%が 65 歳以上の独居者で占められている。独居者では健康管理が課題のひとつである。特に独居高齢者では、不規則・不十分な食事は、急激な病気の進展等の問題を引き起こす。このため、「食事をちゃんと取っている」事を検出できれば、健康増進の支援に結びつく可能性がある。

上記の観点から、著者らは、マイクロドップラーセンサ (新日本無線 NJR4178J-X バンド)[NJR09][NJR4178J] を利用し

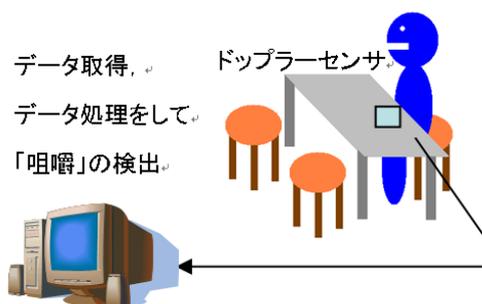


図 1: システム概要



図 2: マイクロ波ドップラーセンサ

て、咀嚼を検出する手法を提案した [谷川 08]。マイクロ波ドップラーセンサの利用は、以下の理由による。

- 人間の側に何らのセンサデバイスを装着してもらわなくても、「完全なハンズフリー」性が確保できる。
- カメラとは異なりプライバシー侵害の恐れが少なく、ベッドルーム等にも設置可能である。
- サイズがサイズも数センチ角と小型であり、消費電力も 100mW 程度と小さい*1。また、利用に際しては、赤外線ライトなどの補助光源は必要ない。結果として、省電力化が可能である。図 2 は、今回提案のシステムに利用したマイクロ波ドップラーセンサの外形である。

連絡先: 金田重郎, 同志社大学大学院, 京田辺市,
TEL/FAX:0774-65-6976, skaneda@mail.doshisha.ac.jp

*1 間歇動作が可能なデバイスでは更に低電力化が可能となる。

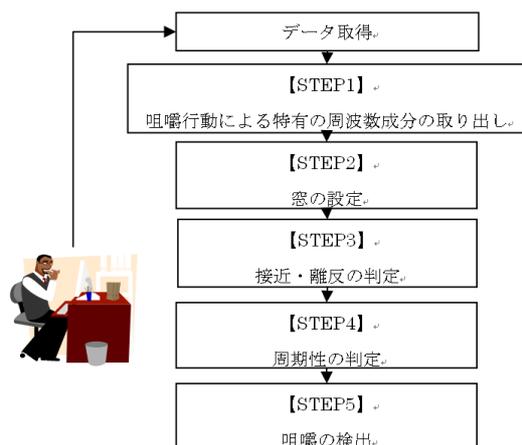


図 3: 信号処理の流れ

- マイクロ波であるので、絶縁体の場合には、センサの表面を覆っても動作に影響はない。このため、家具などに装着する場合でも、美観を損なわない。

しかし、従来手法にはひとつ課題があった。極めて SN 比の悪い状況の下で、顎による周期運動を検出しているため、20sec という比較的長いインターバルの判定期間を必要としていたからである。すなわち、時間的分解能が実用的には不十分であった。利用者に長時間の同一動作継続を要求することは、適用範囲を制限する恐れがある。

2.2 二波型マイクロ波ドップラーセンサの採用

マイクロ波ドップラーセンサとしては、「二波型」も提供されている [NJR4261]。「二波型」では、同期検波用の Schottky Barrier Diode を 2 つ持っており、送信波と同一周波数を有するものの、位相が相互に 90 度異なる 2 つのキャリア信号を同期検波に用いている。その結果「二波型」では、2 つのドップラー信号の位相差を見ることによって、移動体が近づいているのか、遠ざかっているのかを判別できる。この位相差を利用することによって、咀嚼の検出における、精度の向上を図ることが可能であると思われる。本稿では、二波型のセンサを用いた、咀嚼検出手法について検討する。

尚、著者らは、マイクロ波ドップラーセンサ (新日本無線製 NJR4178J-X バンド)[NJR4178J] を用いて、天井の照明等を操作するためのユーザインタフェースの検討を行っており、マイクロ波ドップラーセンサの「完全ハンズフリー性」が家電応用には好適であることを確認している [黒川 08][古畑 09]。しかし、これら関連研究でも、いずれも一波型のセンサを用いている。本稿の議論は、そのままジェスチャー認識にも適用できるものとする。

3. 提案システム

3.1 システムの概要

提案する咀嚼検出システムは、テーブル上に設置されたマイクロ波ドップラーセンサと、ドップラーセンサからの出力データを蓄積するコンピュータにより構成されている。このシステムのイメージを図 1 に示す。テーブル上に設置したドップラーセンサを用いて、咀嚼によって生じるドップラー信号を検出する。

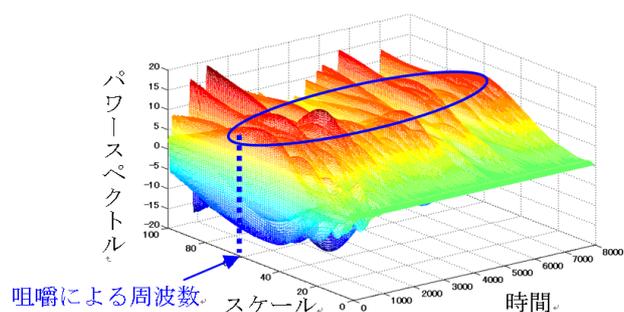


図 4: スケール・時間・パワースペクトルの関係

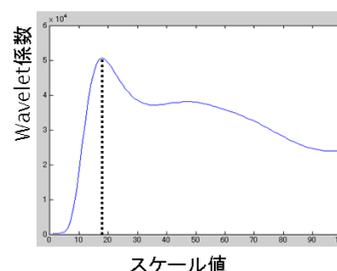


図 5: Wavelet スペクトルからのピーク検出

3.2 センサデータ処理部の詳細

個人や食べるものの大きさによって咀嚼回数は異なるが、咀嚼行為では、ある期間、顎の上下運動が周期的に繰り返されると思われる。但し、センサ出力には、顎の上下運動の他にも、顔の揺れや、手の動きによって生じる信号が含まれる。従って、ドップラーセンサで検出された信号にはこれらの顎の上下運動以外の動きによって生じた信号も含まれており、センサから得られた信号から顎の動きによって生じる信号のみを取り出す必要がある。

そこで Wavelet 変換により咀嚼特有の周波数成分を取り出す。その後、顎の上下運動によって生じるセンサからの二波の位相のずれから、顎のセンサへの接近離反を検出し、自己相関関数によって周期性を検出することとした。以下、実際のデータ処理の手順について簡単に説明する。図 3 は信号処理の流れである。図 4 は、実際の咀嚼時の信号を連続 Wavelet 変換した結果である。比較的高い周波数に相当する部分に、咀嚼特有の周期性が見られる。

【STEP1】咀嚼行動による特有の周波数成分の取り出し:

一定区間毎 (今回は 1 分) にセンサデータを区切り、咀嚼に相当する特有の周波数を決定した*2。今回は Wavelet 変換を用いて、パワースペクトル (周波数成分の強さ) が極大となるスケール値 (周波数) を、咀嚼行動による周波数と判断し (図 5)、ピーク値の周波数成分の取り出しを行った。

【STEP2】窓の設定: 上記スケール値を持つパワースペクトルについて、一定サイズ (今回は 5 秒) の「窓」部分を上

*2 咀嚼の周期は、対象となる人によって、あるいは、食べているものによって変わるので、このように咀嚼の周波数を適応的に変化させている。

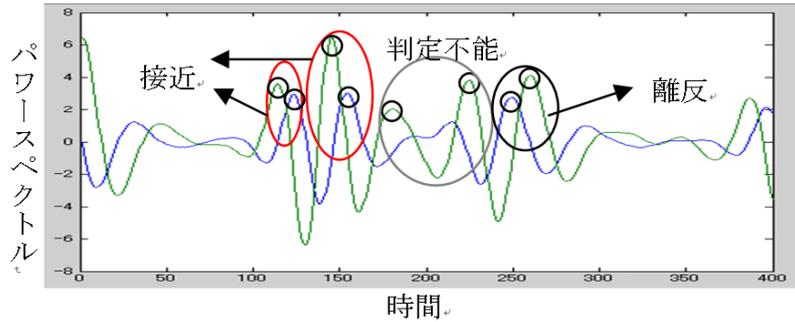


図 6: 2つのドップラー信号の位相関係

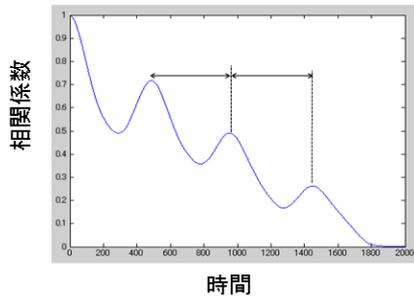


図 7: 周期性判定法のための自己相関

記の変換結果から取り出す。窓位置は一定時間ずつ（今回は 1 秒）移動させ、以下の処理を行う。

【STEP3】接近離反の判定: 接近離反の判定は窓毎に行う。二波出力の位相のずれから顎のセンサへの接近・離反の判定を行う（図 6 参照）。窓毎の一定以上の極大値を求め、一番近い極値との前後関係で接近離反の判定を行う。図 6 中で、2 つのドップラー信号の位相の前後が入れ替わっていることが分かる。一方 (IF1) が他方 (IF2) より位相が 90 度遅れていれば、顎がセンサに接近、反対であれば離反と判定する。そして、接近が 1~4 個・判定不能が 0~2 個・離反が 1~4 個の順に並んでいるパターンを咀嚼 1 回と判断した。そして、窓 (5 秒) において 3 回以上咀嚼していれば、その区間は咀嚼を行っているとした。

【STEP4】周期性の判定: 咀嚼行動による周波数成分の絶対値をとり移動平均をとる。移動平均後のデータの自己相関係数を取り、周期性が認められれば、その区間は咀嚼を行っているとして判断する（図 7）

【STEP5】咀嚼の検出: STEP3 で、接近離反の観点で咀嚼を行っており、且つ STEP4 で、周期性の観点で咀嚼を行っていれば、窓 (5 秒間) は咀嚼を行っているとして判断する。それ以外の時は、咀嚼以外の行動をしているとして判断する。

4. 評価実験

二波型の効果を調べるため、簡単な実験を行った。1 分間、被験者には、咀嚼行動をしてもらったり、その他の自由な行動

(インターネットを眺めるなど) をしてもらった。ただし、咀嚼時はやや理想化されたもので、食事を取り上げるために腕を動かすというようなノイズとなる行為は、二波型の効果を見なかったため、意識的に行っていない。

評価に際しては、まず、1 分間のデータから、全体としての咀嚼に対応する周波数 (正確には Wavelet 係数のスケール値) を決定した。次に、1 分間のデータから、5 秒毎の窓を取り出した。窓は 56 個となる。今回は、咀嚼動作が 30 窓、非咀嚼動作が 26 窓であった。

表 1 は本提案の手法を適用した結果である。縦軸の「早い」「普通」「遅い」は、その被験者としては速く噛んだ時、普通で噛んだ時である。ただし、ここで言う「普通」とはあくまでも被験者の感覚で普通の速さである。また、「近接離反判定」とは、二波型特有の近接・離反の検出機能を用いて、顎が動いているか否かを判定した結果である。一方、「周期性」とは、自己相関を取ってあくまで周期性のみで判断した場合である。いわば、一波型マイクロ波ドップラーセンサの場合に相当する数字である。

表 1: 評価結果

咀嚼中		
	接近離反判定	周期判定
速い	100% (30/30)	100% (27/30)
普通	100% (30/30)	56.6% (17/30)
遅い	73.3% (22/30)	63.3% (17/30)
その他の活動中		
	接近離反判定	周期判定
速い	96.2% (25/26)	96.2% (25/26)
普通	100% (26/26)	100% (26/26)
遅い	100% (26/26)	100% (26/26)

評価データが少ないので、断定はできないが、接近離反判定の正解率には高いものがある。また、判定は 5 秒で行われているため、かなり短い時間インターバルで「食べているかどうか」が判定できている。尚、表 1 では、接近離反判定と周期性判定のどちらがより精度が高いかを比較しているが、もとより、双方を利用した判別方法を行う必要がある。今回も、近接離反と周期性判定の結果をうけて、総合的に判定をすることを試みたが、表 1 にくらべて、56 窓中ただ 1 個の窓について、判定性能に向上が見られただけであった。これは、2 つの情報を融合するアルゴリズムに改善の余地を残していることを示す。

5. おわりに

著者らは、マイクロ波ドップラーセンサを、咀嚼の検出に利用したり、ジェスチャーを認識するためのデバイスとして利用することを提案してきた。ただし、従来の手法では、センサは一波型であり、移動体がセンサに近づいてくるのか、あるいは、遠ざかってゆくのかを判定できず、咀嚼の検出やジェスチャー認識の精度を下げている可能性があった。そこで、本稿では、二波型のマイクロ波ドップラーセンサの利用を提案した。その結果、咀嚼か否かの判定のための時間的分解能が、従来手法では 20 秒程度あったのに対して、5 秒の窓（ウィンドウ）の幅でも対応できる可能性を確認した。

今後の課題としては、実際の食事の状況により近い形で評価が必要である。また、今回、周波数分析には Wavelet 変換を用いている。しかし、Wavelet 変換は高い周波数分解能は持って居ない。窓にカーネルを被せて両端の影響を排除して FFT を用いたり、あるいは、AR (Auto-Regressive: 自己回帰) モデル、最大エントロピー法 (MEM) と言った、モデルベースの、あるいは、より少ないデータからの周波数スペクトル分析が可能な手法を適用して、技術的な完成度を上げてゆく必要がある。

参考文献

- [NJR09] 新日本無線, Web サイト,
<http://www.njr.co.jp/>
- [NJR4261] K-band Doppler Sensing Devices, MODEL No. NJR4251J/61J series, カタログ, 新日本無線株式会社
- [NJR4178J] X-band Doppler Sensing Devices, MODEL No. NJR4178J series, カタログ, 新日本無線株式会社
- [谷川 08] 谷川紗恵子, 西原秀明, 金田重郎「マイクロ波ドップラーセンサを用いた咀嚼の検出手法」, 情報処理学会・第 70 回全国大会 5ZD-3, pp.4-273 ~ 4-274, 2008 年 3 月 13 日
- [黒川 08] 黒川智仁, 桑秀行, 芳賀博英, 金田重郎「ドップラーセンサを用いたジェスチャー認識手法の提案」, 情報処理学会・第 70 回全国大会 2ZD-4, pp.3-193 ~ 3-194, 2008 年 3 月
- [古畑 09] 古畑貴志, 窪田裕介, 金田重郎, 芳賀博英「ドップラーセンサを用いた複数機器の制御手法」, 情報処理学会・第 71 回全国大会, 6X-2, 4-129 ~ 4-130, 2009 年 3 月
- [厚生労働 07] 厚生労働省, 平成 19 年・国民生活基礎調査・全国編,
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/index.html> 全世帯数 48,023,000 世帯中, 65 歳以上の単独世帯は 4,326,000 世帯 (約 9%) である。
- [大橋 04] 大橋克己. 咀嚼機能評価システム. 特開 2004-33494. 平成 16 年 2 月 5 日