

令和元年5月30日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K20015

研究課題名(和文) テラヘルツ波の物体透過性に基づく自由素材インターフェースの実現

研究課題名(英文) Study on transmissive human computer interface using terahertz waves

研究代表者

門内 靖明 (Monnai, Yasuaki)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・講師

研究者番号：90726770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：テラヘルツ波の物体透過性に基づき、素材越しに人の動きを検出するための技術基盤を構築した。まず、伝送線路に沿って周期的に散乱体が装荷された300GHz帯漏れ波アンテナを用いて給電周波数を掃引しながらレーダ計測を行い、不透明媒質越しに試験対象物の位置を計測できることを示した。次に、上記のようなアンテナを薄いフィルム上に形成するために、グラウンド層を用いない線路構成方法を提案した。それにより、アンテナを可視光帯で透明であるだけでなく静電場の遮蔽も回避できるようにし、タッチパネルなどの既のデバイス表面に重ねて使うことができるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光波と電波の境界に位置するテラヘルツ波を用いたレーダを物体や環境の内部に埋め込んで利用できるようにするための基盤技術について研究した。テラヘルツ波の物体透過性と高解像力を活用すれば、布や木、プラスチックなどの素材越しに人の手指の位置や動きを検出し、素材表面をタッチ・ジェスチャセンサとして利用することができるようになると思われる。このようなセンサを生活空間中に埋め込み、ユーザの動作を汲み取ること、ユーザが意識的にデバイスを操作せずとも機械による動作支援を受けられるようになる。

研究成果の概要(英文)：We studied technologies to detect human motions through optically opaque material using terahertz waves. We firstly demonstrated that the location of targets can be determined through opaque materials using a leaky-wave antenna composed of periodic scatterers loaded along a transmission line designed for frequencies around 300 GHz. We next proposed a method to implement such an antenna on a thin polymer film without using a ground layer. With this approach, we demonstrated that the leaky-wave antennas can be made transparent both optically and electrostatically, thereby usable even when overlaid on a variety of objects including capacitive touch panels.

研究分野：テラヘルツ波

キーワード：テラヘルツ波 ヒューマンインタフェース レーダ アンテナ センサ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

人の動作や生理情報を継続的に計測するウェアラブル機器が普及してきている。各種センサの出力を統合して解析することで、健康管理、疾病予防、スポーツ技能の向上に繋げたり、身体の状態に応じて最適なサービスや商品をリコメンドしたりすることが期待されている。特に研究開始当初の動向として、電機・情報系の企業のみならずファッションやインテリア業界の企業の関心の高まりがあり、例えばスポーツウェアの中に心拍やカロリー消費などを計測するセンサや、同様のセンサを装飾してアクセサリ感覚で身に着けられるようにしたものなどが登場してきている。これらに共通する流れとして、デバイス自体が表に現れず物体中あるいは環境中に埋め込まれた形で設計されるようになってきていることがあげられる。そのためには、物体を透過しながら計測や通信を行う無線技術がより一層重要となるが、従来用いられてきたマイクロ波帯以下の周波数領域では空間選択性あるいは分解能が低いという課題がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、光波と電波の境界に位置するテラヘルツ波を用いたレーダを物体内部や環境中に埋め込んで利用するための技術を研究する。テラヘルツ波の物体透過性と高解像力により、例えば布や木、プラスチックなどの素材越しに人の手指の位置や動きを検出することで、素材表面をタッチ・ジェスチャセンサとして利用できるようになると考えられる。このようなセンサを、例えば袖の下やポケットなど衣服の内側に隠れたウェアラブル端末や、生活空間中の家具やインテリアの内に埋め込むことで、ユーザの動作をコンピュータへの入力と一体化させ、ユーザが意識的にデバイス进行操作せずとも機械による動作支援を受けられるようにするための技術基盤を構築することを目指す。

3. 研究の方法

本研究は大きく分けて2つの内容からなる。まず、伝送線路に沿って周期的に散乱体が装荷された300GHz帯漏れ波アンテナを用いて給電周波数を掃引することで、ビーム放射方向を空間的に走査しながらレーダ計測を行い、人間の手指を模した試験対象物の位置を不透明物体越しに計測することを最初のステップとする。次に、上記のようなアンテナを薄いフィルム上に形成するために、グラウンド層を有しない単一のストリップ線からなるグーボー線路を用いて漏れ波アンテナを形成する。それによって、可視光帯で透明であるだけでなく静電場の遮蔽も回避できるようにし、タッチパネルを始めとする既存のデバイス表面に重ねて使うことができるようにする。

4. 研究成果

(1) 不透明スクリーン越しの対象検出

テラヘルツ波の物体透過性を活かすことで、空間中に配置された物体が1mm程度の厚みを有する不透明なタオルにより遮蔽された場合でも物体の正確な位置を検出できることを明らかにした。まず、図1(a)のような漏れ波アンテナを用いて図1(b)のような実験系を構築し、複数の異なる方向からレーダ信号を取得することでアンテナを仮想的にアレイ化した。取得されたレーダ信号を計算機上で合成することで試験対象物の3次元分布を再構成できることを確認した。実験はベクトルネットワークアナライザを用いて送受信器間の複素透過係数(Sパラメータ)を計測する系を構築して執り行った。複数方向からの信号取得にあたっては、実験の都合上、対象物を機械的に回転させながら行ったものの、この手法自体は対象物を動かすことなくアンテナを並列アレイ化した場合にもそのまま有効である。

図2のようにアンテナと対象物の中間70mmの位置に不透明なタオルをスクリーンとして設置し、スパース信号処理に基づいて対象像を表す未知ベクトルを推定した。求めた各点をプロット(+)した結果、対象の概形を捉えることができた。各点群に対して推定されたレーダ反射断面積の値で重み付けを行った平均点をとると、3本の棒に対する3つの点群が、 $(x, y, z) = (16.0, 15.3, 131)$ mm, $(-12.2, 9.42, 138)$ mm, $(x, y, z) = (3.90, -12.4, 144)$ mm となり、それ

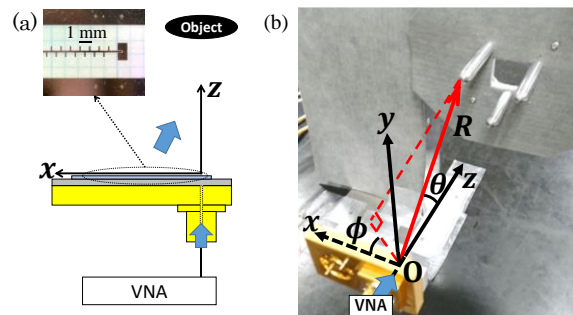


図1 (a) ビーム走査に用いる300GHz帯アンテナ
(b) アンテナ前方に設置された金属棒。

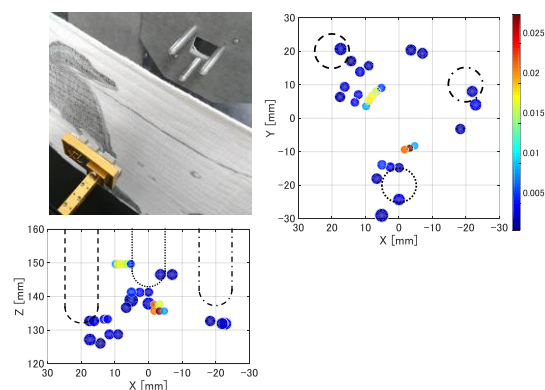


図2 布で遮蔽された金属棒の位置を再構成した結果。

それぞれの加重平均点の(x, y)がアルミ棒の中心軸(先端)位置を表しているとする、真値との距離は平均して7.5mmとなり、棒の半径6mm符合している。以上により、テラヘルツ漏れ波アンテナによって取得されたデータに対してスパース信号処理を適用することで不透明媒質を透過して前方の3次元計測が行えることを原理実証した。

(2) グーボー線路に基づく可視光・静電場透過型漏れ波アンテナの実現

テラヘルツ計測を行うためのアンテナを様々な環境中に溶け込む形で利用できるように、グラウンド層を有しない形で透明なポリマーフィルム上に作製する方法を確立した。具体的には、誘電体スラブと金属ストリップを組み合わせた表面波線路であるグーボー線路をベースとし、導波管カプラと漏れ波アンテナとを一体化した構造を作製した(図3(a))。電磁界解析に基づいて最適化された微細な電極パターンを2枚のポリマーフィルムに描画し、それらを熱圧着により接着して層構造を形成した。これを導波管開口部に重ねて配置することにより、導波管から給電される信号をまずマイクロストリップ線路上の信号に変換し、そこからさらにグラウンド面がテーパ状に消失する構造を用いてグーボー線路を励振することで(図3(b))、導波管-グーボー線路間の高効率な変換を実現した。

試作にあたっては、まず放射器を有しない伝送線路を送受対称的な back-to-back 構造として構成し、その伝送特性を評価した。光学顕微鏡を用いた測定により、図3(a)中の寸法パラメータ u , g , k について設計値 128, 28, 70 μm に対して周囲の5点平均で $128 \pm 1\mu\text{m}$, $28 \pm 1\mu\text{m}$, $72\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$ となることが分かった。作製された線路を VNA に接続して S パラメータを測定し、振幅および位相特性から線路の減衰定数および位相定数を算出した(図4)。300 GHz において S_{21} が -15.6 dB となり、3 dB 帯域幅は 51 GHz であった。また、長さの異なる線路の S パラメータを比較して複素伝搬係数を求めた結果、減衰定数(実部)は -2.6 dB/cm@300 GHz、位相定数(虚部)は 51.5 rad/cm@300 GHz と求めた。

次に、線路に周期的な散乱体を装荷することで指向性ビームを形成し、給電周波数の掃引によってビーム放射方向が変えられることを確認した。放射パターンの測定に当たっては、まず作製されたデバイスを VNA のポート1側で励振し、デバイス前方に対向設置されたホーンアンテナに接続されたポート2側で受信するようにした。ポート1は回転ステージ上にマウントしており、アンテナ面に対して鉛直方向からの角度 θ を変えながらポート1、2間の S パラメータを測定した。その結果、各方向に放射されるビームは方向に依存した中心周波数のスペクトル(帯域幅 10GHz 程度)を有し、周波数を 220 GHz から 330 GHz まで掃引することでビームを -12° から 18° まで走査することが確認された。これによって、薄いフィルム上にグラウンド層を設けることなくテラヘルツ帯漏れ波アンテナを構成できることを実証した。

透明かつ最小限の金属パターンを用いる構造により、例えば一般的な液晶ディスプレイの表面にアンテナを覆い被せる場合でも、ディスプレイ・アンテナの双方が互いを妨げることなく動作できることを確認した(図6)。これにより、(1)で述べたアンテナと同様のアンテナを、可視光に対して静電場に対しても透過性を示す形で実装できることを原理実証した。

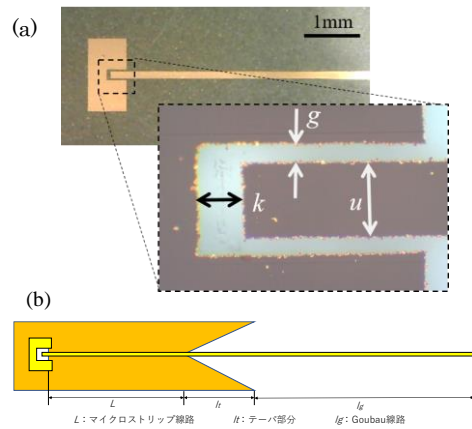


図3 (a)作製されたカプラ構造, (b) マイクロストリップ線路からグーボー線路への変換構造

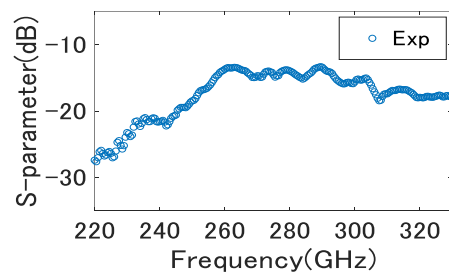


図4 Back-to-back 構造の伝送特性評価。

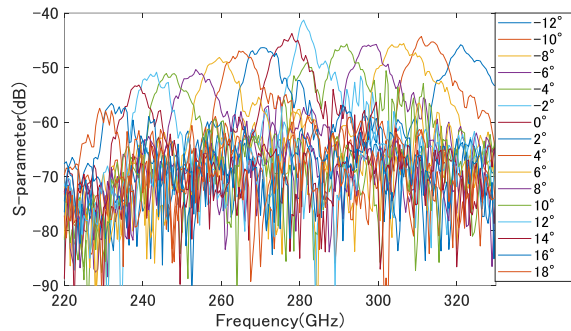


図5 各方向において測定された S パラメータ。

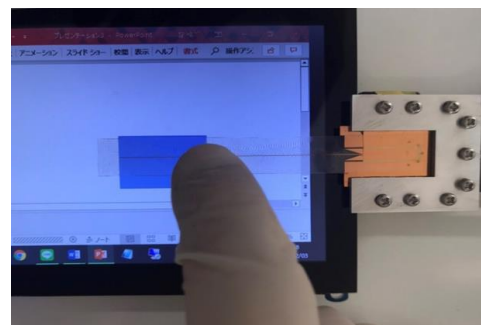


図6 作製されたアンテナをタッチパネルに重ねてもタッチ操作が可能な様子。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 件）

〔学会発表〕（計 2 件）

[1] 橋爪智, 門内靖明

導波管カプラを用いるテラヘルツ帯グーボー線路の励振
電子情報通信学会総合大会 2019

[2] 村田浩治, 村野公祐, 渡邊一世, 笠松章史, 田中敏幸, 門内靖明

スパース信号処理に基づく 300GHz 帯レーダの 3 次元計測への応用
テラヘルツ応用システム研究会 2017

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8 桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。