

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26820142

研究課題名(和文) 磁界結合を利用したマルチホップ無線電力伝送に関する研究

研究課題名(英文) Multi-hop wireless power transfer via magnetic coupling

研究代表者

宮路 祐一 (MIYAJI, Yuichi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50712923

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、磁界結合による無線電力伝送の伝送エリア拡大のために、受電器の位置推定アルゴリズム、その位置情報にもとづいて中継用結合器の伝送経路制御アルゴリズムを開発した。また位置推定アルゴリズムと経路制御アルゴリズムを実証するためのテストベッドを開発した。実機実験において、二つの受電器の位置がどの結合器上にあるかを判定し、公平な電力伝送を実現する経路制御が可能なことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, the location estimation of the receive coupler and routing control of router coupler have been developed to enhance transfer area on the multi-hop wireless transfer system via magnetic coupling. Besides, to evaluate these two algorithms, the multi-hop wireless power transfer testbed has also been developed. In the actual experiment, this testbed system can estimate two receiver locations and construct two routes to fair power transfer.

研究分野：通信工学

キーワード：マルチホップ無線電力伝送 磁界結合 位置推定 経路制御

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンをはじめとする無線機能を搭載した電子機器が急激に増加している。また、テレビや白物家電までもが無線通信でつながる社会が実現している。その一方で、これらの機器への給電方法はいまだに有線である。無線電力伝送が出来れば、機器をコンセントにつないでいるコードが不要になり、コンセントを探す手間や場所を意識することなく充電できる。ユビキタス社会を実現するためには無線通信だけでなく、いつでも・どこでも充電できる無線電力伝送技術の確立が強く望まれている。

無線電力伝送の国際標準規格に Qi (チー) がある。Qi は電磁誘導方式を採用しているため伝送距離が数 cm と短く、密着させておく必要がある。充電部分を内蔵して防水性を高める点では有効であるが、充電位置の自由度に関しては貢献しない。新たな方式として、2006 年にマサチューセッツ工科大学が、共振時の磁界結合を利用した無線電力伝送の実験に成功し大きな注目を浴びている。この方式は、1m 以下で伝送効率 90% を越えたとされており、電磁誘導方式よりも充電位置の自由度が高い。日本国内では、東京大学の浅見・川原研究室において中継用結合器(中継器)を用いた 2 次元マルチホップ無線電力伝送方式により、伝送エリアが拡大することが報告されている。2 次元マルチホップ無線電力伝送方式では、コイル状の結合器が中心軸に対して水平に隣接している際にも共振することを利用している。給電されるコイル(送電器)が一つにもかかわらず、面的に伝送エリアを拡張できる点が特長である。しかしながら、受電器が一つの場合しか対応しておらず、その一つを受電器の位置を認識する機構は検討されていない。無線電力伝送の実用化を考えると、充電器が複数ある環境が一般的であると考えられる。そこで本研究では、複数受電器の位置推定とその位置情報にもとづく伝送経路制御を開発する。

2. 研究の目的

(1) 複数受電器の位置推定

2 次元マルチホップ無線電力伝送システム上に配置された、複数受電器の位置推定アルゴリズムを開発する。具体的には、各受電器がどの中継器の上に配置されているかを正しく推定することが目的となる。これまでに開発した単一受電器の位置推定アルゴリズムを拡張し、複数受電器の位置を同時に推定する手法を確立する。

(2) 位置情報にもとづく伝送経路制御

研究の目的(1)で得られる受電器の位置情報にもとづいた、2 次元マルチホップ無線電力伝送システムの伝送経路制御アルゴリズムを開発する。(1)と同様に、複数の受電器に対しての伝送経路制御を行う。これまでに受電器が複数ある場合においては、中継器同

士の結合が少ない方が、それぞれの受電器に対して公平に電力を供給できることを明らかにした。この特性を活用した伝送経路制御手法を確立する。

(3) 中継器のオン・オフ制御回路

上記(1)と(2)の技術には、中継器のオン・オフ制御回路が重要な役割を担う。中継器のオン・オフは結合器にスイッチを備え、共振周波数を変化させることで実現する。そこで、実機実験の効率化とシステムの有効性の評価に向けて中継器のオン・オフ制御回路を開発する。

(4) マルチホップ無線電力伝送システム

ネットワークアナライザと接続した PC 上に(1)、(2)で開発した手法を実装し、中継器に(3)で開発したオン・オフ制御回路を搭載したマルチホップ無線電力伝送システムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 複数受電器の位置推定

図 1 のように、3×3 の 2 次元マルチホップ無線電力伝送システム上に二つの受電器を配置し、それぞれの受電器の位置推定精度を解析する。解析には、電磁界シミュレータ WIPL-D を用いる。複数受電器への拡張として、中継器のオン・オフ制御パターンを用いることで、特徴量(反射電力)の次元を増やす。

解析した結果にもとづき、推定精度のよい中継器のオン・オフ制御パターンとアルゴリズムを用いて、実機実験を行う。評価環境は、電磁界シミュレーションと同じである。ただし、中継器のオン・オフ制御は手動で行う。測定にはネットワークアナライザを用いる。

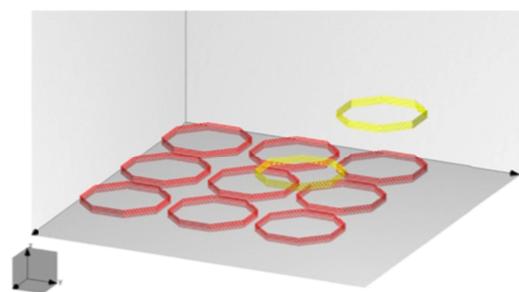


図 1: 2 次元マルチホップ無線電力伝送

(2) 位置情報にもとづく伝送経路制御

3×3 の 2 次元マルチホップ無線電力伝送システム上に二つの受電器を配置し、(1)で取得した位置情報にもとづいて、それぞれの受電器への伝送経路を構築し伝送効率を解析する。解析には、WIPL-D や LTspice を用いる。

解析した結果にもとづき、開発した経路制御方式を用いて実機実験を行う。環境

は、電磁界シミュレーションや回路シミュレーションと同じである。また、(1)と同様に中継器の制御は手動で行う。測定にはネットワークアナライザを用いる。

(3) テストベッド開発

開発するテストベッドは、大きく二つの機能を持つ。一つ目は、受電器の位置推定を行う機能である。位置推定には反射係数 S_{11} を利用し、結果として受電器の推定位置を得る。二つ目は、伝送経路上の中継器を制御する機能である。テストベッドは二次元マルチホップアレイコイル、ネットワークアナライザ、PC、Arduino、リレードライブ回路で構成される。PCからの命令により反射係数を測定する。反射係数より、PC内部のプログラムで受電器の位置を推定する。また、PCは受電器の位置情報をシリアル通信によりArduinoへ送信可能である。したがって、Arduinoを用いて伝送経路上の中継器を制御できる。

4. 研究成果

(1) 二つの受電器の同時位置推定

電磁界シミュレーションによる評価

受電器が二つに増えたことにより、設置のパターンが増加し、反射係数が類似する位置が増えるため、推定が誤りやすくなる。この問題に対処するために、同時に推定する位置を減らし、学習点を削減する。オン・オフ制御を行うことで、反射係数が類似する学習点を複数のクラスに分ける。また、そのクラスのみで位置推定を行うことで同時に区別する位置を減らすことができる。例えば図2のように、学習点が類似する位置があるため、推定が誤りやすくなる。そのため、オン・オフ制御により二つのクラスに分割できる。五つの位置のクラスから三つの位置のクラスと二つの位置のクラスに分けることで、同時に推定する位置が減り、推定精度の向上を図る。クラスの判別には最近傍法を用いる。

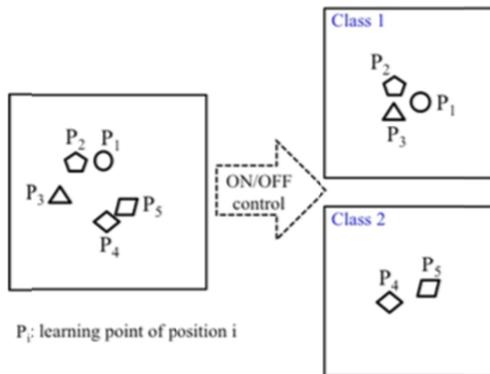


図 2: 特徴量の分割

電磁界シミュレーションによる位置推定の結果、図3の(1,3),(1,6)に配置した位置の推定精度が91.67%、(2,8),(2,9)に設置した位置の推定精度が95.58%、その他の位

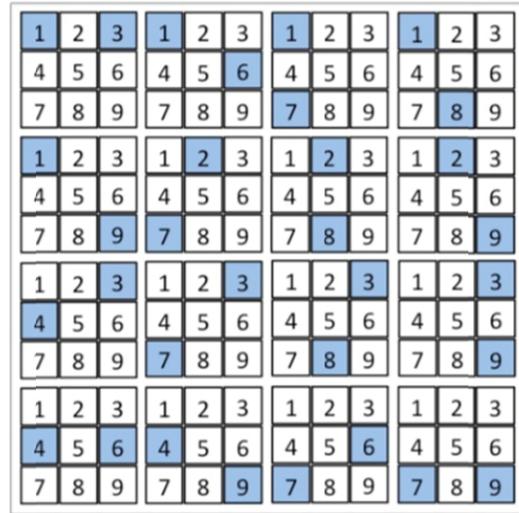


図 3: 受電器の配置組合せ

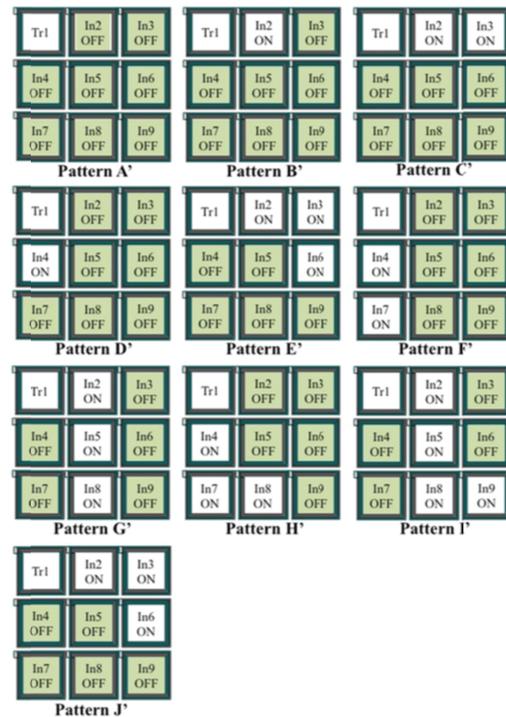


図 4: 中継器のオン・オフパターン

置の組合せでは全て誤りなしとなった。全体の推定精度は98.44%を達成した。適切にオン・オフパターン(図4)を制御することで、単一受電器の位置推定アルゴリズムをそのまま適用するよりも推定精度が向上することが明らかとなった。

実機実験による評価

電磁界シミュレーションと同様に実機実験により推定精度を評価した。実機実験においては、特徴量の分割の段階での精度は100%であったが、最終的な位置推定の正答率は83.33%となりシミュレーション結果に比べて約15%ポイント劣化した。しかしながら、実機実験においても、単一受電器の位置推定アルゴリズムをそのまま適用するよりも高い位置推定精度が得られることが分かった。

美和 武, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界結合を用いたマルチホップ無線電力伝送における結合係数の推定,” 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2017.

宮村騎久也, 宮路祐二, 大村 廉, “磁界共鳴方式を用いた衣服間無線電力伝送手法におけるコイル形状の検討, 情報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 2017.

美和 武, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界結合した受電器の楕円近似を用いた三次元位置推定,” 電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会, 2017.

美和 武, 小松和暉, 饒見眞太郎, 宮路祐二, 上原秀幸, “マルチホップ無線電力伝送” マイクロウェブ展, 2016.

Takeru Miwa, HUYNH HUY LAM, Yuichi Miyaji, and Hideyuki Uehara, “Localization of Two Receivers in Two-dimensional Multi-hop Wireless Power Transfer System via Magnetic Resonance Coupling,” The Irago Conference, 2016.

美和 武, 宮路祐二, 上原秀幸, “2次元マルチホップワイヤレス電力伝送における位置推定,” ワイヤレス・テクノロジー・パーク, 2016.

美和 武, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界共振結合二次元マルチホップ無線電力伝送システムにおける自動制御システム,” 電子情報通信学会 総合大会, 2016.

フィンフィラム, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界共振結合型二次元マルチホップ無線電力伝送システムにおける二つの受電器の位置推定,” 電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会, 2016.

宮路祐一, “マルチホップで伝える無線通信と無線電力伝送,” 電子情報通信学会 北海道支部学生会講演会, 2016.

宮路祐二, “マルチホップワイヤレス電力伝送,” ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム 第3回シンポジウム, 2015.

小山田圭佑, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界共振結合型3ホップWPTにおける結合係数測定の実機評価,” 電子情報通信学会 無線電力伝送研究会, 2015.

フィンフィラム, 大竹晋資, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界共振結合型二次元マルチホップ無線電力システムにおける二つの受電器の位置推定,” 電子情報通信学会 総合大会, 2015.

小山田圭佑, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界共振結合3ホップWPTにおける結合係数の測定,” 電子情報通信学会 総合大会, 2015.

中田貴大, 宮路祐二, 上原秀幸, 大平 孝 “磁界共鳴型ワイヤレス電力伝送における入れ子コイルを用いた伝送範囲の

拡大,” 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2014.

中田貴大, 宮路祐二, 上原秀幸, “磁界共鳴結合型ワイヤレス電力伝送における入れ子コイルを用いた電力伝送効率改善手法の検討,” 電気関係学会 東海支部連合大会, 2014.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.comm.ee.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮路 祐一 (MIYAJI, Yuichi)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・

助教

研究者番号：50712923