

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32618

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11864

研究課題名（和文）通信・電力ネットワーク連携による耐災害性能と利便性向上

研究課題名（英文）Improvement of Disaster Resistance and Convenience through Collaboration of Communication and Power Networks

研究代表者

齋藤 洋（Saito, Hiroshi）

実践女子大学・その他部局等・特任教授

研究者番号：60825165

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：通信、電力の連携を強化することにより、耐災害性能の向上と移動体通信の利便性向上を達成するための理論研究を行った。前者については、通信網の増設、新設時に、電力網の地理的情報を得ることで、災害時の停電による通信断リスクも含めた耐災害性能を最大化した通信網（光ファイバケーブル網、基地局網）の地理的ネットワーク設計法を提案した。後者については、マイクロ波無線給電のモデル化と性能評価を行った。特に、整流器の非線形特性を表現しStochastic Geometryと整合性のよいモデル化を提案した。これをもとに、各機器間で無線給電を相互に行い充電を実質的に回避するネットワークの実現性を理論的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

災害時の停電による通信サービス断を抑制するネットワークの地理的設計法を示した。
各機器間で無線給電を相互に行い充電を実質的に回避するネットワークの実現性を理論的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We conducted theoretical research aimed at enhancing disaster resistance and improving the convenience of mobile communications by the collaboration between communication and power networks. For the former, we proposed a geographical network design method for communication networks to maximize disaster resistance, including the risk of communication interruption due to power outages during the expansion or establishment of communication networks, by obtaining geographical information of the power grid. For the latter, we modeled and evaluated the performance of microwave wireless power transmission. Specifically, we proposed a model that accurately represents the nonlinear characteristics of rectifiers and is useful in application of Stochastic Geometry. Based on this, we theoretically demonstrated the feasibility of implementing a network where wireless power transmission is performed between devices, effectively avoiding the need for charging.

研究分野：通信ネットワーク

キーワード：通信・電力連携 耐災害性 無線電力送電

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 東日本大震災をはじめ、多くの大規模災害時には、電力、通信の両サービスが停止し、復旧、復興の大きな妨げとなった。こうした大規模災害時に、電力供給が停止の通信サービス断につながる影響が顕著になってきている。通常、通信ネットワークのノードには、バッテリーが配備されている。さらには、発電機が準備されているところもある。ところが、特に、バッテリー切れまでに電力網の回復がなされない場合、停電により通信サービス断が生じ、被災直後よりも多くの携帯電話網基地局のバッテリー切れとなる災害の24時間後から通信サービス断となるエリアが広がるのが問題となった。電力ネットワークから通信ネットワークへの、一種の連鎖障害である。ちなみに、道路の通行止めのため発電機の燃料切れで通信サービス断となるケースもあった。

(2) 近年、ワイヤレス電力伝送技術の発展が著しい。ワイヤレス電力伝送技術には、大きく、電磁誘導方式、磁界共振方式、電界結合方式、マイクロ波空間伝送方式の4つの方式がある[1]。このうち、マイクロ波空間伝送方式は、数メートル以上と最も遠くまでの無線による電力伝送が可能であるため、携帯機器など移動する機器への無線電力供給が現実のものとなりつつある。

[1]庄木裕樹、IoT 社会に貢献するワイヤレス電力伝送技術、電子情報通信学会誌、103、10、2020.

2. 研究の目的

本研究では、(1) 災害に起因する電力ネットワーク・通信ネットワーク連鎖障害を減らすことを可能とするネットワークの地理的設計法を提案すること、(2) 携帯通信機器などの移動通信ノードの給電を無線により実施し、移動通信ノードの真の意味での「無」線化をネットワーク全体として達成するための理論(性能評価理論)を構築すること、を目的とする。

3. 研究の方法

(1) Integral geometry (積分幾何) と呼ばれる理論に基づく。これをネットワークの地理的設計法に応用する。一方のネットワーク(電力ネットワーク)の地理的な情報を得て、もう一方のネットワーク(通信ネットワーク)の地理的条件を、(通信)サービス断を最小化するように決める。その際、電力ネットワークと通信ネットワークの両方が稼働している条件が成立する場合、通信サービスが提供されるものとする。この条件付き最適化問題の定式化、解法理論などを開発する。

(2) マイクロ波によるワイヤレス電力伝送の受信電力のモデル化、Stochastic geometry (確率幾何) と呼ばれる理論に基づく解析を行い、性能評価理論を構築する。特に、マイクロ波によるワイヤレス電力伝送を大規模に移動体ネットワークに適用した場合についての性能を重点に理論を展開する。ものづくり自体は行わない。しかしながら、どのような要件を満たせば、所定の移動体ネットワークを実現できるかを明らかにすることで、ものづくりの目標設定の指針とする。

4. 研究成果

(1) 電力ネットワークの地理的情報を得て通信ネットワークの地理的設計をすることで、災害に起因する連鎖障害を減らすことを可能とするネットワークの地理的設計法を提案した。いろいろなネットワークのパターン(2ルート化がされている、一部が2ルート化されている、など)について、電力ネットワークと通信ネットワークの両方が稼働している条件が成立する場合に通信サービスが提供されるという条件で、通信サービス断エリア数最少化などを実現する地理的ルートを得る方法を示した。

(2) マイクロ波による受信無線電力のモデル化と性能評価理論を提案した。これに基づき、携帯通信機器などの移動通信ノードの給電を無線により実施し、無線電力送受信をネットワーク全体として達成するための理論を構築し、マイクロ波無線電力に関する要求性能やノード密度などとの関係を明らかにした。以下に、整流器の非線形性を考慮した受信無線電力モデル(図1)のグラフを示す。

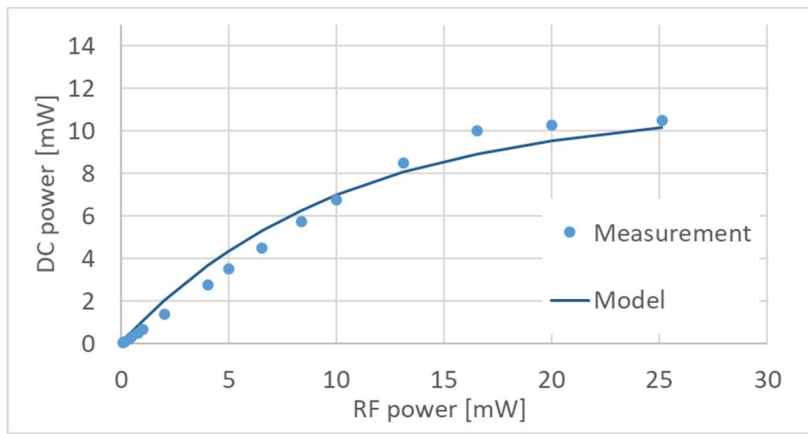


図1 整流器の非線形性を考慮した受信無線電力モデル

H. Saito, Theoretical Analysis of Nonlinear Energy Harvesting from Wireless Mobile Nodes, IEEE Wireless Commun. Letters, 10, 9, pp. 1914-1918, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hiroshi Saito	4. 巻 E106-B, 2
2. 論文標題 Critical Location of Communications Network with Power Grid Power Supply	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Communications	6. 最初と最後の頁 166-173
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2022EBP3022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Saito Hiroshi	4. 巻 19
2. 論文標題 Theoretical Design of Geographical Route of Communications Cable Network Supplied by Power Grid to Minimize Disaster Damage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Network and Service Management	6. 最初と最後の頁 100 ~ 111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNSM.2021.3118420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Saito Hiroshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Theoretical Analysis of Nonlinear Energy Harvesting From Wireless Mobile Nodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Wireless Communications Letters	6. 最初と最後の頁 1914 ~ 1918
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LWC.2021.3086192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高藤 洋
2. 発表標題 全端末が無線電力送電をするネットワークの性能評価
3. 学会等名 2023年度（第40回）待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」（招待講演）
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------