

TouchFence: 接触箇所の検出が可能な電気柵

横野 脩也* 山田 渉* 落合 桂一*

概要. 農業において獣害は深刻であり、農地への野生動物の侵入を防ぐために電気柵を設置するのが一般的である。電気柵は農地を守るための優れたソリューションであるが、草や動物との接触によるショートや断線により、正常に機能しないことがある。本論文では、電気柵の電源から草や動物の接触箇所までの2つの経路の電気抵抗を比較することで接触位置を検知する電気柵の接触箇所の検出技術を提案する。評価実験から、長さ 200 m の電気柵への接触を 0.65 m 以下の誤差で検出できることを確認し、提案手法の有効性を示した。

1 はじめに

鹿や猪による農作物への被害は大きく、日本における令和 4 年度の猪による被害に限定しても 36 億円の被害額である [7]。その対策として、電気柵が一般的に用いられている。電気柵とは、数千 V から 1 万 V に及ぶ高圧のパルス電圧を印加した導電性のワイヤーによる柵である。動物がワイヤーに触れると、ワイヤー、動物、地面で構成される回路を通して、動物に電気ショックを与える。この電流は、微弱かつ一時的に流れるものであり動物を傷つけることはないが、恐怖を植え付け農地に入るのを阻む効果がある。

電気柵は獣害対策として非常に有用だが、短絡や損傷によって機能しなくなることがある。例えば、草木が電気柵に接触すると、接触箇所で短絡が生じ、動物が触れても電気ショックを与えることが不可能になる。他にも、動物との度重なる接触によってワイヤーが切れてしまう可能性もある。機能しない電気柵を放置すると、動物が電気柵を越えて農地に侵入できてしまい、電気柵を怖いものではないと学習してしまうため、電気柵自体の効果を低減してしまう恐れがある [6]。これらの理由から機能しなくなった電気柵には早急に対策を講じる必要があるが、電気柵は広大な農地に設置されているため、故障が起きているポイント特定するのは困難である。

電気柵の短絡や破断を検知する技術はいくつか提案されている [4] [1]。例えば、電気柵に流れる電流を計測し、電気柵の故障を検知する技術がある [4] [1]。しかし、これらの手法は故障有無を検知するに留まり、故障場所を特定するには至っていない。他にも、カメラを用いて電気柵をモニタリングする方法もあるが、広大な農地に多数のカメラを導入する必要があるため、コストおよびプライバシーの観点で問題

がある。

本稿では、草木や動物の接触で生じる 2 つの経路の電気抵抗を比較することにより、その接触箇所を特定する大規模な接触箇所の検出技術 (TouchFence) を提案する。提案手法は 3 つのステップで構成される。まず、既存の電気柵に接触箇所の検出用の装置を取り付け、接触箇所検出用の数百ボルトのバイアス電圧をかける。次に、草木や動物が電気柵に触れると、図 1a に示す経路 A と経路 B のように時計回りと反時計回りの 2 つの経路で電気が流れる。最後に、各経路の抵抗値から、草木や動物が触れたポイントを計算する。

ワイヤー型のタッチセンサはこれまでも提案されているが、電気柵への適用には課題があった。例えば、電極をコンデンサを介して直列に接続したワイヤータイプのタッチセンサが提案されているが [2]、この方式では接触を検出したい位置に複数のコンデンサと電極を挿入する必要がある。他にも、特殊な導電性の糸を用いたタッチセンサ方式もあるが [3]、提案手法は特殊なワイヤーを利用せずとも接触箇所の検出が可能という利点もある。

提案方法はたった 1 つのセンサで、数百メートル以上の導電性ワイヤー上の接触箇所の検出を可能にする。そのため、従来のタッチセンサやカメラを用いたセンシングに対して、拡張性と費用対効果の面で優れている。また、カメラに比べ、プライバシーを侵害する恐れもない。

2 提案手法

図 1b および図 1c に示すように、商用の電気柵に取り付け、接触箇所の検出を可能にする試作機を開発した。試作機は電流源、接触箇所検出用の抵抗、ノイズ対策のためのチョークコイルとコモンモードフィルタとコンデンサで構成されており、電気柵と同時に利用しつつ、接触箇所の検出をできるようにしている。草や動物が電気柵に接触すると、電流源から経路 A と経路 B それぞれで電気が流れる。ま

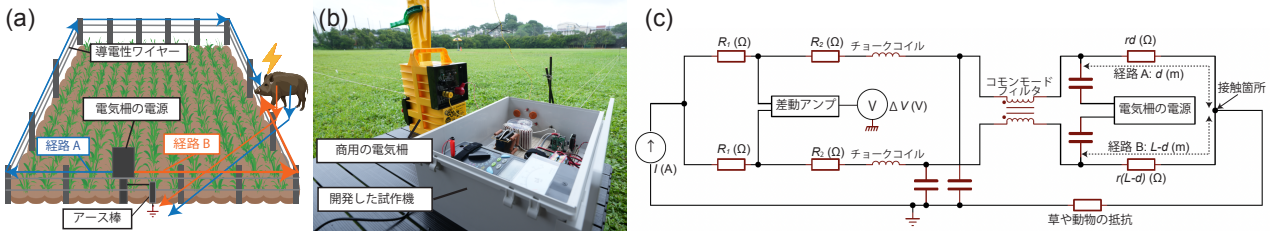


図 1. (a) 提案手法および電気柵の概要 (b) 試作機の外観 (c) 試作機の回路

た、各経路の電位差を比較するための差動アンプおよび電圧計がある。

各経路の長さは、各経路の電気抵抗の差によって生じる電位差を比較することで算出される。電気柵の全長を L とし、経路 A の長さを d とすると、草や動物の接触によって電気柵は d と $L - d$ の 2 つの経路に分割されている。電気柵の単位長さあたりの抵抗値を r とすると、経路 A の抵抗値は rd となり、経路 B の抵抗値は $r(L - d)$ になる。各経路の抵抗値は d に依存して変化するため、各経路の電位差 ΔV も d によって変化する。電流源の電流を I とし、開発した試作機内の抵抗の抵抗値を R_1 および R_2 とすると、接触した場所は ΔV を測定することで以下の式から算出できる。また、各定数は実装した回路によって一意に決まるので、 d は勾配 α 、切片 β の一次関数として表すことができる。

$$d = -\frac{2R_1 + 2R_2 + rL}{2IrR_1} \Delta V + \frac{L}{2} = \alpha \Delta V + \beta \quad (1)$$

3 評価

試作機における接触の検出精度を検証する評価実験を行った。

実装した試作機では、電流源は $200 \mu\text{A}$ とし、 R_1 は 3000Ω で R_2 は 1000Ω とした。電気柵は末松電子製作所により販売されているデンエモン 2 [5] を利用し、電気柵の長さは 200m で、単位長さあたりの抵抗値は $0.51 \Omega/\text{m}$ 、パルス電圧は 7600V であった。

評価実験では、試作機と電気柵をグラウンドに設置し、草と動物を模した抵抗で触れた際の位置検出精度の確認を行った。抵抗で触れるポイントは 30m おきに設定し、各ポイント 3 回ずつ触れた。抵抗は草を模した $1 \text{M}\Omega$ の抵抗と、動物を模した 470Ω の抵抗の 2 つを用いた。これらの抵抗で電気柵に触れた際の電圧計の値を記録し、接触した場所の算出を実施した。

式 (1) を用いて d を算出する際、あらかじめ 2 点の基準点での測定を行い、その点の d と ΔV を式 (1) に代入して α と β を算出した。これにより、電子部品のカタログ値と実際の性能の乖離が推定値

表 1. 実験結果.

実際の位置 [m]	1 M Ω		470 Ω	
	推定値 [m]	誤差 [m]	推定値 [m]	誤差 [m]
30.00	29.91	0.09	29.97	0.03
60.00	60.16	0.16	60.19	0.19
90.00	89.97	0.03	89.91	0.09
120.00	119.93	0.07	120.00	0.00
150.00	149.44	0.56	149.62	0.38
180.00	179.35	0.65	179.45	0.55
Average Error [m]	0.26 (± 0.25)		0.21 (± 0.20)	

に与える影響を低減することができる。基準点を設置した電気柵の両端 (0m と 200m) とし、計測および計算の結果、 $1 \text{M}\Omega$ における α は 113.16 で β は 95.93 であり、 470Ω における α は 113.44 で β は 95.98 であった。

表 1 に実験結果を示す。この実験において、全ての接触が認識され、 ΔV の値に変化が生じた。各ポイントでの ΔV の平均を取り、 d を計算した結果が表 1 である。平均誤差は、 $1 \text{M}\Omega$ で 0.26m 、 470Ω で 0.21m 、最大誤差は 0.65m であった。表中の括弧内は標準偏差を表し、 $1 \text{M}\Omega$ で 0.25m 、 470Ω で 0.20m である。これらの結果から、草木や野生動物の接触位置を確認するという用途を考えると、十分な精度で接触を検出できることがわかった。また、接触した位置による認識精度のばらつきはほとんどないことがわかった。

4 まとめ

電気柵に適用できる接触箇所の検出技術を提案し、実装と実験を通じて、電気柵と草や動物の接触を正確に検知できる可能性を示した。今後の課題としては、電気柵を設置した環境による精度の変化への対応や、実際の農地でのフィールドワークが挙げられる。

参考文献

- [1] I. Al-Bahadly and R. Simpson. Contactless Electric Fence Fault Detection System. In *2019 IEEE*

- International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1–5, 2019.
- [2] H. Manabe and W. Yamada. A Capacitive Touch Sensing Technique with Series-connected Sensing Electrodes. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, p. 645–654, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [3] I. Poupyrev, N.-W. Gong, S. Fukuhara, M. E. Karagozler, C. Schwesig, and K. E. Robinson. Project Jacquard: Interactive Digital Textiles at Scale. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, p. 4216–4227, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [4] E. Tennakoon, C. Madusanka, K. De Zoysa, C. Keppitiyagama, V. Iyer, K. Hewage, and T. Voigt. Sensor-based breakage detection for electric fences. In *2015 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, pp. 1–4, 2015.
- [5] 株式会社末松電子製作所. 商品案内|(株)末松電子製作所. https://www.getter.co.jp/product_info51.html, 2024.
- [6] 農林水産省. 野生鳥獣被害防止マニュアル-アライグマ、ハクビシン、タヌキ、アナグマ- (中型獣類編). https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/manyuaru/manual_tyuugata_jyuurui/tyuugata_jyuurui.html, 2018.
- [7] 農林水産省. 全国の野生鳥獣による農作物被害状況について (令和 4 年度). https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hogai_zyoukyou/, 2023.