

ロープウェイ式モニタリングにおける障害物位置の簡易的推定

A Simple Estimation of Obstacle Position for Ropeway-type Vermin Detection Systems

二本柳 京¹ 勝間 亮¹
Kei Nihonyanagi Ryo Katsuma

概要

近年、害獣対策として WSN(Wireless Sensor Network) を利用して罾のゲートを自動で閉じて害獣を捕獲するシステムなどが利用され、さらに様々な害獣対策が検討されている。このようなシステムでは、害獣を検知する部位と、検知された害獣に対して策を講じる部位が必要である。本研究では、害獣を検知する部位に着目する。害獣をモニタリングする方法として、移動式監視カメラを使ったロープウェイ式害獣検知システムが提案されているが、この方式では障害物の位置を特定できないため、期待通りの撮影範囲にならないことが問題となっている。本稿ではロープウェイ式害獣検知システムにおける障害物位置の簡易的推定手法を提案し、少ない撮影回数で満足できる推定精度を得る方法について検討する。提案手法では、カメラがロープ上を移動して周囲を撮影することを利用して、ロープ上の地点ごとに撮影を行い、他のカメラを撮影できているか調べる。他のカメラを撮影できていればその間に障害物がないことが確定するので、カメラを動かして存在範囲を狭めていくことで効率良く満足できる推定精度を得る。

1. はじめに

近年、中山間地域などにおいて、シカ、イノシシ、サルなどの野生獣、いわゆる害獣によって畑を荒らされる被害が多く発生しており、日本では、2008 年度～2014 年度までで、毎年約 200 億円にも上るほどの被害額が出ている [1] [2] [3]。これらの害獣対策として一般的なものには、害獣を捕獲する罾を設置する方法や、山と畑との境界に防止柵や電気柵を設置し、畑への侵入を阻止する方法がある。しかし、捕獲や破損の確認をする必要があり、人手がかかってしまう。そこで WSN(Wireless Sensor Network) を利用して、罾のゲートを自動で開閉して害獣を捕獲するシステムなどが利用されている [1]。また、害獣をモニタリングして対策を講じる方法が注目されているが、カメラを固定する既存のモニタリングシステムでは、植物の生育などでモニタリング不能となった場合、移動ができないため対処が容易ではない。

その問題を解決するために、移動式監視カメラを使った害獣検知手法が必要となってくる。移動式監視カメラを利用することで、障害物を避けて映すことが可能であり、撮影領域を適切に保つことが出来る。そこで、小倉らは木々の枝と枝との間にロープを張り巡らせ、ロープ上を移動可能な複数のカメラが橋梁移動しながら対象領域を監視するロープウェイ式害獣検知システムを提案した [4]。このシステムはロープ 1 本につき、1 個の通信機付き監視カメラを設置し、害獣を検知する。監視カメラはロープ上を自由に移動して適切な位置で対象領域を監視することが出来る。

このロープウェイ式害獣検知システムでは、他の監視カメラと撮影領域についての情報を通信し合うことができるので、自身が映していない領域を他の監視カメラが映すことでシステム全体の撮影領域を大きくできる。しかし、撮影の邪魔となる木の幹や枝により、実際の運用では期待通りの撮影領域にならないことが多い。そこで、それほど高くない精度でも障害物の位置をある程度把握できればその障害物を避けて対象領域を監視できる位置に移動することが出来る。そのため、撮影の邪魔となる障害物のおよその位置を求めることは、このシステムでモニタリングを行うにあたって重要な問題となる。

高度な画像処理により、障害物を撮影して自動的にその位置を推定するのは自然環境では様々なノイズの混入や明暗の差により、特徴点の抽出等が難しく、適しているとは言えない。そこで本研究では、ロープウェイ式の特徴を利用し、監視カメラを 2 つで 1 組として一方のカメラからもう一方のカメラが確認する方法をとる。もし組となるもう一方のカメラを撮影できれば、そのカメラ間に障害物は存在しないことが確定する。もし相手のカメラを撮影できなければ、カメラ間のどこかに障害物があることが分かり、この相互撮影を様々な位置に移動して行うことで、障害物の位置を絞り込んでいく。この 2 つのカメラで撮影を行う地点の組は、実数値だと無限に存在してしまうため、ロープ上の撮影点を離散的に設定してカメラを移動させる。この条件下では全通りの撮影位置で撮影を行えば最も精度の良い推定面積が得られるが、それでは撮影回数が多くなり、障害物位置の推定にかなりの時間がかかってしまう。そのため、より少ない

¹ 大阪府立大学, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka
599-8531, Japan

撮影回数で、障害物の推定面積に満足のできる推定手法が必要となる。したがって、本稿ではロープウェイ式害獣検知システムにおいて、撮影回数を少なくしつつ、障害物の位置と形状の十分な推定精度を得られる推定手法を提案する。

2. 問題設定

本稿のねらいは、ロープウェイ式害獣検知システムにおいて、撮影回数を少なくしつつ、障害物の位置と形状をおおまかに推定する方法の提案である。本章では、障害物位置の推定を考える上で想定する条件について述べる。

2.1 想定環境

ロープウェイ式害獣検知システムを用いるため、山中で木同士をロープで結び、そのロープ上を監視カメラが移動可能という状況を想定する。ロープは監視したい領域に従って複数本設置し、監視カメラはロープ1本につき1台設置する。監視カメラはライトを搭載しライトの発光を用いることで、夜間でも監視カメラ間に障害物が存在しなければ、撮影画像から互いを認識することができる。本稿では、障害物位置推定に使う2つで1組の監視カメラは平行に張られているものを扱う。平行に張られた2本のロープの間に存在する n 個の障害物を障害物 Ob_i ($i=1,2,3,\dots,n$) と定義し、それぞれの中心位置と面積を $C_i=(x,y)$, S_i と定義する。ここで、山中なので障害物は主に木であり、2つの監視カメラからなる平面空間上で木は円と近似できるため、障害物を円形と仮定した。2つの監視カメラの撮影地点の組はロープ上の実数値にしてしまうと無限に存在してしまうため、各ロープ上に等間隔で離散的に撮影地点を設定する。合計 m 回の撮影を行う際の1組の監視カメラの撮影位置を $s_j=(x,y)$ と $t_j=(x,y)$ ($j=1,2,3,\dots,m$) と定義する。撮影画像 P_{st} から互いを認識できた場合、その間の線分上には障害物が存在せず、認識できなかった場合は障害物が存在するものと判断する。

2.2 問題の定式化

本問題の入力として障害物 Ob_i ($i=1,2,3,\dots,n$) の中心位置 $C_i=(x,y)$ と面積 S_i , 1組のカメラの撮影位置 $s_j=(x,y)$, $t_j=(x,y)$ ($j=1,2,3,\dots,m$) と撮影画像 P_{st} を設定する。出力は推定された障害物の面積 E_i である。この出力 E_i ができる限り障害物の実際の面積 S_i に近づくとよい結果と言える。障害物 Ob_i の目的関数は式(1)に従う。

$$f = \min |E_i - S_i| \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

f : Ob_i の目的関数

E_i : Ob_i の推定面積

S_i : Ob_i の面積

二つのカメラがそれぞれロープ上のすべての地点から撮影を行った時、目的関数が最小化される。しかし2つの監視カメラがそれぞれロープ上を移動し、撮影して計算を行うことを考えるとあまりにも時間がかかってしまう。これを避けるために、より少ない撮影回数で、より精度の良い推定面積を求めることが本問題の目的となる。

3. 障害物の簡易的推定手法

本章では、ロープウェイ式害獣検知システムにおける障害物位置の簡易的推定手法について述べる。提案手法では、ロープ上の監視カメラの撮影点を離散的に設定し、効率的に選択した各撮影点で、1組の監視カメラ間に障害物が存在するかどうか判定し、撮影回数を少なくして精度の良い推定面積を求める。ロープ上の撮影点を実数値にすると撮影点が無限に存在してしまうため、ロープ上を離散的に撮影点を定める。監視カメラにライトを設置して一方のカメラのライトで発光し、もう一方のカメラで撮影してライトの発光が見えたかどうかでカメラ間に障害物があるかないかを判断する。障害物が存在する場合には光が遮られ、障害物が存在しない場合には光が直接見える。

提案手法では、障害物の位置を特定していくにあたって3つのフェーズがある。はじめに障害物のおおよその位置を把握するための初期推定フェーズ、次に一方のカメラがロープ上の端点から撮影を行い、障害物の存在範囲を大まかに分割するための端点探索フェーズ、最後に現段階で大まかに推定されている面積を狭めて精度を上げていくための精度向上フェーズを設定する。この3つのフェーズを順に実行していくことで精度の良い推定面積が得られる。

3.1 初期推定フェーズ

初期推定フェーズでは、障害物の位置が全く分からない状態から、おおよその位置を把握することが目的となる。障害物位置が一切推定できない初期状態から効率良く障害物位置を推定するために、おおよその位置を把握してその周りを細かく撮影していく方法をとる。おおよその障害物位置を把握するため、初期推定フェーズでは、以下の手順を踏む。2つで1組の監視カメラの一方をA、もう一方をBとする。2.1節で記述した通り、各ロープ上には等間隔で k 個の撮影地点が設定されている。

(1) 監視カメラAの最初の撮影点をロープ上の端点とする。

(2) 監視カメラBは(1)で決定した撮影点に最も近い端点を撮影点とする。

- (3) (1), (2) の監視カメラ位置で撮影を行う。
- (4) 監視カメラ A,B ともに, まだ撮影を行っていない隣の撮影点へ移動する。
- (5) 監視カメラの位置が端点の場合撮影を行い終了する。端点でない場合 (3) へ戻る。

初期推定フェーズの処理実行の具体例を図 1 を使って示す。図 1 の上下にある黒太線がロープとし, ロープ間に障害物 Ob_1 と Ob_2 が, 図 1 が示す位置に存在する。1 本のロープに撮影点を 9 点設定する。上側のロープ上の撮影点を左から順に s_1, s_2, \dots, s_9 とし, 同様に下側のロープ上の撮影点を左から順に t_1, t_2, \dots, t_9 とする。監視カメラ A を上側のロープに設置されたカメラ, B が下側のロープに設置されたカメラとする。図 1 における処理実行の具体例を次に示す。

ステップ (1), (2), (3) よりカメラの撮影点を s_1, t_1 に定めて撮影する。この時カメラがお互い認識できるので, 線分 s_1t_1 上に障害物は存在しないと判断できる。次に, ステップ (4) より撮影点を s_2, t_2 に変更する。ステップ (5) より s_2, t_2 は端点でないので撮影を行い, 線分上に障害物は存在しないと判断できる。以下同様に順に撮影を行っていくが, s_4, t_4 から s_6, t_6 の組み合わせの場合はカメラがお互いを認識できないので, 線分上に障害物が存在すると判断できる。 s_9, t_9 まで撮影を行うと, ステップ (5) より撮影を終了し, 初期推定フェーズを終了する。初期推定フェーズの処理を実行することで, 障害物の推定面積は s_3, s_7, t_3, t_7 の四点が頂点となる四角形の面積となる。

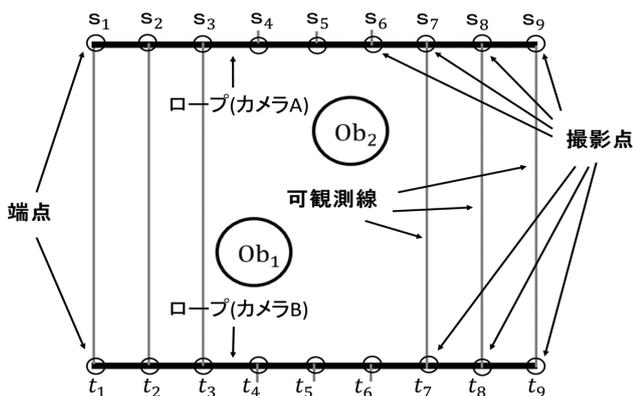


図 1: 初期推定フェーズのイメージ図

3.2 端点探索フェーズ

端点探索フェーズでは, 初期推定フェーズから障害物の推定面積を小さくし精度を上げることと, 初期推定フェーズで撮影を行った線路上に障害物が複数あった場合に推定面積を分けて判別できるようにすることが目的と

なる。初期推定フェーズで撮影を行った線路上に障害物が複数あった場合, 監視カメラ A の端点から監視カメラ B の撮影点をそれぞれ撮影することで障害物を分けて判別できるようにするのが目的の 1 つであり, 多くの場合で有用であるが必ずしも障害物を分けて判断できるというものではない。この端点探索フェーズでは, 以下の手順を踏む。

- (1) 監視カメラ A の撮影点をロープ上の一方の端点とする。
- (2) 監視カメラ B は (1) で決定した撮影点に最も近い端点の隣の点を撮影点とする。
- (3) (1), (2) の監視カメラ位置で撮影を行う。
- (4) 監視カメラ B は撮影をしていない隣の撮影点へ移動する。
- (5) 監視カメラ B の位置が端点の場合撮影を行う。端点でない場合 (3) へ戻る。
- (6) 監視カメラ A の撮影点を (1) でない方の端点を撮影点とする。
- (7) ステップ (2) から (5) を繰り返す。
- (8) 監視カメラ A と B の役割を入れ替え, ステップ (1) から (7) を繰り返す。

端点探索フェーズの処理実行の具体例を図 2, 図 3 を使って示す。図 2 と図 3 は, 初期推定フェーズの処理実行の具体例である図 1 に端点探索フェーズを適用した具体例である。図 2 と図 3 における処理実行の具体例を次に示す。

ステップ (1), (2), (3) よりカメラ A,B の撮影点を s_1, t_2 に定めて撮影する。この時カメラがお互い認識できるので, 線分 s_1t_2 上に障害物は存在しないと判断できる。次に, ステップ (4) より監視カメラ B の撮影点を t_2 から t_3 に変更する。ステップ (5) より t_3 は端点でないので撮影を行い, 線分 s_1t_3 上に障害物は存在しないと判断できる。以降, 同様に監視カメラ B は t_4 から t_9 まで順に撮影を行っていくが, t_5, t_6 の場合はカメラがお互いを認識できないので, s_1 との線分上に障害物が存在すると判断できる。これを t_9 まで撮影を行い, ステップ (5), (6) より監視カメラ A の撮影点を s_9 に固定する。ステップ (7) より同様に, 監視カメラ B が t_8 から t_1 を順に撮影すると, t_8 から t_3 までは s_9 との線分上に障害物が存在しないと判断でき, t_2 と t_1 は s_9 との線分上に障害物が存在すると判断できる。続いて, ステップ (8) より撮影点を s_2, t_1 に定め, 撮影点 t_1 を固定してカメラ A が

s_2 から s_9 まで順に撮影を行っていく。撮影点 s_9, t_1 の時のみ、既に撮影を行っているので撮影を行う必要はない。 s_2 から s_6 までは t_1 との線分上に障害物が存在しないと判断でき、 s_7 から s_9 までは t_1 との線分上に障害物が存在すると判断できる。ステップ (6) より撮影点を t_9 と s_8 に変更し、撮影点 t_9 を固定してカメラ A が s_8 から s_1 まで順に撮影を行っていく。撮影点 s_1, t_9 の時も、既に撮影を行っているので撮影を行う必要はない。これらから、 s_8 から s_6, s_3 から s_2 までは t_9 との線分上に障害物が存在しないと判断でき、 s_5 から s_4 までは t_9 との線分上に障害物が存在すると判断できる。ここでステップ (8) を終えたので、端点探索フェーズを終了する。最後に、障害物の推定面積は図 3 の灰色の太線で囲まれた部分となる。

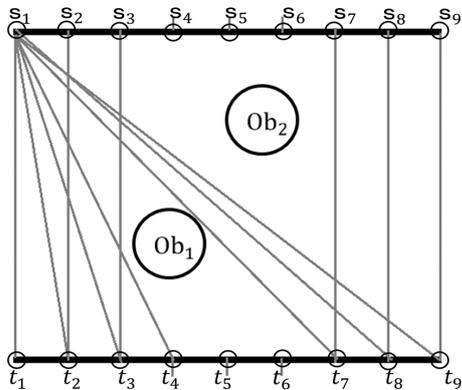


図 2: 端点探索フェーズの途中イメージ図

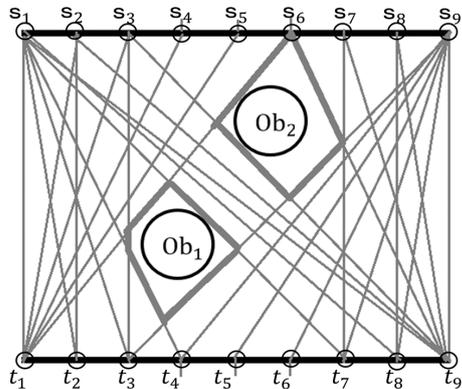


図 3: 端点探索フェーズの終了イメージ図

3.3 精度向上フェーズ

精度向上フェーズでは、端点探索フェーズから更に障害物の推定面積の精度を上げることを目的とする。このフェーズを終えると全探索の精度に近い推定面積になる。ここで 1 組の撮影点を線で結んだもののうち、カメラ同士認識できた線を可観測線と呼び、カメラ同士認識できなかった線を不可観測線と呼ぶ。不可観測線上の、

可観測線で囲まれた多角形の面積が障害物の推定面積となる。この精度向上フェーズでは、以下の手順を踏む。

- (1) 障害物 Ob_i の推定面積 E_i の多角形の辺を 1 つ選択する。
- (2) (1) で選んだ辺を構成する可観測線から、推定障害物位置の中心方向へ監視カメラ A を撮影点 1 つ分移動させる。A が既に端点で、移動不可能な場合は (4) へ飛ぶ。
- (3) (2) の監視カメラ位置で撮影し、可観測線なら推定面積とその多角形を更新し、その線を選んだ線として (2) へ戻る。不可観測線なら (4) へ行く。
- (4) 監視カメラ A を選択している線分の位置に戻す。監視カメラ B を (2) の A と同様に移動させる。B が既に端点で、移動不可能な場合は (6) へ飛ぶ。
- (5) (4) の監視カメラ位置で撮影し、可観測線なら推定面積とその多角形を更新し、その線分を選択している線分として (4) へ戻る。
- (6) 監視カメラ B を選択している線分の位置に戻す。監視カメラ A を推定障害物位置の中心方向へ 1 つ分移動させ、監視カメラ B を A と反対方向へ 1 つ分移動させる。A もしくは B が端点で、移動不可能な場合 (10) へ飛ぶ。
- (7) (6) の監視カメラ位置で撮影し、可観測線であり、障害物の推定範囲を狭めることが可能なら新たに多角形の辺の 1 つとし、多角形を更新する。
- (8) 監視カメラ B がさらに移動可能な場合、(6) と同じ方向へ 1 つ分移動させて (7) へ戻る。B が移動不可能な場合、(9) へ進む。
- (9) ステップ (6) から (8) を繰り返す。この時監視カメラ A, B の線分が、(1) で選択している障害物のいずれかの辺と重なったとき (10) へ飛ぶ。
- (10) 最後に選んでいた線を (1) の選択肢から除去し、(1) に戻る。多角形の辺を全て選択し終えていた場合、その障害物に対する処理を終了し、処理していない障害物にステップ (1) から (10) を適応する。全ての障害物に対して処理が終了したとき、精度向上フェーズを終了する。

精度向上フェーズの処理実行の具体例を図 4, 図 5 を使って示す。図 4 と図 5 は、初期推定フェーズの処理実行の具体例である図 1, 端点探索フェーズの処理実行の具体例である図 3 に精度向上フェーズを適用した具体例

である。図4と図5における処理実行の具体例を以下に示す。

初めに、ステップ(1)より障害物 Ob_1 の推定面積の1辺を構成する線分 s_3t_3 を選択する。ステップ(2), (3)より推定障害物位置の中心は選択した線分より右側にあるので、カメラAを s_3 から s_4 へ移動させ撮影する。この線分 s_4t_3 は不可観測線となるので撮影点を s_4 から s_3 へ戻す。ステップ(4), (5)よりカメラBを t_3 から t_4 へ移動させ撮影する。線分 s_3t_4 は不可観測線となるので撮影点を t_4 から t_3 へ戻す。次に、ステップ(6)より撮影点を s_4, t_2 に変更する。ステップ(7)より線分 s_4t_2 は可観測線であるが障害物 Ob_1 の推定範囲を狭めることは不可能なのでステップ(8)より撮影点を t_2 から t_1 に変更する。線分 s_4t_1 は端点探索フェーズで可観測線であると撮影済みなのでステップ(9)より撮影点を s_4 から s_5, t_2 から t_1 に変更する。線分 s_5t_2 が障害物 Ob_1 の推定範囲を狭めることが可能なので、この線分を用いて障害物 Ob_1 の推定面積と辺を更新する。線分 s_5t_1 は既に撮影済みであり、線分 s_6t_2 は不可観測線となる。ここで、線分 s_6t_1 は障害物 Ob_1 の1辺と重なるため、ステップ(9), (10)より線分 s_3t_3 をステップ(1)の選択肢から除去し、再び障害物 Ob_1 の辺を選ぶ。このようにして障害物 Ob_1 の他の辺も同様に調べていく。線分 s_1t_4 をステップ(2)から(10)まで適用すると、多角形の更新は行われず、ステップ(9)で線分 s_3t_3 に重なって処理が終了する。線分 s_9t_3 は線分 s_4t_5 で多角形を更新する。線分 s_1t_7 はステップ(6)でAが移動不可能になり処理が終了する。線分 s_6t_1 はステップ(6)でBが移動不可能になり処理が終了する。これで障害物 Ob_1 についての処理は終了したので、障害物 Ob_2 の辺について同様にステップ(1)から(10)まで適用する。障害物 Ob_2 の4辺に適用した結果、 s_6 と t_9 の線分は s_6 と t_8 の線分に更新され、 s_9 と t_3 の線分は s_7 と t_5 の線分に更新される。最後に、障害物の推定面積は図5の灰色の多角形となる。灰色の太線と多角形の辺に囲まれた部分は、精度向上フェーズで障害物の推定面積から障害物が存在しないと判断された範囲を示している。

4. まとめ

本稿では、ロープウェイ式害獣検知システムにおいて、2つで1組の監視カメラを互いに視認できるかどうかで簡易的に障害物位置を推定する手法を提案した。今後は、提案手法の初期推定フェーズ、端点探索フェーズ、精度向上フェーズの3つのフェーズでそれぞれの推定面積、推定面積と実際の面積の比、撮影回数をシミュレーション実験で具体的にデータを得たい。さらにそこで得られたデータを比較し、どの段階までが撮影回数が少な

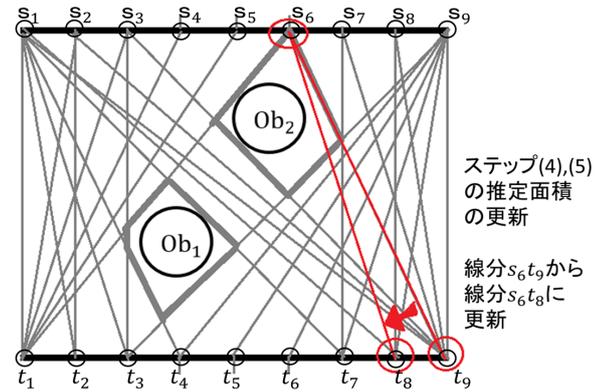


図4: 精度向上フェーズの途中イメージ図

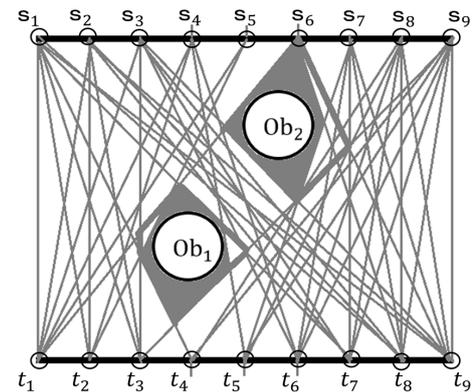


図5: 精度向上フェーズの終了イメージ図

くて満足できそうな推定精度になるかを評価したい。

参考文献

- [1] 農林水産省 鳥獣被害の現状と対策: 入手先 (<http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-15.pdf>)
- [2] 堀内史郎, 今井乃里子, 高柳和宜, 今井康仁: 野生ニホンザルが農山村住民に及ぼす生活被害の指標化: サルの出現率, 畑の被害レベル, 作物の総収穫件数の分析, ”J. of Naturalistae, No.3, pp.9-18, (2009).
- [3] 武山絵美, 九鬼康彰, 東口阿希子, 奥村啓史: 中山間水田農業地域における農地周辺バッファゾーンの空間特性と害獣対策, ”J of Rural Planning Association 30, pp.405-410, (2011).
- [4] 小倉広大, 勝間亮: “ロープウェイ式害獣検知システムにおけるロープの設置手法”, (2007).