

Tele-FingerRuler: 離れた対象の長さを 2 本の指で直感的に測るシステム

山田光一^{†1} 登山元気^{†1} 油井俊哉^{†1} 橋田朋子^{†1}

概要: 各種センサを組み込んだデバイスを用いて、人の身体サイズを超えるものや遠方にあるものの長さを簡易に計測する試みが多数行われている。一方で、デバイスを用いた計測では、直感性の低い操作により計測者が意図する対象を正確に捉えて測れないことや、計測対象が計測者から 10[m] 範囲内に存在する物体のみに限られることなどの課題も残されていた。そこで本研究では、離れた場所にある対象の長さを自分の指を使って直感的に計測するシステムを提案する。計測者は、3 つの距離センサが内包されたウェアラブル型の提案デバイスを装着し、片目で対象を確認しながら親指と人差し指を対象の両端に合わせるだけで様々な対象の長さを知ることができる。本稿では提案システムの詳細及び、計測精度の実験結果について報告する。

Tele-FingerRuler: Intuitive Measurement System with Two Fingers for the Length of Remote Objects

KOICHI YAMADA^{†1} GENKI TOYAMA^{†1} TOSHIYA YUI^{†1}
TOMOKO HASHIDA^{†1}

Abstract: Many attempts have been made to easily measure the length of distant objects and those that exceed human body size using devices embedded with various sensors. On the other hand, measuring devices present problems in which it is impossible for a measurer to accurately measure an intended target because of low intuitive operation; measured objects are typically limited to those within a range of 10 m from the measurer. Therefore, in this research we propose an intuitive measurement system that uses a finger to measure the length of a remote object. The measurer wears a wearable device containing three distance sensors and adjusts the thumb and the index finger to both ends of the object while checking with one eye to determine the length of various objects. In this paper, we report the details of the proposed system and the experimental results of measurement accuracy.

1. はじめに

人の身体サイズを超えるものや遠方にあるものの長さを測りたいという要望はいつの時代にも存在し、人は様々な工夫を行うことで対象の長さを求めてきた。例えば古典的な方法として仰角測定器などを用いたアナログな計測が挙げられるが、一人で瞬時に対象を計測することは難しかった。一方、近年では各種カメラ・センサを内包したスマートフォンやシースルー型スマートグラス・HMD などのデバイスを用いることで、離れた位置にある対象の長さを簡易に計測することも可能になっている。しかしそれらの多くは、計測対象の始点と終点を逐次的にタッチすることで長さを計測するため、タッチの間の手ぶれや視線のずれにより意図した対象を正確に指示にくい。さらに計測可能な範囲は計測者から最大 10[m] の範囲内にある対象のみに限定されるという課題もある。

このような背景を受け、筆者らは離れた対象の長さを正確かつ直感的に計測する仕組みが必要であると考えた。よ



図 1 提案システムでの測定の様子

Figure 1 System overview.

り具体的には、計測にディスプレイを介さず、かつ対象の両端を同時に捉えることで、離れた対象の長さを正確かつ直感的に計測する仕組みが望ましい。そこで筆者らは、2 本

^{†1} 早稲田大学
Waseda University

の指を対象の両端に合わせるような動作に着目した。この動作は、対象のおよその長さを知るために一般的に行われている。本研究では、計測者が離れた場所にある対象を片目で確認しながら、自分の親指と人差し指を対象の両端に合わせる直感的な動作をするだけで様々な物体の長さが測れる新たな計測システム Tele-FingerRuler を提案する。本システムは、3つの距離センサが内包されたウェアラブル型デバイスとして実現する。本稿では、提案システムの詳細及び、計測精度の実験結果について報告する。

2. 関連研究

2.1 身体を使い対象の長さや大きさを直感的に掴む研究

身体を使い対象の長さや大きさを直感的に掴む先行研究として、秋田らの CyARM [1] はユーザの腕の伸縮を利用し、障害物までの距離をユーザに伝えている。パーフェクトロンの“りんごってどれくらい？” [2] は体験者が思うりんごの大きさを手で表現すると、その大きさに近い球体がディスプレイに表示される作品である。しかし、これらは数値として対象の長さや大きさを数値として知ることができない。それに対して本研究は、対象の長さを数値として知ることができるので、設計や記録など多くの用途に Tele-FingerRuler を使用できる。

2.2 デバイスを用いて対象の長さを計測する研究

デバイスを用いて対象の長さを計測する先行研究として伊藤ら [3] は、スマートフォンを用いて樹高を測るソフトウェアを開発している。スマートフォンを傾けることで遠隔から樹高を計測できるが、事前に計測者から樹木までの水平距離を測っておく必要がある。本研究では水平距離の事前計測は必要なく、遠方にある対象の長さを瞬時に測れる点が異なる。また、デバイス越しにある計測対象に対して計測結果を画面に重畳させるものとして、HoloPlanner [4] や AirMeasure [5] などが挙げられる。しかし、これらは 10[m] 以上先にある対象の長さを測ることはできない。それに対して、本研究は 2 倍程度遠くまで対象の長さを計測できる。

3. Tele-FingerRuler の提案と概要

本研究で提案するシステム Tele-FingerRuler は、計測者の親指と人差し指を遠方にある対象の両端に合わせることで、その長さを直感的に計測するウェアラブル型デバイスである。計測の原理を図 2 に示す。計測したい対象の長さ x [m] は、計測者の指から対象までの距離（以下 object 距離） o [m]・計測者と指の距離（以下 arm 距離 a [m]・親指と人差し指の開きの長さ（以下 finger 距離 f [m]）の 3 つの変数から式 (1) を用いて算出できる。そこで提案システムでは 3 つの距離センサを用いて、 o, a, f の 3 つの変数をそれぞれ計測する。

$$x : f = (a + o) : a \quad (1)$$

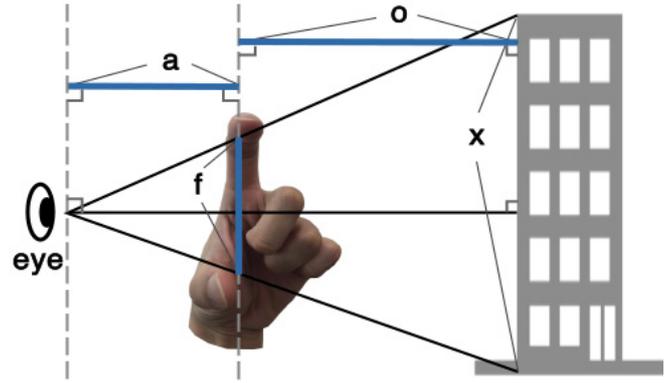


図 2 計測の原理

Figure 2 Measurement theory.

4. 実装

4.1 システム構成

Tele-FingerRuler のハードウェア全体を図 4 に示す。Tele-FingerRuler は、Arduino Micro・3つの距離センサ（object 距離センサ・arm 距離センサ・finger 距離センサ）・加速度センサ及びジャイロセンサ (LSM9DS1)・7 セグメント LED (COM-09765) から構成される。

距離センサの選定

提案システムで計測する 3 つの距離 o, a, f は計測範囲がそれぞれ異なるため、適切な距離センサを選定する必要がある。object 距離 o は対象までの水平距離を計測するため、可能な限り広い計測範囲が求められる。したがって、0[m] から 40[m] まで測れる LIDAR-Lite v3 を採用した。arm 距離 a は計測者の腕の長さまでの範囲を、finger 距離 f は親指と人差し指の開きの限界の長さまでの範囲を正確に測れるセンサが求められる。したがって、3[cm] から 50[cm] まで測れる GP2Y0E02A を採用した。

対象の長さ x の算出アルゴリズム

図 2 より object 距離センサが計測する値は対象までの水平距離でなければならないが、人為的な計測においては必ずしも水平とはならない。したがって、計測値を補正する必要がある。図 3 に誤差の原因となる水平からの角度 θ [deg]、object 距離 o 、補正值 o' [m] を示す。3 つの値の関係は式 (2) のように表せる。

$$o' = o \cos \theta \quad (2)$$

本システムでは、より高精度の値を入手するために、加速度センサとジャイロセンサが一体となった LSM9DS1 を用いて角度 θ を求め、object 距離 o の値を補正する。対象の長さ x を算出する際はこの補正值 o' を用いる。

また、計測者の 2 本の指による直感的な計測を実現するため、本システムでは計測判定を用いて計測者が対象の両端に親指と人差し指を合わせたかどうかを判断する。計測判定には LSM9DS1 のジャイロセンサを用いる。3 つの距

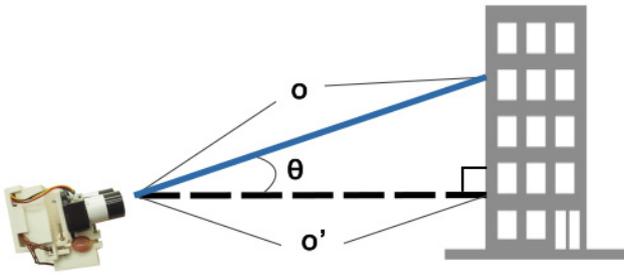


図 3 object 距離 o の補正

Figure 3 Correction of object distance o .

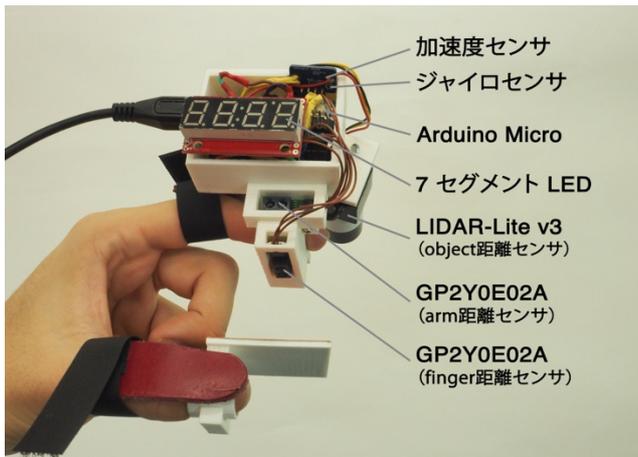


図 4 ハードウェア全体

Figure 4 System configuration.

離センサがそれぞれ距離を取得できており、ジャイロセンサが一定値以下である状態が 2[sec]続いたとき、計測判定が真になったと判断し、式(1)より対象の長さ x を算出する。7セグメント LED には、単位が[cm]に変換された対象の長さ x の整数部分が表示される。

4.2 動作確認

図 4 のように本システムを計測者の左手の親指と人差し指に装着する。その状態で離れた場所にある対象を片目で確認しながら、システムを装着した親指と人差し指を対象の両端に合わせ、計測判定が真になった後、対象の長さ x を求めることができる。

5. 実験

本システムによる計測精度を検証する実験を行った。本システムは 3つの距離センサが取得した値から対象の長さ x を算出しているため、それぞれ 3つの距離センサに対して精度を検証する実験を行った。検証の際に他の 2つの値は固定した。実験結果を報告する。

5.1 補正值 o' の計測精度の検証実験

まず、object 距離センサと LSM9DS1 の加速度センサを用いて、補正值 o' の計測精度を検証した。補正值 o' の定義

域は $1.00 \leq o' \leq 20.0$ [m]とした。 $o' > 20.0$ の範囲では値が安定しないため定義域から除外した。 arm 距離 a と finger 距離 f はそれぞれ 0.200, 0.0300 に固定した。補正值 o' を 1.00 ずつ大きくし、合計 20 箇所を対象の長さ x を 5 回ずつ計測した。各箇所での計測結果の平均値を算出し、対象の長さ x の理論値との誤差を確認した。

図 5 に補正值 o' と対象の長さ x の関係を示す。計測した範囲内全ての補正值 o' において、平均値と理論値の誤差が 4.00[%]未満となった。また 15 箇所の地点において誤差は 1.00[%]未満となった。

5.2 arm 距離 a の計測精度の検証実験

次に arm 距離センサを用いて、arm 距離 a の計測精度を検証した。arm 距離 a は計測者の腕の長さ上限となるため定義域を $0.0500 \leq a \leq 0.500$ [m]とした。 $a < 0.0500$ の範囲においては顔と指が近すぎることで視野に指が収まらないため定義域から除外した。補正值 o' と finger 距離 f はそれぞれ 5.00, 0.0300 に固定した。arm 距離 a を 0.0500 ずつ大きくし、合計 10 箇所を対象の長さ x を 5 回ずつ計測した。各箇所での計測結果の平均値を算出し、対象の長さ x の理論値との誤差を確認した。

図 6 に arm 距離 a と対象の長さ x の関係を示す。計測した範囲内全ての arm 距離 a において、平均値と理論値の誤差が 5.00[%]未満となった。また 7 箇所の地点において誤差は 2.00[%]未満となった。

5.3 finger 距離 f の計測精度の検証実験

最後に finger 距離センサを用いて、finger 距離 f の計測精度を検証した。センサの計測範囲と指の開きの限界を考慮し、finger 距離 f の定義域を $0.0300 \leq f \leq 0.0800$ [m]とした。補正值 o' と arm 距離 a はそれぞれ 5.00, 0.200 に固定した。finger 距離 f を 0.0100 ずつ大きくし、合計 6 箇所を対象の長さ x を 5 回ずつ計測した。各箇所での計測結果の平均値を算出し、対象の長さ x の理論値との誤差を確認した。

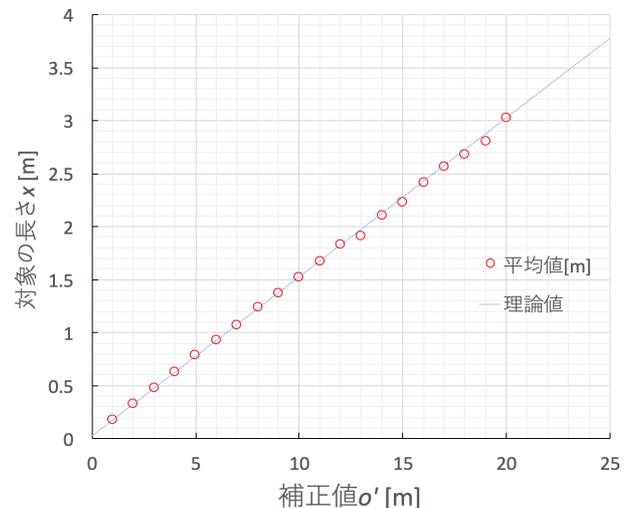


図 5 補正值 o' と対象の長さ x の関係

Figure 5 Relation between correction value o' and length x .

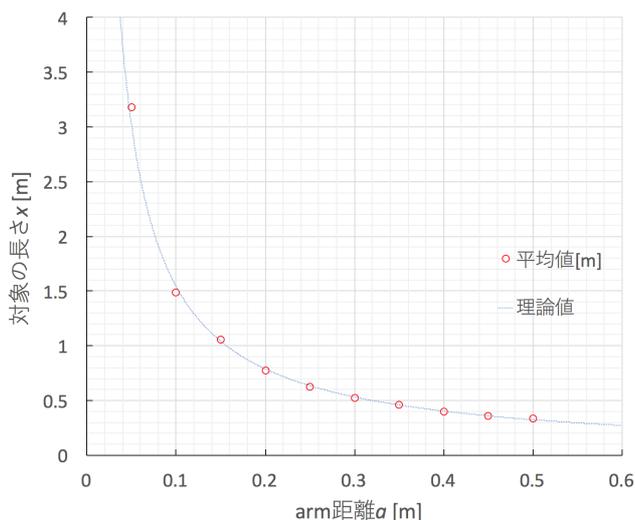


図 6 arm 距離 a と対象の長さ x の関係

Figure 6 Relation between arm distance a and length x .

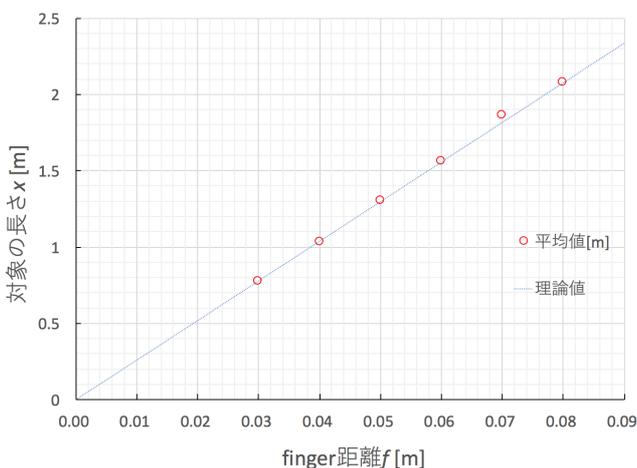


図 7 finger 距離 f と対象の長さ x の関係

Figure 7 Relation between finger distance f and length x .

図 7 に finger 距離 f と対象の長さ x の関係を示す。計測した範囲内全ての finger 距離 f において、平均値と理論値の誤差が 3.00[%]未満となった。また 5 箇所地点において誤差は 1.00[%]未満となった。

6. アプリケーション

本システムを用いたアプリケーションとして、実物がなくても長さが既知であれば別の対象と長さを比較できる“比較物指し”と、対象の瞬間の長さが測れる“瞬間物指し”の 2 つを提案する。

6.1 比較物指し

比較物指しを用いることで、実物がその場になくてもその長さが既知であれば、計測者の 2 本の指の開きから別の



図 7 比較物指し

Figure 7 Comparison Measure.

対象と長さを比較することができる。本システムに計測結果を常に表示しておく機能を追加する。これにより補正値 o' と arm 距離 a を固定したまま finger 距離 f を変えることで、その都度 7 セグメント LED に表示される値が変わるようになる。したがって、7 セグメント LED に表示される値が既知の長さになるように指の開きを合わせることで、計測対象がその場に存在せずとも別の対象と長さを比較できる。図 7 に比較物指しの利用例を示す。例えば、家の机の上にある本がオフィスの棚に収納できるかどうかを、オフィスにその本がなくても知ることができる。

6.2 瞬間物指し

本システムにスイッチを搭載することで、スイッチを押した瞬間の対象の長さを測ることが可能になる。各種カメラ・センサを内包した従来のデバイスでは、始点と終点を同時に合わせて測ることができないため、動いている物体やすぐに消えてしまうものなどの長さを測ることができない。Tele-FingerRuler は瞬間物指しを用いることで、計測者がスイッチを押したタイミングにおける対象の長さを測ることができる。図 8 に瞬間物指しの利用例を示す。例えば、動いている電車の高さを電車から離れた位置から測ることができる。



図 8 瞬間物指し

Figure 8 Moment Measure.

7. まとめと今後の展望

本稿では、離れた場所にある対象の長さを2本の指を用いて直感的に計測するシステムである Tele-FingerRuler を提案した。Tele-FingerRuler は3つの距離センサを内包し、それらを用いて取得した3つの値より離れた位置にある対象の長さを算出する。また、本システムを用いて離れた位置にある対象の長さの計測精度を検証する実験を行った。実験結果から各センサの計測誤差は5[%]未満であったことがわかった。更に、本システムのアプリケーションとして比較物指しと瞬間物指しを提案した。

今後の展望としてまず、精度の向上が挙げられる。arm 距離 a や finger 距離 f も補正を行うことで更に良い精度の計測が期待できる。次に、システムの小型化が挙げられる。アクセサリとして身につけることに抵抗がなくなる程度の大きさになれば、多くの人が様々な場面で手軽に本システムを使うようになるかもしれない。また、計測対象に対して斜めから見た際にも対象の長さを測れる機能を実装することで、計測可能な場面を増やすことができる。更に、計測者の指の開きを制御するアクチュエータを搭載することで、デバイス側から計測者に特定の長さを提示する機能を追加することも検討する。

参考文献

- [1] J Akita, T Komatsu, K Ito, T Ono, and M Okamoto, "CyARM: Haptic Sensing Device for Spatial Localization on Basis of Exploration by Arms", Advances in Human-Computer Interaction (HCI'09), Article ID 901707, 6pages.
- [2] “りんごってどれくらい?”. https://www.japandesign.ne.jp/report/150225_measuring.html, (参照 2017-12-18).
- [3] 伊藤拓弥, 榮澤純二, 矢野宣和, 松英恵吾, 内藤健司. 高機能携帯電話端末における樹高測定ソフトウェアの開発. 日本森林学会誌. 2010, vol. 92, no. 4, p. 221-225.
- [4] “HoloPlanner”. <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/holoplanner/9nblggh4spf1>, (参照 2017-12-18).
- [5] “AirMeasure”. <https://itunes.apple.com/us/app/airmeasure-ar/id1251282152?ls=1&mt=8&ct=air-measure.com>, (参照 2017-12-18).