

類似画像検索とSLAMによる協調的位置推定システムの性能評価

山崎 康平[†] 穴戸 英彦^{††} 北原 格^{†††} 亀田 能成^{†††}

[†] 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{††} 筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{†††} 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]yamasaki.kohei@image.iit.tsukuba.ac.jp, ^{††}shishido@ccs.tsukuba.ac.jp,

^{†††}{kitahara,kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 歩行者ナビゲーションシステムには自己位置推定が必要であり、頑健性の高い手法が求められる。我々はカメラのみを用いた頑健性の高い位置推定手法として類似画像検索とSLAMを組み合わせて自己位置推定を行う方法を提案している。この2手法はカメラから得られる情報を元に位置推定を行う。2手法にカメラからの映像を同時入力させることで同時実行が可能である。2手法を別々の計算機資源で実行すると効率が向上できる。我々は2手法を別々の計算機資源上で実行する協調的位置推定システムを実現した。本稿では類似画像検索とSLAMによる協調的位置推定システムの性能を評価する。

キーワード 自己位置推定, 視覚障がい者, ナビゲーション, RealSense, 負荷分散, ZeroMQ

1. はじめに

私たちは視覚障がい者を対象とした歩行者ナビゲーションシステムの研究に取り組んできた。視覚障がい者が歩行したい範囲で利用場所を問わないナビゲーションには頑健性の高い自己位置推定手法が必要となる。本稿における頑健性とは歩行者ナビゲーションシステムにおいて歩行者の位置推定情報を継続的に取得できることである。自己位置推定手法の一つにはGPSが挙げられるが、GPSでは屋内や地下といった場所では利用できない場合がある。屋内や地下といった場所でも利用できる自己位置推定手法にRFID(Radio Frequency Identifier)タグ[1]やWi-Fi[2]の信号強度を用いたものがある。これらは電波の届く範囲内でのみ自己位置推定の頑健性が保証される。

類似画像検索とSLAMは位置推定の誤りが小さくどちらも信頼性の高い位置推定手法である。2手法は位置推定を行う方法が異なる。利用場所を問わないカメラのみを用いた頑健性の高い自己位置推定手法として2手法を組み合わせた手法を提案している[3]。提案している手法では使用するセンサを単一のカメラに限定する。カメラから得られる情報を元に類似画像検索とSLAMの2手法を実行する。2手法を別々の計算機資源上で実行すると効率が向上できる。図1にその概観を示す。類似画像検索、SLAMの2手法を別々の計算機資源上で実行する協調的位置推定システムを考案した[4]。

協調的位置推定システムで利用する類似画像検索、SLAMはどちらも負荷が高い手法である。別々の計算機資源上で処理を行う類似画像検索、SLAMによる協調的位置推定システムが実現可能であるか確認する。協調的位置推定システム実行結果が

ら類似画像検索類似画像検索、SLAMの2手法の位置推定情報取得フレーム数、類似画像検索のクエリ-リターンフレーム番号について分析を行う。システム実行中に利用する計算機資源(CPU使用率、メモリ使用量、メモリ使用率、データ送受信量)のログデータを記録する。本稿ではこれらの情報を用いて類似画像検索とSLAMによる協調的位置推定システムの性能を評価する。

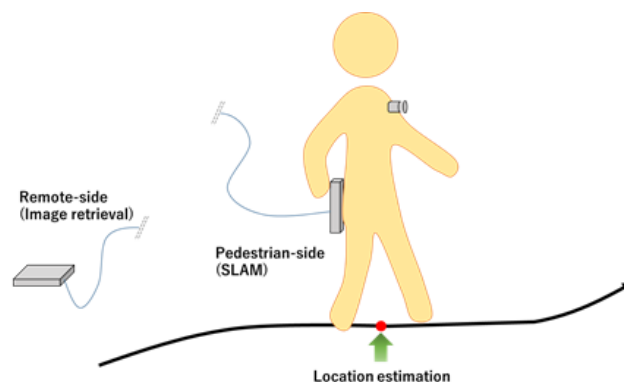


図 1: システム概観

2. 関連研究

カメラを用いる Visual SLAM [5] は撮影された映像から画像特徴量などの情報をもとに、カメラの位置姿勢推定と地図作成を同時に行う。SLAMの処理を複数の計算機資源に分散することで位置姿勢推定精度、地図作成精度を向上する研究がすすめられている。例としてロボットを複数台利用したSLAMの負

荷分散システムを提案している研究がある [6]. この研究では複数台のロボットで対象環境の撮影を同時に行う. 複数台のロボットで処理タスクを共有することで負荷分散を行っている. こうした手法は, 歩行者が利用するウェアラブルな計算機資源以外にも同じく対象環境を撮影する計算機資源を用意することでシステムを実現している.

3. 自己位置推定手法

3.1 類似画像検索

類似画像検索による位置推定は釜坂らの手法 [7] と同様の手法を用いる. 図 2(a) に事前撮影の概要を示す. 類似画像検索は事前撮影映像を数フレームごとに分割し参照画像とする. 参照画像の特徴量キーをデータベースに登録する. 図 2(b) に位置推定実行時の概要を示す. 位置推定実行時には事前撮影と同じ経路を歩行する. 歩行時にカメラから得られる映像フレームの特徴量キーを検出する. 映像フレームの特徴量キーとデータベースに保存されている参照画像の特徴量キーの一致率から参照画像を選択することで位置推定を行う.

3.2 SLAM

カメラを用いる Visual SLAM は撮影された映像から画像特徴量の情報などをもとにカメラの位置姿勢推定と撮影環境の 3 次元地図作成を同時に行う. 本稿ではカメラデバイスとして Intel®RealSense™Camera ZR300 [8] を用いる. 図 3 に ZR300 で利用できる RealSense SLAM のデータフローを示す. ZR300 には可視光カメラ, 魚眼カメラ, デプスカメラ, 加速度計, ジャイロスコープが搭載されている. RealSense SLAM ではこれらのセンサから取得できる情報を用いて位置推定を行う.

SLAM data flow

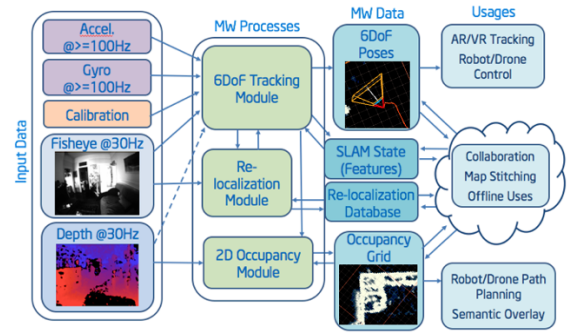


図 3: RealSense SLAM データフロー [9]

4. 負荷分散システム

類似画像検索と SLAM の 2 手法を別々の計算機資源上で実行することで負荷分散を行う. 類似画像検索を実行する計算機資源をリモート計算機資源, SLAM を実行する計算機資源をウェアラブル計算機資源とする. 各計算機資源のプロセスとデータ送受信の順序について図 4 に示す. 2 つの計算機資源間のデータ送受信はネットワークを介して行う. データ送受信には ZeroMQ [10] というライブラリを利用する. 類似画像検索を実行するためには可視光カメラから取得されるグレースケール画像が必要となる. SLAM を実行するウェアラブル計算機資源上で ZR300 の可視光カメラから取得される画像をリモート計算機資源に送信する. リモート計算機資源は画像を受け取り, 類似画像検索を実行する.

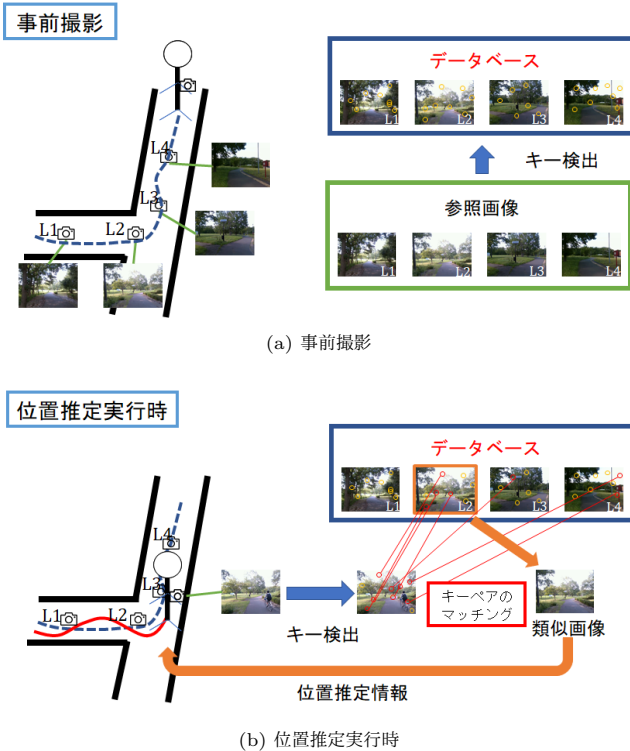


図 2: 類似画像検索

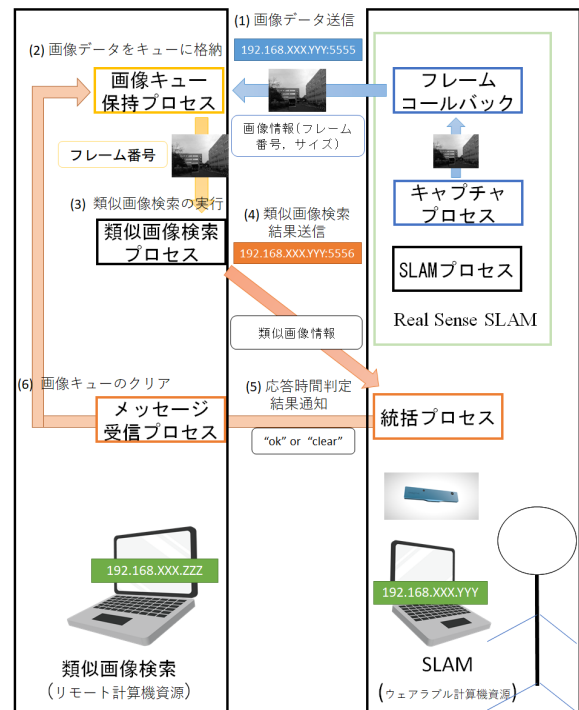


図 4: 負荷分散システム

図4に示した各プロセスフローについて説明する。

(1) 画像データ送信

RealSense SLAM ライブラリで動作する SLAM プロセスでは処理実行時にコールバックが呼ばれる。このコールバック内で RealSense SLAM のキャプチャプロセスで取得した可視光カメラの画像を取得する。ウェアラブル計算機資源のコールバックからリモート計算機資源の画像キュー保持プロセスに「画像のピクセルデータ」、「フレーム番号」、「画像タイプ(グレースケール)」、「画像サイズ(縦, 横)」を送信する。

(2) 画像データをキューに格納

(1)でフレームコールバックから送信されたデータを受信し、「画像のピクセルデータ」、「フレーム番号」をキューに格納する。画像サイズの情報は画像のピクセルデータに異常がないか判断するために利用する。

(3) 類似画像検索の実行

キューに格納されている画像データとフレーム番号を取り出し類似画像検索を実行する。

(4) 類似画像検索 結果送信

類似画像検索を実行した結果、第一位となった参照画像の情報を類似画像検索プロセスから統括プロセスに送信する。

(5) 応答時間判定 結果通知

統括プロセスにおいて計測した(1)から(4)までに要した時間が一定時間以内であれば“ok”(類似画像検索をそのまま統括プロセスからメッセージ受信プロセスに送信する。

(6) 画像キュークリア

メッセージ受信プロセスが統括プロセスから“clear”を受け取っていた場合画像キューをクリアする。

5. 実験

4.節で述べた負荷分散システムを用いた類似画像検索と SLAM による協調的位置推定システムを利用して実験を行った。オフライン環境での類似画像検索実行、リアルタイム環境での協調的位置推定システム実行の2つの実験を行った。実験では、類似画像検索・SLAM の2手法の位置推定情報取得フレーム数、利用する計算機資源(CPU 使用率、メモリ使用量、メモリ使用率、データ送受信量)のログデータを記録する。実験結果から類似画像検索のクエリ-リターンフレーム番号について分析を行う。

5.1 実験環境

利用する計算機資源のスペックを表1に、画像を図5に示す。図5左がリモート計算機資源にあたる Surface Pro、右が

ウェアラブル計算機資源にあたる iiyama STYLE である。また、計算機資源間を 100BASE-TX の有線で接続して通信に利用した。

表 1: 実験に使用した計算機資源

計算機資源名	CPU	RAM	OS
Surface Pro	Corei7-6550U	16GB	Windows 10 64bit
iiyama STYLE	Corei7-8550U	16GB	Ubuntu 16.04



図 5: 実験環境 計算機資源

検証を行う前に類似画像検索で利用するデータベース用の経路の事前撮影映像が必要となる。事前撮影映像は 2019 年 8 月 7 日 16 時 21 分に筑波大学構内にて撮影を行った。撮影経路を図6に示す。経路の一部を図7に示す。撮影した映像の合計フレームは 13692 フレーム、経路長は約 500m である。事前撮影映像は Intel®RealSense™Camera ZR300 に搭載されている可視光カメラを用いて画像サイズ 640 × 480[pixel]、フレームレート 30[fps] で撮影を行った。撮影した映像をもとに画像特徴量 SURF を利用し 1 秒あたり 5 枚のフレームを参照画像候補として類似画像検索用のデータベースを作成した。なおデータベース用の画像は元の画像サイズを縦横それぞれを 1/2 に (320 × 240[pixel]) にリサイズした画像を使用している。

図4に示した負荷分散システムにおける(1),(4),(5)で送受信されるデータ量を示す。

(1) 画像データ送信

グレースケール画像ピクセルデータ : $320 \times 240 \times 1[\text{bytes}] = 76800[\text{bytes}] = 75[\text{kB}]$

画像情報(サイズ, 画像タイプ, フレーム番号) : $4 \times 4[\text{bytes}] = 16[\text{bytes}]$

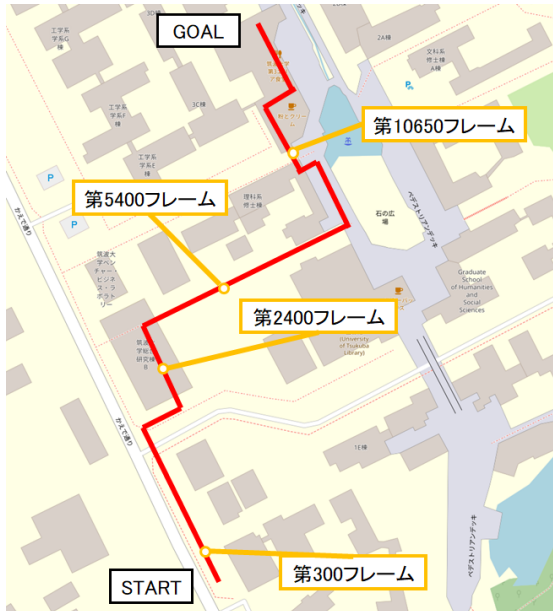
(4) 類似画像検索 結果送信

類似画像検索による位置推定結果 : 約 40[bytes]

(5) 応答時間判定 結果通知

類似画像検索 結果送信に対する reply : “ok”(2[bytes]) or “clear”(5[bytes])

実際に位置推定の検証を行った日時は 2019 年 8 月 29 日 16 時 27 分である。この検証にて撮影された映像の長さは 14744 フレームである。



Map data © OpenStreetMap contributors

図 6: 撮影経路



(a) 第 300 フレーム

(b) 第 2400 フレーム

(c) 第 5400 フレーム

(d) 第 10650 フレーム

図 7: 撮影映像

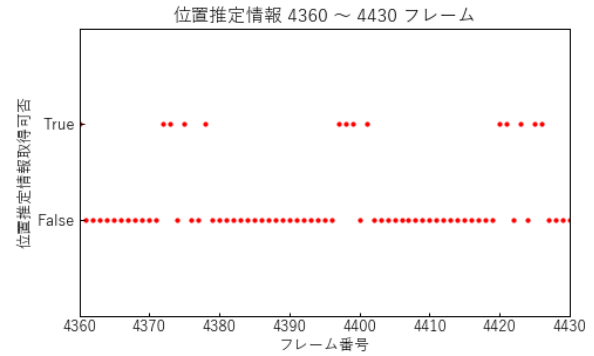
5.2 実験結果

5.2.1 オフライン環境での類似画像検索実行

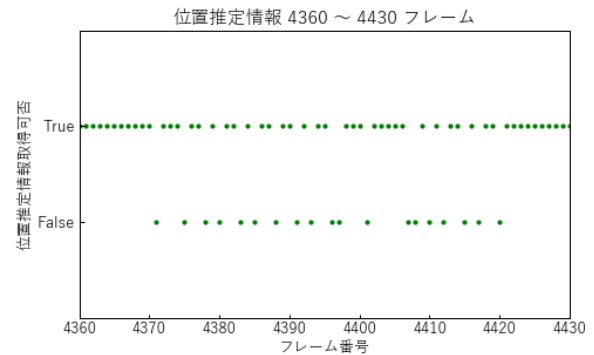
位置推定の検証を行った日時 (2019 年 8 月 29 日 16 時 27 分) の映像を用いて, ウェアラブル計算機資源を用いずオフライン環境で類似画像検索のみを実行した. 位置推定情報がどれだけ取得可能であるか検証を行った. ウェアラブル計算機資源を用いた場合の結果, SLAM のみの結果と併せて表 2 に示す. 5.1 節の類似画像検索のみの結果をオンライン, ウェアラブル計算機資源を用いず動画に対して類似画像検索を実行した場合の実験をオフラインとしている. オフラインでは動画の全フレームに対して類似画像検索を実行している.

5.1 節の実験では, 類似画像検索と SLAM と併せた場合の位置推定情報取得フレーム数が SLAM のみの場合よりも 14600

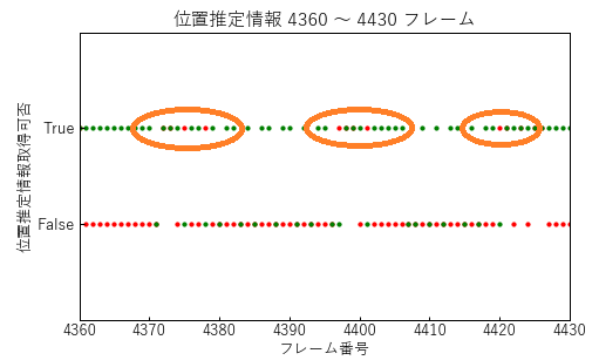
フレームから 14607 フレームと 7 フレームの向上となった. 表 2 よりすべてのフレームに対して類似画像検索を実行することができれば位置推定情報取得フレーム数のさらなる増加が期待できる.



(a) 類似画像検索



(b) SLAM

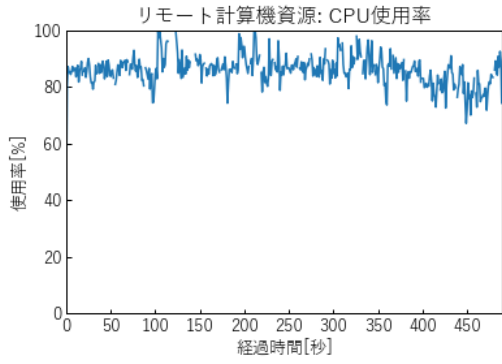


(c) 類似画像検索 + SLAM

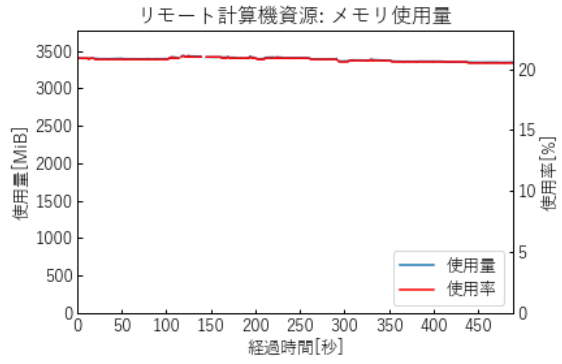
図 8: 位置推定情報 4360~4430 フレーム

表 2: 位置推定情報取得フレーム数

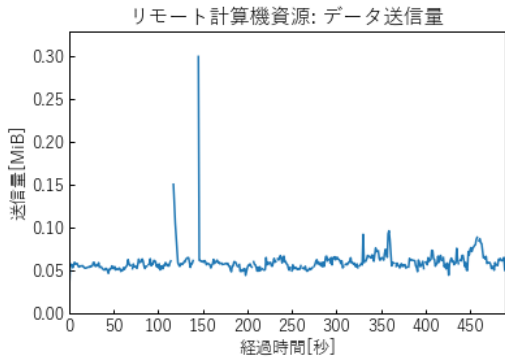
	オンライン	オフライン	SLAM
取得フレーム数	4470	(14744)	14744
推定可能フレーム数	2972	10523	14600
位置推定情報取得フレーム数 (+SLAM)	14607	14663	/



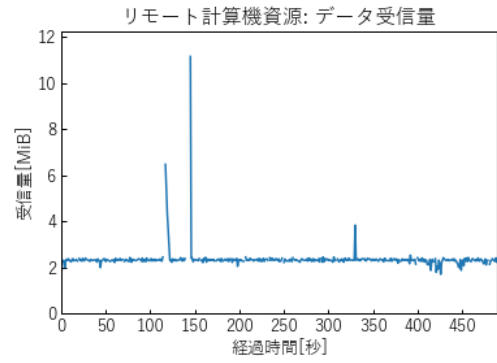
(a) CPU 使用率



(b) メモリ使用率

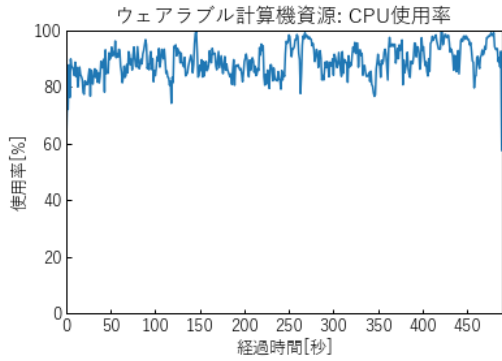


(c) データ送信量

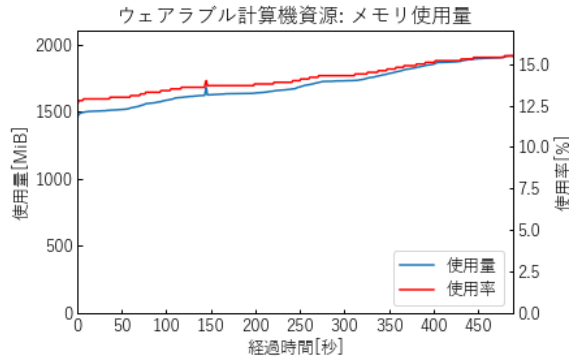


(d) データ受信量

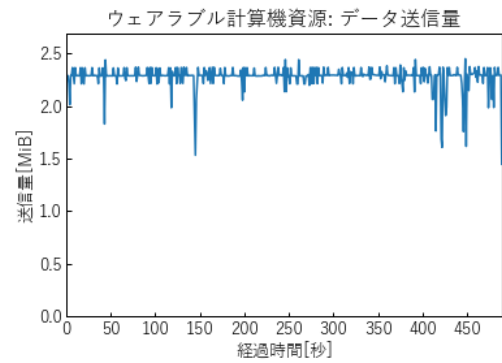
図 9: リモート計算機資源 ログデータ



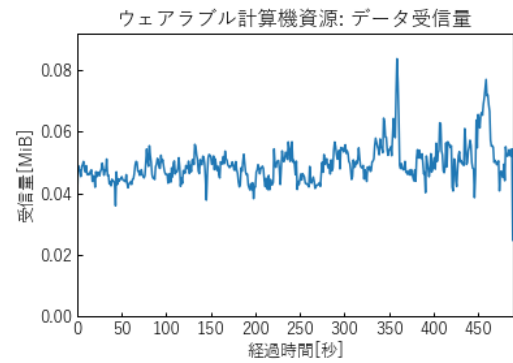
(a) CPU 使用率



(b) メモリ使用率



(c) データ送信量



(d) データ受信量

図 10: ウェアラブル計算機資源 ログデータ

5.2.2 リアルタイム環境での協調的位置推定システム実行実験時のリモート計算機資源, ウェアラブル計算機資源のログデータ結果を図9, 図10に示す.

図9(a), 図10(a)から類似画像検索, SLAMの処理は開始から終了までCPU使用率がほぼ90%から100%に収まっていることがわかる. 計算機資源を2つに分割しても高いCPU使用率である. 事前調査においてRealSense SLAMでは別の処理によってCPU使用が妨げられてしまうと処理速度の低下やプログラムの異常終了といった問題が見られることが分かっている. 計算機資源を分割することによってこのような問題が起きることを避けつつ2手法の情報を扱うことができる.

図9(b), 図10(b)から類似画像検索, SLAMどちらの処理においても現行の環境ではメモリ使用量は問題はないと考えられる. ウェアラブル計算機資源では時間変化に伴ってメモリ使用量が少しずつ増えている. これはRealSense SLAMの処理過程で占有率マップを作成しているためであると考えられる. しかし, 今回の実験時間が約8分であり実際の想定時間が15分程度であることを考慮してもメモリ不足に陥る可能性は低いと考えられる.

図9(c)と図10(d), 図9(d)と図10(c)はそれぞれ計算機資源間の画像データ, 類似画像検索結果の送信量, 受信量である. 図9(c), (d)では経過時間150[秒]付近で送信量, 受信量が極端に増えている箇所がある. 極端に送信量, 受信量が増えている箇所の前の数秒間, データが記録できていなかった. 前記録点との送信量, 受信量の差分を取った時に記録できていなかった間の送信量, 送信量も含んでしまったことで極端に増えている. 送信量, 受信量が増えている箇所を除けばリモート計算機資源とウェアラブル計算機資源のデータ送信量, 受信量はほとんど同じである.

次に, 類似画像検索において位置推定情報のクエリフレーム番号(位置推定検証時のフレーム番号)とリターンフレーム番号(類似画像のフレーム番号)の関係を図11に示す. 類似画像検索では事前撮影と位置推定実行時で同じ経路を歩行する. 歩行速度が一定の場合はクエリフレーム番号に対するリターンフレーム番号が一定間隔となることが理想である. 今回の結果では1200フレーム付近, 7000フレーム付近では誤っている結果を返していると考えられるが他の地点ではおおむね正しい結果が取得できている.

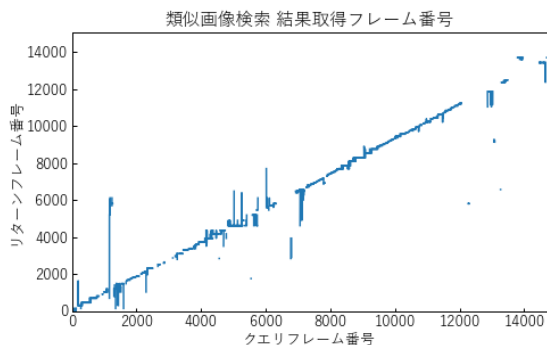


図 11: 類似画像検索 クエリ-リターンフレーム番号

4360 フレームから 4430 フレームまでの位置推定情報取得可否を表したグラフを図8に示す. 図8(c)において丸で囲っている箇所は類似画像検索の位置推定結果によって補間ができていないフレームを示している. SLAMにおいて位置推定情報が取得できなかったフレームでも, 類似画像検索によって位置推定情報が取得できている.

6. おわりに

本稿では, 類似画像検索類似画像検索, SLAMの2手法の位置推定情報取得フレーム数から協調的位置推定が行われているか確認した. 類似画像検索とSLAMを組み合わせて協調的位置推定を行うシステムについて計算機資源のログデータ, 位置推定情報の結果をもとに性能評価を行った. 評価の結果, 計算機資源(CPU使用率, メモリ使用量, メモリ使用率, データ送受信量)のログデータ, 類似画像検索のクエリ-リターンフレーム番号から協調的位置推定システムが目的としていた動作をしていることを確認した.

本研究の一部は科研費17H01773と18H03480の助成を受けた. ここに謝意を表す

文 献

- [1] Hahnel D., Burgard W., Fox D., Fishkin K., Philipose M., "Mapping and Localization with RFID Technology", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1015-1020, 2004.
- [2] Biswas J., Veloso M. M., "WiFi Localization and Navigation for Autonomous Indoor Mobile Robots", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4379-4384, 2010
- [3] 山崎康平, 宍戸英彦, 北原格, 亀田能成, "類似画像検索とSLAMの同時利用による歩行者位置推定の頑健性向上", 電子情報通信学会技術研究報告, vol.118, no.404, pp.1-4, 2019
- [4] 山崎康平, 宍戸英彦, 北原格, 亀田能成, "類似画像検索とSLAMの協調的位置推定における負荷分散システム", 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), vol.77, no.30, pp.1-5, 2019
- [5] Hugh D.W., Tim B., "Simultaneous localization and mapping: part 1", IEEE Robotics and Automation Society, vol.13, no.2, pp.99-110, 2006
- [6] Gouveia B, Portugal D, Silva D, Marques L, "Computation Sharing in Distributed Robotic Systems: A Case Study on SLAM", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol.12, no.2, pp.410-422, 2015
- [7] Kazuho Kamasaka, Itaru Kitahara, yoshinari Kameda: "Image Based Location Estimation for Walking Out of Visual Impaired Person," Studies in health technology and informatics, vol.2017, no.242, pp.709-716, 2017.
- [8] "Intel®RealSense™Camera ZR300 | Intel®Software", Intel®Software Developer Zone, <https://software.intel.com/en-us/realsense/zr300>
- [9] "Intel®RealSense™for Linux - SLAM Library: Developers Guide", Intel®RealSense™for Linux - SLAM Library, https://software.intel.com/sites/products/realsense/slam/developer_guide.html
- [10] "Distributed Messaging - zeromq", <http://zeromq.org/>