

ブロックチェーン技術を用いた 占有グリッドマップの分散サービス化

渡辺 陽介†

† 名古屋大学未来社会創造機構

〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: †watanabe@coi.nagoya-u.ac.jp

あらまし 近年、自動運転車やドローン等、公共空間を移動するロボットが登場し、移動ロボット同士の情報共有の重要性が増している。占有グリッドマップは、センサを使って検知した空間の占有/非占有の状態を扱うためのデータ表現であり、移動ロボット制御の分野では広く用いられている。局所的な空間での運用に限れば、複数の移動ロボットがお互いに占有グリッドマップの情報を共有する事例は数多く存在する。しかし、異なる組織に属する移動ロボットが、広域な公共空間において占有グリッドマップ情報を共有することは行われていない。理由として、応答性やスケラビリティ、セキュリティなどの技術的な課題も当然あるが、広域の公共空間で発生した情報の管理者に誰になるべきなのかがはっきりしない点、情報の管理者へのインセンティブがない点も重要な問題として挙げられる。そこで本研究では、仮想通貨の基盤技術で知られるブロックチェーン技術を用いて、特定の管理者に依存しない公共空間の占有グリッドマップ情報の共有システムの枠組みを提案する。提案方式では、占有グリッドマップの各セルの最新状況をアップロードする情報提供者、占有グリッドマップの共有に貢献する情報仲介者に対して、それぞれインセンティブを与える。本研究では、大規模な占有グリッドマップ構築に向けて、技術的な知見を得るためのプロトタイプを試作する。

キーワード 占有グリッドマップ, ブロックチェーン, 空間データ管理

1. はじめに

我々の生活の中に移動ロボットが浸透してきている。すでに家庭内やオフィス内では掃除ロボットが動き回り、工場や倉庫では台車型のロボットが荷物を運ぶようになっている。移動ロボットは、搭載されたセンサを使って周囲をスキャンしながら、自身に課せられたタスクのための走行経路を選びながら移動を行っている。

これまでは屋内や限られた敷地内で運用されることが中心であった移動ロボットであるが、今後、公共空間へ移動ロボットが進出することが予期されている。そのうちの1つは、公道を走る自動運転車である。自動運転車は、高性能なセンサを搭載して(図1)、センサ情報と高解像度の道路地図を照合しながら状況判断し、自動車自身が自律的に車両制御を実施する。当面は人間の運転を支援するための補助的な機能として製品化されることになるであろうが、人間の運転者が全く不要な完全自動運転の研究も進められており、すでに完全自動運転の公道での実証実験も各地で始まっている。

別の例は、空を飛行するドローンである。ここでは人間が遠隔操縦するものではなくて、プログラムによる自動化された飛行をするものを意図している。ドローンは空からの環境モニタリングや、荷物の自動配送に利用することが検討されている。しかし、私有地上の低空は無断では飛行できないため、これらを実現する場合は、ドローンは低空では主に公共空間の上を飛行することになるとであろうと考えられている。このような背



図1 移動ロボットの例 (センサを搭載した自動運転車)

景から、移動ロボットは個人や同一組織が管轄する局所空間での運用にとどまらず、広域の公共空間での運用が視野に入ってきている。

移動ロボットはそれぞれに搭載されたセンサを用いて障害物を検出し、それを避けるような走行経路を絶えず選ばなければならない。ロボット内部での障害物の有無の情報を管理する方式の一つで、代表的なものが占有グリッドマップ[1]である。占有グリッドマップは、空間を格子状に区切って表現したものであり、各セルに対応する領域に障害物がある場合は「占有」、障害物がない場合は「非占有」として状態を保持できる。移動ロボットはそれぞれに搭載されたセンサを用いて障害物を検出し、占有グリッドマップの状態を絶えず更新する。目的地へたどり着くための経路を計算する際は、占有グリッドマップの最新情報を参照し、非占有となっているセルを通るパスを探索する。

ただ、各センサには有効範囲があり、加えて障害物による遮蔽により死角なども生まれるため、移動ロボット単体では一度に検出できる領域が限られている。例えば自動運転車などで使われる LiDAR は有効距離が百数十メートル程度と言われており、またレーザ光を使用するため手前に障害物がある場合はその向こう側を知ることはできない。センサの範囲の狭さを補うための手法として、複数の移動ロボット間でネットワーク通信を介した情報交換も研究されてきている。それにより、無線通信が可能な範囲内の移動ロボット、かつ同一組織に属している移動ロボットの間であれば、占有グリッドマップの情報共有は可能となっている [2]。

広域の公共空間を対象とした場合、検知範囲を少しでも広げるためには、他の組織の移動ロボットともお互いに情報共有を行って広域の占有グリッドマップが構築できることが望ましい。しかし、現状では広大な公共空間の片隅で異なる組織の移動ロボット同士が出会っても、相互に情報共有することはできていない。これには次のような課題が存在する。

- **スケーラビリティ・応答性:** 広域の占有グリッドマップとなれば、全体では大規模データであるため、システムにスケーラビリティが求められる。移動ロボット分野の技術だけでなく、データ工学分野の技術が必要となる。そして、各移動ロボットの周辺と進行方向のセルの状態については参照頻度・更新頻度が高いため、応答性能の高さも必要である。ただ、センサ有効範囲内は各移動ロボット自身が従来通り検出できるので、情報共有の遅れが直ちに障害物との衝突を意味しているわけではない。

- **占有グリッドマップの管理者の問題:** 公共空間の占有グリッドマップの情報を管理する組織にどこがなるべきかが定まっていない。本来であれば、公的な機関が管理者となるべき(公道であれば警察)だが、サービス立ち上げや維持管理に必要なコスト負担が大きく、社会的な需要が広く認知されるまでは公的な予算が下りない可能性が高い。それまでは民間組織の活動に期待することになり、占有グリッドマップの立ち上げや維持に協力する組織に対して、何らかのインセンティブを設ける必要がある。

- **情報提供者の確保の問題:** 広域の空間の全セルの占有/非占有状態を判断するために、単一組織が大量のセンサを用意することは現実的ではない。そのため、他組織の移動ロボットからも情報提供を受けて、カバーできるセルの範囲を拡充することになる。しかし、他組織の移動ロボットからの情報提供に期待するとして、情報を無償で拠出ことへの抵抗があると予想される。何かしら情報提供への代価があれば、情報提供者の確保が容易になると考えられる。

そこで本研究では、広域の公共空間の占有グリッドマップの情報管理に、ブロックチェーン技術 [4][6] を用いることを提案する。ブロックチェーンは、ビットコイン [9] などの仮想通貨取引の基盤にもなっている分散データ管理の技術の一つである。ブロックチェーンネットワーク上の各ノードに占有グリッドマップの分散管理を行わせて、特定の管理者によって集中管理されることない分散された占有グリッドマップとする。分散

データ管理の協力者および情報提供者へのインセンティブとして、占有グリッドマップのセルの占有/非占有の状態に関する情報を共通の価値として交換しあう仕組みを導入する。本研究では、オープンソースのブロックチェーン実装を利用してプロトタイプシステムを開発し、予備実験としてプライベートな計算機環境において実行時間などの測定を行った。

本稿の構成は以下の通りである。2. 節では前提技術である占有グリッドマップとブロックチェーンについて説明し、本研究の想定について述べる。3. 節では提案方式について述べる。4. 節ではプロトタイプシステムの実装状況について述べる。5. 節では本研究で行った予備実験について説明する。6. 節で関連研究について紹介したのち、7. 節でまとめと今後の課題を述べる。

2. 前提技術

2.1 占有グリッドマップ

占有グリッドマップ [1] は、現実世界の障害物の有無の情報を管理するための方式の一つである。空間を格子状に区切って表現したものであり、各セルに対応する空間に障害物がある場合は「占有」、障害物がない場合は「非占有」として状態を保持できる(図 2)。移動ロボットの分野で用いられる代表的なソフトウェアの一つである、ROS (Robot Operation System) でも占有グリッドマップを扱うためのライブラリが提供されている [8]。

本稿では空間方向としての 2 次元 (x - y 方向) に、観測時刻表すタイムスタンプ(本稿では時刻は離散値とする)を入れた、 x - y - t の 3 次元のグリッドを扱う。ドローン等を対象にするなら、空間方向は 2 次元ではなく x - y - z の 3 次元が必要となるが、本稿は簡略化のため高さ (z) 方向を省くものとする。

なお、現状では公共空間を占有グリッドで表現するための万国共通の決まりは存在しない。そのため組織ごとにセルの大きさや区切る際の基準点などのルールを独自に決めることになり、これも組織をまたいだ占有グリッドマップ情報共有の妨げの一つになっている。自動運転車では自車両を原点として、25cm から 1m 程度の刻みの細かさの占有グリッドマップが用いられている [3]。地図の分野には、地図データを分割するためのメッシュと呼ばれる空間分割の共通単位が存在するが、これは占有グリッドが扱う空間の粒度よりもはるかに荒い。

本研究では、移動ロボットはそれぞれに占有グリッドマップの状態を調べるための何らかのセンサを搭載しており、通信機能を有しているものとする。また、目的地までの無駄の少ない経路を立案するために、自身のセンサの検知範囲だけでなく、進行予定方向などのセルの最新状態を必要としているものとする。

2.2 ブロックチェーン

ブロックチェーンは、ビットコイン [9] や Ethereum [10] などの仮想通貨取引の基盤になっている分散データ管理の技術である [4] [5] [6]。ブロックチェーンネットワークに参加する各ノードは、仮想通貨の取引を記録した台帳を冗長化して分散管理している。台帳が分散配置されているため、特定の管理者によって集中管理されることがなく、一部のノード故障などにより全

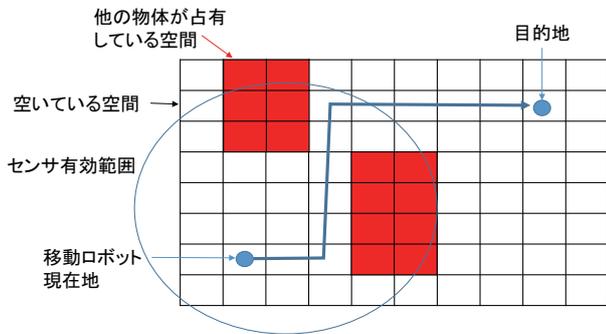


図2 占有グリッドマップ

体が停止することがない。ブロックチェーンについての詳細を解説することは、本稿のスコープ外であるのでここでは概要のみにとどめる。

2.2.1 仮想通貨

ビットコインなどの仮想通貨は公開鍵/秘密鍵暗号の仕組みを使って実現されている。仮想通貨には個別に所有者が設定されており、通常時は所有者の公開鍵で暗号化された状態で台帳上で保管されている。これを復号できるのは公開鍵に対応した秘密鍵を持つ所有者本人だけである。

別の者へ仮想通貨を送金する場合は、一度所有者の秘密鍵で復号化される。復号された仮想通貨を、今度は送金相手の公開鍵を使って暗号化し、所有者の変更が行われる。

2.2.2 トランザクションとブロック

上記の送金処理の基本単位はトランザクションと呼ばれ、各トランザクションは送金元、送金先、送金額(手元に残す額)、手数料などの情報を含んでいる(図3)。分散台帳は複数の送金処理のトランザクションをまとめて格納したブロックと呼ばれる単位から構成されている。各ブロックには通し番号と固有のハッシュ値が与えられ、1つのブロックは直前の番号のブロックのハッシュ値を参照しており、ハッシュ値の参照関係から、ブロック同士が繋がったリスト構造になっている。

分散台帳の維持に協力しているノードが新たなブロックを生成する場合、待ち状態の新着トランザクションの集合の中から、適切なトランザクションの組合せを選択してブロックに詰め込む。このとき、新規ブロックに対するハッシュ値は、特定の値より小さくしなければならないというルールがあるため、各ノードはそのようなハッシュ値になるようなトランザクションの組合せとカウンタ(Nonce)の値を総当たりで探すことになる。ブロックの作成はノード同士で競っており、最初に組合せを見つけたノードがその見返りとして、ブロックに入れることができたトランザクションの手数料を受け取ることができる。

本研究では、プロトタイプシステムの開発において、ブロックチェーンの実装の一つであるEthereumを使用する。

3. 提案方式

前述の通り、本研究では特定の管理者に依存しない広域の公共空間の占有グリッドマップの情報管理にブロックチェーン技術を用いる。分散データ管理の協力者および情報提供者へのインセンティブとして、占有グリッドマップのセルの占有/非占

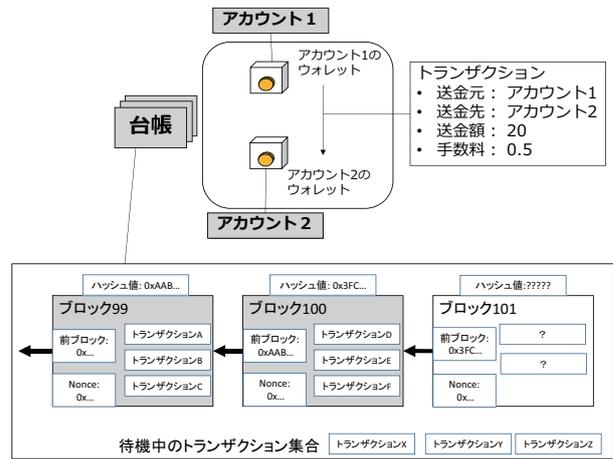


図3 ブロックチェーン

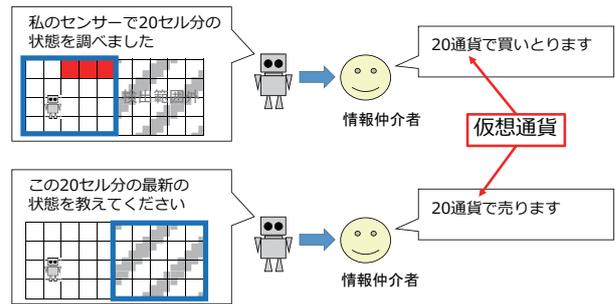


図4 占有グリッドマップ情報の交換イメージ

有の情報自体を共通の価値として交換しあう仕組みを導入する(図4)。「セルの状態の提供」と「任意のセルの状態への問合せ」によって循環する情報交換の流れを生み出すことを目的とする。

3.1 経済モデル

提案方式内で交換されるデータと仮想通貨に相当するものについて述べる。

- セル状態 $c_{x,y,t}$: 本稿では、空間方向2次元(x-y)、時間軸1次元(t)の3次元のグリッドを扱う。各セル状態の値は「占有」「非占有」の2つのどちらかをとりうるものとする。各セル状態には所有者が設定されているものとする。

- 任意のセル状態への問合せ権 q : 本稿では、セル状態の値を所有者から教えてもらうためのアクセスの権利を共通価値(仮想通貨)として使用する。仮想通貨 q を1単位分使って、1つのセル状態 $c_{x,y,t}$ の情報と等価交換できることを保証する。トランザクションの手数料も q によって支払われることになるが、手数料には1よりも小さい値を用いる(0.1単位など)。

3.2 提案フレームワーク

図5に、提案方式において登場するプレイヤーを示す。提案方式ではブロックチェーンネットワーク上の各ノードは、以下の4種類の役割のどれかまたは複数のを担当することができる。

- 台帳記録者: 占有グリッドマップのセル状態と問合せ権の交換のトランザクション情報を記録する不特定多数の計算ノードである。台帳管理の見返りとして、ブロック作成時にトランザクションの手数料を受け取ることができる。

- 情報提供者: 実空間において、センサを使って特定のセン

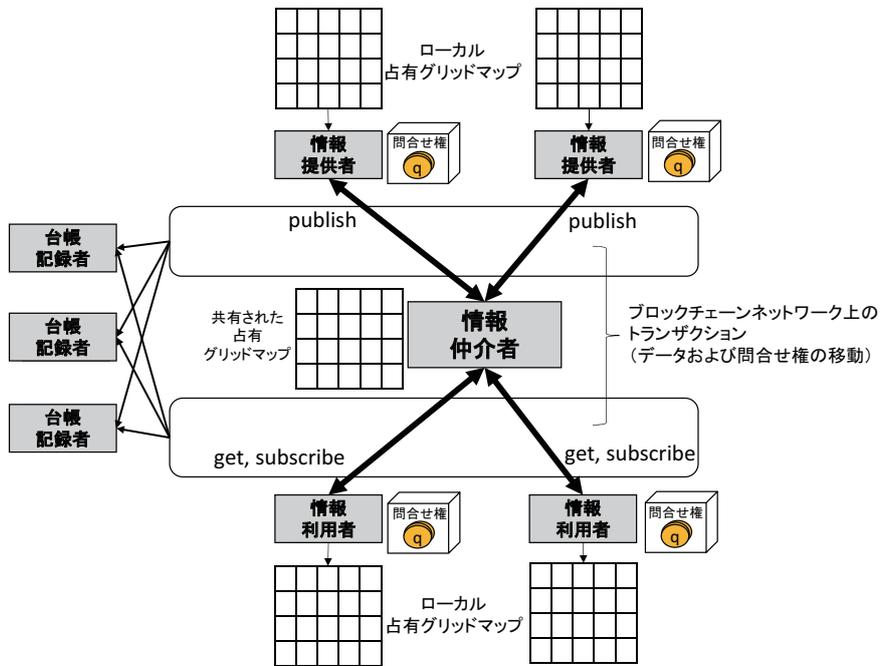


図5 提案フレームワーク

ルの領域をスキャンし、占有/非占有の判定結果をセル状態として生成する。セル状態の情報は情報仲介者へ売却され、見返りとして問合せ権を1単位分もらうことができる。

- **情報仲介者:** セル状態の所有権を情報提供者から購入し、問合せ権を支払った情報利用者へセル状態を提供する。
- **情報利用者:** セル状態の問合せ権を支払って、情報仲介者から必要なセルの状態の情報を購入する。

一般的には、センサを搭載した移動ロボットは、情報提供者と情報利用者を兼ねることになり、自身のセンサ範囲内のセル状態の情報を売却して、自分が知りたいセルの情報を購入することになる。

3.3 データ交換の流れ

提案手法におけるデータ交換の流れについて説明する。Publish, Subscribe, Get の3種類の動きを定義している。

3.3.1 Publish 操作

Publish は、情報提供者がセンサを使ってセルの状態を検知し、それを第3者へ提供するときの一連のデータの流れである。

- (1) 情報提供者 p が自身のセンサを使って、時刻 t における座標 (x,y) のセルの占有/非占有状態 $c_{x,y,t}$ を明らかにする。
- (2) 情報提供者 p は、情報仲介者 b にセル状態 $c_{x,y,t}$ の売却を持ちかける。
- (3) 情報仲介者 b は、セル状態 $c_{x,y,t}$ の情報をほかに提供してきた者がいないかを調べ、いなければ p に対価として、問合せ権を1単位支払う。同一のセル状態の情報提供者がすでにいた場合は支払いは行われぬが、報告された $c_{x,y,t}$ は先に登録されていた情報の真偽を検証するために用いる。(ただし、具体的な検証方法については今後の課題とする。)

(4) 支払いが行われた場合、情報仲介者 b は $c_{x,y,t}$ の所有者になる。

(5) 支払いのためのトランザクションの手数料が、ブロッ

クを作成した台帳記録者 a に渡される。

提案システムへの攻撃として、情報提供者が無価値な publish 操作を同時に大量実行してくることが考えられる。対策の一つとして、例えば手順 (2) において情報提供者に保証金をつけさせることが挙げられる。情報仲介者は提供された情報に問題がなければ、保証金込みの支払い金額を情報提供者へ返送するが、情報に問題があった場合は保証金をそのまま受け取ってよいものとする。この方法は、情報提供者が大量の偽情報を同時にばらまくことを完全に防止することはできないが、元手が多く必要になるようにする効果はあると考えられる。

3.3.2 Subscribe 操作

Subscribe は、情報利用者が自分の必要なセルの情報を宣言し、情報提供者が現れるのを待つ際のデータの流れである。

- (1) 情報利用者 u は、座標 (x,y) のセル状態の最新情報をほしがっていることを情報仲介者 b に宣言する (subscription)。
- (2) 情報仲介者 b は、情報提供者 p からセル状態 $c_{x,y,t}$ の情報が購入できた際、情報利用者 u に入荷を通知する。
- (3) 情報利用者 u は、セル状態 $c_{x,y,t}$ を本当に購入するかを判断する。購入する場合は問合せ権1単位を情報仲介者 b に支払う。
- (4) 情報仲介者 b は、セル状態 $c_{x,y,t}$ の値を u に提供する。所有者は b のままである。

(5) 支払いのためのトランザクションの手数料が、ブロックを作成した台帳記録者 a に渡される。

3.3.3 Get 操作

Get は、情報利用者が自分の必要なセルの情報を1回だけ検索する際のデータの流れである。

- (1) 情報利用者 u は、セル状態 $c_{x,y,t}$ を所有している情報仲介者 b を探す。
- (2) 情報利用者 u は、問合せ権を1単位支払い、情報仲介

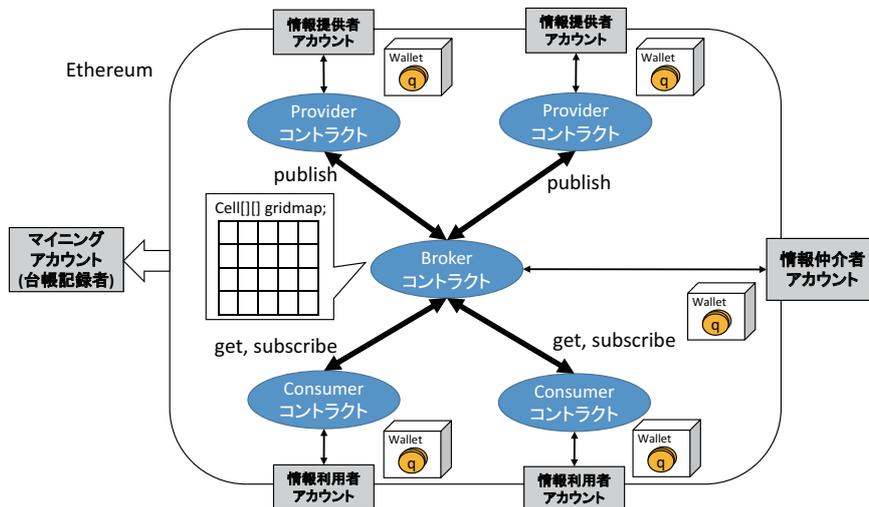


図 6 Ethereum 上に構築したプロトタイプ

者 b からセル状態 $c_{x,y,t}$ の値を受け取る。

(3) 支払いのためのトランザクションの手数料が、ブロックを作成した台帳記録者 a に渡される。

今回挙げた操作は基本的なものだけであり、他にも subscribe の取り下げ操作 (unsubscribe) などは必要である。また、データ交換の効率化のためには複数のセルの情報を一度に交換できるように拡張することも必要となる。操作の拡張については今後の課題とする。

4. プロトタイプシステム

本研究では提案手法の技術的な可能性を検証するため、既存のブロックチェーンのソフトウェアに載る形でプロトタイプシステムを作成する。

実装環境として、Ethereum [10] を用いて、プライベート環境においてローカルなブロックチェーンネットワークを構築する。Ethereum では仮想通貨の単位として ether を使用している。また、Ethereum には単なる送金の仕組みだけでなく、専用プログラミング言語 Solidity を用いてユーザ定義のプログラム (コントラクト) を作成し、仮想マシン EVM 上でコントラクトを実行することができる。仮想マシン利用のための実行コストは gas と呼ばれており、第三者が提供する EVM 上で gas を消費してコントラクトを駆動させる。コントラクトの作成者は消費した gas に応じた ether の支払いを求められるため、gas は Ethereum における手数料に相当している。

図 5 の枠組みに基づいて、本研究で実装したプロトタイプシステムの構成を図 6 に示す。Ethereum のユーザアカウントを複数作成し、それぞれを仮想通貨 ether の所有者としている。情報提供者は Provider コントラクト、情報仲介者は Broker コントラクト、情報利用者は Consumer コントラクトをそれぞれ登録し、VM 上で Publish/Subscribe/Get の操作を実行させる。

占有グリッドマップは維持は Broker コントラクトが担当している。現在の実装では、各セルは構造体で定義されており、その中身はセル状態とタイムスタンプのペアのデータ列を扱う動的配列である。

まだプライベート環境での運用に留まっているため、1 ether と 1 問合せ権を同等とみなして扱っているが、交換レートについては調整の必要がある。

5. 予備実験

分散環境上に実際に展開する前段階として、スタンドアロンの環境での予備実験を行った。予備実験に用いたマシンの仕様は、CPU Xeon E5-2665 2.40GHz × 2、メモリ 32GB、HDD 2TB で、OS は Linux kernel 3.13.0-100 (Ubuntu 14.04) である。Ethereum 環境として、Go Ethereum (geth) 1.7.3 [11] と Mist Wallet 0.9.3 [12] を使用した。予備実験のため、占有グリッドマップの登録に使用したデータはすべて人工データである。

5.1 応答時間の調査

スタンドアロンの環境において、Publish 操作と Get 操作の応答時間を測定した。Publish 操作の場合は、情報提供者が Publish 操作を開始して情報仲介者から支払いを受けるまでの時間である。Get 操作の場合は、情報利用者が Get 処理を開始して情報仲介者に支払いを行い、セルの情報を返してもらうまでの時間である。また、参考として、単純な送金操作 (ユーザ A からユーザ B へ 1 ether 送金する) の応答時間も計測した。ただし、これらの操作ではトランザクションの発行は行われるが、まだブロックに取り込まれて台帳に記録された状態にはなっていない (次節)。

図 7 は、各操作を 20 回実行したときの応答時間の最小、平均、最大である。単純な送金処理が 10 ミリ秒前後であることに比べると、ユーザ定義プログラムであるコントラクトへの呼び出しが入る分だけ Publish と Get は 40 ミリ秒前後と遅くなっていることがわかる。この結果を踏まえると、コントラクトの呼び出し回数は極力減らした方が良く、1 回の操作で複数のセル状態をまとめて渡せるように拡張することが望ましいと考えられる。

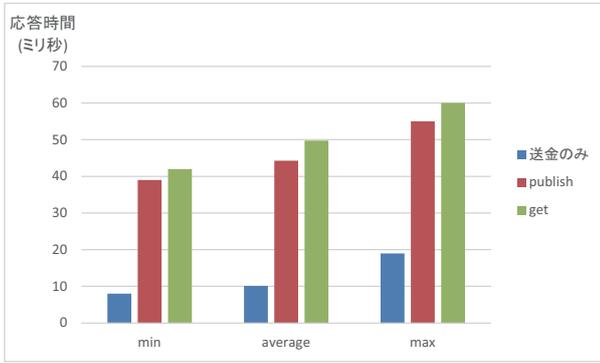


図7 応答時間

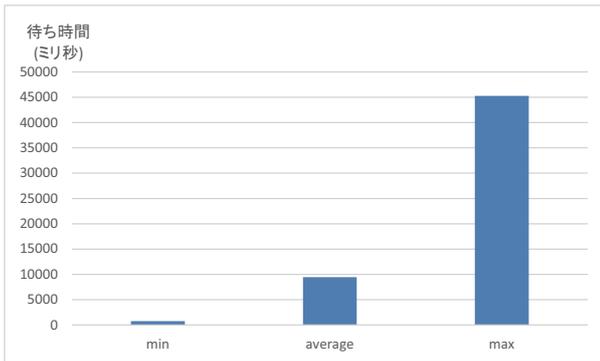


図8 トランザクションがブロックへ取り込まれるまでの遅延時間

5.2 トランザクションがブロックへ取り込まれるまでの遅延時間の調査

発行されたトランザクションは、少しの遅延を経てブロックに取り込まれ、分散台帳に記録された状態になる。ここでは単純な送金のトランザクション（ユーザ A からユーザ B へ 1 ether 送金する）を発効して、それがブロックに取り込まれるまでの時間を測定した。Ethereum ではトランザクションがブロックに取り込まれると、レシートが返されるため、今回はその状態へ達した時点を終了時刻とした。注意点として、ブロックチェーンではブロック作成の難易度が動的に調整されるため、グローバルな Ethereum 環境では今回の計測結果とは異なる可能性があることを述べておく。

図8は、送金を20回実行したときのブロックへの取り込み完了までの経過時間の最小、平均、最大である。経過時間に幅があり、平均で約10秒、最悪で約45秒かかっていることがわかった。この結果を見る限りでは、リアルタイム性については十分な性能は持っていないことがわかる。

秒単位で移動する物体の位置情報を共有する用途では難しいが、動かない障害物の情報を共有するのであれば現状でも十分であろう。秒単位で変動する情報も扱っていくためには、トランザクションがブロックにとりこまれる時間を短縮する必要がある。例えば、新規ブロックが満たすべきハッシュ値の条件をより緩くする等の工夫が必要となるであろう。

今後、予備実験の結果を踏まえ、プロトタイプシステムを改良し、分散環境での評価実験を実施する予定である。

6. 関連研究

本研究と共通する既存のアイデアに情報銀行がある。情報銀行では、利用者が自分の所有する情報を預けると、預けたデータ量に応じて対価が得られる。ブロックチェーン技術を使って情報銀行を実現する試みがされており、すでに実証実験が始められている [7]。この実験の参加者は、情報銀行に預けた個人情報のデータ量などに応じて仮想通貨の還元を得ることができるようになっている。この実証実験は個人情報の収集・活用を促進することが目的であり、実世界の公共空間の情報収集・活用を目的とした本研究とは異なる。

自動車につけられたセンサからの情報を共有する研究も行われている。[2]では、自車両の位置情報と、LiDARで検出した周辺物体の位置情報を無線通信で別の車両と共有するためのシステムを提案している。ただし、技術的な検証を目的としており、そのシステムを公共空間で実運用することになった場合に、どこの組織が管理するかという問題については触れられていない。

7. まとめと今後の課題

本稿では占有グリッドマップの分散管理をブロックチェーン技術を用いて実現する方式について提案した。公共空間は、古くからある既知の問題に対しては公的な担当組織がはっきり定義されているが、新しく出てきた問題や要求に対してはどかが主体的に請け負うのかまだ決まっていない。社会的需要が広く認知され、担当組織について議論され、解決のための予算が計上されるまでは、実際に動いてもらうことは難しい。ブロックチェーン技術の上に乗せることで、管理者不在の状況でも民間組織の連携だけで動いていけるようにすることには一定の意味があると考えている。また、ブロックチェーンを使って記録されたデータは、後から改ざんされたデータに置き替えることが難しいという性質を備えているため、公共空間で移動ロボットが事故に遭遇した（事故を目撃した）場合には、後から事故当時の周辺状況を知る手掛かりとしてブロックチェーンで管理された占有グリッドマップを活用することもできる。

大きな課題として、ブロックチェーンではトランザクションがブロックに取り込まれて検証されるまで確定しないため、リアルタイム処理には適さない点がある。その辺りは了解済みで始めた試みであるが、実際にどの程度使い物になるかはプロトタイプシステムを使って評価を行ってみる必要がある。ただ、本文中でも述べたが、センサ有効範囲内は各移動ロボット自身が従来通り検出できるので、情報共有の遅れが直ちに障害物との衝突を意味しているわけではない。秒単位で移動する物体の位置情報を共有するのではなく、動かない障害物の情報を共有するのであれば十分役立つと考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16H01722 の助成を受けたものです。

文献

[1] A. Elfes, "Using Occupancy Grids for Mobile Robot Per-

ception and Navigation”, Computer, Vol.22, No.6, pp.46-57, 1989.

- [2] 赤木康宏, 吉原佑器, 渡辺陽介, 二宮芳樹, 高田広章, Raksincharoensak Pongsathorn 「先読み運転支援のためのダイナミックマップによる環境認識情報の共有効果の検証」自動車技術会, 2017 年秋季大会, 2017 年 10 月.
- [3] 魚住剛弘, 菅沼直樹, “自動車の自律型自動運転のための全方位レーザーを用いた障害物検出”, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011 年.
- [4] 田箆照博, “堅牢なスマートコントラクト開発のためのブロックチェーン [技術] 入門”, 技術評論社, 2017 年.
- [5] 山崎重一郎, 安土茂亨, 田中俊太郎, “ブロックチェーン・プログラミング 仮想通貨入門”, 講談社, 2017 年.
- [6] 加嶋 長門, 篠原 航, “ブロックチェーンアプリケーション開発の教科書”, マイナビブックス, 2018 年.
- [7] 富士通株式会社, イオンフィナンシャルサービス株式会社, “パーソナルデータを活用した情報銀行の実証実験を開始”, プレスリリース, 2017 年.
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/07/14.html>
- [8] Universal grid map library for mobile robotic mapping, https://github.com/ethz-asl/grid_map
- [9] Bitcoin Core, <https://bitcoin.org/en/>
- [10] Ethereum, <https://www.ethereum.org/>
- [11] Go Ethereum, <https://geth.ethereum.org/>
- [12] Ethereum Wallet and Mist, <https://github.com/ethereum/mist>