

IoT ブロックチェーン仮想座標系の実装と評価

越川 幸輝[†] 蘇 悦[†] Jong-Deok Kim[‡] Won-Joo Hwang[‡] ゲエン キエン[†] 関屋 大雄[†]

Koki Koshikawa Yue Su Jong-Deok Kim Won-Joo Hwang Kien Nguyen Hiroo Sekiya

1. あらまし

ブロックチェーンと IoT (Internet of Things) と組み合わせた IoT ブロックチェーンは IoT の信頼性やセキュリティを向上させる技術として期待されている。ネットワークが巨大化するとトランザクション、ブロック送信に遠距離の往復が生じ、長い伝搬遅延が問題となる。近隣ノード同士がピアとして接続するため、ノードの位置推定を行う必要がある。本研究ではヴィジュアルディアルゴリズムを使用し、プライベートイーサリアムで位置推定を行うシステムの設計方法を与える。40 ノードのエミュレーション環境で、相対誤差 0.1 を達成し、ノード位置推定の妥当性が示された。

2. はじめに

近年、IoT (Internet of Things) の普及に伴い、取り扱うデータやシステムへの信頼性、セキュリティが重要視される。ブロックチェーン技術を利用することで、非中央集権的なシステムを実現し、単一障害点を防ぎ、システムの信頼性、セキュリティを向上させることができる。したがって、IoT 環境から収集した生データやその関連情報をブロックチェーン上に保存し、データやシステムの信頼性を向上させた分散型ストレージプラットフォーム (IoT ブロックチェーン) の実現が進められている。IoT ブロックチェーンは、スマートコントラクトやプライベートチェーンを使用したイーサリアム環境上で多く応用されている。しかし、巨大なネットワークでは、遅延の長さが IoT ブロックチェーン実現の課題となっている。ブロックチェーンにおける遅延の主な原因には、トランザクションやブロックの伝搬遅延がある。伝搬遅延はノード間の距離が遠いほど深刻化する。ノード間の遠距離通信を避けるには、近隣のブロックチェーンノードが通信を行う必要がある。近隣ノードとの通信には、他ノードとの位置関係を把握する必要がある。IoT ブロックチェーンの非中央集権的な IoT 環境を考慮すると、分散型で軽量な位置推定システムが望ましい。

他ノードまでの距離を予測するヴィジュアルディアルゴリズムがある [1]。他のノードまでの距離推定が 3 次元の仮想座標系上で行われる。他のノードまでのラウンドトリップタイム (RTT) を計測し、自身が持つ仮想座標系上の自身の位置を更新する。全てのノードがそれぞれ仮想座標系を持ち、分散的に位置推定を行うことで全てのノードが互いの位置を認識する。ヴィジュアルディアルゴリズムは高い分散性、精度からブロックチェーンへの応用が期待されている。文献 [2]では、インターネット上の精度低下を対処した。しかし、先行研究ではヴィジュアルディアルゴリズムのブロックチェーンへの実装方法について、議論されていない。

[†] Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

[‡] School of Computer Science and Engineering, Pusan National University

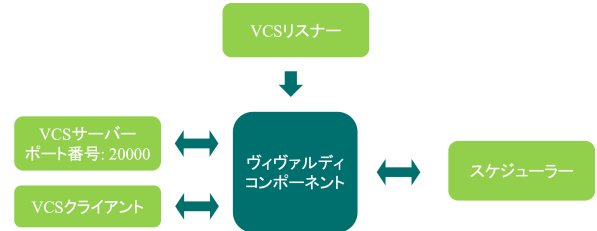


図 1 プライベートイーサリアム上で動作する VCS のコンポーネント構成

本稿では、ヴィジュアルディアルゴリズムを使用した仮想座標系システム (VCS) をプライベートイーサリアムネットワーク上に実装する設計方法を提案する。本研究では、Prysm にヴィジュアルディアルゴリズムを組み込み、動作検証を行なった。検証のため 40 個のイーサリアムノードを用いたエミュレーション環境において VCS を実行した。この中で、仮想座標系上におけるノードの動きを視覚的に分析し、更新後の推定座標の誤差を定量的に評価した。エミュレーションの結果、仮想座標系上で推定された位置は実際のノードの位置関係に近く、相対誤差が約 0.1 に収束したことから、仮想座標系上でのノード位置推定が妥当であることを示された。

3. Prysm を利用した仮想座標系システム

図 3 に、ヴィジュアルディアルゴリズムを用いた VCS の構成を示す。

VCS リスナー:仮想座標系でノードの座標を初期化するために、他ノードの情報を受け付ける。ノード情報には、ノード ID、デバイスの IP アドレスが含まれる。ノード ID は仮想座標系上のノードを識別するのに用いられる。受け付けたノードの情報をヴィジュアルディコンポーネントに送信することにより、イーサリアムノードを仮想座標系上に登録する。

ヴィジュアルディコンポーネント: VCS リスナーからノード情報を受け取ると、仮想座標系上にノードの座標をランダムに初期化する。初期座標から RTT を計測し、ノード間の距離を更新する。このアルゴリズムには他ノードの座標と RTT が必要となるので、他のノードの座標はリクエストし、RTT は計測する必要がある。他のノードへのリクエスト、RTT の計測は VCS クライアントが行うため、ヴィジュアルディコンポーネントは VCS クライアントに問い合わせる。

VCS クライアント:他のノードに対して、座標のリクエスト及び RTT の計測を行う。リクエストはネットワークへの負荷を抑えるため、UDP 上で行われる。また、RTT の計測は ping コマンドを使用する。そして、取得した他ノードの座標、計測された RTT をヴィジュアルディコンポーネントに返却する。

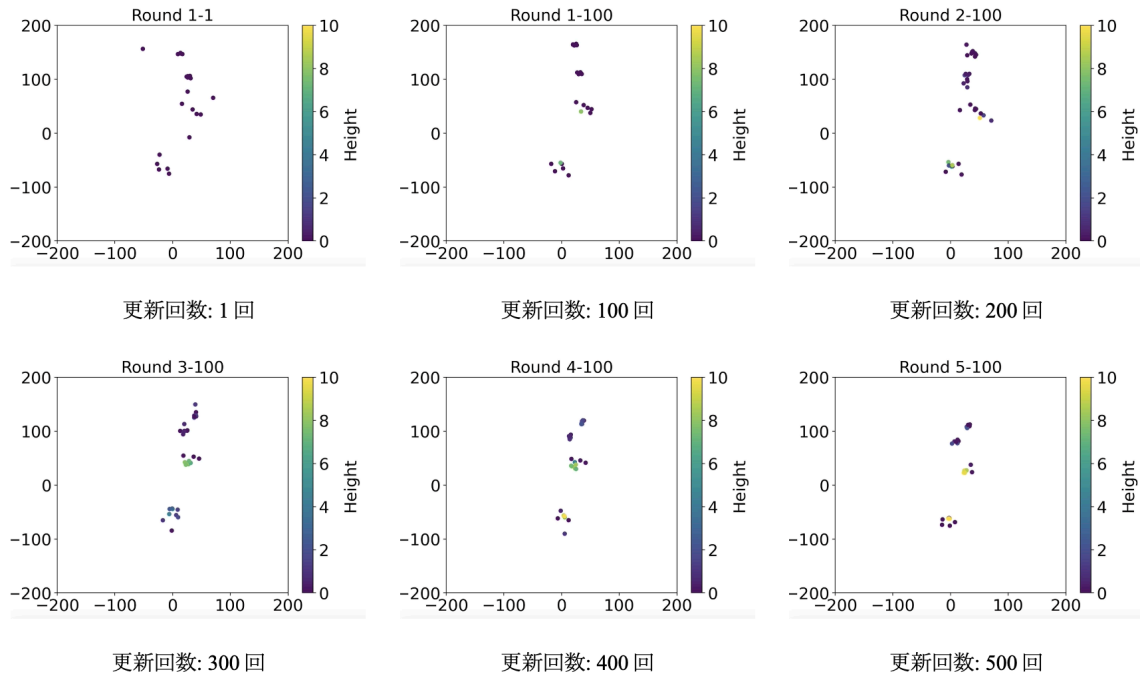


図 2 40 ノードが同時に参加した時の仮想座標上におけるノードの座標

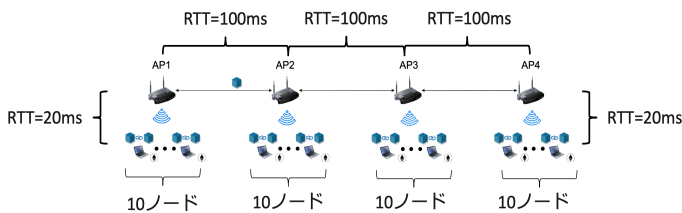


図 3 40 ノードからなるエミュレーション環境

VCS サーバー: 他ノードの VCS クライアントのリクエストに応えるコンポーネントである。VCS の起動中は、他のノードから座標がリクエストされる。リクエストがあった場合は、ヴィヴァルディコンポーネントの仮想座標系に保存されている座標を要求し、返ってきた値をレスポンスする。
VCS スケジューラ: ヴィヴァルディアルゴリズムの実行タイミングを制御する。100回更新後 (Round 1-1, 1-2 … 1-100)、次の更新までの間隔を以下の式とした。

$$Schedule(e_i) = \min\left(10, \frac{1}{\log_{10}(1 + e_i)}\right)$$

相対誤差が小さいときは、無駄な通信負荷を減らすため実行間隔が長くなる。一方で、相対誤差が大きいたときはより早く収束させるため実行間隔が短くなる。

4. エミュレーション検証

図 3 に示す全てのノード上でイーサリアムノードを起動した。図 2 は推定されたノードの座標を示している。推定されたノードが 4 つのグループに分かれる様子が確認された。4 つのグループは、図 6 に示した 100ms ずつ離れたネットワークに対応している。図 4 に、平均相対誤差の推移を示す。相対誤差は初期値 2.0 から減少し、Round 4-1 以降は 0.1 付近まで収束した。仮想座標系を更新し、位置推定が行えることを定量的に示した。

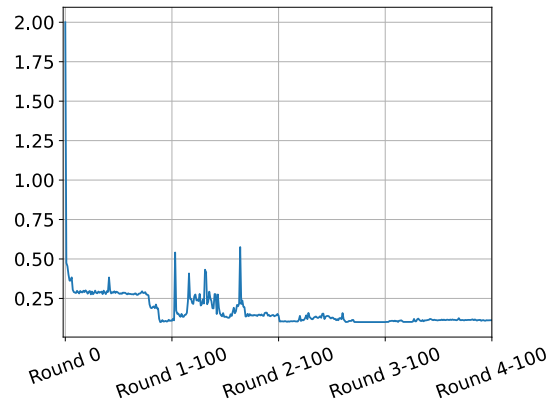


図 4 40 ノードが同時に参加した時の相対誤差の推移

5. 結論

本稿ではプライベートイーサリアムにおいて、ヴィヴァルディアルゴリズムを用いた VCS の設計方法を提案した。ノードの位置を推定した仮想座標系を視覚的、定量的に分析した結果、ノードの位置推定の妥当性が確認された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H0417, JST 科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創設事業 JPMJFS2107 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] F. Dabek et al., “Vivaldi: A decentralized network co-ordinate system,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 34, no. 4, pp. 15–26, 20
- [2] H. Dai, Z. Dai, X. Gui, M. Zhu, K. Zhong, and S. Liu, “Rt vivaldi: A symmetric equality rtt prediction algorithm in networks,” in Proc. 21st International Conference on Control Systems and Computer Science(CSCS), pp. 129–133, 201