

大規模 CVE 実現に向けた 論理位置を基準とするオーバーレイネットワーク

中井優志 柴田義孝

岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科

近年、ネットワーク技術、CG (Computer Graphics) 技術の進歩により CVE (Collaborative Virtual Environment) と呼ばれるアプリケーションが提案されている。これは CG による三次元仮想環境をネットワークを介して複数人が共有し、協調作業を行うためのアプリケーションである。CVE は前述の技術進歩によって、より大規模な三次元仮想環境の表現と、より多くの利用者参加の実現が行われてきた。これらの実現にあたり、CVE アプリケーションのスケーラビリティが重要な問題となっている。本研究では三次元仮想環境の大規模化と参加可能な利用者数に着目し、仮想空間における位置情報に基づく P2P (Peer-to-Peer) 論理的ネットワークを提案する。また、提案手法を採用した CVE アプリケーションを開発し、評価を行った。

Logical Location based Network for Large-Scale CVE

Yushi Nakai Yoshitaka Shibata

Graduate School of Software and Information Science

Iwate Prefectural University

Recently, a new application called Collaborative Virtual Environment (CVE) in which many users can share the three dimensional virtual space to work cooperatively, using network and Computer Graphics technologies has been developed. As the network speed and bandwidth are increased, a scalable CVE including a number of users in it has been also possible. However, in order to actually realize such scalable CVE, it is very important to organize flexible and efficient logical network over physical network. In this paper, we introduced a new logical peer-to-peer overlay network based on the location information in CVE to realize a large scale and high capacity virtual environment where many users can mutually collaborative and interactively operate to objects while saving the number of exchanged messages, traffic load and end-to-end delay.

1 はじめに

近年、ネットワーク技術と CG (Computer Graphics) 技術の進歩により CVE (Collaborative Virtual Environment) と呼ばれるアプリケーションの提案が行われている。これは CG による三次元仮想環境を構築し、ネットワークを利用した通信によって複数人が協調作業を行うアプリケーションである。これは教育やエンターテインメントの用途での利用が行われている。主な機能として挙げられるのはユーザへの空間の提供と、ユーザ間でのインタラクションの実現である。CVE は大規模化が進み、[2][3][4][5] 同一空間内での多くの利用者参加の実現が行われてきたが、一方で CVE のスケーラビリティが問題となっている。それに伴い多数のネットワーク構成が提案されてきた。[2][3][4][5][7][6]

大規模化の観点よりこれらのネットワーク構成の分類を行うと、大きく 2 つのモデルに分けられる。一つは Centered Model と呼ばれるもので、CVE の機能を提供する中央サーバが存在し、利用者は中央サーバに接続することで CVE の機能を利用することができる。もう一つは Distributed Model と呼ばれるもので、全ての利用者間で P2P (Peer-to-Peer) 通信を行うことで CVE の機能を利用するモデルである。Centered Model は中央サーバでの空間管理を行うため、利用者や空間の管理が容易に行えるというメリットがある。しかし、スケーラビリティはサーバ能力に依存しているため、中央サーバの処理能力を越える利用者参加は不可能である。そのため、大規模化実現にあたりサーバのコストがかかるというデメリットがある。一方の Distributed Model においては P2P 通信による空間

の管理を行うため大規模化実現には適していると言えるが、大規模化において P2P ネットワークの管理が必要となるため全体のリソース管理が困難である。

本研究では CVE に参加可能な利用者の数に着目し、仮想環境における位置情報に基づくオブジェクトの P2P (Peer-to-Peer) オーバーレイネットワークを提案する。これは Distributed Model を採用した CVE ネットワークであり、CVE における距離に基づいた通信によって全体のリソース管理の問題を解決する。CVE に参加する計算機が CVE における位置に基づいた オーバーレイネットワークを構築することで三次元仮想環境における位置に基づいた通信が可能となる。これによって通信の局所化による効率的な通信が可能となる。本稿ではこの手法の提案と評価結果を報告する。

2 関連研究

CVE におけるネットワーク構成の提案としては DHT (Distributed Hash Table) を用いたオーバーレイネットワークの提案 [7] や Voronoi Scheme による勢力図に基づくオーバーレイネットワーク [6], P2P Message Exchange Scheme [8] などが挙げられる。本節ではこれらの紹介と問題点について述べる。

2.1 DHT based Network

DHT based Network においては P2P ネットワーク構築アルゴリズムの DHT (Distributed Hash Table) を採用している。これはネットワークに参加するノードに一意的な Hash 値を ID として設定し、全てのノードを Hash Table によって管理する。Hash Table は各ノードにおいて Hash 値順に分散管理されており、Hash 値を基準とした P2P ネットワーク上でのルーティングが行われる。

DHT は大規模 P2P ネットワークを実現可能なアルゴリズムとして知られており、CVE に適用した場合も大規模化が実現されるが、問題点として Hash 値の設定と End-to-End 遅延が挙げられる。Hash 値はルーティングに用いられるため、Hash 値の元となる情報が近いほど高速な探索が可能となる。しかし、CVE においては位置情報を基準とした通信が多く発生するため、頻繁に行われる通信に不向きなルーティングが行われてしまう。また、DHT においては Hash 値がノード毎に固定であるため、位置情報を Hash 値にすることは困難である。

2.2 Voronoi Scheme

Voronoi Scheme は Voronoi 図と呼ばれる勢力図を基準としたネットワークを構築するアルゴリズムである。Voronoi Scheme においては図 1 に示すような Voronoi 図を基準として一貫性のあるネットワーク構

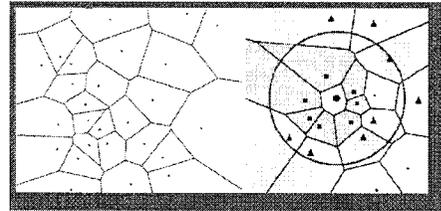


Figure 1: Voronoi Scheme

築が可能である。また、AOI (Area Of Interest) というパラメータによって通信範囲を設定することで全体との通信を避け、通信の局所化が可能である。AOI はノードからの半径として設定する。Voronoi Scheme において通信範囲は隣接する領域に存在するノードと、AOI の範囲内に存在するノードとなる。

Voronoi Scheme における問題点としては計算負荷の高さが挙げられる。Voronoi 図の生成には多くの計算が必要となり、CVE における位置座標の変化が発生する毎に再構築を行う。また、これらの計算は全てのノードにおいて行われるため、ノードへかかる負荷は大きなものとなる。

2.3 P2P Message Exchange Scheme

P2P Message Exchange Scheme は位置を基準とした P2P ネットワークを構築する。このときノードは 1 hop 先, 2 hop 先を区別して接続対象とし全体を構成する。この接続数を増加させることによってより高い一貫性をもつネットワークの構築が可能である。P2P Message Exchange Scheme においてはノード数の増加にしたがって論理ネットワークの分断が発生することが知られている。分断は抑えることが可能であるが、代わりにメッセージの交換数が増加する。といった問題がある。

2.4 問題点

本稿では分散モデルにおける計算負荷とネットワーク効率を評価基準とし、解決を目指す。特に計算量、全体の通信量、End-to-End 遅延時間に着目し、位置情報を基準とした単純な接続先選択と、オーバーレイネットワークにおけるルーティングを提案する。

3 距離情報に基づくオーバーレイネットワーク

提案するオーバーレイネットワークは、大規模 CVE を実現するためのオーバーレイネットワークである。大規模化に耐えるスケラビリティを Distributed

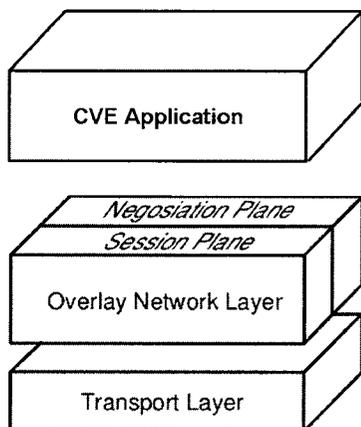


Figure 2: システムアーキテクチャ

Model によって実現し、位置情報に基づく探索の多い CVE に効果を発揮できる。

提案ネットワークは CVE アプリケーションにおける論理的な位置情報を基にしている。オブジェクト間の距離に比例した通信の必要性を前提としており、オーバーレイネットワークにおいて位置座標を定義し、座標上にネットワークノードを配置していくことによって CVE における論理空間と対応したオーバーレイネットワークを構築する。また、オーバーレイネットワークの再構築機能を備え頻繁な発生が予想される仮想空間内での”位置の移動”や”参加”, ”離脱”に対応させることができる。

3.1 システムアーキテクチャ

システムアーキテクチャを図 2 に示す。

システムは Overlay Network Layer として機能し、Transport Layer 上に存在する。上位層には CVE アプリケーションが位置する。Overlay Network Layer は Negotiation Plane, Session Plane に分けられる。Negotiation Plane においてはオーバーレイネットワークを構成するのに必要な通信を行い、Session Plane においてはアプリケーションでの通信に用いられるノード間セッションを管理するという機能を持つ。

3.2 仮想空間とオーバーレイネットワークの対応

提案するオーバーレイネットワークの概要を図 3 に示す。CVE レイヤーにはアプリケーションにおいて提供されるコンテンツオブジェクトが VR Object とし

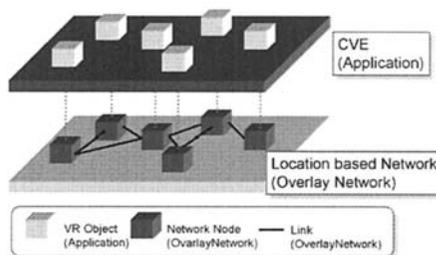


Figure 3: 位置情報を基にしたオーバーレイネットワーク

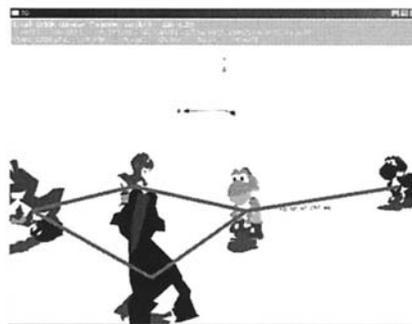


Figure 4: アプリケーションとネットワークの対応例

て配置される。この位置関係は仮想空間における位置に対応している。一方の Location Based Network レイヤーには VR Object と位置的に対応した Network Node が配置される。Network Node とはネットワークを構成する要素であり、CVE における VR Object と一対一に対応する。CVE 空間におけるオブジェクト数だけ存在し、1 つの物理ホストが複数のノードになりうる。これについては次節において述べる。

Location Based Network レイヤーはアプリケーションと同じ三次元空間となる。この Network Node は各方向においてもっとも距離が近い Network Node との接続を行うものとし、三次元空間において $+x, -x, +y, -y, +z, -z$ の 6 方向を想定している。最終的に近接するノード間の接続がオーバーレイネットワークとなり CVE アプリケーションにおける通信路として機能する。

アプリケーションとネットワークの対応例を図 4 に示す。この例には複数のアバターがオブジェクトとして存在しており、このときのオーバーレイネットワークをリンクによって図示している。これは基になる VR Object と一対一に対応したネットワークである。

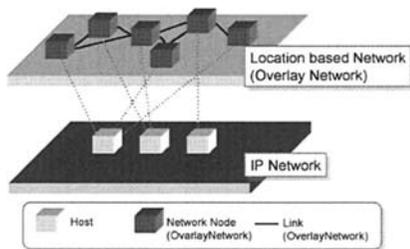


Figure 5: IP ネットワークとオーバーレイネットワーク

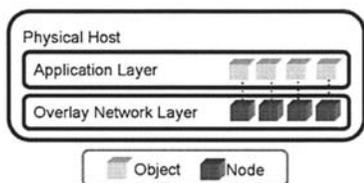


Figure 6: 物理ホストにおける複数ノードの存在

また、VR Object の移動に伴う位置情報に変更があった場合はそれに従い Network Node も移動し、このときネットワークの接続は更新されネットワークが再構築される。

3.3 オーバーレイネットワークと実ネットワークの対応

提案するオーバーレイネットワークと IP ネットワークとの対応を図 5 に示す。提案するオーバーレイネットワークにおいてノードの配置は VR Object の配置によって決定されるため、IP ネットワークにおいて最適なネットワークにはならない。ただし、同一ホスト内において存在するノード間の通信に関しては直接行われる。これは前述のアーキテクチャにおいて OverlayNetwork Layer が IP ネットワークに接続する前段階でルーティングを行うことによって実現される。図 6 は物理ホスト上に複数のノードが存在することを示すものである。仮に単一の物理ホストと上に 4 つの VR Object が管理されているとすると、Overlay Network Layer においても 4 つのノードが存在することを示す。

3.4 ネットワークの再構築

提案するネットワークは VR Object の位置情報に依存したネットワークを構築する。そのため VR 空間

におけるオブジェクト位置が変化した場合、一貫性を保つためにネットワークの再構築を行う必要がある。VR Object の位置情報の変化があった場合には対応するノードのネットワーク位置座標も変化するものとし、移動を行いネットワークの再接続を行う。移動に関しては次節のルーティングにおいて述べる。

3.5 ルーティングとメッセージ通信

構築されるオーバーレイネットワーク上においてはルーティングが行われる。ルーティングの対象はノードとメッセージとし、ノードが移動した際や、メッセージを特定のノードに届ける際にこの機能が働く。送信元から送信先の方向を算出し、方向が一致するリンクを候補とし、距離が最短となるリンクを選択していくことによって送信先まで対象をルーティングする。

メッセージは送信元、送信先をノードとシアプリケーションの通信に用いられる。また、メッセージをネットワーク全体へ送信し、条件に合致するノードからのレスポンスを得ることでネットワーク全体への問い合わせを実現する。メッセージを送信する際の経路を図 7 に示す。ルーティングはメッセージを届ける方向に存在するノードのうち、最も論理的な距離に近いノードに届けられる。このプロセスは送信先にメッセージが到達するまで繰り返され、メッセージは目的のノードに到達することができる。

ノードの移動に関してもメッセージの送信と同じ手法を用いる。図 7 に従い移動先までのルートを決定的することで、ノードは任意の位置に移動することが可能である。

4 性能評価

本システムのスケーラビリティに対する有効性を確認するためシミュレーションによる性能評価を行った。評価項目はノード数の増加に対する一貫性評価、データ転送量評価、計算負荷の評価である。

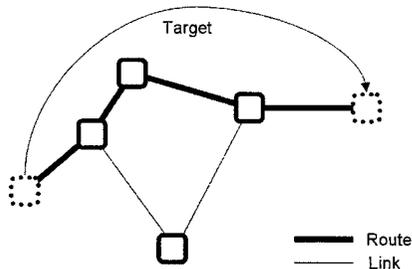


Figure 7: ルーティング

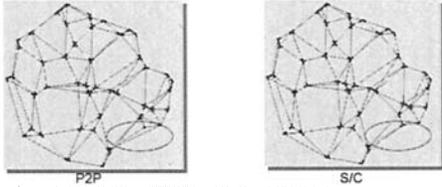


Figure 8: 一貫性の欠如

4.1 一貫性評価

本稿において測定を行った一貫性とはネットワークのある状態において、リンクが正常に存在しているかを計る指標である。Centerized Model においてはノード間のネットワーク接続判定の計算はサーバのみで行われるため一貫性が損なわれることはないが、Distributed Model にておいてはノード間のネットワーク接続のための判定を各ノードにおいて行うため、期待する接続が存在しない、もしくは誤った接続を行う可能性がある。図 8 に可視化したネットワークに見られる一貫性の欠如を示す。楕円で囲った部分のリンクが P2P, S/C (Server/Client) それぞれにおいて異なるリンク形態をとっていることが確認できる。S/C が本来為すべき形態であるのに対して P2P では異なったリンク形態となっている。

一貫性 Consistency は N をノード数, $P(i)$ をノード i における実際に接続を行ったリンク, $Q(i)$ をノード i における本来接続すべきリンクとした際に

$$Consistency = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P(i)}{Q(i)} \quad (1)$$

として求められる [8].

4.1.1 シミュレータ

シミュレータは大きく 3 つの機能に分類し作成した。構成図を図 9 に示す。Node Generator, Link Simulator, Visualizer であり、Link Simulator はさらに Centerized Model, Distributed Model の 2 種類に分類をできる。Node Generator はノードの配置パターンを生成する。任意のノード数に対して位置情報が重複しないノード配置パターンを生成する。ノードの位置を二次元座標上にランダムに生成し、記録する。また、生成した座標がすでに記録されている場合は再計算を行うことで実現した。

Link Simulator は提案する手法を用いて与えられたノードの位置情報を基にリンク情報を計算する。リンク情報の計算は各ノード毎に行われる。また、Centerized Model, Distributed Model それぞれにおいてリ

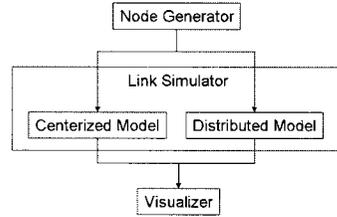


Figure 9: シミュレータ構成

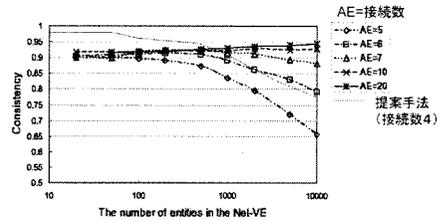


Figure 10: 一貫性評価

ンクの算出方法が異なる。リンク情報は各ノード毎に $+x, -x, +y, -y$ の全 4 方向を求め、該当するノード ID を記述する。これは条件を P2P Message Exchange Scheme に合わせるためである。

さらに Simulator は Centerized Model と Distributed Model に分類をでき、Centerized Model はすべての情報をまとめるサーバが存在するため、各ノードに対して最も距離的に近いノードを算出する。全ノードに対し全ノードの位置座標を参照する手法を採用し、単純に $O(n^2)$ となるループで実現している。すべてのノードに対して処理を行い、その時点のリンク情報を出力する。

Distributed Model は Centerized Model とは異なり、各ノードは自身が接続しているノードからしか情報を得ることができないという状況を再現する必要がある。そのため、シミュレータ内部の計算はノード単位で実行され、実際のネットワークと同等に参加する部分からシミュレートを行う必要がある。

ノードは参加した際に得られたリンク先のノードからルーティングを用いて指定された位置座標まで移動する。すべてのノードに対してこの処理を繰り返し、終了した時点のリンク情報を出力する。

3 つ目の Visualizer では生成されたリンク情報を基に可視化を行う。Link Simulator において出力された情報を入力とし、図 8 示されるような表示を行う。

実験結果を図 10 に示す。これは P2P Message Exchange Scheme において行われた結果に提案手法の評

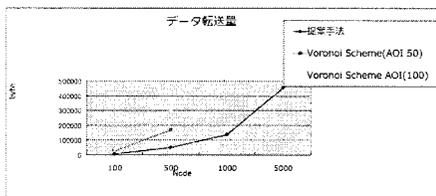


Figure 11: データ転送量

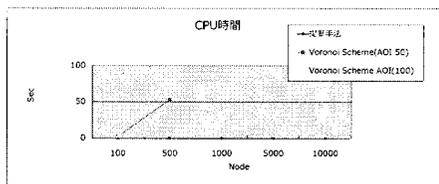


Figure 12: 1 ノードあたりの計算負荷

価結果を重ねたものである。P2P Message Exchange Scheme においては 1 ノードあたりの接続数を示す AE が 1 ノードあたりの接続数となる。AE が増加するに従い一貫性が向上していることがわかる。一方で提案手法の接続数を 2 次元空間に限定し 4 接続と設定した場合、提案手法においてより高い一貫性を得ることができた。

4.2 転送量評価

転送量の測定としては、シミュレータ上でオーバーレイネットワークの構築を行い、同条件でノードを移動させる場合に発生するデータの転送 Byte 数を計測した。比較対象は Voronoi Scheme である。[1] これは公開されている [6] の実装となっている。測定結果を図 11 に示す。転送量は提案手法、Voronoi Scheme 共に指数オーダーで増加することが確認できた。実転送量に関しては若干提案手法が少ないという結果が得られた。

4.3 計算負荷評価

負荷測定の対象としてはオーバーレイネットワーク構築に必需となる CPU 時間であり、アルゴリズム固有の計算部分の測定を行った。比較したのは転送量と同じく Voronoi Scheme である。Voronoi Scheme は通信対象を決定するために Voronoi 図を各ノードにおいて算出する必要がある。一方で提案手法においてはノード間の距離の算出のみを行うため、比較すると提案手法が低い負荷でネットワークを維持することが可能である。

5 まとめ

本稿では CVE における位置情報を利用したオーバーレイ P2P ネットワークを提案し既存手法との比較評価を行った。

提案手法により大規模な CVE 実現が期待できる。今後の課題としては評価対象を変えての性能評価と、今回行っていない End-to-End 遅延の測定やデータ転送量の測定が挙げられる。

References

- [1] VAST - scalable peer-to-peer (P2P) network for virtual environments (virtual worlds, MMOG and simulations). <http://vast.sourceforge.net>.
- [2] Yoshiaki Araki and Sony Music Entertainment (Japan) Inc. Vspus: A high-level multi-user extension library for interactive vrml worlds. In *VRML '98: Proceedings of the third symposium on Virtual reality modeling language*, pp. 39–47, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.
- [3] J.X Chen, Yonggao Yang, and B Loffin. Muvecs: a pc-based multi-user virtual environment for learning. In *Virtual Reality, 2003. Proceedings. IEEE*, 2003.
- [4] Dawei Ding and Miaoling Zhu. A model of dynamic interest management: interaction analysis in collaborative virtual environment. In *VRST '03: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp. 223–230, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [5] Chris Greenhalgh, Jim Purbrick, and Dave Snowdon. Inside massive-3: flexible support for data consistency and world structuring. In *CVE '00: Proceedings of the third international conference on Collaborative virtual environments*, pp. 119–127, New York, NY, USA, 2000. ACM Press.
- [6] Shun-Yun Hu and Guan-Ming Liao. Scalable peer-to-peer networked virtual environment. In *NetGames '04: Proceedings of 3rd ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games*, pp. 129–133, New York, NY, USA, 2004. ACM Press.
- [7] B. Knutsson, H. Lu, W. Xu, and B. Hopkins. Peer-to-peer support for massively multiplayer games, 2004.
- [8] Y.Kawahara, H.Morikawa, and T.Aoyama. A peer-to-peer message exchange scheme for large scale networked virtual environments. In *ICCS2002: Proceedings of 8th IEEE international Conference on Communications Systems*, 2002.