

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：24402
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2016～2019
課題番号：16K00135
研究課題名（和文）WebRTCを用いたブラウザ間構造化P2Pネットワークの開発とその応用

研究課題名（英文）Development of an Inter-Browser Structured P2P Network over WebRTC and Its Application

研究代表者
安倍 広多（Abe, Kota）

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40291603
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）：Webブラウザで構成されたオーバーレイネットワークを実現する方式を考案した。提案方式は中央サーバを必要としない。また、この方式を用いてスケーラブルなキー順序保存型構造化オーバーレイネットワークKirinを実現した。さらに、Kirin上でTwitterのような分散マイクロブログサービスを実現する方法を考案した。提案手法はTypeScriptで実装し動作を確認している。また、GitHub上でオープンソースソフトウェアとして公開している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を用いることで、Webサーバと、そのWebサーバにアクセスしているブラウザ群を協調動作させることが可能となる（例えば、Webサーバが提供するコンテンツを他のブラウザからも取得することでWebサーバの負荷をオフロードするなど）。また、本研究のオーバーレイネットワークは大規模災害時の避難所や発展途上国の学校など、インターネットへの到達性がない環境での情報の共有に利用できる。さらに、サーバが不要であることから、耐検閲性を有するコミュニケーション手段として利用できる。

研究成果の概要（英文）：We have devised a method to realize an overlay network that consists of Web browsers. The proposed method does not require a central server. Using this method, we also have developed a scalable key-order preserving structured overlay network, Kirin. Furthermore, we have demonstrated that a Twitter-like distributed microblogging service can be implemented on Kirin. We have implemented these methods in TypeScript and have confirmed that it works properly. The implementation is released as open source software on GitHub.

研究分野：分散システム

キーワード：オーバーレイネットワーク P2Pネットワーク 分散協調システム WebRTC

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

負荷の増大に対するスケーラビリティ, サービス立ち上げの容易さ, 検閲への耐性などの利点から, P2P ネットワーク(オーバーレイネットワーク)を用いたサービスが実用化されている(例えば BitTorrent, Skype, Tor, Tribler など). しかし, ユーザがこれらのサービスを利用するためには専用のソフトウェアをインストールする必要があり煩雑である.

ところで, サーバを介すことなくウェブブラウザ間で直接 P2P 接続し, 通信を行うための WebRTC API が普及しつつある(既に Google Chrome(PC 版, Android 版とも), Firefox, Opera などで利用可能). WebRTC は W3C の標準規格であり, ブラウザに特別なプラグインなどをインストールすることなく利用できる. また, データ以外に音声やビデオのリアルタイム伝送もサポートする. WebRTC では, NAT(Network Address Translation) ルータの内側にあるブラウザ同士でも UDP Hole Punching などの技法を用いて可能な限り直接 P2P 接続できるようになっている.

2. 研究の目的

本研究では, WebRTC を用いた大規模なブラウザ間オーバーレイネットワーク(以下 **WebON** と呼ぶ)の開発を行う. オーバレイネットワークとしては, スケーラビリティがあり, 他のノードを少ないホップ数で見つけられる構造化オーバーレイネットワークを採用し, キーを指定して単一ノードと通信する Unicast 通信, キー範囲を指定して複数のノードと通信する Multicast 通信などの機能を提供する. このようなネットワークは, 利用者はウェブブラウザさえあれば参加できるため, さまざまなサービスの提供基盤として魅力的である.

また, 応用として, 分散ハッシュテーブル(DHT)およびコミュニケーションツール(Twitter と類似したマイクロブログ, チャット, ビデオ会議などを想定)も開発する. これにより実装の質を高めると共に, 実用性と性能を確認する.

3. 研究の方法

WebRTC を用いて 2 つのブラウザ間で P2P 接続を行うには, 両者の間で使用する下位プロトコルや IP アドレスなどの情報を交換するためのシグナリングと呼ばれる手続きを必要とする. WebRTC ではシグナリングのための通信路は規定していないが, WebSocket などを用いて Web サーバに中継させる方法が一般的である. 既存のブラウザ間構造化 P2P ネットワークはいくつか存在するが, これらはシグナリングのために特定のサーバを利用する構造となっているため, スケーラビリティ上および耐故障性上の問題がある.

また, 通常の構造化 P2P ネットワークでは, 各ノードが保持する経路表に IP アドレスを格納し, 必要に応じて当該 IP アドレスに対して通信する(TCP コネクションを確立してからデータを送信する, あるいは直接 UDP データグラムを送信するなど). しかし, WebRTC では相手ノードと直接通信するにはまず別のノードを介したシグナリングを行う必要があるため, 経路表を書き換えるコストは高い. また, 構造化 P2P ネットワークで必要なリンクの修復についても, WebRTC ではバックアップリンクを予め確立しておく必要があるなどの違いがある. 本研究ではこれらの WebRTC の特性を考慮した構造化 P2P ネットワークを開発する.

4. 研究成果

主要な成果は以下の通りである.

(1) WebON においてノード間のコネクションを確立する方式を考案した. 提案方式では,

シグナリングのためにオーバーレイネットワークを用いる。オーバーレイネットワークでは、各ノードはオーバーレイネットワークごとに決められたアルゴリズムによりリモートノードと接続するが、リモートノードを探索したときの経路を用いてシグナリングを行う。新規に WebON に参加するノードはこの方法でシグナリングできないため、Node.js 上で動作するノード（ポータルノード）を併用する。ポータルノードは WebSocket サーバとしても動作する。

WebRTC ではパケットフィルタリングなどの関係で直接接続を確立できないことがあり、通常は TURN サーバによるリレーにフォールバックする。TURN サーバは単一故障点もしくはボトルネックとなる可能性があるため、提案手法ではオーバーレイネットワーク中のノードによるリレーを行う。リレーの経路は複数用意することで冗長性を確保している。

これによって、中央サーバへの依存度が低い WebON を実現した。現時点では STUN サーバへの依存が残っているが、これは STUN サーバをポータルノードで動作させることで解消できる。また、この方式を TypeScript で記述されたフレームワークとして実装した。このフレームワークでは、WebRTC、WebSocket、リレーなどの接続の違いは上位層から隠蔽するようになっている。

- (2) キー順序保存型構造化オーバーレイネットワーク Suzaku を考案し、評価した。Suzaku は経路表を頻繁に更新しなくても性能がそれほど劣化しないという特徴を有するため、接続確立のコストが高い WebON に向いている。
- (3) WebON 上で、キーの順序でソートされた双方向リングを構築するアルゴリズム DDLL を実現した。また、上記の Suzaku を WebON 向けに改良した Kirin を実現した。Kirin ではキーの値を指定した Unicast、キーの範囲を指定した Multicast が可能である。ノード障害の検出と回復機能を備えており、インターネット環境での利用に耐える。（ただし、ビザンチン障害に対する耐性は備えていない）。
- (4) Kirin 上に、Twitter ライクな分散マイクロブログサービスを実現する方法を示し、実装した。

開発したソフトウェアは Web-Overlay という名称でオープンソースソフトウェアとして公開した。主要な Web ブラウザおよび Node.js での動作を確認している。規模は TypeScript で約 12000 行である。

次ページはデモプログラムのスクリーンショットである。

Web-Overlay Demo

localhost:8080

Web-Overlay Demo

Network ID:	NET-e952038c
Overlay:	Kirin
Introducer URL:	http://localhost:8080
Log Server URL:	http://localhost:8801
Key:	Enter Unique Key

Join

Finger Table | Connections | Topology | Chat | About

Web-Overlay Demo

Network ID:	NET-e952038c
Overlay:	Kirin
Introducer URL:	http://localhost:8080
Log Server URL:	http://localhost:8801
Key:	test

Leave

DDLL State	Left Key	Right Key	Left PCID	Right PCID	Left Seq.	Right Seq.
IN	*1*	*0*	1	3	(0, 0)	(0, 2)

Finger Table | Connections | Topology | Chat | About

Simple Chat

what are you doing?

@test 2020/4/23 14:59:42
Hello

Web-Overlay Demo

Network ID:	NET-e952038c
Overlay:	Kirin
Introducer URL:	http://localhost:8080
Log Server URL:	http://localhost:8801
Key:	test

Leave

DDLL State	Left Key	Right Key	Left PCID	Right PCID	Left Seq.	Right Seq.
IN	*1*	*0*	1	3	(0, 0)	(0, 2)

Finger Table | Connections | Topology | Chat | About

Connections

PeerConnections

Local PeerConnection ID	Remote NodeId	Remote PCID	Local Key	Remote Key	State	Paths	Initiator?
0	52a7cbf7	0	*test*	*test*	CONNECTED	Path(52a7cbf7->52a7cbf7, 0)	true
1	d55b3e8a	21	*test*	*1*	CONNECTED	Path(52a7cbf7->d55b3e8a, 21)	true
3	1dca6e71	35	*test*	*0*	CONNECTED	Path(52a7cbf7->1dca6e71, 35)	true
4	d55b3e8a	22	*test*	*1*	CONNECTED	Path(52a7cbf7->d55b3e8a, 22)	true
5	1dca6e71	36	*test*	*0*	CONNECTED	Path(52a7cbf7->1dca6e71, 36)	true

RawConnections

RawConnection ID	Remote NodeId	Detail
0	52a7cbf7	Loopback[id=0, idIe=08955]
1	1dca6e71	Socket.IO(Client[id=1, remNodeId="1dca6e71", url="http://localhost:8080", CONNECTED, transport=websocket, graceClose=false, myAddr=:1, idIe=01940])
2	d55b3e8a	Socket.IO(Client[id=2, remNodeId="d55b3e8a", url="http://localhost:8081", CONNECTED, transport=websocket, graceClose=false, myAddr=:1, idIe=02450])

Indirect Nodes

||

Suspicious Nodes

||

Web-Overlay Demo

Network ID:	NET-e952038c
Overlay:	Kirin
Introducer URL:	http://localhost:8080
Log Server URL:	http://localhost:8801
Key:	test

Leave

DDLL State	Left Key	Right Key	Left PCID	Right PCID	Left Seq.	Right Seq.
IN	*1*	*0*	1	3	(0, 0)	(0, 2)

Finger Table | Connections | Topology | Chat | About

Topology

Get

Key	NodeId	Type	Paths	Joined	UA	OS
0	1dca6e71	Portal	Path(1dca6e71->1dca6e71), Path(1dca6e71->d55b3e8a), Path(1dca6e71->52a7cbf7)	2020-04-23T14:30:52+09:00	node	Mac OS
1	d55b3e8a	Portal	Path(d55b3e8a->d55b3e8a), Path(d55b3e8a->1dca6e71), Path(d55b3e8a->52a7cbf7)	2020-04-23T14:38:31+09:00	node	Mac OS
test	52a7cbf7	Browser	Path(52a7cbf7->52a7cbf7), Path(52a7cbf7->d55b3e8a), Path(52a7cbf7->1dca6e71)	2020-04-23T14:45:36+09:00	chrome	Mac OS

Web-Overlay Demo

Network ID:	NET-e952038c
Overlay:	Kirin
Introducer URL:	http://localhost:8080
Log Server URL:	http://localhost:8801
Key:	test

Leave

DDLL State	Left Key	Right Key	Left PCID	Right PCID	Left Seq.	Right Seq.
IN	*1*	*0*	1	3	(0, 0)	(0, 2)

Finger Table | Connections | Topology | Chat | About

Finger Table

Backward Finger Table				Level	Forward Finger Table			
Key	PeerConnection ID	State	Level	Key	PeerConnection ID	State	Level	
1	1	CONNECTED	0	0	3	CONNECTED	0	
0	5	CONNECTED	1	1	4	CONNECTED	1	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kota Abe, Yuuichi Teranishi	4. 巻 E102-B
2. 論文標題 Suzaku: a Churn Resilient and Lookup-Efficient Key-Order Preserving Structured Overlay Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transcom.2018EBT0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 鄭エン祖, 川井悠司, 李佼柯, 安倍広多	4. 巻 9
2. 論文標題 WebRTCを用いた耐故障性の高いウェブブラウザ間構造化P2Pネットワークの実現	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 安倍広多, 寺西裕一	4. 巻 116
2. 論文標題 高いChurn耐性と検索性能を持つキー順序保存型構造化オーバーレイネットワークSuzakuの提案と評価	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 11-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 川井悠司, 李佼柯, 安倍広多	4. 巻 B-7-11
2. 論文標題 ウェブブラウザ間P2Pネットワークのためのコネクション管理フレームワーク	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電子情報通信学会総合大会予稿集	6. 最初と最後の頁 144
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 李俊柯, 川井悠司, 安倍広多	4. 巻 B-7-12
2. 論文標題 ウェブブラウザ間P2Pネットワークにおける双方向リング構築手法	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電子情報通信学会総合大会予稿集	6. 最初と最後の頁 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 田中凌, 安倍広多
2. 発表標題 ブラウザ間構造化P2Pネットワークを用いたマイクロログサービスの設計と実装
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安倍広多, 寺西裕一
2. 発表標題 WebRTCを用いたブラウザ間構造化P2Pネットワークの実現
3. 学会等名 第10回広域センサネットワークとオーバーレイネットワークに関するワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺西裕一, 安倍広多
2. 発表標題 構造化オーバーレイネットワークSuzakuの性能について
3. 学会等名 第10回広域センサネットワークとオーバーレイネットワークに関するワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安倍広多, 寺西裕一
2. 発表標題 高いChurn耐性と検索性能を持つキー順序保存型構造化オーバーレイネットワークSuzakuについて
3. 学会等名 第9回広域センサネットワークとオーバーレイネットワークに関するワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鄭エン祖, 川井悠司, 安倍広多
2. 発表標題 WebRTCを用いたブラウザ間構造化P2Pネットワーク
3. 学会等名 第9回広域センサネットワークとオーバーレイネットワークに関するワークショップ
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究で開発したソースコードはオープンソースソフトウェアとして, <https://web-overlay.github.io> で公開している.

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考