

平成21年5月8日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700068

研究課題名（和文） インタラクティブ進化的ネットワーキングに関する研究

研究課題名（英文） A Study on Interactive Evolutionary Networking

研究代表者

大西 圭（OHNISHI KEI）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：30419618

研究成果の概要：インターネット等の物理ネットワーク上に論理的に構築されるオーバーレイネットワークの中で、ノードが直接通信（論理リンク）により互いにサービスを提供し合うPeer-to-Peer（P2P）ネットワークに注目し、実際に稼働しているP2Pネットワークのトポロジ群（論理リンク構造）を、ノードやユーザからの評価に基づき、動的かつ進化的に適応させる手法を考案し、その基本的な有用性をシミュレーションにより示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,500,000	180,000	1,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：分散システム，P2P ネットワーク，進化的計算手法

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、ユビキタス社会の実現が進められている。ユビキタス社会は、人がいつでもどこでもコンピューティングやネットワークの恩恵を受けることができる社会である。そのような社会においては、人と計算・情報通信端末の間のインタラクションが増加する。このとき、特別な知識やスキルを持たない人であってもユビキタス社会の恩恵を受けられるようにすることが一つの課題である。それには、実現される各種システムが、優れた操作性を与えるユーザインターフェイスを備えていることだけでなく、シス

テム機能や構造を利用者に適応させる機構を備える必要がある。

(2) システム機能や構造の利用者への適応に注目すると、これまで、特別な知識やスキルを持たない人でも、利用するシステムのパラメータを、その人の好みに合うように、人と計算端末の間の単純なインタラクションを通じて調節する技術が提案されている。その一つは、インタラクティブ進化的計算である。進化的計算は、生物の遺伝・進化に着想を得た最適化手法の枠組みであり、インタラクティブ進化的計算は、進化的計算手法の評価系に人を組み込む最適化手法の枠組みで

ある。この手法により、システム利用者の主観的満足度向上がなされた事例がいくつも報告されている。しかし、それらの事例は、コンピューティングが主機能のシステムに関係している。

(3) ネットワーキングが主機能のシステムに関しては、利用者の好みを反映可能な「進化的な方法」は存在していない。ネットワーク上に実現されたシステムパラメータを個々の利用者の好みに合わせることは、上述のインタラクティブ進化的計算により可能である。しかし、複数利用者で共用するネットワークのリンク構造自体を個々の利用者の好みに合わせるためには、新たな方法論が必要である。ただし、インターネットに代表される物理的ネットワーク構造については利用者が変更することは不可能であるので、論理的にネットワークリンク構造の形成が可能なオーバーレイネットワークが対象となる。

2. 研究の目的

オーバーレイネットワークのトポロジ（論理的なリンク構造）を、利用者の好みを反映させて動的かつ進化的に形成する手法を考案する。この手法を、インタラクティブ進化的ネットワークと呼ぶ。具体的には、オーバーレイネットワークの一形態であり、ノード間の直接通信により相互にサービスを提供し合う Peer-to-Peer (P2P) ネットワークを対象に方法を考案し、その基本的な有用性をシミュレーションにより評価する。

3. 研究の方法

(1) P2P ファイル共有システムのための、インタラクティブ進化的ネットワークの考え方に沿った具体的な手法を考案する。この手法を、進化的 P2P ネットワーキング手法と呼ぶ。この手法においては、全てのノード(N個)を含む複数のネットワークリンク構造(T個)を生成し、それらがどの瞬間にも並存しており、それらの今の状況への適応度(評価値)が、実際に利用者に利用されながら測られる。よって、具体的な手法の考案に向けて、以下の4点について決定する： a) 可能なネットワークリンク構造(探索空間), b) ファイル検索方法(クエリ伝搬手法), c) ネットワークリンク構造の評価値の測り方, d) 評価値に基づいたネットワークリンク構造の進化的形成方法。

(2) 進化的 P2P ネットワーキング手法をシミュレーションにより評価する。具体的には、ノードの参加離脱や動的な検索対象の変化が起こる動的な P2P ネットワーク環境において、本手法を用いれば、確実な検索を実現可能かをシミュレーションにより評価する。

(3) 進化的 P2P ネットワーキング手法を応

用したシステムを考案する。具体的には、本手法によると、ネットワークのリンク構造が、ユーザの評価に基づき適応的に変化することを考慮して、情報発信者と情報利用者の双方の要求を満たす情報検索システムを考案する。

4. 研究成果

(1) 進化的 P2P ネットワーキング手法の考案

進化的 P2P ネットワーキング技術アイデアは、生物の遺伝と進化に着想を得た最適化手法である進化的計算手法と P2P ネットワークを融合させること、である。最適化手法である進化的計算手法にとって P2P ネットワークは、最適化の対象かつ評価関数であり、P2P ネットワークにとって進化的計算手法は、トポロジを変化させる機構である。

設計すべき主な項目は、(a)進化的計算手法と P2P ネットワークとのインターフェイス、(b)P2P ネットワークから進化的計算手法に渡される評価値、(c)進化的計算手法がトポロジの再構成に用いる進化的演算、である。以下に設計した内容の概要を示す。

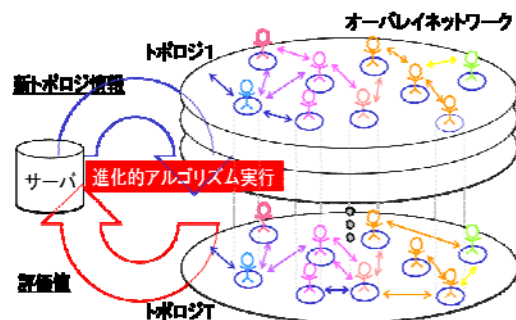


図1 進化的 P2P ネットワーキング技術。

(a)進化的計算手法と P2P ネットワークとのインターフェイス

図1に示したように、進化的計算手法は、サーバ上で実行される。進化的計算手法と P2P ネットワークの間の情報のやりとりは、このサーバと P2P ネットワークの間の情報のやりとりと等しい。

ノードは、P2P ネットワークに参加あるいはネットワークから離脱する際に、このサーバに通知する。従ってこのサーバは、どの時刻においても P2P ネットワークに参加しているノードを把握可能である。しかし、サーバはノードがどのようなサービスを提供可能かは把握しない。

ノードが初めて P2P ネットワークに参加するとき、サーバは、その時刻にネットワークに参加しているノード群から、その初参加ノードの接続先ノード群を無作為に決定する。複数(N個)の P2P ネットワークトポロジがあるので、それらのトポロジ分だけ接続先を決定する。次に、P2P ネットワークに参加して

いるあるノードがP2Pネットワークから離脱するとき、それをサーバに通知する。そして、そのノードが再度P2Pネットワークに参加するときは、それをサーバに通知するが、その接続先ノード群は、それが離脱する前に接続していたノード群と同じとする。ただし、離脱する前に接続していたノード群の一部または全部が、その時刻にネットワークから離脱している可能性はある。

(b)P2P ネットワークから進化的計算手法に渡される評価値

進化的P2P ネットワーキング技術が適用されたP2Pネットワークにおいては、各ノードが、要求サービスを提供可能なノードを検索する際に、ノードが属する複数のネットワークトポロジ全てを利用する。そして、一定期間(T時間)ノードがこのような検索を行い、各トポロジを用いたときに検索が成功した回数とそのトポロジの評価値となる。ただし、この評価値は、利用者の主観的評価値ではなく、今後主観的評価値を取り込む方法の検討が必要である。

(c)進化的計算手法がトポロジの再構成に用いる進化的演算

まず、P2P ネットワークトポロジは、進化的計算手法の中で演算可能なように、整数ベクトルとして表現される。ここで使用するP2Pネットワークトポロジは、各ノードから1本の有向リンクを他ノードに対して生成することにより生成されるものである。トポロジを表現する整数ベクトルの各要素は、各ノードの識別番号に対応し、各要素値は、ある識別番号を持つノードからどの識別番号を持つノードへ有向リンクが生成されているかを表す(図2)。

上述のP2Pネットワークトポロジを表現(符号化)する整数ベクトルに進化的演算を適用して、新たなP2Pネットワークトポロジを表現する整数ベクトルを生成する。

進化的演算の1つである選択演算として、ここでは既存のトーナメントサイズがKのトーナメント選択を用いた。これは、トポロジを表現する全整数ベクトル(個体群)から無作為にK個のベクトルを選択し、そのK個のベクトルの中で最も良い評価値を持つベクトル(個体)を1個選択する。この選択操作を、保持すべきベクトル数(個体数)に達するまで行う。

進化的演算の1つである交叉演算としては、ノード連鎖交叉と呼ぶものを用いた(図3)。これは、ここで新たに考案したものである。この演算は、前述の選択演算により選ばれたベクトル群を2ベクトル1組とする組に分け、その各組に対して確率 p_c (交叉率)で適用される。この交叉の詳細をここでは示さないが、

大まかには、2ベクトルのうちの1つが含む有向リンクが作るノード間の連鎖を、確率 p_e でもう片方にコピーするものである。

進化的演算の1つである突然変異演算としては、各ベクトル要素の値を確率 p_m (突然変異率)で無作為に他の値に変化させる方法を用いる。この演算は、交叉演算適用後のベクトル群に対して適用される。

選択、交叉、突然変異演算により新たに生成されたトポロジを表現する整数ベクトル群は、復号化され実際のP2Pネットワークトポロジ群となる。

進化的計算手法の中でのトポロジの表現 → 1次元ベクトル

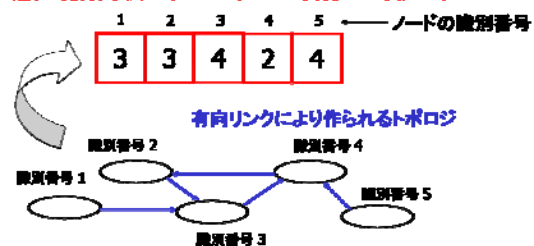


図2 P2P ネットワークトポロジの表現。

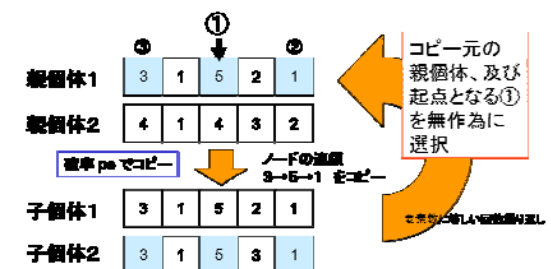


図3 ノード連鎖交叉。

(2) 進化的P2P ネットワーキング手法の評価

上述の設計技術が、動的なP2P環境における確実な検索に寄与するかをシミュレーションにより調査した。

まず、動的P2P環境は次のようである。使用するP2Pシミュレーションモデルにおいては、P2Pネットワークに参加しているP2Pノード群が時間とともに変化する。全L個のノードは、単位時間毎に、それぞれに与えられた確率により、ネットワークに参加するかどうかを決定する。この確率を参加確率と呼ぶ。各ノードの参加確率は、 $[10^{-6}, 1.0]$ の1様乱数によって決定される。

毎時刻に、各ノードはそれが持つ参加確率でネットワークに参加する。参加しない場合は、そのノードはネットワークから離脱状態にある。毎時刻に参加離脱を決定した後、参加ノードは、1回の検索を行う。このとき、単位時間は、全L個のノードが参加あるいは離脱を決定し、全参加ノードが1回ずつ検索するのに要する時間となる。

また、調査のために、以下の2つの評価シナ

リオを準備した。いずれのシナリオにおいても、ノードの参加と離脱は、上述の様に起こる。また、シミュレーションを行う時間は、2つのシナリオに共通して5,000単位時間(1~5,000時間)とする。

シナリオ1

このシナリオは、非構造型 P2P ファイル共有ネットワークのように、検索対象物の複製がネットワーク上に作られる。複製の方法は、検索を行うノードが、検索により得た対象物を、自身のストレージに保存し、それ以後、その対象物を共有するものとする。これは、Owner Replication と呼ばれる。

各ノードは検索対象物を1種類ずつ持つこととし、検索対象は1,000単位時間毎に変化していく。各1,000単位時間における検索対象物は400種類ある。各ノードのストレージ容量は、[50, 300]の間の一様乱数により決められる。ここで、1単位ストレージ容量は、1つの検索対象物をストレージに保存するのに必要な容量とする。

シナリオ2

検索対象物の複製配置を行わない。また、検索対象はノードであり、時刻1から2,500までは2つのノードが検索対象となり、時刻2,501から5,000までは別の2つのノードが検索対象となる。

最後に、この調査に用いた進化的 P2P ネットワーキング技術の主なパラメータの値を表1に示す。

表1 パラメータの値.

ノード数 L	2,000
トポロジ数 N	50(シナリオ1), 100(シナリオ2)
トポロジ使用期間 T	50
1検索の許容ホップ数	3(シナリオ1), 6(シナリオ2)
トーナメントサイズ K	2
交叉率 p_c	1.0
ノード連鎖コピー率 p_e	0.1
突然変異率 p_m	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0

図4および図5に、シナリオ1とシナリオ2における検索失敗率の時間変化をそれぞれ示す。いずれの結果も、初期値が異なる10回の実行の平均である。また、いずれの図にも、7種類の p_m (突然変異率)の値を用いたときの結果と、進化的演算を一切用いないときの結果(nothingのラベル)を示している。

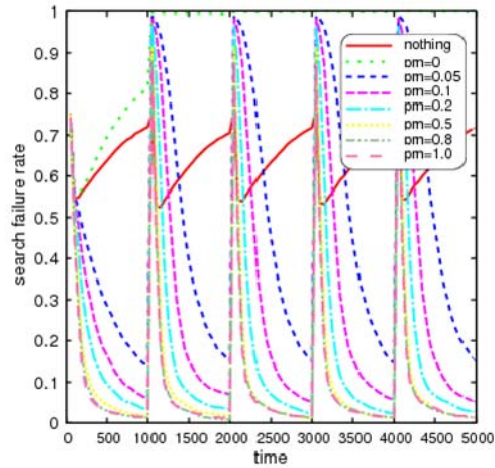


図4 シナリオ1における検索失敗率の時間変化.

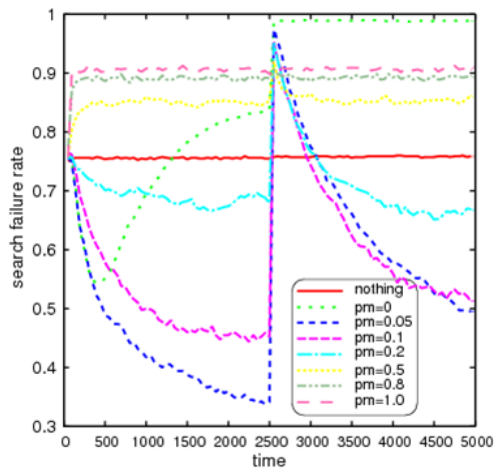


図5 シナリオ2における検索失敗率の時間変化.

図4によると、シナリオ1においては、突然変異率が高くなるほど、検索失敗率が時間とともに、より低くなる事が分かる。そして、突然変異率 p_m が1.0、つまり50単位時間毎にランダムにトポロジを作り直す方法により、最も素早く、より低い検索失敗率に到達可能である事が分かる。この結果は、現世代の良い個体から次世代の個体をつくるという進化的な方法よりも、常に大きな変化がある方が、確実な検索を可能にすることを意味する。

図5によると、シナリオ2においては、突然変異率が低くなり、かつ0でないときに、検索失敗率が時間とともに、より低くなる事が分かる。この結果は、このシナリオにおいて、現世代の良い個体から次世代の個体をつくるという進化的な方法が有効であることを示している。

上述のような P2P ネットワークトポロジ群の進化的適応が起こりうる状況で、確実な検索を行えるトポロジ群を素早く進化させるためには、トポロジ群(個体群)中の個々が特

定の検索対象に特化するようなトポロジの棲み分けの方法が必要と考えられる。

(3) 進化的 P2P ネットワーキング手法の応用

現在、情報通信・蓄積技術の進歩と、一般人による容易な情報発信・共有を可能にする技術の進歩が重なり合い、ネットワークの規模およびその上の情報量は拡大し続けている。このような技術の進歩に伴うネットワークの量的な拡大の一方で、人間の情報処理の速度および情報の質に対する感性は今後も大きく変わることはない。今後、量的な拡大を続けるネットワークと特性が変わることがない人間の関係を考慮したネットワークシステム設計が重要になると考えられる。

ネットワーク上の情報爆発に対する現在の取組みは、情報利用者に有益な情報をいかに提供するかを問題としている。しかしここでは情報を生み出す当事者である「情報発信者」の積極的な貢献が期待されていない。例えば、現在多くの人々が利用する Google に代表される Web 上の情報検索技術は、情報発信者でもなく利用者でもない第三者による情報源の価値判断に頼っており、また情報利用者による情報へのタグ付けを許すフォクソノミーは、様々な実運用システムが存在するが、これらは情報利用者による情報の価値判断に頼っている。このように、現在、情報爆発に対する対処として、第三者による強力な情報の一元管理と利用者による情報の超多元管理が主流と言える。一方、情報を生み出す当事者かつ発信情報を最もよく知るはずの情報発信者は、発信情報をその価値が分かる利用者に届けたいと思いながら、自身の発信情報の価値を判断し利用者に直接提案することができない受動的な立場にある。

そこで、情報を生み出す当事者かつ発信情報を最もよく知るはずの「情報発信者」、情報源を利用する「情報利用者」、情報源のつながりを作る「ネットワーク」の対話に基づいて、情報発信者と利用者双方にとって有益な情報源のつながりを創出するネットワークシステムを考案する。

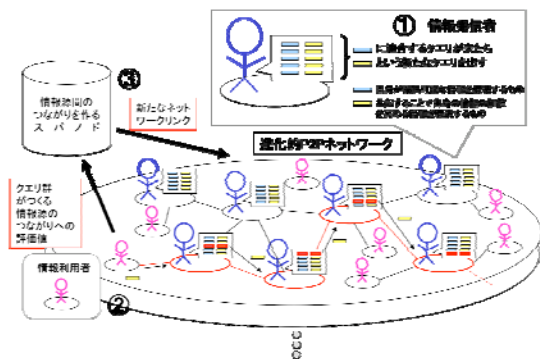


図6 進化的 P2P ネットワーキング技術に応用した情報検索システムの概要。

ここで考案する情報検索システムは、複数の P2P ネットワークトポロジを進化的計算により動的に最適化させる進化的 P2P ネットワーキング技術を基盤として、情報発信者、情報利用者、ネットワークの対話に基づいて情報源のつながりを構成し、情報発信者、利用者双方にとって有益な情報源のつながりを創出する。以下では、この考案情報検索システムを、単に「進化的 P2P ネットワーク」と呼ぶ。進化的 P2P ネットワークは、図3に示すように、全ての P2P ネットワークノードが同時に属する複数のネットワークトポロジからなる P2P ネットワークと、P2P ネットワークトポロジ群を進化的 P2P ネットワーキング技術によって制御するスーパーノードから構成される。このとき、情報発信者、利用者は全ての P2P ネットワークトポロジ上で1つのノードとして表現される。

進化的 P2P ネットワークでは、(i) 情報発信者による、自身の発信情報の価値を高める情報源のつながりの提案と、(ii) 情報利用者による、提案された情報源のつながりの評価、(iii) ネットワークによる、情報利用者の評価に基づく情報源のつながりの再構成、の循環によって、情報発信者、利用者双方にとって有益な情報源のつながりを創出することを實現する。ここで、自身の発信情報の価値を高める情報源のつながりの提案とは、自身の情報源単独提示よりも、他の特定の情報源と検索の結果共起することで自身の情報源の価値が高まり、かつ利用者にとっても有益だと思ふつながりを、各情報発信者が提案することである (図7)

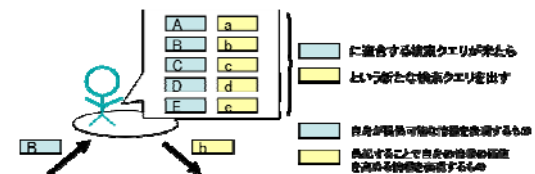


図7 情報源のつながりの提案。

ここで用いる進化的 P2P ネットワーキング技術は、上述の(1)に示したものと基本的に同じである。

シミュレーション評価では、1回の検索で情報利用者の求める情報源の数を変化させる。しかし、全ての情報利用者が求める情報源の種類は同じとする。また、P2P ネットワークトポロジ群の再構成を伴う進化的 P2P ネットワークの比較対象として、トポロジの再構成がない P2P ネットワークを使用する。

シミュレーションにおける観測項目は、情報源のつながりの評価を行うための期間 (50 単位時間 = 1 世代) における、情報利用者の求める情報源の平均発見率とする。以下では、この発見率を「トポロジ平均発見率」と呼ぶ。また、情報利用者の求める情報源を最も多く

発見したトポロジの発見率も求める。これを「トポロジ最大発見率」と呼ぶ。さらに、上記トポロジ平均発見率とトポロジ最大発見率について、情報利用者の求める情報源の数毎に、第100世代の時点での値を得る。

シミュレーションの結果は、図3に情報利用者のもとめる情報源の数が3である場合の、トポロジ平均発見率(averageのラベル)とトポロジ最大発見率(bestのラベル)の時間変化を示し、図4に情報利用者の求める情報源の数(1から20)毎の、第100世代におけるトポロジ平均発見率とトポロジ最大発見率を示す。いずれの結果も、初期値が異なる10回の実行の平均である。また、いずれの図にも、トポロジの再構成を一切行わないときの結果(nothingのラベル)を示している。

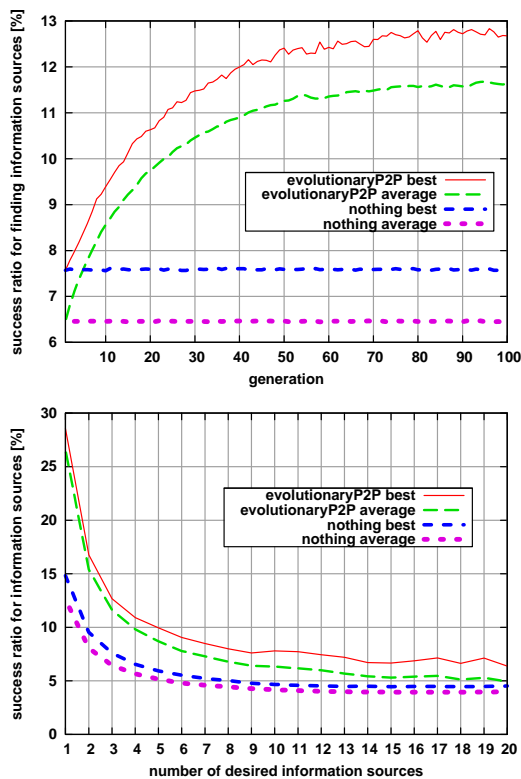


図8 求める情報源の発見率の時間変化。

図9 1回の求める情報源の数と情報源の発見率の関係。

図8, 9より、進化的P2Pネットワークが、トポロジの再構成を行わない場合に比べて、情報利用者の求める情報源をより多く発見できたことが分かる。進化的P2Pネットワークは、情報発信者の提案する情報源のつながりを素材として、情報利用者の求める情報源のつながりを進化的に作り出す。従って、情報発信者と利用者の双方にとって有益な情報源のつながりが創出されたと言える。

図9からは、情報利用者が1回の検索で求める情報源の数が増えるにつれて、トポロジを動的に再構成する進化的P2Pネットワーク技術の効果が小さくなっていくことが分かる。今後、改良が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

- ① 大西圭, 尾家祐二, ``進化的P2Pネットワーク'', 電子情報通信学会技術研究報告, IN2007-155, 2008年2月14-15日, 香川県高松市.
- ② 大西圭, 市川憲人, 尾家祐二, ``動的なP2P環境における確実な検索のための進化的P2Pネットワーク'', 電子情報通信学会技術研究報告, IN2008-64, 2008年9月11-12日, 宮城県仙台市.
- ③ Kei Ohnishi, Kento Ichikawa, Yuji Oie, "Evolutionary P2P Networking for Enhancing Search Performance", Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2008), September 18-21, 2008, Nagoya, Japan.
- ④ 山浦武, 大西圭, 市川憲人, 尾家祐二, ``情報源のつながりを創出する進化的P2Pネットワーク'', 電子情報通信学会技術研究報告, IN2008-151, 2009年3月3-4日, 沖縄県中頭郡.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 圭 (OHNISHI KEI)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号: 30419618