

# 関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーション

新熊亮一 笠井裕之 山口和泰

関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーションの研究開発に関する背景、提案内容、成果について述べる。関係性メトリック技術は、様々なライフログ、センサーデータから人、モノ、場所などの間の社会的距離を定量化する技術である。本技術とネットワーク仮想化技術を用い、人々と情報との適切な距離感を実現するアプリケーションを開発し、実験を通じて有効性を示した。

## 1 まえがき

社会において、人、場所、物(有形、無形)の間には「適切な距離感」が存在する<sup>1)</sup>。例えば、人は、親友や自身の通勤路、好きな食べ物・音楽に対して近い距離感を持ち、見知らぬ人、土地、食べ物・音楽に対しては距離を保ちたいと感じる。このような距離感を社会的距離と呼ぶ。社会的距離は人同士だけでなく、場所同士や人-場所間など様々な対象間に存在すると考えられる。社会的距離は、情報と人々との関係にも適用できる<sup>2)</sup>。情報の到達性は社会的距離と整合しているべきである。すなわち、社会的距離の近い、つまり、関係のある情報がすぐに届くべきである。これまでの情報通信ネットワーク技術の発展は「いつでもどこでも高速に」を目指してきたため、必ずしも情報の到達性が社会的距離と整合していない。情報の到達性と社会的距離が整合している状態を「適切な距離感」と定義し、これを実現することを課題全体の目標とした。

「適切な距離感」は、コンテンツ配信やライフログ活用といった情報通信事業においても重要である。コンテンツ配信事業とは、事業者もしくは個人が生成したコンテンツを流通させる事業である。現状は、コンテンツ提供者にとっては他のコンテンツが多すぎて本当に提供したい対象に届けるのが困難である。逆に、コンテンツ取得者にとってはコンテンツが多すぎて本当に必要なものを取捨選択することが困難になっている。ライフログ活用事業とは、移動、購買、利用履歴といった個人のライフログをマーケティングに活用する事業である。ライフログが活用される際、プライバシーの観点で、ライフログ提供者にとって自身のライフログが望ましい範囲で活用されるようなコントロールが必要である。逆に、ライフログ取得者にとってはすべてのライフログを収集することは分析や管理のコストの点で非効率である。

以上の背景をふまえ、本研究開発では以下を課題として設定した。

1. 社会的距離を数学的に定量化する
2. 社会的距離を基準に論理ネットワークを定義する
3. 社会的距離に基づいて物理ネットワークを制御する

そして、1. を関係性メトリック技術により実現し、2. ならびに 3. を関係性メトリックとネットワーク仮想化技術により実現する研究開発を行った。また、これらを「関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーション」という実際に利用可能なアプリケーションとして具現化した。

本稿の構成は以下のとおりである。2 で要素技術について述べる。3 で関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーションについて説明する。最後に本稿をまとめる。

## 2 要素技術

### 2.1 関係性メトリック

著者らが考案した「関係性メトリック技術」は、人々の移動ログや、施設利用ログ、商品の購買ログ、オンラインサービスの利用ログといったライフログから人、モノ、場所の間の社会的距離を定量化する、という技術である<sup>3)</sup>。図1で表されるとおり、ウェブのクロールやソーシャルネットワーキングサービスの分析といったオンラインセンシングとモバイルデバイスなどによる物理センシングによって収集されたデータから定量化を行う。関係性メトリックは、対象物をノード、ノード間の社会的距離をリンクの重みとしたグラフで表現される。対象物とは人や、モノ、場所である。グラフ表現を用いる利点は、あらゆる対象間の社会的距離を定量化できることである。

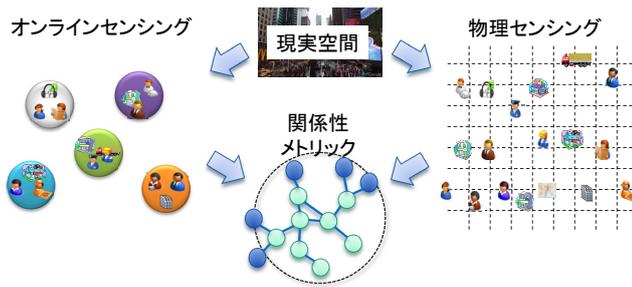


図1 関係性メトリック

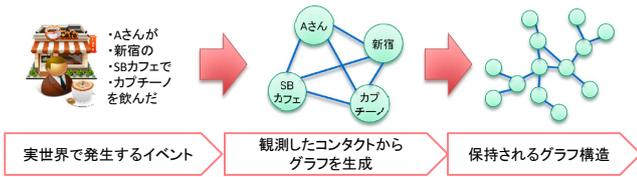


図2 関係性メトリック技術による社会的距離の定量化

図2のとおり、関係性メトリック技術では、以下の流れで対象物間の社会的距離の定量化が行われる。

1. 1件のライフログを1つのイベントととらえイベントに含まれる対象物は各々ノードと見なされる。同一イベントに含まれるノード間、例えば、ノード*i*と*j*との間に接点(コンタクト)があったと見なされる。
2. 時刻*t*におけるノード*ij*間のリンクの長さ $l_{ij}(t)$ は*t*までのコンタクトの間隔に基づいて算出される。すなわち、間隔が粗であるほどリンクは長く密であるほどリンクは短い。
3. 直接接続されていないノード同士も共通のノードを介して接続されることでグラフとして統合される。
4. グラフ構造としてノードの関係が保持されることにより、他のノードを介して間接的に接続されている2ノード間の距離も定量化することができる。例えば、ノード*i*と*k*とが*j*を介して接続されているとき  $l_{ik}(t) = l_{ij}(t) + l_{jk}(t)$  と求めることができる。

以上の方法は、イベントと見なすことができるライフログであれば形式によらず適用可能であり、グラフ構造に基づいて2つの対象物間の社会的距離を定量化することができる。

## 2.2 ネットワーク仮想化技術

人々と情報との「適切な距離感」を実現する物理的なネットワークインフラとして現行のインターネットを想定すると、以下のような解決困難な問題が生じる。

前述のとおり、コンテンツ配信事業やライフログ活用事業を産業的背景としたとき、インターネット上ではコンテンツやライフログのデータは、アプリケーション上で管理される。すなわち、データがネットワーク上の物理的(あるいは地理的)にどこに保管されているのか、そのデータの権利の所有者が把握することができない。例えば、ウェブサービスを利用してコンテンツやライフログデータをアップロードもしくはダウンロードした場合、途中にあるウェブプロキシにデータのコピーが残る可能性もある。データが意図せず物理的あるいは地理的に移動や伝播してしまうことは、「適切な距離感」の観点から望ましくない。その観点からは、インターネットよりは、法人で一般に用いられるイントラネットの方が「適切な距離感」を実現する物理ネットワークインフラとして適切であると言える。ネットワーク仮想化技術は、スライスという概念により、イントラネットのような独立性の高いネットワーク空間を生成可能な技術である<sup>[4]</sup>。物理的地理的に離れた拠点のネットワークを同一のネットワークのように取り扱うことを可能にするVPN(Virtual Private Network)技術<sup>[5]</sup>との大きな違いは、スライスは動的に生成可能であることと柔軟なプログラマビリティである。本研究開発では、ネットワーク仮想化技術を備えたネットワーク機器で構成されるネットワークを物理的なネットワークインフラとして想定し、研究開発を進めた。

## 2.3 ネットワーク構造

関係性メトリック技術とネットワーク仮想化技術を用いることを前提として、「適切な距離感」を実現するネットワーク構造を提案した。図3に、そのネットワーク構造を示す。提案するネットワーク構造では、以下のような流れで適切な距離感が実現される。

1. 現実世界のユーザが社会的距離に基づいてコミュニティを定義する。ユーザとは、本研究開発において開発した「関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーション」のユーザであり、個人や、事業体などである。
2. 図4のようにコミュニティに対しネットワーク仮想化基盤の資源が制御され、スライスが提供される。
3. コミュニティに参加したユーザがコンテンツやライフログの提供・取得を行う。
4. スライス内では、関係性メトリックに基づいて情報の到達性が制御される。到達性とは情報が到達する量と速さである。
5. 現実世界において適切な距離感が実現される。以上のネットワーク構造に従って研究開発を進めた。

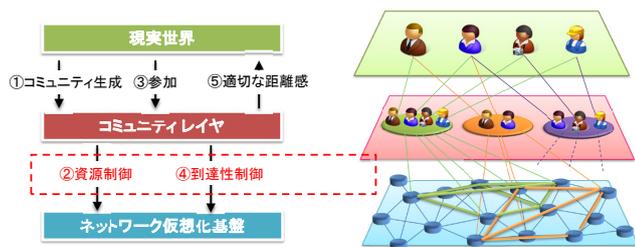


図3 「適切な距離感」を実現するネットワーク構造

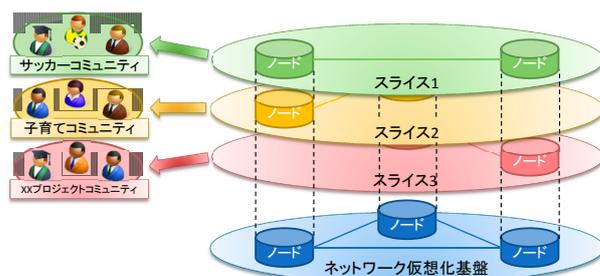


図4 コミュニティに対して提供されるスライス

## 2.4 データコミュニティ空間

ここで、本研究開発におけるコミュニティを定義する。一般のコミュニティの定義とは若干異なり、人々がコンテンツを提供、取得する際にコンテンツが流通すべき社会的範囲、人々がライフログを提供、取得する際にライフログが活用されるべき社会的範囲をコミュニティと定義した。具体的には、家族、自治体、企業などはコミュニティとして扱われ、また、プロジェクトや、趣味のサークルもコミュニティとして扱われる。

さらに、著者らは新たに「データコミュニティ空間」の概念を提案した。データコミュニティ空間とは、コミュニティ内で生成されるライフログを用いて関係性メトリックを生成蓄積し、社会的距離を算出することで、最終的に「適切な距離感」を実現するエコシステムである。データコミュニティ空間では、各コミュニティと社会的距離が近いコンテンツのみが流通する。また、データコミュニティ空間のネットワーク基盤として、ネットワーク仮想化基盤によって提供されるスライスが用いられる。なお、個々人は複数のデータコミュニティ空間に多重帰属しても良い。

データコミュニティ空間は以下のように運用される。

1. コミュニティのリクエストに応じてデータコミュニティ空間が登録される。論理的な登録は物理ネットワーク資源の制約を受けることなく行える。
2. コミュニティに属するユーザ群のライフログから関係性メトリックが形成され、そのコミュニティの社会的距離が評価される。
3. コミュニティの社会的距離の評価結果に応じて、データコミュニティ空間に割り当てられるスライスの物理ネットワーク資源が制御される。
4. コミュニティがデータコミュニティ空間を利用していない間は、スライスが消滅し、物理ネットワーク資源は解放される。

2. においてはコミュニティの社会的距離が評価され、その評価結果が3. に用いられる。具体的には、単純には、社会的距離がより密なコミュニティほど、情報到達性（到達の量と速さ）を高めるために、スライス

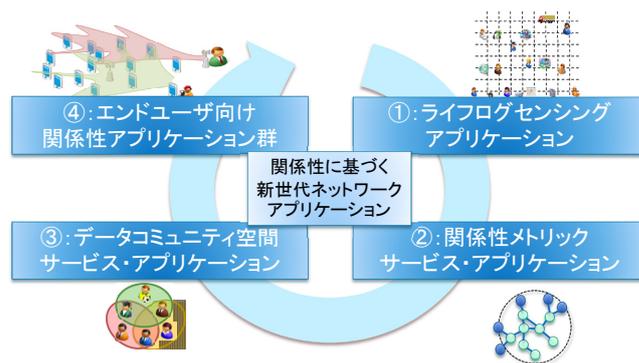


図5 関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーション

により多くの資源が割り当てられる。

## 3 関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーション

著者らは、図5のような「関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーション」を開発した。本アプリケーションでは、以下の4つのアプリケーションが連携してサービスを提供する。

1. ライフログセンシング・アプリケーション：関係性メトリックのもととなるライフログを収集する。
2. 関係性メトリックサービス・アプリケーション：関係性メトリックを定量化する。
3. データコミュニティ空間サービス・アプリケーション：関係性メトリックをもとに物理ネットワークを制御する。
4. エンドユーザ向け関係性アプリケーション群：適切な距離感を実現したサービスを提供する。

以下、それぞれのアプリケーションについて具体的に述べる。

### 3.1 ライフログセンシング・アプリケーション

関係性メトリックのもととなるライフログを収集するアプリケーションである。対象となるライフログは、移動履歴、施設利用履歴、購買履歴、オンラインサービス利用履歴などである。本アプリケーションを

用い、ライフログを活用してコミュニティの社会的距離を定量化できることを検証するための実験を実施した。本アプリケーションのユーザインタフェースとして、図6のようなスマートフォンアプリを開発した<sup>[6]</sup>。実験参加者を募り、約50名の参加者から100件程度のライフログを収集した。ライフログは購買に関するログであり、日時、店舗、商品、価格で構成され、実験参加者が情報を手入力する形式で収集された。収集したライフログから形成した関係性メトリックをグラフとして形成し、図7のように縦軸にノードのリンク数、横軸に順位を両対数グラフにプロットしたところ、社会的ネットワークが有するべき特徴であるべき乗則の性質<sup>[9]</sup>を有していることが示された。

### 3.2 関係性メトリックサービス・アプリケーション

関係性メトリックを定量化するアプリケーションである。以下のデータセットをライフログとして関係性メトリックを形成し、本アプリケーションの検証を行った。



図6 ライフログセンシング・アプリケーションのユーザインタフェース

- 1 Enron 社のメールデータ (1998 年 1 月～ 2002 年 12 月、ログ数約 240,000)
- 2 USCD (University of California, San Diego) が収集した無線 LAN AP の接続データ (2002 年 9 月～ 2003 年 8 月、ログ数約 820,000)
- 3 電子情報通信学会の技術研究報告データ (2008 年 4 月～ 2011 年 3 月、ログ数約 7,400)

関係性メトリックにより、それぞれのコミュニティの社会的性質の表現が可能であることを示した<sup>[9]</sup>。

### 3.3 データコミュニティ空間サービス・アプリケーション

関係性メトリックをもとに物理ネットワークを制御するアプリケーションである。本アプリケーションを用いることで、ネットワークのユーザは自身の属するコミュニティに紐づけられたネットワークを選択し接続することで、コミュニティごとに適切な距離感で情報を得ることが可能である。また、コンテンツ配信、メッセージング、情報検索といったサービスは、コミュニティごとに紐づけられたネットワーク上で提供されることになる。具体的には、接続するネットワークによって、配信されるコンテンツや、メッセージ交換が

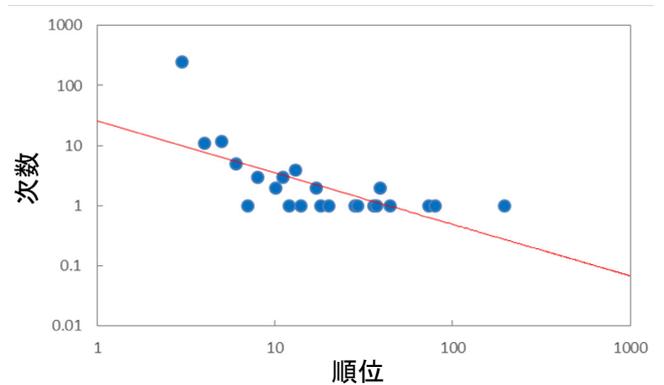


図7 ライフログにより形成されたグラフの性質

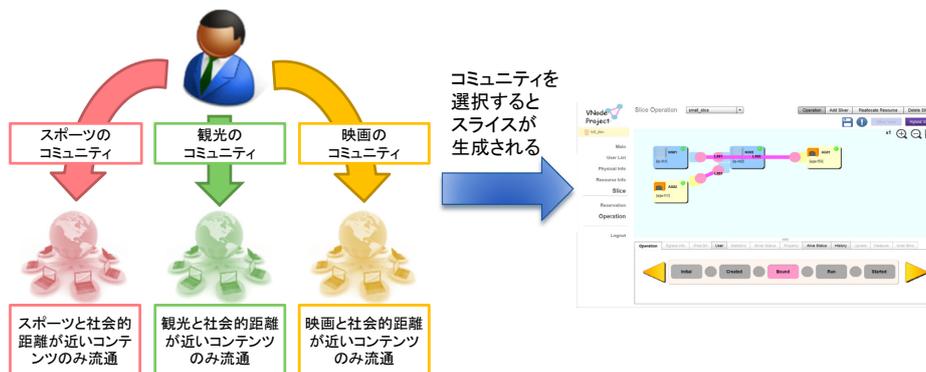


図8 データコミュニティ空間サービス・アプリケーションのデモ

可能な相手、検索によって表示される結果が異なる。すなわち、コミュニティごとに専用のインターネットが存在するようなユーザ体験が提供される。

ユーザがコミュニティに紐づいたネットワークを定義すると、ネットワーク仮想化基盤上に対応するスライスが論理的に生成される。そのスライスが実際にデータコミュニティ空間として使用される際には、帯域や計算資源といった物理リソースがそのスライス用に確保されることになる。

以上のデータコミュニティ空間によるサービス・アプリケーションのユーザとなり得る企業と連携した社会実験を実施した。本実験により、以下の成果を得た。「データコミュニティ空間によるサービス・アプリケーション」の有用性を評価するアンケートを実施した結果、参加企業 24 社アンケート回答数 29 名のうち、7 割から「有用性あり」と回答を得ることで、本アプリケーションの有用性を示した。

### 3.4 エンドユーザ向け関係性アプリケーション群

エンドユーザ向け関係性アプリケーションとは、関係性メトリックを用い情報との適切な距離感をサービスとして提供するアプリケーションである。例として i) コンテンツ配信アプリケーション ii) インネットワークメッセージングアプリケーション、の 2 つのアプリケーションを開発した。

図 9 のコンテンツ配信アプリケーションは、データコミュニティ空間内において情報の到達性を制御することで、コミュニティ内でユーザと情報との適切な距離感を実現する。関係性メトリックによって定量化される社会的距離に基づいて、情報の到達性を制御する。情報の到達性とは情報が到達する速さと量である。関係性メトリックに応じて物理ネットワークの帯域や計算資源を制御することで、関係性メトリックの大きい情報は小さい遅延でより大きい容量で到達する。図 9 は、動的に変化する情報到達範囲を可視化するユーザ

インタフェースである。本アプリケーションにより、コンテンツがそれを必要とするユーザに到達し、ユーザに不要なコンテンツは到達しないという適切な距離感が実現された。

図 10 で表されるインネットワークメッセージングアプリケーションを開発した。メール、ショートメッセージサービス、ソーシャルネットワーキングサービス (SNS)、マイクロブログといったメッセージングサービスは昨今人々にとって重要なコミュニケーション手段の 1 つである。しかし、送信したいメッセージに応じて自動的に最適な送信先を選定することは困難である。例えば、メーリングリスト (ML) はメッセージを事前に登録されている宛先全員に届けるものであるため、メッセージの内容に応じて柔軟に送信先を設定することが難しい。そこで、メッセージの内容に応じて、送信相手を柔軟に制御するメッセージングシステムの開発を行った。具体的には、本システムは以下の機能をもつ。1) 送信者とメッセージの内容 (= コンテキスト) をもとに関係性メトリックを算出する。2) 関係性メトリックを指標として社会的距離に基づいてメッセージの送信先を自動で推定する。図 10 は実装したシステムのユーザインタフェースであり、送



図 9 関係性アプリケーション 1: コンテンツ配信



図 10 関係性アプリケーション 2: メッセージング

信者とメッセージ内容をコンテキストとして、メッセージの送信先を自動で推定できることを確認した。本アプリケーションにより、メッセージを伝えたい対象に届けることができ、不要なメッセージは到達しない、という適切な距離感が実現された。

### 4 まとめ

本稿では、関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーションのコンセプトを提案し、その背景、アーキテクチャ、開発したアプリケーション、実験によって得た成果について述べた。様々なライフログ、センサーデータから人、モノ、場所などの間の社会的距離を定量化する技術である関係性メトリック技術と、物理ネットワークインフラ上に複数のネットワークを仮想的に存在させられる技術であるネットワーク仮想化技術を用いて、人々に情報との適切な距離感を実現するデータコミュニティ空間を実現した。関係性に基づく新世代ネットワークアプリケーションを、ユーザが実際に利用可能なアプリケーションとして、ライフログセンシング・アプリケーション、関係性メトリックサービス・アプリケーション、データコミュニティ空間サービス・アプリケーション、エンドユーザ向け関係性アプリケーション群の4つのアプリケーションを開発し、実装実験を通じて有用性を示した。

### 謝辞

本研究開発は、情報通信研究機構「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発一課題ウ新世代ネットワークアプリケーションの研究開発」の一環で行った。

#### 【参考文献】

- 1 E.T. Hall, "The hidden dimension," Vol.1990, New York: Anchor Books, 1969.
- 2 W. H. Davidow, "Overconnected: The promise and threat of the internet," Open Road Media, 2011.
- 3 R. Shinkuma, Y. Sawada, Y. Omori, K. Yamaguchi, H. Kasai, and T. Takahashi, "Socialized system for enabling to extract potential `values' from natural and social sensing data," Modelling and Processing for Next Generation Big Data Technologies and Applications, Springer series: Modeling and Optimization in Science & Technology Series, 2014.
- 4 N. M. Chowdhury and R. Boutaba, "A survey of network virtualization," Computer Networks, Vol. 54, Issue. 5, pp. 862-876, 2010.
- 5 B. Thabti, H. Youssef, A. R. Mahjoub, and A. Meddeb, "Simulated Evolution based Algorithm versus Exact Method for Virtual Private Network Design, " in Proc. 10th IEEE International Conference on Natural Computation, pp. 245-249, 2014.
- 6 レシートゲット!, <https://itunes.apple.com/us/app/id731852470>

新熊亮一 (しんくま りょういち)

国立大学法人京都大学准教授  
博士(工学)  
ネットワーク設計・制御

笠井裕之 (かさい ひろゆき)

国立大学法人電気通信大学准教授  
博士(工学)  
メディア処理

山口和泰 (やまぐち かずひろ)

株式会社神戸デジタル・ラボ先端技術開発事業部長  
通信ネットワークやデータベースのシステム  
アーキテクチャ