

論文の内容の要旨

An Adaptive Networking Architecture for Service Emergence

(サービス創発のための適応型ネットワーキングアーキテクチャ)

板生 知子

本論文は、将来のユビキタスなネットワーク環境において、ネットワークの状況やユーザ嗜好に
適応可能なアプリケーションをスケーラブルに提供することを可能とする、適応型ネットワーキン
グアーキテクチャJack-in-the-Net (Ja-Net) について論ずる。将来のネットワークは、従来の PC
だけでなく、センサ、ウェアラブルコンピュータ、携帯電話、PDA、情報家電、ロボット、車など、
我々が日常生活で接するあらゆるデバイスをノードとして繋ぐユニヴァーサルネットワークへと発
展していこう。このような環境では、ネットワーク上に分散する様々なサービス (i.e., リソー
ス、ハードウェア、ソフトウェア、情報コンテンツ) をユーザ要求に基づいて動的に連携すること
により、個々人のニーズを満たすアプリケーションを臨機応変に構築することが期待される。多様
化するユーザニーズに応えるためには、将来のネットワークは、個々のサービスのコンテキスト
(i.e., ネットワークの状況、ユーザ嗜好、サービスのアベイラビリティなど) をモニタし、これに応
じてアプリケーションに必要な機能や振る舞いを自律的に創出する適応能力が求められる。しか
し、従来の web ベースのネットワークでは、インターネット上のサーバーに依存した固定的で分
散透過なサービス環境が前提となるため、局所的なサービスコンテキストに応じてアプリケーシ
ョンの提供する機能や振る舞いを柔軟に変更することは困難である。

上述のような適応能力を備えたネットワークを実現するためには、生物界の生態系に例を見る、
自律分散型のアーキテクチャが有効であると考えられる。生物界では、個々の生物の固体 (e.g., 蜂
の巣の構成単位である蜂) は単純な行動ルール (e.g., 移動、複製、交配、死、エネルギー交換、他
の固体との関係の生成) に従いつつ、局所的な状況 (コンテキスト) に応じて他の固体と自律的に連
携することによって、集団 (e.g., 蜂の巣) として有効な機能や秩序 (e.g., 自己組織化、スケーラビ
リティ、適応進化、ロバスト性) を創発する。同様に、Ja-Net では、ネットワークアプリケーシ
ョンを、複数の、自律動作するシステム構成要素であるサイバーエンティティ (CE: Cyber-Entity)
の組織 (コミュニティ) として構築する。(図 1 参照)。CE は、ハードウェア、ソフトウェア、情報

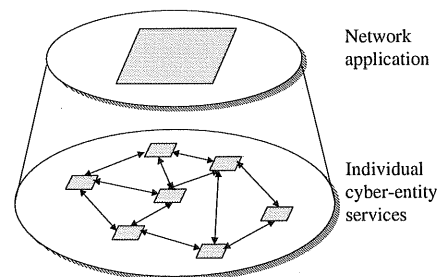


図 1: Cyber-entities and a network application

コンテンツ、ユーザなど、あらゆるシステム構成要素を表現可能であり、CE 単体で提供するサービスを持つ。また、生物の個体同様、移動、複製、死、他の CE との関係(リレーションシップ)の生成などの単純な振る舞いを持つ。そして、複数の CE が自律的にインタラクションを行いつつ自己組織化することによって、アプリケーションに必要な機能(複数の CE によって提供する一連のサービス)を動的かつボトムアップ的に創発する(サービス創発)。

本研究は、Ja-Net におけるサービス創発のモデルとこれを実現する要素技術を確立し、自己組織化、スケーラビリティ、適応性、ロバスト性など、将来のネットワークにおいて望ましい特徴を具備したアプリケーションの構築を可能とするサービス創発フレームワークを提供する。本研究が実現するサービス創発フレームワークは、生物界における“創発”のコンセプトをネットワークアプリケーションの構築手法に適用した、新しいネットワーク設計パラダイムである。図 2 に、本フレームワークのサービス環境を示す。Ja-Net は、物理的なネットワーク上にオーバーレイした peer-to-peer 型のヴァーチャルネットワーク上で動作する。このため、固定的なサーバーに依存しない、柔軟かつスケーラブルなシステム構成が可能である。CE は、論理的に決められた空間(スペース)において、自身のサービスコンテキストをモニタする。各 CE は、自身が提供するサービスの意味情報(メタデータ)を表すサービスユニットを持ち、これに基づいて連携可能な相手を検索する。アプリケーションは、リレーションシップによって緩やかに結びつけられた、CE の組織(コミュニティ)の集合体として定義される。

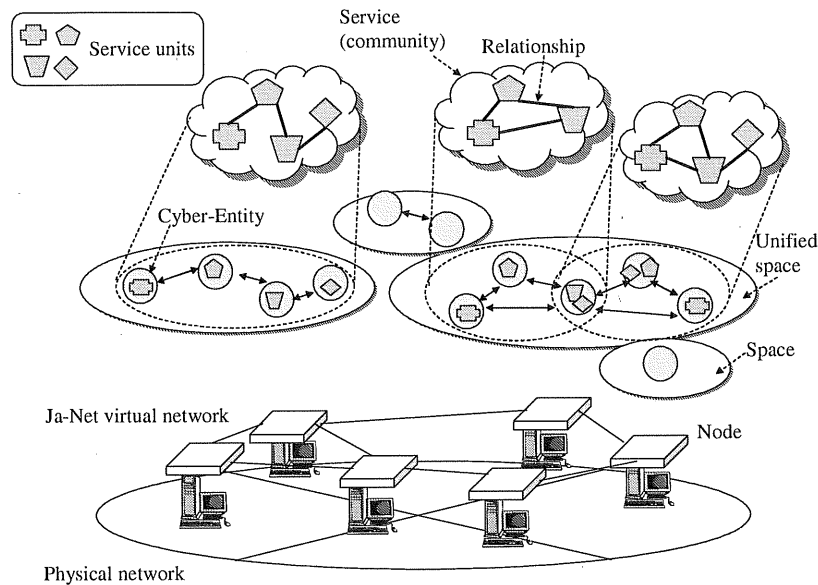


図 2: Ja-Net service environment

このとき、サービス創発フレームワークでは、ネットワークの状況やユーザ嗜好に応じて各個体(CE)を動的に関連付けることによって、有効なサービスを協調的に提供可能な CE の組織(コミュニティ)を適応的に生成する。特徴は、次の 3 つである。

- (1) 生物的な振る舞い(e.g., 移動, 複製, 死, リレーションシップの生成)を具備した自己組織化型サービスコンポーネント(CE)の設計。
- (2) CE が、自律的に有効なリレーションシップを獲得することにより、一連のサービスを提供

する CE が適応的に組織化することを可能とするリレーションシップメカニズム。

- (3) CE が、リレーションシップ獲得状況に応じて、移動、複製、リレーションシップの削除、新たなリレーションシップの生成などの振る舞いを行うことにより、一連のサービスを提供する CE の構成を適応的に変更することを可能とする CE の行動モデルの設計。

本フレームワークにより、アプリケーションのシステム設計者、管理者、ユーザをシステムの管理やチューニングから解放する、メンテナンスフリーなネットワークの実現が期待される。

本論文の構成と、各章の概要は、以下の通りである。

第 1 章では、将来予想されるネットワーク環境としてユニヴァーサルネットワークのビジョンについて論じ、将来のネットワークの具備すべき特徴として、自己組織化、スケーラビリティ、適応性、ロバスト性を導出する。また、適応の観点からネットワークングアーキテクチャの体系的な分類方法を論じ、Ja-Net が、“ユーザ指向”、“創発的適応”のクラスに位置付けられることを示す。

第 2 章では、本研究が解決すべき課題と、これに対するアプローチを論ずる。本研究では、ユニヴァーサルネットワーク上で適応的にアプリケーションを構築するための課題として、(a) サービスの発見、(b) サービスの自己組織化、(c) 状況変化に対するサービスの適応、の 3 つに着目する。これらの課題に対して、Ja-Net では、生物界から応用した“サービス創発”のコンセプトに基づいて自律分散型のアプローチを試みることを宣言する。

第 3 章から第 6 章では、Ja-Net の実現に関する多角的な議論を展開する。

第 3 章では、サービス創発モデルについて論ずる。集中的、あるいは固定的なエンティティを必要としない自己組織化型のアプローチに基づいて、ネットワークの状況やユーザ嗜好に適応可能なアプリケーションをサポートする将来のネットワークの設計パラダイムを提案する。

第 4 章では、サービス創発フレームワークの設計と実装について述べ、Ja-Net のシステム化の手法について論ずる。本章では、Ja-Net におけるサービス創発フレームワークのシステム概要と共に、CE 開発者向けの API や、CE 実装のサンプルコードを示すことにより、創発型アプリケーションの開発手法を明らかにする。また、Ja-Net 上で実装したアプリケーションの例として、PDA を持ったユーザが、自宅、新宿アルタ前広場、映画館、カフェ、の 4 つの場所に設けられたホットスポットの間を渡り歩きながら、各ホットスポットに存在する CE 群によって構成される一連のサービスを利用するシナリオを示す。(本シナリオは、実世界のネットワーク環境や、ユーザの移動を PC 上でシミュレートすることにより実装した。)そして、Ja-Net を適用することにより、その場に行ってみないとどんなサービスが提供されるか分からないという“出会い”の楽しみや、そのときその場でブームとなっている (i.e., 有効なりレーションシップがある) サービスを紹介するなど、ユーザの傾向や、利用可能なサービスの特徴をダイナミックに捉え、これに適応可能なアプリケーションを実現できることを例示する。

第 5 章では、Ja-Net 上で構築したアプリケーションの適応能力を定量的に測定することにより、サービス創発フレームワークの有効性を実験的に検証する。本評価実験では、ショッピングモール内の複数の店舗 (CE) が提供する店舗ごとの広告を、ショッピングモールを訪れている不特定多数の客 (CE) に適応的に配信するアプリケーションを実装し、システム上のシミュレーション実験により評価した。本アプリケーションでは、店舗間で生成するリレーションシップのネットワークを使って、店舗を訪れている客に広告を配信する。リレーションシップメカニズムにより、店舗は客の商品購入パターンに応じて有効なりレーションシップを獲得し、これに基づいてユーザ嗜好に応じた適応的な広告配信を行う。本実験では、広告配信の適切性を評価指標として、アプリケーションの適応能力を定量的に測定した。これにより、店舗間のリレーションシップがユーザ嗜好のトレンドを反映して生成した結果、適切な広告配信を行うことが可能となることを明らかにした。

第6章では、Ja-Netにおけるサービス発見手法について論ずる。Ja-Netでは、CEが連携相手を探す、ユーザがその場で利用可能なサービスを探すなど、様々なシーンにおいてサービスの発見が必要となる。本章では、Ja-Netにおいて有効と考えられる、次の3つのサービス発見メカニズムを考案し、その特徴を論ずる。(1) 共通の嗜好を持つユーザのコミュニティを利用して、当該コミュニティで人気のあるサービスを紹介してもらう。(2) 類似したサービスを提供するCEのコミュニティを利用して、ターゲットサービスを検索する。(3) 物理的な実体のあるCE(例えば、ハードウェア)を対象とし、位置属性に基づくCEのコミュニティを利用して、ターゲットサービスを検索する。なお、(1)-(3)のいずれの場合も、CEが自律的にリレーションシップを獲得することにより適応的にコミュニティを生成する。

第7章では、本研究で提案したJa-Netのサービス創発フレームワークによって実現されるアプリケーションの特徴(自己組織化、適応、スケーラビリティ、ロバスト性)についてまとめ、Ja-Netが将来のネットワークの設計パラダイムとして有効であることを結論付ける。