

次世代・新世代ネットワーク —インターネットの次にくるネットワークとは—

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻 博士前期課程 1年
3班 神尾優仁 坂下泰紀 張螢祺 山城牧人 アドバイザ教員：片岸一起
平成 20年 9月 22日

1. 研究背景

インターネットは様々な技術の発展により時代とともに急速に進歩し、従来異なるものとして取り扱われてきた、音声、画像、動画といったメディアをひとまとめにして扱うことが可能になった。

このことは従来の電話網、放送網にも影響を与え、次世代の電話網として次世代ネットワーク(NGN・Next Generation Network)が開発されている。回線を占有する回線交換を利用する電話網と異なり、インターネットおよびNGNでは、通信方式としてパケット交換を利用することで、回線利用率の向上等の利点を得ているが、現状ではまだ解決すべき問題が残っている。そのためそれらの問題を克服できる2015年以降のネットワークである新世代ネットワークの考察が行われはじめた。

2. 研究目的と研究の位置付け

2.1. 研究目的

本研究では、現状のインターネットが抱える問題を挙げるとともに、NGNおよび新世代ネットワークの可能性について考察する。

新世代ネットワークとは現在のインターネットが抱える問題が全て解決され、ユーザの要望が満足されるネットワークである。6章で我々は、新世代ネットワークの設計図を作成することを目的として開催された、AKARIプロジェクト[1]の概要を説明するが、AKARIプロジェクトは主に技術的観点から新世代ネットワークを論じており、利用者の視点から見た新世代ネットワークの考察が欠けていると思われる。

そのため我々は利用者の視点から見た現状のインターネットが抱える問題点を挙げ、ボトムアップで新世代ネットワークを考察する。

2.2. 研究の位置付け

本研究においてなされる提案は現在の技術では実現不可能に思えるものもある。しかし、本研究で対象とする新世代ネットワークは、現在のネットワークシステムおよび要素技術にとらわれない、全く新しいネットワークである。

そのため、我々は10年20年以降のネットワークの理想像に対して明確なイメージを持った上で研究を行うべきであり、本研究が新世代ネットワークを考える上での1つの指針となることを目標とする。

以下に章構成を記す。3章で、インターネットの前身であるARPAnetからNGNまでのネットワークの変遷を述べ、4章で現在のインターネットが抱える問題点を列挙し、5章でNGNについてまとめ、6章でAKARIプロジェクトが掲げる新世代ネットワークをまとめ、7章で新世代ネットワークにおけるコンテンツ¹のあり方と、その新しい表現について考察し、8章でまとめる。

3. ネットワークの変遷

インターネットの前身はアメリカ国防総省の研究プロジェクトにより構築されたコンピュータネットワーク”ARPAnet”である。ARPAnetは、冷戦下のリスク・機能・負担の分散処理を目的とし、パケット通信と呼ばれる通信手段を用いて1969年に誕生した。パケット通信とは、端末からのデータを分割し、パケットと呼ばれるかたまりに小分けにして伝送し、柔軟に経路を選択しつつ受信側にパケットを送り、パケットを結合して元のデータを受信側の端末が得ることができるような通信手段である。

その後軍事分野の分離、Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)システムの確立、World Wide Web (WWW)技術の発展、商用・一般産業の

¹本稿ではネットワークを介して提供される文章、画像、音声等の情報を表現する手段をまとめてコンテンツと呼ぶ。

参入により巨大なデータ通信網の形態を確立し、現在のインターネットとなった。従来、データ通信網、放送網、電話網はそれぞれ専用機器と回線を持ち、垂直志向のネットワークを形成していた。しかし近年のデータ通信網の急速な発展により、この分担は曖昧になり、次世代ネットワークへの移行が必要となった。次世代ネットワークにおいてはネットワークインフラが IP ベースで共通化される事により、様々な情報機器をオープンなインターフェースで結ぶ水平志向のネットワーク形態になる。(図1)

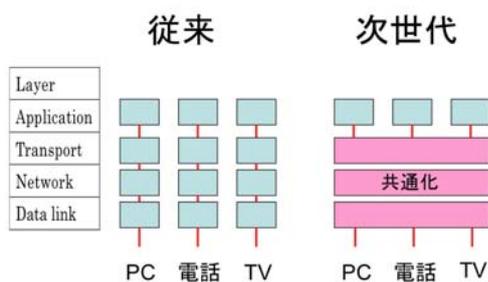


図1 垂直志向（従来）と水平志向（次世代）

また、より長期的な目標として2015年をめどに白紙の状態からネットワークを再構築しようとする新世代ネットワークが考察されている。

4. 現状のインターネットが抱える問題点

本章では、AKARIプロジェクトが挙げる現状のインターネットが抱える問題点を列挙するとともに、我々がユーザの視点に立って考えた問題点を列挙する。

4.1. AKARIプロジェクトが挙げる問題点

・マルチキャスト経路制御の破綻

マルチキャスト経路制御とはドメイン内で各種方式を許し、それらを統合し共通のプロトコルで結合しようというものであるが、複数のマルチキャストグループ経路の統合は一般に不可能である。

・Asynchronous Transfer Mode (ATM)の破綻

マルチキャストへの過大な期待が存在するが、今日のようにほとんどの端末がIPのみを使用する環境ではブロードキャストだけを用いるほうが効率的である。

・インタードメイン経路制御の破綻

インタードメイン経路制御には Border gateway

protocol (BGP)が用いられ、障害時に代替経路が選択される。その回復に長時間かかることは、ミッションクリティカルな用途を考えると、破綻といえる。

・ネットワーク層固有の時間間隔の破綻

IPはコネクションレスであるため、本来時間の概念は存在しない。しかし、プロトコルの設計や運用が不適切な結果、ネットワーク層に時間が導入され、破綻している。

・IP security (IPsec)の破綻

アプリケーションにより要求されるセキュリティ方式は異なるにもかかわらず、共通のセキュリティ方式を持たせようとするIPsecは当初より矛盾を内包していた。

・Internet Protocol version 4 (IPv4)の破綻

IPv4のアドレスの総数から、インターネットに繋げることができる機器数は40億を超えることが出来ない。

・Internet Protocol Version 6 (IPv6)と

Neighbor discovery protocol (ND)の破綻

IPv6はIPv4のアドレスの総数以外の問題点を全て受け継いでおり、NDもエンド・ツー・エンド原理に違反している。

上記に加えて、持続可能な社会の形成に欠かすことの出来ない省エネも、今後解決しなければならない問題の1つである。

4.2. ユーザ視点に立ち考えた問題点

・検索機能の不正確さ

インターネットの利用者数は年々増加しており、2008年には世界で14億人を超した。[2]利用人口の増加に加え、機器およびネットワーク性能の向上によって、現在のネットワーク上のコンテンツ数は非常に大きなものとなっている。そのため、現在のキーワードベースの検索では意図した情報を得ることが困難である。

・言語の不一致による相互理解の阻害

多くのユーザはネットワーク上で何らかのコンテンツを利用する際に、母国語、および英語のコンテンツ以外利用しておらず、それ以外の大量のコンテンツは無視され続けており、インターネットの公平さと、異なる言語使用者間での相互理解を妨げている

5. NGN

本章では、数年後の完成に向けて、現在取り組まれている NGN について述べる。NGN はインターネットの基本的なアーキテクチャとサービス条件を保持して、電話・データ・放送・携帯のクアドラブルプレイサービスを実現するものである。

5.1. NGN の背景

携帯電話の普及、インターネットによる安価な IP 電話や、スカイプ電話の登場により固定電話の通話料収入の減少が続く。またパケット通信網の発展により、音声通信を行うにしても、パケット通信網を利用したほうがコスト面で有利になった。しかしインターネットは電話網と比較して簡便性やセキュリティで劣る。そこで電話網の安心感や簡便さを保ちつつ、電話やテレビ会議、ストリーミング等の多様なサービスを提供可能なパケット通信網を利用した次世代電話網が提案された。

5.2. NGN の特徴

本節では、NGN の主要な特徴を 4 つ挙げ、それぞれについて説明する。

- ・広帯域かつ QOS 制御可能

現在のインターネットではセキュリティと QOS 保証が不十分であり、テレビ会議システムが必ずしも動作するとは限らず、スパムメールやウィルスが蔓延している。次世代の社会インフラとなる NGN においては医療システムなどの重要な通信を任せられる信頼性と安全性が必要である。

- ・パケットベースのネットワーク

通信事業者はインターネットサービスの提供もかねているケースが多く、同じサービスに異なる 2 つの通信インフラを用意するのは設備投資の多重化を招く。

そのため 100 年以上の歴史を持つ回線交換式の電話網を捨て、IP をベースとした全く新しく形に作り替える。

- ・オープンなインターフェース

インターネットは誰もが自由にビジネスを展開できるオープンなプラットフォームであったため、様々なサービスが創造され、発展してきた。

NGN もこれに習い、誰もが自由に創造することができるように、各インターフェースの仕様を公開する。

- ・汎用的なモビリティとユビキタスサービスの提供
- 電話には固定系と移動系が存在するために、移動系も含めた NGN を構築する必要がある。

Fixed Mobile Convergence (FMC) と呼ばれる固定・移動体通信を意識せずに使用できる統合されたサービスを提供し、異なるアクセス方式間を移動し場合でも途絶えない通信を実現する(モビリティ)。

また電車内や自動車内など従来はアクセスが制限された区間内での高速、広帯域な通信を実現する。

6. 新世代ネットワーク

新世代ネットワークとは、20 年後・30 年後の情報ネットワーク社会を実現するための、現実と仮想空間の融合を扱う事が出来る 2015 年以降の新しいネットワークを指す。

6.1. 新世代ネットワークの位置づけ

現在のネットワーク研究開発の多くは、インターネットの普及と共にその技術発展に捕われており、インターネットありきで開発をする傾向が強い。この状況は、ネットワーク社会の発展過程の方向性が特定企業の利害を反映した形になる・局所的な最適化に陥るなどの弊害が起こる可能性があり、その技術が限界に達したときに次の世代の技術への大きなギャップを生む危険性がある。NGN はこれの典型的な例であり、現在の技術改良および現在から 5 年以内の短期的研究開発にあたる。

新世代ネットワークの研究開発は現在の社会で使われているネットワークシステムやその技術資産に縛られず、全てを白紙に戻した状態で理想のネットワークの構築を目指すものであり、10 年 15 年先の理想となるべきネットワークを指す。

6.2. AKARI プロジェクト

インターネットは様々なコンテンツが溢れる情報ネットワーク社会を想定して設計されていなかったため、社会の変遷を担う事が出来ず多くの問題点を生んでいる。未来のネットワークでは持続的進化性を持つものが求められており、既存技術の制約に捕われない新たなネットワーク

表 1 NGN と新世代ネットワークの比較

名称	次世代ネットワーク	新世代ネットワーク
想定実用時期	～2010年まで	2015年以降
作り方	既存のIPにQoSと制御を追加したもの	IPに補われずに新しく作り直したもの
容量	ペタビット以下	ペタビットクラス以上
想定端末とアプリ	既存端末とアプリケーションの統合と高度化	多様で未知
消費電力	数メガワット(発電所規模)で電力問題	多波長光交換による1/100以上の省電力
セキュリティ	ファイアウォール、IPSEC、IP トレーサバック等原理選択的対応	End-to-Endとネットワーク間セキュリティ、アドレス追跡によりSPAM、DoS攻撃を制御
拡張性	事業者による管理機能強化で対応	ネットワークそのものに拡張性が備わる
経路制御	分散型集中制御であり拡張性が低い	完全分散制御の導入による柔軟性や適応性の向上
ユーザとネットワークの関係	接続インタフェースによる規制有り、オープン性に制約がある	ニュートラルな立場のオープン性を持ち、ユーザが新サービスを申込可能
品質保証	IPを用いたクラス毎の優先制御	パケット交換、パスを適宜用いたフロー毎の帯域を含む品質保証
レイヤ構成	厚いレイヤ構成	クロスレイヤ制御によって層間の連携を取り、層間の重複を省くことでレイヤ簡潔を実現する
統合モデル	垂直統合志向	相互統合・水平統合可能
基本原則	IPを用いながら事業者の立場で設定	白紙から将来の要求に合わせて設定
持続性	IPによる限界を持つ	変化し社会適応する持続性を持つ
アクセス	ユーザ毎1Gbpsまで	ユーザ毎10Gbps以上
有線統合	IMS(IP Multimedia Subsystem)によるマルチメディアサービスの提供	RFID等を用いた創発的なデータ収集によるコンテキストウェアの実現
モバイル	検討中	信地手の固定に識別子(ID)を、ルーティングにはロケータ(接続位置)をそれぞれ利用する
端末数	100億まで	1000億以上

の設計図の作成を目的としたものが AKARI プロジェクトである。発展していく将来の基盤技術と多様な将来のユーザの要求を取り込み調和させた新しいネットワークの概念を提案しているが、最終的な設計図の完成まで設計原理ですら固定されたものではなく、設計や評価を通じたフィードバックにより変化しうるものとしている。表 1 に NGN と AKARI プロジェクトの掲げる新世代ネットワークとの違いを示す

6.3. AKARI プロジェクトの掲げる新世代ネットワークの特徴

新世代ネットワークにおける新アーキテクチャの構成要素として、以下のような方策が議論されている。

1. 光パケット交換・光パス：光技術の広域性を活かしたパケット交換技術の可能性と、様々なサービス提供に必要な異なる交換原理を統合するときの方策を述べる。
2. 光アクセス：今以上に高速かつ様々なサービス提供に有用な新世代の Fiber-To-The-Home(FTTH)の概念を述べる。

3. 無線アクセス：様々なセンサやパーソナル通信デバイスがユーザを取り巻くように存在する新世代での無線通信技術と無線ネットワーク構成を述べる。

4. Packet Division Multiple Access(PDMA)：パケット網の通信特性に適合し、セル設計とチャネル割当が不要な移

動体無線通信の新しいパラダイムを述べる。

5. トランスポート層制御：トランスポート層制御のユニバーサル対応、移行シナリオ、公平性などの展望を述べるとともに、科学的根拠に基づく工学的実現の例となる自己組織制御型 TCP を紹介する。

6. Identifier/Locator Split Internetworking

Architecture：移動通信やマルチホームを簡素化しプライバシーを守り、ネットワークをスケーラブルに構築するアーキテクチャを提案する。

7. レイヤリング：隣接レイヤに限らず制御情報のやりとりを行なうクロスレイヤアーキテクチャを提案する。

8. セキュリティ：分散管理型のセキュリティについて述べる。

9. QoS 経路制御：ユーザ視点での経路制御の重要性を述べ、全体最適を達成するためのスケーラブルな QoS 経路制御を提案する。

10. ネットワークモデル：多様なサービス創出のためネットワーク機能をユーザに解放するオープン性を述べる。

11. ロバスト性制御：スケイラビリティ、故障などを含めた通信環境の変動に対する適応性などを実現する自己組織化のアプローチを述べる。

12. レイヤ縮退：ネットワークを単純化し、複数層にまたがる重複機能を削減する方策を述べる。

13. IP の単純化：クリーンスレートで再設計したネットワーク層を提案する。

14. オーバーレイネットワーク：新世代に向かって、持続可能なネットワーク実現や、ユーザコントローラビリティなどの枠組みをもつ新たな可能性を述べる。

15. ネットワーク仮想化：アーキテクチャ設計、競争原理、持続進化を促進する枠組みを述べる。

7. 新世代ネットワークにおけるコンテンツ

本研究では、これまでの現状から NGN そして、新世代ネットワークにおけるコンテンツの変遷を考える。コンテンツは、当初信号から始まり、長らくは文字のみの情報であった。しかし、通信技術の発達や情報発信端末の多様化から、現在では、音声、画像、動画（音声+画像）といったものも、ネットワークを介して取り扱われており、現段階においても膨大なトラフィック量となっている。

そのような状況において、我々は新世代ネットワークで新たに取り扱われはじめるコンテンツは使用する人間の「イメージ」ではないかと推測する。もちろん、現在の技術では、高い精度でユーザの意図しているイメージをそのまま汲み取り検索や画像のマッチングを行うことは不可能かもしれない。しかし、新世代ネットワークを考える際には、「現在の社会で使われているネットワークシステムやその技術資産に縛られずすべてを白紙に戻した状態で、かつ理想のネットワークの構築」を考えることが重要である。そのため、今後利用者の考えるイメージをコンピュータが理解するという理想型を実現出来るであろうと想定し、現在の技術との乖離を少なくするような議論を行っていく。

我々は、その理想型を「脳内二値化表現法」とする。これは、今までのネットワークでは、達成が困難であった利用者からの問題点、検索機能の不正確さ、および言語の不

一致による相互理解の阻害を解消することができる新たなコンテンツの取扱い方である。

7.1. 脳内二値化表現法

脳内二値化表現法とは、言語によらないイメージの表現方法である。利用者の意図するイメージを文章やキーワードで表現できない際の手助けおよび、より詳細な検索、判断を補助する役割ができるものとする。本研究では、二値化の際のデバイスを言及することを控える。現状においていくつかの脳内情報の取扱い方法、および表現方法は考案されているが、ネットワークはもちろんのことコンピュータに接続することによってそれを活用できるというデバイスはほとんど存在していないのが現状であり、開発が待たれているような段階である。

7.2. 関連技術

脳内二値化表現法は、関連研究が進められている。その例を以下に示す。

- 1, 脳磁図を用いたイメージ読み込み
- 2, 軍事利用において、イメージによる通信・指令
- 3, 音声コミュニケーション
- 4, 仮想世界（セカンドライフなど）におけるアバターの制御。散歩、会話（脳波を利用）

これらの多くは、GUI (Graphic User Interface) などと同等に開発されている BUI (Brain Computer User Interface) 関連技術である。現状で、市場規模予測（計測装置、入力インターフェースなど）がされており、国内市場で 7000 億円 (2025 年)、世界市場で 1.2 兆円 (2025 年) となっている。新世代ネットワークが 2015 年をめぐりと考えられているが、おそらくこのコンテンツが広く世界に普及することになるのが、2020 年以降であると予想される。

7.3. 現在取り組みが行われている研究

本節では、コンテンツに着目した、新世代ネットワークに向けた研究の内、コンテンツのグループ化とコンテンツの関数化について紹介する。

コンテンツのグループ化は、数多くの先行研究やいくつかのアプリケーションに導入されている。マイクロソフト社などにおいても、人間のイメージをいかにコンピュータに載せることができるかということに関しての研究も行われ始めている。関連技術を挙げると、ファイル共有ソフト

ト(Winny,Limewire,Share 等)において、嗜好に合わせて参加者をグループ化することでファイル共有を効率化したり、データに付随しているタグ名をクラスタリング(自動分類)することにより、同じ群(クラス)同士を同時に扱うことができている。さらに、ICタグ、音声、写真、映像などのマルチメディアコンテンツ情報を共通の関数符号化で表現する基本技術により、関数情報に基づくコンテンツオリエンテッドなコグニティブ・ネットワークアーキテクチャの設計・手法について、片岸らが研究開発を進めている。

コンテンツをグループ化、および関数化することによって得られるメリットをいくつか挙げる。

- 1, 莫大な情報量を単純化することで、ネットワークを流れるパケット量を削減し、省エネも実現できる。
- 2, 関数化することによって、情報の劣化を防止
- 3, レイヤーの上位層(アプリケーションなど)の性能に依存することがない

といったことが挙げられる。

得に、現状のインターネット網を利用しつつ、新世代ネットワークへ移行する際にも、パケット量の節約は大きなメリットである。コンテンツ量の増大はパケット量の増加につながり、通信によるパケットの損失などでの情報の劣化を防ぐことができることは、ユーザ側もそしてシステム管理側としても期待するものである。

7.4. 新世代ネットワークで期待できること

我々は、調査を開始した当初、新世代ネットワークは「現状のネットワークの問題をすべて解決するネットワーク」であるから、そこには問題は何かもないように思われた。しかし、それを達成するための技術がまだおいていないこと、さらにシステム管理の面からの考察は多くなされているが、実際にネットワークを使用するユーザ側からの考察は、不十分であるように思える等、問題は残されていることがわかった。

新世代ネットワークにおいては、コンテンツをユーザがより身近に感じ、かつ QoS 保証もしっかりとしたものであり、より感覚に近い形でネットワーク上の情報を扱えることが期待される。感覚に近いという意味で本研究では脳内情報を二値化することによってコンピュータに対してより精度の高い要求が行えるかということを考えて。そのためには、まず現状でパケットを介してやりとりされてい

るコンテンツの扱い方、つまり単純化・関数化がより重要であると考えた。

8. まとめ

本研究では、現状のネットワークを支える基本技術を紹介し、されに現状の問題点を抱えるようになった背景を探るためにインターネットの歴史を振り返った。そして、現在移行が進められている従来の電話網に代わり IP を用いたネットワークで構成される NGN について説明した。さらに、システム管理の面からの問題点、ユーザ側からの問題点を挙げ、新世代ネットワークの可能性を考察し、ネットワークに流れるであろう現状のコンテンツ(文字、音楽、画像、動画)に追加して、新しく脳内情報を新しいコンテンツとし、それを取り扱う脳内二値化表現方法を提案した。そして、デバイスではなくコンテンツとしての扱い方が重要であることが分かった。最後にコンテンツを単純化・グループ化・関数化することにより、システム面からもユーザ面からもメリットがあることを述べた。新世代ネットワークに対して、トップダウン的ではなく、ユーザが求めるもの(本研究では脳内のイメージをコンテンツとして扱った)の必要性から、ボトムアップ的に扱い方の重要性を述べた。

本研究では、研究背景、現状の技術の把握に多くの時間をかけた。その中で新世代ネットワークにおいて現状との違いを身近な問題点から求め、そこでの新しいコンテンツを挙げ、そこでの必要な技術に関して議論した。しかし、実験的なオリジナリティではなく、新世代ネットワークに対する視点をユーザ側からとした研究となったため、今後は、実際どのようにコンテンツを扱えるようになるかとい関連技術の実装を試みるのが今後の課題として挙げられる。

9. 参考文献

- [1]AKARI Home page
<http://akari-project.nict.go.jp/>
- [2]World Internet Usage Statics News and World Population Stats
<http://internetworldstats.com/stats.htm>
- [3]浅谷耕一:ネットワーク技術の基礎と応用, コロナ社, 2007