

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560374

 研究課題名（和文） 機会的無線アクセスをサポートする学習し進化する
ネットワークアーキテクチャ

 研究課題名（英文） A learning and evolutional network architecture
for enabling opportunistic wireless network access

研究代表者

高橋 達郎（TAKAHASHI TATSURO）

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号：30324677

研究成果の概要（和文）：

学習し進化し続ける新たなネットワークアーキテクチャを研究した。今後ますます機会的(Oppportunistic)になる無線アクセスに対応することを目指し、主には光ネットワークの新たなアーキテクチャを設計した。本アーキテクチャでは、トラヒックの分布に応じて学習的にスイッチ構成を制御するアルゴリズムが実装されている。主にシミュレーションによる評価から、有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

This study discussed a new learning and evolutional network architecture. Mainly, we focused on photonic network architectures but considered wireless access networks in which bandwidth availability has been more and more opportunistic. The proposed architecture includes a learning algorithm that controls the switching structure dynamically according to traffic distribution. Simulation results showed the proposed architecture works well.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード：ネットワーク・LAN、動的無線環境、ネットワークアーキテクチャ

1. 研究開始当初の背景

無線アクセスでは、使用可能な周波数帯域が厳しく制限されている上、多数の利用者で共有されているので、機会的(Oppportunistic)に得られる無線リソースを最大限活用して通信を行う必要がある。さらには、携帯電話・無線 LAN・WiMAX 等の異種システム混

在環境では無線リソースが複数のシステムから選択的あるいは同時に獲得でき、新たに検討されている動的周波数割り当て(Dynamic Spectrum Access)では異なる複数の無線システムが互いの割り当てリソース量を動的に変化させる。つまり今後、状況による通信品質の変動幅は増大し続ける。一方、

DTN (Delay Tolerant Network)など、偶然的に通信範囲に入ったときに目的の範囲や相手に情報を届ける「保証の無い」通信の必要性が高まっている。以上の動的リソース環境での通信は「Opportunistic Communication (以下 OPC)」と呼ばれ、重要なパラダイムとなりつつある。しかし、End-to-End をベースとした従来のインターネットアーキテクチャではこれを十分にサポートできず、システム性能や個々の利用者の満足度の点で問題を生じさせてしまうことが懸念される。一方、海外では、米国での FIND, GENI, 欧州での FP7 Future Networks, FIRE といったインターネットを一新しようとする動き(Clean Slate)が活発になってきている。特に WINLAB(米国 NJ 州)によって FIND 下で推進されている CNF(Cache-aNd-Forward)は、無線アクセスに重点を置いた検討を行っている。国内では、OPC について末端の無線アクセスに閉じた議論は多少はなされているものの、OPC にフォーカスした全体的なアーキテクチャの提案はまだ見られていない(例えば電子情報通信学会の研究会や論文誌で発表されていない)。したがって、国内での本トピックに関する研究体制の強化が急務であると考えられる。

2. 研究の目的

①で述べた OPC をサポートする新たなアーキテクチャを提案する。まずは、ネットワーク上のパラメータを限界まで動的制御できるようにする。これは米国 Stanford 大学 Clean Slate 研究所で研究開発されている Openflow のようなプログラム書き換え可能なネットワークノードで実現される。そして、提案するアーキテクチャに基づくネットワークは、OPC の極めて動的な環境に適応できるよう自ら学習し進化する。つまり、時々刻々の変化に応じて逐一最適化を行うことは不可能なので、ネットワークは(我々が生活の中でそうしているように)、新たな状況に直面した際、過去の類似の経験と照らし合わせて、それに少しの補正を加えることで適切な処理を行う。さらに経験を蓄積し続け自身の判断力を進化させていく。具体的には、転送単位(Packet/Batch/File)、経路制御メトリック、キャッシュ置換ポリシー、トランスポート終端点といった制御パラメータを学習的・進化的手法(例えば、動的計画法、機械学習、コンジョイント分析、ニューラルネットワーク)を用いて制御することを考える。例えば次のようなシナリオが考えられる。1. 広帯域無線環境から利用者がデータを要求し、要求されたデータがサーバから転送される 2. 移動や環境の変化による利用者の使用可能リソースの急激な減少、断続接続が検知される 3. 過去のデータからその後の利用者の

使用可能リソースが学習的に推定され、転送単位、経路、キャッシュ、トランスポート終端点が制御される。4. 利用者がその時々の使用可能なリソースが最大活用され、急激なリソースの減少や断続接続に対しても、ネットワークリソースの浪費なく、通信品質が維持される。5. 1~4 がネットワークに「経験」として蓄積されさらにネットワークが進化し、将来の不測のイベントに対してのロバスト性が高まる。このような「学習し進化するネットワーク」をパラダイムとして確立し、計算機シミュレーションと実装実験によって、その有効性を立証することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

最初の目的は、提案アーキテクチャの原理を確立することである。学習および進化メカニズムの複雑化を避けるため、まず学習を、「期間」と「カバー範囲」によって4つに分ける。人間に例えると、初めて経験する状況に直面したとき試行錯誤して最適な行動を探索するような学習は短期的、その経験を蓄積し過去の類似の状況を参考に迅速に行動を選択するための学習は長期的と言える。ローカル、グローバルとは問題を把握し解決する範囲を表す。この分類に基づいて研究を進める。具体的なステップは次の通りである。① 無線アクセス部の OPC とコアネットワークのモデル化を行う。初期的な検討を行うために、モデルはシンプルなもの望ましい。例えば、電波のフェージングや干渉をマイクロにモデル化するのではなく、使用可能リソースの動的変動をマクロに確率モデルや時間関数として表す。② ①のモデルを用いて、各分類に対し、動的計画法、ニューラルネットワーク、機械学習、コンジョイント分析などの学習手法のうち、それぞれに最適なものを検討する。例えば、コンジョイント分析は多次元パラメータを扱うことができ、各パラメータが制御目標(システム容量や個人の QoS(Quality of Service)、利用者間の公平性)に対し与えるインパクトの大きさを学習することができる。つまりこの手法は長期的学習に適している。③ 各分類に対してシンプルなシナリオを挙げる。例えば、ある無線アクセスで急激な通信品質の劣化がたびたび生じているとする。これに「長期的・ローカル」な学習を適用して問題を解決することを試みる。上記のコンジョイント分析を用いると、転送単位、経路、キャッシュ、トランスポート終端点といった制御パラメータのうち、この問題への影響が大きいものを発見でき、それらを優先的に制御することで問題を解決(あるいは軽減)できる。④ ③の原理の正しさを定量的に証明するため、計算機シミュレーション上にモデル化を行い、提案す

るアーキテクチャ・学習手法を実装する。⑤ 評価結果からその有効性を検証し、理想値との比較からその最適性も検討する。改善の余地がある場合には、方式の修正や他の学習手法との組み合わせによる拡張を検討する。⑥ 複数のシナリオに対して③～⑤を行い、提案アーキテクチャ・学習メカニズムのスケラビリティを向上させる。

次の目的は、個別の手法を統合する技術の設計である。具体的には次のようなステップで進める。① 上記で構築したモデルを拡張し、大規模でグローバルなモデルを構築する。その際、これまでと同様にマクロなモデルを採用しながらも、使用可能リソースの変動や、データの要求・モビリティといったユーザの振る舞いをより現実的にモデル化する。② これまで分離して扱っていた複数の問題を一元的に扱う。例えば、ある無線アクセスで急激な通信品質の劣化が生じた際、短期的な学習手法によってその問題の解決を試みるとともに、長期的な学習手法によってそのような望ましくない状況が生じる可能性を軽減することも試みる。この際、「長期的に蓄積したデータを短期的な手法に役立たせる」といったように複合的・相互補完的な動作も検討する。また、ローカル・グローバル制御間の連携も重要である。③ ②で設計した統合的なメカニズムの有効性を定量的に証明するため、計算機シミュレーション上にモデル化を行い、提案アーキテクチャとその統合メカニズムを実装する。④ シミュレーション評価からその有効性を検証し、前年度の個別に制御を行った場合の結果との比較を行う。改善の余地が見られる場合には、方式の修正を行い、それでも十分な改善が得られない場合は、②に戻り、統合方法の根本的な見直しを行う。⑤ 複数のシナリオに対して②～④を行い、提案アーキテクチャ・統合メカニズムのスケラビリティを向上させる。

国内外で極力早く発表を行い、他の研究者からのフィードバックを設計に活かす。また、一定の成果がまとまった時点で、世界的に注目度の高い国際会議・論文誌への投稿を行う。また、設計したアーキテクチャを実装し、実験を通じてその性能を評価する。8台の計算機サーバにLinux OSをインストールし、プログラム書き換え可能なネットワークルータとして駆動させる。また、モバイル端末との無線接続にも、既製の無線アクセスポイントは用いず、計算機サーバをプログラム書き換え可能な「ソフトウェアアクセスポイント」として駆動させる。このような実装システムにより、評価を行う。評価結果を学会で発表するとともに、実装したシステムを単独開催や国際会議と併催される技術展示会にて発表する。

4. 研究成果

まず、新たなネットワークアーキテクチャ研究の一環として、複数のパケットを複合化して1個の長パケットとして転送するネットワークと、遅延線バッファの長遅延部分を複数の出力回線で共用する部分共用方式の検討を行った。前者については、①パケット間のオーバーヘッド削減によるネットワークの効率化が達成できること、②複合化によりパケット長ごとの品質のばらつきを抑えることができることが明らかになった。一方、③パケット発生の変動性を抑制するために複合パケットの長さの選択に制約があること、④TCPプロトコルの動作から無暗に長い複合パケットは性能が向上しないことなどが解明された。後者については、遅延線バッファの利用状況の調査の結果、長遅延線の利用頻度が低いことが明らかとなり、長遅延線の共用効果を期待する。部分共用方式によりハードウェア当たりのスループットが向上できることを明らかにした。この方式は、専用部分と共用部分の遅延線の本数や、縦属接続可能な共用部分の段数、共用部分の捕捉・解放のアルゴリズムなどに各種の設計自由度がある。まず、最も基本的な構造として、①共用部分対専用部分の遅延線本数は等しい、②共用部分の複数ユニットの縦属接続は行わない、③共用部分の捕捉・解放は即時、のモデルで評価を行った。評価は計算機シミュレーションで行うとともに、理論解析を併用して大規模なシステムの性の推定も行った。光パケットネットワークと無線アクセスネットワークに関する研究を並行して進めた。光パケットネットワークに関しては、これまでに研究を行った部分共有型バッファは、出力回線ごとに個別バッファを持ち、それに1個の共有バッファを追加できる構成で、共有部と個別部の基本バッファサイズは等しい条件で検討を行った。ここでは、これを一般化して検討を行った。共有部はより小さなバッファとし、これを同一の出力回線で複数段縦続接続でき、負荷に応じて適応的にバッファを利用できる。計算機シミュレーションにより評価したが、バッファの捕捉・解放のアルゴリズムには学習機能を盛り込むことを検討した。②広域に配置されたネットワーク機器を高い精度で時刻同期をとることが可能になっており、広域時刻同期を利用した新たなネットワークアーキテクチャを研究した。具体的には、時分割型の光パケットネットワークを対象とした。キー技術であるタイムスロット割り当てアルゴリズムとして、信号伝搬遅延を考慮したパッキングを研究するとともに、回線負荷状況などのさまざまな情報を学習しながら行う高効率な割り当てを行うアルゴリズムを計算機上に実装した。一方、無線アクセス制御アーキテ

クチャについては、周波数資源の動的な捕捉を分散的に行う方法について研究した。資源が間欠的にしか利用できない Opportunistic Communication 環境では、電波の状況を正確に・早く学習することが不可欠である。情報の収集範囲は、サーバーへの情報登録や P2P 通信によって広範な情報を収集するものや、周囲のノードとの情報交換を行う協力通信などがあり、情報収集範囲により状況把握の精度と遅延が影響を受ける。具体的には放送と通信の融合形態を想定して、学習のメカニズムと周波数資源の捕捉プロセスを計算機上に実装して、体系的に評価を行った。

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)

[雑誌論文] (計 5 件)

花田光平, 高野奨太, 高橋達郎 ``部分共有型ファイバ遅延線バッファ方式の性能評価” 電子情報通信学会論文誌 J94-B, 2011 年, pp. 1461-1469.

高野奨太, 小津喬, 高橋達郎 ``遅延線バッファを対象としたパケット複合化の性能評価” 電子情報通信学会論文誌 J95-B, 2012 年, pp. 11-19.

[学会発表] (計 9 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者 高橋達郎
(Takahashi Tatsuro)

研究者番号 : 30324677

(2) 研究分担者 新熊亮一
(Shinkuma Ryoichi)

研究者番号 : 70362580

(3) 連携研究者
()

研究者番号 :