

令和07年度 卒業論文

エンタープライズ無線LAN環境における通信品質  
改善のためのユーザ行動支援手法

電気通信大学 情報理工学域

I類 コンピュータサイエンスプログラム

学籍番号 2210182

氏名 上川雅弘

指導教員 矢 俊志

令和08年X月XX日

## 概要

本論文では、エンタープライズ無線 LAN 環境における通信品質改善のためのユーザ行動支援手法に関する研究について述べる。近年、インターネット環境の質は、業務の効率や生産性、さらには顧客満足度やサービスの信頼性にまで大きな影響を及ぼす要因となっている。快適なインターネット環境の整備は、事業や活動の成果に直結する重要な要素である。企業や大学における、多数のユーザが同時にアクセスするエンタープライズ無線 LAN 環境 (以下、無線 LAN) においても、利用者に対して高品質な通信体験を提供することが求められている。

無線 LAN では、多数の AP を広範囲にわたって配置し、ユーザの移動や利用状況に応じて柔軟にネットワークを提供する必要がある。このためには、通信の品質を維持・向上させるための高度な管理が不可欠である。

従来、無線 LAN 環境の最適化においては、ネットワーク管理者側が、AP 設置位置の最適化、チャネルの割り当て調整、通信トラフィックの分散制御などを行ってきた。このような管理者による調整で無線 LAN 環境をある程度改善できる一方で、依然として不特定要素は多い。建物の構造による電波の遮蔽や反射、無線干渉、ユーザの予測困難な移動や利用行動といった、管理者の制御がおよばない要素が多数存在する。これらの要素が複雑に絡み合うことで、利用者の環境では通信品質のばらつきや一時的な接続不良といった通信不良が発生している。こうした現状を踏まえた上で、より快適な無線 LAN 環境を実現するため、従来の管理者主体のアプローチに加え、利用者側の行動を踏まえた無線 LAN 環境改善のための新たなアプローチが必要とされている。

本研究では、エンタープライズ向け無線 LAN 環境における通信品質改善のためのユーザ行動支援手法を提案する。シミュレーションツール ns-3 を使用したシミュレーションの結果、【主要な成果】が確認できた。

# 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>3</b>
1.1	研究の背景 . . . . .	3
1.2	研究の目的 . . . . .	4
1.3	本論文の構成 . . . . .	5
<b>2</b>	<b>背景知識</b>	<b>6</b>
2.1	無線 LAN の基礎技術 . . . . .	6
2.2	無線 LAN の通信方式 . . . . .	6
2.3	無線 LAN のチャンネルと周波数帯域 . . . . .	6
2.4	無線 LAN における通信品質のパラメータ . . . . .	7
2.5	チャンネル使用率 . . . . .	7
2.6	【技術・概念 3】 . . . . .	8
<b>3</b>	<b>提案手法</b>	<b>9</b>
3.1	提案手法の概要 . . . . .	9
3.2	システム設計 . . . . .	9
3.3	実装 . . . . .	9
<b>4</b>	<b>評価</b>	<b>10</b>
4.1	評価環境 . . . . .	10
4.2	評価方法 . . . . .	10
4.3	評価結果 . . . . .	10
4.4	考察 . . . . .	10
<b>5</b>	<b>おわりに</b>	<b>11</b>
5.1	まとめ . . . . .	11
5.2	今後の課題 . . . . .	11
	<b>謝辞</b>	<b>12</b>
	<b>参考文献</b>	<b>13</b>
<b>A</b>	<b>付録</b>	<b>14</b>

# 1 はじめに

## 1.1 研究の背景

現代社会において、インターネットは社会インフラとして不可欠な存在となっている。スマートフォンやタブレット、ノートパソコンなどのモバイル端末の普及に伴い、人々がインターネットに接続する機会は飛躍的に増加し、もはや日常生活のあらゆる場面でネットワーク接続が求められるようになった。特に、カフェやレストラン、図書館、商業施設、イベント会場、空港などの公共空間においては、無線 LAN 環境の提供が利用者にとっての重要な選択基準の一つとなっており、Wi-Fi 設備は事実上の標準装備として認識されるに至っている。

このような状況を受け、多くの施設運営者は Wi-Fi 環境の整備に積極的に取り組んできた。アクセスポイントの増設、高性能な通信機器の導入、広帯域な回線の契約など、設備面での投資は年々拡大している。しかし、これらの設備投資にもかかわらず、実際の利用現場では「Wi-Fi が繋がりにくい」「通信速度が遅い」「接続が頻繁に切れる」といった利用者からのクレームや不満が後を絶たない。特に、多数の利用者が同時にネットワークを利用する状況（大規模なイベント会場、セミナー会場、人気カフェの混雑時など）においては、通信品質の著しい低下が頻繁に報告されている。

現在、こうした問題に対処するため、ネットワークオペレーションセンター (NOC) をはじめとする管理者側は様々な技術的施策を講じている。帯域制御による公平な帯域分配、QoS(Quality of Service) 設定による優先制御、チャンネル割り当ての最適化、干渉源の特定と除去、アクセスポイントの動的な負荷分散など、様々なネットワーク管理技術が使われている。また、リアルタイムでのトラフィック監視やログ解析、異常検知システムの導入など、運用管理の自動化・効率化も進められてきた。しかしながら、これらの管理者側の努力にもかかわらず、通信品質の問題は根本的な解決には至っていないのが現状である。その理由の一つとして、従来のアプローチが主にネットワーク機器やインフラ側の最適化に焦点を当てており、実際にネットワークを利用する「ユーザ」の行動や振る舞いについては十分に考慮されてこなかったことが挙げられる。例えば、利用者が一箇所に集中してしまうことによるアクセスポイントへの負荷の偏り、不要なアプリケーションのバックグラウンド通信による帯域の圧迫、同時に大容量ファイルのダウンロードを開始することによる輻輳の発生など、利用者の行動パターンがネットワーク全体のパフォーマンスに大きな影響を与えている事例は数多く存在する。通信環境の問題を技術的側面からのみ捉えるのではなく、通信システムを構成する一要素として「ユーザ」を位置づけ、利用者の行動も含めた全体最適を図る必要があると考えられる。

## 1.2 研究の目的

本研究の目的は、従来のネットワーク管理の枠組みを拡張し、人間を通信環境を構成する重要な要素として明示的に捉えることで、通信品質の改善を実現することにある。具体的には、利用者に対して適切な行動を促すことにより、ネットワーク全体のパフォーマンスを向上させる手法を提案し、その有効性を検証する。

従来の通信品質改善アプローチは、ネットワーク機器の性能向上や設定の最適化といった技術的施策に依存してきた。しかし、いかに高性能な機器を導入し、精緻な制御アルゴリズムを実装したとしても、利用者の非効率的な行動や無自覚な振る舞いがボトルネックとなっている場合には、期待される効果は得られない。本研究では、この問題意識に基づき、人間を通信システムの受動的な利用者としてではなく、能動的に通信品質に影響を与える主体として位置づける。具体的には、利用者の行動を適切に誘導することで、以下のような通信品質の改善効果が期待できる。

第一に、空間的な負荷分散の実現である。特定のアクセスポイントに利用者が集中することを避け、より空いているエリアへの移動を促すことで、各アクセスポイントの負荷を均等化し、全体としての通信品質を向上させることができる。

第二に、各ユーザの通信パターンの最適化である。ユーザによって、必要とする通信帯域は異なるはずであるため、各ユーザが必要とする最低限度の帯域を利用するよう促すことで、全体の帯域利用効率を高めることができる。

第三に、ユーザの行動を最小限に抑えることである。ユーザが無駄な移動を行ったり、ランダムに移動したりすれば、ネットワーク全体の負荷が増大し、通信品質が低下する可能性がある。そのため、ユーザに対して最小限の行動で済むような誘導を行うことで、通信品質の安定化を図ることができる。さらに、この考え方に基づいたシステムを用いることで、ユーザにかかる負担が最小限度で済むため、継続してシステムを利用してもらえる可能性が高まる。

本研究では、これらの行動変容を実現するための具体的な仕組みとして、利用者へのリアルタイムなフィードバックや推奨行動の提示、ゲーミフィケーション要素の導入、インセンティブ設計などを検討する。また、提案手法の実用性を評価するため、実環境またはシミュレーション環境において実験を行い、通信品質の改善効果を定量的に測定する。

最終的に本研究は、ネットワーク管理における新たなパラダイムとして、「人間中心型ネットワーク管理」の概念を提唱し、その実現可能性と有効性を示すことを目指す。技術と人間の協調によって、より快適で持続可能な通信環境を構築するための知見を提供することが、本研究の最終的な到達目標である。

### 1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す．第 2 章では，本研究に関連する背景知識について述べる．第 3 章では，提案手法・システムについて述べる．第 4 章では，評価実験について述べる．第 5 章で本論文をまとめる．

## 2 背景知識

### 2.1 無線 LAN の基礎技術

無線 LAN(Wireless Local Area Network) は, IEEE 802.11 標準規格に基づく無線通信技術により構築されるネットワークである。システムは主にアクセスポイント (AP: Access Point) とクライアント端末から構成される。AP が 2.4GHz 帯または 5GHz 帯 (IEEE 802.11ax 以降では 6GHz 帯も利用可能) の電波を用いてクライアントとの双方向通信を実現する。近年の規格発展により, IEEE 802.11ac(Wi-Fi 5) では最大 6.9Gbps, IEEE 802.11ax(Wi-Fi 6) では最大 9.6Gbps の理論スループットが達成されている。しかし, 実環境では後述する様々な要因により, 実効スループットは理論値を大きく下回ることが知られている。

### 2.2 無線 LAN の通信方式

無線 LAN は, CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 方式を採用している。この方式では, 端末が通信を開始する前にチャンネルの状態を監視し, 他の端末が通信中でないことを確認してから送信を行う。もしチャンネルが使用中であれば, ランダムなバックオフ時間を待機した後に再度チャンネルの状態を確認する。これにより, 複数の端末が同時に通信を試みた際の衝突を回避し, 効率的なチャンネル利用を実現している。さらに, ACK(acknowledgment) フレームを用いた確認応答機能により, 送信データの正確な受信を保証している。受信側は正常にデータを受信した場合に ACK フレームを送信し, 送信側はこれを受信することでデータの到達を確認する。ACK が受信されない場合, 送信側は再送を行うことで信頼性の高い通信を実現している。

### 2.3 無線 LAN のチャンネルと周波数帯域

無線 LAN は, 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の周波数帯域を利用して通信を行う。2.4GHz 帯は, 電波の到達距離が長く, 障害物に対する透過性が高い一方で, 他の無線機器 (電子レンジ, Bluetooth 機器など) との干渉が発生しやすい。一方, 5GHz 帯は, より広い帯域幅を提供し, 高速な通信が可能であるが, 電波の到達距離が短く, 障害物による減衰が大きいという特性がある。無線 LAN では, 複数のチャンネルが定義されており, 各チャンネルは特定の周波数範囲を占有する。2.4GHz 帯では, 通常 1~14 チャンネルが利用可能であり, 各チャンネルは 20MHz の帯域幅を持つ。5GHz 帯では, より多くのチャンネルが利用可能であり, 20MHz, 40MHz, 80MHz, 160MHz の帯域幅を持つチャンネルが存在する。チャンネル選択は, 干渉の回避と通信品質の最適化において重要な役割を果たす。

## 2.4 無線 LAN における通信品質のパラメータ

無線 LAN 環境における通信品質は、以下の主要なパラメータが存在する。

### 1. スループット

単位時間あたりに転送可能なデータ量 (bps) であり、この値が小さくなるとユーザ体感品質が低下する。

### 2. 遅延 (レイテンシ)

データ送信から受信完了までの時間 (ms) を表し、リアルタイム通信において特に重要となる。この値が大きくなると、ライブ配信や Web 会議等のリアルタイム性を要する通信に支障が生じる。

### 3. パケットロス率

送信されたパケットのうち、正常に受信されなかった割合 (%) を示す。再送制御の増加により遅延やスループット低下の原因となる。

### 4. 受信信号強度 (RSSI)

受信電波の強度 (dBm) を表し、通信可能範囲や接続安定性の指標となる。一般に -70dBm 以上が良好、-80dBm 以下で通信品質が著しく低下する。

### 5. 信号対雑音比 (SNR)

信号強度と雑音レベルの比 (dB) であり、高い SNR はより高速な変調方式の使用を可能にする。

### 6. チャンネル使用率

チャンネルの使用状況を示すパラメータであり、通信品質に影響を与える。詳細は後述する。

## 2.5 チャンネル使用率

チャンネル使用率は、無線 LAN チャンネルが占有されている割合を示す指標であり、通信品質に大きな影響を与える。高いチャンネル使用率は、他の端末による通信が頻繁に発生していることを意味し、新たな通信の開始が困難になる。これにより、スループットの低下、遅延の増加、パケットロス率の上昇といった通信品質の劣化が生じる。チャンネル使用率は、通常 0% から 100% の範囲で表され、100% に近い値はチャンネルがほぼ常に占有されている状態を示す。一般に、チャンネル使用率が 70% を超えると、通信品質の低下が顕著になるとされている。チャンネル使用率の測定は、無線 LAN 機器や専用の解析ツールを用いて行われる。これらのツールは、チャンネルの占有時間を監視し、使用率をリアルタイムで算出する機能



を備えている．ネットワーク管理者は，チャンネル使用率の情報を活用して，チャンネルの最適化や負荷分散の施策を講じることが可能である．チャンネル使用率  $CU$  は，測定の単位時間  $T$  を用いて，一般に以下の式で計算される．

$$CU(\%) = \frac{T_{busy}}{T} \times 100 \quad (1)$$

ここで， $T_{busy}$  は，観測期間中にチャンネルが他の端末によって使用されていた総時間を指す．

## 2.6 【技術・概念 3】

【技術や概念に関する説明】

## **3 提案手法**

### **3.1 提案手法の概要**

【提案手法の概要を記述】

### **3.2 システム設計**

【システムの設計について記述】

### **3.3 実装**

【実装の詳細について記述】

## **4 評価**

### **4.1 評価環境**

【評価環境について記述】

### **4.2 評価方法**

【評価方法について記述】

### **4.3 評価結果**

【評価結果について記述】

### **4.4 考察**

【評価結果に対する考察を記述】

## 5 おわりに

### 5.1 まとめ

本研究では,【研究内容の要約】について述べた.

### 5.2 今後の課題

今後の課題として,【今後の課題や展望】が挙げられる.

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，研究テーマや方針について多大なるご指導を賜りました矢俊志先生に心より感謝申し上げます．また，日頃より支えてくださった家族に対しても，ここに感謝の意を表します．

## 参考文献

## A 付録

【必要に応じて付録を記述】