

## 研究背景

・従来のWi-Fiローミングでは、L2再認証やL3再取得により、数十ms～数秒の通信瞬断（パケットロス）が発生する。  
・ライブ配信、産業用IoT、自律移動ロボット分野において、この瞬断は**致命的な障害**となる。

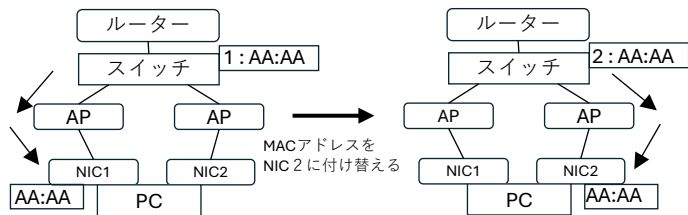
## 研究目的

アクセスポイントを切り替える際に起こってしまうパケットロスをゼロにすることを目標に、NICを2つ搭載しそれぞれ別のAPに同時に接続することで、パケットロスゼロのローミングを行うことを目指して研究をした。

## 検討した手法

### 手法A：MACアドレスの付け替え

概要:2つのNICを用意し、通信を切り替える際に、使用中のMACアドレスをもう一方のNICに**動的に付け替える**。  
切り替わったあとにPCからパケットが送信され、スイッチが自動的にMACアドレステーブルを更新する。

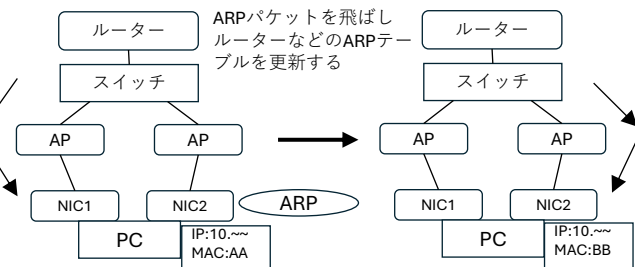


補足：黒矢印はルーター側からのパケットの流れを表す。

**メリット**: L2層で完結するため、IP以外のL3プロトコルでも利用可能。  
**デメリット**: 切り替えのたびに送信元ポートが変わるため、L2スイッチのMACアドレステーブルが頻繁に書き換わり、スイッチに負荷をかける懸念がある。  
上記の技術は、Linuxにおいてbonding技術を使うことで実現可能。

### 手法B：GARP（Gratuitous ARP）による経路変更

概要:2つのNICがそれぞれ**固有のMACアドレス**を持つ。切り替え時に、新しいNICのMACアドレスと既存のIPアドレスを紐づけるためのARPパケットをブロードキャストする。

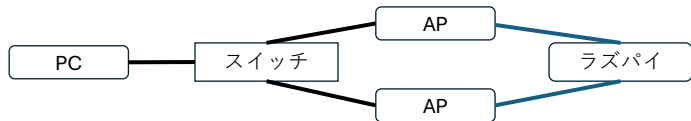


**メリット**: スwitchのMACアドレステーブルは変更されず、負荷が低い。  
**デメリット**: IPプロトコルに依存するため汎用性に欠ける。また、GARPパケットを受信できなかった端末は古いARPテーブルを保持し続け、通信断が発生するリスクがある。

## 使用した機材

- ・Raspberry Pi 4 Model B
- 増設NIC：UGREEN CM762
- ・スイッチングハブ：CISCO C1000-8T-2G-L
- ・アクセスポイント：tp-link TL-WA855RE

## 実験 1：1 つのNICに 2 つのAPの構成のときの検証



補足：スイッチ、PC、APの接続は有線LANを使用し、ラズパイとAP同士では無線LANで通信している。  
測定方法：ラズパイをサーバーとし、接続してるPCから0.0005秒間隔でUDPパケットを送りロスが起こるのかを測定。

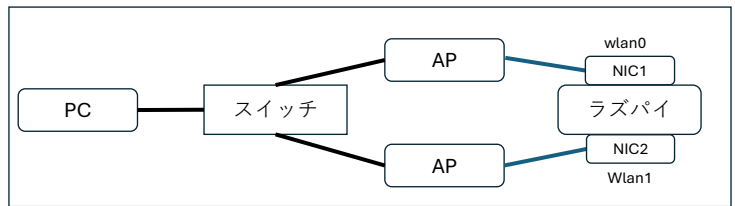
## 実験 1：結果

- ・切替時におよそ**700~1000パケット**ほどパケットロスが起こることが確認された。
- ・切り替えを行ったあとの状態でもかなりパケットロスがおきていた。

一回目の切り替え：パケットロス 1411パケット  
二回目の切り替え：パケットロス 781パケット

## 実験 2：手法Aを使用した検証

実験 1 を踏まえ、NICを2つ用意した構成での検証。



以上の構成で実験を行った

測定方法：Linuxのbonding active-backup技術を使用。  
bondingのactive-backupによって、NICの切り替えを実現した。  
ラズパイをサーバーとし、接続してるPCから0.0005秒間隔でUDPパケットを送りロスが起こるのかを測定。

## 実験 2：結果

- ・切り替え時に1~10パケット程度の微小なパケットロスが確認された。
- ・実験1 (1,000パケットロス) と比較し、**パケットロスを99%以上削減**。

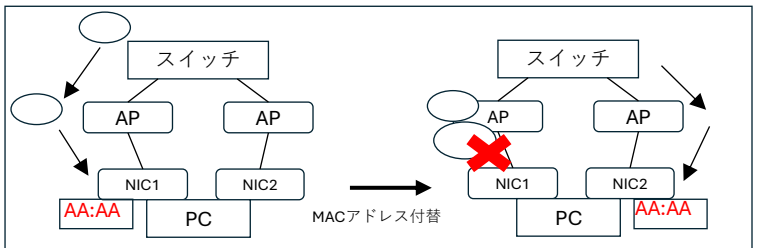
一回目の切り替え：パケットロス 2パケット  
二回目の切り替え：パケットロス 3パケット  
三回目の切り替え：パケットロス 4パケット  
四回目の切り替え：パケットロス 5パケット

## 実験 2：考察

実験 2 において、なぜ微小のパケットロスが発生したのかを考察する。

考えられる要因

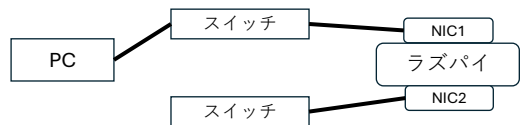
実験 2 で使用した、active-backupの構成においてNICを切り替える際に、切り替える前の方を流れていたパケットがNICに届いた際に、すでにスタンバイになっているため、破棄されてしまっていると考える。



補足：○はパケットを表している。  
矢印は接続されているAPを表している。

## 実験 3：なぜパケットロスが起きたかの検証

実験 2 の考察において、MACアドレスが付いていない方に流れたパケットがどうなるかの検証を以下の構成で行った。



測定方法：NIC1をスタンバイ状態で、UDPパケットをPCから流し続け、パケットが受信できるのかを確認した。

## 実験 3：結果

スタンバイ状態のNICに対して、パケットが流れてくるとこは確認した。しかし、OSで破棄されてしまいアプリケーションには届かない状態になった。そのため、微小のパケットロスはスタンバイ状態のNICに流れて来たものによるロスと結論付けられる

## 考察

従来のWiFiローミング技術では、700~1000というかなり大きなパケットロスが確認された。これは、L2再認証及びL3再取得が動作することでパケロスが起こってしまったと考える。対照的に、検討した手法Aの構成では、L2、L3再認証が発生しないことで、1~10程度のパケットロスになったと考える。

## まとめ

- ・Linuxボンディング（Active-Backupモード）は、Wi-Fiローミング時のパケットロスを劇的に削減できる、非常に有効な手法であることを実証した。
- ・UDPパケットを用いた厳密な測定では、完全なゼロ・パケットロスは達成できず、1~10パケット程度の微小なロスが確認された。
- ・課題として、パケットロスゼロを目指すためには、実験 2 で発生する微小なパケットロスについて対策を施す必要がある。