

Raspberry Piを用いた無線ネットワーク状態評価手法の提案

北口 善明^{1,a)} 石原 知洋² 高嶋 健人³ 田川 真樹^{4,†1} 田中 晋太郎⁵

概要: インターネットへの接続性を提供する際、ネットワークの稼働状況を把握するためにネットワーク監視が必要となる。現在、主に利用されている手法は、提供サービスの稼働確認やIP的な到達性の確認などであり、実際のユーザ環境からの評価が行われていない。そのため、実際のユーザからのサービス障害点を確認することが困難であった。特に、ユーザに提供される最終ホップは無線ネットワークの場合が多く、ユーザ側からの通信状態を把握することが重要である。本稿では、ユーザ環境においてネットワーク障害点を検出する手法として、Raspberry Piを計測端末として用いる無線ネットワーク状態評価手法を提案する。試作したシステムを小規模のイベントネットワークにて運用し評価した結果を報告する。

キーワード: Raspberry Pi, 無線 LAN, ネットワーク状態評価, 可視化

Proposal of Evaluation Method for Wireless Network Condition using Raspberry Pi

KITAGUCHI YOSHIKI^{1,a)} ISHIHARA TOMOHIRO² TAKASHIMA TAKETO³ TAGAWA MASAKI^{4,†1}
TANAKA SHINTARO⁵

Abstract: When we offer connectivity to the Internet, network monitoring is necessary to catch the operation situation of the network. The mainly technique is the operational verification of supplied services and the confirmation of IP reachability, and the evaluation on the real user environment is not performed now. Therefore it was difficult to confirm the point of service failure from a real user. Particularly, it is important to the last hop donated to the user that a lot of cases of the wireless network grasp a communication state from the user side. In this report, we suggest the evaluation method for wireless network condition using Raspberry Pi as a measurement terminal. This method detect a network point of failure in user environment. We report the result that we evaluated the system which we produced experimentally in a small event network.

Keywords: Raspberry Pi, Wireless LAN, Network Condition Assessment, Visualization

1. はじめに

キャンパスネットワークやイベントネットワークの運用

において無線アクセスネットワークを提供する場合、ユーザから「つながらない」とのクレームを受ける時がある。インターネットへの接続性がない原因としては、無線区間および有線区間の物理的な要因の他に、アドレス割り当ての不具合、DNSにおける名前解決の不具合、通信先のサービス不具合など、様々な要因が考えられ、問題点の特定に時間がかかる場合がある。また、無線ネットワークにおいては、時々刻々と周辺環境が変化するため、ユーザが繋がらなかった時点での通信状態を把握できていないと、再

¹ 金沢大学 総合メディア基盤センター
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

² 東京大学大学院 総合文化研究科

³ フリーランス

⁴ 九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科

⁵ 東京大学大学院 情報理工学系研究科

^{†1} 現在、奈良先端科学技術大学院大学

^{a)} kitaguchi@imc.kanazawa-u.ac.jp

確認時に問題がないという結果で問題解決にならない場合がほとんどである。

一方、現在のネットワーク運用においては、各ネットワーク機器から取得できる様々な情報や、能動的な死活監視によってネットワークやサービス状態を網側から監視するシステム (Nagios^{*1} や Hinemos^{*2} など) が一般的に使われている。これらの手法では、提供サービスの稼働確認や IP 的な到達性の確認が主となるため、実際のサービスユーザからのサービス障害点を確認することが困難であった。

これらの運用上の課題を解決するため、著者らはユーザが利用している実環境において定常的なネットワーク監視が必要と考えている。この運用を実現するためには、安価に利用できるセンサノードが必要となるが、安価な教育用コンピュータとして登場した小型ボードコンピュータ: Raspberry Pi^{*3} の普及により可能となった。また、無線ネットワークにおけるネットワーク状態を評価する手法を確立するためにも、ユーザ環境におけるセンサノードによる観測が必要と考えている。

具体的に、無線ネットワークをアクセス回線としたユーザがウェブサービスを利用する場合に想定されるネットワーク障害を検討した場合、以下のような障害点を想定することができる。

- 物理的な接続性の障害
無線アクセスネットワークにおける接続障害や上位回線の有線区間における障害 など
- IP 的な疎通性の障害
ユーザ端末の IP アドレスの設定障害や IPv4/IPv6 アドレス変換装置の障害 など
- アプリケーション動作の障害
DNS サービスの障害やウェブサーバの障害 など

このように、様々な階層における障害点を検出することで、発生中のネットワーク障害を的確に把握することが可能となる。

本稿では、無線アクセスネットワークをユーザ環境からの継続的な評価を目的とし、センサノードに Raspberry Pi を用いた手法を提案する。また、提案手法を実装した試作システムを小規模のイベントネットワークにて運用し評価した結果を報告する。

2. 計測シナリオの検討

ユーザ利用の環境下からのネットワーク環境を評価する手法として、TCP/IP の階層モデルにおける階層毎に想定される障害に関して整理し、それらを検出するための計測シナリオを定義し評価する仕組みを取った。この計測シナリオはネットワークの運用モデル毎に整理することが重要

表 1 定義した計測階層とテストケース

階層名	テストケース
1. 無線	a. Wi-Fi の association(2.4GHz) b. Wi-Fi の association(5GHz)
2. アドレス設定	a. DHCPv4 でのアドレス設定 b. DHCPv4 でのネットワーク情報設定 (default route への到達性や name サーバ情報の取得確認なども含む) c. SLAAC によるアドレス設定 (default route への到達性確認なども含む) d. DHCPv6 でのアドレス設定 e. DHCPv6 でのネットワーク情報設定 (name サーバ情報の取得確認なども含む)
3. name サーバ到達性	a. IPv4 name サーバへの到達性 b. IPv6 name サーバへの到達性
4. 名前解決	a. IPv4 name サーバでの A レコード解決 b. IPv4 name サーバでの AAAA レコード解決 c. IPv6 name サーバでの A レコード解決 d. IPv6 name サーバでの AAAA レコード解決 e. DNS64 での IPv4 サーバに対する AAAA レコード解決
5. IP 到達性	a. 外部の public サーバへの IPv4 到達性 b. 外部の public サーバへの IPv6 到達性 c. IPv4 のみのサーバへの IPv4 到達性 d. Dual-stack Web サーバへの IPv4 到達性 e. Dual-stack Web サーバへの IPv6 到達性 f. IPv4 のみの Web サーバへの IPv6 到達性 (NAT64)
6. アプリケーション (HTTP)	a. IPv4 のみ Web サーバの IPv4 でのコンテンツ取得 b. Dual-stack Web サーバのコンテンツ取得 (IPv4 もしくは IPv6) c. IPv4 のみ Web サーバの IPv6 でのコンテンツ取得 (NAT64)

で、アクセス回線の種別 (無線 LAN で利用する規格や周波数帯など) や利用インターネット層プロトコル (IPv4 のみや Dual-stack など) などの形態毎に実施する。

先にも述べたように、ユーザが「つながらない」と感じる障害はネットワークのどの階層での障害であるかを求める事が重要である。そのため、テストケースを TCP/IP の階層モデルにおける下位層から順に実行し、障害がどの階層で発生しているか特定する。評価する階層として、TCP/IP の階層モデルを基準として表 1 の 6 階層を定義した。

定義したテストケースは、IP の到達性だけでも複数の対象に対して実行している。インターネットへの疎通性確認のために利用する外部の public サーバとしては、Google により提供されている public DNS サーバを利用ことにしている。また、下位層でのテストケースにて障害が検

*1 <http://www.nagios.org/>
 *2 <http://www.hinemos.info/>
 *3 <http://www.raspberrypi.org/>

知された場合には、その上位層のテストケースを実行しないことにより、不要なテストケース実施を抑制し、障害の原因を特定しやすくしている。

各階層のテストケースとしては、利用するネットワーク運用モデルを、IPv4のみ、Dual-stack および IPv6 のみの環境を想定して定義している。IPv6 のみの環境に対しては、インターネットドラフト [1][2] でまとめられている環境を想定し、IPv4 への通信を DNS64/NAT64 にて提供するモデルとしている。このように、IP 層のプロトコルを複数扱う場合には、前述した階層間の関係は単純でなくなり、IPv4 および IPv6 それぞれに分けて計測シナリオを定義する必要がある。具体的には、DHCPv4 に障害があった場合にはその上位層の IPv4 name サーバへの到達性確認は不要になるが、IPv6 の DHCPv6 に障害がなければその上位層のテストケースを実行するという対処が必要になる。

3. 評価システムの設計と実装

3.1 システム要件

提案する手法を実現するために、次の点をシステム要件として想定した。

(1) センサード設置の容易性

無線アクセスネットワークは単一のアクセスポイントで構成されるものもあるが、多くの場合、複数のアクセスポイントにより広域に展開される。そのため、ユーザが様々な場所で利用することが想定され、センサードを複数の場所に設置しなければならない。これを容易に実現するには、センサードのネットワーク初期設定を限りなく不要にする仕組み (zero configuration) が必要と言える。

(2) 計測シナリオ設定の柔軟性と拡張性

計測シナリオは提供されるネットワークの運用モデルにより異なるため、環境に合わせて計測シナリオをセンサードに定義する必要がある。この定義設定はネットワーク運用中の変更に合わせて修正する必要もあることから、計測結果を収集するサーバ側から設定可能な仕組みが求められる。

(3) センサードの廉価性と堅牢性

ネットワーク計測を実施するセンサードは、多地点に配置する必要があるため、低価格で実現する必要がある。ただし、定期的に計測を繰り返す必要があるためシステムの堅牢性も同時に求められる。

これらのシステム要件を受け、実装した試作システムについて次節にて解説する。

3.2 システムアーキテクチャ

試作システムはセンサードと計測結果を集積するサーバ (以下、結果集積サーバ) から構成されており、センサードには、廉価性を実現するために Raspberry Pi を利

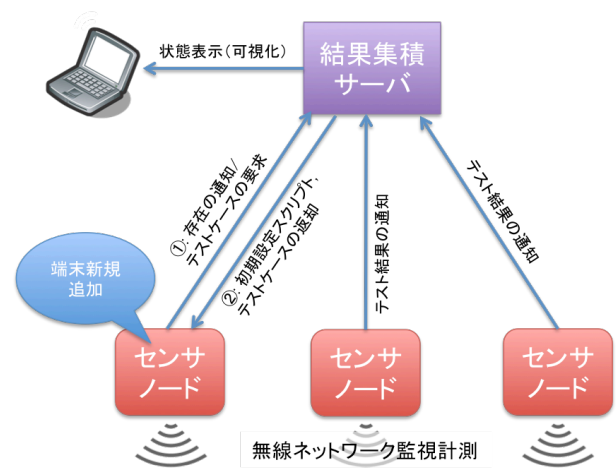


図 1 システム構成とアーキテクチャ

用している。また、センサードと結果集積サーバとの通信には計測対象となる無線ネットワークは利用せず、有線インターフェースによる接続を利用している。システム構成図を図 1 に示す。

センサードがネットワークに接続されると、結果集積サーバに対して端末情報の通知と初期設定情報を要求する。結果集積サーバからは、初期設定スクリプトが送られ、端末の設定が行われる。センサードは、取得した初期設定スクリプトを実行することで、評価する無線アクセスネットワークに応じたネットワーク設定を可能としており、ネットワーク環境に合わせた設定を個々に必要としない実装としている。今回の評価では、初期スクリプトにて無線ネットワーク情報 (SSID や暗号化手法) を取得することをやっている。

初期設定が終わったセンサードは、次に計測シナリオを結果集積サーバから取得し、順次テストケースを実行して評価を行う。テストケースは、識別 ID、テストコマンド、テストコマンドが正常終了した場合の返り値、タイムアウト値により定義されている。センサードは計測シナリオを定期的に行い、テストコマンドが正常終了した場合の返り値を得た場合には成功と判断し、コマンド実行時間がタイムアウトを超えるか異なる返り値を得た場合には失敗と判断する。テストケースは下位層の計測結果に基づき上位層の評価を検討する必要があるが、今回の実装では表 1 の順に評価する計測シナリオとし、テストケースが失敗となった時点で計測シナリオの評価を終了する実装としている。計測シナリオの評価が終了すると、計測結果を有線ネットワーク経由で結果集積サーバに通知し、計測結果を破棄する。この時、計測集積サーバに対して接続できない場合には計測結果を保持しておき、次の計測シナリオ評価終了時にまとめて送信する仕組みとした。また、計測シナリオの取得を定期的に行うことにより、ネットワーク環境の変化に応じて柔軟に設定を変更することを実



図 2 センサノードの外観

現している。

3.3 通信プロトコルと可視化

結果集積サーバには、センサノードの設定情報と計測シナリオの取得、シナリオ計測結果の蓄積及び取得をおこなうためのインターフェースとして REST API を実装している。センサノードはこの REST API を通じて計測結果を結果集積サーバに送信する。計測結果は将来的に可視化や統計処理で再利用しやすいように JSON 形式で表現されて送信され、結果集積サーバ上の DB に蓄積される。また、蓄積された計測結果は Web ブラウザにて可視化できるようにしているが、ブラウザによる可視化に必要なセンサノード一覧や計測結果データの取得もこの REST API を通じておこなわれる。具体的な可視化の方法としては、SSID 毎での障害発生箇所表示や、センサノード毎の配置情報を用いた障害発生箇所の空間的な表示が想定される。なお、可視化に関する効果に関しては、次章に示す評価実験においても様々な手法を試みたが、本稿では定量的な効果の評価までは踏み込んでいない。

3.4 Raspberry Pi の運用上の工夫

前述したアーキテクチャを取り入れた事により、センサノードにおける個別の設定が不要となり、利用する SD カードのイメージは同一のものを利用できるようになった。Raspberry Pi は安価に利用できる反面、電源を Micro USB 端子から供給している仕様上、動作が不安定になる場合がある。また、起動イメージにフラッシュメモリである SD カードを利用していることから、連続運用によりディスクの書き込み限界に達する恐れがある。そこで、堅牢性を確保するため、利用 OS である Raspbian^{*4} のカーネルに AUFS (Another Unionfs) を組み込み、SD カードを読み取り専用として利用した。これにより、突発的な電源断が発生しても OS のファイルシステムが壊れない堅牢性と、電源の抜き差しが可能であるため容易にセンサノードの再配置も行える柔軟性を実現している。

なお、無線ネットワークへの接続には、プラネックスコミュ

^{*4} <http://www.raspbian.org/>



図 3 会場におけるセンサノードの配置図

表 2 主な評価対象ネットワークと計測シナリオ例

SSID	ネットワーク運用モデル	計測シナリオ (階層 1 以外)
life-v6only	IPv6 のみ、IPv4 は内部用アドレス設定のみで外部へは DNS64/NAT64 を利用	2 (a, b, c, e), 3 (a, b), 4 (c, d, e), 5 (b, e, f), 6 (b, c)
life-sat	IPv4 のみ、衛星回線のため高遅延	2 (a, b), 3 (a), 4 (a), 5 (a, c, d), 6 (a)

ニケーションズ社製の USB 無線 LAN アダプタ : GW-450D を利用した。この無線 LAN アダプタは、802.11b/g/a/n/ac を利用可能で、2.4GHz および 5GHz 双方の周波数帯での評価を可能にしている。実装したセンサノードの外観を図 2 に示す。

4. 評価実験

4.1 実験概要

試作システムを用い、実際のイベントネットワークにて運用し評価を行った。実験は、2014 年 3 月 10 日から 13 日にかけて開催された WIDE プロジェクト研究会にて実施した。研究会で提供している無線アクセスネットワークは、IPv6 のみが提供されるものや衛星回線を用いた高遅延ネットワークなど、ネットワーク運用モデルが異なる複数の SSID が提供される環境であった。研究会の参加者は 100 名程度であり、会場内にセンサノードを合計 16 台配置し、広範囲における評価を行った。図 3 に、研究会会場における無線 AP とセンサノードの配置図を示す。

実証実験では、ユーザが利用するすべての SSID に対して評価する設定を準備し、各 SSID の無線周波数 (2.4GHz と 5GHz) 毎にテストケースを下位層から順に実行する計測シナリオを用意した。表 2 に、対象とした主な無線ネッ

トワークにおける運用モデルと計測シナリオ例を示す。たとえば、SSID: life-v6only の場合は、表 1 で定義したテストケースのうち”2-a 2-b 6-c”の順でテストケースを実行することを示している。SSID: life-v6only は IPv6 のみのネットワークサービスであるが、IPv4 アドレスが設定されないとインターフェースを有効にしない端末や、Windows XP のように DNS resolver が IPv4 トランスポートしか対応していない実装があるため、外部到達性のない IPv4 アドレス設定が提供されている。そのため、IPv4 に対する評価が一部必要となっている。提供された無線ネットワークは実験的なものも含め合計 7 つあり、その内の 5 つに対して定常的な評価を行った。

図 4 可視化画面イメージ (Map View)

4.2 考察

以前の取り組み [3] では、Raspberry Pi が熱のため再起動や応答がなくなるトラブルがあった。そこで今回の実証実験では、Watchdog Timer による対策を実施していたが Watchdog Timer による再起動もなく、4 日間に渡って Raspberry Pi の連続運転を確認した。センサノードの連続運転性能に関しては、より条件の悪い環境下での評価が今後必要と考えている。

可視化では基本的に、テストケースが成功した場合にはグリーン、失敗した場合にはレッドで表現することで、ネットワークの状態を視覚的に表現している。最終的には、一つの画面で全体を把握できることを目的としているが、今回の評価実験では、3 つの表現方法を採用して運用した。

一つ目は、最新の計測結果をマップ状に表示する Map View で、すべてがグリーンであれば正常と判断できる (図 4 参照)。選択可能なキーとして、センサノード毎、SSID 毎、全体俯瞰を用意している。二つ目は、各センサノード毎の計測結果をタイムライン状に表現する Timeline View で、計測地点における SSID 毎の評価を一覧で確認できる (図 5 参照)。三つ目は、計測シナリオの計測結果を定義した階層毎に整理し、時系列に表現する Stacked View で、過去のネットワーク状態を確認できるものである (図 6 参照)。これらの可視化手法は、まだまだ改良の余地があると考えており、利用者視点の定量的な評価も今後必要である。

計測シナリオの運用に関しては、概ねネットワークの状態を正しく評価することができていた。各テストケースは、Linux コマンドの組み合わせで実現しているのだが、設定するタイムアウト値の調整が難しいものであった。特に無線 LAN における association に関しては、状態が CONNECTED となるまでの時間のゆれが大きく、タイムアウトを 20 秒として調整した。これ以外でも、DHCPv4 の応答が悪くタイムアウトによって障害と判断されるケースなど、それぞれのテストケースの判定に関して精査が必要であると考えている。また、前述したように今回は実装が間に合わず、テストケースの関連性を実装できてい

図 5 可視化画面イメージ (Timeline View)

図 6 可視化画面イメージ (Stacked View)

かったため、IPv4 の障害時に IPv6 の到達性があつたか判別できないケースもあった。

最後に、今回の評価実験において問題となったのがセンサノード設置の際の配線に関してであった。適切な場所にセンサノードを配置するために、LAN ケーブルを引きまわす必要があり、多くの時間を割くことになった。キャンパスネットワークなど、長期間運用するネットワークに対する配線であれば相対的に少ない時間の作業となるが、イベントネットワークの評価においては時間コストが高いため考慮が必要な課題である。

5. おわりに

5.1 まとめ

本稿では、ネットワークの評価手法として、ユーザ側から定期的に検証を実施することでネットワーク障害点を検出する手法を提案した。ユーザ環境のセンサノードとして Raspberry Pi を利用し、低価格で評価するシステムを実現することができた。試作システムを用いた評価実験により、継続的な計測の有用性を示すことができ、また、新たな取り組みの必要性を確認することができた。

今後、提案手法を様々な環境で運用し、ユーザ視点での評価を行うこととしている。また、次節でまとめる課題解決に向け取り組む予定である。

5.2 今後の課題

以下に、提案手法における今後の課題を整理しておく。

(1) 完全 zero configuration に向けた取り組み

現状のシステムでは、結果集積サーバの IP アドレスのみ事前に設定する必要があり、完全 zero configuration とはなっていない。今後、以下の手法を検討している。

(a) IPv6 の利用

センサノードと結果集積サーバが同じ L2 セグメントに存在する必要があるが、IPv6 のリンクローカルアドレスや ULA を利用する事で、ほとんどの環境において同一の設定が利用できると考える。ただし、どちらのアドレスもアドレス衝突の可能性は 0 ではないため課題が残る対策となる。

(b) ローカル名前解決の利用

Zeroconf プロトコルの一つである mDNS/DNS-SD を利用し、計測集積サーバの情報を収集する方法も有効である。こちらは、実装 (Avahi) が存在しているため容易に実現が可能と考えており、検証/評価を計画している。

(c) 920MHz 通信の利用

2013 年から利用可能となったサブギガ帯無線である 920MHz 帯の利用も検討している。結果集積サーバとの通信を無線で行う事で、評価対象ネットワークからの独立性とセンサノード設置時の課題であった有線ケーブル敷設作業の負荷軽減も同時に実現できる。ただし、現時点では利用可能なモジュールが廉価に入手できないという課題がある。

(2) 計測シナリオの階層構造化

今回の実装では、下位層のテストケースと上位層のテストケースの結びつきを考慮せず、テストケースで障害を検知した段階で計測シナリオを終了していた。より詳細な障害の状態を検出するためには、テストケー

スの主従関係を定義して実装する必要がある。

(3) ネットワーク状態の評価手法の確立

最下層の無線区間の評価は、association の成功可否の判断しかできておらず、品質などの状態を評価する必要がある。今後、無線ネットワークの評価手法として、センサノードによる静的な情報収集と動的な情報収集を想定している。

静的な情報収集においては、基地局から発信される無線サービスのビーコンを取得し、受信信号強度やサービス属性などの情報を収集する。また、無線ネットワークにおける通信状態は、周辺の電波環境に大きく左右されるため、無線 LAN の電波状態を評価するためには外来波の評価が重要となり、スペクトラムアナライザーを利用した周波数成分分析を評価手法に取り入れる必要がある。

動的な情報収集においては、各センサノードが実際に無線ネットワークに接続し、計測のための試験的な通信を行うことで接続環境の品質および健全性の確認や、無線デバイス上で発生する再送回数などの統計情報を収集し、状態評価に利用する。さらに、各テストケースにて障害を検出した場合には、テストケースにおけるログ情報を収集して蓄積し、より詳細な障害状態を判断する必要がある。

参考文献

- [1] R. Hiromi, H. Hazeyama, A. Onoe, and O. Nakamura. *A workaround for termination of IPv4 network services*, March 2013. draft-hiromi-sunset4-termination-ipv4-01.txt.
- [2] H. Hazeyama, T. Ishihara, and O. Nakamura. *DNS A Record Filtering for the migration from dual stack networks to IPv6 only networks*, July 2013. draft-hazeyama-sunset4-dns-a-filter-00.txt.
- [3] 田中晋太郎, 田川真樹, 高嶋健人, 近藤賢郎, 北口善明. Raspberry pi を利用した無線ネットワーク状態評価システム. インターネットカンファレンス 2013(IC2013), October 2013.