

# 周波数有効利用のための IoT ワイヤレス高効率広域ネットワークスキャン技術の研究開発

## Research and Development on Wide Area Network Scan Techniques for IoT Wireless Equipment

### 研究代表者

鈴木 義規  
Yoshinori SUZUKI  
株式会社国際電気通信基礎技術研究所  
Advanced Telecommunications Research Institute International

### 研究分担者

坂野 寿和<sup>†</sup> 矢野 一人<sup>†</sup> 橋本 真幸<sup>†</sup> 清水 聡<sup>†</sup> 鈴木 健太<sup>†</sup> 藤 睿<sup>†</sup> ババツンデ セグン オジェツンデ<sup>†</sup>  
新居 英志<sup>†</sup> 栗原 拓哉<sup>†</sup> 阿野 進<sup>†</sup> 佐久間 和司<sup>†</sup> 芹澤 和伸<sup>†</sup> 岡田 実<sup>†</sup> 大槻 弘幸<sup>†</sup>  
加藤 寧<sup>††</sup> 川本 雄一<sup>††</sup> 唐 楓梟<sup>††</sup> 毛 伯敏<sup>††</sup> シカール<sup>††</sup> 高橋 昌希<sup>††</sup> 橋田 紘明<sup>††</sup>  
福井 将樹<sup>†††</sup> 和氣 弘明<sup>†††</sup> 小田部 悟士<sup>†††</sup> 石岡 裕<sup>†††</sup> 松下一仁<sup>†††</sup> 大崎 光洋<sup>†††</sup>  
瀬木 貴裕<sup>†††</sup> 安部 哲哉<sup>†††</sup> 種茂 文之<sup>†††</sup> 小村 誠一<sup>†††</sup>

Toshikazu SAKANO<sup>†</sup> Kazuto YANO<sup>†</sup> Masayuki HASHIMOTO<sup>†</sup> Satoru SHIMIZU<sup>†</sup>  
Kenta SUZUKI<sup>†</sup> Rui TENG<sup>†</sup> Babatunde Segun OJETUNDE<sup>†</sup> Eiji NII<sup>†</sup> Takuya KURIHARA<sup>†</sup>  
Susumu ANO<sup>†</sup> Kazushi SAKUMA<sup>†</sup> Kazunobu SERIZAWA<sup>†</sup> Minoru OKADA<sup>†</sup> Hiroyuki OHTSUKI<sup>†</sup>  
Nei Kato<sup>††</sup> Yuichi Kawamoto<sup>††</sup> Fengxiao Tang<sup>††</sup> Bomin Mao<sup>††</sup> Shikhar<sup>††</sup>  
Masaki Takahashi<sup>††</sup> Hiroaki Hashida<sup>††</sup>  
Masaki FUKUI<sup>†††</sup> Hiroaki WAKI<sup>†††</sup> Satoshi KOTABE<sup>†††</sup> Yutaka ISHIOKA<sup>†††</sup>  
Kazuhito MATSUSHITA<sup>†††</sup> Mitsuhiro OHSAKI<sup>†††</sup> Takahiro SEGI<sup>†††</sup> Tetsuya ABE<sup>†††</sup>  
Fumiyouki TANEMO<sup>†††</sup> Seiichi KOMURA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>株式会社国際電気通信基礎技術研究所      <sup>††</sup>国立大学法人東北大学  
<sup>†††</sup>エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社

<sup>†</sup>Advanced Telecommunications Research Institute International      <sup>††</sup>Tohoku University  
<sup>†††</sup>NTT Advanced Technology Corporation

研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度

## 概要

本研究開発では、大量の IoT ワイヤレス機器に対して、既存の通信への影響を与えることなく適切かつ効率的にネットワークスキャンを実現するため、スキャン対象となる無線端末が属するネットワークの種別を特定して当該無線端末の通信環境が良好な状況を狙ってスキャンを実施する技術、ならびにスキャン実施により得られる情報量を低減させることなくスキャン通信量を削減する技術の研究開発を行った。実機およびシミュレーションによる評価を通して、開発技術によりスキャン通信による無線リソース使用量を半分にして既存の通信の通信品質劣化を 10% 以下に抑えられることを確認した。さらに、ポート検出率を 95% に維持しつつスキャン通信量を 1/38 以下にできることを確認した。

## Abstract

This project has developed two technologies to realize confident and efficient network scanning for a large amount of IoT devices connected to wireless networks. One is a technology to control scanning timing to avoid network congestion due to scan traffic based on the type of connecting network. The other is a technology to reduce the amount of scan traffic while keeping the confidence of scanning. Through computer simulation and experimental evaluation, it has been confirmed that the proposed technologies can mitigate the amount of usage of wireless resource due to scan traffic by a half times and the degradation of communication quality of existing traffic with 10% or less. Moreover, it has been confirmed that the proposed technologies can reduce the amount of scan traffic by 1/38 or less while keeping the detection rate of open scan port with 95%.

## 1. まえがき

IoT (Internet of things) 機器の数は著しい増加傾向にあり、2017 年に世界で流通している IoT 機器の数は約 275 億台に及び、2020 年までに約 403 億台まで増加するとされている。これらの IoT 機器はサーバ機能を搭載しているものが多く、既に流通している IoT 機器の中には、初期設定でログイン認証が設定されていない状態や、利用しない不要な機能が有効になっている状態のままイ

ンターネットに接続されて運用されるなど、セキュリティ面で脆弱なものも多々存在する。近年、このような IoT 機器を狙ったサイバー攻撃が急増し、これに伴い大量の不正なトラフィックが発生したと言われている。このような大量の不正通信の発生を防ぐにはインターネット上の広範囲にわたってネットワークスキャンを行ってサイバー攻撃の対象となりうる脆弱な IoT 機器を発見し、それらに対する対策を早急に講ずることが重要となる。

しかしながら、ネットワークスキャンの対象を日本国内に割り当てられている IPv4 アドレスに限定したとしても、その総数は約 2 億個に上るため、全 IP アドレスに対して単純なフルポートスキャンを行うと大量のスキャントラフィックが発生し、ユーザによる本来の通信（以降、これを「背景通信」と呼ぶ）に対して悪影響を及ぼすだけでなく、ネットワークスキャン自体の信頼性をも損なう恐れがある。特に、端末当たりの伝送速度が伝搬状況等に応じて時々刻々変化する無線通信、その中でも干渉の影響を受けやすい自営系無線ネットワークや、IoT 機器向けの無線通信システムであり伝送速度が数 100 kb/s から数 Mb/s 程度と低い LPWA (low power wide area) 等においてはこの問題が顕著となる。

以上に述べた問題の解消に向けては、ネットワークスキャンの対象とするポートの絞り込みやスキャン頻度を必要最小限にしてスキャントラフィックの低減を図るのみならず、個々のスキャン対象端末が置かれた状況や端末の属性（接続しているネットワークの種類など）を把握し、背景通信が比較的行われていないタイミングに適量のネットワークスキャンを行う必要がある。

そのため、本研究開発では図 1 に示す様に、スキャン結果の学習により、スキャン対象となる無線端末が存在するネットワークを特定して当該無線端末の通信環境が良好な状況を狙ってスキャンを実施する技術、ならびにネットワークスキャン実施により得られる情報量を低減させることなくスキャン通信量を削減する技術の研究開発を行った。

以下、本研究開発により得られた成果、ならびに今後の研究成果の展開について述べる。

## 2. 研究内容及び成果

本研究開発では、様々な無線種別（セルラ、無線 LAN、LPWA）に対する広域ネットワークスキャンを効率的に実施する技術の確立を目指す。これにより、スキャンの空振り（無駄なパケット送信）、およびフレーム衝突や受信電力の変動・低下等による再送の発生を低減し、背景通信への悪影響を低減する。これらの実現に向けて、下記の技術開発を行った。

- ・スキャン対象となる無線端末が属するネットワーク種別を特定して、当該無線端末の通信環境が良好な状況を狙ってスキャンを実施する「無線ネットワークに対するスキャン効率化技術」
- ・スキャン実施により得られる情報量を低減させること

なくスキャン通信量を削減する「スキャントラフィック削減技術」

これらの開発技術の有効性を確認するため、統合実験環境を構築し、インターネット上での評価ならびにテストベットの環境における評価を実施した。また、開発技術の成果展開を広く行うため、国内外での標準化活動を実施した。

以下、各技術開発の概要とその評価結果、ならびに本研究開発の期間中に実施した標準化活動について述べる。

### 2. 1. 無線ネットワークに対するスキャン効率化技術

スキャン対象となる無線端末が存在するネットワークを特定して当該無線端末の通信環境が良好な状況を狙ってスキャンを実施するには、スキャン対象となる無線端末の種別ならびに通信状況を把握する必要がある。ただし、スキャナと当該端末はインターネットを介して接続しており、それらを直接把握することはできない。そこで、スキャナで把握可能な情報から推定する方法が必要となる。本項では以下の開発技術について、その概要を述べる。

- ・スキャン応答の有無や遅延の出方から有線・無線の判別とスキャン失敗要因を推定する「ネットワーク種別推定技術」および「スキャン失敗原因推定技術」
- ・スキャン応答遅延の変動履歴からスキャン予定時間帯での混雑状況を予測し、個々のスキャン実施時刻を適切に制御する「スケジューリング技術」および制御演算量を削減する「クラスタリング技術」

#### 2. 1. 1. ネットワーク種別推定技術

本項では、スキャナで得られたスキャン応答遅延から当該端末が接続されているネットワーク種別を推定する技術について述べる。

無線ネットワークは使用する RAT (radio access technology) によって物理層での伝送速度やアクセスプロトコルが異なるため、平均的な伝送遅延は RAT の種類に依存する。図 2 に示す様に、有線接続、IEEE 802.11a 無線 LAN、および Wi-SUN について、背景通信や干渉トラフィックが存在しない状況を想定した屋内伝送実験における ICMP (internet control message protocol) パケットの応答遅延は、ネットワークや RAT の種類に応じて異なる範囲に分布する。

そこで、ネットワークスキャン実施時の応答遅延を特徴量として、これを用いて各端末の接続ネットワーク種別 (RAT) を推定することを考える。すなわち、ネットワー

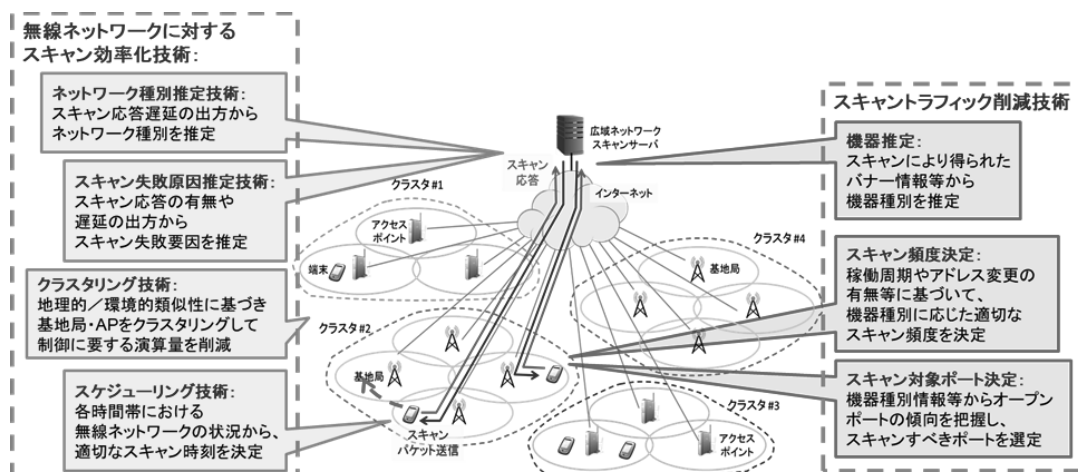


図 1 研究開発の全体概要

クや RAT の種類に応じて伝送遅延が異なる範囲に分布することから、その分布に基づいて取得したスキャン応答遅延を分類する。

ただし、同一 RAT であっても、スキャナとスキャン対象端末間に存在するネットワーク経路の段数によって伝送遅延が分布する範囲は変動する。これは、ネットワーク経路の各機器がスキャン packets を中継する際、その処理に掛かる時間がスキャン応答遅延に累積されるためである。

本技術では、屋内伝送実験より事前に調査したネットワーク種別毎の応答遅延の特徴量(平均値、最小値、最大値)と、ネットワーク経路で発生する遅延を差し引いたスキャン応答遅延を比較し、最も近い特徴量を持つネットワーク種別を推定結果とする方式を考案した。

本技術によるネットワーク種別の推定精度を図 3 に示す。スキャン対象とする 4 種類の無線種別(無線 LAN、LTE、Wi-SUN および LoRa)について、スキャントラフィック以外の背景通信がある場合とない場合の双方についてテストベッドを用いて性能評価を行い、誤推定の確率を 10%以下にできることを確認した。

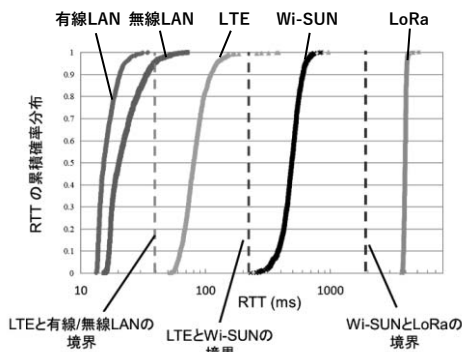


図 2 無線種別毎の応答遅延の分布

推定対象 NW	背景通信	推定結果			
		無線 LAN	LTE	Wi-SUN	LoRa
無線 LAN	無し	98%	2%	0%	0%
	有り	97%	3%	0%	0%
LTE	無し	0%	100%	0%	0%
	有り	0%	100%	0%	0%
Wi-SUN	無し	0%	0%	100%	0%
	有り	0%	0%	91%	9%
LoRa	無し	0%	0%	0%	100%
	有り	0%	0%	0%	100%

図 3 開発技術によるネットワーク種別推定精度

## 2. 1. 2. スキャン失敗原因推定技術

本項では、ネットワークスキャンの通信結果から、スキャンの失敗要因及び遅延が発生した要因を判別する技術について述べる。

想定する 4 種類の無応答・遅延要因を図 4 に示す。無線接続される端末へのネットワークスキャンに際して、無応答となる要因はネットワーク状況に依存しないものと、ネットワーク状況に起因するものの 2 種類に大別される。前者は端末のネットワーク層以上の状態に依るものであり、図 4 の上半分に示すようにスキャン対象ポートが閉塞されていて応答を返さない「ポート閉塞」と、端末がネットワークに接続していない、あるいは端末の電源が入っていない状態である「ネットワーク未接続」の 2 種類にさらに分類できる。一方、後者は MAC 層以下の状態に依

るものであり、図 4 の下半分に示すように端末が建物の影に隠れたり高速移動したりする等によって伝搬状況が悪化して、基地局と当該端末との間の無線リンク上の通信品質が悪くなる「通信品質不足」、あるいはネットワークが過剰なトラフィックあるいは干渉の存在により輻輳が発生し、送信機会不足や再送発生により複数の端末で同時に通信品質が悪くなる「ネットワーク混雑」の 2 種類にさらに分類できる。

スキャン対象端末が接続する無線ネットワークの種別に応じた要因判別を行うため、次の 2 つの方向性で検討を行った。まず、2. 1. 2. 1 項では、1 つの基地局に多数の端末が接続するセルラ/LPWA を対象として、機械学習を用いてスキャン失敗・遅延の原因を判別する技術の検討について述べる。次に、2. 1. 2. 2 項では、無線 LAN に接続される端末から発生するトラフィックの特徴やモビリティ等を考慮しつつ、CSMA/CA によるアクセス制御方式において発生する遅延原因を解析し、ネットワークスキャンの失敗や遅延要因の推定方式について述べる。

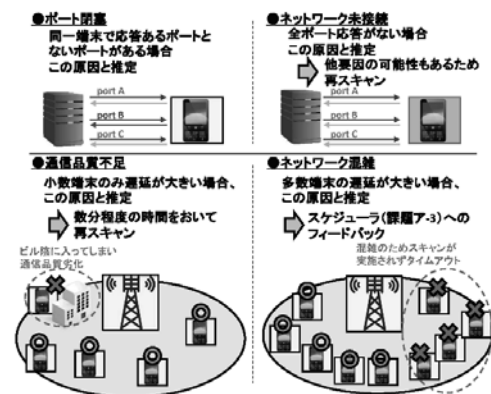


図 4 想定する 4 種類の無応答・遅延要因

## 2. 1. 2. 1. 機械学習を用いたスキャン失敗原因推定技術

本技術では、スキャン失敗要因推定アルゴリズムを用いて、先述した 4 つの要因のどれに分類されるかを判断する。スキャンの成否から「ポート閉塞」または「ネットワーク未接続」のどちらかを判断し、スキャン応答の遅延量の出方から「ネットワーク混雑」または「通信品質不足」のどちらかを判断する。当該アルゴリズムの詳細については、文献[口頭発表・1]を参照されたい。

スキャン応答の遅延量の出方から要因を判定する際、複数の状況と類似した遅延量が得られる可能性があり、その要因を正しく判定することが課題となる。そこで、適切な応答遅延の特徴量(最小、最大、ジッタ等)を自動的に組み合わせることで、誤判定を低減する方式を考案した。さらに、応答遅延の統計量を用いて、その分布を拡張し、同定しやすくする処理を導入した。これにより、同一の状況で得られた遅延量を既知の状況に集約し、「同一状況であってもスキャン応答の分布が若干異なることに起因する誤判定」を抑制できる。

図 5 に機械学習を用いたスキャン失敗原因推定のフローを示す。準備段階として、判定対象とする要因に応じたスキャン応答遅延の学習データを予め用意する。この学習の際、前述のスキャン応答遅延の分布拡張を行う。その後、スキャン対象端末毎にスキャン応答遅延を得て、要因判別に用いる特徴量を抽出し、判別条件と照らし合わせることで判定を行う。本技術によるスキャン結果・要因の判別精

度を図 6 に示す。LTE を想定したシミュレーションを行い、スキャン失敗要因の誤推定率を 8% 以下に抑えられることを確認した。

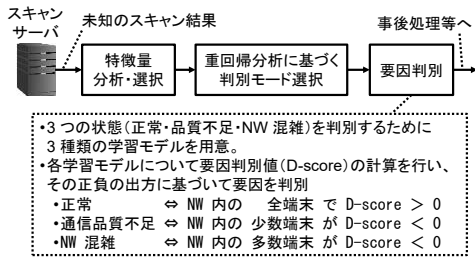


図 5 機械学習を用いたスキャン失敗原因推定のフロー

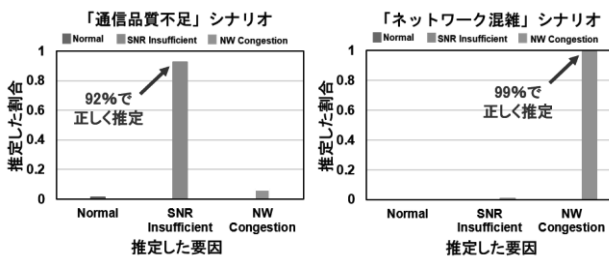


図 6 スキャン結果・要因の判別結果

## 2. 1. 2. 2. CSMA/CA によるアクセス制御方式に基づくスキャン失敗原因推定技術

本項では、無線 LAN 環境におけるスキャンの成否並びに失敗要因及び遅延が発生した要因を判別する技術について述べる。想定する無線 LAN 環境においてスキャンが失敗もしくは遅延する要因として、「ネットワーク混雑」「ネットワーク接続なし」「隠れ端末問題」「通信品質不足」「一部ポート閉塞」「不安定な端末」を想定し、これらの遅延・失敗要因を判別するための手法を構築した。本提案技術では図 7 に示す遅延・失敗要因判別のフローチャートに沿って条件判定を行う。端末毎、ポート毎のスキャンパケットの時系列遅延データを利用し、各遅延要因に特有の特徴によって分類することでスキャン遅延の要因を推定する。なお要因を判別する際には、過去数回のスキャンにおけるスキャンパケットの応答遅延時間を使用する。具体的なフローチャートの説明等については文献[査読付き誌上発表論文-3]を参照されたい。

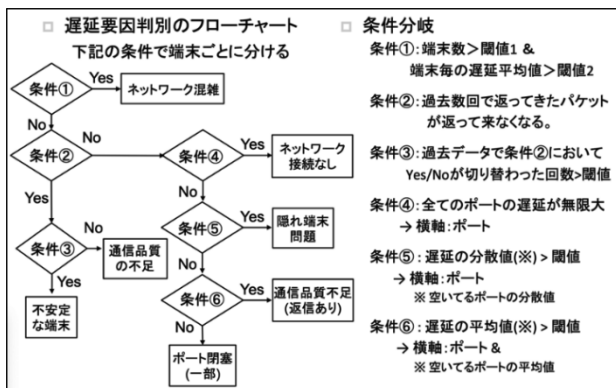


図 7 無線 LAN 環境における遅延・失敗要因判別フローチャート

また、本提案技術の性能検証として実端末を用いた検証実験を実施した。本実験ではスキャン対象端末としてスマートフォンやノート PC、Raspberry Pi を複数用意し、想

定シナリオに合致する通信環境をシールドルーム内に構築する形で実施した。本実験の結果を図 8 に示す。なお、「Normal」は無線環境に問題無く、正常にスキャンが実行された場合、「Network Congestion」はネットワーク混雑、「No Network Connection」はネットワーク接続なし、「Bad SINR」は通信品質不足、「Unstable」は不安定な端末、「Hidden Terminal」は隠れ端末と判定した割合を示している。この結果から、検証した全ての無線環境の分類の場合において、要因判別精度 90%以上を達成していることを確認した。

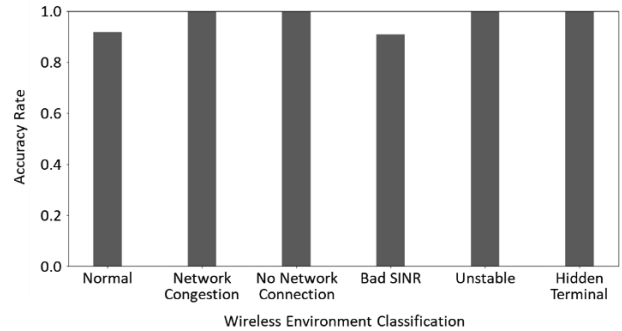


図 8 無線 LAN 環境における遅延・失敗要因判別結果

## 2. 1. 3. スケジューリング技術

本研究で対象とする定期的に多数のポートに対するネットワークスキャンでは、多数のスキャンパケットがおおよそ周期的にネットワーク機器に送られるため、その通信帯域が細い場合には、そのネットワーク機器の本来の通信への妨害や、スキャンの失敗が起こりえる。そこで、スキャン応答遅延の長短をネットワークの混雑状況であると見なし、それを時間帯ごとに学習し、その学習結果に基づき適切にスキャンパケットを振り分けるスケジューリング技術を開発した。

図 9 は提案するスケジューリングの概要である。提案方法では、半日に 1 度行うようなスキャンにおいて、その半日という区間をさらに数時間単位で分割し、この分割区間ごとにスキャン応答遅延を学習する。そしてその学習結果に基づき、スキャン応答遅延が短いであろう時間帯にスキャンパケットを振り分ける。また、分割区間においては、割り当てられたスキャンパケットをランダムに並び替え、また、この分割区間内にスキャンが終えられる範囲で遅いスキャンレートでスキャンを行う。これにより、混雑していないタイミングへのスキャンの集中と、スキャンパケットの密度の低下を図ることで、無線通信量の増加を抑えられる。

図 10 はスキャン応答遅延を学習するスケジューリングの概要である。この方法では、各 IP アドレスの過去のスキャン応答遅延のサンプルを時間帯ごとに集計し、ベイズ推定に基づいて、スキャン応答遅延の期待値の分布を得る。スケジューリングではその期待値の分布を用いて、時間帯ごとに“その時間帯が最も短い応答遅延を達成する”確率を算出し、それに基づき時間帯を選択しスケジューリングを行う。この方法では、サンプルが少ないと、等確率で時間帯を選択するが、サンプルが多くなると徐々に応答遅延の短い時間帯が選択されやすくなる。つまり、スキャン応答遅延の短い時間帯の探索と集中を両立するように動作する。

計算機シミュレーションにより実施した評価の一例を図 11 に示す。背景通信の再送率の結果から、既存手法の

平均値は 0.922 であるのに対し提案手法では 0.496 となり、提案手法により無駄な無線リソースの使用率を約 1/2 に低減できた。また、スケジューリングにおいては、今後、スキャン対象が増加すると、そのスケジューリングの計算時間が問題になると考え、計算時間の削減法の検討も行った。結果、クラスタリングにより適切にスキャン対象をクラスタ化することでスケジューリング対象を削減する方法を開発した。本技術の成果については文献[口頭発表-2]、[査読付き誌上発表論文-2]を参照されたい。

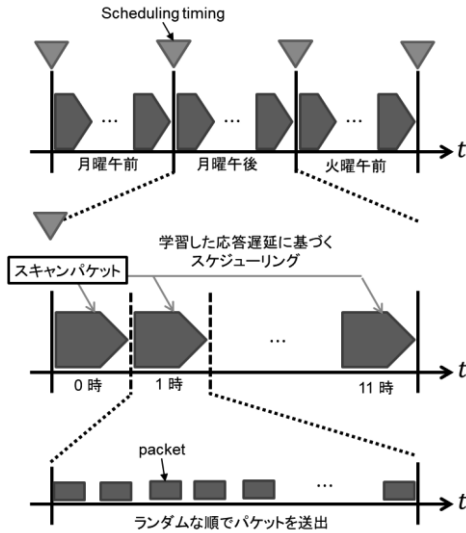


図 9 スケジューリングの概要

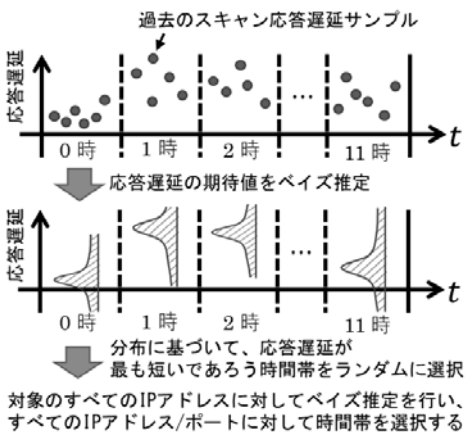


図 10 応答遅延の学習によるスケジューリングの概要

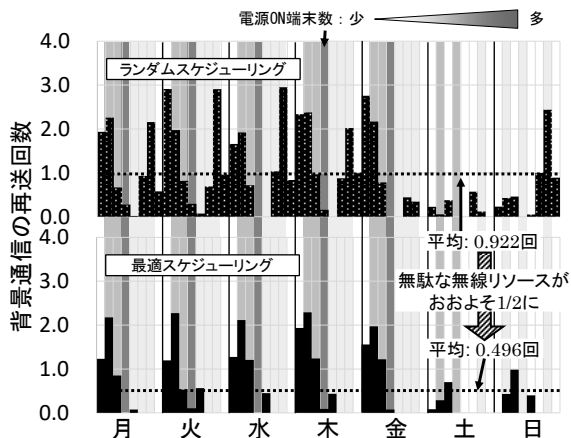


図 11 Wi-SUN の繁華街想定シミュレーション結果 (Wi-SUN 端末数が時間帯で変化するシナリオ)

## 2. 2. スキャントラフィック削減技術

スキャンに係る通信量を軽減する広域ネットワークスキャン技術として、オープンポートやバナーの情報などスキャンの応答結果から機器を推定する機器特性情報解析技術、同一機器における応答状況の変化有無からスキャン頻度の最適化を行う広域ネットワークスキャン頻度最適化技術、そして機器特性情報解析技術を用いた機器の推定結果に応じてスキャン対象ポートを変化させる広域ネットワークスキャン対象ポート選定技術の開発を実施した。

### 2. 2. 1. 機器推定技術

機器推定を行うための基礎情報として、まず、日本国内における広域ネットワークスキャン結果や IoT 検索エンジンである Shodan/Censys から得た情報、セキュリティ業者から入手した IoT 機器に関する情報、および IoT 機器メーカーへのヒアリング結果から得られた情報などを用いて、IoT 機器に関する機種、メーカ、カテゴリ、キーワード、利用ポート等を含む 2,200 件の機器推定用データベースを作成した。

機器推定は、スキャンで得たバナーやポートの情報を機器推定用データベースに格納された情報と照合し、バナーとポートの類似度を算出することにより行う。図 12 に各類似度の算出式を示す。バナー類似度は、スキャンにより取得したバナーと機器推定用データベースに格納されている各機器のキーワードの照合を行い、照合したキーワードの重み係数の総和により算出する。一方、ポート類似度は、スキャンにより取得した応答ポート集合と機器推定用データベースに格納されている各機器の利用ポート集合を集合同士の類似度を表す Jaccard 係数により算出する。最終的にバナー類似度とポート類似度の加重平均により算出した機器類似度を求め、この値が予め設定した閾値を超えた場合は機器が推定できたと判定し、その際に照合を行った機器を推定機器とする方式である。なお、機器推定可能な割合を機器推定率として、[メーカまたは型番が推定できた IP アドレス数を何らかのバナー情報が得られた IP アドレス数で除したもの]と定義し、5% 以上を目標とした。

<p>• <b>バナー類似度 <math>S_b</math></b> バナーにマッチしたキーワードの重み係数の和</p> $S_b = \sum_{i=1}^n k_i w_i \quad \text{ただし、} \sum_{i=1}^n w_i \leq 1$ <p><math>n</math>: 当該機器のキーワードの個数  <math>k_i = \begin{cases} 1 &amp; (i \text{ 番目のキーワードにマッチした}) \\ 0 &amp; (i \text{ 番目のキーワードにマッチしない}) \end{cases}</math>  <math>w_i</math>: <math>i</math> 番目のキーワードの重み係数</p>
<p>• <b>ポート類似度 <math>S_p</math></b> 機器の応答ポート集合と機器が使用するポート集合の類似度 (Jaccard 係数)</p> $S_p = \frac{ P_s \cap P_d }{ P_s \cup P_d }$ <p><math>P_s</math>: スキャンにより応答が得られたポートの集合  <math>P_d</math>: 当該機器が使用するポートの集合</p>
<p>• <b>機器類似度 <math>S</math></b> バナー類似度とポート類似度の加重平均</p> $S = \alpha S_b + (1 - \alpha) S_p$ <p><math>\alpha</math>: バナー類似度の重み係数</p>

図 12 類似度算出の式

図 13 に類似度算出による機器推定の実施例を示す。この例では、IP アドレス A のスキャンにより得られたバナーと応答ポートを機器推定用データベースの各機器の値と照合し各機器の機器類似度を算出、その結果、唯一閾値 0.8 を超えた No.1 の機器を推定結果としている。

機器推定の評価として、2020 年度に国内 40 万件の IP アドレスに対する広域ネットワークスキャンと機器推定を実施した。その結果、何らかのバナーを得られた IP アドレス数は 5,562 件、この内メーカ名または型番まで推定ができた IP アドレス数は 307 件であり、機器推定率は約 5.5% となった。作成した機器推定用データベースを用いた実ネットワークへのスキャンによる機器推定は、目標

である機器推定率 5% 以上を達成した。

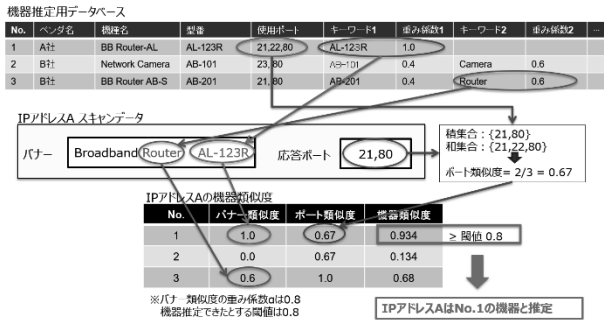


図 13 類似度算出による機器推定の実施例

## 2. 2. 2. スキャン頻度決定

本章では広域ネットワークスキャンを実施する際、出来るだけ応答の変化に追従できるような標準的なスキャン頻度の策定と、通信量の削減を目的とした最適なスキャン頻度の策定、それらを基に実際に広域ネットワークスキャンを実施した結果を示す。変化に追従したスキャンを行うための標準的なスキャン頻度の策定では、国内 1,200 万件の IP アドレスに対し TCP のフルポートでスキャンを行い応答のあった約 27 万件の IP アドレスに対し 1 日 2 回、3 週間の定点観測スキャンを行った。その結果、応答の約 70% は連続的に同じ応答を返し、約 19% は頻繁に応答の変化があった。これら約 19% の IP アドレスはモバイル機器等に使用されていると想定され、数時間程度で IP アドレスの付け替えが起こっている可能性があり、それらに追従したスキャンが望ましいが、過度なスキャンは攻撃ともみなされるため 1 日 2 回 (12 時間毎) を最小単位とし、これを標準的なスキャン頻度として策定した。

定点観測において、同じ応答を返した約 70% はサーバやネットワーク機器のような IP アドレスを固定的に使用しているケースであると考えられる。このように同じ応答を返すケースでは 12 時間毎に頻繁にスキャンをしなくても基本的には応答に変化はないと考えられる。そのため同じ応答を返す IP アドレスについては、1 日、2 日、3 日、5 日、7 日、14 日と徐々にスキャン頻度を延伸させる方式とした (図 14)。応答に変化があった場合は機器が変わったと想定して、初期値の 12 時間のスキャン頻度に戻る。

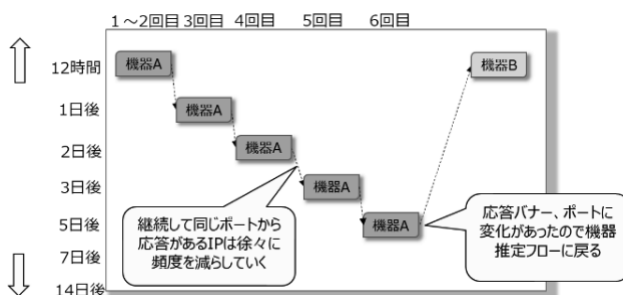


図 14 応答状況によるスキャン頻度延伸

ランダムに抽出した国内の 1,000 万件の IP アドレスに対して広域ネットワークスキャンにより応答特性を調査した結果、何らかの応答がある IP アドレスは全体の約 2%~3% 程度であり、応答を返さない IP アドレスは全体の約 97% 超であった。これら応答を返さない大多数の IP アドレスについて、機器が接続された、もしくは電源が入ったことを検知するために、定期的に監視するスキャンも必要である。先述の 3 週間の定点観測スキャンにおいて、

散発的な応答を返した IP アドレスの頻度を計測すると、平均 3.5 日であったため、応答がない IP アドレスには 3.5 日に 1 回スキャンを実施することにした。この応答がない IP アドレスへのスキャンを無応答スキャンとした。

標準的なスキャン方式と頻度を最適に設定した効率的なスキャン方式について、実ネットワークにて 10 万件の IP アドレスに対し 4 週間のスキャンを実施し、スキャン試行回数による通信量の削減効果を評価した。標準的なスキャン方式は、12 時間に 1 回スキャンを実施するため、4 週間では 5,600,000 回のスキャンを実行することになる。対して、効率的なスキャンでは、応答があったものは応答状況に応じて徐々にスキャン頻度を延伸させるため、総スキャン回数は、650,000 回となり、応答がない IP アドレスへの無応答スキャンは 550,000 回であった。標準的なスキャンに比べ、これら効率的なスキャンと無応答スキャンのスキャン試行回数は、約 1/5 に削減できることを確認した。なお、最長延伸日数については、NVD による脆弱性公開から攻撃手法 (Exploit-ID) 公開までの日数を調査した結果、全体の約 3 割は 14 日以内に公開されており、14 日の頻度でスキャンすれば、その他の約 7 割の脆弱性については公開前にスキャンが可能となる。そのため、セキュリティ面を考慮してスキャンの最長延伸日数を 14 日とした。

## 2. 2. 3. スキャン対象ポート決定

スキャン対象ポートの最適化手法を検討するにあたり、まず比較対象として応答状況を把握するための標準的なポートを策定した。まずは国内の約 1,200 万件の IP アドレスに対する TCP フルポートスキャンにて、IoT 機器を含む全ての機器を対象に実際に使用されているポートの応答状況を調査した。

標準的なスキャンポートは、実際の応答状況をベースに出来るだけ網羅的にスキャンできるようにフルポートスキャンの応答ポート集合から、応答ポートが 100 以上あるハニーポット等と想定されるものや、極少数の IP アドレスからしか応答がないポートを特異点として除外し、約 11,700 ポートを定めた。

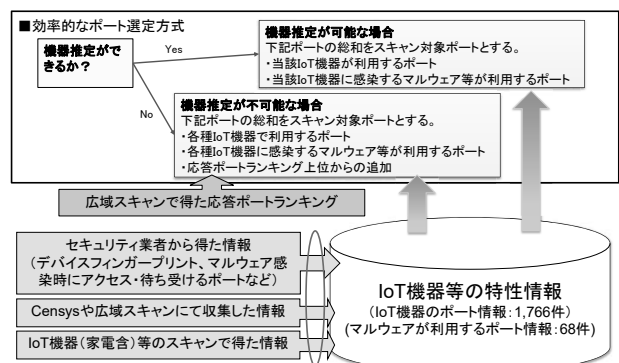


図 15 効率的なスキャン対象ポート選定方式

図 15 に示す効率的なスキャン対象ポート選定方式は、パナ情報などを基に機器推定を行うことで対象機器を推定し、機器推定可能な場合はその機器が利用するポート、機器推定不可の場合は、予めセキュリティ業者等から収集した各種 IoT 機器やマルウェアが利用するポート等 (総数 988) に加え、以下の図 16 で示す標準的なスキャンに対するポート検出率が 95% 以上となるように、フルポートスキャン結果のランキング上位ポートを加え、約 5,400 ポートとした (図 17)。さらに将来機器が接続されること

を想定した無応答の IP アドレスに対する無応答スキャンは、以下の図 16 で示す標準的なスキャンに対する機器検出率が 95% となる約 500 ポートでスキャンを実施することにした。

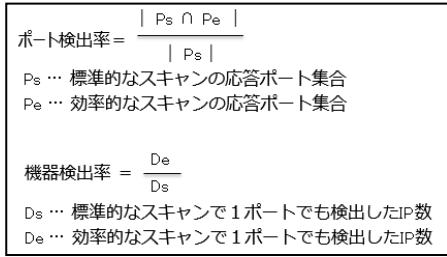


図 16 ポート検出率と機器検出率の定義

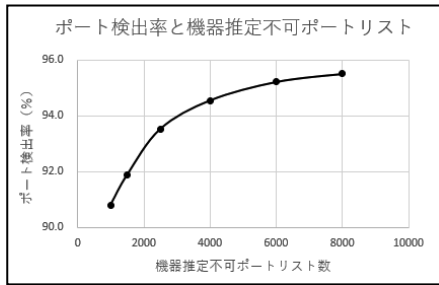


図 17 ポート検出率と機器推定不可ポートリスト数の関係

また、標準スキャンの総スキャンポート数 (11,700 × 1,200 万 IP) に対して、効率的なスキャンの総スキャンポート数は、応答のあった約 3% の IP アドレスでは約 187,922 万ポート、無応答の IP アドレスでは約 582,000 万ポートで合計 769,922 万ポートであり、通信量は約 1/18 となり、目標の 1/2 を大きく超えることを確認した。

## 2. 3. 統合評価

本プロジェクトの集大成として、無線ネットワークに対するスキャン効率化技術ならびにスキャントラフィック削減技術の各種技術を統合した統合評価を実施した。統合評価における最終目標は以下である。

- 可能な限りスキャン対象範囲を広げた大規模ネットワークにおいて実証実験を行い、既存技術と比較して広域ネットワークスキャンに係る通信量を 1/4 以下にすることを目標とする。
- 本研究で検討した要素技術を統合し、テストベッドや実ネットワークを用いた実証実験を行い、広域ネットワークスキャンに係る通信量の削減効果について総合評価を行う。
- 考案した技術の有効性と既存の通信に対して悪影響を与えないことを確認する。

上記の目標達成を確認するため、統合実験環境を構築し、実ネットワークに対する評価ならびにテストベッド環境における評価を実施した。

### 2. 3. 1. 実ネットワーク評価

2. 1 項で述べた「ネットワーク種別推定技術」、「スケジューリング技術」と 2. 2 項で述べた効率的なスキャン方式を統合した環境を用いて、実ネットワークにおける評価を実施した。実ネットワークにおけるスキャンでは同一の IP アドレス群に対して、2 系統で同時にスキャンを実施し、標準的なスキャン方式で取得した値と効率的なスキャン方式で取得した値を比較評価した。

このように 2 回の統合評価において、通信量の削減率

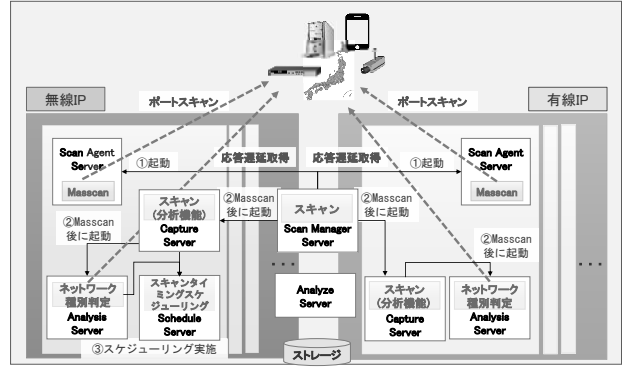


図 18 システム構成図

図 18 は、統合環境のシステム構成を示したものである。無線端末属性把握技術により対象の IP アドレスの機器が無線端末であると判定した場合は、無線のタイミグスケジューラでスキャンする時間を決定する。無線のスキャン単位時間は 1 時間であり、12 時間の中で最適なスキャンタイミングを選択しスキャンを実施する。有線端末であると判定した場合は、12 時間の範囲の中でランダムにスキャンを実施する。

10 万件の IP アドレスに対して、4 週間の統合評価スキャンを 2 回実施した。表 1 は、2 回のスキャンにおける標準的なスキャンの通信量、効率的なスキャンの通信量、無応答スキャンの通信量と機器推定率、ポート検出率をまとめたものである。それぞれについての平均値も併記した。

通信量に関しては、標準的なスキャンの通信量 3.5 TByte に対して、効率的なスキャンのスキャン通信量は 71.6 GByte であった。また応答のない IP アドレスへの無応答スキャンは 20.5 GByte であった。効率的なスキャンと無応答スキャンを合わせた通信量は 92.1 GByte であり、標準スキャンの約 1/38 に削減、目標である通信量 1/4 以下を大きく超える削減を確認した。

ポート検出率に関しては、実ネットワークにおける 2 回のスキャンの平均値は 83.7% であったが、シミュレータを利用した場合は 97.1% の結果となり、目標であるポート検出率 95% 以上を、理論的な評価で超えることを確認した。

機器推定率に関しては、2 回のスキャン共に目標である 5% を超えることを確認した。

表 1 統合評価 2 回の結果と平均値

	1 回目	2 回目	平均
標準スキャン通信量	3547.5GB	3549.2GB	3548.4GB
高効率スキャン通信量 (有線+無線)	74.4GB	68.8GB	71.6GB
無応答スキャン通信量 (有線+無線)	20.6GB	20.3GB	20.5GB
標準に比べた高効率の通信量	約 1/37	約 1/39	約 1/38
応答端末全体に対する無線端末の割合	3.3%	3.3%	3.3%
ポート検出率 (シミュレータ)	97.5%	96.7%	97.1%
ポート検出率 (実ネットワーク)	83.8%	83.5%	83.7%
機器推定率	5.26%	5.44%	5.35%

このように 2 回の統合評価において、通信量の削減率

1/4 以下、ポート検出率 95% 以上、機器推定率 5% 以上という目標がそれぞれ達成できたことを確認した。

標準的なスキャンと効率的なスキャンを同一の IP アドレスに対して並行して実施する実環境での評価においては、スキャンタイミング（標準的なスキャンと効率的なスキャンがずれる）による差異が発生するため、ポート検出率が 80% 台前半となったが、理論的な数値が得られるシミュレータ（実際の機器へはスキャンを実施せずに標準スキャンの結果等を利用し模擬スキャンを実施する）を作成し計測したところ、ポート検出率は 95% 以上となり、標準的なスキャンに比べて大きな遜色のない結果となった。

### 2. 3. 2. テストベッド評価

実インターネットを用いた統合評価では無線区間の評価が難しいため、広域ネットワークスキャン最適制御技術と、無線属性推定技術について、ローカルに環境を構築し評価作業を実施した。

構築した評価系の概要図を図 19 に示す。本系は、東北大学に設置されたシールドルーム上に構築した無線 LAN 2.4 GHz、無線 LAN 5 GHz、LTE、Wi-SUN、LoRa の 5 種の無線システムと、イーサネット（有線 LAN）の全 6 種の種別のネットワーク環境と、スキャンサーバ、スキャンサーバと 6 種のネットワーク間を接続するインターネットの模擬を目的としたコアネットワーク模擬装置、からなるスキャン・背景通信系と、各機器をイーサネットで接続した制御系からなる。

実際に構築した評価対象の無線ネットワークを図 20 に示す。本テストベッドでは、無線 LAN 環境（図左上）、LTE + 電波環境再現環境（図右上）、Wi-SUN + 電波環境再現環境（図左下）、Wi-SUN・LoRa 混在環境（図右下）を構築した。各部屋には対象の無線ネットワークに加え、電波が正しく放射されていることを確認するためのモニタ装置、スキャン経路の導通確認・背景通信等を目的としたノート PC も合わせて設置した。また、電波環境再現装置はシールドルーム外に設置し、アンテナのみを内部に導入している。

今回再現した環境について述べる。2 時間を 1 スロット（3 分）として模擬し、スキャンは半日に 1 度とした。つまり、半日は 6 スロットであり、1 日は 12 スロットであり、スキャンは 6 スロット毎に実施される。また、混雑状況は、深夜帯（無線リソース使用量がほぼ無）、勤務時間帯（無線リソース使用量が大）、お昼休み（無線リソース使用量が中程度）、出退勤時間帯（無線リソース使用量が小）の 4 段階とし、この組み合わせにより再現パターンを構築した。

各機器についてスキャンするポートと、応答を返すポートの範囲を決定した。有線 LAN、無線 LAN、Wi-SUN、LoRa においては SYN-ACK または RST-ACK を返すポートの割合は 2 割とし、残りの 8 割は応答を返さないよう設定を行った。LTE 端末については機器仕様の都合上、全てのポートが RST-ACK を返すよう設定を行った。

前記した実験系と、実験設定を用いて、最適スケジューリング技術の長期的な動作評価を実施した。実験においては、スキャン無し、ランダムスケジューリングおよび最適スケジューリングの 3 種類のスキャン設定において実験を行った。スキャン無し、ランダムスケジューリングは 1 週間を模擬した実験を、最適スケジューリングでは、12 週間を模擬した実験を実施した。1 日は 2 ラウンド、12 スロットなので、1 週間は 14 ラウンド、84 スロット、12 週

間は 168 ラウンド、1008 スロットとなる。

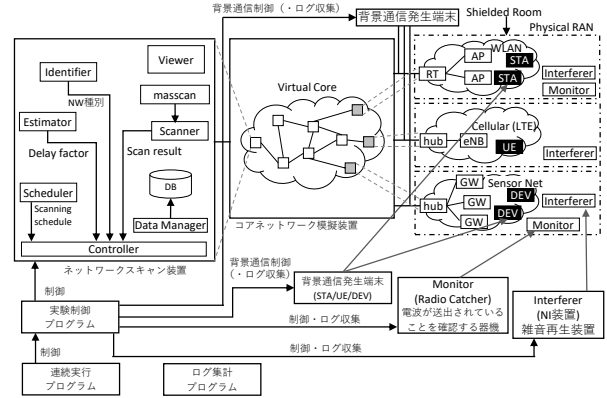


図 19 テストベッドの構成

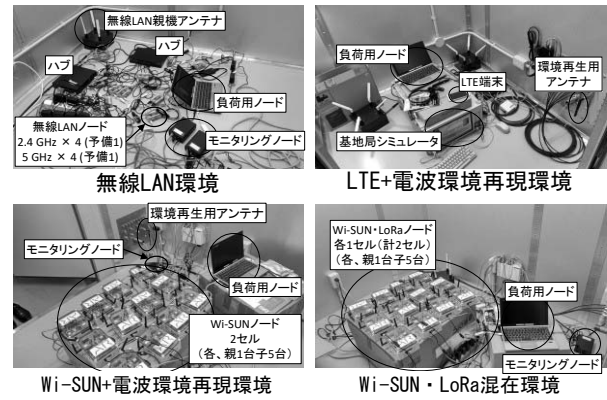


図 20 評価対象の無線ネットワーク

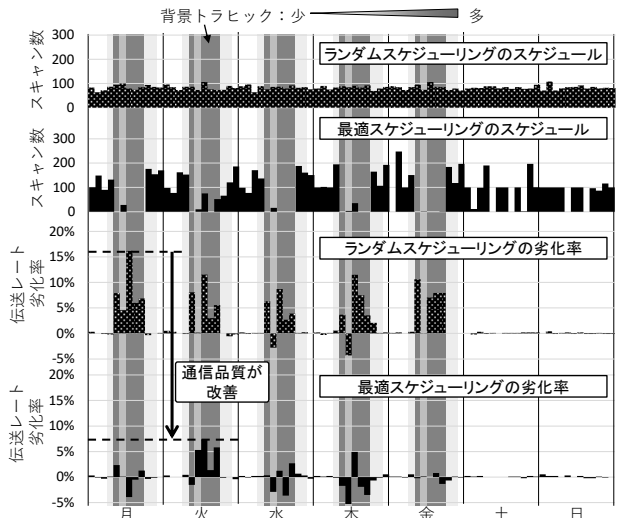


図 21 スキャンスケジューリングのテストベッドを用いた評価結果（Wi-SUN・LoRa 混在環境）

12 週間を模擬した実験における、最後の 1 週間のスケジューリング結果を図 21 に示す。図中の最上段と 2 段目はランダムスケジューリングと提案スケジューリングの結果であり、3 段目と 4 段目はランダムスケジューリングと最適スケジューリングにおける伝送レート劣化率である。横軸はスロットを、縦軸はスキャン数または伝送レート劣化率を表す。背景色はそのスロットの設定された時間帯設定を表し、色のない時間帯は通信量が少ない深夜帯にあたり、色が濃いほど通信量が多い時間帯にあたる。



2 段目のグラフから、開発技術はネットワークが混雑している時間帯を避けてスキャンを実施できることが確認できる。また、ランダムスケジューリングと比較して、通信品質の劣化を低く抑えられることが確認できた。加えて、目標としていた「開発した技術によりネットワークスキャン実施時における背景通信の通信品質劣化度 10%以下に抑える」の達成も確認できた。よって、既存通信への影響を抑えた最適スケジューリングを確立できたと言える。

## 2. 4. 標準化活動

本研究開発にて確立した技術の一部は、広域ネットワークスキャンの効率的・効果的实施に寄与するのみならず、IP ネットワーク上における接続性試験など、ある程度の時間幅の中でパケットの送出タイミングを変更しても差し支えない通信用途において、パケット伝送の安定性向上に寄与できる技術でもある。そのため、開発技術の普及に向けて、ITU-T ならびに TTC における標準化活動を実施した。具体的には、信号方式や試験方式の標準化を行っている ITU-T Study Group 11 (SG11) の Q12 (Q12/11: IoT 性能試験) にて議論されていた IoT 試験に関する勧告草案 (Q.FW IoT/Test) に対して、無線端末属性推定技術に基づくネットワーク種別推定試験の追加と、試験実施タイミングおよび試験対象のネットワーク分割(スキャン対象のグルーピング)に関する留意点を説明する章の追加を提案した。その結果、提案内容は当該勧告草案に採用され、2020年9月に ITU-T 勧告 Q.4062 (Framework for IoT testing) として制定された。

ITU-T 勧告 Q.4062 の制定に続いて情報通信技術委員会 (TTC) の信号制御専門委員会において、ITU-T 勧告 Q.4062 のダウンストリーム標準化作業を行った。具体的には、ITU-T 勧告 Q.4062 の内容に加えて、当該 ITU-T 勧告の国内での利用に関して、有線と無線が混在したネットワーク環境での IoT 機器を含む IP 接続された機器の統合試験の考慮事項について付属資料を追加し、国内標準案の提案を行い、2021年2月に TTC 標準 JT-Q4062 「IoT 試験フレームワーク」 として制定された。

## 3. 今後の研究成果の展開

研究成果として、スキャン対象となる無線端末が存在するネットワークを特定して、当該無線端末の通信環境が良好な状況を狙ってスキャンを実施する「無線ネットワークに対するスキャン効率化技術」を確立した。これらは広域ネットワークスキャンの効率的・効果的实施に寄与するのみならず、IP ネットワーク上における接続性試験や IoT ネットワークにおける日単位の情報収集など、ある程度の時間幅の中でパケットの送出タイミングを変更しても差し支えない通信用途において、パケット伝送の安定性向上に寄与できる技術でもある。そのため、上述のとおり標準化活動を実施し、ITU-T 勧告 Q.4062 ならびに TTC 標準 JT-Q4062 として制定された。これらの勧告・標準の内容は IoT 試験の効率的実施に寄与するのみならず、安定したネットワーク・機器制御情報などの伝送や遅延耐性のあるアプリケーションの効率的配信にも活用できると期待される。

また、電波資源拡大のための研究開発「電波の有効利用のための IoT マルウェア無害化/無機能化技術等に関する研究開発」を受託している横浜国立大学より、無線端末属性把握技術について技術提供の依頼を受けた。そこで、本技術の詳細情報や運用上のノウハウに関して情報提供を行った。当該研究開発は令和4年度まで継続される予定のため、引き続き情報提供を行っていく予定である。

なお、開発した技術は無線ネットワークの内部状況を詳細に把握することが困難な外部ネットワークからのネットワークスキャンを効率的に行うことを主眼においたものである。したがって、開発した技術は無線ネットワーク自体の制御を行う技術ではないが遅延耐性のあるアプリケーションの効率的配信に活用できる可能性がある。これらは基本的にアプリケーション層で取り扱われる技術ではあるものの、アプリケーションの特性を考慮したネットワーク制御は公衆網・自営網ともに今後発展していくと期待される。このため、開発した技術の幅広い成果展開・社会実装に向けては、3GPP や IEEE などで行われる無線通信ネットワークの標準化動向に注視していくことが重要と考える。

また、スキャン実施により得られる情報量を低減させることなくスキャン通信量を削減する「スキャントラフィック削減技術」の開発を行った。これらの技術開発の推進、および今後の成果展開に向けた取組みとして、関連する外部機関である横浜国立大学、および情報通信研究機構 (NICT) と、2018年度から継続して年2回、意見交換活動を実施してきた。

これらの活動を踏まえ、具体的な研究成果として、機器推定用データベース、および各技術を実装した簡易版スキャンツールを開発した。これらの研究成果は、広域ネットワークスキャンを用いて IoT 機器を中心とした脆弱性調査や応答ポート状況調査などの調査分析を行っている学術研究機関や公共性の高い組織などで活用することにより、調査分析のベースとなる情報収集フェーズにおいて、より少ないスキャン通信量で効率的に広域ネットワークスキャンを行うことが可能となり、近年増大しているスキャントラフィックの低減に寄与した情報収集が可能となる。また、広域ネットワークスキャンによるポート応答状況などの情報収集だけでなく、合わせて機器推定も行うため、限定的ではあるが利用している IoT 機器の推定も可能な場合があり、調査分析の一助となる情報を得ることも期待できる。

これらの研究成果については学術研究機関等を中心に提供を予定しているが、提供を希望される場合は、NTTアドバンステクノロジ株式会社セキュリティ事業本部の和氣/石岡 (E-mail: [iot-scan-support.scd@ml.ntt-at.co.jp](mailto:iot-scan-support.scd@ml.ntt-at.co.jp)) まで、ご連絡頂きたい。また、研究成果の製品化についても、1~2年程度のモニタリングによりニーズを確認した上で、検討を行っていく予定である。

## 4. むすび

本研究開発では、スキャン対象となる無線端末が存在するネットワークを特定して、当該無線端末の通信環境が良好な状況を狙ってスキャンを実施する「無線ネットワークに対するスキャン効率化技術」、スキャン実施により得られる情報量を低減させることなくスキャン通信量を削減する「スキャントラフィック削減技術」の研究開発を行った。各開発技術を統合した広域スキャンシステムを構築し、実ネットワークにおける端末属性推定技術および広域ネットワークスキャン最適制御技術の機能検証を行うと共に、通信量削減効果の性能評価を実施して性能目標である「従来技術比 1/4 を超える通信量削減」の達成を確認した。さらに、無線ネットワークに対するスキャン効率化技術を統合したテストベッド環境を構築し、「開発した技術によりネットワークスキャン実施時における背景通信の通信品質劣化度 10%以下」の達成を確認した。

### 【査読付き誌上発表論文】

- [1] Fengxiao Tang, Yuichi Kawamoto, Nei Kato, Kazuto Yano, and Yoshinori Suzuki, "Probe Delay based Adaptive Port Scanning for IoT Devices with private IP address Behind NAT," IEEE Network, vol. 34, no. 2, pp. 195-201, Mar. 2020.  
DOI:10.1109/MNET.001.1900264
- [2] Hiroaki Hashida, Yuichi Kawamoto, and Nei Kato, "Efficient Delay-Based Internet-Wide Scanning Method for IoT Devices in Wireless LAN," IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 2, pp. 1364-1374, Feb. 2020. DOI:10.1109/JIOT.2019.2954539.
- [3] Shikhar Verma, Yuichi Kawamoto, and Nei Kato, "A Network-aware Internet-wide Scan for Security Maximization of IPv6-enabled WLAN IoT Devices," IEEE Internet of Things Journal. DOI:10.1109/JIOT.2020.3045733 (early access)

### 【その他の誌上発表】

- [1] 川本雄一, 加藤寧, "周波数有効利用のための IoT ワイヤレス高効率広域ネットワークスキャン技術の研究," 東北大学電気通信研究機構ニュースレター, vol. 12, p. 2, March 2019.
- [2] 坂野寿和, 矢野一人, 今中秀郎, "JT-Q4062 IoT 試験フレームワーク," TTC レポート, vol. 36, no. 1, April 2021.

### 【査読付き口頭発表論文】

- [1] Takuya Kurihara, Kenta Suzuki, Kazuto Yano, Yoshinori Suzuki, "A Study on Multi Armed Bandit based Scheduling of Network Scan Timing," Proc. Of SmartCom 2019, Nov. 2019.
- [2] Shikhar Verma, Yuichi Kawamoto, and Nei Kato, "A Novel IoT-Aware WLAN Environment Identification for Efficient Internet-Wide Port Scan," IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020), Virtual Conference.
- [3] Fumiyuki Tanemo, Mitsuhiro Osaki, Hiroaki Waki, Yutaka Ishioka, Kazuhito Matsushita, "A Method of Creating Data for Device-information Extraction by Efficient Wide-area-network Scanning of IoT Devices," Proc. of IEEE ICOIN 2020, Jan. 2020. DOI:10.1109/ICOIN48656.2020.9016526

### 【口頭発表】

- [1] 矢野一人, 江頭直人, 栗原拓哉, 清水聡, 鈴木義規, "IoT ワイヤレス機器に対する広域ネットワークスキャン技術の研究開発," 信学技報, NS2019-85, pp. 203-208, July 2019.
- [2] 橋田紘明, 川本雄一, 加藤寧, "広域ネットワークスキャンが無線 LAN における正規通信に及ぼす影響の解析に関する研究," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-6-8, Sept.2019.
- [3] 栗原拓哉, 矢野一人, 鈴木義規, "ネットワークスキャンのスケジューリングにおける動的クラスタリングによる計算量削減," 信学技報, NS2020-157, pp. 203-207, March 2021.

### 【申請特許リスト】

- [1] 栗原拓哉, 鈴木健太, 矢野一人, 鈴木義規, "ネットワークスキャン装置、コンピュータに実行させるためのプログラムおよびプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体," 特願 2020-055294 (March 26, 2020).

- [2] ババツンデセグンオジュツンデ, 鈴木健太, 矢野一人, 鈴木義規, "ネットワークスキャン装置、コンピュータに実行させるためのプログラムおよびプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体," 特願 2021-052473 (March 25, 2021).
- [3] 和氣弘明, 石岡裕, 大崎光洋, 松下一仁, "スキャン実行装置及びポート情報更新方法," 特願 2020-181581 (Oct. 29, 2020).

### 【受賞リスト】

- [1] Rui Teng, Kazuto Yano, Yoshinori Suzuki, "Identification of IoT Network Type Based on The Response Delay Property," IEEE ICACT2020 Outstanding Paper Award, Feb.2020.

### 【報道発表リスト】

- [1] 株式会社国際電気通信基礎技術研究所, 国立大学法人東北大学, NTT アドバンステクノロジー株式会社, "無線通信への影響を極力抑える高効率広域ネットワークスキャン技術を開発～安心・安全な IoT 機器利用の実現に向けて～," 総務省プレスリリース, March 29, 2021.

### 【国際標準提案リスト】

- [1] ATR, "Proposal of appending new sub clause 7.9 "network type classification" into ITU-T draft Recommendation Q.39\_FW\_IoT/Test," ITU-T Q12/11, SG11-C343, 2019 年 10 月提案・採択
- [2] Proposal of adding new table for network type classification testing into Annex of ITU-T draft Recommendation Q.39\_FW\_IoT/Test," ITU-T Q12/11, SG11-C344, 2019 年 10 月提案・採択
- [3] "Proposal of appending new Clause 8 "Consideration for test procedure" into ITU-T draft Recommendation Q.39\_FW\_IoT/Test," ITU-T Q12/11, SG11-C345, 2019 年 10 月提案・採択

### 【参加国際標準会議リスト】

- [1] ITU-T SG11・Interim ITU-T SG11 Rapporteur Meetings and Working Party Meetings、Geneva, Switzerland、令和元年 10 月 16 日~21 日
- [2] ITU-T SG11・Interim ITU-T SG11 Rapporteur Meetings and Working Party Meetings、Geneva, Switzerland、令和 2 年 3 月 4 日~13 日
- [3] ITU-T SG11・ITU-T SG11 Virtual Meeting、オンライン開催、令和 2 年 7 月 22 日~31 日