

# 遠隔地にある PAN デバイスとの直接通信を可能とする VPAN システムの実装

酒井 恵梨香<sup>†1</sup> 池内 紀貴<sup>†1</sup> 林 宏輔<sup>†2</sup> 鈴木 秀和<sup>†1</sup>  
<sup>†1</sup> 名城大学理工学部 <sup>†2</sup> 名城大学大学院理工学研究科

## 1 はじめに

ユーザが外出先から自宅の Bluetooth デバイスを Bluetooth 通信で制御することが可能なシステムが提案されている [1]. しかし、このシステムはカーネル空間を拡張して機能を実装する必要があるため、スマートフォンなどの操作端末での実装が困難である。

そこで、この従来システムをユーザ空間の拡張によって実現し、かつ複数の PAN 技術に対応可能な VPAN (Virtual PAN) システムを提案してきた [2]. 本稿ではその実装を行う。

## 2 従来システム

文献 [1] では宅内に Bluetooth I/F (Interface) と IP I/F (Wi-Fi/Ethernet) を搭載した BGW (Bluetooth Gateway) を設置し、宅外の操作端末 CD (Control Device) から宅内の Bluetooth 機器 RD (Remote Device) の操作を実現している。CD の Bluetooth スタックで交換される制御メッセージを HCI (Host Controller Interface) 層でフックし、DTLS (Datagram Transport Layer Security) トンネルを通して BGW に送信する。BGW はこれを自身の Bluetooth スタックの HCI 層に挿入することで、CD の代理として RD との Bluetooth 通信を可能としている。

しかし、この手法はカーネル空間の Bluetooth スタックを拡張する必要があり、実装難易度が高く、Bluetooth 以外の新たな PAN 技術への対応も容易ではない。

## 3 提案システム

### 3.1 概要

従来システムの考え方を踏襲しつつ、かつ実装が容易な方法として、PAN デバイスの制御命令を処理する VPAN ミドルウェアをユーザ空間で設計し、それらが連係して動作するフレームワークを提案する。これにより、遠隔地の PAN を操作端末周辺の PAN に仮想的に統

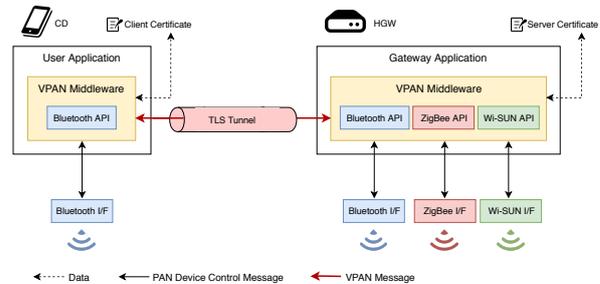


図1 提案システムの概要

合する VPAN システムを実現することができる。

### 3.2 構成

図1に VPAN システムの構成を示す。本稿では宅外の CD は Bluetooth 搭載のスマートフォンを想定し、宅内の HGW (Home Gateway) には Bluetooth, ZigBee, Wi-SUN などの I/F と IP I/F を搭載する、VPAN ミドルウェアは CD と HGW 間のメッセージの暗号化伝送や認証処理、機器探索やデバイス制御など、CD の近隣や遠隔地の PAN デバイスとの通信 API を提供するもので、CD と HGW にインストールするユーザ/ゲートウェイアプリケーションにそれぞれ内包される。ユーザアプリケーションとゲートウェイアプリケーション間は TLS (Transport Layer Security) で暗号化トンネルが構築され、PAN デバイスの制御依頼やその応答である VPAN メッセージを伝送することにより、HGW が CD の代理として宅内の PAN デバイス RD との接続および通信を行う。なお、CD と HGW 間には通常 NAT が存在するため、別途 TCP の NAT 越え技術の適用や、ルータにポートフォワードの設定をすることにより、外部から HGW に接続できることとする。

### 3.3 動作

1. CD は HGW と TLS 認証を行い、暗号化トンネルを確立する。
2. CD が VPAN ミドルウェアの機器探索処理を実行すると、自身の Bluetooth I/F から機器探索メッセージを送信すると共に、TLS トンネルを通して HGW に機器探索を依頼する VPAN メッセージを送信する。
3. HGW は受信した VPAN メッセージに基づいて、自身の Bluetooth I/F から機器探索メッセージを送信

**Implementation of Virtual Personal Area Network System which Enables Direct Communication with PAN Devices in Remote Locations**

Erika Sakai<sup>†1</sup>, Noriki Ikeuchi<sup>†1</sup>, Kosuke Hayashi<sup>†2</sup> and Hidekazu Suzuki<sup>†1</sup>

<sup>†1</sup> Faculty of Science and Technology, Meijo University

<sup>†2</sup> Graduate School of Science and Technology, Meijo University



図2 動作検証環境のネットワーク構成

し、探索結果を TLS トンネルを通して CD に返信する。

4. CD の VPAN ミドルウェアは CD 側と HGW 側の機器探索結果を統合し、ユーザアプリケーションに渡す。

以上により、ユーザは自身の位置を意識することなく、近隣と遠隔地の双方の PAN デバイスを発見することができる。その後の PAN デバイスとの通信においても、TLS トンネルを通して制御命令を伝送することにより、HGW が代理で通信を行う。

なお、CD に搭載されていない ZigBee や Wi-SUN など I/F を HGW が有する場合、CD のユーザアプリケーションは HGW に ZigBee や Wi-SUN の制御命令を渡すことにより、探索結果や制御結果を受け取ることができる。すなわち、CD が搭載していない通信規格の I/F を仮想的に装着したかのように振る舞うことができる。

## 4 実装と評価

### 4.1 実装

CD として Pixel 3a, HGW として Raspberry Pi3 Model B+ を用意し、Bluetooth 機器探索を行うプロトタイプを実装した。ユーザ/ゲートウェイアプリケーションと VPAN ミドルウェアは Java を用いて実装し、CD 側では Android 標準ライブラリ、HGW 側では BlueCove[3] および TinyB[4] ライブラリを使用した。なお、プロトタイプでは TLS 認証および暗号化は行っていない。

### 4.2 動作検証

CD から遠隔地のデバイスが発見できることを確認するため、実装したプロトタイプの CD から機器探索処理を実行し動作検証を行った。図2に動作検証環境のネットワーク構成を示す。CD と HGW は同一のネットワークに接続し、HGW の近隣に Bluetooth Classic 機器である SMART REMOCON と BLE (Bluetooth Low Energy) 機器である PLAYBULB candle を配置した。

動作検証の結果、CD において遠隔地の Bluetooth Classic 機器リスト内に SMART REMOCON のデバイス情報があることを確認した。同様に、BLE 機器リスト内にも PLAYBULB candle の情報があることを確認した。

表1 測定結果

	最小 [ms]	平均 [ms]	最大 [ms]
遠隔探索時間	11,428	12,381	15,963
HGW 探索時間	11,266	12,166	15,773
CD 探索時間	18,205	18,405	19,817

### 4.3 評価

VPAN ミドルウェアによる処理が実際に機器探索を行う上で問題ないか、CD が Bluetooth Classic 機器探索を依頼する VPAN メッセージを送信してから HGW 側の結果を受信するまでの時間の内、VPAN ミドルウェアが処理を行っている時間の割合を求め評価する。測定環境は図2と同様であり、CD がメッセージを送信してから結果受信までの時間を遠隔探索時間、HGW が近隣の探索にかかった時間を HGW 探索時間として計測する。また、別途 CD 周辺に SMART REMOCON を配置し、提案システムを用いずに CD が近隣探索を行った時間も CD 探索時間として計測する。試行回数は 10 回とし、平均時間と遠隔探索時間における VPAN 処理時間の割合を求める。

表1に測定結果を示す。なお、CD-HGW 間の RTT (Round-Trip Time) を測定したところ 75[ms] であり、この値を用いて遠隔機器探索時間から HGW 探索時間と RTT を差し引くことで VPAN 処理時間を求めると、140[ms] となる。よって、遠隔探索時間における VPAN 処理時間の割合は 1.13[%] であることから、VPAN ミドルウェアの処理は機器探索処理自体に大きな影響を与えないことがわかり、VPAN ミドルウェアによる処理は実用上問題ないと言える。

また、CD 探索時間は遠隔探索時間の 1.49 倍となっており、CD 自身が探索を行う場合と比較すると、HGW が代理で行う場合の方がより短時間で探索可能であることがわかる。

## 5 まとめ

本稿ではユーザ空間を拡張し、近隣と遠隔地の双方の PAN デバイスと通信が可能な VPAN システムの設計と実装を行った。また、機器探索における提案システムの処理が実用上問題ない時間であることを確認した。

### 参考文献

- [1] 岡田. 他: 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS) Vol. 8, No. 2, pp. 34-42, 2018.
- [2] 酒井. 他: 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, Vol.2019, No.F2-5, 2019.
- [3] BlueCove: <http://bluecove.org/>
- [4] TinyB: <https://github.com/intel-iot-devkit/tinyb>