

## 準狭帯域無線システムDR-IoTの基本アーキテクチャ の設計

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 電子情報通信学会 公開日: 2023-10-11 キーワード (Ja): DR-IoT, IEEE 802.15.4, TMCTP, 複数帯域幅・多数チャネルアクセス制御, VHF-High 帯 キーワード (En): DR-IoT, IEEE 802.15.4, TMCTP, Multi-bandwidth and multi-channel access control, VHF-High band 作成者: 石原, 進, 浅野, 心夏, 梅本, 亮祐, 加藤, 新良太, 梶田, 宗吾, 山本, 寛, 井家上, 哲史, 高井, 峰生 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/0002000046">http://hdl.handle.net/10297/0002000046</a>

## 準狭帯域無線システム DR-IoT の基本アーキテクチャの設計

石原進<sup>†</sup> 浅野心夏<sup>†</sup> 梅本亮祐<sup>†</sup> 加藤新良太<sup>††</sup> 梶田宗吾<sup>††</sup>

山本寛<sup>†††</sup> 井家上哲史<sup>††††</sup> 高井峰生<sup>†††††</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学 浜松市中区城北 3-5-1

<sup>††</sup> 株式会社スペースタイムエンジニアリング

<sup>††††</sup> 大阪大学

<sup>††††</sup> 明治大学

<sup>†††</sup> 立命館大学

E-mail: †ishihara.susumu@shizuoka.ac.jp

**あらまし** 大規模災害発生時に複数の異なる組織が災害関連情報を効率的かつ効果的に収集・共有・分析し意思決定を行うためのデジタル自営無線網実現技術として、筆者らは IEEE 802.15.4 に準拠した小型無線機を利用した VHF 帯無線通信システム DR-IoT (Diversified-Range/Disaster-Response IoT) を提案している。DR-IoT では 6.25 kHz から 400 kHz の準狭帯域の複数の帯域幅をもつチャンネルを多数用意し、これらを活用することで用途、通信範囲、収容端末数に応じて柔軟にネットワークを構築することを目指している。本稿では、IEEE 802.15.4 のビーコンベースネットワークで上述の複数帯域幅、多数チャンネル環境を活用するためのチャンネルアクセス制御方式の設計について提案するとともに、VHF-High 帯 (207.5 MHz–222 MHz) でのフィールド実験に基づいて同方式での通信システム実現可能性について議論する。

**キーワード** DR-IoT, IEEE 802.15.4, TMCTP, 複数帯域幅・多数チャンネルアクセス制御、VHF-High 帯

## Design of the basic architecture of a quasi-narrow band wireless communication system DR-IoT

Susumu ISHIHARA<sup>†</sup>, Shinka ASANO<sup>†</sup>, Ryosuke UMEMOTO<sup>†</sup>, Arata KATO<sup>††</sup>, Shugo KAJITA<sup>††</sup>, Hiroshi YAMAMOTO<sup>†††</sup>, Tetsushi IKEGAMI<sup>††††</sup>, and Mineo TAKAI<sup>†††††</sup>

<sup>†</sup> Shizuoka University 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu

<sup>††</sup> Space-Time Engineering Japan, Inc.

<sup>†††††</sup> Osaka University

<sup>††††</sup> Meiji University

<sup>†††</sup> Ritsumeikan University

E-mail: †ishihara.susumu@shizuoka.ac.jp

**Abstract** We have proposed DR-IoT (Diversified-Range/Disaster-Response IoT), a VHF-band wireless communication system using small radios compliant with IEEE 802.15.4, as an enabling technology for digital self-managed wireless networks used by multiple organizations to exchange disaster-related information. DR-IoT aims to construct a network flexibly according to the application, communication range, and number of devices by utilizing many channels with multiple quasi-narrow bandwidths ranging from 6.25 kHz to 400 kHz. We propose the design of a channel access control scheme based on IEEE 802.15.4 beacon-based networks to take advantage of the multiple bandwidths and multiple-channel setting and discuss the feasibility of the DR-IoT system based on field experiments in the VHF-High band (207.5 MHz–222 MHz).

**Key words** DR-IoT, IEEE 802.15.4, TMCTP, Multi-bandwidth and multi-channel access control, VHF-High band

## 1. はじめに

防災行政無線や消防救急無線など、現在の災害対応で用いる通信システムは音声による情報伝達を主目的としており、情報の授受には必ず人が介在する。しかし、人が介在することによって伝達情報の欠損や誤聞誤伝が発生するだけでなく、人的な情報処理能力が災害対応のボトルネックになる危険性をはらんでいる。特に大規模災害発生時には、多数の組織が被災地の多地点において災害対応にあたるため、現在の音声による情報伝達ではそれら複数組織・多地点で正確な情報を収集・共有することが非常に困難であることが容易に想像できる。そのため、音声に加えて文字や画像・映像などによる情報伝達も可能にし、災害に係る情報を効率的かつ効果的に収集・共有・分析して意思決定につなげる災害対応への移行、即ち災害対応のデジタル化が急務である。

我が国の今日の制度で十分な伝送速度を実現している災害対応のデジタル通信システムは公共ブロードバンド移動通信システム（公共 BB）のみであるが、小規模な地方自治体や外部支援組織ではシステム費用が高額であるため、導入が困難であるだけでなく、組織間での有効なデータ交換の仕組みは整備されておらず、人的情報処理に依存せざるを得ない。一方、広域省電力無線（Low Power Wide Area: LPWA）は安価であるものの、音声伝達を目的とする簡易無線よりも伝送速度がさらに低く、少量のセンサデータなどを間欠的に送信する役割しか担えない。そのため、現在制度化されている通信システムの組合せでは、図 1 に示すような災害対応にあたる組織の通信システムに対するニーズ、特に多地点で情報共有を行いたいとするニーズを満たせない。

筆者らは、移動受信用地上基幹放送サービスの跡地である VHF-High 帯（207.5MHz～222MHz）において十分な伝送速度を実現可能な災害対応デジタル無線システムを実現することをめざし、準狭帯域の無線システム DR-IoT の開発を進めている [1] [2]。UHF 帯での特定小電力無線機に広く利用されている IEEE 802.15.4 の技術を活用すれば、比較的安価に通信機をできるうえ、多数の端末を収容可能なシステムを安価に実現できるという見込みの下、フィールド実験、アクセス制御方式の検

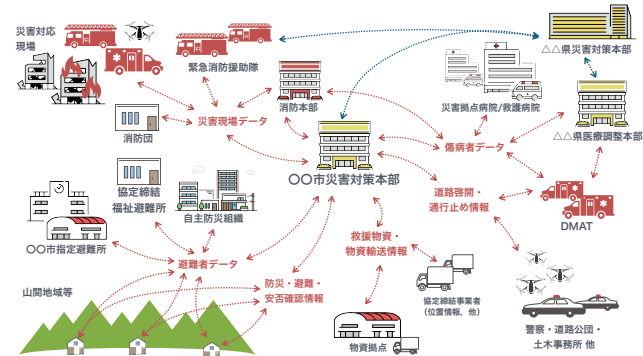


図 1 DR-IoT の利用シーン  
Fig.1 Usage of DR-IoT

討を進めている。

本システムでは、6.25 kHz～400 kHz の準狭帯域の複数のチャンネル幅をもつ多数のチャンネルを活用することによって、用途、通信範囲、収容端末数に応じて柔軟にネットワークを構築することを目指している。本稿では、IEEE 802.15.4 [3] のピーコンバースネットワークで上述の複数帯域幅、多数チャンネル環境を活用するためのチャンネルアクセス制御方式の設計について提案するとともに、VHF-High 帯でのフィールド実験に基づいて同方式での通信システム実現可能性について議論する。なお、DR-IoT の名称は同システムが災害対応を主目的としたことから“Disaster Response - Internet of Things”の略称として当初命名したものであるが、平常時の公共性の高い通信用途にも活用できること、また同一送信電力でも帯域幅を変えて通信距離を幅広く選択できる技術的特徴から DR-IoT の略称はそのままに、“Diversified Range - Internet of Things”へ名称を改めている。

以下、2 節ではまず、DR-IoT の無線システムの概要と同システムでのアクセス制御の土台とする IEEE 802.15.4 の TV ホワイトスペース多チャンネルクラスターツリー PAN (TV White space Multichannel Cluster Tree PAN, TMCTP) について概要を説明する。次に 3 節で DR-IoT での複数帯域幅、多数チャンネル環境を想定した TMCTP によるアクセス制御の例を示し、同方式にもとづくネットワーク収容トラフィックについての試算を行う。また、多チャンネル環境で生ずる新規端末参加時のチャンネル探索の短縮方法を提案する。4 節では VHF-High 帯でのフィールド実験に基づいて同方式での通信システム実現可能性について議論し、5 節で本稿をまとめる。

## 2. DR-IoT の構成

DR-IoT では VHF 帯の周波数を使用することで、広いカバレッジを確保する一方で、6.25 kHz～400 kHz の準狭帯域の複数のチャンネル幅をもつ多数のチャンネルを活用することによって、必要な通信容量の異なる様々な用途（数値、テキスト～画像）、様々な端末数規模に対応したネットワークを構築する。図 2 に DR-IoT で想定するチャンネル配置の一例を示す。帯域幅の小さいチャンネルでは伝送速度が小さいものの通信可能距離が長くなるので、広範囲からの小規模数値データ等の収集、テキストデータ中心の広域情報配信に利用できる。一方数百 kHz 程度の広い帯域幅のチャンネルでは、通信可能距離は短い画像・映像データの収集・交換等の用途に利用できる。また、複数の狭帯域チャンネルと広帯域チャンネルを組み合わせたマルチホップの構成を取ることにより、ネットワークのカバレッジを拡大しつつ、多くのトラフィックを収容可能となる。

特に何も事前の情報が与えられない場合、多数の異なるチャ

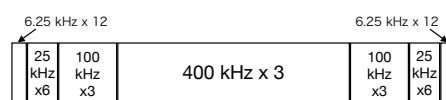


図 2 チャンネルレイアウト例  
Fig.2 Example of a channel layout

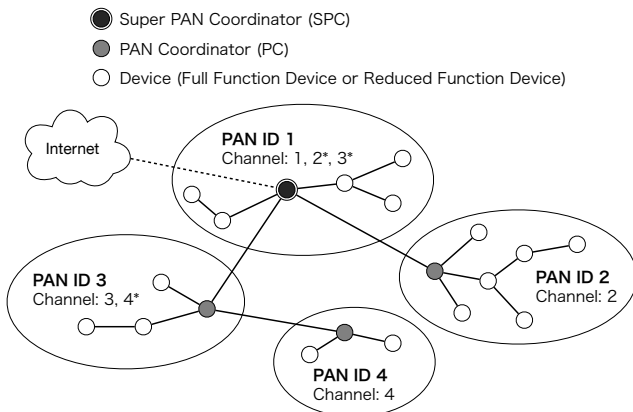


図3 TVWS マルチチャンネルクラスターツリー PAN の例  
Fig.3 Example of TVWS multichannel cluster tree PAN

ネルが利用な状況でこの端末が新しくネットワークを構築したり、既存のネットワークを探索するためには、個々のチャンネルの状態を確認する必要がある。しかし、チャンネル数が非常に多い場合には、チャンネルの探索に長い時間がかかってしまう。また、多くのチャンネルが利用できる状況で、それらが無駄なく、かつ使うためには、各チャンネルの利用状況を把握し、新たに利用すべきチャンネルを適切に選択したり、個々の端末が利用するチャンネルを適切に割り付けるなどの仕組みが必要となる。

個々の端末によるチャンネル探索の時間を短縮するために一般に用いられる戦略として、(i) 何らかのルールに基づいて探索対象のチャンネルをしばり込む、(ii) チャンネルの使用状況を特定の端末で管理し、その端末の指示の下にチャンネルを選択する、がある。(i) の具体例としては、端末の属する組織、あるいは地理的な位置に応じて利用できるチャンネルの候補を与えておく方法が考えられる。(ii) の具体例としてはジオロケーションデータベースを利用した TV ホワイトスペース (TVWS) ネットワークがある。このネットワークでは管理担当の端末がジオロケーションデータベースに問い合わせることにより、割当可能なチャンネルを絞り込んだのちに新規参加端末が使用すべきチャンネルを割り当てる。IEEE 802.15.4 は、[4] 提案された TV ホワイトスペースを使って複数チャンネルにまたがったクラスタツリー型 PAN (TMCTP) を構成する仕様を含んでいる。DR-IoT では TVWS の使用を想定している訳ではないが、TMCTP が備えているチャンネル管理の枠組みを利用すると、集中型の処理を用いることでチャンネル探索、チャンネル割当てを効率化できる上、帯域幅の異なる複数のチャンネルを組み合わせたマルチホップ構成のネットワークを構築できる。

図 3 に TMCTP の例を示す。TMCTP では、複数の IEEE 802.15.4 の PAN をまとめて管理するスーパー PAN コーディネータ (SPC) を中心にネットワークを構築する。IEEE 802.15.4 の仕様では、個々のパーソナルエリアネットワーク (PAN) は、最初に起動されたフルファンクション端末が PAN の中で唯一の PAN コーディネータとなり、PAN の ID を決定し、PAN 全体の通信をまとめるスーパーフレームの構造を与える。TMCTP のネットワークで 1 台だけ存在し、

IEEE 802.15.4 ネットワーク以外の手段でインターネットへ接続してインターネット上にあるジオロケーションデータベースに問い合わせを行う。これにより、自身がコーディネータとなる PAN だけでなく、自身の子、孫として接続される PAN で使用するチャンネルを決定する。

図 4 に TMCTP でのスーパーフレームでの複数 PAN の収容の様子を示す。この図は図 3 のネットワーク構成に対応している。SPC が構成するスーパーフレームは  $aNumSuperFrameSlots (=16 \text{ スロット})$  を単位として構成される。スーパーフレームの冒頭で SPC はビーコンフレームを送信する。スロット時間を  $\tau$  とすると、スーパーフレームの長さ (ビーコンインターバル、BI) は  $2^{BO}16\tau$  となる。スーパーフレームのうち実際にデータの送受信がなされるのは冒頭にある活性化期間 (Superframe duration, SD) のみである。SD の長さは、 $2^{SO}16\tau$  で与えられる。TMCTP 以外の場合、SD 以外の部分は不活性期間と呼ばれ、通信には用いられない。TMCTP では、SD の直後にビーコン専用期間 (Beacon only period, BOP) が設けられている。この期間に SPC は、自身の子として接続される別のチャンネルで動作する PAN コーディネータ (PC) の使用するチャンネルに順に切り替え、各 PC が送信するビーコンを受信することで、それらが SPC によって割り当てられたチャンネルで動作していることを確認する。SPC がそれぞれの PC のチャンネルで受信する期間を専用ビーコンスロット (DBS) と呼ぶ。BOP の長さは  $2^{EO}16\tau$  で与えられる。SPC と各 PC との接続方法は、さらに PC とその子の PC との接続でも使用できる。

### 3. DR-IoT のための複数帯域幅、複数チャンネルのネットワーク構成

周波数帯域幅の異なる狭帯域チャンネルを多数用意すれば、それらを組み合わせるマルチホップのネットワーク構成をとることで、1 つの狭帯域チャンネルを使った場合よりもより大きな通信量をネットワークに収容できるほか、より広いカバレッジで端末を収容できる。ここでは TMCTP の枠組みを応用した複数帯域幅、複数チャンネルのネットワーク構成方法を示す。

#### 3.1 複数帯域幅、複数チャンネルのネットワーク構成とその効果

提案するネットワーク構成によるネットワーク収容可能通信量の増加と、より広いカバレッジを実現する例を示す。図 5 (a) はチャンネル幅  $B_0$  のチャンネルを使って、TMCTP におけるスーパーフレームを  $BO = 4, SO = 4$  で構成した例を示している。この例の場合、スーパーフレームは  $16 \cdot 2^{BO} = 256$  スロットで構成され、活性期間も同じく 256 スロットとなる。活性期間の中でデータ通信に使用できる Contention Access Period (CAP) および Contention Free Period (CFP) の長さは、活性期間からビーコンフレームの送信時間を除いた時間となる。ここでの議論では、簡単のためにビーコン送信時間を無視して 256 スロットすべてが通信に使用できると見なす。チャンネル幅が  $B_1$  の場合の伝送速度を  $b_1$ 、単純化のためチャンネルアクセス時間に伴うオーバーヘッドを無視すると、この構成で 1 スーパーフレームで収容可能な最大トラフィック  $T_{single}$  は、

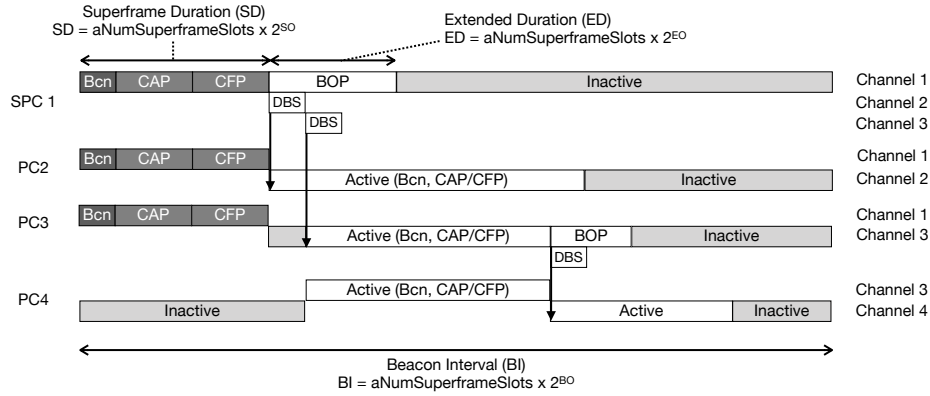


図 4 TMCTP における複数 PAN の収容  
Fig. 4 Incorporating multiple PANs in TMCTP

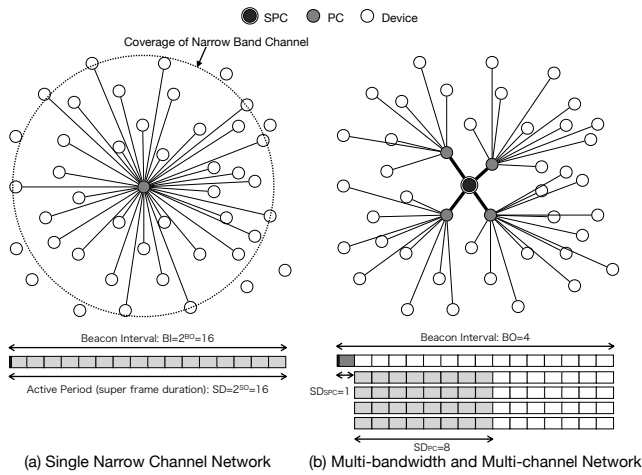


図 5 複数帯域幅のチャンネルを複数使用したネットワーク構成例  
Fig. 5 Example of a multi-bandwidth and multi-channel network

$b_1 (= (b_1 256\tau)/(256\tau))$  となる。

一方、同図 (b) のようにネットワークの中心となる端末を PC とし、それが  $M$  個 (この例では  $M = 4$ ) の PC と広い帯域幅のチャンネルで接続し、さらに各 PC が端末と狭い帯域幅のチャンネルで接続するようにすると、同図 (a) の場合よりもより多くの通信を収容できる。SPC-PC 間の通信で使用するチャンネルの帯域幅  $B_k$  を  $B_1$  の  $k$  倍とし、チャンネル帯域幅に伝送速度が比例すると仮定すると、このチャンネルの伝送速度  $b_k$  は  $kb_1$  となる。SO = 0 とすると、SPC-PC 間での通信に使用する通信の活性期間は  $16 \cdot 2^0\tau = 16\tau$  となり、1 ビーコン間隔の間に SPC-PC 間で収容可能な最大トラフィック  $T_{\text{SPC-PC}}$  は、 $kb_1/16 (= (kb_1 \cdot 2^{\text{SO}} \cdot 16\tau)/(2^{\text{BO}} \cdot 16\tau))$  となる。

SPC の子の PC と端末間の通信では、SPC のビーコン間隔から SPC-PC 間通信の活性期間を除いた期間の一部を活性期間として通信に使用できる。子の PC の PAN における活性期間の長さ  $SD_{\text{PC}}$  も SPC の活性期間の長さ  $SD_{\text{SPC}}$  と同様に  $16\tau$  の 2 の冪乗倍で与えられるうえ、BOP の間に SPC が PC でのチャンネルを切り替えて SPC が順に各 PC から DBS でビーコンを受信する必要があるため、各 PC の PAN での活性期間の長さは最大で、 $2^{\lfloor \log_2 BI - SD_{\text{SPC}} - 1 \rfloor} \cdot 16\tau$  となる。同図 (b) の場合 PC-端

末間での活性期間の長さは  $2^{\lfloor \log_2 2^4 - 2^0 - 1 \rfloor} \cdot 16\tau = 128\tau$  となる。従って、 $M$  個の PC が存在する場合には、PC と端末間の収容可能通信量の合計  $T_{\text{PC-EN}}$  は、 $Mb_1/2 (= (128\tau Mb_1)/(256\tau))$  となる。PC と端末間の通信で収容可能な通信量  $T_{\text{multi}}$  は  $\min(T_{\text{SPC-PC}}, T_{\text{PC-EN}})$  となる。

同図に従って  $M = 4$ 、さらに  $k = 64$  と仮定すると、 $T_{\text{single}}$ 、 $T_{\text{multi}}$  の値は、それぞれ  $b_1$ 、 $2b_1 (= \min(64b_1, 2b_1))$  となり、複数帯域幅、複数チャンネルのマルチホップネットワーク構成の方がより多くの通信量が収容可能であることがわかる。

SPC と端末間の最大通信可能距離は、SPC-PC 間の最大通信可能距離、PC-端末間の最大通信可能距離との和となる。PC-端末間の最大通信可能距離は、チャンネル 1 つの場合と同じである。したがって、提案する異なる帯域幅のチャンネルを複数使用したマルチホップ構成のネットワークは、単一チャンネル構成のネットワークに比べてより広いカバレッジを達成する。

### 3.2 数値例

BO、SO、SPC-PC 間のリンク速度の狭帯域リンク速度との比  $k$ 、子の PC 数  $M$  の様々な値に関し  $T_{\text{multi}}$  の値を計算した。DR-IoT の検討において、筆者らは最大チャンネル帯域幅を 400 kHz、最小チャンネル帯域幅を 6.25 kHz と想定しているため、ここでは帯域幅 6.25 kHz での伝送速度を基準として  $T_{\text{multi}}$  を示す。BO、SO の範囲は IEEE 802.15.4 に従って 0-14、0-14 (ただし  $\text{SO} \leq \text{BO}$ ) としている。

同図より、BO の大きさが変わっても、グラフの概形は大きく変わることはない。BO に対して SO を十分大きくかつ、SPC の子の PC の数を十分に大きく与えることで、ネットワークの収容可能なトラフィックは最大化できる。しかしながら BO を大きくすると、ビーコンインターバルが長くなるので、エンドエンドの遅延が大きくなるほか、チャンネル探索に伴う時間も長くなる。一方、BO を小さくすると、今回の計算では無視している BOP に伴うオーバーヘッドが大きくなる。従って、エンドエンド遅延、チャンネル探索時間に関して許容可能な範囲で BO を大きくし、十分大きな SO を与える方針が適当である。

### 3.3 SPC の不活性期間を使用したネットワーク参加管理

前節での議論により、提案するネットワーク構成では SPC-PC



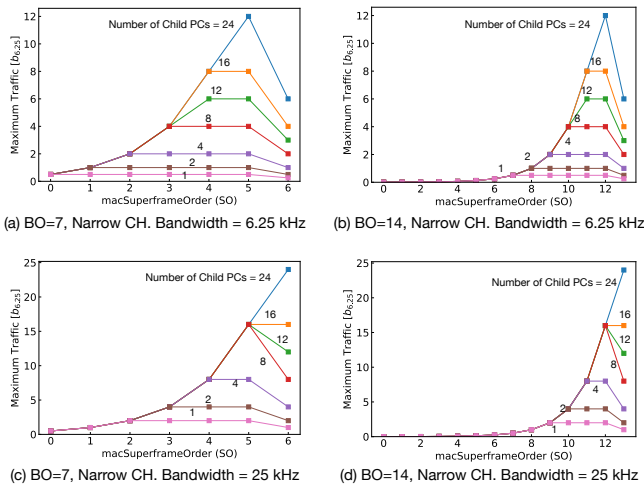


図 6 複数帯域幅、複数チャンネル構成における SO 数、PC 数とネットワーク最大収容可能トラフィックの関係  
 Fig. 6 Maximum Network Traffic Capacity vs. SO and the number of PCs in multi-bandwidth and multi-channel networks.

間のチャンネル帯域幅がより大きいほど、ネットワーク全体での収容可能通信量が大きくなるのがわかる。しかしながら、SPC-PC 間のチャンネル帯域幅が大きいと、このチャンネルでの通信可能距離が短いために、図 5 (a) の端に配置された端末のように PC から遠く離れた端末は、適当な場所に PC が存在しないとネットワークに参加できないことになる。こうした端末をここでは孤児端末と呼ぶ。孤児端末をネットワークに収容するために、本稿では、図 7 のように、SPC が使用するスーパーフレームの不活性期間の間に狭帯域幅のチャンネルを使用することを提案する。このチャンネルのことを本稿では基本チャンネル (basic channel) と呼ぶことにする。基本チャンネルで動作する PAN を使うことで、孤児端末の収容の他、チャンネル探索処理時間の短縮、PC の負荷分散が可能となる。

SPC は、自身の本来の不活性期間の一部を使って、スーパーフレームを構成し、基本チャンネルの PAN 上で通信を行う。SPC は基本チャンネルで動作するスーパーフレームの先頭のスロットでビーコンを送信し、その残りの期間の一部を CAP、CFP として利用する。

基本チャンネルを使用したネットワークの構成手順を以下に示す。新規に参加する PC および端末は、既知の基本チャンネルのリストに基づいて、基本チャンネルで SPC からのビーコンの受信を試みる。新規参加端末が探索すべきチャンネルは基本チャンネルのリスト内のものに絞られるので、使用可能なチャンネル数が多くても、チャンネル探索処理時間は短く保たれる。基本チャンネルのどれかで自身が所望する SPC からのビーコンを受信することができれば、新規参加端末は、その基本チャンネルで動作する PAN に参加し、SPC にネットワークへの参加を通知する。その後、新規端末は SPC からより適切な接続先の PC に関する接続情報 (つまりチャンネル番号) を通知してもらう。この接続先の候補には、SPC が主として使用するより広帯域のチャンネルも含まれる。

接続先の候補の PC の選択の方法としては、以下が考えられる。

【全候補通知型】 SPC は、SPC に接続している PC 全ての使用チャンネルを通知する。端末は一つずつチャンネルを変更しながら各 PC との接続性を調べ適当な PC を選択する。PC が自身の負荷に関する情報を端末に通知すれば、端末は自身の接続性と PC の負荷分散を両立できる。

【推薦型】 SPC は、端末からの情報と自身の保有する情報に基づいて、端末の接続性と PC の負荷分散を両立できるような PC を 1 つないしは複数選択し、それらのリストを端末に通知する。端末はリスト内の PC に対して接続性を調べ、適当な PC を選択する。SPC による PC と端末の接続性の評価の方法としては、それらの位置座標を用いることが考えられる。PC と端末が SPC との通信時に自身の位置を通知しておくことで、端末に対してより地理上の距離が短い PC を推薦できる。端末は距離が近い PC から順に接続性を確かめ、接続できたものを介してネットワークに参加する。

なお、いずれの方法を使ったとしても、端末が PC に接続することができない場合がある。この場合、端末は再度基本チャンネルに接続してネットワークに参加する。

新規参加端末が PC となる機能をもつ場合、その端末は SPC にその旨を通知する。SPC は必要に応じて、この PC の候補に対して自身の子として PC になることを指示する。このとき、SPC はその PC 候補に対し、SPC-PC 間の広帯域のチャンネルの番号と、その PC の候補が PC として使用すべきチャンネル番号のリストを渡す。PC の候補は、SPC-PC 用のチャンネルで受信を試みてそのチャンネルでの SPC との接続性を調査する。また、渡されたリスト上のチャンネルに対して順に受信を試みて、チャンネルの使用状況を確認し、未使用のチャンネルを選択する。PC の候補は、SPC との接続性があり、自身が PC として使用できるチャンネルが選択できたならば、SPC-PC 間のチャンネルを介して SPC と接続し、自身が PC として使用するチャンネルの選択結果について通知する。

### 3.4 基本チャンネルを用いない場合の PC への接続方法

基本チャンネルを使用しない場合、新規参加端末は SPC-PC 間の広帯域チャンネルを介して SPC に接続できない場合、多くのチャンネルの候補の中からひとつずつ PC が動作しているチャンネルを探索する必要が生じ、ネットワークへの接続確立までの時間が長くなってしまふ。探索対象のチャンネル数を何らかの方法で絞り込むことができれば、接続確立までの時間を短縮できる。一つの方法として、SPC、PC の使用するチャンネルの候補を位置情報に紐付けておくことが考えられる。ネットワーク参加端末は、位置とチャンネル候補の対応データを予め配布されているものとし、自身がネットワークに参加するときには、このデータと自身の位置に基づいて探索するチャンネルを絞り込む。

## 4. フィールド実験

DR-IoT を用いた通信の実現可能性を検証するため、高知県香南市において、フィールド実験を実施した。実験システムの

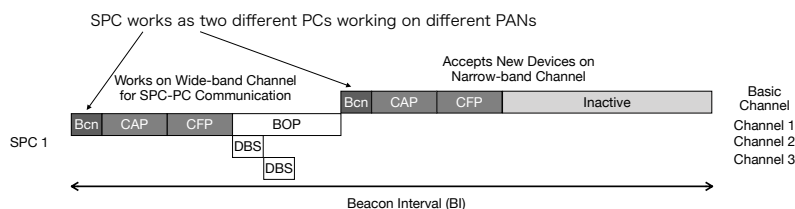


図 7 SPC の不活性期間を使用したネットワーク参加管理

Fig. 7 Using the inactive period of SPC for accepting new devices.

表 1 実験諸元

Table 1 Experiment setup

	Narrow Channel	Wide Channel
Channel Spacing	6.25 kHz	400 kHz
Data Rate	4.8 kbps	320 kbps
Center Freq.	210 MHz	
Modulation	2-FSK	
Modulation Index	0.5	
Tx Power	80 mW	
Antenna	Non-radial 2/λ Whip	
	2.15 dBi	
Packet Length	100 bytes	



図 8 実験の様子

Fig. 8 Field Experiment

諸元を表 1 に示す。また、実験の様子および、移動端末が受信した受信信号強度の一例をそれぞれ図 8、図 9 に示す。この実験では図 9 に示す同心円の中心に配置した送信端末から定期的に 100 バイトのパケットを送信し、自動車に搭載した移動端末で受信した。同図では受信成功時の信号強度が強い地点を赤、弱い地点を青で示し、受信はしたものの誤りによって破棄した地点を黒で示している。地形に伴う遮蔽の影響が少ない箇所では、400 kHz のチャンネル幅の場合は 2 km 程度、6.25 kHz のチャンネル幅の場合は 7 km 程度の地点で受信が成功している。これより、DR-LoT で想定する周波数帯および変調方式 (2-FSK) において、異なる帯域幅のチャンネルを複数利用して、ネットワーク収容トラフィックとカバレッジの拡大を同時に実現できる見込みが得られた。

## 5. おわりに

本稿では VHF 帯で準狭帯域の複数帯域幅のチャンネルを多数使用する無線通信システム DR-LoT に関し、IEEE 802.15.4 の TVWS 用途の複数チャンネルネットワーク TMCTP の枠組みを基本としたチャンネルアクセス制御方式の設計について提案し、数値シミュレーションによりピーコン間隔、活性期間の制御パ



(a) 6.25 kHz 幅チャンネル



(b) 400 kHz 幅チャンネル

図 9 DR-LoT 通信での受信成功地点 (送信電力 80 mW)

Fig. 9 Successful packet reception points in DR-LoT communication (TX Power 80 mW).

ラメータ、SPC の子の PC 数の選択方針を示した。また、SPC の不活性期間を用いてネットワーク参加時のチャンネル探索期間を短縮する方法を示した。また、VHF-High 帯でのフィールド実験結果を示し、DR-LoT による複数帯域幅、複数チャンネルのネットワーク構成でネットワーク収容可能トラフィックの増大とカバレッジの拡大を同時に達成できる見通しを得た。今後、ネットワークの構成方法の詳細について検討を進め、複数帯域幅、多チャンネルの構成でのネットワーク実現を目指す予定である。

**謝辞** 本研究開発は総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 SCOPE (受付番号 JP225006003) の委託を受けたものです。

## 文 献

- [1] 大和田, 高井, 梶田, 井家上, 石原, 加藤, 山本, 災害対応 IoT (Disaster Response IoT: DR-LoT) 無線システムの検討, 信学技報, vol.121, no.333, SeMI2021-79, pp.109-113, 2022.
- [2] 加藤, 石原, 井家上, 山本, 梶田, 高井, 準狭帯域無線システム DR-LoT の提案, 情処研報, vol.2022-MBL-105, no.16, 2022.
- [3] IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks, IEEE Std 802.15.4-2020, 2020.
- [4] In Jang and Kwang-il Hwang, Multi-channel cluster PAN for TVWS band, ICNC2014, pp. 1076-1080, 2014.