

複数帯域幅・多チャンネルを想定した IEEE 802.15.4 広域データ 収集ネットワークにおけるチャンネル割り当て方法

梅本 亮佑[†] 浅野 心夏[†] 加藤 新良太^{††} 高井 峰生^{†††} 石原 進[†]
[†] 静岡大学 ^{††} (株) スペースタイムエンジニアリング ^{†††} 大阪大学/UCLA

1 はじめに

筆者らは災害発生時の自営網によるデータ収集を目的として、VHF 帯における災害対応デジタル無線システム DR-IoT (Diversified-Range/Disaster-Response IoT) の開発を進めている [1][2]。本システムは 6.25 kHz から 400 kHz の複数の帯域幅をもつチャンネルが多数存在する環境下における IEEE 802.15.4 のビーコンベースネットワークを想定している。広帯域のチャンネルでは通信速度は速いが、通信可能距離は短くなる。一方で、狭帯域のチャンネルでは通信速度は遅いが、通信可能距離は長くなる。本稿では、このような複数の帯域幅を持つ多チャンネル環境のもとで、周波数帯域幅を効率的に利用することによるネットワーク収容可能トラフィックと最大カバレッジの増大を目指し、IEEE 802.15.4 の TMCTP (TV White space Multichannel Cluster Tree PAN) を拡張したマルチホップ構成におけるチャンネル割り当て方法を提案する。

2 TMCTP の概要

多数の帯域幅の異なるチャンネルが利用可能な状況の下で、ある無線機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に参加したりするためには、それぞれのチャンネルの状態を確認する必要がある。TV ホワイトスペース (TVWS) ネットワークは、ジオロケーションデータベース (GDB) にテレビ用周波数の時間・地理的な空き情報を問い合わせることにより利用可能な周波数帯と周波数チャンネルを割り当てる仕組みである。IEEE 802.15.4 では TVWS を使って、複数のチャンネルにまたがったクラスターツリー型の PAN (TMCTP) を構成する仕様を含んでいる。図 1 に TMCTP の例を示す。TMCTP では 1 つのチャンネルのパーソナルエリアネットワーク (PAN) の管理者である PAN Coordinator (PC) に加え、それらが使用するチャンネルを割り当て管理する Super PAN Coordinator (SPC) が存在する。SPC はグローバルなインターネット経由で GDB に問い合わせ、利用可能なチャンネルを調べる。その後、ネットワークに新規参加してきた PC に使用すべきチャンネルを割り当てる。

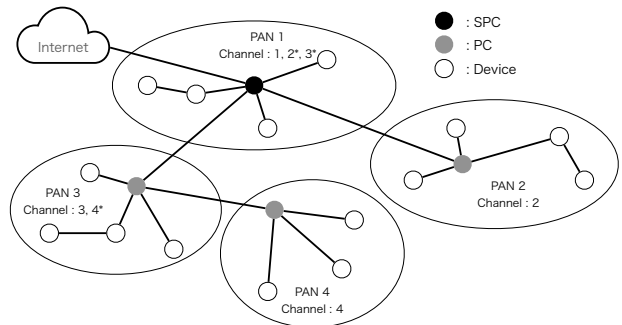


図 1 TMCTP の例

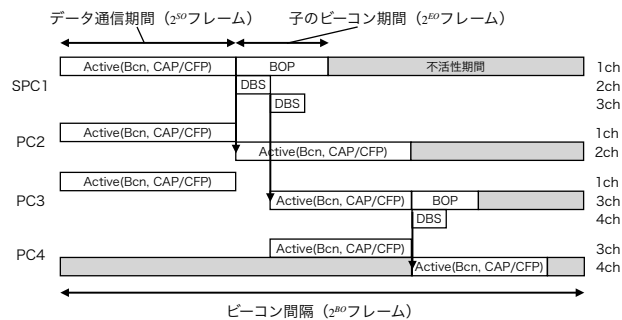


図 2 TMCTP におけるスーパーフレーム構成

TMCTP はタイムスロットベースで各無線機が通信を行う。図 2 に TMCTP でのスーパーフレーム構成を示す。一般的に、16 スロットで 1 フレームを構成し、SPC や PC は自身の PAN の収容無線機数や通信の頻度などによってビーコン間隔 ($BI = 2^{B0}$ フレーム) を決定し、そのビーコンを基準に PAN のスーパーフレームが開始される。スーパーフレームは通信などを行う活性期間 ($SD = 2^{S0}$ フレーム) と通信を行わない不活性期間が含まれる。また、活性期間の直後には、ツリー構成における子の PC がそれぞれビーコンを送信する期間 (2^{E0} フレーム) が設けられている。親の PC はこの期間に正しくビーコンを受信できるかどうかを確認する。

DR-IoT では、TMCTP のネットワーク構造とタイムスロットベースの通信を基に 6.25 kHz から 400 kHz の複数の帯域幅をもつ多数のチャンネルを用いてネットワークを構成する。

3 チャンネル割り当ての戦略

DR-IoT では 6.25, 25, 100, 400 kHz の帯域幅のチャンネルが多数あることを想定している。これらのチャンネルを組み合わせることでマルチホップのネットワークを構成することで、この

Channel allocation method for IEEE 802.15.4 wide-area data acquisition networks assuming multiple bandwidths and multiple channels

Ryosuke UMEMOTO[†], Shinka ASANO[†], ARATA Kato^{††}, Mineo TAKAI^{†††}, Susumu ISHIIHARA[†]

[†]Shizuoka University ^{††}Space-Time Engineering Japan, Inc.

^{†††}Osaka University, University of California, Los Angeles

ネットワークは1つのチャンネルのみを使用した場合に比べ、ネットワーク収容可能トラフィックの増大と、広いカバレッジを達成する。以下、DR-IoTにおけるTMCTPの仕組みを応用したチャンネル割り当て戦略を示す。

TMCTP同様にSPCは未使用のチャンネルを子の各PCに中央集権的に割り当てる。チャンネルの帯域幅が大きいほど、収容可能なトラフィックは大きくなるが一方で、通信可能距離は短くなる。したがって、SPCは各無線機のおおよその位置情報を把握し、カバレッジと収容トラフィックを考慮して、チャンネルをPCに割り当てる。また、必要に応じて新たなPCの追加チャンネル割り当てを行う。このためにSPC、PC、各無線機は定期的にそれらの位置、トラフィック量の情報を交換する。

新規端末や通信データ量の増加に伴い、あるチャンネルのPANにおけるトラフィックが混雑してきている場合を考える。1つのPANでマルチホップ構成でなければ、そのPANのPCは活性期間におけるトラフィック量を知ることができ、その情報をSPCに伝えることが可能である。その情報を知り、トラフィック過多であると判断したSPCは、そのPAN内に存在する通常の無線機の中からPCとして機能できる端末に対し、SPCは利用可能なチャンネルを割り当て、新たに別のPANを作ることでトラフィックを分散する。

4 収容トラフィックと最大カバレッジの計算

DR-IoTでの与えられた周波数帯域幅の中で異なる帯域幅のチャンネルが多数含まれている場合のネットワーク収容可能最大トラフィックと最大カバレッジに関して数値シミュレーションを行った。ここでは600kHzの帯域幅が与えられているものと仮定して議論する。

6.25kHzの周波数帯域幅でTMCTPにおけるフレームの1スロットあたりの最大トラフィックを $b_{6.25}$ とする。チャンネル帯域幅に伝送速度が比例すると仮定すると、チャンネル帯域幅が6.25kHzの k 倍のとき、1スロットあたりの最大トラフィックは $kb_{6.25}$ となる。簡単のためにビーコン送信時間を無視すると、6.25kHzの k 倍のチャンネル幅で活性期間が1フレーム($SO=0$)の時、最大トラフィックは $16kb_{6.25}$ となる。また、複数のチャンネルで同時にデータ通信が可能であり、6.25kHz幅の n 個のチャンネルで1フレームの間、同時に通信を行うと最大トラフィックは $16nb_{6.25}$ となる。

次に、DR-IoTにおける最大カバレッジを計算する。チャンネルの周波数帯域幅が狭くなるほど、通信可能距離は長くなる。ここで、400kHz幅のチャンネルのカバレッジを L_{400} とし、カバレッジがチャンネル帯域幅の2乗に反比例すると仮定すると、チャンネル帯域幅が400kHzの $1/l^2$ 倍の時、カバレッジは lL_{400} となる。DR-IoTでは帯域幅の異なる複数チャンネルを用いたマルチホップ構成でネットワーク構成を想定している。例えば、2ホップのネットワークでSPCのPANのチャンネルが400kHz幅、それに接続されている各PCのPANのチャンネルがそれぞれ6.25kHz幅であるとするならば、最大カバレッジは $L_{400} + 8L_{400}$ となる。

DR-IoTにおける600kHzの帯域幅の範囲内でチャンネルを組み合わせてマルチホップするネットワークでの最大カバレッジと収容可能トラフィックの関係を図3に示す。ここで

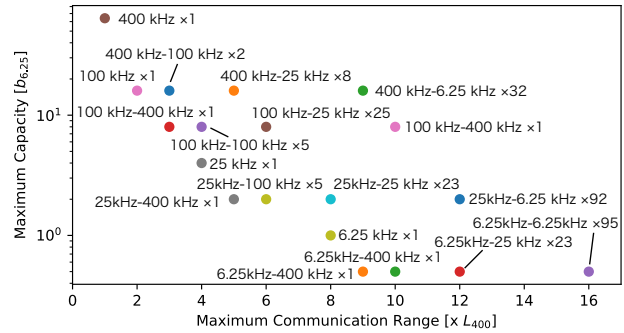


図3 最大カバレッジと収容可能トラフィックの関係 (BO=5)

はホップ数は2までとし、SPC-PC間のPANは1つ、PCとエンドデバイス間のPANは600kHzの帯域幅の範囲内で用意できる可能な限りのチャンネル数と同数存在できると仮定する。また、各PCに接続された無線機がすべてSPCに向けてデータを送信すると仮定する。この時の最大収容可能トラフィックとネットワークの最大カバレッジを調べた。

図3の縦軸は1スーパーフレームあたりの最大収容可能トラフィック($16knb_{6.25}/16 \cdot 2^{BO}$)を表しており、横軸はチャンネル帯域幅の組み合わせによる最大カバレッジを表している。収容可能トラフィックはSPC-PC間の伝送速度とPC-エンドデバイス間の合計の伝送速度のうち、収容可能トラフィックが最大となる時の値とその時の最大カバレッジをプロットしている。1つのチャンネルのみの利用に比べ、2ホップでチャンネルを組み合わせて利用したネットワークを構成する方がカバレッジに対してより良い最大収容トラフィックが得られる。また、PC-エンドデバイス間の使用チャンネルが狭帯域であるほどより良い最大収容トラフィックが得られる。

5 まとめ

本稿ではVHF帯における災害対応デジタル無線システムDR-IoTを基に、ネットワーク収容トラフィックの増大とカバレッジの拡大を目的として、帯域幅の異なる多数のチャンネルにおけるチャンネル割り当て戦略を提案した。また、数値シミュレーションにより、最大収容可能トラフィックと最大カバレッジの計算を行った。多数の狭帯域チャンネルを適切に配置することでカバレッジに対してより良い最大収容トラフィックが得られることがわかった。今後、具体的なチャンネル割り当て手順の詳細について検討を進める予定である。

謝辞

本論文の成果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。

参考文献

- [1] 大和田. 他, 災害対応 IoT (Disaster Response IoT: DR-IoT) 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. 他, 準狭帯域無線システム DR-IoT 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).