Vol.2014-MBL-73 No.28
Vol.2014-ITS-59 No.28
2014/11/21

密に設置されるITS路側機群の運用シナリオに適した無線相互干渉調停アルゴリズム

山口 弘純[1]　廣森 聡仁[1]　東野 輝夫[1]　梅原 茂樹[2]　齊藤文哉[2]　浦山 博史[2]　山田 雅也[2]　前野 誉[3]
金田 茂[1,3]　高井 峰生[1,4]

概要：我々の研究グループではこれまでに，無線基地局が密に設置された地理空間において，無線資源の高い利用効率と，資源管理の容易性を両立させる空間再利用型時分割多重アクセス（STDMA）スケジューリング技術を開発している．その手法では，地理空間を等サイズのセルにグリッド分割し，基地局のおおよその最大干渉距離の見積りをもとに，基地局の存在およびその位置に関わらずセル間の（潜在的な）干渉を決定する．規則化された空間において，同様のセル間干渉パターンが規則的に繰り返し出現する状況において（一定の条件を満たす場合に）地理座標に対して規則的であり，かつ必要資源数がなるべく少ない資源割り当てを実現する．本稿では，上記のアルゴリズムを拡張したいくつかのアルゴリズムについて，760MHz 帯における路車間通信用の ITS 路側機を対象とし，それらの現実的なリソース要求および追加・除去シナリオのもとでの性能評価を行った．その結果，貪欲割当と比較し少ない資源総数および資源割当の変更数で割当を実現でき，そのようなシナリオのもとでも良好な性能を達成できることが確認できた．

キーワード：空間分割スケジューリング，無線干渉，基地局設置

1. はじめに

車両交通網では，路肩に設置される基地局（ITS 路側機）と車両（車載通信機）間の無線通信（路車間通信）が実用段階に入っており，交差点における右左折時の衝突防止のために ITS 路側機から車両へ交差点周辺の歩行者及び車両の存在を通知できるよう，交差点毎に ITS 路側機を設置することなどが検討されている [1]．路側機は例えば半径が数百 m 程度のスポットに関する情報（例えば前述のような各交差点固有の情報）をそのスポットを通過する車両のみに配信するため，スポット毎に基地局を路側に設置する．しかしそのように面的に多数配置された短距離無線通信機（以下，単に基地局とよぶ）が互いに同じ周波数帯を用いる場合，基地局間の無線通信干渉が課題となる．

無線通信では受信電波の品質を表す SIR (Signal-to-Interference Ratio) あるいは、DUR (Desired sinal-to-Undesired signal Ration) が一定の閾値を満たす必要があるが，非希望波は希望波より少ない電力でも希望波に干渉を与えるため，干渉距離は通信距離よりも大きい場合が多い．本稿で扱う道路情報配信サービス用の路側機では，通信サービスを提供したい距離を路側機から半径 240m，受信可能な SIR 下限を約 20dB，電波伝搬損失モデルとして 760MHz 帯における ITU-R P.1411-1 勧告 [2]（ビル街など屋外都市環境における電波伝搬損失モデル）を利用し，図 3(a) の大阪市中央部の主要道路交差点ごと（約 400m 間隔）に設置することを考えた場合，おおよそ周辺 2 つから 3 つ程度の交差点に干渉を与えることがわかっている．

セルラー網では類似の問題が古くから知られており，非干渉セル間でアクセス時間や周波数帯を共有する空間再利用型の多重接続により相互干渉解消を図る方法などが提案されている．しかし既存手法のほとんどは，多数の基地局同士の相互干渉が複雑に発生するような面的かつ高密度な展開は想定していない．また無線ネットワークではすべての干渉関係が得られると仮定し，それらを干渉グラフなどで表現し，最小彩色問題のアルゴリズムなどを用いて空間再利用時分割・周波数分割スケジューリングを決定する方法も多く研究されてきているが，複数のプロバイダや個人が個別に基地局を設置する場合などでは相互干渉関係の正

[1] 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
[2] 住友電気工業（株）
Sumitomo Electric Industries, LTD.
[3] スペースタイムエンジニアリング
Space Time Engineering
[4] カリフォルニア大学ロサンゼルス校
University of California, Los Angeles

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

確な情報は得られないことが多い．さらに同様の理由から基地局間の協調も期待できず，自律分散調停アルゴリズムの適用も現実的ではない．

これに対し，著者らは文献 [3], [4] において，無線基地局が密に設置され，将来において追加的に設置されていくような地理空間環境において，資源割り当て管理が容易で，高い資源利用効率を達成する空間分割スケジューリング技術を提案している．同手法では，地理空間を等サイズの矩形セルに分割し，基地局のおおよその最大干渉距離の見積りをもとに，基地局の存在およびその位置に関わらずセル間の（潜在的な）干渉を決定する．そのように規則化された空間において，同様のセル間干渉パターンが規則的に繰り返し出現する状況において（一定の条件を満たす場合に）ほぼ最適でかつ規則的な資源割り当てを実現するアルゴリズムを開発している．これにより，各セルの基地局が利用可能な資源が，その設置座標から一意に決定できる利点がある．

この手法では比較的一様に分布する基地局に対し，資源利用数の最適性と割り当ての規則性，資源管理の容易さが保証されるが，現実の路側機普及シナリオや路側機設置のポリシーに対する性能が明らかにされていなかった．そこで本稿では，我々が提案してきた無線資源スケジューリング手法に基づき，現実的な路側機の設置シナリオにおける観点からいくつかの派生スケジューリング手法を開発する．具体的には，路側機を 2 種別（幹線道路用および一般道路用）に分類し，種別に依存した様々な設置順や資源割当て量の方針の組み合わせで複数の設置シナリオを設計し，それらに派生スケジューリングを適用した場合の資源割り当て数や管理コストを評価した．その結果，貪欲割当と比較し少ない資源総数および資源割当の変更数で割当を実現でき，そのようなシナリオのもとでも良好な性能を達成できることが確認できた．

1.1 関連研究

無線ネットワークにおける TDMA スケジューリング技術は従来より多数提案されてきている [5], [6], [7]．文献 [8] では無線マルチホップネットワーク向け TDMA スケジューリング技術が提案されており，文献 [9] では干渉関係を完全に把握することで，空間再利用時分割スケジューリング (Spatial Reuse TDMA (STDMA)) の効率が向上することを示している．文献 [10] では，無線メッシュネットワークにおける STDMA スケジューリングを多項式時間で求めるアルゴリズムを提案している．STDMA スケジューリングは地理的に離れた互いに干渉しない地域で周波数の再利用を行う技術であり，提案手法もこのカテゴリに属する．これらの既存手法は密で複雑な干渉関係に対する解法を与えていない点で提案手法とは目的が異なる．なお，セルラー網の資源割当も本質的には同質の問題であるが，距離に基づく単純な干渉のみを想定しているケースがほとんどである．

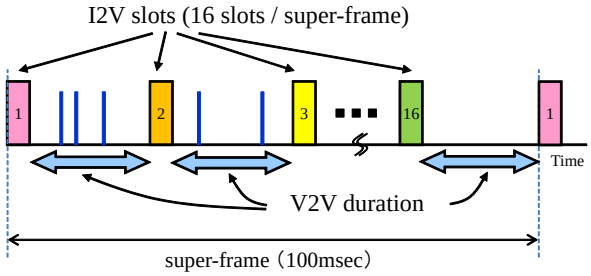


図 1 100ms super-frame における I2V スロットと V2V 通信期間 [12]

Fig. 1 I2V slots and V2V duration with 100ms super-frame [12]

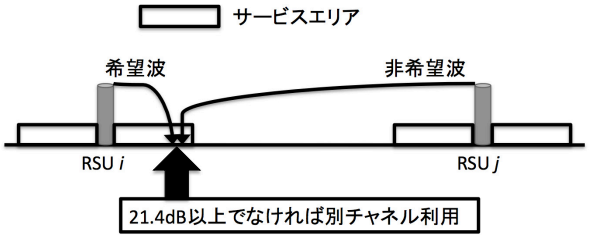


図 2 希望波と非希望波 (DUR)

Fig. 2 Desired signal and undesired signal (DUR)

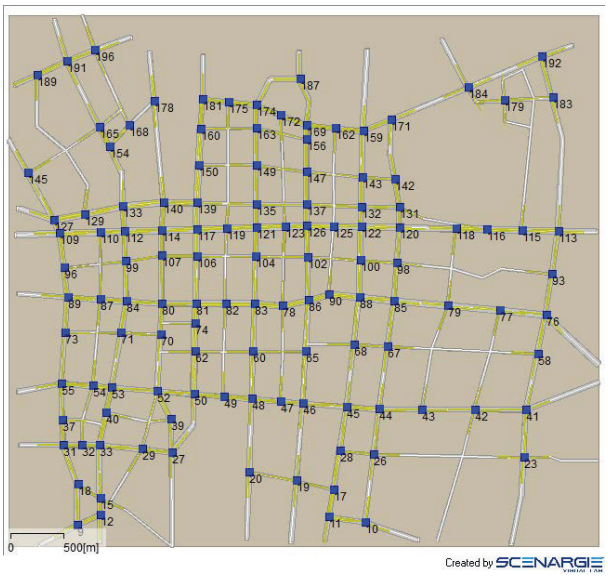
近年，整列した無線ノードを想定したベクトルモデルによる被覆アルゴリズムが提案されている [11]．このアルゴリズムは，本稿で提案する VC アルゴリズムと類似したものであるが，理想的なノード整列環境を想定したもので，適応先が限定的である．一方，提案するアルゴリズムは，任意の干渉形状を対象し，かつアルゴリズムの正当性を示しており，より実用的なアルゴリズムとなっている．また，多数の基地局に対し，一括して資源割当を導出するだけでなく，新たな基地局を加える際に，既に資源割当された基地局になるべく影響を与えないよう，資源割当を導出する手法を提案しており，基地局の運用を考慮した点でも既存研究とは大きく異なる．

2. ITS における路側機配置設計

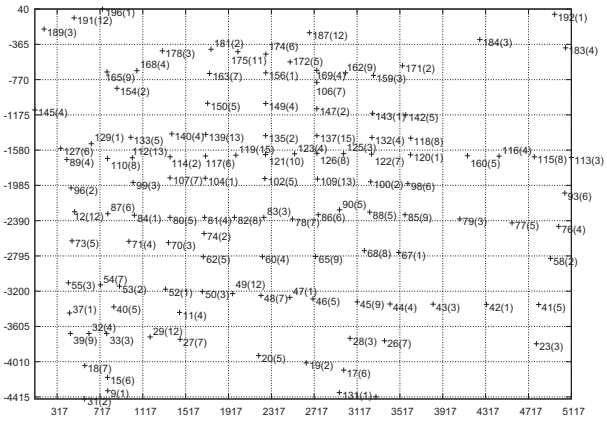
2.1 路側機配置設計にかかる背景

路車間・車車間通信による安全運転支援通信システムの開発が世界各地で行われている [1], [13], [14]．日本では，ETC など ITS 用周波数帯として 5.8GHz 帯が主に用いられており，この周波数を用いた車車間通信の検討も行われている．一方，地上アナログテレビジョンのデジタル化に伴う周波数の再分配において，760MHz（帯域幅：10MHz）が高度道路交通システム用に割り当てられた．従来の 5.8GHz より周波数が低いため，特に市街区における見通しの悪い場所（ビル街など）における電波の回折到達

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan



(a) 路側機（121 機）の配置



(b) 路側機への資源割当（13 資源）

図 3 大阪市中央区の 5km×5km 区画における路側機配置と資源割当

が期待できるため車両にサービスを提供できるエリアを拡大でき，路側機が交差点付近に位置する車両の存在を通知する，個々の車両が周辺車両間通信により直接位置走行情報を交換するなど，安全系サービスへの応用が期待される．その一方で，帯域幅が 5.8GHz 帯の約 7 分の 1 に限定されることから，限られた帯域をなるべく効率よく利用し，路車間，車車間通信を含む通信効率を向上させることが望ましい．これには一定間隔で情報発信する（多数の）車両からの通信が路側機から車両へのブロードキャスト通信に与える干渉を避けることと，路側機間の干渉を避けることが重要となる．

これに対し，電波産業会の ARIB 標準規格において，路車間・車車間通信を時分割する方法が規格化されている [12]．この手法では ITS 路側機，車両のデータ送信周期（通常 100ms）を基準に，100ms を 1 つの通信フレームとして，フレームを路車間通信用，車車間通信用に時分割する．具体的には，ITS 路側機はフレーム中に最大 16 個配置できる路車間通信期間（路車間通信スロットとよぶ）を使用して TDMA により路車間通信を行い，車両はそれ以外の期間を CSMA により車車間通信を行う (図 1)．このとき，ITS 路側機が路車間通信を行う際に路車間通信期間を通知することで，車両が路車間通信期間の使用有無を把握できる．しかし通信フレームのうち，車両は路車間通信期間を除いた残りの期間で車車間通信を行うため，車車間通信に十分な通信資源を提供するためにはなるべく路車間通信期間を短くできることが望ましい．路側機は一般に交差点付近に設置されることが多いが，特に都市部では，道路の密度が高い（多くの交差点が存在する）ことから，単純な TDMA スケジューリングでは路車間通信期間が増大しがちである．これを避けるためには，空間分割に基づき干渉しない路側機が同スロットを用いるような時分割スケジューリングが望まれる．

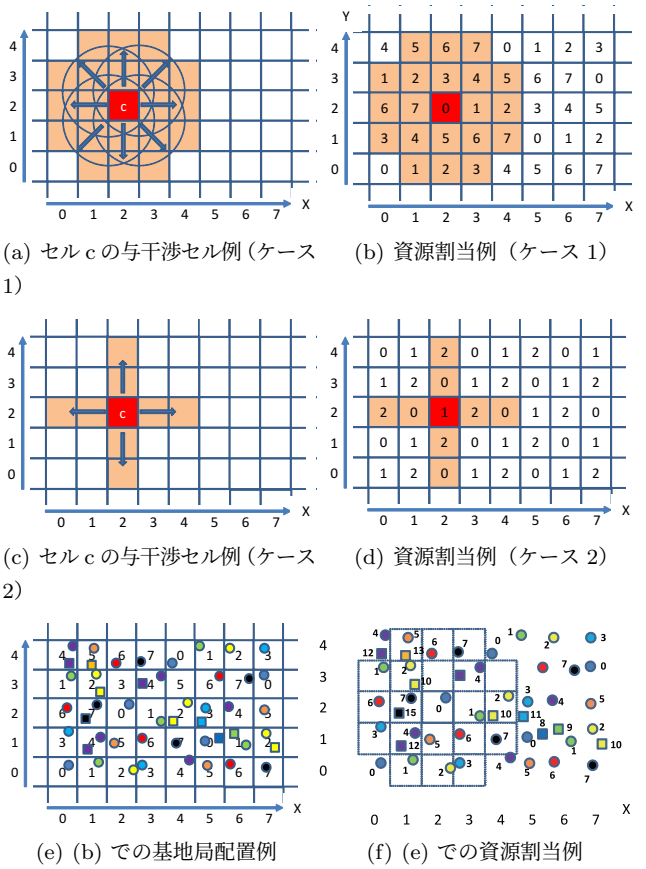
2.2 路側機の時分割スケジューリング

以下，路側機を Roadside Unit（RSU）とも表記する．路車間通信期間と車車間通信期間をあわせた周期（通信フレーム）は 100ms であり，このスロット先頭から Z スロット（最大 16 スロット）が路車間通信用として割り当てられるものとし，各路側機はそれらの路車間通信スロットのうちいずれかを利用する．

路側機は交差点に設置するものとし，交差点のサービスエリア（路側機からの交差点情報が提供されるべき範囲）は，交差点の周辺道路 240m に設定されているものとする．ここで，近隣の路側機同士が同じ路車間通信スロットでそれぞれ別のサービスエリアに対してサービスを提供している場合，それが発する電波信号は，互いに干渉波となる．これを考慮した場合，サービスエリア内の各地点において復号可能受信レベル（最低受信感度）を満たし，かつ所要希望波対非希望波率（以下，所要 DUR）にフェージングマージンを加えた値があるしきい値を越えることが条件となる．ここで，所要 DUR およびフェージングマージンの閾値は，実際にサービスを想定する環境に合わせて設定すべき項目であるが，本研究では所要 DUR を 14dB，フェージングマージンを 4.4dB，非希望波を送信する RSU が複数ある場合の影響を 3dB と定める [15], [16], [17]．以上より，各 RSU は自身が担当するサービスエリアの全ての地点で DUR を 21.4dB 確保することを条件とする．このもとで，ITU-R P.1411-1 勧告の電波伝搬損失モデルに従い，かつある路側機が設置された交差点を中心とした 230m から 240m 程度をその路側機のサービスエリアとした場合，干渉を与える路側機は少なくとも 750m 程度離れていなければならないことが計算できる．図 2 に干渉の概念図を示す．

以上の条件のもとで，例えば図 3(a) のような大阪市中央区の 5km × 5km 程度の領域に路側機を配置することを考える．すべての路側機が一時期に配置される状況は考えに

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan



(a) セル c の与干渉セル例（ケース 1）　(b) 資源割当例（ケース 1）

(c) セル c の与干渉セル例（ケース 2）　(d) 資源割当例（ケース 2）

(e) (b) での基地局配置例　(f) (e) での資源割当例

図 4　セルの与干渉と（セルへの）資源割り当て例

くいため，配置順として幹線道路が優先されたり，あるいは幹線道路，一般道路を問わず交通集中する地域が優先されたりする状況が想定される．また，特に交通量の多い幹線道路は車両数が多く，資源割当てを多くする必要が生じる可能性もある．さらに，既設の路側機が存在する中で新しい路側機が設置されれば新たに干渉関係が生じるため，既設の路側機の資源割当変更を許しながら路側機全体に再割当を適用するか，あるいは既設の路側機と干渉しないような新規路側機への割当を決定するかの選択肢もある．こういった様々な状況に対するシナリオを設計し，文献 [3], [4] で提案したアルゴリズム（Vector Cover アルゴリズム，以下 VC アルゴリズム），貪欲法である SG（Station-Greedy）アルゴリズム，およびそれらの組み合わせ（階層化アルゴリズム）を適用した際の性能評価と分析結果を述べる．

2.3　VC アルゴリズムの概要

提案手法では，領域 P をいわゆるメッシュ状に分割して等サイズのセル集合 C を得る．このもとで，セル内に基地局が実際に存在するか否か，また何機が存在するかに関わらず，どの地点に基地局が存在したとしても，それらの干渉関係を包含するようなセル間干渉関係 $\mathcal{I}_c : C \to \mathcal{P}(C)$ に置き換える．これにはある与干渉モデルを想定した上で見積りを行う．例えば 2 地点 p，p' 間のユークリッド距離 $d(p,p')$ が一定値 L 以下かどうかで干渉関係の有無を決定するような単純な与干渉モデルでの見積りを行う場合は，

$$\forall p, p' \in P \;\; d(p,p') \le L \\ \Rightarrow \mathcal{C}(p') \in \mathcal{I}_c(\mathcal{C}(p)) \wedge \mathcal{C}(p) \in \mathcal{I}_c(\mathcal{C}(p')) \qquad (1)$$

なる干渉関係 $\mathcal{I}_c$ を用いればよい（ただし，$\mathcal{C}(p)$ で地点 p を含むセルを表す）．また，例えば前述の ITU-R P.1411-1 勧告 [2] に基づく電波伝搬損失モデルなど，東西南北方向の道路に沿って干渉が生じやすい場合には，例えばセル間の予想最大干渉距離を L_C とし，$\bar{d}_c(c,c')$ をセル c と c' が水平または垂直な位置関係の場合のみ 2 セル間の距離を，そうでなければ ∞ を返す関数とすると，

$$\forall c, c' \in C \;\; \bar{d}_c(c,c') \le L_C \\ \Rightarrow c \in \mathcal{I}_c(c') \wedge c' \in \mathcal{I}_c(c) \qquad (2)$$

なる干渉関係 $\mathcal{I}_c$ を用いることなどが考えられる．様々な干渉モデルについては文献 [18] などを参照されたい．

図 4 に例を示す．図 4(a) は赤色のセル c からの干渉例を表す．この例は例えば障害物のない環境で各基地局が無指向性のアンテナで送信する状況を想定しており，前節の (1) の与干渉モデルにおいて，セルサイズ 100m，干渉距離 $L = 130m$ を想定している．これに対する資源割当ての例を図 4(b) に示す．いずれのセルに着目しても，図 4(a) の干渉パターンのセルとは別の資源が割り当てられていることがわかる（資源数 $|R| = 8$）．また，図 4(c) は前節の (2) の与干渉モデルにおいて，セル間干渉最大距離 $L_C = 2$ を想定した例であり，資源割り当ての例は図 4(d) のようになる．

図 4(b) および 図 4(d) のいずれにおいても，配置は規則的であることが分かり，これらの割り当て例はいずれも（この干渉パターン例に対しては）最小の資源数を実現している．

図 4(b) の割り当てに対し，基地局の配置例を図 4(e) に示す．各セル c において，単一の基地局のみ存在する場合は $\mathcal{A}(c)$ を利用すればよく，複数の基地局の場合，セル全体に割り当てられた資源数を r ($r = 8$) で表すと，セル内の k 番目（$k = 0, 1, ...$）の基地局には $\mathcal{A}(c) + k * r$ を割り当てればよい．図 4(f) に実際の基地局への例を示す，任意の基地局について，図 4(a) の干渉を想定した割り当てをしているため，例えばセル (2,2) 内で資源 0 が割り当てられた基地局に対し，その干渉範囲内にはその資源が割当てられた基地局は存在しないことが確認できる．

2.4　SG アルゴリズム

ある基地局をランダムに初期値として選択し，すべての基地局間の干渉関係があらかじめ分かっているもとで非干渉な最近傍の基地局（セルでないことに注意されたい）をランダムに選択して同じ資源を割り当てていく方法を，非干渉基地局グリーディ割り当てアルゴリズム（Station-based

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

Greedy，以下 (SG) アルゴリズム）とよぶ．SG アルゴリズムはすべての基地局の位置やその干渉関係がわからないと利用できないアルゴリズムであり，セルとは無関係に，与えれらた状況におけるなるべく良い解を（グリーディな方法ではあるが）発見する方法である．したがって規則性は考慮されず，前述の理由から一般的な運用には望ましくない．一方で，SG アルゴリズムは基地局密度が上がれば近傍距離が最適値に近づくことが観測されているため，空間的な資源再利用効率の観点からは簡易ながら比較的高い性能を達成するアルゴリズムであると考えられる．

3. 路側機設置の運用シナリオ設計とアルゴリズム

3.1 路側機の設置区分と割当方針にもとづく基本運用パターンの設計

本稿では，前章までの議論に基づき，路側機は重要路側機および一般路側機のいずれかであるとし，重要路側機は主に幹線道路に，一般路側機はその他の一般道路に配置されるものとする．

配置と資源割当におけるポリシとして以下を考える．

(1) **既設路側機の資源割当ポリシ**：路側機を新設する場合に既設路側機の資源割当変更の可否を設定できるとする．例えばすべての既設路側機を変更可能としたり，重要および一般の種別に応じて可否を設定したり，あるいは個別の路側機毎に可否を設定するといったシナリオを想定する．

(2) **アルゴリズムの適用ポリシ**：新規割当および再割当の対象となる路側機集合をいくつかのグループに分割し，グループ毎に適用アルゴリズムを決定できるとする．本稿では重要・一般による 2 グループ分割，あるいはそれらを区別しない 1 グループ，のいずれかであるとし，これらに対し，それぞれ VC あるいは SG のいずれかを適用できるようなシナリオを想定する．

(3) **資源割当数のポリシ**：重要および一般の種別に応じて資源割当量を変えるか否かが設定できるとする．変える場合，重要に 2 スロット，一般には 1 スロットを割り当てるものとし，変えない場合はいずれも 1 スロットとする．

上記のポリシの組み合わせは図 5 に示す 4 パターン（S1 から S4）に分類できる．これらのパターンでは，アルゴリズムは既設の路側機が存在するもとでいくつかの路側機を新設する状況に対して適用することを想定しており，既設のうち一部または全部の資源割当を変更不可と指定するか否かで $S2$ と $S4$（指定可）および $S1$ と $S3$（指定不可）に分類される．また，アルゴリズムの適用ポリシについて，路側機の重要・一般をそれぞれ独立したグループとして扱うか否かで，$S1$ と $S2$（区分しない）および $S3$ と $S4$（区分する）に分類される．また「区分する」場合，重要には 2 スロットを，一般には 1 スロットを割当てる資源割当数ポリシを採用し，区分しない場合には一律 1 スロットを割当てるようにする．なお，アルゴリズムには SG と VC があるため，$S1$ および $S2$ にはいずれのアルゴリズムを適用するかでそれぞれ 2 通り，$S3$ および $S4$ には重要・一般にそれぞれいずれのアルゴリズムを適用するかでそれぞれ 4 通りがある．$S1$，$S2$ に対し，アルゴリズム $u \in \{"SG","VC"\}$ を適用するパターンを $S1(u)$ および $S2(u)$ で表し，$S3$, $S4$ に対し重要にアルゴリズム u を，一般にアルゴリズム v を適用するパターンを $S3(u,v)$ および $S4(u,v)$ で表す．

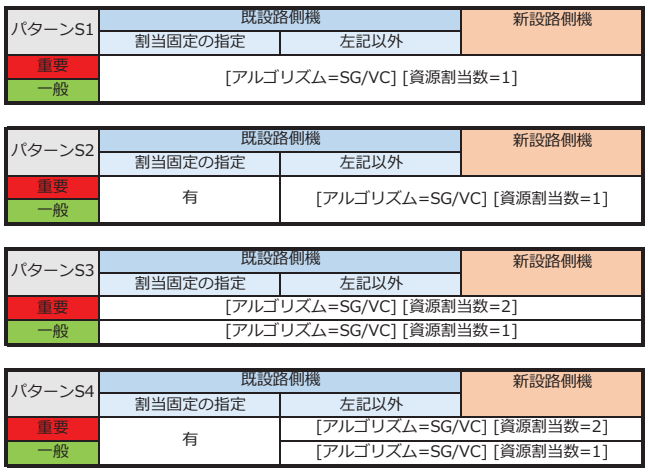


図 5 シナリオの基本パターン

したがって全体では 12 パターンとなるが，評価にあたっては以下の方針でパターン数を減らす．

- 割当固定の指定有無が運用コスト等に与える影響は，$S1$ と $S2$，および $S3$ と $S4$ の比較をそれぞれ行うことで検証できるが，基本的なパターンの $S1$ と $S2$ との比較結果をもって，同様の関係にある $S3$ と $S4$ の比較を代替できると考えられる．これに基づき $S3$ は実施しない．
- $S1$ と $S2$ の比較において，VC アルゴリズムは固定割当の指定有無にかかわらず同じ資源を割り当てるため，$S1(VC)$ と $S2(VC)$ は同じ結果となる．したがって，$S1(VC)$ は実施しない．
- $S3(SG,VC)$，および $S4(SG,VC)$ は，重要路側機はヒューリスティックに決定し，その後一般路側機に VC による規則性を保証する資源配分を行う，といったやや不自然な方針となるためこれを予め除外する．

したがって，最終的には $S1(SG)$，$S2(VC)$，$S2(SG)$，$S4(SG,SG)$，$S4(VC,SG)$，$S4(VC,VC)$ の 6 パターンを実施する．

3.2 路側機の設置世代にもとづくシナリオ設計

上記の 6 パターンに対し，路側機をどのように設置していくかの方針に沿って「設置運用シナリオ」を設計する．設置運用シナリオとは，路側機の設置順序とそれに対する

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

上記の 6 パターンのいずれかとの組で表現される．路側機の設置順序は「世代」とよぶまとまりで管理され，第 1 世代を始めとし，世代ごとにいくつかの路側機がまとめて追加配備され，必要に応じて既設の路側機が撤去される．新しい世代で路側機構成が変化するタイミングで，6 パターンのうちのいずれかのパターンによるアルゴリズム適用が行われ，資源配分が決定される．ここで増設には様々なポリシが考えられる．例えば重要路側機を重点的に配備し幹線道路の網羅性を保証してから一般路側機の配備へと移行したり，あるいは重要路側機を中心にその周辺の一般路側機を配備する方針を交通量が特に多い地域から適用していくといったことも考えられる．こういった考えうるいくつかの設置順序に対し，上記のパターンがどのように振る舞うかを検証する．

4. シミュレーション実験

前章までの議論に基づき，都市部道路における路側機設置シナリオによる性能評価を行った．交差点間隔が 300m，東西方向の直線道路，および南北方向の直線道路がそれぞれ 11 本からなる格子状道路を設定し，うち幹線道路は 900m 間隔で存在するとした（すなわち幹線道路は 3 道路毎）．各交差点に路側機を設置するものとする．設置世代は 8 世代で，重要路側機を優先する設置順（これを $O1$ で表す）および重要と一般をバランスよく設置する設置順（これを $O2$ で表す）の 2 通りでシミュレーションを行った．図 6 にそれらの設置順における世代毎の路側機数の変化を示す．電波伝搬損失モデルは ITU-R P.1411-1 勧告 [2] に従っている．

シミュレーション結果を図 7 および図 8 に示す．S1 および S2 の比較（両図 (a)）においては，SG アルゴリズムが世代を経るにしたがいスロット数が増加するのに対し，VC アルゴリズムはアルゴリズムの世代を通じて同スロット数で実現している．また，重要路側機と一般路側機の区分を行った場合（両図 (b)）においては，いずれもおおよそ同程度のスロット数であるものの，VC を利用する場合と比較し，SG を一部または全部に利用する場合においては割当変更が多く発生していることがわかる．これは SG においてはアルゴリズム内部での割当順序に割当結果が大きく影響を受けることによるものと考えられる．

いずれの場合も VC アルゴリズムを用いることが比較的良好な結果を出していることが読み取れる．

5. おわりに

著者らは文献 [3], [4] において，無線基地局が密に設置され，将来において追加的に設置されていくような地理空間環境において，資源割り当て管理が容易で，高い資源利用効率を達成する空間分割スケジューリング技術を提案している．同手法では，地理空間を等サイズの矩形セルに分割し，基地局のおおよその最大干渉距離の見積りをもとに，基地局の存在およびその位置に関わらずセル間の（潜在的な）干渉を決定する．そのように規則化された空間において，同様のセル間干渉パターンが規則的に繰り返し出現する状況において（一定の条件を満たす場合に）ほぼ最適でかつ規則的な資源割り当てを実現するアルゴリズムを開発している．これにより，各セルの基地局が利用可能な資源が，その設置座標から一意に決定できる利点がある．本稿では，このアルゴリズムをベースに，760MHz 帯における路車間通信用の ITS 路側機を対象とし，それらの現実的なリソース要求および追加・除去シナリオの元で同アルゴリズムの性能評価を行った．その結果，貪欲割当と比較し少ない資源総数および資源割当の変更数で割当を実現でき，そのようなシナリオのもとでも良好な性能を達成できることが確認できた．

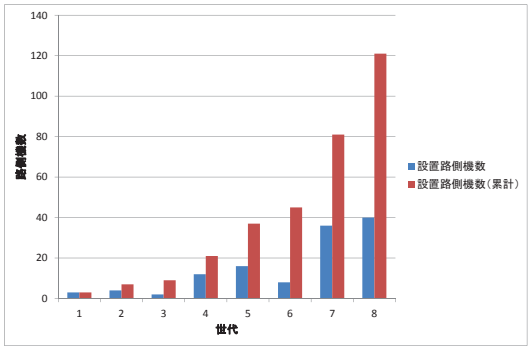
謝辞

本研究は，総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）No.145007002 の支援により実施しています．

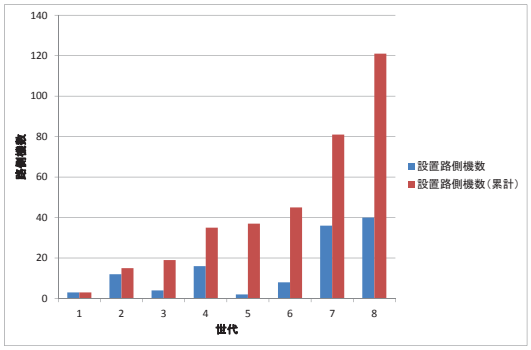
参考文献

[1] (社) 新交通管理システム協会：. http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html.
[2] Recommendation ITU-R P.1411-5: Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300MHz to 100GHz (2009).
[3] Yamaguchi, H., Hiromori, A., Higashino, T., Umehara, S., Urayama, H., Yamada, M., Maeno, T., Kaneda, S. and Takai, M.: A Novel Scheduling Algorithm for Densely-deployed Wireless Stations in Urban Areas, *Proceedings of the 16th ACM International Conference on Modeling, Analysis & Simulation of Wireless and Mobile Systems*, MSWiM '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 317–326 (online), DOI: 10.1145/2507924.2507939 (2013).
[4] 山口弘純，廣森聡仁，東野輝夫，梅原茂樹，浦山博史，山田雅也，前野　誉，金田　茂，高井峰生：密な基地局群の無線相互干渉調停のための空間分割スケジューリング技術，情報処理学会論文誌，Vol. 55, No. 2, pp. 826–837 (2014).
[5] Wieselthier, J. E., Barnhart, C. M. and Ephremides, A.: A Neural Network Approach to Routing Without Interference in Multihop Radio Networks, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42, No. 1, pp. 166–177 (1994).
[6] Barnhart, C. M., Wieselthier, J. E. and Ephremides, A.: A neural network approach to solving the link activation problem in multihop radio networks, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 43, No. 234, pp. 1277–1283 (1995).
[7] Kumar, V. S. A., Marathe, M. V., Parthasarathy, S. and Srinivasan, A.: Algorithmic aspects of capacity in wireless networks, *Proceedings of the SIGMETRICS*, Vol. 33, No. 1, pp. 133–144 (2005).
[8] Wang, W., Wang, Y., Li, X.-Y., Song, W.-Z. and Frieder, O.: Efficient interference-aware TDMA link scheduling

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

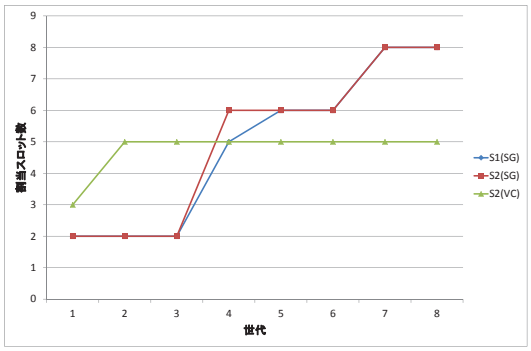


(a) 設置順 $O1$

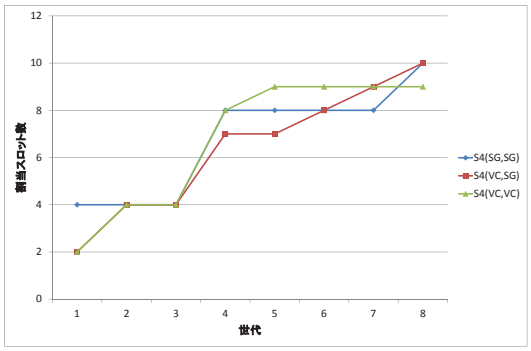


(b) 設置順 $O2$

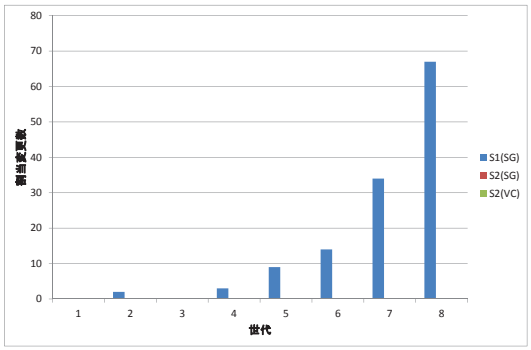
図 6 世代毎の路側機設置数（設置順 $O1$ および $O2$）



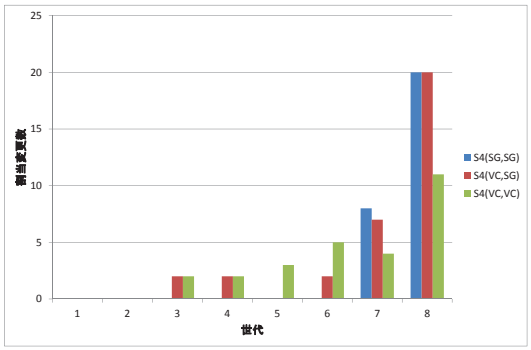
(a) 割当スロット数 (S1(SG), S2(SG), S2(VC))



(b) 割当スロット数 (S4(SG,SG), S4(SG,VC), S4(VC,VC))



(c) 割当変更数 (S1(SG), S2(SG), S2(VC))



(d) 割当変更数 (S4(SG,SG), S4(SG,VC), S4(VC,VC))

図 7 シミュレーション結果（設置順 $O1$）

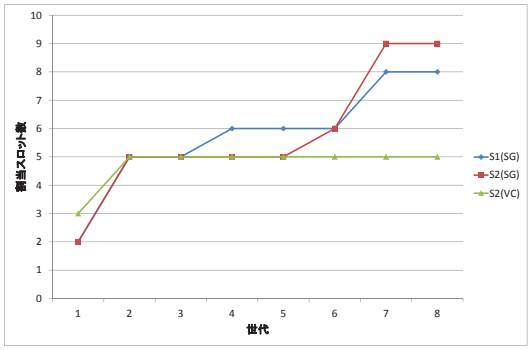
for static wireless networks, *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 262–273 (online), DOI: 10.1145/1161089.1161119 (2006).

[9] Grönkvist, J. and Hansson, A.: Comparison between graph-based and interference-based STDMA scheduling, *Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, MobiHoc '01, New York, NY, USA, ACM, pp. 255–258 (online), DOI: 10.1145/501449.501453 (2001).

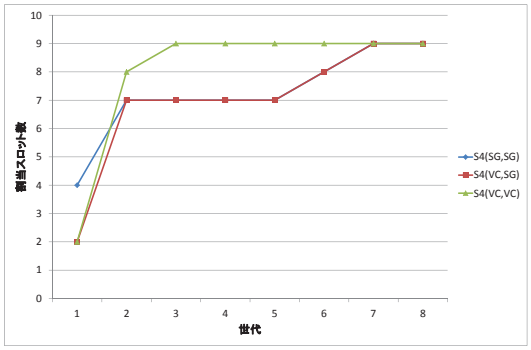
[10] Brar, G., Blough, D. M. and Santi, P.: Computationally efficient scheduling with the physical interference model for throughput improvement in wireless mesh networks, *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 2–13 (online), DOI: 10.1145/1161089.1161092 (2006).

[11] Amdouni, I., Minet, P. and Adjih, C.: Node coloring for dense wireless sensor networks, Technical report, INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (2011).

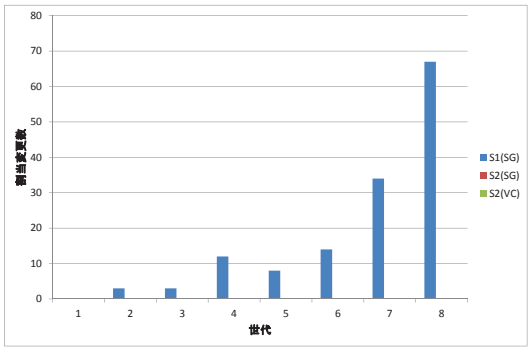
ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan



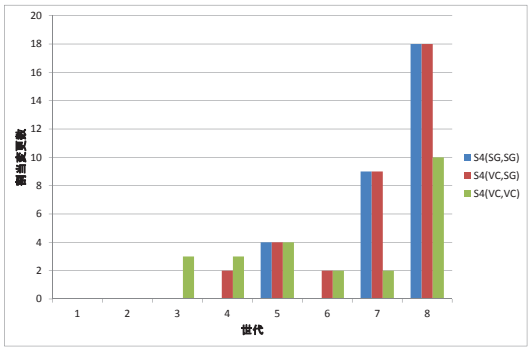
(a) 割当スロット数 (S1(SG), S2(SG), S2(VC))



(b) 割当スロット数 (S4(SG,SG), S4(SG,VC), S4(VC,VC))



(c) 割当変更数 (S1(SG), S2(SG), S2(VC))



(d) 割当変更数 (S4(SG,SG), S4(SG,VC), S4(VC,VC))

図 8 シミュレーション結果（設置順 $O2$）

[12] (社) 電波産業会：700MHz 帯高度道路交通システム ARIB-STD T 109 1.1 版. http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/5-STD-T109v1_1-E1.pdf.
[13] 国土交通省：. http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/.
[14] USDOT: CICAS Project. http://www.its.dot.gov/cicas/.
[15] 浅見, 新井:：車々間通信に適した通信制御プロトコルの検討 (2008). http://www.jrc.co.jp/jp/company/html/review55/pdf/JRCreview55_11.pdf.
[16] 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会：. http://www.soumu.go.jp/main_content/000117297.pdf.
[17] ITS FORUM: DSRC システム基地局設置のガイドライン RC-003 (平成 15 年 4 月 30 日). http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p23/DSRCguideline.pdf.
[18] Li, X.: *Wireless Ad Hoc and Sensor Networks – Theory and Applications*, Cambridge University Press (2008).

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan