セルラー移動通信における無線チャネル配置システム

Channel Assignment System for Cellular Mobile Systems

セルラー移動通信方式では有限の周波数資源を効率良く利用するために周波数（無線チャネル）を繰返し再使用している．このセルラー方式において一定の通信品質を保ちつつ，基地局ごとに無線チャネルを効率良く割当てる作業は一般にチャネル配置（またはチャネル割当て）と呼ばれ，セル設計における基本作業の一つである．昨今のように基地局数が多くなるとチャネル配置そのものが複雑となり，特に短時間でその最適化を図ることは非常に困難となっていた．そこで，チャネル配置を大幅に簡易化できるチャネル配置システムを開発したので，その概略について述べる．

In Cellular mobile system, the frequency is re-used geometrically to utilize the frequency effectively. Channel assignment planning which assign the frequency to each cell is very difficult and take much time to optimize as the cell number increases. We develop the new system which can optimize this for a large number of cells very fast. We call this system AUCHAS (AUtomatic CHannel Assignment System). In this paper, we explain the outline of AUCHAS.

藤井　輝也
Teruya Fujii

まえがき

近年，携帯・自動車電話などの移動通信に対する需要は大都市を中心に急増している．有限な周波数資源でこの需要に対処するため無線ゾーン（以下「セル」）の極小化や指向性アンテナを用いてセルを分割するセクタ化が急速に進められており，基地局数は増大の一途をたどっている．このような状況下で移動通信特有の複雑な電波伝搬を考慮して，サービスエリア全体で所要の通信品質を確保するように設計を行うセル設計は非常に繁雑化している．

セル設計は一般に，

① 基地局ごとに移動局で受信されるレベルを推定し，サービスエリア内で所定の通信品質（受信レベル）が確保されているか否かを評価するエリア推定機能，

② 空間的に同一チャネルおよび隣接チャネルを再使用するため，これらの電波干渉を考慮して無線チャネル（以下「チャネル」）を基地局ごとに最適に割当てるチャネル配置機能，

とに分けて考えることができる．

従来，これらの設計は熟練者の経験に負うところが大きく，基地局数が多くなるにつれて膨大な時間を要するため，その自動化，省力化が強く望まれていた筆者らは，これらの設計作業をワークステション（EWS）を用いて大幅に簡略化できるセル設計システム（CELLDES：CELL DEsign System）を実用化した[1]～[3]．しかしながら，②のチャネル配置機能に関しては基地局数が増大すると処理時間が指数関数的に増大し，実用的な時間で扱える基地局数は数十から百程度が限度であった．そのため基地局数がそれ以上となった場合のシステム化が大きな課題として残されていた．

一方，需要が特に激増している都市部では周波数利用率を一層向上させる必要があり，1基地局でカバーするセルの大きさが数百メートル以下であるマイクロセル化が積極的に進められている[4]～[5]．このため同時に電波干渉を考慮しなければならない基地局数が従来より一桁から二桁以上も多くなり，従来のシステムでは必ずしも十分に対応できなくなった．

そこで従来システムであるCELLDESと互換性を有し，最大10,000基地局（30,000セクタ）までを処理可能とするチャネル配置システム（AUCHAS：AUtomatic CHannel Assingment System）を新たに開発した．

本稿では，まずチャネル配置の基本的な考え方について説明し，新たに開

発したチャネル配置システムAUCHASの概要について述べる．

チャネル配置の位置付け

■セル設計との関係

セル設計の基本は，あらかじめサービス範囲を決めたエリア内において提供する通信品質の程度とユーザの収容数（システム容量）が与えられた場合に，これらを満足するように基地局の配置を決定し，基地局ごとにチャネルを効率よく割り振ることにある．換言すれば，セル設計に求められる主要機能は，

① 通信トラヒック量を分析して，所要の加入者数を満たすために必要な基地局数およびチャネル数を大まかに算出する機能，

上記の結果に基づいて，

② 基地局ごとに移動局で受信されるレベルを推定し，サービスエリア内で所定の通信品質（受信レベル）が確保されているか否かを評価するエリア推定機能および通信品質評価機能，

③ 空間的に同一チャネルおよび隣接チャネルを再使用するため，これらの電波干渉を考慮してチャネルを基地局ごとに最適に割当てるチャネル配置機能，

④ 各基地局がカバーしているエリアごとの通信トラヒック量を推定し，基地局ごとのチャネル数を算出する機能，

に大別できる[3]．チャネル配置はここでは項目③と④に相当し，エリア推定機能と並んでセルラー方式におけるセル設計の中枢機能と位置付けられる．

ところでチャネル配置結果の良し悪しはそのまま周波数利用率（またはシステム容量）と通信品質に反映され，最終的にはセル設計の評価につながる．そのため効率の高いチャネル配置方法はセルラー移動通信サービスを運用する上で不可欠な技術である．

■理想的な基地局配置でのチャネル配置

セルラー方式では，一般に図1に示すように広いサービスエリアを基地局を中心とした小さなセルで隙間なく覆う．そして，システムに割当てられている無線帯域を複数のチャネルのグループに分け，それらをセル半径の一定倍の距離を隔てたセルで繰り返し利用することで周波数の有効利用を図っている．セルの繰り返しの最小単位は繰り返しセル数と呼ばれ，周波数利用率の評価パラメータの一つである．図2に示すように繰り返しセル数が小さいほど短い距離で同一周波を再使用できるため，高い周波数利用率が得られる．

図1に示すように幾何学的な正6角形セルで全平面を覆われている場合のチャネル配置は幾何学的に与えられ，その場合の繰り返しセル数N_cはセル半径をR，繰り返し距離をDと置くと次式で表わせる[6]．

$$N_c=\frac{1}{3}\left(\frac{D}{R}\right)^2 \qquad (1)$$

ただし，N_cは1，3，4，7，9，…，の離散的な値しか取り得ない．ここで，同一チャネル干渉に対して所定の通信品質を得るための希望波対干渉波の電力比（CIR：Carrier to Interference power Ratio）の所要値をΛ[dB]とおくと，式(1)の右辺のD/Rは電波の送信点からの距離に対する減衰の度合を表す定数（伝搬定数）αとCIRの所要値Λを用いて表すことができて，その結果繰り返しセル数N_cは次式で表わせる[6]．

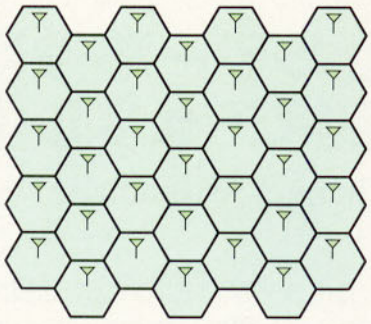
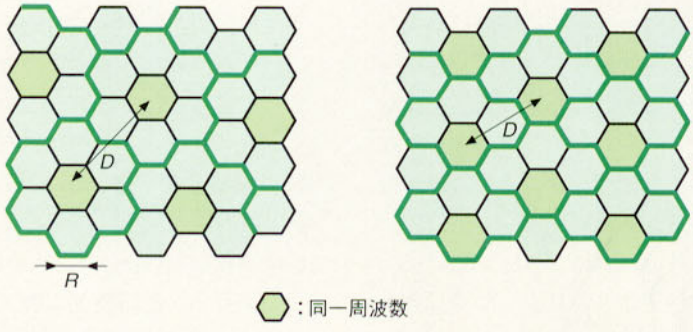


図1　6角形セル構成
Figure 1　Hexagonal Cell Structure.

$$N_c=\frac{1}{3}\left(1+10^{\Lambda/10\alpha}\right)^2 \qquad (2)$$

■チャネル配置と周波数利用率の関係

周波数利用率η_Sは，繰り返しセル数をN_c，セルの面積をSとおくと$1/(N_c \cdot S)$に比例する[6]．したがって，周波数利用率を向上させるにはセルの大きさ（面積S）を小さくするか，繰り返しセル数N_cを小さくするかのいずれかを具体化する必要がある．今，セルの大きさは一定であるとしよう．例えば，繰り返しセル数を最適化できればN_c=9で配置できるが，最適化できずにN_c=12になったとする．この場合，各々の周波数利用率の比は9/12=0.75



(a)　繰り返しセル数Ncが7の場合　　(b)　繰り返しセル数Ncが4の場合

図2　周波数の繰り返し例
Figure 2　Examples of Frequency Reuse Pattern.

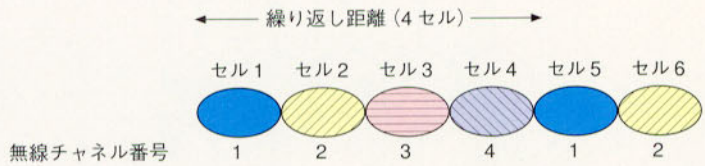


図3(a)　チャネル配置（インターリーブチャネルなし）
Figure 3(a)　Frequency Reuse（without using Interleave Channel）.

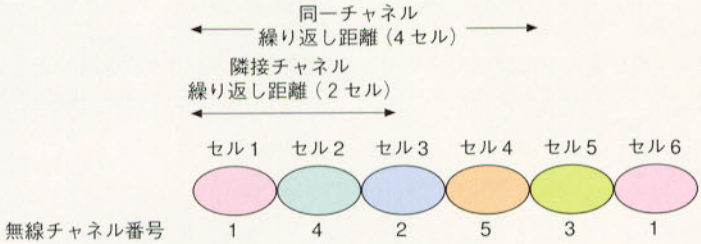


図3(b)　チャネル配置（インターリーブチャネルあり）
Figure 3(b)　Frequency Reuse（with using Interleave Channel）.

となり，最適配置に比べて周波数利用率が約25％だけ低下したことになる．したがって繰り返しセル数の最適化，すなわちチャネル配置の最適化は周波数利用率を向上させる上で非常に重要となる．

チャネル配置の基本的な考え方

移動通信では有限な周波数資源を有効に利用するため，同一チャネルおよびスペクトルの一部重なりがあるインタリーブチャネル（以下「隣接チャネル」）を干渉妨害がない距離を隔てて繰り返し使用している[7]．干渉の有無は一般に希望波レベルと干渉波レベルの比で定義される干渉量に対する通信品質で決まり，所要の通信品質を得るための所要値は同一チャネル干渉と隣接チャネル干渉とではスペクトルの重なり具合が異なることから，異なった値となる．そこで同一チャネルに対するCIRの所要値をΛ_c，隣接チャネルに対するそれをΛ_aと定義する（ただし，$\Lambda_a < \Lambda_c$）．

まず，チャネル配置の基本について説明する．ここでは簡単のため図3(a)に示す1次元セル配置を用い，チャネルの繰り返しは同一チャネルだけとし，繰り返し数は4セルとする．すなわち，セル1でチャネル1が使用されていれば，セル2，セル3，セル4ではそのチャネルを使用できないが，4セル以上離れたセル5，セル6では使用できる．そこで一つのチャネルを使用したときに，そのチャネルが使用できないセルをここでは干渉セルと定義する．この例では，セル1に対して，セル2，セル3，セル4が干渉セルになる．

実際のチャネル配置では上記のチャネル使用の可否条件に基づいて干渉エリアに同一チャネルを配置しないように各セルのチャネル番号を決めて行く．この場合，セルに配置できるチャネル番号の組み合わせは数多く考えられるが，特に配置したチャネル数が最小となるセルとチャネル番号の組み合わせは最適配置と呼ばれ，周波数利用率の最も高いチャネル配置である．この例では同図に示しているチャネル番号が最適配置を表わしている．

このチャネル配置を決定する作業は基地局数が多くなると急激に複雑となり，計算機が用いられる場合が多い[8]．具体的には，まず計算機上でセルごとの干渉エリアを決める．次に，干渉エリアに同一チャネルを配置しないよう各セルに順次チャネルを配置してゆき，一つのチャネル配置を決める．この作業をすべてのセルとすべてのチャネルの組み合わせに対して行い，チャネル数が最も少なくなるチャネル配置を決める．例えば，セル数がN，その場合の最適チャネル数が仮にN_cであったとすれば，組み合わせ総数はN_c^Nとなり，すべての組み合わせに対して試行すれば必ずチャネル配置の最適解は得られる．しかし，セル数Nが多くなれば試行する組み合わせ総数N_c^Nは天文学的な数値となり，実用的な処理時間での最適化は一般には不可能である．以上は同一チャネルだけを繰り返した場合の結果である．

一方，同一チャネルと隣接チャネルを同時に繰り返した場合の結果例を図3(b)に示す．ただし，繰り返し数は同一チャネルで4セル，隣接チャネルで2セルとしている．同一チャネルの繰り返し数は最短の4から5セルへと若干大きくなっているが，隣接チャネルが効率良く使用できていることがわかる．このように，同一チャネルと隣接チャネルという繰り返し数が異なるチャネルに対してチャネル配置を行う場合には，さらにその作業は複雑となり，最適化は一層困難となる．図4は，一例として各基地局を3セクタ構成で2次元的にサービスエリアを構成した場合の最適チャネル配置結果を示す．ただし，基地局条件および伝搬条件はすべて同一とし，同一チャネルは次々隣接のセクタで，隣接チャネルは次隣接のセクタで使用できるとしている．同図より7セル3セクタ（繰り返し数N_c=21）で規則正しく繰り返されていることがわかる．このような理想的（規則的）なセル構成では，例えば式(2)を用いて繰り返し数N_cの概算値をあらかじめ算出できることなどから最適化の試行が大幅に省略できるため処理時間が大幅に削減できる．しかし，現実には基地局条件はすべて異なっているため規則的なセル構成は期待でき

ない．そのため，試行する組み合わせ数の削減は困難であり，同一の処理時間で最適解が得られる可能性は極めて低いと考えられる．

ところで，従来のチャネル配置方法では多くの工夫を行い，処理時間の短縮を図っているが，それでもセル数が100を越えると処理時間が急増して，最適化は非常に困難であった[3]．

チャネル配置アルゴリズム

チャネルの最適配置のような問題は一般に“組み合わせ最適化”問題と位置付けられ，解決に向けて数多くの研究がなされている．例えば，“巡回セールスマン問題”はその中でも有名であり，周知の通りである．このような問題は全部の組み合わせを探索できれば最適解を求めることができる．しかし，その組み合わせ数は扱う問題（ここでは基地局数）に対して指数関数的に増大するため，基地局数が増大すれば有限の計算時間では最適解を求めることはできなくなる．そのためこのような問題は手に負えない問題（NP完全問題）と呼ばれ，解（ここでは，必ずしも最適解でなく準最適解でも可とする）を求めるためには何らかの近似的な手法に依らざるをえないのが実情である[9]．近似的手法として，分岐限定法，ニューラルネットを利用した方法などが提案されている[8]～[10]．しかしながら，基地局数が増大した場合の解の収束性が必ずしも明確でない．

そこで，本稿では自立分散チャネル配置における各基地局で使用するチャネルの学習機能に着目し，チャネル配置を学習して自立的に決定する新たなチャネル配置法を提案する．

■自律分散チャネル配置アルゴリズムを利用したチャネル配置

まず，自立分散チャネル配置アルゴリズムについて，図5に示す1次元セル配置を用いて説明する．ただし，同一チャネルの繰り返し数は4としている．なお，この例では同図に示すチャネル番号が最適なチャネル配置になっている．

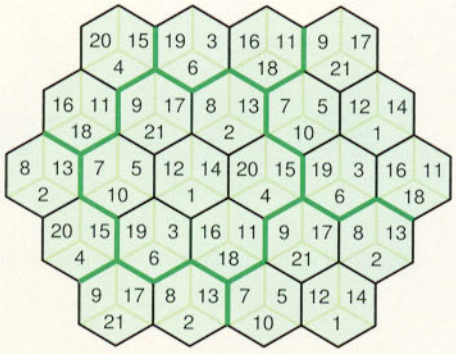


図4　理想的なセル構成でのチャネル配置（7セル×3セクタ繰り返し）
Figure 4　An Example of Channel Assignment Pattern with Ideal Hexagonal Cell Structure.

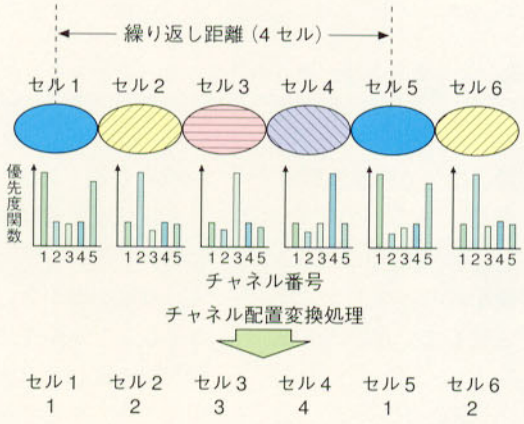


図5　提案するアルゴリズムでのチャネル配置（インターリーブチャネルなし）
Figure 5　Channel Assignment using Proposed Method.

自立分散チャネル配置の基本は，各セルでチャネルごとにチャネルの使用頻度に応じて更新する優先度関数を定義し，通信の要求（呼の発生）があれば優先度関数の順にチャネルの割当て可能か否かのチェックを行い，可能であればそのチャネルで通信を行わせる[11]．具体的には図6に示すように通信の要求（呼の発生）に対して，優先度関数の順に自セルでの未使用チャネルを探す．未使用のチャネルがあれば，そのチャネルが他のセルで使用されているか否かをチェックし，使用されていれば，そのセルが繰り返し距離（ここでは4）以上離れているか否かをチェックする．もし繰り返し距離以上離れていれば通信にそのチャネルを割当てると共にそのチャネルの優先度を一定値上げる．もし離れていなければそのチャネルは使用できないためチャネルの優先度を一定値下げて，次の優先度の高い未使用のチャネルへ異動し，同様のチェックを行う．このようなチャネル割当て制御を通信の要求（呼の発生）ごとに長時間行えば使用できるチャネルの優先度はますます上がり，できないチャネルの優先度は徐々に下がり，結果的には図5に示すような特定のチャネルの優先度が極めて高い優先度関数が自律的に形成される．

本稿では自律的に形成される優先度関数に着目し，チャネル配置を行う．

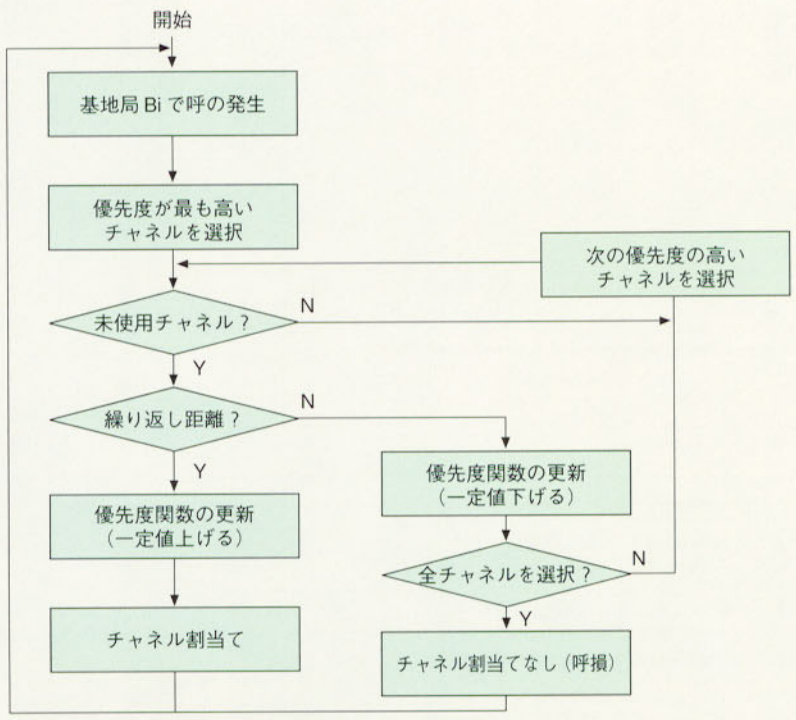


図6　自律分散チャネル配置アルゴリズム
Figure 6　A Distributed Adaptive Channel Assignment Algorithm.

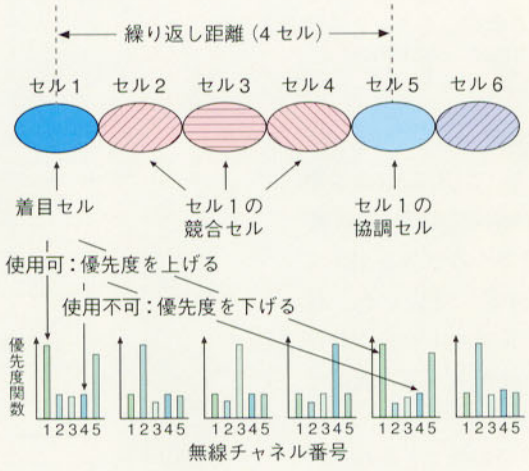


図7　協調・競合形アルゴリズム
Figure 7　Competitive and Cooperative Algorithm.

例えば，セルごとに優先度関数が最も高いチャネルに着目すれば，図5に示すようにセル1ではチャネル1が，セル2ではチャネル2が，……，セル5ではチャネル1が，セル6ではチャネル2が最も高くなっている．したがって優先度の最も高いチャネル番号をそのセルのチャネル番号とすれば，図3に示す理想的なチャネル配置と同一の番号になっていることがわかる．すなわち，この方法は優先度の高いチャネル程同一チャネルを使用している他セルとの繰り返し距離が最短値（ここでは4）となる確率が高くなる特徴がある．本チャネル配置はこの特徴を利用する．具体的にはセルごとに優先度の高いチャネルから順にそのチャネル番号を割当てて，同一チャネルまたは隣接チャネルを使用している他のセルとの繰り返し距離（すなわち干渉の有無）をチェックし，もし干渉がなければそのチャネル番号をそのセルのチャネル番号としてチャネル配置する．このようにセルごとの優先度関数からチャネル配置へと変換する作業を本稿ではチャネル配置変換処理と定義して用いる．

ところで，単純な自立分散チャネル配置アルゴリズムでは優先度の高いチャネルの繰り返し距離が必ずしも最短距離にならない．このような場合は当然ながらチャネル配置は最適化されない．そこで，優先度関数の高いチャネルの繰り返し距離が最短距離となるように制御する必要がある．本稿では，チャネルの使用可否の探索に当たり，協調・競合形アルゴリズムを適用することにより繰り返し距離の短縮化を図っている[12]．以下にその概略を説明する．

■協調・競合形アルゴリズムを利用したチャネル配置

従来の自立分散チャネル配置では，自セルでチャネルが割当てられると周辺の干渉エリアに対して各セルの優先度を下げるように作用し，干渉エリアの外側には何の作用も及ぼさない“競合形アルゴリズム”であった．そのため繰り返し距離は必ずしも最短となるように制御されていないため，チャネル配置変換処理後のチャネル配置も最適化されない．

そこで，干渉エリアの外側のセルに対しても作用を及ぼし，繰り返し距離を最短にできる制御方法として，“協調形アルゴリズム”を併用したチャネル配置アルゴリズムを提案する．協調形アルゴリズムは図7に示すようにあらかじめセルごとに繰り返し距離が最短となるセル（協調セル）を定義しておいて，従来セルごとに独立に優先度関数を更新していたのを，協調セルに対しても同時に更新させる方法である．具体的には特定のセル（例えばセ

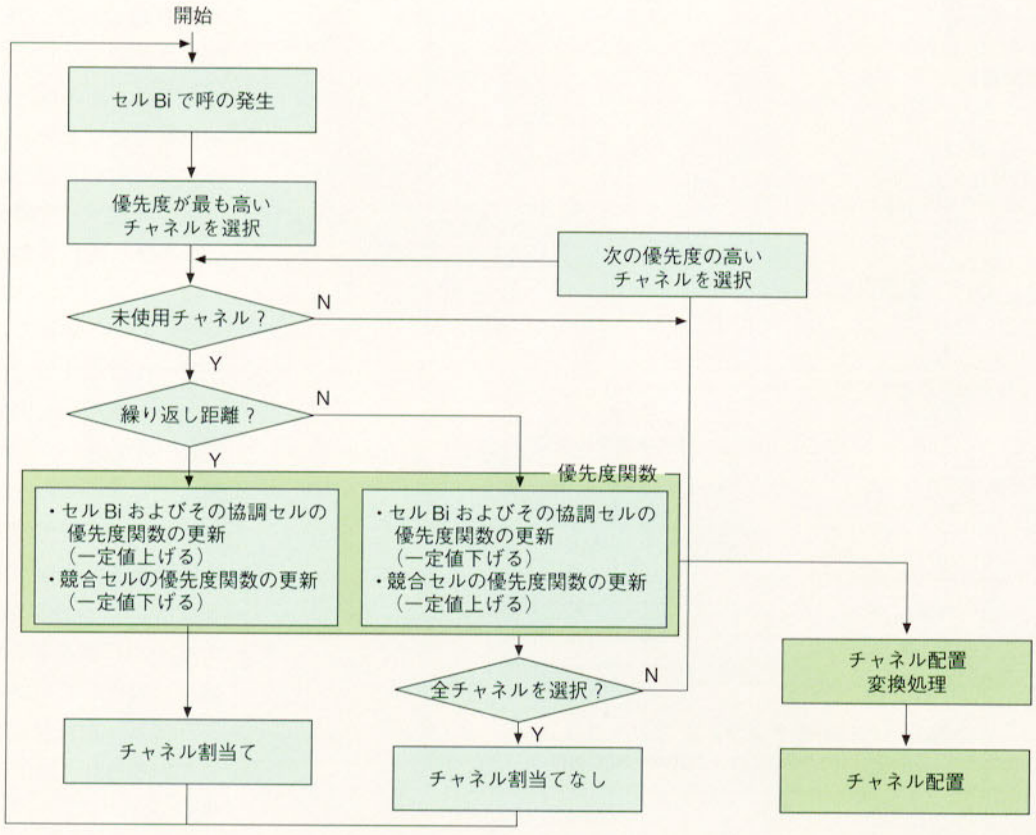


図8　協調・競合形アルゴリズムを利用したチャネル配置アルゴリズム
Figure 8　Proposed Algorithm.

ル1）に通信の要求があり，優先度関数の順に自セルでの未使用チャネルを探し，使用チャネルがあれば割当て可能か否かをチェックし，可能であれば周辺の干渉エリアに対しては優先度を下げ，同時にその協調関係にあるセル（セル5）に対しては優先度を上げるように作用させる．逆にチャネルを割当てられなければ協調関係にあるセルも同様に優先度を下げる．図8に提案するチャネル配置アルゴリズムを示す．このように協調形アルゴリズムを競合アルゴリズムと併用することで最短距離でチャネルを繰り返せる確率が非常に高くなり，結果としてチャネル配置が最適化できる確率が高くなる．

AUCHASの機能構成

図9にAUCHASの機能構成を示す．AUCHASは処理の高速化を図るため，主装置にワークステーション（EWS）を，OSにSolarisを，GUIにMotifを用いている．AUCHASは自動チャネル配置システムとして多くの機能を備えているが，基地局設定，受信レベル推定，エリア推定，干渉マトリックス作成，およびチャネル配置が基本機能である．

なお，AUCHASで処理できる基地局数は最大10,000基地局（30,000セクタ）であり，処理は実時間処理を基本としている．

■基地局設定

基地局設定項目として表1に示す基地局位置，基地局アンテナ高，基地局アンテナ種別，基地局送信電力などを設定する．また移動局も同様の項目を設定する．設定した条件で受信レベル（エリア）および干渉量の推定を行い，チャネル配置を行う．しかし，例えば

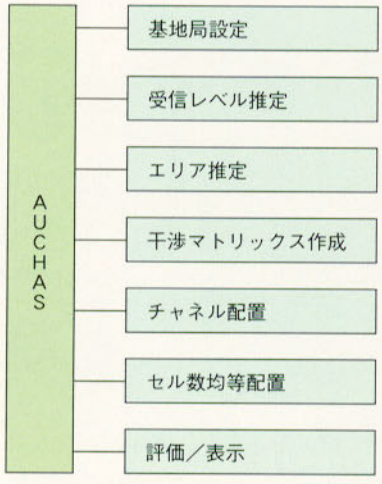


図9　AUCHASの機能構成
Figure 9　Functional Structure of AUCHAS.

チャネル配置した結果が期待していた結果と大きく異なっているような場合には，基地局設定項目を変更するなど

表1　基地局・移動局設定項目
Table 1　Parameters on BS and MS.

パラメータ		備　考
基地局	位置（緯度，経度）	
	アンテナ高	
	送信電力	
	フィーダ損失（送受）	
	アンテナ種別	・利得，水平面／垂直面内指向性 ・ビームチルト角
移動局	アンテナ高	
	送信電力	
	フィーダ損失（送受）	
	アンテナ種別	・利得

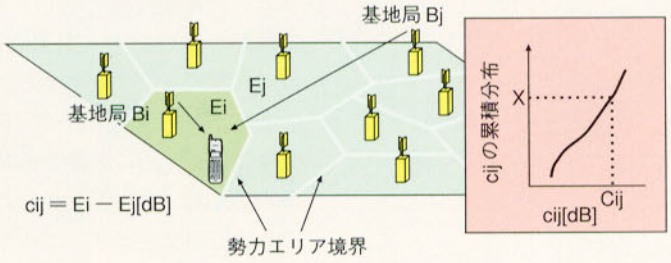


図10　干渉の関係
Figure 10　Interference Model.

してその改善を図る必要がある[13]．そのため，基地局設定項目を簡易に変更できて，エリア成形が容易に行えるようにGUIを構成している．

■受信レベル推定

チャネル配置を行うためには，まず選定した基地局で所定のサービスエリアが確保されているか否かを確認する必要がある．そのため受信レベルの推定は非常に重要であり，推定精度が高い程，実際に設置した基地局設定項目の手直しが少なくて済む．

一方，チャネル配置を行うためには，任意の基地局B_iにおいてその基地局からの電波のレベルE_iと基地局B_i以外の他の基地局B_j（$i \neq j$）からの電波のレベル（干渉レベル）を推定し，基地局B_iと基地局B_jの基地局間の干渉量を算出する必要がある．当然ながら干渉量の推定精度，すなわち受信レベルの推定精度が高い程，実際にチャネル配置を行った場合の変更が少なくなる．

AUCHASでは伝搬損失推定法として“奥村－秦式”を基本推定式として用いている[14]．さらに高精度な伝搬推定を必要とする場合には，CELLDESでの伝搬推定結果，例えば地形による損失を補正した“奥村式”や地形および建物高，道路幅などの都市構造物を考慮し，特に都市内での推定精度を向上させた“坂上式”，で算出した伝搬推定結果を用いることが可能である[3]，[15]～[16]．

■エリア推定

選定した基地局で所要の通信品質（ここでは受信レベル低下による雑音評価）が満たされていなければ，最適化したチャネル配置結果は無効になる．そこでAUCHASでは設定した基地局条件でエリア推定を行い，通信品質の評価が容易にできる構成としている．

■干渉マトリックス作成

セルラー移動通信では，受信レベルに応じて移動局が待ち受けしている，または通信している基地局を変更するため，各基地局が守備範囲とするエリア（以下，「勢力エリア」）に対して，干渉マトリックスを作成する必要がある．そのためにはまず勢力エリアを決定する必要がある[3]．AUCHASでは，エリア内の各位置で各基地局からの電波の受信レベルを比較し，最も受信電界レベルが高い基地局をその位置における勢力基地局とし，勢力エリアを求めている．

次にこの勢力エリアに対して干渉マトリックスを計算する．今，図10に示す基地局B_iに着目する．基地局B_iの勢力エリア内の位置（x，y）において基地局B_iからの希望波レベルE_iと基地局B_i以外の他の基地局B_j（$i \neq j$）からの干渉レベルE_jを計算し，基地局B_iと基地局B_jの基地局間の干渉量c_{ij}（$= E_i - E_j$[dB]）を算出する．これらを勢力エリア内のすべての位置で計算し，c_{ij}の累積分布を求め，そのX%値（例えば10%値）を基地局B_iと基地局B_jの干渉量C_{ij}として代表させている．

これらの計算をすべての基地局間で行い，干渉マトリックス[C_{ij}]を作成する．このマトリックスは例えば基地局を1,000局とすれば，1,000行1,000列のマトリックスとなる．

■チャネル配置

まず，干渉マトリックス作成部で作成した干渉マトリックス[C_{ij}]からあらかじめセルごとに競合セルと協調セルを決定する．具体的には，同一チャネルおよび隣接チャネル干渉に対するCIRの所要値Λ_c，Λ_aを与えて，以下の条件を満たすセルを各々の干渉に対する競合セルとしている．

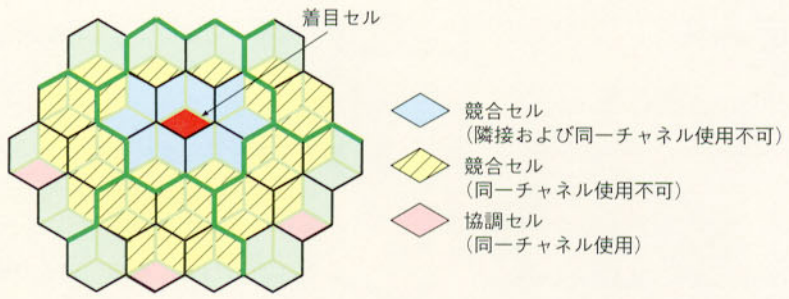


図11　正則配置での競合セルと協調セルの関係
Figure 11　Competitive and Cooperative Cells of Hexagonal Cell Structure.

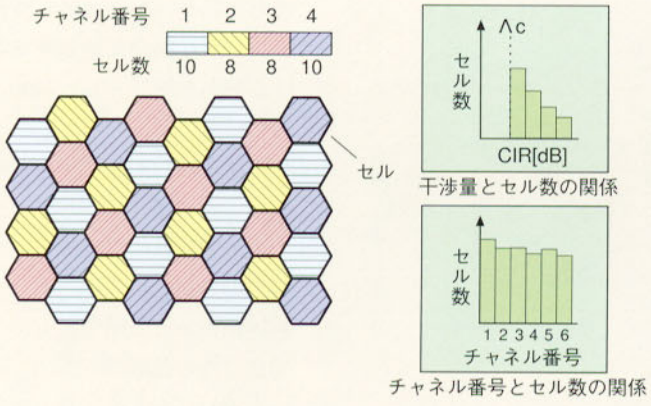


図12　結果表示（基本）
Figure 12　Display Windows of Analysis and Estimation.

$0 < C_{ij} < \Lambda_a$ (隣接および同一チャネル使用)
$\Lambda_a \leqq C_{ij} < \Lambda_c$ (同一チャネル使用)　(3)

また，協調セルに関しては同一チャネル干渉に対してのみ行い，次の条件を満たすセルを協調セルとしている．

$$\Lambda_{c1} \leqq C_{ij} < \Lambda_{c2} \quad (\Lambda_c \leqq \Lambda_{c1} < \Lambda_{c2}) \quad (4)$$

図11は図4に示す正則配置での同一チャネル干渉および隣接チャネル干渉に対する競合セルと，同一チャネル干渉に対する協調セルの具体例を示している．

次に「チャネル配置アルゴリズム」の章で説明したチャネル配置アルゴリズムに従い，呼を発生させてチャネルを割当てる計算機シミュレーションを行い，チャネル優先度関数を学習させる．そして，優先度関数をもとにチャネル配置変換処理を行い，チャネル配置を決定する．

■セル数均等配置

本稿のようなチャネル配置を用いた場合，同一チャネルを繰り返すセル数が必ずしも均等にならずに，特定のチャネルに片寄ってしまう場合がある．例えばセル数が1,000で，繰り返しセル数N_cが20の場合には，同一チャネルを繰り返すセル数が平均である50セル（＝1,000/20）であることが望ましい．しかしながら，実際には50セルをかなり上回ったり，逆に50セルをかなり下回ったりする．そこでこのような場合には次に示す方法を用いてセル数の均等化を図っている．まず，平均を上回っているセルから適当にセルを選択し，平均を下回っているセル数のチャネル番号にその番号を変更し，干渉の有無をチェックする試行を行う．もし干渉がなければ，チャネル番号をその番号に変更させる．すべてのセルに対しこの試行を繰り返し行い，セル数が均等化できるように制御している．

■評価部／表示部

AUCHASではチャネル配置の途中経過を定期的に評価し，表示する．すなわちチャネルを割当てる計算機シミュレーション途中で，その時点でのチャネル優先度関数からチャネル配置変換処理を行いチャネル配置を決定し，暫定的な解として表示する．この表示により，チャネル配置の収束状態の時間変化が視覚的に評価できる．この場合の表示は，図12に示すようにセルごとに使用できるチャネル番号をセルの勢力エリア上に色別表示することを基本としている．

また，チャネル番号ごとのセル数の分布や，チャネル配置結果に対するCIRの分布も同時に表示することができる．これを用いれば，例えばチャネルごとのセル数が均等であるか否か，この配置は干渉に対してまだ余裕があるか否かなどの定量的な評価が容易に行える．

一方，背景地図としてチャネルの地理的繰り返しが視覚的に評価できるように地図背景を前提としている．そこでカーナビゲーションなどで用いられる市販の電子道路地図から必要な項目をデータベース化し，背景表示している．

チャネル配置結果

3セクタ構成の基地局100局（計300セクタ）でサービスエリアを構成した場合のチャネル配置をセルの形状が正六角形となる正則な場合と不規則な場合について評価する．図13はセ

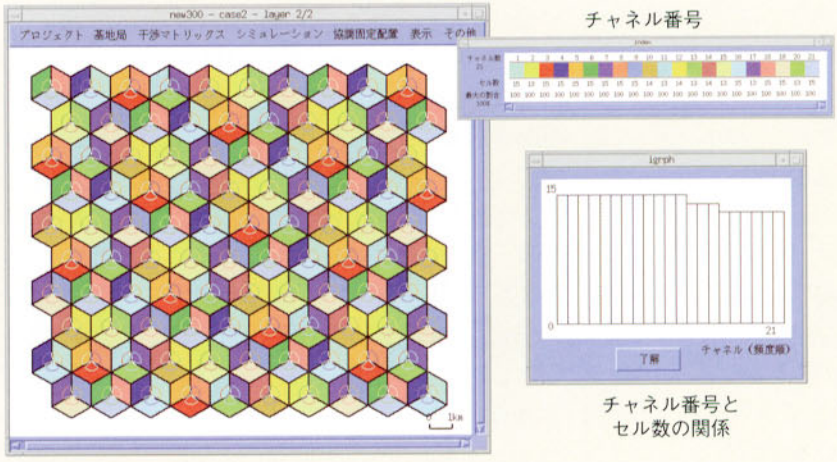


図13　理想的なセル構成でのチャネル配置（7セル×3セクタ繰り返しが実現）
Figure 13　Channel Assignment Result with Ideal Hexagonal Cell Structure.

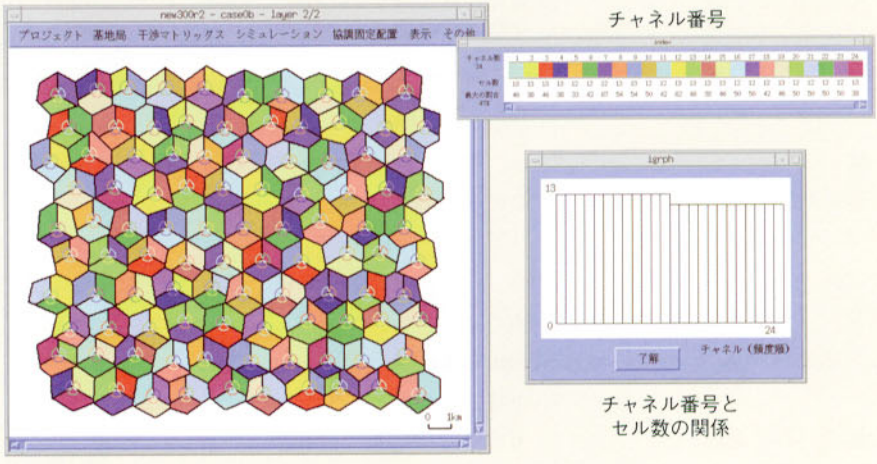


図14　不規則なセル構成でのチャネル配置
Figure 14　Channel Assignment Result on Irregular Hexagonal Cell Structure.

ルの形状が正則である場合のチャネル配置結果である．ただし，セル半径は1kmであり，基地局条件はすべて同一としている．また，同一チャネルおよび隣接チャネル干渉に対するCIRの所要値Λ_c，Λ_aは各々21dB，5 dBとし，協調セル条件Λ_{c1}，Λ_{c2}は各々21dB，24dBとしている．同図よりチャネル数N_cは21であり，特に7セル3セクタの規則的な配置結果が得られていることがわかる．この結果は図4に示している最適チャネル配置結果と一致しており，本アルゴリズムの妥当性がわかる．

一方，図14は基地局位置が正則配置の位置から一定半径円内（0.2km）にランダムに変位している場合のチャネル配置結果である．ただし，基地局条件などは正則配置した場合と同一としている．チャネル数N_cは24となり，正則配置の場合の21と比べて周波数利用率は低下している．また，正則配置のような規則性がある配置にはなってない．不規則性を増すとチャネル数N_cはさらに大きくなり，周波数利用率は低下する．したがって，周波数利用率を低下させないためには正則配置に極力近づけたセル構成が望ましい．また，チャネルごとのセル数の表示からチャネルごとのセル数がおおよそ等しくなっていることがわかる．このことからセル数均等配置が有効に動作していることが確認できる．

なお，上記結果を得るために要した計算時間はEWSにSUN ULTRA2を用いて数分（5～10分）程度であった．

あとがき

本稿ではセルラー移動通信方式におけるチャネル配置の基本的な考え方について説明し，新たに開発したチャネ

ル配置システムAUCHASの概要について説明した．

従来のチャネル配置システムでは基地局数に対し指数関数的に増大する処理時間を必要としたのに対し，AUCHASでは基地局数に比例した処理時間でチャネル配置が最適化（準最適化）できる．その結果，従来ほとんど不可能であった基地局数が1,000以上のセル構成においても周波数利用率の高いチャネル配置が可能になった．

AUCHASでは多くの工夫を行い処理時間の短縮を図っている．しかし，それでも基地局数が数千局（数千局×3セクタ）を越えると最適化に要する時間は増大する．そこで処理時間を一層短縮できる方法，例えば本稿で適用した競合・協調形アルゴリズムのような最適解への収束が一層早くできる方法の検討が今後の課題と考えられる．

文　献

[1] 藤井，朝倉："移動通信における無線回線設計支援システム"，信学'91秋大，B-226.

[2] 朝倉，山崎，藤井："移動通信におけるセル設計システム"，信学'94秋大，B-338.

[3] 藤井，朝倉，山崎："移動通信におけるセル設計システム"，本誌，Vol.2，No4，Jan.1995.

[4] H.Asakura and T.Fujii："Combining Macro and Micro Cells in a Cellular System"，IEEE 2nd ICUPC Conf.Rec.pp.728-731，1993.

[5] 朝倉，藤井："マクロセル・マイクロセルを用いた複合セル構成の最適化に関する一考察"，信学技報，RCS93-82，1994-01.

[6] 例えば，奥村，進士："移動通信の基礎"，8章，㈳電子情報通信学会，1988.

[7] T.Fujii，I.Shimizu and S.Onoe："Channel Interleaving in Narrowband FM Mobile Communication System"，Proc.IEEE 39th VTC Conf.Rec.pp.668-672，1989.

[8] S.Onoe："Channel Assignment in Mobile Radio Systems using Channel Interleaving"，Proc.IEEE ICC'88 Conf.Rec.Vol.2，24.8，pp.783-787，1988.

[9] 仙石，中野，嶋田："移動体通信におけるダイナミックチャネル割当てとニューラルネット"，信学誌，Vol.77，No.5，pp.492-497，1994.

[10] N.Funabuki and Y.Takefuji："A Neural Network Parallel Algorithm for Channel Assignment Problems in Cellular Radio Networks"，IEEE Trans.Veh. Technol.，VT-41，4，pp.430-337，1992.

[11] Y.Furuya and Y.Akaiwa："Channel Segregation，A Distributed Adaptive Channel Allocation Scheme for Mobile Communication Systems"，IEICE Trans.，Vol.E74，pp.1531-1537，1991.

[12] 鈴木，本江："競合・協調形チャネル棲み分けセルラ方式"，信学技報，RCS94-57，1994-07.

[13] 朝倉，佐藤，藤井："実伝搬データを用いた移動通信におけるセル設計システム"，信学技報，RCS95-131，1996.

[14] M.Hata："Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service"，IEEE Trans.Veh. Technol.，VT-29，3，pp.317-325，1980.

[15] 奥村，大森，河野，福田："陸上移動無線における伝搬特性の実験的研究"，通研実報，16，9，pp.1705-1764，1967.

[16] 坂上，久保井："市街地構造を考慮した伝搬損の推定"，信学論(B-II)，J74-B-II，1，pp.17-25，1991.