

《小特集》

セルラーシステムにおける動的チャネル割り当て

秋 月 治*・六 浦 光 一**

ABSTRACT In this paper, we discuss a Cellular System, especially Dynamic Channel Assignment scheme. Before discussion of a Cellular System, we explain Multiple Access protocols in Frequency Domain and Time Domain which are used in each cell. Then, we discuss Cellular System and introduce several Dynamic Channel Assignment schemes, which can enhance spectral efficiency.

1. はじめに

近年、携帯型情報機器の登場や、マルチメディア通信の急速な発展に伴い、移動体通信においても音声だけでなく、画像・データ等多様なメディアの伝送に対する要求が増加しており、無線ネットワークに対する需要が急速に高まっている^{1~6)}。無線網において、通信路の利用効率を向上させ、多数のユーザーにサービスを提供するために、多元接続は重要な技術である。多元接続の手法としては、周波数領域、時間領域、空間領域の技術があり、これまでに多くの方式が提案されている。

セルラーシステムは、代表的な空間領域の多元接続技術であり、全域をセルと呼ぶ小地域に分割し、地理的に離れた複数の地点で、同一の周波数、時間でアクセスを可能にするものである^{7~9)}。セルラーシステムは同一チャネルを離れた地点で繰り返し用いることにより、チャネルの利用効率の改善を図っており、セルのサイズが小さくなるに従って、チャネルの利用効率が向上する。しかしながら、セルサイズを小さくした場合、移動端末がセルの境界を横切る際にハンドオフと呼ばれるチャネルの切り替えが多発することとなり、高速移動端末に対してはセルサイズを極端に小さくすることは困難である。従って、高速端末と低速端末に対して同一サイズのセルを割り当てる場合、低速端末に対しても大きなセルを割り当てることとなり、チャネル利用効率の改善が制限される。また、各セル

に特定のチャネルを固定的に割り当てた場合、各セル内のトラヒックが均一でない場合には、低トラヒックのセルで使用されないチャネルが発生する一方で、高トラヒックのセルでは呼損や強制切断が多発する等の問題がある。これらを改善することを目的として、近年、トラヒックに応じて、動的にチャネル割り当てを行う方式や、セルの階層化を行う方式が提案されている。

本論文では、第2章で周波数領域、時間領域の多元接続技術の概要を述べた後、第3章で、セルラーシステムを説明する。また、各セルに特定のチャネルを固定的に割り当てた場合に発生する問題点を例を挙げて説明し、この対策としてこれまでに提案された動的チャネル割り当て方式を紹介する。

2. 多元接続技術

本章では、まず最初に周波数領域の多元接続技術である周波数分割多元接続方式(FDMA: Frequency Division Multiple Access)について説明し、次に時間領域の多元接続技術として、これまでに提案されている代表的なアクセス方式について解説する。

2.1 周波数分割多元接続方式

FDMAでは、帯域を周波数領域で分割し、チャネルを別々の周波数帯域に分け、それぞれのチャネルを異なる移動局に割り当てることにより多元接続を図っている。チャネル間にはガードバンドが設けられ、隣接するチャネルからの信号が干渉にならないように設計される。FDMAはアナログセルラー方式の自動車電話、携帯電話等に広く用いられている。FDMAでは多元接続の手順及び設備構成が比較的簡単で、広く実用化されている。しかし、チャネルの設定変更に対する柔軟性が乏しく、チャネルの効率も低い。セル

Dynamic Channel Assignment schemes in Cellular System. By Osamu Akizuki (Faculty of Project design, Miyagi University) and Kouichi Mutsuura (Faculty of Economics, Shinshu University).

*宮城大学事業構想学部デザイン情報学科

**信州大学経済学部

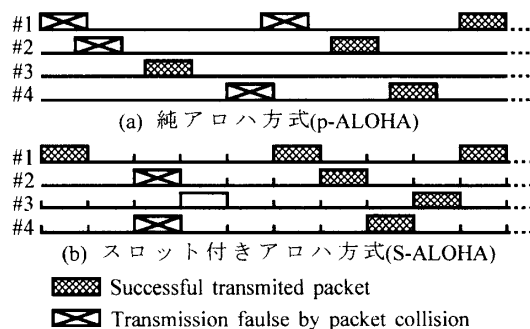


図1 アロハ方式

ランシステムにおいては、隣接セルからの干渉を防ぐため、隣接セルで異なった周波数を割り当てなければならない。

2.2 時間領域の多元接続技術

時間領域の多元接続技術として、これまでに提案されているプロトコルについて考察すると、ランダムアクセスプロトコルのように各端末が独自にチャンネルを獲得する分散制御方式と、制御局によりチャンネル割当を管理する集中制御方式がある。代表的なランダムアクセスプロトコルである ALOHA 方式^{10~15)}では、図1に示すように、各ユーザーが他のユーザとは独立にランダムにパケットを送信するため、衝突の確率が極めて高い。

この解決策として、各ユーザーがチャンネルの利用状況を調べ、衝突を避けて送信する、「搬送波検知方式 (CSMA: Carrier Sense Multiple Access)」^{16~18)}が提案され広く使われている。CSMA では、図2に示すように、各ユーザがパケット送信時に搬送波を検知して、他ユーザーによってチャンネルが使われているかをチェックし、チャンネルが空いている時に送信する。しかし、チャンネルの状態を検知しているのはパケットを送信する以前であり、ALOHA 方式と比較すると低い確率ではあるが衝突は起こる。さらに、CSMA の性能は伝搬遅延による影響が大きく、網域が広大になり、伝搬遅延が無視できなくなると、チャンネルのビジー状態が遅れて伝わるため、スループット性能は急激に劣化する。

一方、集中制御方式では、図3に示す「時分割マルチプルアクセス方式 (TDMA: Time Division Multiple Access)」^{19~21)}がある。TDMA では、各スロットをユーザー毎に割り当てており、衝突が起こることが無い。したがって、各端末が一様にメッセージの送信を行う場合 (Case-1) には良好な特性を得ることがで

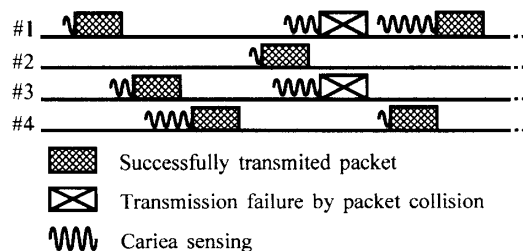


図2 搬送波検知方式

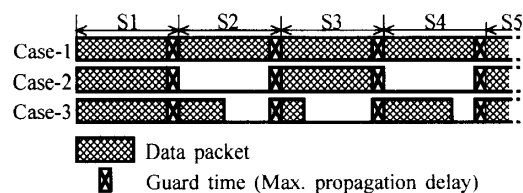


図3 時分割マルチプルアクセス方式

きる。しかし、TDMA では各端末の負荷に無関係にスロット割り当てを行うため、メッセージの送信を行わない端末が存在する場合 (Case-2) や、各端末の送信メッセージ長が均等でない場合 (Case-3) 等、各端末のトラヒックに変動がある場合には、空で費やされるスロットが増加し、チャンネルの利用効率が悪くなる。また、送信を開始するためには、自端末に割り当てられたスロットまで待機する必要があるため、平均遅延時間が増大する。

3. セルラーシステム

セルラーシステムは、代表的な空間領域の多元接続技術である。図4に示すように、全域をセルと呼ぶ小地域に分割して、各セル内での送信電力を抑制し、捕捉効果²²⁾を用いて、地理的に離れた複数のセルで、同一のチャンネルを繰り返し利用しており、チャンネル利用率がきわめて高い方式である。干渉を避けるために隣接するセルには異なった無線チャンネルを割り当て、図の例ではチャンネルの繰り返し単位は7となっている。セルラーシステムでは、各セルに、単一または複数の基地局を置き、各基地局に利用可能な無線チャンネルを配分する。セル内では、FDMA あるいは時間領域の各種プロトコルを用いて多元接続を実現している。

セルラーシステムにおいては、セルサイズを小さくし、チャンネルの再利用回数を増加させることにより、チャンネル利用率を向上させることができる。しかしながら、セルサイズを小さくした場合、移動端末がセ

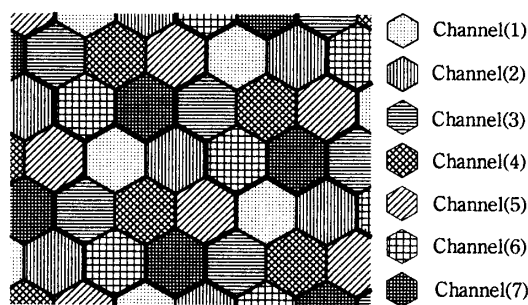


図4 セルラーシステム

ルの境界を横切る際のハンドオフと呼ばれるチャネルの切り替えが多発することとなり、高速移動端末に対してはセルサイズを極端に小さくすることは困難である。従って、高速端末と低速端末に対して同一サイズのセルを割り当てる場合、低速端末に対しては大きなセルを割り当てることとなり、チャネルの再利用回数が制限される。また、各セルに特定のチャネルを固定的に割り当てた場合、各セル内のトラヒックが均一でない場合には、低トラヒックのセルで使用されないチャネルが発生する一方で、高トラヒックのセルでは呼損や強制切断が多発する等の問題がある。これらを改善することを目的として、近年、トラヒックに応じて、動的にチャネル割り当てを行う方式や、セルの階層化を行う方式が提案されている。

以下、3.1節では端末の移動速度や地理的なトラヒックの偏在に対応したゾーン構成法を紹介する。また、3.2節ではセルラーシステムのチャネル割り当て法を紹介する。

3.1 ゾーン構成法

移動速度の異なる端末を収容するセルラーシステムとしては、図5に示すように、サイズの異なる2種類のセルを重ねて、高速端末に対してはサイズの大きいセル（Macro Cell）を割り当て、低速端末に対してはサイズの小さいセル（Micro Cell）を割り当てることにより、高速端末のハンドオフ回数を増加させることなく、同時に低速端末用のマイクロセルのチャネル再利用回数を向上させる複合型セルラーシステムが提案されている²³⁾。

また、地域によるトラヒックの偏りに対応する方式として、基地局の建設コストを抑えながら、必要なチャネル容量を提供することを目的に、図6に示す「マイクロ/マクロオーバーレイシステム（Micro-Macro Overlay System）」²⁴⁾が提案されている。これは、図に示すように、都市部のようなサービス需要の高い地域

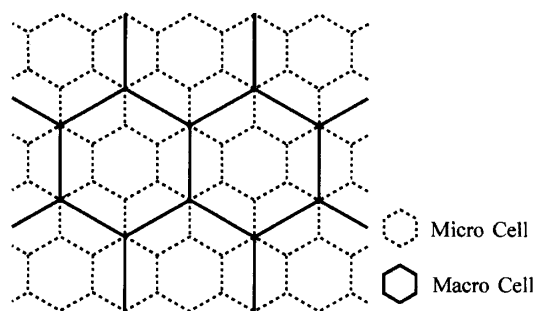


図5 複合型セルラー方式

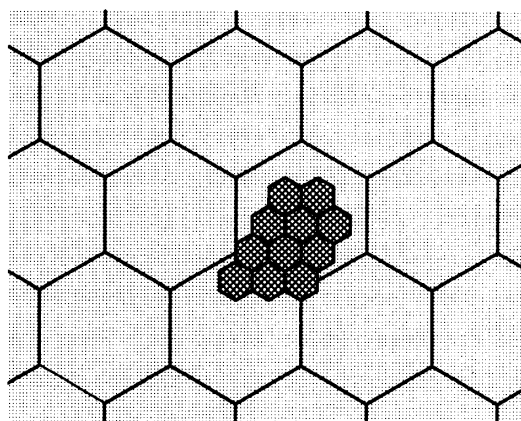


図6 マイクロ/マクロオーバーレイシステム

にのみマイクロセルを割り当て、低速端末に割り当てたマイクロセルと高速端末用のマクロセルでチャネルを共用する方式である。

チャネル利用効率の向上を目的として、「リユースパーティショニング方式」²⁵⁾が提案されている。これは、図7に示すように、基地局からの距離に応じて送信電力を制御することにより、各マクロセル内に仮想的なマイクロセルを配置し、内側のセルに関しては、チャネルの繰り返し単位を小さくするものである。図の例では、外側のセルのチャネルの繰り返し単位が7、内側が3となっており、全体をチャネルの繰り返し単位が7のセルで構成する場合と比較して、チャネルの利用効率は1.33倍改善される。

3.2 チャネル割り当て法

セルラーシステムのチャネル割り当て法は、「固定チャネル割り当て法（FCA: Fixed Channel Assignment）」と「ダイナミックチャネル割り当て法（DCA: Dynamic Channel Assignment）」に大別できる。前者は、各セルに特定のチャネルを固定的に割り当てるものであり、後者は各セルのトラヒック等の状況に応じ

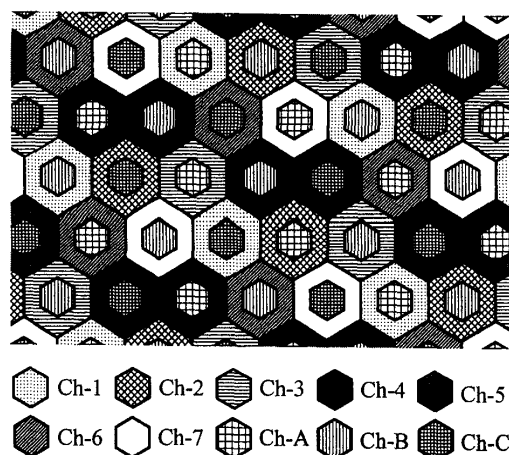


図7 リユースパターション方式

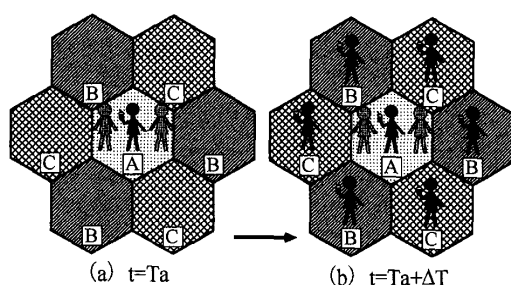


図8 固定チャネル割り当て法

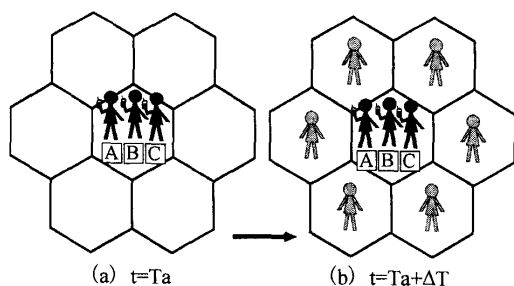


図9 ダイナミックチャネル割り当て法

で動的にチャネル割り当てを行うものである。全域で3チャネルを繰り返し使用する場合を考え、図8、9を用いて、両者の比較を行う。 $t=Ta$ において中央のセルに3個のトラヒックが存在する場合、FCAでは、隣接するセルでB、Cのチャネルが使用されていなくても、1ユーザーのみにチャネルが割り当てられている。これに対して、DCAでは、トラヒックの発生したセルに3チャネルを割り当てることにより、3ユーザー共に利用可能となっている。しかしながら、

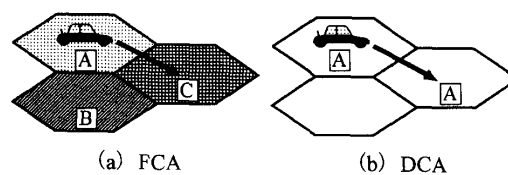


図10 ハンドオフの有無

この後、周辺のセルで新たなトラヒックが発生した場合、FCAではBまたはCのチャネルを割り当てることが可能であるのに対し、DCAではいずれのチャネルも割り当てることができない。DCAは比較的低トラヒックのネットワークでチャネルの利用効率の良い方式であり、高トラヒックの場合にはFCAの方がチャネル利用効率が優れている。

ダイナミックチャネル割り当て法の他の利点として、低トラヒック時にハンドオフが少なくできることが挙げられる。図10からわかるように、FCAでは端末が隣接セルに移動する際に常にチャネルの切り替えを要するのに対し、DCAでは隣接セルで同一のチャネルを使用し続けても他端末との干渉が発生しない時には、チャネルの切り替えを要しない。

ダイナミックにチャネルを割り当てる場合、制御局で集中的に制御する方法と、各基地局で自律分散制御する方法がある。前者では、各セルでのチャネル使用状況を管理するのに対し、後者では、各基地局でセル内の各チャネルの CIR: Carrier to Interference Ratio を測定することによりチャネル割り当てを行う。

制御局で集中的に制御する方法の代表的なものに、FA: First Available 法²⁶⁾がある。これは、検索順序に従ってチャネルを検索し、他端末と干渉を起こさない最初に見つかったチャネルを割り当てるものである。この手法は処理手順が簡単であるが、割り当ての際に各チャネルについて干渉の有無を判断することが必要となり、また特定のチャネルが割り当てられる確率が高くなる。干渉の判定を行う代わりに、周辺のセルで使用されているチャネルの情報を使用するものとして、Channel borrowing 法²⁷⁾がある。この方式では、各セルに固定法と同様にチャネルを割り当てておき、トラヒックが発生したときに各セルに割り当てられているチャネルを使用することを原則とし、割り当てられたすべてのチャネルが使用中の場合に、隣接セルに割り当てられたチャネルを借用して使用する。その後、割り当てられたチャネルが空き次第、端末へのチャネルの再割り当てを行い、借用したチャネルは解放する。

また、端末の移動方向を考慮したチャネル割り当てを行う、Moving Direction 法²⁸⁾、端末の移動速度に応じて、複数のセルを組み合わせる論理的なマイクロセルを構成する、Dynamic Microcell Forming 法²⁹⁾等の提案がされている。

一方、各基地局で自律分散制御する方法では、他セルとの競合を抑制する方式が提案されている。文献24)で使用されている、「チャネル棲み分け法」では、各基地局で、チャネルの使用状況を観測し、空いているチャネルの割り当て優先順位を高くすることにより、各セルが干渉の起こりにくいチャネルを選択するよう配慮されている。また、空間的な負荷分布の時間的変動に対応してチャネル割当の空間的分布を制御することができる方式が、文献30)に提案されている。本方式は、分散制御型の方式であるが、チャネル割り当てに際して、基地局は干渉範囲内の周辺基地局との交信により、チャネル割当、チャネル転送を制御する。

以上述べた、「固定チャネル割り当て法 (FCA: Fixed Channel Assignment)」, 「ダイナミックチャネル割り当て法 (DCA: Dynamic Channel Assignment)」の性能比較を行った報告としては、文献31)があり、セル間に一様にチャネルを固定配分する方式 FUCA (Fixed Uniform Channel Allocation), 負荷に応じ不均一にチャネルを固定配分する方式 FNCA (Fixed Nonuniform Channel Allocation), 負荷に適応して動的にチャネルを配分する方式 DCA (Dynamic Channel Allocation), DCA に加えて同一周波数を時分割し複数の近傍セルに配分する方式 DFTCA (Dynamic Frequency/Time Channel Allocation) に関して、チャネル利用効率を評価している。

4. おわりに

近年、携帯型情報機器の登場や、マルチメディア通信の急速な発展に伴い、移動体通信に対する需要が急速に高まっている。無線網において、多元接続は重要な技術であり、周波数領域、時間領域、空間領域の方式が提案されている。セルラーシステムは、代表的な空間領域の多元接続技術であり、同一チャネルを離れた地点で繰り返し利用することにより、チャネルの利用効率の改善を図っている。

本論文では、各セル内で使用される、周波数領域、時間領域の多元接続技術の概要を述べた後、セルラーシステムを説明した。また、各セルに特定のチャネルを固定的に割り当てた場合に発生する問題点を例を挙げて説明し、この対策としてこれまでに提案された動

的チャネル割り当て方式を紹介した。

参 考 文 献

- 1) F. Li and L. F. Merakos: Voice/Data Channel Access Integration in TDMA Digital Cellular Networks, IEEE Trans. Veh. Tec., **43-4**, (1994)
- 2) 中島昭久: パーソナル移動通信のためのインテリジェントネットワーク, 電子情報通信学会誌, **78-2**, 143/149 (1995)
- 3) 水野, 太田: モバイルコンピューティングの現状と将来像, 信学誌, **80-4**, 318/323 (1997)
- 4) 塚本: 通信ネットワークインフラストラクチャ, 信学誌, **80-4**, 338/343 (1997)
- 5) 中島: モバイルマルチメディア通信にむけたネットワーク技術の動向, 技術報告, MMIN96-07, 43/50 (1996)
- 6) M. Frullone, C. Carciofi, G. Riva and P. Graziosa: Interference Analysis and Planning Requirements for Data Over Voice in Cellular Systems, IEICE Trans. Fundamentals, **E79-A-7**, 968/974 (1996)
- 7) 奥村善久, 進士昌明「移動通信の基礎」, 電子情報通信学会 (1986)
- 8) W. C. Y. Lee: Mobil Cellular Telecommunications Systems, McGraw-Hill (1989)
- 9) V. Macdonald: Advanced Mobile Phone Service: The Cellular Concept, B.S.T.J., **58-1**, 15/41 (1979)
- 10) V. O. K. Li: Performance Evaluation of Multiple-Access Networks: Introduction and Issue Overview, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, **SAC-5-6**, 933/938 (1987)
- 11) N. Abramson: THE ALOHA SYSTEM—Another alternative for computer communication, AFIPS Conference Proceedings, **37**, 281/285 (1970)
- 12) L. Kleinrock and S. S. Lam: Packet Switching in a slotted satellite channel, Proceedings of NCC'73, 703/710 (1973)
- 13) L. Kleinrock and S. S. Lam: Packet Switching in Multi-access Broadcast Channel: Performance evaluation, IEEE Trans. Com., **COM-23-4**, 410/423 (1975)
- 14) Z. Zhang and Y. Liu: Multichannel ALOHA Data Networks for Personal Communication Service (PCS), Proc. GLOBECOM'92, 21/25 (1992)
- 15) D. G. Jeong and W. S. Jwon: Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-ALOHA Protocol in Local Wireless Environment, IEEE Trans. Veh. Tech., **VT-44-3**, 470/479 (1995)
- 16) L. Kleinrock and F. Tobagi: Packet switching in radio channels: Part 1—carrier sense multiple-access modes and their throughput-delay characteristics, IEEE Trans. Com., **COM-23-12**, 1400/1416 (1975)
- 17) F. Tobagi, L. Kleinrock: Packet Switching in radio channels: Part 2—The hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and busy tone solution, IEEE Trans. Com., **COM-23-12**, 1417/1433 (1975)
- 18) H. H. Tan and K. Tsai: Packet Output Processes of CSMA and CSMA/CD Protocols, IEEE Trans. Com., **COM-44-4**, 464/474 (1996)
- 19) 山本平一, 加藤修三: TDMA 通信, 電子情報通信学会

- (1989)
- 20) D. D. Falconer, F. Adachi and B. Gudmunson: Time Division Multiple Access Methods for Wireless Personal Communications, *IEEE Com. Magazine*, 50/57 (1995)
 - 21) W. Sheen and C. Shih: On the Performance Evaluation, Selection, and Design of Unique-Words for Time-Division Multiple Access Systems, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, **VT-44**-1, 111/120 (1996)
 - 22) L. G. Roberts: Aloha packet system with and without slot and capture, *Computer Communications Review*, No.5, 28/42 (1975)
 - 23) K. L. Yeung and S. Nanda: Channel Management in Microcell/Macrocell Cellular Radio System, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, **VT-45**-4, 601/612 (1996)
 - 24) 古川, 赤石: チャネル棲み分け方式を適用したマクロ/マイクロ共用セルラ方式, *信学技報*, RCS93-81, 15/22 (1994)
 - 25) K. Nakano, N. Karasawa, M. Sengoku, S. Shinoda and T. Abe: Characteristics of Dynamic Channel Assignment in Cellular Systems with Reuse Partitioning, *IEICE Trans. on Fundamentals*, **E79-A**-7, 983/989 (1996)
 - 26) D. C. Cox and D. O. Reudink: A Comparison of Channel Assignment Strategies in Large-Scale Mobile Communications Systems, *IEEE Trans. Com.*, **COM-20**-2, 190/195 (1972)
 - 27) J. S. Engel and M. M. Perisky: Statically-Optimum Dynamic Server Assignment in System with Interfering Servers, *IEEE Trans. Com.*, **COM-21**-11, 1287/1293 (1973)
 - 28) K. Okada and F. Kuroda: A Proposal of a Dynamic Channel Assignment Strategy with Information of Moving Direction in Micro Cellular System, *IEICE Trans. Fundamentals*, **E75-A**-12, 1667/1673 (1992)
 - 29) 横川, 秋月, 六浦, 半田, 大下: Handoff Reduction of Hierarchical Cellular System with Dynamic Microcell Forming, *Proc. ITC-CSCC' 99*, 312/315 (1999)
 - 30) R. Prakash, N. G. Shivaratri and M. Singhal: Distributed Dynamic Fault-Tolerant Channel Allocation for Cellular Networks, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, **48**-6, 1874/1888 (1999)
 - 31) P. L. Hiew and M. Zukerman: Efficiency Comparison of Channel Allocation Schemes for Digital Mobile Communication Networks, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, **49**-3, 724/733 (2000)