

二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズムによる オーバーラッピングエリアを含めるネットワークを最適配置 する

王 旭¹ 沼尾 雅之¹

概要：近年、User Equipments (UEs) の増大に伴い、ロケーションマネジメントを最適化するについての研究はますます重要になっている。それに、LTEにおいて User Equipment (UE) は位置登録エリア (LA) の境界で ping-pong 移動することを避けるために、オーバーラップ LA が導入する。本稿でオーバーラッピング LA を含めるネットワークを最適配置するために、ロケーションマネジメントコスト (LMC) の計算式を定義して二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズムを提案する。最初層のエンコーディング及び二層目のエンコーディングはそれぞれを境界に基づくエンコーディングとオーバーラップ Tracking Area (TA) エンコーディングである。実験結果によって、オーバーラッピング LA を含める最適なセルラーネットワークはノンオーバーラッピング LA を含めるネットワークより 34% ぐら LMC が削減できる。更に、本研究でオーバーラッピング LA を最適配置するための提案するエンコーディング手法は遺伝的アルゴリズムに使えるだけでなくほかの進化計算アルゴリズムに応用される。

Optimal overlapping-location area based location management using two-layer encoding based genetic algorithm

Xu Wang¹ Masayuki Numao¹

1. まえがき

セルラーネットワークにおいて User Equipment (UE) は自由に移動しているときに、UE を正常に配信するために、UE の位置を追跡して把握する必要がある。そのため、位置更新とページングという2つの操作から構成するロケーションマネジメントはセルラーネットワークで使われている。位置更新とは隣接の位置登録エリア (LA) に入ると UE は自分で位置管理サーバに報告してデータベースに位置を更新する。ページングとは UE への通信要求は MME に到着すると前回更新された LA にすべての基地局に送信して実際に渋滞しているセルを見つけることである。LA が小さければ、位置更新頻度が大きく、位置更新コストも大きくなる。一方、LA が大きくすれば、ページングの時に位置登録エリア内にすべての基地局に対して、UE を検索するためのメッセージを送信する必要があり、ペー

ジングコストは非常に高くなる。このように、位置更新コストとページングコストの間にトレードオフが存在するため、セルラーネットワークでの位置登録エリアを最適に割り当てなければならない。

GSM の世代にセルラーネットワークを最適化するために、セルラーネットワークを分割する更新法を提案された。ネットワークを分割する更新法はセルラーネットワークをいくつかの小さな LA を分割し、UE をは LA に入ると位置更新を行う。しかし、UE は LA の境界で ping-pong 移動すれば、位置更新回数が高くなる。

Long Term Evolution (LTE) で [6]LA は複数の Tracking Area (TA) から構成し、境界で ping-pong 移動して更新することを排除するように、オーバーラッピング LA を導入する。本制御により、UE が隣接する LA に移動するとき重ねる TA を突っ切らなければ、UE は位置管理サーバへ位置登録信号を送信しない。過去、様々な進化計算アルゴリズム [1-4] を使い、ネットワークを最適配置したが、オー

¹ 電気通信大学大学院 情報理工学研究所情報・通信工学専攻

オーバーラッピング LA を含めるネットワークを最適配置することができない。ですから、我々はオーバーラッピング LA を含めるネットワークのロケーションマネジメントコスト (LMC) を定義し、二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズムを提案してネットワークを最適配置する。

2. ロケーションマネジメント

オーバーラッピング LA を含めるネットワークを最適配置する前に、LMC の計算式を定義する必要がある。そして、GSM での最適な配置されたネットワークと比較するため、ここに 1 個の TA は 1 個セルのみを含めることを仮定する。TA_j から TA_i に入る人の数は $w_{i,j}^m$ をとし、 $i \in \phi(k,o)$ は TA_i が位置登録エリア k におけるオーバーラッピング TA であることをしめす。そして、TA_i と TA_j は隣接の TA であれば、 $h(i,j) = 1$ をとし、逆には $h(i,j) = 0$ をとする。さて、位置登録エリア k に対する位置更新の数 $N_{LU}(k)$ は下の数式で表せる。

$$N_{LU}(k) = \begin{cases} \sum_j^N \sum_{i \in \phi(k,n) \cap j \notin \phi(k,o) \cap j \notin \phi(k,n)} w_{i,j}^m \times h(i,j) \\ \sum_j^N \sum_{i \in \phi(k,n) \cap j \in \phi(k,o)} (w_{i,j}^m - w_{j,i}^m) \times h(i,j) \end{cases} \quad (1)$$

数式 1 では隣接オーバーラッピング TA から戻る UEs を位置更新から除く。

TA_j から TA_i に入る人を受け取る呼びの数は $w_{i,j}^c$ をとし、LA_k の内に TA_i に対するページングコストは下の数式で表せる。

$$N_P(k,i) = \begin{cases} \sum_j^N w_{i,j}^c \times h(i,j) & \text{if } i \in \phi(k,n) \\ \sum_{j \in \phi(k,n)} w_{i,j}^c \times h(i,j) & \text{if } i \in \phi(k,o) \end{cases} \quad (2)$$

さて、LA_k でのページングコスト $N_P(k)$ は

$$N_P(k) = \sum_{i \in \phi(k)} N_P(k,i) \quad (3)$$

となる。前に述べたように、ロケーションマネジメントは位置更新とページングの 2 つから構成されるため、ネットワークで M 個 LA があれば、LMC は

$$LMC = \sum_{k=1}^M (C \times N_{LU}(k) + N_P(k)) \quad (4)$$

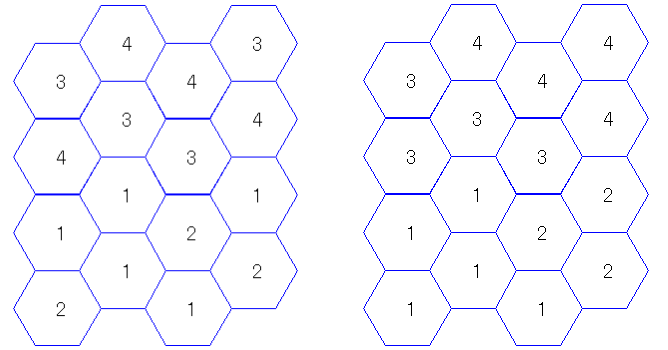
となる。通常ページングのコストより位置アップデートのコストが数倍高いことは認められているので、定数 $C = 10$ を仮定する。

3. 二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズム

3.1 二層エンコーディング

従来の進化計算アルゴリズム [1-4] で TA に基づくエン

コーディングを使い、TA ごとに数字ラベルをつけ、TA はおなじの数字ラベルをつければ同一の LA だと見られる。但し、隣接しない TA は同じの数字ラベルを持っていれば、LA はバラバラになるので不一致な TA を修正することをやらなければならない。例えば、TA に基づくエンコーディングと進化計算アルゴリズムを用いて得る 4×4 ネットワークを図 1(a) に示すように、左下の TA と右上の TA は不一致な TA であり、修正したネットワークを 1(a) に示す。要するに、TA に基づくエンコーディングの上で進化計算アルゴリズムを使い、直接に LA の配置を得ないため、進化計算アルゴリズムをもちいて得る結果に修正アルゴリズムを添加しなければならない。その以外、TA に基づくエンコーディングだけ使ってはオーバーラッピング位置登録エリアをコード化することもできない。



(a) TA-based エンコーディング (b) 不一致な TA を修正する
図 1 4×4 network

そのため、我々は二層エンコーディングを提案する。まずは $n \times m$ のネットワークにおける隣接する TA の境界をコード化して一層目のエンコーディングは

$$b_{1,2}b_{1,3}b_{1,4}b_{1,5}b_{1,6}b_{2,3}b_{2,4} \cdots b_{n \times m-1, n \times m}$$

になる。そして、続けてネットワークでの TA をコード化して二層目のエンコーディングは

$$c_1, c_2, c_3, \cdots c_{n \times m}$$

になる。最後、一層目のエンコーディングと二層目のエンコーディングをつなげると完全なオーバーラッピングのエンコーディングは

$$b_{1,2}b_{1,3}b_{1,4}b_{1,5}b_{1,6}b_{2,3}b_{2,4} \cdots b_{n \times m-1, n \times m} | c_1c_2c_3 \cdots c_{n \times m}$$

になる。ここで図 2 に示す 2×3 ネットワークを例として二層エンコーディングを説明する。この図 2 に見るから全ての隣接する TA の境界は

$$b_{1,2}, b_{1,4}, b_{2,3}, b_{2,4}, b_{2,5}, b_{2,6}, b_{3,6}, b_{4,5}, b_{5,6}$$

である。次は、図 3 に示すように 2 つの重ねない LA にコード化し、一層目のエンコーディングは

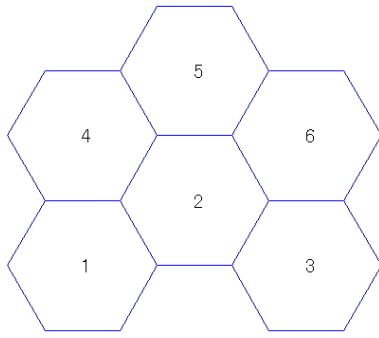


図2 2×3 ネットワーク

0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1

となる。そして、ネットワークに全ての TA

$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$

は図4に示すようにコード化し、二層目のエンコーディングは

0, 1, 0, 0, 0, 0

となる。最後、一層目のエンコーディングと二層目のエンコーディングをつなげる二層エンコーディング

$b_{1,2}, b_{1,4}, b_{2,3}, b_{2,4}, b_{2,5}, b_{2,6}, b_{3,6}, b_{4,5}, b_{5,6} | c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$

は図5示すように

0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1 | 0, 1, 0, 0, 0, 0

となる。

3.2 遺伝的アルゴリズム

GA は自然界における生物の適応進化のメカニズムを工学的にモデル化したアルゴリズムであり、最適化問題をとけるのによく使われる。ここで、GA を使う前に予め最適オーバーラッピング LA の問題をモデル化してコード化する方法を決定し、そして初期集団に対して、選択・一点交叉・突然変異と呼ばれる遺伝的オペレータを修了条件までに繰り返し適用することによって行われる。

初期集団. エンコーディングは数字 0 または 1 であるため、初期集団における個体の遺伝子は 0 それとも 1 にする確率は 0.5 を設定させる。

適応度の評価ここで、適応度は LMC であるが、LTE によってネットワークにおける任意の 1 つの位置登録エリア内に TA の数を 16 個以内で規定されるため、1 個の位置登録エリアで TA の数は 16 を超えるとペナルティ関数を使う。ネットワークで TA 数を N をとし、 NTA は最大 TA 数とし、 t は現在世代の数をとし、ペナルティ関数は以下の数式で表せる。

$$PF = \sqrt{N} \times (NTA - 16) \times t \quad (5)$$

それで、染色体の適応度は

$$FitnessValue = \begin{cases} LMC + PF & \text{if } NTA \geq 16 \\ LMC & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

となる。

選択. ここで、適合度の高い個体は適合度の低い個体より選択して次世代の母集団をとる機会が高い。

一点交叉. ランダムに染色体の箇所を切断し、その箇所での親の遺伝子を交叉させる。

突然変異. 選択と一点交叉のみ用いて局所解に陥ると脱出が不可能になるため、突然変異率を使って母集団内に存在しない遺伝子を発生させ、解の探索区間を拡大できる。

修了条件判定. ここで、GA の実行は、予め定めた世代交代の数を満たした時で修了され、その時点で最高適合度を示した個体を解として採用する。

4. 実験結果

今回でネットワークツール [5] を用い、5×5 のセルラー

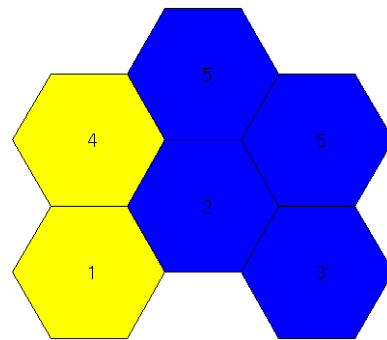


図3 一層目エンコーディングモデル

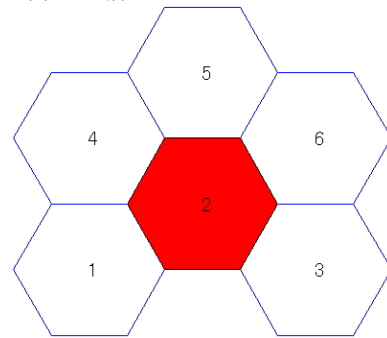


図4 二層目エンコーディングモデル

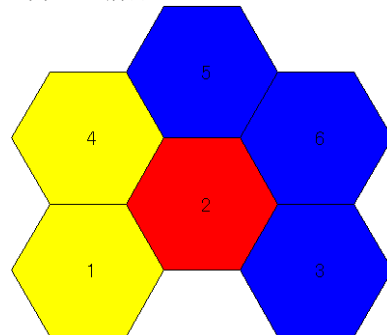


図5 二層エンコーディングモデル

表1 5×5ネットワークでTAの属性

TA _i	{TA _j , ω _{i,j} ^u , ω _{i,j} ^c }					
1	{2, 70, 35}	{6, 46, 15}				
2	{1, 76, 20}	{3, 41, 11}	{6, 31, 8}	{7, 69, 18}	{8, 55, 16}	
3	{2, 29, 14}	{4, 35, 17}	{8, 22, 13}			
4	{3, 31, 6}	{5, 61, 12}	{8, 63, 12}	{9, 73, 14}	{10, 27, 8}	
5	{4, 63, 40}	{10, 50, 33}				
6	{1, 42, 11}	{2, 29, 7}	{7, 66, 17}	{11, 59, 17}		
7	{2, 77, 10}	{6, 60, 8}	{8, 32, 4}	{11, 22, 3}	{12, 63, 8}	{13, 74, 11}
8	{2, 66, 10}	{3, 19, 3}	{4, 52, 8}	{7, 38, 6}	{9, 33, 5}	{13, 65, 12}
9	{4, 70, 9}	{8, 42, 5}	{10, 60, 8}	{13, 79, 10}	{14, 61, 8}	{15, 25, 6}
10	{4, 34, 9}	{5, 44, 11}	{9, 72, 19}	{15, 45, 13}		
11	{6, 51, 23}	{7, 27, 12}	{12, 29, 13}	{16, 46, 21}		
12	{7, 54, 7}	{11, 37, 4}	{13, 66, 8}	{16, 26, 3}	{17, 85, 11}	{18, 47, 8}
13	{7, 83, 15}	{8, 61, 11}	{9, 71, 13}	{12, 77, 14}	{14, 51, 9}	{18, 101, 22}
14	{9, 68, 11}	{13, 65, 11}	{15, 40, 6}	{18, 44, 7}	{19, 76, 12}	{20, 29, 8}
15	{9, 20, 10}	{10, 45, 23}	{14, 33, 17}	{20, 34, 19}		
16	{11, 39, 14}	{12, 32, 11}	{17, 29, 10}	{21, 42, 17}		
17	{12, 83, 21}	{16, 42, 10}	{18, 83, 21}	{21, 47, 12}	{22, 61, 15}	{23, 43, 13}
18	{12, 37, 5}	{13, 96, 13}	{14, 49, 7}	{17, 79, 11}	{19, 76, 11}	{23, 49, 9}
19	{14, 98, 22}	{18, 71, 16}	{20, 25, 5}	{23, 46, 10}	{24, 59, 13}	{25, 53, 14}
20	{14, 34, 14}	{15, 30, 12}	{19, 21, 8}	{25, 36, 17}		
21	{16, 34, 18}	{17, 60, 32}	{22, 24, 13}			
22	{17, 41, 27}	{21, 25, 16}	{23, 57, 39}			
23	{17, 41, 10}	{18, 46, 11}	{19, 34, 9}	{22, 50, 13}	{24, 68, 16}	
24	{19, 71, 24}	{23, 49, 16}	{25, 33, 12}			
25	{19, 72, 32}	{20, 40, 17}	{24, 20, 10}			

ネットワークを構造し、UEの移動すること及び呼び出すことを作る。TA_jからTA_iに入るUEの数ω_{i,j}^uと呼びを受ける数ω_{i,j}^cは表1に記載する。5×5のセルラーネットワークで非オーバーラッピングLAとオーバーラッピングLAの最適配置はそれぞれを図6及び図7に示す。そして、GAの個体数は100、世代数は1000、変異率は0.1、シミュレーションを100回に実行する。

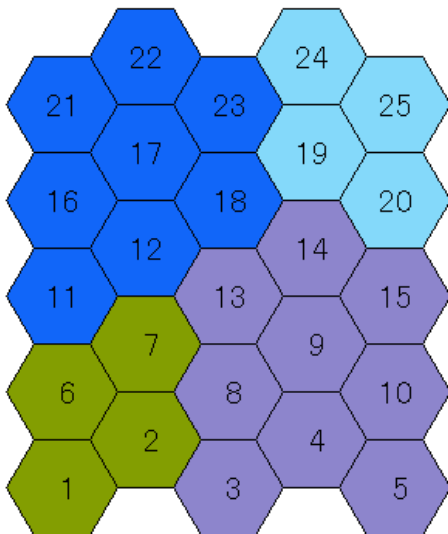


図6 非オーバーラッピングエリアを含めるネットワークの最適配置

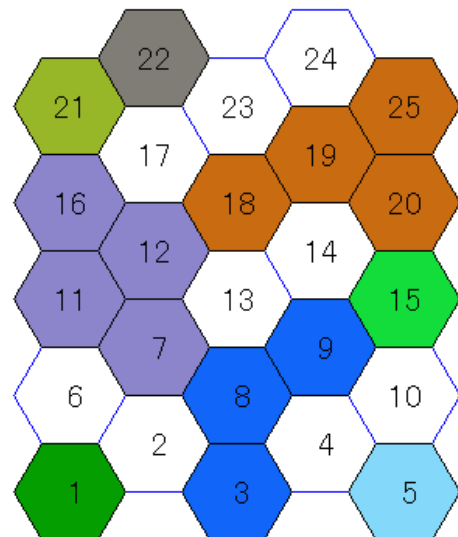


図7 オーバーラッピングエリアを含めるネットワークの最適配置

結果の図6では、異なるLAを判別できるように、同一のLAにおけるTAはおなじの色をつける。但し、結果の図7では、オーバーラッピングLAを表せるために、全てのオーバーラッピングTAが白色をつける。例えば、図7から見ると $TAL_1 = \{TA_1, TA_2, TA_6\}$ と $TAL_2 = \{TA_2, TA_3, TA_4, TA_6, TA_8, TA_9, TA_{10}, TA_{13}, TA_{14}\}$ の間でオーバーラッピング TA_2, TA_6 がある。

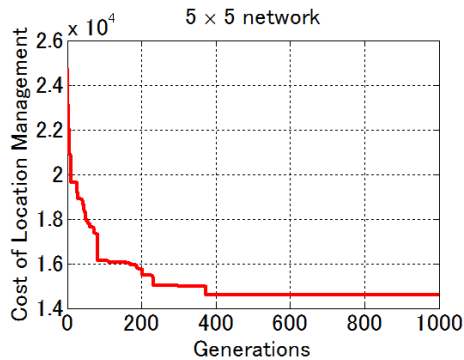


図8 オーバーラッピングエリアを含めるネットワークの収束の様子

二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズムは収束の様子は図8に示す。図8に見るからと二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズムは400世代数ぐらいで収束する。

表2 ロケーションマネジメントコストの比較

ネットワーク	オーバーラッピング	ノンオーバーラッピング
5 × 5	14160	21557

表3 Location Management Cost for 5 × 5

Network	Minimum	Maximum	Average	Deviation
5 × 5	14160	14160	14160	0%

表3に示すように、5×5ネットワークに対する最小LMCは14160。表2から見ると、ノンオーバーラッピングLAだけ構成するネットワークに比べるとオーバーラッピングLAを含めるネットワークのコストは大幅に削減される。

5. 終わりに

本稿ではオーバーラッピングLAを含めるネットワークのLMCを定義し、二層エンコーディングに基づく遺伝的アルゴリズムを用い、ネットワークの最適配置問題を求めた。一層目でのエンコーディングは隣接するTAの境界をコード化し、二層目でのエンコーディングはオーバーラッピングTAをコード化する。さらに、隣接TAの境界をコード化する手法もノンオーバーラッピングLAだけを構成するネットワークを最適できることに応用できる。最後、実験結果から見るとオーバーラッピングLAを含める最適なネットワークは最も良いコストがあった。

参考文献

- [1] M Vroblefski and EC Brown “A grouping genetic algorithm for registration area planning,” *Omega*, vol. 34, pp. 220–230, June 2006.
- [2] J. Taheri and A. Y. Zomaya “A genetic algorithm for finding optimal location area configurations for mobility management,” *Prco. LCN’05*, pp. 568–577.
- [3] S. S. Kim, J. H. Byeon, J. Taheri and H. Liu “Swarm Intelligent Approaches for Location Area Planning,” *Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, vol. 22, no. 3, pp. 287–306, 2014.
- [4] J. Taheri and A. Y. Zomaya “A simulated annealing approach for mobile location management,” *Computer communications* vol. 30, no. 4, pp. 714–730, 2007.
- [5] J. Taheri and A. Y. Zomaya, “A Simulation Tool for Mobility Management Experiments,” *Pervasive Computing and Communications*, vol. 5, pp. 360–379, 2009.
- [6] 3GPP. TS 23.401, General Packet Radio Services (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access, 3G Release 8, 2009. <http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/23/series/23.401/>