

# 携帯基地局の最適配置に関する研究

安藤 恒徳 (沼田 一道 教授, 松浦 隆文 助教)

## 1. はじめに

近年、携帯電話の普及は目覚しく、さらに携帯電話と携帯情報端末 (PDA) が融合したスマートフォンも急激な浸透の兆しを見せている。その結果、携帯電話の利用者数と1人当たりの情報通信量が増加し、現状の携帯基地局数/配置では、接続・通信要求をまかなえなくなってきた。そこで、電気通信事業者は通信の品質を保持する為、基地局の増設を計画している。ここで問題となるのが、限られた予算で、どこに基地局を設置すれば、最も効率良く需要を満たせるかということである。このような基地局の配置に関して、文献 [1] では、人口密度と近接基地局間の影響を考慮して基地局を配置し、それに対する呼損率や帰属ユーザー数を評価している。しかし、設置費用や効率の良い配置に関して、直接的には考慮していない。本研究では、1人当たりの情報通信量が増加した場合を想定し、総設置費用が最小となるように3種類の基地局を配置するモデルを提案し、その最適解を求める。

## 2. 状況設定

携帯電話の通信の仕組みは携帯電話から最寄りの基地局にアクセスし、それを經由して交換機などのネットワークセンターに繋がり、通話であれば相手方の最寄りの基地局にアクセスすることで通話ができるようになっている。メールやWebページの閲覧などは、インターネットに繋がることで利用可能となる (図1)。

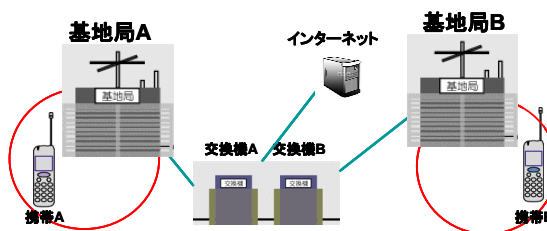


図1 携帯電話の通信の仕組み

基地局は携帯電話と通信可能な通信半径、一度に通信可能な通信容量をその属性としてもつ。本研究では基地局のカテゴリとして、現在主として使われている3種類を扱う (表1)。基地局の各カテゴリの通信容量は実際には異なるが、本研究では単純化の為、同一と仮定する。

表1 基地局データ

	設置費用	通信半径	通信容量
ピコセル(基地局1)	50(万円)	0.04(km)	50
マイクロセル(基地局2)	300(万円)	0.4(km)	
マクロセル(基地局3)	1000(万円)	2.0(km)	

## 3. モデル

ある領域に通信利用者 (以下では需要点) と基地局配置候補点 (以下では候補点) が存在している。各需要点には、その点 (付近) の情報通信量 (以下では需要量  $Q_i$ ) が与えられている。需要点集合を  $I$ 、候補点集合を  $J$  とする。静的なモデルの為、需要点の移動、需要量の増減はないものとする。基地局には、3つのカテゴリがあり、各カテゴリには設置費用、需要点をカバーできる範囲 (以下ではカバー範囲)、処理することができる需要量 (以下ではカバー容量  $R$ ) が与えられる。基地局はカバー範囲内の複数の需要点・需要量をカバー容量に達するまで処理することができ、同一の候補点に複数カテゴリの基地局を複数配置することができる。以上の条件を満たし、すべての需要点・需要量を満たすよ

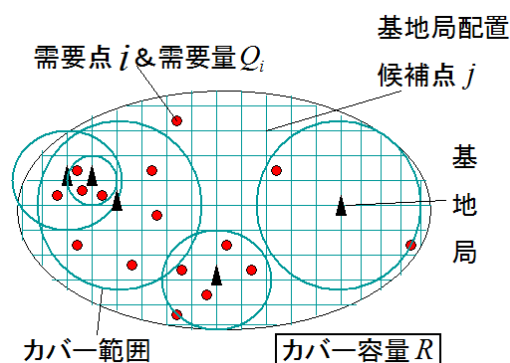


図2 モデル図

うにすべての需要点・需要量を満たすように基地局を配置する問題を考える。

うに基地局を配置する。また、このモデルでは、「複数の基地局の通信半径に含まれる需要点はその中のどの基地局にも通信することができ、需要量は複数の基地局に分配することができる」と仮定する。

#### 4. 定式化

3節で定めたモデルの条件を満たすように、設置費用が最小になる基地局配置を求める問題を定式化する。まず、求める値を変数、与えられる値をデータとして定義する。

<変数>

- $z$  : 基地局総設置費用
- $x_{ij}$  : 候補点  $j$  に設置する基地局に需要点  $i$  の需要量  $Q_i$  を割り当てる割合
- $u_j$  : 候補点  $j$  に配置する基地局 1 の個数
- $v_j$  : 候補点  $j$  に配置する基地局 2 の個数
- $w_j$  : 候補点  $j$  に配置する基地局 3 の個数

<データ>

- $A$  : 基地局 1 の設置費用
- $B$  : 基地局 2 の設置費用
- $C$  : 基地局 3 の設置費用
- $R$  : 基地局のカバー容量
- $e_{ij}$  : 需要点  $i$  が候補点  $j$  から基地局 1 のカバー範囲内であれば 1, そうでなければ 0 とする。
- $f_{ij}$  : 需要点  $i$  が候補点  $j$  から基地局 2 のカバー範囲内であれば 1, そうでなければ 0 とする。
- $g_{ij}$  : 需要点  $i$  が候補点  $j$  から基地局 3 のカバー範囲内であれば 1, そうでなければ 0 とする。

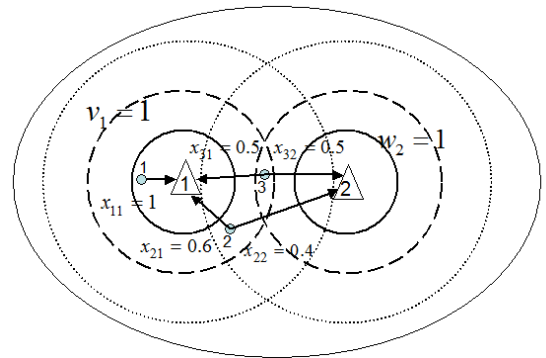


図3 問題例

$$\min z = \sum_{j \in J} (Au_j + Bv_j + Cw_j) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} g_{ij}x_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} Q_i e_{ij} x_{ij} \leq R(u_j + v_j + w_j), \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} Q_i (f_{ij} - e_{ij}) x_{ij} \leq R(v_j + w_j), \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} Q_i (g_{ij} - f_{ij}) x_{ij} \leq R w_j, \forall j \in J \quad (5)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad (6)$$

$$u_j, v_j, w_j \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (7)$$

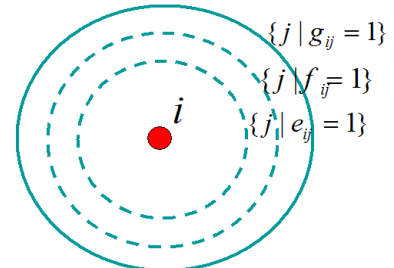


図4 式(2)

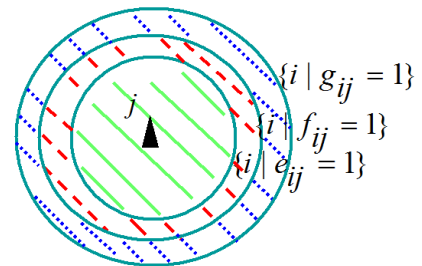


図5 式(3)(4)(5)

次に、以上の記号を用いて、以下のように定式化する。

(1) 式は目的関数で、総設置費用を最小化することを表す。

(2) ~ (5) 式は制約条件である。(2) 式は全ての需要点・需要量は候補点  $j$  に必ず割り当てられることを表す。ただし、ある候補点  $j$  が需要点  $i$  に対してどの基地局のカテゴリで処理していても少なくとも

も基地局3ではカバーできるので  $g_{ij}=1$  となり,  $x_{ij}$  と  $g_{ij}$  をかけたものの総和 ( $j$ における) が1となる. (3) 式は候補点  $j$  において基地局1のカバー範囲内で処理することができる需要点・需要量は候補点  $j$  における基地局1, 2, 3の設置個数のカバー容量以下であることを表す. (4) 式は候補点  $j$  において, 基地局2ではカバーできるが, 基地局1ではカバーできない範囲内で処理することができる需要点・需要量は候補点  $j$  における基地局2, 3の設置個数のカバー容量以下であることを表す. (5) 式は候補点  $j$  において, 基地局3ではカバーできるが, 基地局1, 2ではカバーできない範囲内で処理することができる需要点・需要量は候補点  $j$  における基地局3の設置個数のカバー容量以下であることを表す.

(6) 式は  $x_{ij}$  が割合なので  $0\sim 1$  の値をとることを表す. (7) 式は  $u_j, v_j, w_j$  が設置個数なので整数であることを表す.

この定式化の特徴としては (2), (3), (4), (5) 式により, 需要点・需要量を特定の基地局に割り当てるのではなく, 候補点位置に置かれた基地局集合に割り当てることである. 候補点に設置したどの基地局に割り当てたのかはわからないが, それは状況に応じて容量に余裕のある基地局が受け持つと考えた. こうすることにより, 本研究の問題を混合整数計画問題として扱うことができる.

## 5. 解法

本研究の問題は4節で述べたように混合整数計画問題なので整数計画問題のソルバーを用いて解を求めることができる. まず, 4節の式を glpk のモデルファイルとして表現する. 次に,  $e_{ij}, f_{ij}, g_{ij}$  のデータを glpk のデータファイルとして用意する. 作成したモデルファイル, データファイルを glpk に入力して解を求めようとした. しかし, 対象領域の規模が大きく, 解の候補数が多いため, glpk では解を求めることができなかつたので, gurobi [2] を用いた. glpk を解く際に用いたモデルファイル, データファイルを glpk のコマンドで lp 形式のファイルに変換する. 変換した lp 形式のファイルを gurobi に読み込ませ, 最適化を行い, 解を求めた.

## 6. 数値実験

データは領域を  $1.8\times 1.8 (km^2)$  に相当する, 縦方向16, 横方向16, 計256個の正方形から成るものとし, この領域内に人口が1.3万人いるような土地を想定する. その正方形の交点を基地局候補点として, 289 ( $17\times 17$ ) 個与え, 需要点を2304 ( $48\times 48$ ) 個を与えた (図6). 需要量については, 現実においても需要の偏りがあるので中心にある64個の正方形内の需要点の需要量は3とし, その他の需要点の需要量は2とした. また, 需要量の増加による基地局配置の変化を見るため, 同様に中心の需要量が大きく, 外側の需要量が小さいデータをさらに2通り用意した. 各カテゴリの基地局の属性は現実に即して, 表2のように与えた.

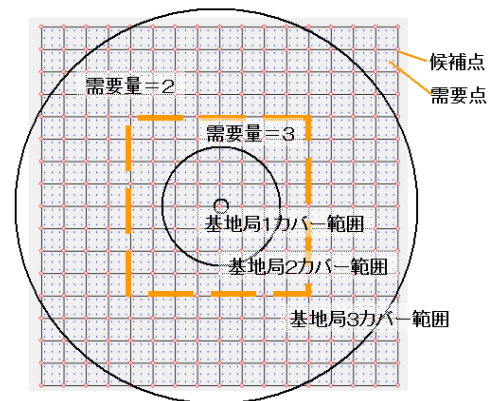


図6 実験対象図

表2 基地局の各カテゴリの属性データ

	設置費用	通信半径	通信容量
基地局1	5	8	50
基地局2	30	80	
基地局3	100	380	

## <結果と考察>

実験結果を図7に示した。円が基地局を配置した位置を表している、大きい円が基地局2、小さい円が基地局1を配置したことを表す。その他の結果を表3にまとめた。図7より、外側の需要点は基地局2で処理していることがわかる。これは基地局1でカバーできる需要点数ではカバー容量が満たされず、基地局2のカバー範囲内の需要点数ならばカバー容量を余すことなく割り当て

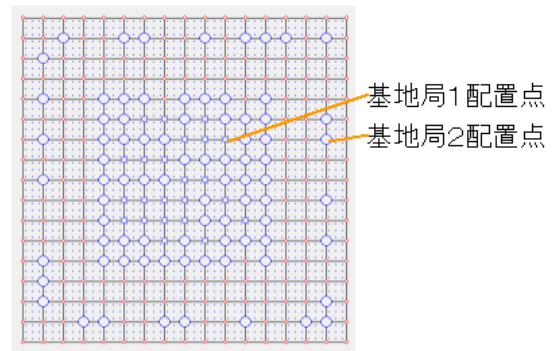


図7 配置結果

表3 配置基地局数と計算時間

需要量(中心部, 外側)	①(2, 3)	②(3, 4)	③(5, 6)
総需要量	5084	7488	12096
基地局1	25	133	83
基地局2	85	91	263
基地局3	0	0	0
総設置費用	2575	3395	8305
計算時間(秒)	190.3	209.74	58.1

ることができる。効率的であるためと考えられる。中心部では、基地局1, 2が大部分の候補点に配置されている。外側と異なり、基地局1が設置されたのは、基地局1と基地局用対効果を比較したときに基地局1のカバー容量の値が9以上であれば、基地局1を配置したほうが良い。そのため基地局1が基地局2の隙間を埋めるように配置されたと考えられる。また、表3のデータ②において、基地局1の配置個数が増加しているのも同様の理由と考えられる。データ③において、基地局1より基地局2が増加している。これは、基地局2で処理できる需要点の選択肢が多いので、カバー容量を最大限まで使用して、効率良く需要点・需要量を処理することができるためと考えられる。最後に、数値実験において基地局3が設置されなかったのは、通信半径と設置費用の費用対効果が基地局2に比べて悪かったのと、対象領域が狭く、基地局3の利点を生かしきれていなかったためと考えられる。

## 7. まとめ

本研究では携帯基地局の配置において、基地局が3種類存在する場合を扱い、情報通信量の需要を全て満たした上で設置費用が最小になる基地局配置を求める問題を混合整数計画問題として定式化し、汎用ソルバーを用いて最適解を求めた。提案したモデルは今後の基地局施設配置計画において、より少ない費用で基地局種類、配置の決定をする際に役立つものとする。今後の課題としては、ソルバーでは解くことのできない規模を扱いカバー範囲の大きい基地局を考慮した基地局配置を求めること、現実において基地局の設置候補点には制限が与えられるので候補点にも制約条件を加えること、基地局の通信半径の重なりによる通信容量の減少を考慮することなどが考えられる。

## 参考文献

- [1] 高橋美佐, 山田孝子, 高橋幸雄: ユーザー人口の偏在を考慮した IMT-2000 システムの基地局配置方策について, 信学技報, vol.102, No.51, pp.7-12 (2002)
- [2] gurobi, <http://www.gurobi.com/> (最終閲覧日 2010/12/30)