

電磁波による健康被害を考慮した携帯電話基地局最適配置問題

1 序論

近年、携帯電話は人々の通信手段として、ほぼ絶対的な地位を築いたと言っても過言ではない。さらに、携帯情報端末（スマートフォン）等も、急激な普及の様相を呈している。携帯電話は、自身が発する信号を基地局と呼ばれる施設で受信し、交換機を通して相手方の最寄りの基地局にアクセスすることにより通話が可能となる。そのため、通話可能エリアは基地局の設置と深い関係がある。どの位置に基地局を設置するかは、予想される利用者数や地価などを総合的に勘案し、決定されるべきものである。しかし、近年携帯電話基地局が持つもう 1 つの側面として、基地局自体が発する電磁波による人体への影響が指摘されつつある。

本論文では、基地局の最適配置問題について、携帯電話基地局による地表電力密度を制約条件に取り入れた、基地局総設置費用最小化の数値計画問題として定式化し、その数値例を示した。

2 地表電力密度関数

携帯電話基地局から x [m] 離れた地点における地表電力密度 $S(x)$ は、指向性指数 α と、位置母数 γ 、尺度母数 ϕ 、増減係数 L を用いて、式(1)で与えられることを文献 [1] にて示した。

$$S(x) = \frac{LPK \cdot 2^{2\alpha} \cdot \alpha!^2}{40\pi x^2 \sqrt{2\alpha+1} (2\alpha)! \left(1 + \frac{(x-\gamma)^2}{\phi^2(2\alpha+1)}\right)^{\alpha+1}} \quad (1)$$

3 通信可能エリアの設定

ある矩形領域内に携帯端末利用者（需要点 i ）と携帯電話基地局配置候補点（候補点 j ）が存在し、需要点集合を $JUYO$ 、候補点集合を $KOHO$ とする。基地局には、通信半径と通信容量、設置費用の 3 つの要素があり、通信半径とは基地局がカバーできる範囲（カバー範囲）であり、通信容量とは基地局が処理することができる需要量（カバー容量 R ）である。基地局はカバー容量に達するまでカバー範囲内の複数の需要点を処理することができ、同じ候補点に複数の基地局を配置することができるものとする。

4 定式化

3 で定めた設定の条件を満たし、かつ、2 での地表電力密度に上限を与え、設置費用が最小となる基地局の配置を施設最適配置問題 [2] として定式化する。

- < 変数 >
- z : 基地局総設置費用
 - r_{ij} : 候補点 j に配置する基地局に需要点 i を割り当てる割合
 - u_j, v_j, w_j : 候補点 j に配置する基地局 A, B, C の個数
 - I_{ix}, I_{iy} : 需要点 i の x, y 座標
 - J_{jx}, J_{jy} : 候補点 j の x, y 座標
 - e_{ij}, f_{ij}, g_{ij} : 需要点 i が候補点 j における基地局 A, B, C のカバー範囲にあれば 1、そうでなければ 0
 - $CD_{h,ij}$: IF { 条件, 真, 偽 } となるような条件分岐
 - a, b, c : 基地局 A, B, C の設置費用（それぞれ 50, 80, 90 万円とする）
 - d_{ij} : 需要点 i と候補点 j との距離

$$d_{ij} = \sqrt{(I_{ix} - J_{jx})^2 + (I_{iy} - J_{jy})^2}$$

- S^* : 電力密度の規制値
- < 目的関数 >
- $$\min z = \sum_{j \in J} (au_j + bv_j + cw_j)$$
- < 制約条件 >
- $\max S(d_{ij}) < S^*, \forall i \in I$

- $\sum_{j \in J} g_{ij} r_{ij} = 1, \forall i \in I$
- $\sum_{i \in I} e_{ij} r_{ij} \leq R(u_j + v_j + w_j), \forall j \in J$
- $\sum_{i \in I} (f_{ij} - e_{ij}) r_{ij} + CD_{1,ij} \leq R(v_j + w_j), \forall j \in J$
- $\sum_{i \in I} (g_{ij} - f_{ij}) r_{ij} + CD_{2,ij} \leq R w_j, \forall j \in J$
- $CD_{1,ij} = \text{IF}\{e_{ij} r_{ij} \leq R u_{ij}, 0, e_{ij} r_{ij} - R u_{ij}\}$
- $CD_{2,ij} = \text{IF}\{e_{ij} r_{ij} \leq R u_{ij}, CD_{3,ij}, CD_{4,ij}\}$
- $CD_{3,ij} = \text{IF}\{(f_{ij} - e_{ij}) r_{ij} \leq R v_j, 0, (f_{ij} - e_{ij}) r_{ij} - R v_j\}$
- $CD_{4,ij} = \text{IF}\{f_{ij} r_{ij} \leq R(u_{ij} + v_{ij}), e_{ij} r_{ij} - R u_{ij}, f_{ij} r_{ij} - R(u_{ij} + v_{ij})\}$

5 数値例

本論文の問題は混合整数計画問題なので、整数計画問題対応のソルバーを用いて解を求める。使用したソルバーは LINDO 社の LINGO である。データ領域を 2×2 [km²] の矩形とする。縦方向、横方向にそれぞれ 3 点、計 9 点の基地局配置候補点があり、この矩形内に需要点を 50 与える。また、需要点 1 つにつき需要量が 10 とする。需要点については現実においても需要の隔たりがあると考え、正規分布を用いて仮定した。また、それぞれの基地局の各要素は、通信半径がそれぞれ 0.3, 0.5, 1.0[km] とし、通信容量については、単純化のため同一の 30 とする。さらに、地表電力密度について、その規制値を $S^* = 0.6$ [mW/cm²] とし、それに従い、地表電力密度関数 S およびアンテナ利得関数 G のパラメータをそれぞれ、 $P = 32$, $K = 2.56$, $L = 40$, $\gamma = 200$, $\phi = 40$, $\delta = 8$ とした。

出力結果を図 1 に示す。また、この時、“×”が需要点を表している。さらに、候補点は図中の直線的な波線が交わるところで、“○”が実際に基地局を設置した点を表している。そして、円形および弧が設置した基地局のカバー範囲を表している。

使用した基地局数は、基地局 A が 2 基、基地局 B が 4 基、基地局 C が 11 基の計 17 基であり、総設置費用は 1410 万円となる。

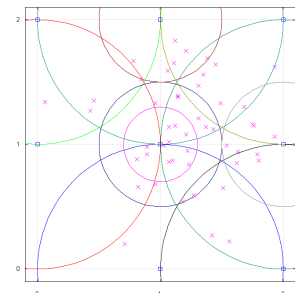


図 1: 出力結果

6 結論

本論文では、携帯電話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、総設置費用が最小になる基地局配置を求める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数値例を示した。提案した設定は今後の基地局施設配置計画において、より少ない費用で健康に配慮した配置の決定をする際に役立つものと考えられる。

今後の課題としては、需要点や候補点および基地局のカバー範囲を拡大した場合の基地局配置問題に対応することや、地価などの制約条件を加えることにより、現実的な基地局配置問題を考えることなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 前田貴子, 金川明弘, 滝本裕則: “携帯電話基地局による地表電力密度の導出”, 平成 23 年度 (第 62 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, pp.510-511, 2011.
- [2] 前田貴子, 金川明弘, 滝本裕則: “地表電力密度を考慮した携帯電話基地局最適配置問題”, 2012 年電子情報通信学会総合大会講演論文集 (予定)