

# アンライセンスバンドを用いた 稠密なLTE/WiFiネットワークにおける チャンネル割り当てと接続先選択手法

銀杏 一輝<sup>†</sup> 木下和彦<sup>††</sup> 河野 圭太<sup>‡</sup>  
中山裕貴<sup>‡‡</sup> 林經正<sup>‡‡</sup> 渡辺 尚<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>大阪大学 <sup>††</sup>徳島大学 <sup>‡</sup>岡山大学  
<sup>‡‡</sup>ボスコ・テクノロジーズ

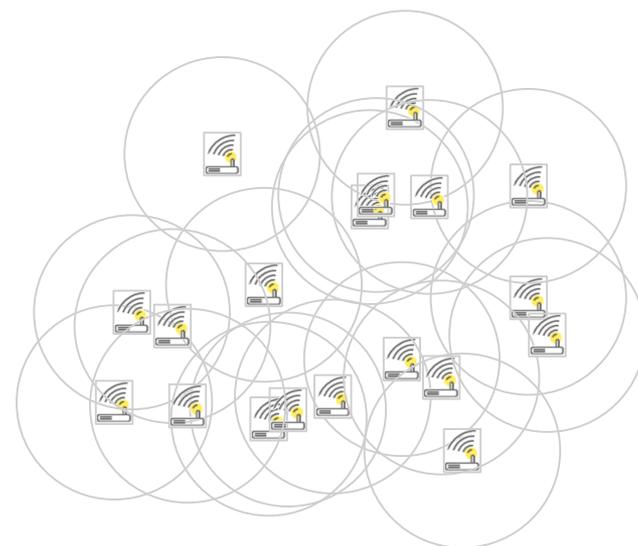
平成30年3月9日

# 発表内容

1. 研究背景
  - 稠密なWiFi環境
  - アンライセンスバンドを用いたLTE
2. 研究目的
  - 稠密なLTE/WiFi環境でのユーザスループットを考慮したリソース割り当て
3. 提案手法
  - LTE/WiFiの集中制御
  - 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いたチャネル割り当てとユーザの接続先変更
4. 性能評価
  - 平均スループットと最小スループットを評価
5. まとめと今後の課題

# 背景

- モバイルデータトラフィックの増加
    - ライセンスバンドの周波数資源逼迫
    - アンライセンスバンド(ex. WiFi)へのオフロード[1]
  - 都市部ではWiFi APが稠密に配置
    - 干渉による実効スループット低下
- 非効率な周波数利用



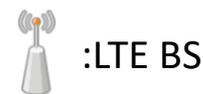
# アンライセンスバンドを用いたLTE

- LTE通信の特徴
  - WiFiより周波数利用効率が良い[2]
- LTEとWiFiの共存
  - LTEとWiFi間で大きな干渉が起こりWiFiのパフォーマンスが著しく低下[3]
    - WiFi : CSMA/CA → コンテンションに基づくアクセス
    - LTE : OFDMA → スケジューリングに基づくアクセス
  - Listen Before Talk (LBT)によるチャネル共有
    - 送信前にキャリアセンスをしてチャネルが空いている場合チャネルアクセスの機会を得る方法
  - 複数LTE基地局(BS)/WiFi APへの最適なチャネル割り当てが課題

[2] T. Maksymyuk, et al, "Comprehensive Spectrum Management for Heterogeneous Networks in LTE-U," in *IEEE Wireless Commun.*, vol. 23, no. 6, pp. 8-15, Dec. 2016.

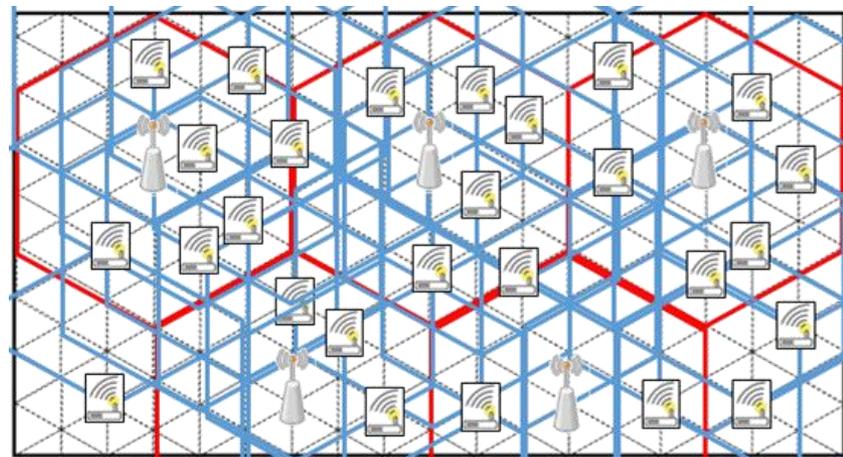
[3] H. Cui, et al., "LTE in the Unlicensed Band: Overview, Challenges, and Opportunities," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 4, pp. 99-105, 2017.

# 研究目的



## LTE基地局(BS)と稠密なWiFi AP環境を想定

- 同一チャネル干渉が発生
  - WiFi AP同士、LTE BSとWiFi AP間  
⇒LBTによるチャネル共有
- 2種類のユーザの混在
  - WiFiのみに接続可 (WOユーザ)
  - LTEとWiFiに接続可 (LWユーザ)
- LTE BSと多くのWiFi APがユーザの接続候補



研究目的:ユーザスループットを考慮したリソース割り当て

⇒WiFi AP, LTE BSへのチャネル割り当て

⇒ユーザの接続先選択

目標:LTE,WiFiに関係なくユーザスループットの平均と公平性の向上

# 提案手法-全体概要

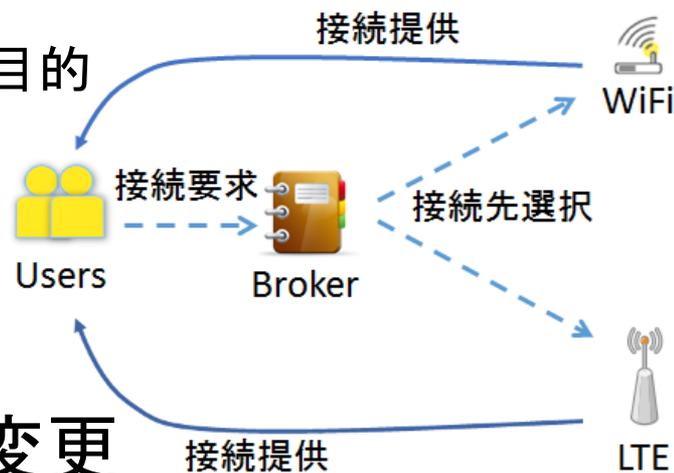
- LTE/WiFiの集中制御

- 稠密にWiFi APが配置されている環境にLTE BSを導入
  - WiFiオペレータからすると否定的[4]



- ブローカの導入

- LTE事業者はLTE BSの展開をブローカに任せる
- WiFiのオペレータはブローカと契約
  - 周波数効率, ユーザスループットの向上を目的

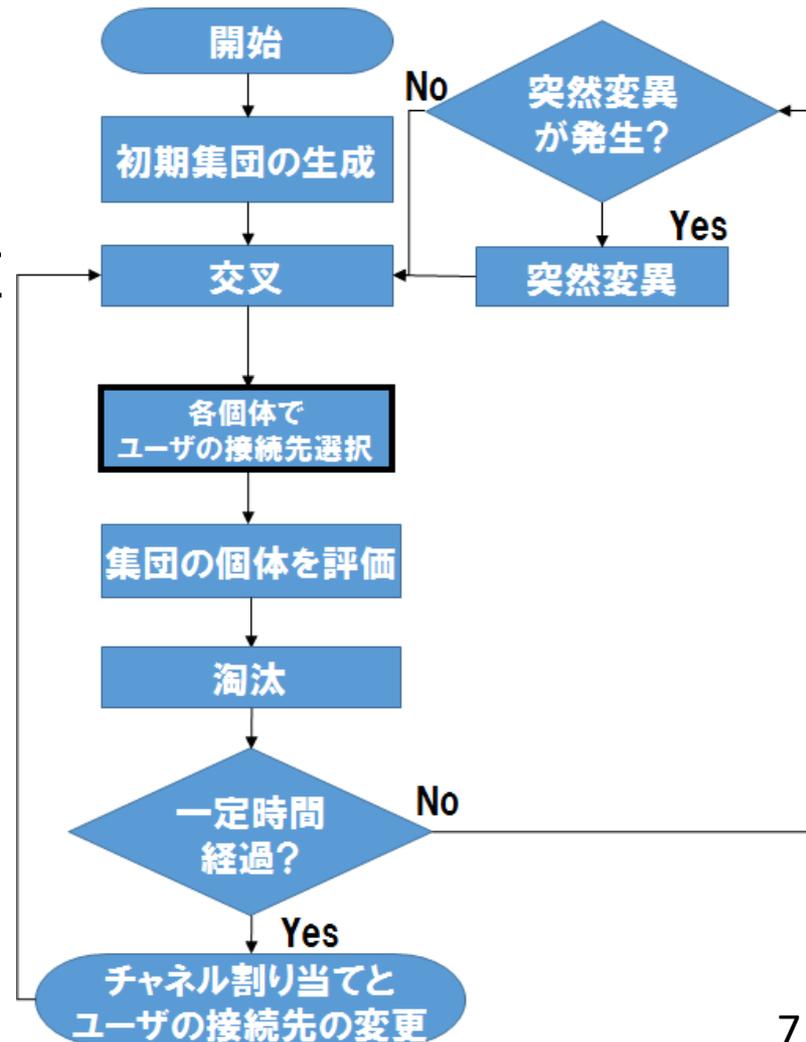


- 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた  
チャンネル割り当てとユーザの接続先変更

[4]J. Lipsky, "Cellular, Wi-Fi Spar Over Spectrum," EE Times, [https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1327553](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1327553).

# 提案手法-GAの手順

- 個体でチャンネル割り当てを表現
- 制約条件下で交叉、突然変異
  - 全エリアはWiFiでカバーされる  
→チャンネル割り当てなしのAPも存在
- 各個体でユーザの接続先を決定
- 評価値に基づいて個体を淘汰
- 一定の時間間隔で最も評価値が高い個体を解として出力

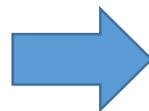
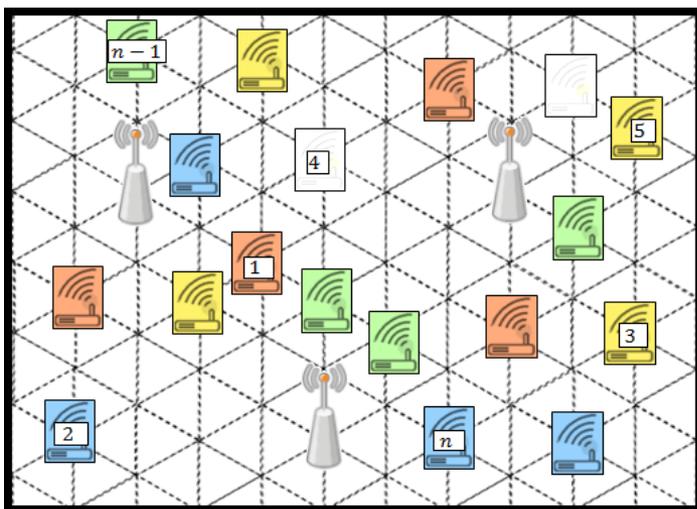


# 提案手法-初期集団

- $N$ 個の個体を生成
- 個体の要素(WiFi AP)へのチャンネル割り当てパターン  
(-1は割り当てなし)

※APの色:割り当てチャンネル

個体



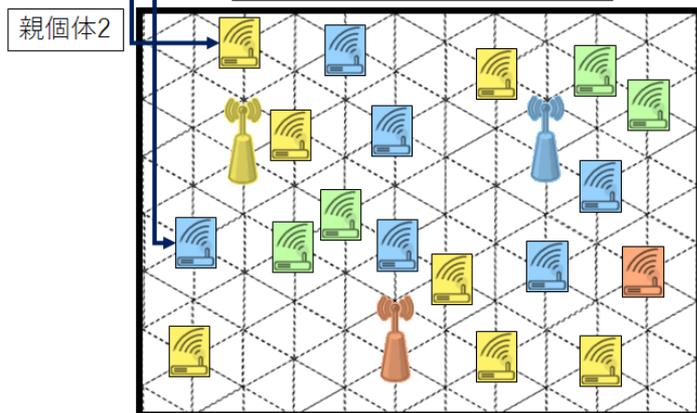
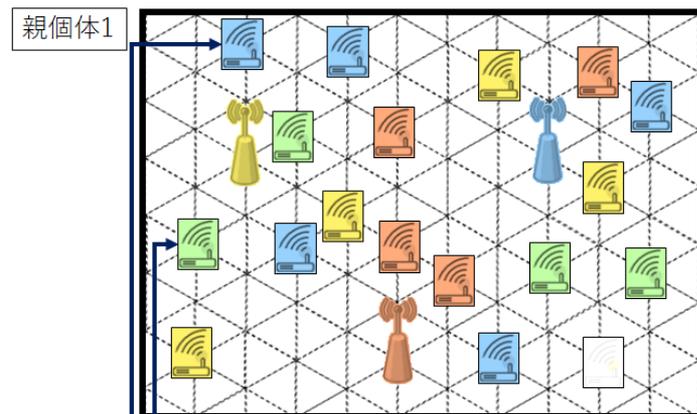
		WiFi AP ID							
ID		1	2	3	4	5	...	n-1	n
要素		0	1	2	-1	2	...	3	1

割り当てチャンネル

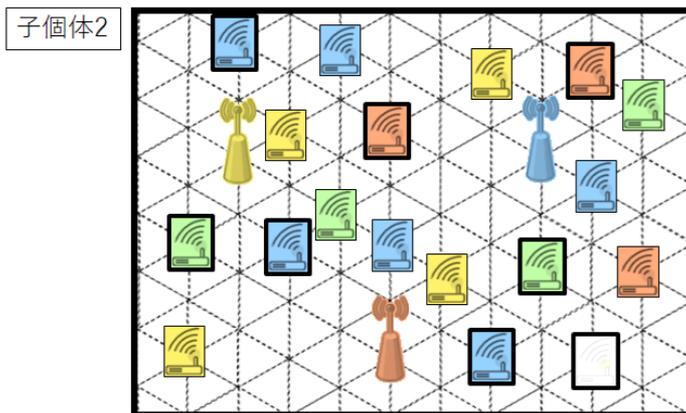
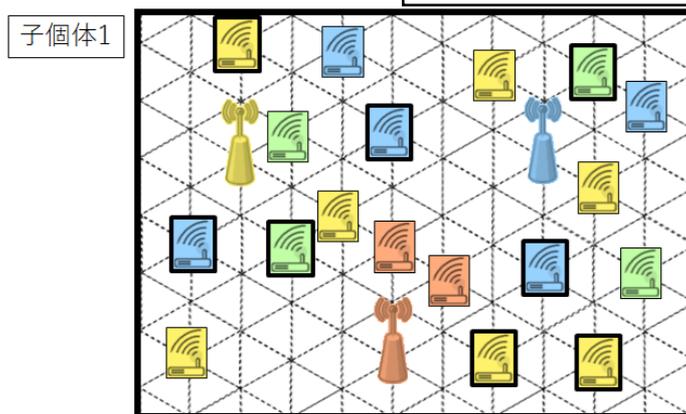
# 提案手法-交叉

- 集団から $M$ 組の親個体を選択
- 一様交叉: 親個体の各要素を $1/2$ の確率で入れ替え

※APの色: 割り当てチャンネル



交叉

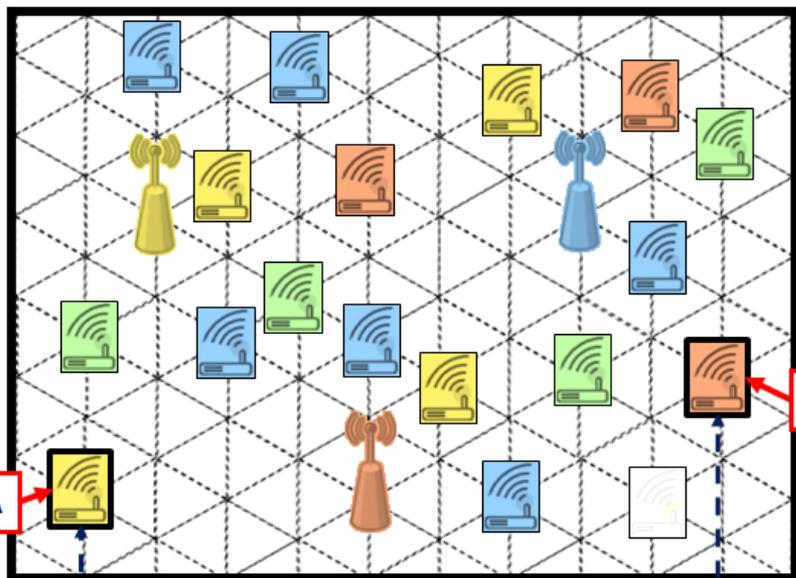


# 提案手法-突然変異

- 一定の確率 $q$ で発生
- 個体を1つ選択  
ランダムに2つのAPを選択し、チャンネルを入れ替え

※APの色:割り当てチャンネル

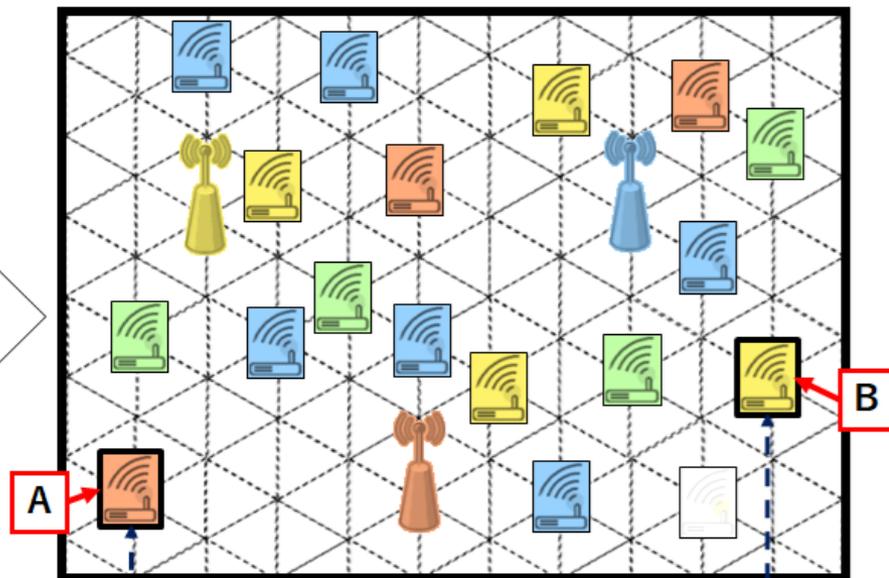
選択した個体



2つの要素を選択

突然変異

突然変異した個体

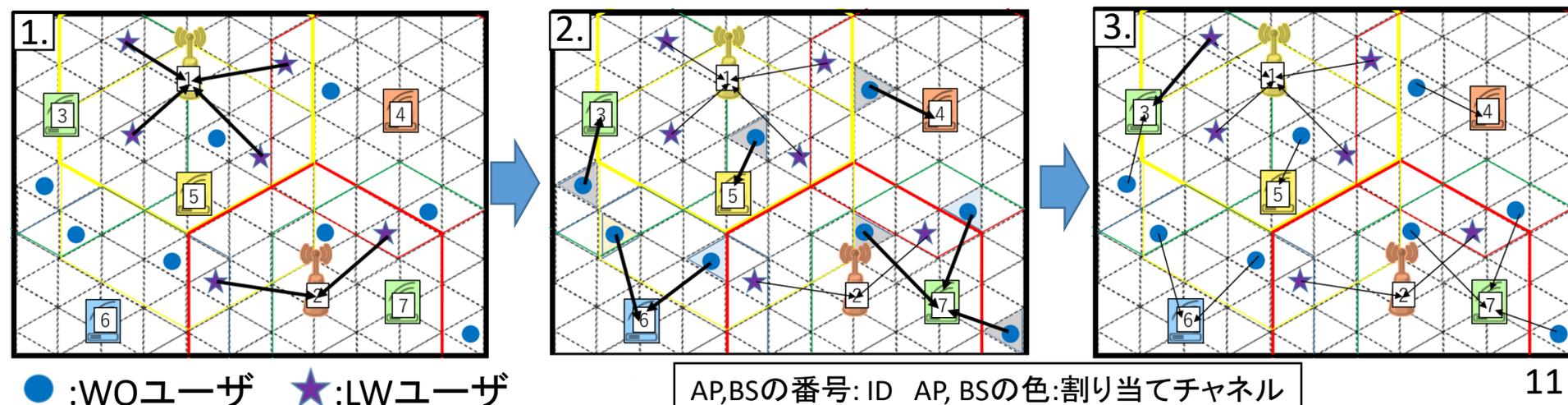


2つの要素を交換

# 提案手法-ユーザの接続先選択

1. LTE BSのカバーエリアにいるLWユーザをすべてLTE BSに接続
2. 残りのユーザを最も高いスループットが得られるWiFi APに接続
  - 接続候補APの少ないユーザから決定
3. LWユーザをWiFi APへオフロード
  - オフロードされるユーザがより高いスループットを得られる場合

$$\text{※ユーザスループット} = \frac{\text{AP (or BS) の容量}}{\text{接続ユーザ数}}$$



# 提案手法-評価、淘汰

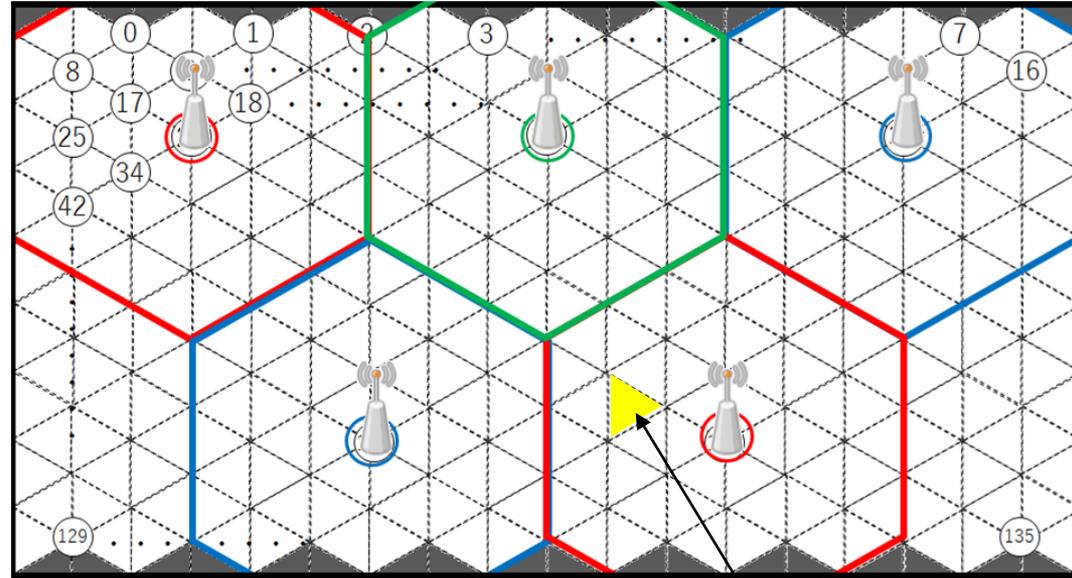
- 各個体の評価
  - 個体 $I$ の評価値 $E_I$ : ユーザが得られるスループットの平均
- 淘汰
  - エリート選択: 評価値の高い順に $N_e$ 個の個体を残す
  - ルーレット選択: 生存確率 $p_I$ で $N - N_e$ 個の個体を残す

$$p_I = \frac{E_I}{\sum E_I}$$

# 性能評価モデル(1/2)

- ネットワークモデル

- WiFi AP数:100
  - ランダムに配置
- LTE BS数:5
  - 配置場所と割り当てチャンネルを固定
- 利用可能チャンネル数 $C$ :4



このエリアごとにユーザが到着

- ユーザ

- 到着率 $\lambda$ のポアソン過程に従って到着
- 平均300[s]の指数分布に従う時間の通信を行う
- WOユーザとLWユーザの到着比率: 1:1

- GAのパラメータ

- 実行間隔:300[s]
- 世代数:1000
- 集団の個体数 $N$ :10
- 交叉のときに選ぶ親個体の組数 $M$ :3
- エリート選択数  $N_e$ :1
- 突然変異発生確率 $q$ :0.05

# 性能評価モデル(2/2)

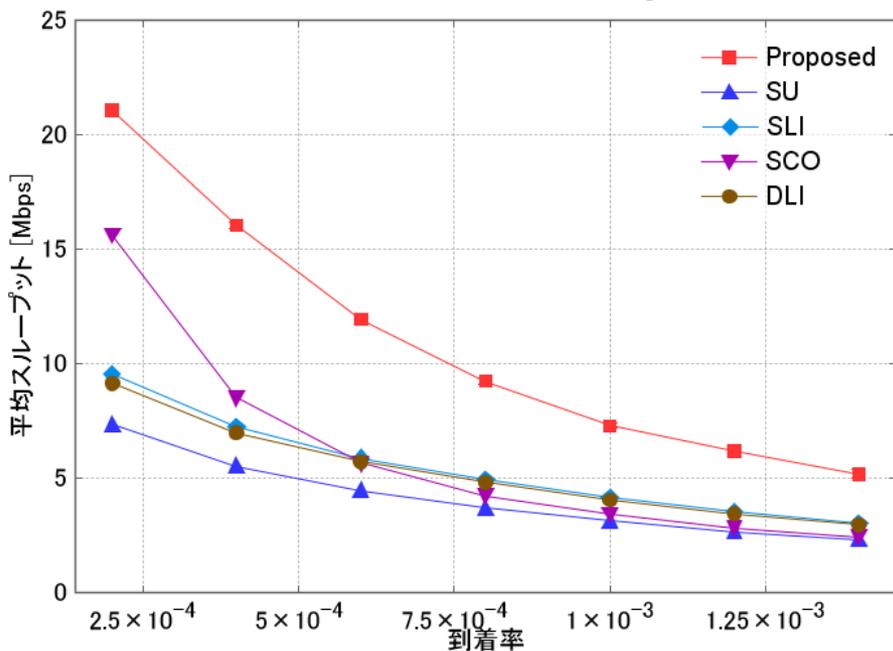
LTE BSとWiFi APの容量計算時のパラメータ[5]

パケットサイズ	12800 bits
MAC ヘッダ	272 bits
PHY ヘッダ	128 bits
ACK	112 bits + PHY ヘッダ
WiFi ビットレート	40 Mbps
LTE ビットレート	75 Mbps
スロット時間	9 $\mu$ s
SIFS	16 $\mu$ s
DIFS	34 $\mu$ s

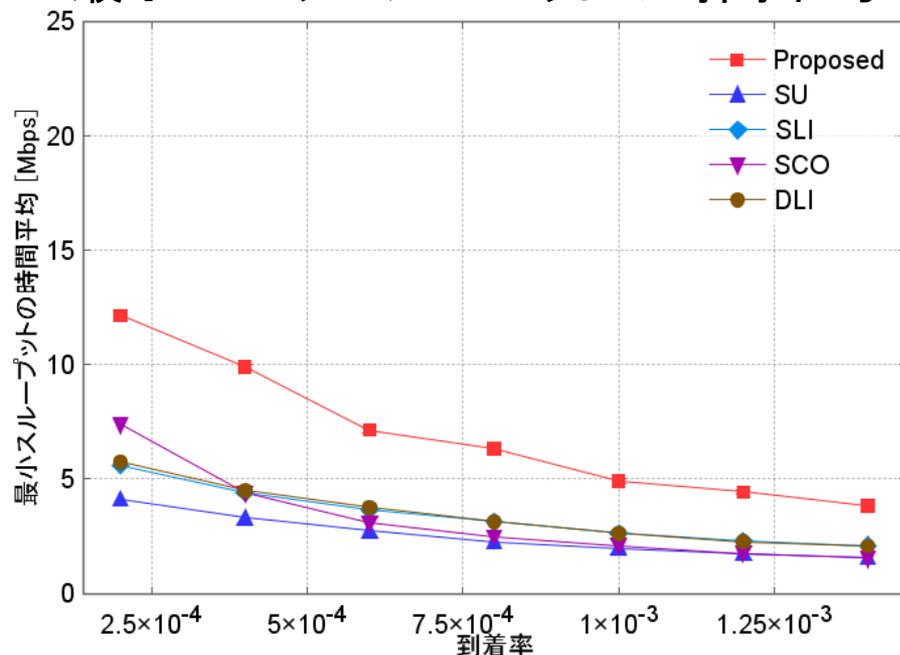
- LTE BSとWiFi APの容量
  - [5]のスループットモデルを利用
    - LBTによるチャネル共有
    - チャネルを共有するAP,BS数によって容量が変化
- 比較手法
  - StaticUncoordinated (SU):
    - ランダムにチャネル割り当て
  - SaticLeastInterference (SLI):
    - 周囲のAPのチャネル割り当てをもとに干渉の少ないチャネルを割り当て
  - StaticChannelOff (SCO):
    - SLIを実行後、すべてのエリアをWiFiがカバーした上で干渉しているAPにはチャネルを割り当てない
  - DynamicLeastInterference (DLI):
    - カバーエリアにいるユーザ数が多いAPから動的にSLIを実行
    - カバーエリアにユーザがない場合、チャネルを割り当てない

# 評価結果

## ユーザスループットの平均



## 最小ユーザスループットの時間平均※

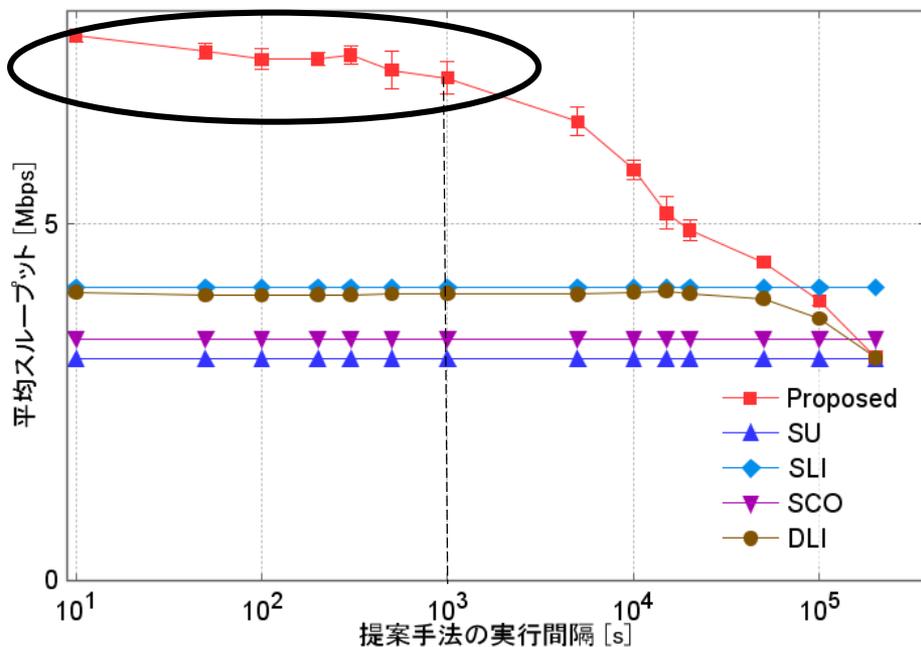


- 平均スループットと最小スループットの両方が向上
  - 平均スループットはチャネル割り当ての効果
  - 最小スループットはユーザの接続先選択による効果

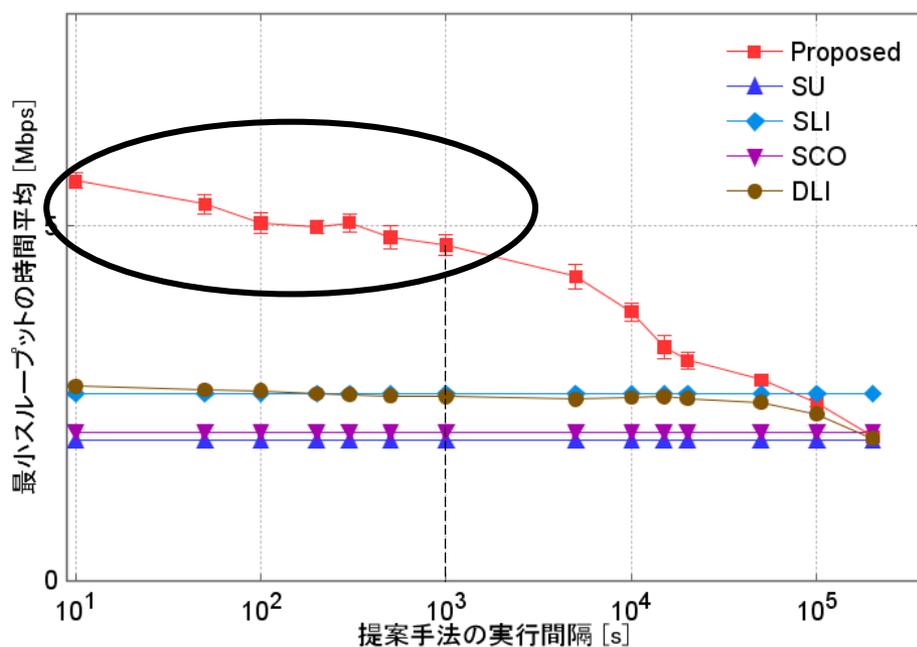
※最小ユーザスループットの時間平均・・・全てのユーザが得られているスループットのうち最小のものをシミュレーションの開始から終了まで平均

# 実行間隔が性能に与える影響

ユーザスループットの平均



最小ユーザスループットの時間平均



※WiFiユーザの到着率=LTE+WiFiユーザの到着率=0.001

提案手法を1000[s]以下の間隔で実行すると効果が大きい  
⇒実用的な間隔で実行可能

# まとめと今後の課題

## • まとめ

- LTE BSと稠密なWiFi APの混在環境におけるユーザスループットを考慮したリソース割り当ての提案
  - ブローカによるLTE/WiFiの集中制御
  - GAを用いたチャネル割り当てとユーザの接続先選択
- 性能評価
  - 平均スループットと最小スループット両方の向上
  - 実用的な時間間隔で実行可能

## • 今後の課題

- ブローカとWiFi AP所持者間の課金モデルの提案
- ユーザのモビリティや距離減衰を考慮した手法の提案