

Selección Dinámica de Celda en los Enlaces Ascendente y Descendente de Redes Heterogéneas: Estudio de las Estrategias Acoplada y Desacoplada

Soraya Montesinos-Barrios, Mari Carmen Aguayo-Torres, Francisco J. Martín-Vega
soraya-montesinos.c@hotmail.com, aguayo@ic.uma.es, fjmvega@ic.uma.es
Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071, Málaga.

Resumen—Dynamic cell selection (DCS) and decoupled access are two disruptive candidate schemes for cell association in future 5G networks. DCS provides adaptation to fast channel variations, which results in potential performance enhancement. On the other hand, decoupled accesses cope with the difference between uplink and downlink transmissions aiming to maximize their performance. In this paper, we investigate the performance such access schemes for both the downlink and the uplink with fractional power control (FPC) and compare them with different combinations of their static and coupled counter parts. Results reveal that decoupled access yields to a great fairness degree in the uplink, while the cost to pay is a minor reduction on the average rate. Additionally, dynamic cell selection with decoupled access leads to a high improvement of both fairness and average rate in the downlink and uplink.

I. INTRODUCCIÓN

Los requisitos impuestos en cuanto al régimen binario, latencia, e igualdad entre los usuarios (*fairness*) para las redes celulares de la quinta generación, 5G, están haciendo que se replanteen los mecanismos de asociación entre los equipos de usuario, (UE, User Equipment) y las estaciones base (BS, Base Station). De especial relevancia es la asociación dinámica [1], que permite que un UE se asocie a BSs distintas para transmitir o recibir datos en distintas sub-tramas y así adaptarse a las variaciones del canal.

Por otro lado, las redes heterogéneas, compuestas por tipos distintos de BSs como las macro BSs (MBSs) y pico BSs (PBSs), plantean nuevos desafíos en cuanto a la asociación. Por motivos de implementación, la opción clásica consiste en asociar cada UE a la misma BS para los enlaces descendente (DL, Downlink) y ascendente (UL, Uplink). La asociación se realiza en base a la potencia media máxima recibida en el DL. Como las MBSs transmiten con mayor potencia que las PBSs, esta situación lleva a tener MBSs muy cargadas (en cuanto al número de UEs). Por tanto, para igualar la carga se añade un bias a la asociación, que desplaza a los UEs hacia las PBSs. No obstante, el hecho de tener una asociación basada en potencia recibida en el DL, lleva a una disminución de las prestaciones del UL, ya que ambos enlaces tienen características diferentes [2]. Es por ello que se ha propuesto recientemente desacoplar la asociación en los enlaces DL y UL [2].

Los métodos de asociación dinámica (DCS, Dynamic Cell Selection) y desacoplada plantean desafíos de implementación. Por tanto es necesario realizar estudios realistas de ambas técnicas para evaluar las ganancias potenciales que pueden ofrecer. En [3] se estudian a nivel teórico las prestaciones de

la asociación desacoplada de los enlaces DL y UL con control de potencia fraccionado (FPC, Fractional Power Control). No obstante, dicho estudio no considera las prestaciones conjuntas del DL y UL con asociación acoplada. En [4] se estudian las prestaciones de la asociación dinámica en el DL donde las BS pueden pasar a estado inactivo dependiendo de la carga. En análisis de la selección de BS dinámica para el DL de redes de acceso radio centralizadas se hace en [5].

Ninguno de los mencionados trabajos estudia las prestaciones conjuntas de los enlaces DL y UL con acceso dinámico y desacoplado. Este nos sirvió de motivación para hacer un estudio de ambas técnicas de forma conjunta y compararlas con alternativas clásicas como el acceso acoplado y basado en valores medios (estático). Del análisis detallado de estos escenarios se han obtenido las siguientes conclusiones: 1) en el UL la asociación desacoplada conduce a una gran justicia entre los usuarios con respecto al caso acoplado; 2) con acceso desacoplado, la selección dinámica de celda mejora tanto el *fairness* como el régimen binario medio del DL y UL; 3) el uso de un bias con la asociación acoplada mejora justicia entre los usuarios tanto en el UL como el DL, no obstante los niveles de justicia son menores que con el acceso desacoplado; y 4) la asociación a la BS más cercana ofrece unos niveles de *fairness* intermedios entre los acceso acoplado y desacoplados.

II. MODELO DEL SISTEMA

El escenario estudiado considera dos niveles de BSs, MBSs y PBSs que difieren en cuanto a la potencia transmitida, pérdidas de propagación y densidad espacial. Se consideran asociaciones dinámicas, que están basadas en potencias y pérdidas del enlace instantáneas, así como asociaciones estáticas, basadas en niveles medios (de potencia y de pérdidas del enlace). Además se considera tanto asociación acoplada como desacoplada y los casos del DL y UL conjuntamente. La Fig. 1 ilustra a modo de ejemplo los casos de asociación desacoplada (caso del UE 2) y acoplada (caso del UE 1)

A. Modelado espacial y de canal

Las posiciones de las MBSs y PBSs se modelan como dos procesos punto de Poisson (PPP) independientes [6], $\Phi_j \subset \mathbb{R}^2$, con $j = M$ para identificar a las MBSs y $j = P$ para las PBSs. El conjunto de todas las BSs se representa como $\Phi = \Phi_M \cup \Phi_P$. La densidad espacial de las BSs del nivel j se representa como λ_j , y p_j representa su potencia transmitida en el DL. La transmisión de las

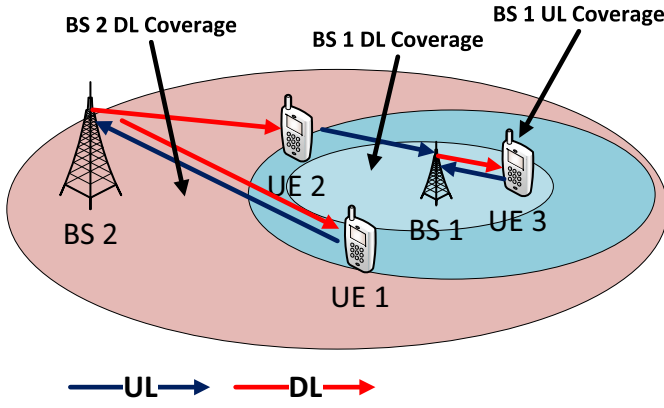


Fig. 1. Modelo de sistema para el acoplamiento y desacoplamiento del enlace ascendente y descendente.

señales sufre (en los enlaces DL y UL) desvanecimiento multi-camino, desvanecimientos lentos (*shadowing*) y pérdidas de propagación. Por tanto la ganancia de potencia del enlace con una BS del tier j entre las posiciones x e y se representa como sigue: $H_{x,y} S_{x,y} (\tau_j R_{x,y})^{-\alpha_j}$; donde τ_j y α_j son la pendiente y el exponente de las pérdidas de propagación, que difieren según el nivel de la BS, pero son iguales para el UL y DL; $R_{x,y}$ es la distancia entre x e y ; $H_{x,y}$ representa el desvanecimiento multi-camino que se distribuye acorde a una distribución exponencial de media unitaria; y $S_{x,y}$ es el *shadowing* acorde a una distribución log-normal cuya desviación estándar es σ_S . Se asumen desvanecimientos lentos y multi-camino independientes para distintas localizaciones. Para las mismas localizaciones x e y , el desvanecimiento multi-camino es independiente en el DL y UL, mientras que las pérdidas por *shadowing* son las mismas.

B. Control de potencia en el UL

Se considera que las BSs transmiten a potencia constante p_j en el DL. Sin embargo en el UL se realiza la técnica FPC para ahorrar batería en el móvil y reducir la interferencia generada en otras celdas. Para ello, se hace uso del factor de control parcial de potencia $\epsilon \in [0, 1]$. Por tanto, la potencia transmitida por un UE situado en x cuando transmite a la BS del nivel j , situada en y , sigue esta expresión

$$P_x = P_0 (\tau_j R_{x,y} \cdot S_{x,y}^{-\frac{1}{\alpha_j}})^{\alpha_j \epsilon}, \quad (1)$$

siendo P_0 la potencia de transmisión cuando no existe control de potencia (la misma para todos los terminales de la red).

C. Criterios de asociación terminal-celda

Cada terminal se asocia a la celda servidora según el criterio de asociación empleado. Se han considerado los siguientes criterios de asociación:

- *Nearest*: cada UE se asocia con la BS más cercana. Es decir, para un UE situado en x , éste elige la BS situada en $y \in \Phi$ con $\arg \min_{y \in \Phi} R_{x,y}$. Como la BS más cercana es la misma en el UL y DL, aplica sólo al caso acoplado.
- *Minimum Average Path Loss (PL)*: aplicado al UL elige la asociación con la cual se obtiene el menor valor medio de pérdidas de propagación en el enlace entre el UE situado en x y la BS que le da servicio, incluyendo

TABLA I
CRITERIOS DE ASOCIACIÓN TERMINAL-CELDA.

Nº criterio	DL	UL
1)	<i>Nearest</i>	Acoplado
2)	<i>Max DL Average Power</i>	Acoplado
3)	<i>DCS based on rec. Power</i>	Acoplado
4)	<i>Max DL Average Power</i>	<i>Min Average PL</i>
5)	<i>DCS based on rec. Power</i>	<i>DCS based on PL</i>

las pérdidas por desvanecimientos lentos. De manera más formal, esta asociación se representa como sigue: $\arg \min_{y \in \Phi} [(\tau_{\mathcal{K}(y)} R_{x,y})^{-\alpha_{\mathcal{K}(y)}} S_{x,y}]$; donde $\mathcal{K}(y)$ representa el nivel de la BS situada en $y \in \Phi$ con $j \in \{M, P\}$.

- *Dynamic Cell Selection (DCS) based on PL*: aplicado al UL, elige la asociación con la cual se obtiene el menor valor instantáneo de pérdidas de propagación en el enlace entre el UE y la BS correspondiente, incluyendo las pérdidas por desvanecimientos lentos y rápidos. Esta técnica considera por tanto una asociación dinámica en el UL y se expresa matemáticamente como sigue: $\arg \min_{y \in \Phi} [(\tau_{\mathcal{K}(y)} R_{x,y})^{-\alpha_{\mathcal{K}(y)}} S_{x,y} H_{x,y}]$
- *Maximum Downlink Average Power*: aplicado al DL, se elige la asociación con la cual se recibe un mayor valor de potencia media pesada procedente de una BS, incluyendo las pérdidas de propagación y por desvanecimientos lentos y el bias, β_j , en la asociación. De manera formal, se expresa como sigue: $\arg \min_{y \in \Phi} [(\tau_{\mathcal{K}(y)} R_{x,y})^{-\alpha_{\mathcal{K}(y)}} S_{x,y} p_{\mathcal{K}(y)} \beta_{\mathcal{K}(y)}]$. El bias aplica sólo a las PBS, lo cuál implica que $\beta_M = 1$ y $\beta_P \geq 1$.
- *DCS based on received Power*: aplicado en el enlace descendente, se elige la asociación con la cual se recibe un mayor valor de potencia instantánea, es decir, considerando pérdidas por el espacio libre, las pérdidas por desvanecimientos lentos y las pérdidas por desvanecimientos rápidos. Matemáticamente esta asociación se puede expresar como sigue: $\arg \min_{y \in \Phi} [(\tau_{\mathcal{K}(y)} R_{x,y})^{-\alpha_{\mathcal{K}(y)}} S_{x,y} H_{x,y} p_{\mathcal{K}(y)} \beta_{\mathcal{K}(y)}]$

En este simulador cabe la posibilidad de realizar asociaciones terminal-celda para el enlace descendente y para el enlace ascendente de forma independiente, es decir, ambos enlaces están desacoplados. Por lo tanto, en total se obtienen cinco criterios de asociación, mostrados en la tabla I

D. Asignación de recursos y métricas de interés

Una vez se ha determinado la asociación de todos UEs, cada BSs hace la planificación de recursos para las transmisiones en el DL y el UL. Se considera un planificador del tipo *Round Robin*, en el que el ancho de banda disponible se divide entre los usuarios activos. No obstante, hay un máximo número de UEs que se pueden planificar en el mismo intervalo de transmisión, N_{\max} . Por tanto si una BS tiene más de N_{\max} UEs asociados a ella, ésta elige N_{\max} UEs de forma aleatoria para planificarlos. Después de planificar a los UEs se calcula la SINR que tienen en el enlace correspondiente (UL y

TABLA II
CONDICIONES DE SIMULACIÓN GENERALES, CUYOS VALORES SE HAN
OBTENIDO DE LA NORMA 3GPP [7]

Parámetros	Valor
Ancho de banda RAN	9 MHz
Potencia de Ruido Térmico	-174 dBm/Hz
Figura de Ruido	5 dB
Exp. Pérdidas Prop. Macro-Celdas (α_M)	3,76
Pend. Pérdidas Prop. Macro-Celdas (τ_M)	2,55
Exp. Pérdidas Prop. Pico-Celdas (α_P)	4
Pend. Pérdidas Prop. Pico-Celdas (τ_P)	3,41
Pot. Tx. Máx Macro-Celdas	-24 dBm/Hz
Pot. Tx. Máx Pico-Celdas	-46 dBm/Hz
Desv. <i>Shadowing</i> Macro-Celdas (σ_M)	10 dB
Desv. <i>Shadowing</i> Pico-Celdas (σ_P)	6 dB
Distribución <i>Fast-Fading</i> Pico-Celdas	$\sim \exp(1)$

DL). Se considera modulación y codificación adaptada (AMC, Adaptive Modulation and Coding) con lo que el régimen binario se adapta a la SINR para conseguir una probabilidad de error de bloque por debajo de un valor objetivo, que en nuestro caso es del 10%. Las métricas de interés son el régimen binario medio del UE típico y la justicia (*fairness*) entre UEs en cuanto al régimen binario. La primera métrica representa el régimen binario medio de un UE elegido al azar y se calcula obteniendo el régimen binario de un UE en muchas realizaciones espaciales. Cada realización espacial, implica generar las posiciones de todas las BSs, UEs y desvanecimientos multi-camino y a largo plazo (*shadowing*); hacer, tanto para DL como UL, la asociación, planificación, cálculo de la SINR y cálculo del régimen binario. La segunda métrica da una idea de la justicia que hay entre los UEs. Si los UEs tienen valores del régimen binario parecidos, el valor de dicha métrica será alto, y los usuarios de borde tendrán una calidad de servicio aceptable. No obstante, si el *fairness* toma un valor bajo, quiere decir que existen desigualdades en el sistema y los UEs de borde de celda tienen unas prestaciones muy pobres.

III. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos por simulación para los enlaces UL y DL. La Tabla II ilustra los parámetros considerados para simulación, que han sido escogidos acorde a las especificaciones del 3GPP [7].

La Fig. 2 ilustra el régimen binario medio del UL con respecto al factor de control de potencia, ϵ , para las combinaciones de asociación en el DL y UL definidas en la Tabla I y con $\beta = 0$ dB. Se aprecia que el sistema se encuentra limitado por ruido para valores pequeños de ϵ . Por eso aumentar la potencia de transmisión mejora el régimen binario. Además, para un mismo valor de ϵ , la potencia transmisión es mayor cuando P_0 es mayor (comparese $P_0 = -80$ y $P_0 = -65$ dBm/Hz). Es remarcable el hecho de que las asociaciones desacopladas (asoc. 4 y 5) no mejoran en régimen binario con respecto a las acopladas (asoc. 2 y 3). De hecho, el régimen binario de las acopladas es ligeramente mayor. Esto se debe a que, con los criterios 4 y 5, se tienen PBSs con

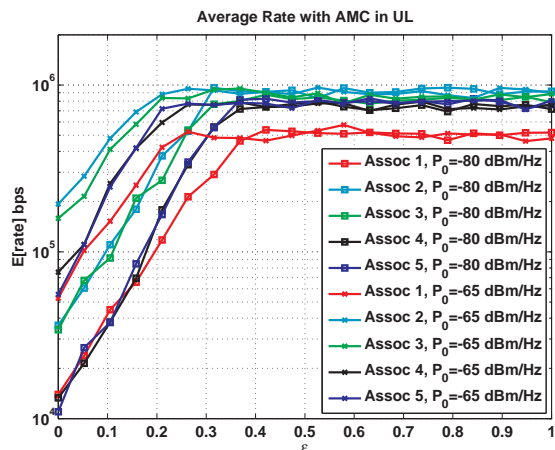


Fig. 2. Tasa media de datos en el enlace ascendente en función del factor de control de potencia (ϵ), para cada criterio de asociación y valores de potencia P_0 de -65, -80 y -100 dBm/Hz.

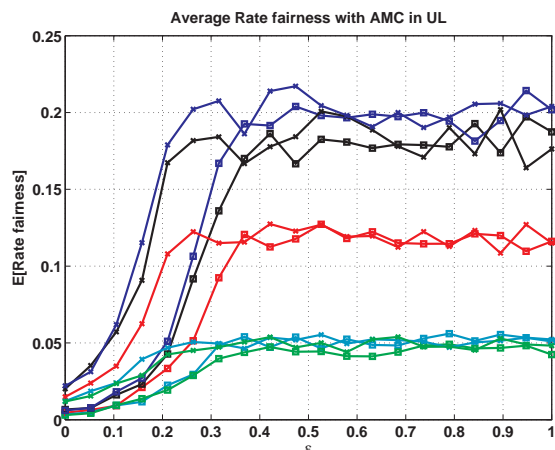


Fig. 3. Justicia de velocidad de usuarios en el enlace ascendente en función del factor de control de potencia (ϵ), para cada criterio de asociación y valores de potencia P_0 de -65, -80 y -100 dBm/Hz.

pocos usuarios que además están muy cerca de la PBS que les da servicio. Éstos usuarios hacen crecer mucho el régimen binario medio por tener una SINR muy alta y obtener mucho ancho de banda. El caso de asociación 1 (ver Tabla I) obtiene los peores resultados. Esto se debe a que al estar los UEs asociados a la BS más cercana, va a haber muchos usuarios asociados a PBSs con las que no tienen pérdidas mínimas. Esto disminuye la potencia de señal deseada y causa gran una interferencia a celdas vecinas debido al control de potencia, lo cual disminuye las prestaciones.

La Fig. 3 ilustra el *fairness* con respecto a ϵ con $\beta = 0$ dB. De analizar los resultados de la figura se extraen las siguientes conclusiones. Los métodos desacoplados mejoran la justicia. Esto se debe a dos motivos: 1) los usuarios tienen valores de SINR más parecidos entre sí, ya que se asocian por mínimas pérdidas y las pérdidas son parecidas para MBS y PBS y 2) las MBSs y PBSs tienen, en el caso desacoplado, una carga similar ya que no se tiene en cuenta en la asociación la potencia de transmisión en el DL, que es muy dispar entre ambos tipos de BSs. Se observa la mejora por tener conocimiento instantáneo del canal (DCS) tras comparar 5 y

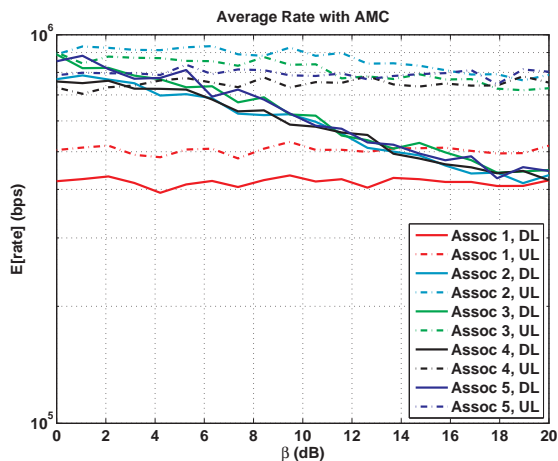


Fig. 4. Velocidad media en los enlaces ascendente y descendente con el criterio AMC en función del parámetro β , para cada criterio de asociación.

4. Con la asoc. 5 los UEs se asocian a la BS con la que tienen menores pérdidas a nivel instantáneo, lo cual mejora el *fairness*. Los casos acoplados (2 y 3) son más los injustos como puede apreciarse. El caso 1 es un caso intermedio. La carga es similar para MBSs y PBSs. Sin embargo los UEs no se asocian a la BSs con la que tienen menores pérdidas, lo cual hace que los UEs de borde, que están asociados a una BS con la que no tienen pérdidas mínimas tengan una SINR muy pobre. Esto provoca que haya mucha diferencia en prestaciones con respecto a los UEs de centro.

Las Fig. 4 y Fig. 5 ilustran el régimen binario y el *fairness* respectivamente para los casos definidos en la Tabla I con respecto al bias. Mayor bias implica más UEs asociados a PBSs en DL y UL en los casos acoplados (2 y 3) y sólo en el DL de los casos desacoplados (4 y 5). El caso 1 es independiente del bias y el valor que aparece es un valor de referencia. De comparar ambas figuras para el caso del DL se obtienen las siguientes conclusiones: 1) en el caso desacoplado (ver asoc. 4 y 5) DCS mejora tanto el régimen binario medio como el *fairness*; 2) en el caso acoplado DCS mejora tanto el régimen binario medio como el *fairness* del DL, pero empeora ambas métricas para el UL; y 3) aumentar el bias mejora el *fairness* en los casos acoplados (2 y 3) tanto en el DL como en el UL. 1) se debe a que con la asociación 5, se maximiza la señal deseada de todos los UEs y además los UEs tienden a tener un régimen binario más parecido. 2) se explica porque los UEs se asocian de forma instantánea a la BS más idónea, pero no lo hacen para el UL. Por último, 3) se explica porque el bias hace que las PBSs estén más cargadas, con lo cual se reparte el ancho de banda de forma más equitativa entre UEs asociados a MBSs y PBSs.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un estudio de novedosas técnicas de asociación que son candidatas a formar parte de los futuros estándares sobre redes de acceso 5G. Las técnicas estudiadas incluyen: 1) la asociación dinámica, basada en el estado instantáneo del canal; 2) asociación estática, basada en valores medios; 3) asociaciones acopladas en los enlaces ascendente y descendente; y 4) asociación desacoplada. El

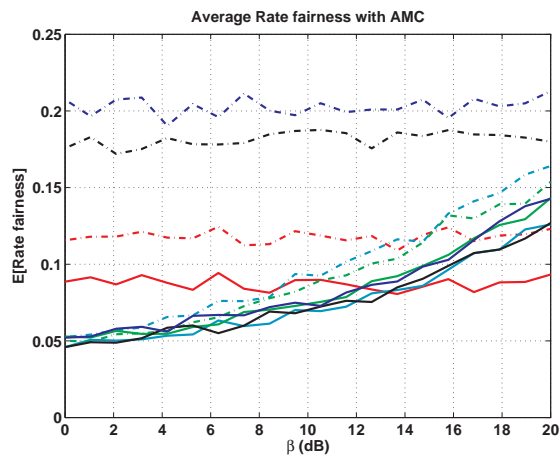


Fig. 5. Justicia de la velocidad entre usuarios media en los enlaces ascendente y descendente con el criterio AMC en función del parámetro β , para cada criterio de asociación.

análisis de dichas técnicas se ha realizado para los enlaces ascendente y descendente, con control de potencia, considerando una red heterogéneas compuesta por dos niveles: macro estaciones base y pico estaciones base. Tras un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos por simulación se han obtenido las siguientes conclusiones: 1) en el UL la asociación desacoplada conduce a una gran justicia entre los usuarios con respecto al caso acoplado; 2) con acceso desacoplado, la selección dinámica de celda mejora tanto el *fairness* como el régimen binario medio del DL y UL; 3) el uso de un bias con la asociación acoplada mejora justicia entre los usuarios tanto en el UL como el DL, no obstante los niveles de justicia son menores que con el acceso desacoplado; y 4) la asociación a la BS más cercana ofrece unos niveles de *fairness* intermedios entre los acceso acoplado y desacoplados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el gobierno de España (Ministerio de Economía y Competitividad) y FEDER, bajo los proyectos TEC2013-44442-P y TEC2016-80090-C2-1-R, así como la Universidad de Málaga.

REFERENCIAS

- [1] X. Huang, S. Liu, Y. Li, F. Zhu, and Q. Chen, "Dynamic cell selection and resource allocation in cognitive small cell networks," in *2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Sept 2016, pp. 1–6.
- [2] D. Liu, L. Wang, Y. Chen, M. ElKashlan, K. K. Wong, R. Schober, and L. Hanzo, "User Association in 5G Networks: A Survey and an Outlook," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, no. 2, pp. 1018–1044, Secondquarter 2016.
- [3] S. Singh and et al., "Joint Rate and SINR Coverage Analysis for Decoupled Uplink-Downlink Biased Cell Associations in HetNets," *IEEE Trans. on Wireless Comm.*, vol. 14, no. 10, Oct 2015.
- [4] A. Alorainy and M. J. Hossain, "Downlink Dynamic Cell Selection in Wireless Networks with Cell Sleeping: Cross Layer Performance Analysis," in *IEEE Global Comm. Conf. (GLOBECOM)*, Dec 2015.
- [5] Z. Ding and H. V. Poor, "The Use of Spatially Random Base Stations in Cloud Radio Access Networks," *IEEE Sig. Proc. Lett.*, vol. 20, no. 11, Nov 2013.
- [6] H. ElSawy and et al., "Stochastic Geometry for Modeling, Analysis, and Design of Multi-Tier and Cognitive Cellular Wireless Networks: A Survey," *IEEE Comm. Surveys Tut.*, vol. 15, no. 3, Third 2013.
- [7] 3GPP, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) requirements for LTE Pico Node B*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP) TR 36.931, Sep. 2011.