

Resumen

La quinta generación de redes móviles (5G) se encuentra a la vuelta de la esquina. Se espera que esta nueva generación provea de beneficios extraordinarios a la población y, también, que resuelva la mayoría de los problemas de las redes de cuarta generación (4G) actuales. El éxito de 5G, cuya primera fase de estandarización ha sido completada, depende de tres pilares; cada uno de ellos corresponde a uno de sus casos de uso: comunicaciones tipo-máquina masivas, banda ancha móvil mejorada y comunicaciones ultra fiables y de baja latencia (mMTC, eMBB y URLLC, respectivamente, por sus siglas en inglés). En esta tesis nos enfocamos en el primer pilar de 5G, mMTC, pero también proveemos una solución para lograr eMBB en escenarios de distribución masiva de contenidos. Específicamente, las principales contribuciones son en las áreas de: 1) soporte eficiente de mMTC en redes celulares; 2) acceso aleatorio para el reporte de eventos en redes inalámbricas de sensores (WSNs); y 3) cooperación para la distribución masiva de contenidos en redes celulares.

En el apartado de mMTC en redes celulares, esta tesis provee un análisis profundo del desempeño del procedimiento de acceso aleatorio, que es la forma mediante la cual los dispositivos móviles acceden a la red. Estos análisis fueron inicialmente llevados a cabo por medio de simulaciones y, posteriormente, por medio de un modelo analítico. En ambos tipos de análisis los modelos fueron desarrollados específicamente para este propósito e incluyen uno de los esquemas de control de acceso más prometedores: *access class barring* (ACB). Nuestro modelo es uno de los más precisos que se pueden encontrar en la literatura y el único que incorpora el esquema de ACB. Los resultados obtenidos por medio de este modelo y por simulación son claros: los accesos altamente sincronizados que ocurren en aplicaciones de mMTC pueden causar congestión severa

en el canal de acceso. Por otro lado, también son claros en que esta congestión se puede prevenir con una adecuada configuración del ACB. Sin embargo, los parámetros de configuración del ACB deben ser continuamente adaptados a la intensidad de accesos para poder obtener un desempeño óptimo. En la tesis se propone una solución práctica a este problema en la forma de un esquema de configuración automática para el ACB; lo llamamos ACBC. Los resultados muestran que nuestro esquema puede lograr un desempeño muy cercano al óptimo sin importar la intensidad de los accesos. Asimismo, puede ser directamente implementado en redes celulares para soportar el tráfico mMTC, ya que ha sido diseñado teniendo en cuenta los estándares del *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. Esta combinación de características difícilmente se encuentra en otros esquemas de control de acceso reportados en la literatura.

Además de los análisis descritos anteriormente para redes celulares, se realiza un análisis general para aplicaciones de contadores inteligentes. Es decir, estudiamos un escenario de mMTC desde la perspectiva de las WSNs con tareas de detección y reporte de eventos. Específicamente, desarrollamos un modelo híbrido para el análisis de desempeño y la optimización de protocolos de WSNs de acceso aleatorio y basados en *cluster*. Los resultados obtenidos por medio de este modelo muestran la utilidad de escuchar el medio inalámbrico para minimizar el número de transmisiones y también de modificar las probabilidades de transmisión después de una colisión. Con base en los resultados, somos capaces de proponer directrices que pueden mejorar drásticamente el desempeño de una amplia gama de protocolos y sistemas de acceso aleatorio para aplicaciones de reporte de eventos.

En lo que respecta a eMBB, nos enfocamos en un escenario de distribución masiva de contenidos, en el que un mismo contenido es enviado de forma simultánea a un gran número de usuarios móviles. Un escenario de este tipo puede ocurrir, por ejemplo, con servicios de *streaming* de vídeo que ofrecen un contenido particularmente popular. Este escenario es problemático, ya que las estaciones base de la red celular no cuentan con mecanismos eficientes de *multicast* o *broadcast*. Por lo tanto, la solución que se adopta comúnmente es la de replicar el contenido para cada uno de los usuarios que lo soliciten; está claro que esto es altamente ineficiente. Para resolver este problema, proponemos el uso de esquemas de *network coding* y de arquitecturas cooperativas

llamadas nubes móviles. En concreto, desarrollamos un protocolo para realizar la distribución masiva de contenidos de forma eficiente, junto con un modelo analítico para su optimización. Los resultados demuestran que el modelo propuesto es simple y preciso, y que el protocolo puede reducir el consumo energético hasta en un 37% con respecto al enfoque tradicional. Además, la solución propuesta reduce drásticamente los datos móviles consumidos por los dispositivos.