

Resumen

En la actualidad, la Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) es una tecnología esencial para la próxima generación de sistemas inalámbricos. La conectividad es la base de IoT, y el tipo de acceso requerido dependerá de la naturaleza de la aplicación. Uno de los principales facilitadores del entorno IoT es la comunicación machine-to-machine (M2M) y, en particular, su enorme potencial para ofrecer conectividad ubicua entre dispositivos inteligentes. Las redes celulares son la elección natural para las aplicaciones emergentes de IoT y M2M, principalmente por la cobertura que ofrece el amplio despliegue de infraestructura existente. Además, las tecnologías celulares, tales como LTE Advanced (LTE-A) o narrow band IoT (NB-IoT), ofrecen numerosas ventajas como seguridad, administración y calidad de servicio (quality of service, QoS), etc. Adicionalmente, la próxima generación de redes celulares (5th generation, 5G) se está desarrollando rápidamente con nuevas funcionalidades diseñadas para formar una solución atractiva para este tipo de aplicaciones.

Un desafío importante en las redes celulares que actualmente está recibiendo bastante atención es conseguir que la red sea capaz de manejar escenarios de acceso masivo en los que una gran cantidad de dispositivos utilizan comunicaciones M2M. Concretamente, la señalización en los intentos de conexión y la limitación de recursos de los canales físicos durante el procedimiento de acceso aleatorio constituyen el principal problema. Por otro lado, los sistemas celulares han experimentado un tremendo desarrollo en las últimas décadas: incorporan tecnología sofisticada y nuevos algoritmos para

ofrecer una amplia gama de servicios. El modelado y análisis del rendimiento de estas redes multiservicio es también una tarea desafiante que podría requerir un gran esfuerzo computacional.

Para abordar los desafíos anteriores, en esta tesis doctoral nos centramos en primer lugar en el diseño y la evaluación de las prestaciones de nuevos mecanismos de control de acceso para hacer frente a las comunicaciones masivas M2M en redes celulares. Posteriormente nos ocupamos también de la evaluación de prestaciones de redes multiservicio y proponemos una nueva técnica analítica que ofrece precisión y eficiencia computacional.

Nuestro principal objetivo es proporcionar soluciones para aliviar la congestión en la red de acceso radio cuando un gran número de dispositivos M2M intentan conectarse a la red. Consideramos los dos tipos de escenarios siguientes: (i) los dispositivos M2M se conectan directamente a las estaciones base celulares, y (ii) forman grupos y los datos se envían a concentradores de tráfico (gateways) que les proporcionan acceso a la infraestructura. En el primer escenario, dado que el número de dispositivos añadidos a la red aumenta continuamente, esta debería ser capaz de manejar el considerable incremento en las solicitudes de acceso. En ese sentido, el 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ha propuesto el access class barring (ACB) como una solución práctica para el control de congestión en la red de acceso radio y la red troncal. El ajuste correcto de los parámetros de ACB de acuerdo con la intensidad del tráfico es crítico, pero cómo hacerlo de forma dinámica y autónoma es un problema complejo cuya solución no está recogida en las especificaciones del 3GPP. Esta tesis doctoral contribuye al análisis del rendimiento y al diseño de nuevos algoritmos que implementen efectivamente este mecanismo de control de congestión, y así superar los desafíos introducidos por las comunicaciones masivas M2M en las redes celulares actuales y futuras. En el segundo escenario, dado que la heterogeneidad de los dispositivos IoT y las arquitecturas celulares basadas en hardware imponen desafíos aún mayores para permitir una comunicación flexible y eficiente en los sistemas inalámbricos 5G, esta tesis doctoral también contribuye al diseño de software-defined gateways (SD-GWs) en una nueva arquitectura

propuesta para redes inalámbricas definidas por software que se denomina SoftAir. La introducción de estos SD-GWs representa una solución alternativa que permite manejar tanto un gran número de dispositivos como el volumen de datos que estarán vertiendo en la red. El SD-GW optimiza conjuntamente la funcionalidad de comunicación entre capas, entre dispositivos IoT heterogéneos y redes de acceso radio definidas por software.

Otra contribución de esta tesis doctoral es la propuesta de una técnica novedosa para el análisis de prestaciones de redes multiservicio de alta capacidad. El diseño de modelos analíticos basados en cadenas de Markov es el enfoque convencional para modelizar la dinámica del tráfico de redes inalámbricas multiservicio, y también para evaluar sus prestaciones. Estos modelos también ayudan a comprender las interacciones complejas entre las diferentes componentes de la red. La complejidad subyacente de la red, particularmente en lo que respecta a su tamaño y la amplia gama de opciones de configuración, hace que la solución de los modelos analíticos sea costosa desde un punto de vista computacional. Sin embargo, una característica habitual de estas redes es que soportan múltiples tipos de flujos de tráfico que operan a diferentes escalas de tiempo. Esta separación de escalas temporales puede aprovecharse para reducir considerablemente el coste computacional asociado a la obtención de los principales parámetros de prestaciones. Nuestra propuesta se basa en un nuevo enfoque del modelizado analítico de sistemas que operan a diferentes escalas temporales. Este enfoque utiliza el análisis del transitorio de una serie de subcadenas absorbentes y lo denominamos absorbing Markov chain approximation (AMCA). Nuestros resultados muestran que para un coste computacional dado, AMCA calcula los parámetros de prestaciones habituales de un sistema con mayor precisión, en comparación con los resultados obtenidos por otros métodos aproximados alternativos propuestos en la literatura.