

Sparse Intra-Flow Network Coding: comportamiento y modelado

Ramón Agüero

Dpto. Ingeniería de Comunicaciones

Universidad de Cantabria

ramon@tlmat.unican.es

INTRODUCCIÓN

Network Coding (NC) fue propuesto originalmente por Ahlswede et al. in 2000. Cuestionaban el paradigma tradicional *store-and-forward*, promoviendo que los nodos intermedios tuvieran un papel más activo, procesando y combinando paquetes mientras que atraviesan la red. Desde entonces, son varios los trabajos que han analizado los beneficios que este novedoso enfoque podría aportar.

Inicialmente la idea era que los nodos intermedios mezclaran paquetes pertenecientes a diferentes flujos de tráfico, por lo que estas soluciones reciben el nombre de Inter-flow Network Coding. Una aproximación diferente, aunque no necesariamente excluyente, vino dada por el Intra-Flow Network Coding, en las que se combinan paquetes que pertenecían al mismo flujo, en las que se centraría esta propuesta.

INTRA-FLOW NETWORK CODING Y RLNC

Como ya se ha dicho, en las soluciones Intra-flow Network Coding, se combinan (codifican) paquetes que pertenecen al mismo flujo de datos, tanto por parte de la fuente como de los nodos intermedios. Se puede decir, por tanto, que estas soluciones comparten algunas de las características de las técnicas de codificación fuente rateless, como los códigos LT y Raptor, que se han incorporado a varios sistemas de comunicaciones inalámbricas. Las principales ventajas que aporta NC serían: (i) codificación/decodificación *on-the-fly*, (ii) bajo retardo, y (iii) capacidad de recodificación.

Una de las primeras, y la más importante solución Intra-Flow NC es Random Linear Network Coding (RLNC). La información a transmitir se divide en bloques, y el nodo fuente transmite combinaciones lineales de paquetes que pertenecen al mismo bloque, hasta que el receptor capaz de decodificarlo. En ese momento, el transmisor podría pasar al siguiente bloque.

En RLNC, los coeficientes que se utilizan para construir las combinaciones lineales se eligen aleatoriamente de un

cuerpo de Galois, de longitud $Q = 2^q$. Éste, junto con el tamaño del bloque, son los dos parámetros de configuración que tiene una clara influencia en el rendimiento de RLNC, tal y como se ha visto en varios estudios previos, en los que se estudia este comportamiento de manera exhaustiva, tanto sobre canales ideales como sobre enlaces con errores. Se utilizó una combinación del protocolo UDP y de RLNC para ofrecer un servicio de comunicación fiable, comparando su rendimiento con el mostrado por TCP, que es la solución más utilizada en este tipo de servicios. Los resultados obtenidos mediante simulación sobre la plataforma ns-3 se compararon con los valores proporcionados por un modelo teórico.

DE RLNC A SPARSE NETWORK CODING

Una de las principales desventajas de RLNC, especialmente cuando $q > 1$ es que las operaciones de decodificación requieren la manipulación (operaciones algebraicas) de matrices de alta densidad. Así, la complejidad de RLNC podría crecer de manera considerable, limitando su aplicabilidad, especialmente en escenarios de aplicación concretos.

Para aliviar ese problema, se han propuesto diferentes alternativas que reducen la complejidad y la sobrecarga del RLNC. Algunas de las más relevantes son los códigos BATS o Fulcrum, aunque la charla se centrará en las soluciones Sparse Network Coding (SNC).

En SNC, cada transmisión se consigue con la combinación de un número pequeño de paquetes, en lugar de emplear todo el bloque (como sería el caso de RLNC). Se ha demostrado que así se consigue reducir de manera notable el número de operaciones (esto es, complejidad) en el decodificador. Sin embargo también podría generar un incremento considerable de la sobrecarga, ya que la probabilidad de generar paquetes lineales dependientes (de aquellos previamente recibidos) podría ser elevada.

Se presentará un modelo novedoso, que puede utilizarse para comprender el compromiso entre la complejidad y la

sobrecarga, basado en una Cadena de Markov Absorbente. Una extensa campaña de simulación puso de manifiesto su gran precisión.

AFINANDO LA DENSIDAD DE SNC

Como ya se ha dicho anteriormente, el uso de SNC reduce fuertemente la complejidad de RLNC, pero con el coste de una mayor sobrecarga. Esto se puede aliviar permitiendo que el transmisor modifique de manera dinámica (afine) la densidad (esto es, el número de paquetes que se combinan cada vez) a medida que la transmisión del bloque avanza.

Se han hecho varias propuestas para llevar a cabo dicha modificación. El modelo mencionado previamente puede aprovecharse para promover el uso de un esquema de modificación que mejore otras alternativas. Para ello hay que tener en cuenta el compromiso entre complejidad y rendimiento. Además, se tienen que tener en cuenta las limitaciones que los diferentes esquemas tienen al aplicarse sobre dispositivos reales.

RECODIFICACIÓN

Ya se ha dicho que uno de los elementos que distingue las soluciones Intra-Flow Network Coding de los esquemas de codificación fuente es la capacidad de los nodos intermedios de recodificar paquetes. Sin embargo, al utilizar SNC, aprovechar las posibilidades la recodificación es sensiblemente más complicado, ya que al recodificar se incrementa la densidad de los paquetes, lo que impide aprovechar las bondades de los esquemas de codificación de baja densidad. Hemos llevado a cabo análisis para caracterizar de manera detallada la densidad de los paquetes tras el proceso de recodificación, proponiendo soluciones heurísticas que permiten limitar el incremento de la densidad.

REFERENCIAS

- [1] David Gómez, Sofiane Hassayoun, Arnaldo Herrero, Ramón Agüero, David Ros. *Impact of Network Coding on TCP Performance in Wireless Mesh Network*. Proceedings of PIMRC'12 doi:10.1109/PIMRC.2012.6362888
- [2] David Gómez, Ramón Agüero, Marta García, David Ros. *TCP Acknowledgement Encapsulation in Coded Multi-hop Wireless Networks*. Proceedings of VTC'Spring 2014 doi:10.1109/VTCSpring.2014.7023118
- [3] David Gómez, Eduardo Rodríguez, Ramón Agüero, Luis Muñoz. *Reliable communications over Wireless Mesh Networks with Inter and Intra-flow network coding*. Workshop on ns-3, 2014 doi:10.1145/2630777.2630781
- [4] David Gómez, Eduardo Rodríguez, Ramón Agüero, Luis Muñoz. *Reliable communications over lossy wireless channels by means of the combination of UDP and Random Linear Coding*. Proceedings of ISCC'2014 doi:10.1109/ISCC.2014.6912516
- [5] David Gómez, Eduardo Rodríguez, Pablo Garrido, Ramón Agüero, Luis Muñoz. *Enhanced Opportunistic Random Linear Source/Network Coding with Cross-Layer Techniques over Wireless Mesh Networks*. Proceedings of IFIP Wireless Days 2014 doi:10.1109/WD.2014.7020842
- [6] Pablo Garrido, David Gómez, Ramón Agüero, Luis Muñoz. *Performance of Random Linear Coding Over Multiple Error-Prone Wireless Links*. IEEE Communication Letters, June 2015 doi:10.1109/LCOMM.2015.2421448
- [7] Pablo Garrido, David Gómez, Ramón Agüero, Joan Serrat. *Combination of Intra-Flow Network Coding and Opportunistic Routing: Reliable Communications over Wireless Mesh Networks*. Proceedings of SIMUTOOLS'2015 doi:10.4108/eai.24-8-2015.2261115

- [8] Pablo Garrido, David Gómez, Ramón Agüero, Joan Serrat. *Combination of Random Linear Coding and Cross-Layer Opportunistic Routing: Performance over Bursty Wireless Channels*. Proceedings of PIMRC'15 doi:10.1109/PIMRC.2015.7343571
- [9] Pablo Garrido, David Gómez, Frank Fitzek, Ramón Agüero. *When TCP and Network Coding meet Wireless Links*. Proceedings of European Wireless'16
- [10] Pablo Garrido, David Gómez, Jorge Lanza, Ramón Agüero. *Exploiting Sparse Coding: A Sliding Window Enhancement of a Random Linear Network Coding Scheme*. Proceedings of ICC'16 doi:10.1109/ICC.2016.7510783
- [11] Pablo Garrido, Chres W. Sorensen, Daniel E. Lucani, Ramón Agüero. *Performance and Complexity of Tunable Sparse Network Coding with gradual growing functions over Wireless Networks*. Proceedings of PIMRC'16 doi:10.1109/PIMRC.2016.7794915
- [12] Pablo Garrido, David Gómez, Jorge Lanza, Joan Serrat, Ramón Agüero. *Providing Reliable Services over Wireless Networks Using a Low Overhead Random Linear Coding Scheme*. Mobile Netw Appl (2016) doi:10.1007/s11036-016-0731-7
- [13] Pablo Garrido, Daniel Lucani, Ramón Agüero. *How to Tune Sparse Network Coding over Wireless Links*. Proceedings of WCNC'17
- [14] Pablo Garrido, Daniel Lucani, Ramón Agüero. *A Markov Chain Model for the Decoding Probability of Sparse Network Coding*. IEEE Transactions on Communications, 2017 doi:10.1109/TCOMM.2017.2657621
- [15] Pablo Garrido, Daniel Lucani, Ramón Agüero. *Role of intermediate nodes in Sparse Network Coding: characterization and practical recoding*. Proceedings of European Wireless'17

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del Gobierno de España (Ministerio de Economía y Competitividad, Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER) de este trabajo a través del proyecto ADVICE, Dynamic provisioning of connectivity in high density 5G wireless escenarios (TEC2015- 71329-C2-1-R).