

Cálculo Científico Distribuido sobre Clientes Móviles Indeterminados en redes MANETs

Autor: Pablo José Iuliano

Director/Co Director: Ing. Luis Marrone - Dr. Fernando G. Tinetti

Afiliación: Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina

e-mail de contacto del tesista: piuliano@info.unlp.edu.ar

Palabras Claves: MANET; Protocolo; Incertidumbre; Clustering; Cross-Layer;

1. MOTIVACION

En este trabajo de investigación se propone el diseño de un novel protocolo que combina un enfoque para lidiar con la indeterminación de clientes al momento de comenzar un cálculo científico distribuido basado en un diseño cross layer con un mecanismo que agrupa los dispositivos presentes en una red móvil ad hoc o MANET (*Mobile Ad hoc Networks*) en clusters, sacando rédito de la heterogeneidad inherente a este tipo de redes a fin de determinar qué dispositivos serán los líderes de los agrupamientos conformados.

2. INTRODUCCIÓN

La tecnología wireless en los últimos años ha experimentado una expansión sin precedentes, llegando hasta el lugar más recóndito de la tierra. La tecnología inalámbrica permite la creación de redes sin la necesidad de cables, dando al usuario de este tipo de redes la libertad de moverse por su entorno sin la restricción de movilidad asociada a tener una conexión cableada.

De acuerdo al criterio dominante actualmente este tipo de redes tienden a ser centralizadas en torno a un dispositivo inalámbrico estacionario el cual ofrece el servicio de acceso a la red, sumado en la mayoría de los casos el acceso a internet. Sin embargo, los dispositivos de computación móviles continúan reduciendo sus precios e incrementando sus capacidades de cómputo; volviéndose cada vez más interesantes como alternativa barata de computación distribuida para cálculos científicos, sumado al hecho que los bajos

precios han popularizado la computación móvil y en ese sentido la exploración en cuanto a la posibilidad de conformar de una red móvil ad hoc o MANET (*Mobile Ad hoc Networks*) a gran escala destinadas al cómputo científico se está convirtiendo plausible.

Cuando el objetivo de una investigación científica es obtener información válida de algún entorno con el cual se interactúa, la mayoría de las veces es prácticamente imposible establecer vínculos fijos permanentes, en otras palabras enlaces cableados normales o enlaces inalámbricos centralizados en torno a un dispositivo estacionario. Para estos escenarios existe una nueva tecnología, basada en un nuevo paradigma de los sistemas de comunicación, que han venido a denominarse red móvil ad hoc o MANET.

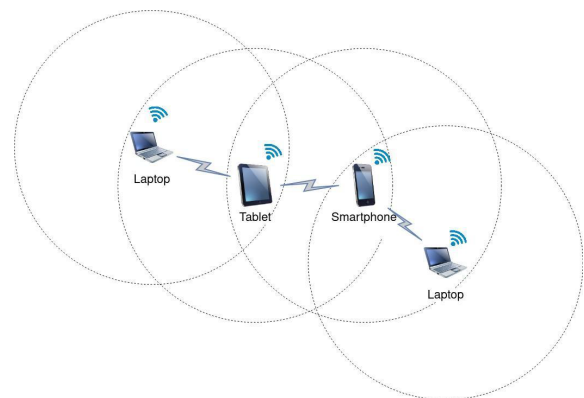


Figura 1: Esquema simplificado de una red móvil ad hoc

3. REDES MÓVILES AD HOC

Formalmente las redes móviles ad hoc se

pueden definir como sistemas autónomos de nodos móviles con capacidades de enrutamiento y conectados a través de enlaces inalámbricos formando un grafo de comunicación arbitrario.

Con respecto al modelo de referencia TCP/IP, las redes móviles ad hoc definen una capa adicional entre la capa de red y las tecnologías inalámbricas subyacentes. Esta capa es necesaria debido a que este tipo de redes deben mantener un solo dominio de difusión en entornos donde la visibilidad del nodo está limitada por el rango de transmisión de la interfaz inalámbrica.

En este tipo de redes la topología varía dinámica y libremente a medida que los nodos se van desplazando por su entorno. Básicamente el modo de operación de este tipo de redes es *peer to peer multihop*, donde los paquetes de información son transmitidos de manera de almacenamiento y reenvío desde un origen a un destino arbitrario pudiendo involucrar varios o ningún intermediario para alcanzar al destino.

Dentro de las MANET el enrutamiento de paquetes que es soportado de manera distribuida y la falla de un solo dispositivo no debería afectar significativamente al mismo.

Las problemáticas asociadas a las cuestiones energéticas deben ser consideradas debido a que, muchos o todos los nodos que componen las redes móviles ad hoc utilizan baterías o alguna otra forma de alimentación agotable. Con lo cual para este tipo de nodo se debe considerar que tengan presentes medidas de preservación de la energía. El ancho de banda es un problema que está presente en todos los tipos de redes actuales y particularmente en las MANET en donde se hace más evidente esta problemática. Con lo cual el *Throughput* real es siempre menor que la tasa máxima de transmisión de los canales de radio, esta merma radica por efecto del *multihop*, el ruido ambiental, la atenuación, etc.

4. PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO PARA MANETS

En las redes móviles ad hoc, tanto la topología y los estados de los enlaces entre los dispositivos que la componen son dos propiedades que son impredecibles y que constantemente se van modificando, conllevando a que la eficiencia de las técnicas antes descritas se vea seriamente degradada. Como consecuencia directa de esta última contrariedad se han desarrollado varios protocolos de ruteos específicos para este tipo de redes y caen dentro de una de estas tres categorías: Protocolos proactivos, reactivos o híbridos [1].

- Los protocolos proactivos mantienen la información de enrutamiento incluso antes de que se necesite. Todos y cada uno de los nodos en la red mantienen información de las rutas hacia todos los demás nodos de la red. La información de las rutas se mantiene en las tablas de enrutamiento y se actualizan periódicamente a medida que cambia la topología de la red. Las actualizaciones generan una excesiva sobrecarga en la red debido a los cambios frecuentes en las rutas por lo dinámico de este tipo de redes y el ancho de banda limitado que esta posee.
- Los protocolos reactivos no mantienen información o generan actividad de ruteo en los nodos de la red si no es necesario establecer comunicación entre ellos. Un nodo al enviar un paquete a un destino, provoca que se busque la ruta y se establezca la conexión. El procedimiento anterior es realizado a demanda. El descubrimiento de ruta por lo general se produce inundando toda la red con paquetes de petición de ruta. Estos protocolos experimentan cierto retardo asociado a la búsqueda de las rutas o porque las rutas pueden no ser válidas durante el tiempo suficiente. Por otro lado, utilizan eficientemente el ancho de banda de la red y el consumo de energía, debido a que buscan las rutas sólo cuando se necesitan.
- Los protocolos híbridos son derivación de los dos primeros, combinan técnicas de

los protocolos proactivos y de los protocolos reactivos.

AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector*) [2] [3], es un protocolo de ruteo reactivo para redes móviles ad hoc basado en vector distancias que funciona bajo demanda. Solo comienza el descubrimiento de rutas cuando es requerido y además las rutas se almacenan en tablas de ruteo. Estas últimas son mantenidas y almacenadas en cada nodo de la red. Debido a que las rutas se crean únicamente cuando son requeridas se minimiza el consumo de ancho de banda y de energía.

Las tablas creadas por AODV guardan información solamente de las rutas hacia los destinos con los cuales se mantiene comunicación, lo cual genera poca sobrecarga en la red y las rutas se van descubriendo conforme se van necesitando.

AODV soporta tres tipos de transmisión: unicast, multicast y broadcast; no obstante, AODV descubre las rutas basándose en peticiones broadcast y las respuestas son enviadas en modo unicast [4]. Inicialmente la tabla de ruteo solamente contiene entradas para los nodos vecinos. Si un origen necesita alcanzar un destino que no es vecino, debe obtener una ruta que le indique como hacerlo. Para ello, el nodo origen envía por broadcast mensajes de descubrimiento de ruta (RREQ *Route Request*). Si un nodo que no es el destino recibe este paquete, verifica los números de secuencia a fin de determinar si lo ha recibido previamente. En caso de que no lo haya recibido, lo reenvía incrementando el número de saltos y crea el camino inverso para la respuesta RREP (*Route Reply*). La respuesta del establecimiento de ruta RREP es generada por los nodos intermedios que cuentan con una ruta hacia el destino o el mismo destino una vez que el mensaje RREQ le haya llegado. Los nodos envían estas respuestas RREP al resto que le habían enviado el mensaje RREQ. La ruta se confirma una vez que el RREP llega al origen que había comenzado con el descubrimiento de ruta.

Es necesario mantener el enlace activo entre el origen-destino después de establecerse una

ruta, ya que ésta se mantiene válida durante un periodo de tiempo. Si los nodos que tienen rutas activas realizan envíos periódicos de mensajes RREP ajustando a 1 el TTL, es decir, mediante la difusión local del mensaje a sólo los dispositivos situados a 1 salto de distancia este objetivo se asegura. Otro mecanismo adicional para garantizar la validez de las rutas consiste en enviar periódicamente mensajes HELLO entre los nodos vecinos a fin de determinar si se encuentran activos en ese instante en la red. Si luego de algún tiempo no se reciben mensajes HELLO desde un vecino o se produce un error de envío, se origina un mensaje RERR (*Route Error*), que se emplea para invalidar una ruta. De modo que, el mensaje RERR llegará hasta el origen de la ruta y este desechará la ruta borrándola de la tabla enrutamiento.

5. CLUSTERING EN MANET

El proceso mediante el cual se divide una red en estructuras interconectadas se denomina agrupamiento o clustering y las subestructuras resultantes se las denomina grupos lógicos o clusters. En estos escenarios los nodos de la red son divididos y ubicados dentro de grupos lógicos. Una estructura típica de clusters es la que se muestra en la Figura 2.

Los nodos normalmente en este tipo de esquemas asumen roles diferentes, como líder o coordinador, gateway o simplemente miembro del agrupamiento lógico. Los coordinadores mantienen y administran toda la actividad dentro del cluster al que pertenecen. Un nodo gateway se encarga de toda la comunicación entre clusters. Hay esquemas donde este último tipo es omitido y por lo tanto no existe la diferenciación entre tráfico intra del inter cluster.

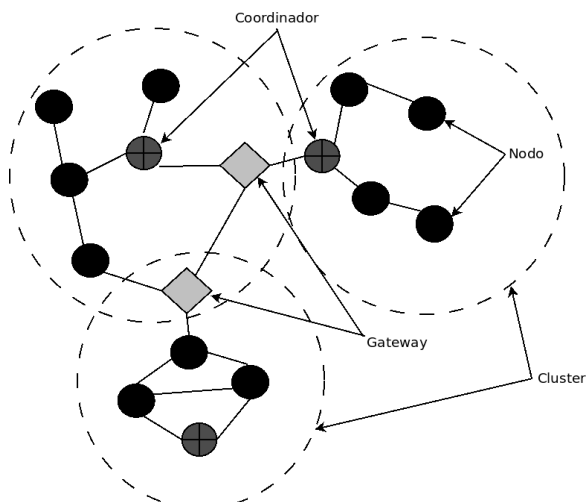


Figura 2: Ejemplo de una red dividida en clusters

Una topología dividida en clusters mejora la performance de una MANET junto con otras ventajas como el mejor aprovechamiento del ancho de banda, el consumo de energía y el rendimiento también se mejoran.

6. DISEÑO CROSS LAYER

Históricamente las arquitecturas de red asumen que las funciones de comunicación están organizadas en capas y la entrega de paquetes son llevadas a cabo por protocolos que operan en distintas capas [5]. De esta manera las funcionalidades de la red en su conjunto son llevadas a cabo a través del modelo en capas. Así cada una de estas define un aspecto particular de la operatoria de la red del cual se encargará de resolver y proveer servicios a la capa inmediatamente superior. Otra característica de las capas dentro de este modelo es que son modulares y cada una de ellas implementa una tarea en específica.

La arquitectura en capas prohíbe la comunicación directa entre capas no adyacentes, mientras que la comunicación entre las adyacentes funciona gracias a la utilización de interfaces pre establecidas y estandarizadas [6].

Alternativamente, existen protocolos que son diseñados explícitamente para ignorar la arquitectura en capas, permitiendo la interacción e intercambio de datos entre capas que no se encuentran dispuestas en forma

adyacentes. Este tipo de diseño se utiliza para obtener mejores prestaciones cuando se construyen nuevas soluciones en particular con los nuevos protocolos de enrutamiento [7] [8].

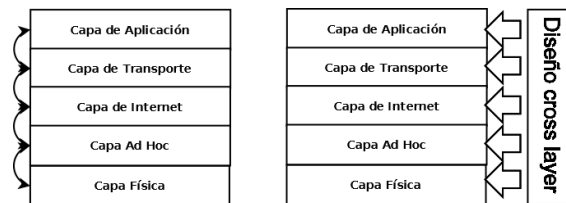


Figura 3: Arquitectura en capas y el diseño cross layer

En la Figura 3 se puede apreciar la arquitectura en capas y el diseño cross layer que permite la interacción e intercambio de datos entre capas no adyacentes, por ejemplo, en el diseño cross layer es posible que parámetros de la capa de aplicación puedan tener comunicación directa con la capa de enlace. Bajo el enfoque cross layer, una capa puede adaptarse a los requerimientos y condiciones particulares de las otras capas.

La motivación para adoptar un diseño cross layer en un protocolo que opere en una MANET se puede fundamentar principalmente en tres tópicos: Soportar la necesidad de que sea adaptable a las condiciones dinámicas de este tipo particular de red [9] [10], satisfacer requisitos específicos del ámbito de aplicación y atender restricciones en cuanto al consumo de energía que debe alcanzar la solución a desarrollar [11] [12].

7. PROTOCOLO PARA EL CÁLCULO CIENTÍFICO DISTRIBUIDO SOBRE CLIENTES MÓVILES INDETERMINADOS EN MANET (PROCCDIMI)

El protocolo propuesto se denomina PROCCDIMI, el cual establece la creación de clústers dinámica y distribuidamente, donde el envío de mensajes relacionados con el cómputo únicamente se circunscribe al clúster. Esta

última cualidad tiene por objetivo de optimizar el consumo de energía, memoria, potencia de cómputo y ancho de banda, gracias al uso eficiente de recursos.

PROCCDIMI implementa de un balanceo de cargas dinámico basándose en multi-agentes y se fundamenta en los protocolos de enrutamiento de vector distancia de MANETs, particularmente en AODV [2]. También se contempla la heterogeneidad existente en este tipo de redes y es por ello que se incorpora la idea en esta propuesta de aprovechar la existencia de algunos dispositivos que poseen capacidades superiores (cómputo, comunicación y energía) con el objetivo de ser elegidos como los líderes de los clústers, o en este caso como coordinadores del cómputo distribuido, a fin de llevar a cabo la conformación del grupo, la asignación de tareas dentro del mismo y realizar el proceso de descubrimiento de nuevos clientes. Por ello es necesario distinguir entre dispositivos con capacidades superiores (DCSs) y dispositivos con capacidades limitadas (DCLs). Una vez hecha la distinción, es posible una clasificación en base a sus capacidades.

Las capacidades de los dispositivos se obtienen a partir del hardware que ellos mismos poseen, es decir, inicialmente un dispositivo conoce sus propias características respecto a la cantidad de memoria, energía, capacidad de cómputo y potencia de señal; por lo tanto, la capacidad de un dispositivo se asigna en función del tipo de dispositivo que se trata.

El criterio para la elección de coordinador del clúster se basa en la selección de los dispositivos con capacidades superiores, en este caso la capacidad de un dispositivo se determina por medio de una estrategia sencilla que asigna un identificador binario a cada dispositivo; es decir, si se trata de un dispositivo con capacidades superiores es un DCS, de lo contrario es un DCL [13] [14].

Para definir la capacidad de un dispositivo se tiene en cuenta las siguientes suposiciones, cada dispositivo es consciente del grado de la capacidad que posee y este puede ser solo de dos tipos: alta (DCS) o limitada (DCL). En

PROCCDIMI los nodos que son líderes de clústers son todos ellos DCS, no implicando que el recíproco sea siempre verdadero.

8. ENTORNO DE SIMULACIÓN

Network simulator NS-2 [15] fue la herramienta seleccionada para evaluar la performance del protocolo. La velocidad de movilidad del nodo varía según la Tabla 1 y de acuerdo con el modelo de movilidad RWP (*Random Waypoint*). El modelo de movilidad describe el patrón de movimiento de los nodos móviles y cada nodo es responsable de calcular su propia posición y velocidad. El tiempo para cada instancia de simulación se establece en 200 segundos. El generador de tráfico CBR (*Constant Bit Rate*) se utiliza para la transferencia de paquetes de datos. Las simulaciones se han realizado utilizando los parámetros antes mencionados y los restantes se pueden observar en la Tabla 1.

Parámetro	Valor
Nro. de dispositivos	10, 20, 50, 100, 150
Nro. de DCSs	6, 12, 30, 60, 100
Nro. de DCLs	4, 8, 20, 40, 50
Nro. de clusters	2, 4, 10, 20, 50
Coords. por cluster	2, 4, 20, 60, 100
Tiempo por ronda	200 seg.
Área de simulación	500 x 500 mts
Mod. de movilidad	RWP
Protocolos de Ruteo	PROCCDIMI, AODV, DSR, DSDV
Protocolo MAC	IEEE 802.11b

Rango de transmisión (Tx)	100 mts.
Velocidad	5, 10, 15 Km/h
Pausas	Ninguna
Energía inicial	100.0 Joules

Tabla 1: Parámetros de simulación

9. MÉTRICAS DE RENDIMIENTO

La evaluación del rendimiento, como así el diseño y el desarrollo de los protocolos de ruteo en MANET requieren que sean examinados meticulosamente bajo parámetros estandarizados dentro de la materia de estudio. Estos últimos son seleccionados de acuerdo a la IETF RFC 2701 [16], la cual recomienda el uso de un conjunto de métricas destinadas al estudio y evaluación de rendimiento de diferentes protocolos pensados para trabajar en redes MANET.

A continuación se detallan las métricas más relevantes utilizadas en las pruebas de rendimientos realizadas en el contexto de la tesis doctoral:

Tasa de Entrega de Paquetes

La Tasa de Entrega de Paquetes se define como el número de paquetes entregados al nodo destino sobre el total enviados por el nodo origen. Con lo cuál esta tasa tomará valores entre 0 y 100 por ciento.

Un paquete que no puede ser ruteado debido a que el nodo origen no conoce ninguna ruta hacia el destino es contado como un paquete enviado pero no entregado, con lo cual se penaliza al protocolo interpretando que la actualización de su conocimiento de la topología de la red es no es óptima. Por lo tanto, una tasa menor a 100 significa que los paquetes se perdieron en el camino o que no se pudo encontrar ninguna ruta al destino. Claramente es deseable tener una alta proporción de entrega de paquetes en cualquier tipo de red y más en las redes inalámbricas

móviles [17]. Esta métrica dimensiona la confiabilidad del protocolo en cuanto a la transmisión de información [18].

Throughput

Throughput es definida como la tasa en que se entregan todos los datos al destino. Es el total de todos los bits exitosamente entregados a destinos individuales y es expresado como bytes por segundo (byte/sec) o bits por segundo (bit/sec). También puede verse como el tiempo que le toma al destino recibir el último mensaje con información [19]. Por consiguiente, es una medida de efectividad de un protocolo.

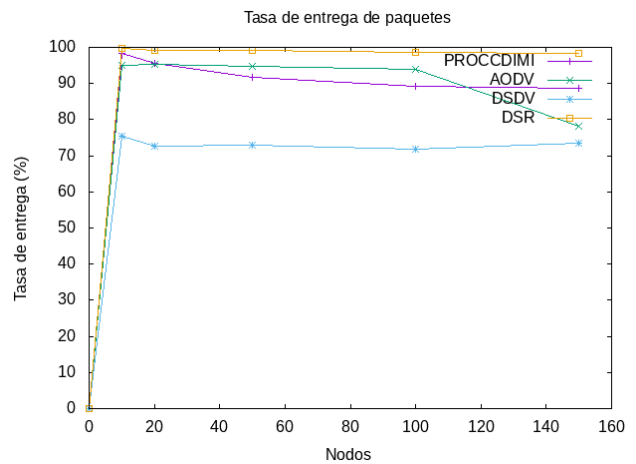
Costo energético promedio

El costo energético promedio dimensiona el consumo de energía promedio de los nodos que conforman la red al utilizar el protocolo que se está evaluando durante la simulación. Este valor se calcula como la suma de las diferencias registradas entre la energía inicial del nodo menos la energía que posee el mismo luego de terminada la simulación, dividida la cantidad de nodos que componen la red. La energía es un recurso escaso y un mal manejo de la misma por parte de un protocolo podría desencadenar el agotamiento de la batería de nodos críticos en términos de conectividad y afectar la disponibilidad de la red, es decir, dejando unidades de red aisladas debido a que las que proveían conectividad de encuentra off line debido a que su batería no posee carga. Por lo tanto, es de suma importancia utilizar la energía de manera eficiente [20].

10. RESULTADOS

Los protocolos de enrutamiento AODV, DSR y DSDV solamente se remiten al encaminamiento de paquetes sobre las redes MANET y no realizan ninguna operación adicional a esta última. Mientras que PROCCDIMI resuelve el ruteo junto con todas las tareas involucradas en la gestión del cómputo científico y la administración de los clientes que resuelven las tareas dentro de la computación distribuida. Dada esta

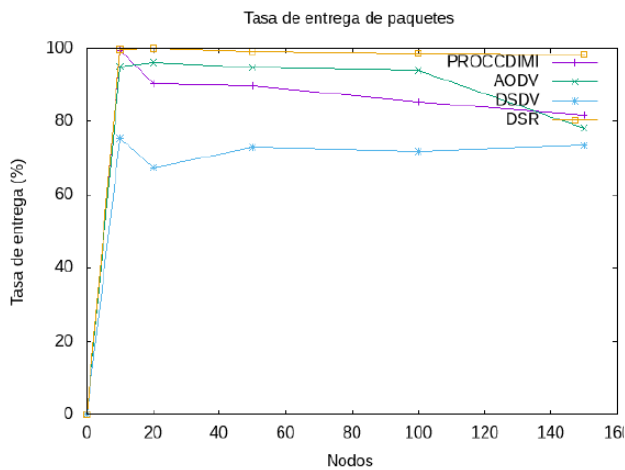
disparidad de responsabilidades y a pesar de la misma, las pruebas de rendimiento se llevaron a cabo utilizando los protocolos antes mencionados, ya que en los escenarios tradicionales lo único común que puede haber son justamente los protocolos de ruteo, debido a que el resto es muy dependiente de cada proceso, de cada forma de construcción, de cada configuración y hasta de cada plataforma, con lo cual es imposible poder realizar una evaluación en los mismos términos. Al no disponerse de un mecanismo, aplicación o herramienta unificadora comparable a nuestra propuesta, que resuelva tanto el ruteo de paquetes como la indeterminación de los clientes de la red MANET más la asignación de tareas y recolección de resultados, entonces se prefirió utilizar los protocolos de enrutamiento tradicionales para realizar la comparaciones con PROCCDIMI donde se tiene presente siempre que este último realiza operaciones adicionales además del enrutamiento de paquetes y evaluándose la performance incluyendo tareas propias del ruteo y lo antes mencionado. Pese a estas diferencias de procesos involucrados los resultados analizados son similares en cuanto a las métricas destinadas a los protocolos de red y en lo concerniente a la métrica del consumo de energía promedio, PROCCDIMI exhibe un comportamiento superior al resto de los protocolos con los cuales se lo contrastó.



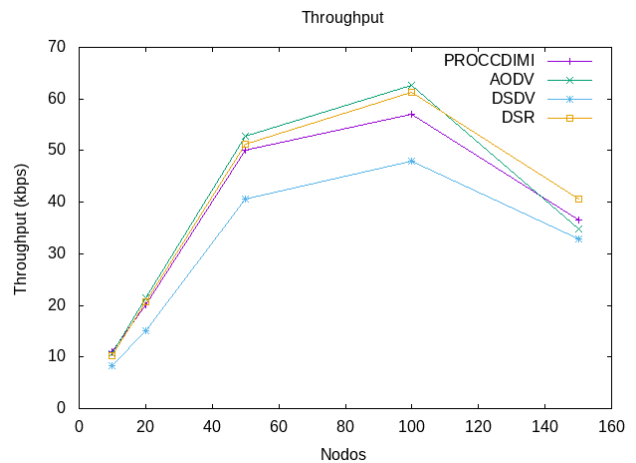
Tasa de entrega de paquetes vs. Número de nodos (enrola nuevos clientes, asigna tareas y colecta los resultados)

Figura 4: Resultados de evaluar la tasa de entrega de paquetes sobre diferentes números de nodos.

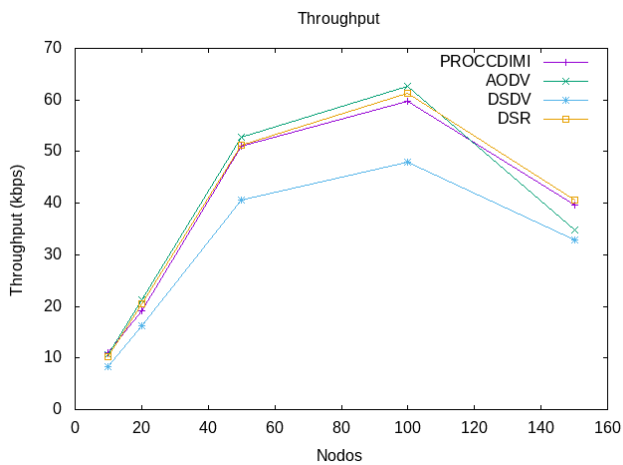
En la Figura 4 se observa que PROCCDIMI tiene una tasa de entrega de paquetes notoriamente superior cuando se trata de redes con una cantidad de nodos que oscila entre 10 y 20 nodos y por ende convirtiéndolo en un protocolo más confiable respecto a los demás analizados. Cuando se analiza PROCCDIMI en redes con un número de nodo superior a 20 nodos exhibe una confiabilidad superior al 80% convirtiéndolo en un protocolo que otorga un nivel de confiabilidad que rivaliza con los otros protocolos analizados.



Tasa de entrega de paquetes vs. Número de nodos (enrola nuevos clientes)



Throughput vs. Número de nodos (enrola nuevos clientes)

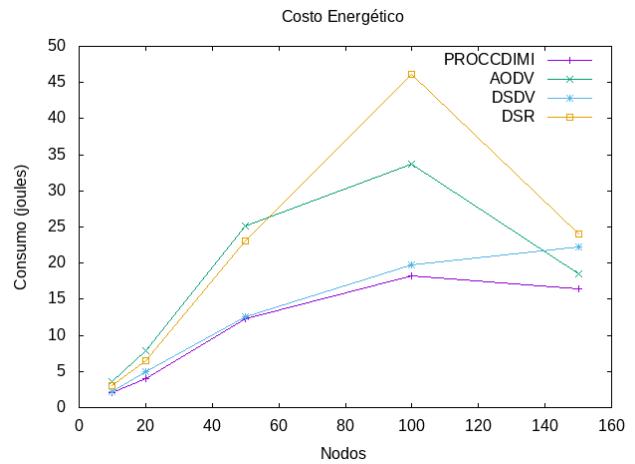


Throughput vs. Número de nodos (enrola nuevos clientes, asigna tareas y colecta los resultados)

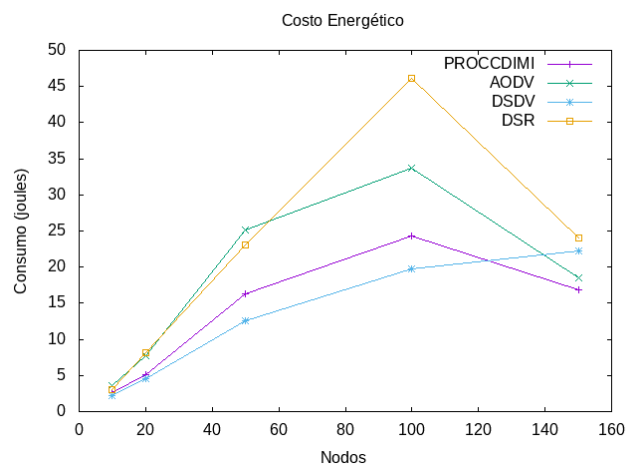
Figura 5: Resultados de evaluar el *Throughput* sobre diferentes números de nodos.

Los resultados que se pueden apreciar en la Figura 5 indican que no hay diferencias significativas entre las curvas de desempeño, sobre todo en las curvas que se corresponden a las simulaciones realizadas con números de nodos relativamente pequeños 10 y 20, puesto que la velocidad de transmisión de todos los protocolos ronda los 10 kbps en el primer caso y 20 kbps en el segundo, con la salvedad de DSDV que está cercano a los 15kbps. Para redes más grandes en términos del número de nodos, los rendimientos se tornan más heterogéneos aunque PROCCDIMI se mantiene en el rango medio de desempeño, no siendo el que registra ni la mejor, ni la peor velocidad de transmisión. Si se tiene en cuenta que el protocolo aquí propuesto además de resolver cuestiones de enrutamiento de paquetes como los demás protocolos contra los que se lo compara, resuelve el descubrimiento de nuevos clientes y asignación de clusters de pertenencia, que se mantenga velocidades de entrega similares a los otros protocolos que solo se encargan de enrutar paquetes es realmente significativo. Este aumento en la tasa de *Throughput* se explica por el diseño de clustering de

PROCCDIMI que otorga una ventaja sobre la capa de acceso al medio ayudando a incrementar la rapidez de la conexión y por tanto, a conseguir mayor tasa de transmisión de datos [21].



Consumo de energía promedio vs. Número de nodos (enrola nuevos clientes)



Consumo de energía promedio vs. Número de nodos (enrola nuevos clientes, asigna tareas y colecta los resultados)

Figura 6: Resultados de evaluar el consumo de energía promedio sobre diferentes números de nodos.

En la Figura 6 se puede apreciar que la curva correspondiente a PROCCDIMI asciende por debajo de las demás curvas, lo que indica que este protocolo consume menos energía que el resto. El hecho de que PROCCDIMI tenga menor gasto energético, es producto de la estrategia de agrupamiento de los nodos, dado que uno de los beneficios que se esperan al formar clusters, es la

reducción del consumo de energía [20].

11. APORTES DE LA TESIS

Los aportes de la investigación realizada son informados a continuación:

- Desarrollo de un nuevo modelo que utiliza un diseño cross layer y de organización de nodos en agrupamientos lógicos que gestiona el cómputo y asigna tareas diferenciales de acuerdo a las prestaciones del nodo para lidiar con la indeterminación de clientes al momento de realizar cálculos científicos sobre MANET.
- Utilizar el protocolo de ruteo reactivo AODV como sustrato para construir una extensión orientada a descubrir los clientes disponibles en una red móvil ad hoc para llevar a cabo un cómputo distribuido.
- Desarrollo de un nuevo protocolo que emerge como solución de los problemas asociados a la indeterminación de clientes al momento de realizar cálculos científicos sobre MANET y la gestión del cómputo distribuido.
- Pruebas de rendimiento de la solución propuesta en la tesis doctoral que proveen un análisis cuantitativo del comportamiento de PROCCDIMI con respecto a los demás protocolos contra los que se lo comparó.

12. LÍNEAS DE I/D FUTURAS

A continuación, se resumen las principales líneas futuras de investigación:

- **Probar el desempeño de PROCCDIMI en entornos más reales:** Modelar la generación de tráfico en la red de forma más realista, para que no sea únicamente la información transmitida entre los nodos de la ruta establecida la que circule por la red, si no que pueda haber interferencias debidas a otras comunicaciones.
- **Implementar un mecanismo de**

seguridad: Otro aspecto a evaluar en el protocolo PROCCDIMI es la incorporación de medidas que provean seguridad-privacidad sobre los datos transmitidos.

- **Implementar la automatización de elección del coordinador de cluster:** En las simulaciones realizadas los escenarios definían estáticamente los tipos de dispositivos y esta definición era realizada ad hoc. Con el propósito de hacer más sólida y estricta la estrategia de elección de coordinador es preciso emplear algoritmos ampliamente probados como por ejemplo: *Highest-Degree heuristic, Lowest-ID heuristic, Node-weight heuristic, Weighted Clustering algorithm o Distributed Weighted Clustering Algorithm.*
- **Probar PROCCDIMI con otro protocolo de enrutamiento:** A la luz de los resultados obtenidos en la simulaciones y a la naturaleza intrínseca de los protocolos de enrutamiento que funcionan sobre las MANET, se puede decir que los protocolos reactivos introducen poca carga de paquetes de control, como resultado se optimiza el ancho de banda y se obtienen altas tasas de entrega de paquetes durante el proceso de descubrimiento de nuevos clientes; pero en cambio se registran tiempos de latencias muy elevados. Por tal razón resultaría de interés evaluar a PROCCDIMI con un protocolo de ruteo proactivo como sustrato para realizar toda su operatoria reemplazando a AODV, con el objetivo de dimensionar en qué medida mejoran los tiempos de latencias.

13. REFERENCIAS

- [1] H. Kaur, V. Sahni, and M. Bala, "A survey of reactive, proactive and hybrid routing protocols in manet: A review," *network*, vol. 4, no. 3, pp. 498-500, 2013.
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das *et al.*, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," 2003.
- [3] E. M. Belding-Royer and C. E. Perkins, "Evolution and future directions of the ad hoc on-demand distance-vector routing protocol," *Ad Hoc Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 125-150, 2003.

- [4] X. Zhang and G. F. Riley, "Performance of routing protocols in very large-scale mobile wireless ad hoc networks," in 13th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. IEEE, 2005, pp. 115–122.
- [5] J. Edwards and R. Bramante, *Networking self teaching guide: OSI, TCP/IP, LANs, MANs, WANs, implementation, management, and maintenance*. John Wiley & Sons, 2015.
- [6] G. Tolosa, "Protocolos y modelo osi," Recuperado de <http://www.tyr.unlu.edu.ar/TYRpublica/02> Protocolos y OSI. pdf, 2014.
- [7] A. Awang, K. Husain, N. Kamel, and S. Aissa, "Routing in vehicular ad-hoc networks: a survey on single-and cross- layer design techniques, and perspectives," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 9497–9517, 2017.
- [8] M. Brindha, "A survey on cross layer distributed topology control in mobile adhoc network," *Bonfring International Journal of Networking Technologies and Applications*, 4 (1), 1, vol. 3, 2017.
- [9] V. Golla, G. Jayanthi, and H. Shivashankar, "Designing energy routing protocol with power consumption optimization in manet," *IEEE Transactions on Emerging topics in Computing*, vol. 2, no. 2, pp. 192–197, 2014.
- [10] M. Conti, G. Maselli, G. Turi, and S. Giordano, "Cross-layering in mobile ad hoc network design," *Computer*, vol. 37, no. 2, pp. 48–51, 2004.
- [11] E. M. Belding-Royer, S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojmenovic, "Routing approaches in mobile ad hoc networks," *Mobile ad hoc networking*, vol. 1, no. 1, pp. 275– 300, 2004.
- [12] D. Chander and R. Kumar, "Qos enabled cross-layer multicast routing over mobile ad hoc networks," *Procedia Computer Science*, vol. 125, pp. 215–227, 2018.
- [13] M. A. Wister Ovando, "Arquitectura de descubrimiento de servicios en manet basada en dispositivos de capacidades superiores liderando clusters," *Proyecto de investigación*, 2009.
- [14] I. D. Chakeres and E. M. Belding-Royer, "Aodv routing protocol implementation design," in 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2004. *Proceedings. IEEE*, 2004, pp. 698–703.
- [15] U. de California, "The network simulator - ns-2, <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>," 1999.
- [16] G. Malkin, "Nortel networks multi-link multi-node ppp bundle discovery protocol," in *Technical Report*. September 1999. RFC 2701, 1999.
- [17] P. Manickam, T. G. Baskar, M. Girija, and D. D. Manimegalai, "Performance comparisons of routing protocols in mobile ad hoc networks," *arXiv preprint arXiv:1103.0658*, 2011.
- [18] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," in *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, 1998, pp. 85–97.
- [19] A. Nasipuri, J. Zhuang, and S. R. Das, "A multichannel csma mac protocol for multihop wireless networks," in *WCNC. 1999 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (Cat. No. 99TH8466)*, vol. 3. IEEE, 1999, pp. 1402–1406.
- [20] A. P. Pati, K. R. Kanth, B. Sharanya, M. D. Kumar, and J. Malavika, "Design of an energy efficient routing protocol for manets based on AODV," *International Journal Of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 8, no. 4, p. 215, 2011.
- [21] B. A. Correa, L. Ospina, and R. C. Hincapié, "Survey of clustering techniques for mobile ad hoc networks," *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 41, pp. 145–161, 2007.