

Analizando la viabilidad de cálculos científicos sobre redes móviles ad-hoc vía micro-benchmarks

Luis Marrone¹, Pablo J. Iulliano¹, Fernando G. Tinetti²

lmarrone@linti.unlp.edu.ar, fernando@info.unlp.edu.ar, piuliano@info.unlp.edu.ar

¹LINTI, Fac. de Informática, UNLP

²III-LIDI, Fac. de Informática, UNLP - CIC Provincia de Bs. As

50 y 120 CP.1900

La Plata Buenos Aires – Argentina

Resumen: En este trabajo, se presentan los resultados derivados de la aplicación de un conjunto de micro-benchmarks a diferentes dispositivos que conforman una red móvil ad-hoc (MANET) destinada a realizar cálculos científicos en forma distribuida. Este artículo comienza con una breve descripción de la motivación del tema de investigación, para luego analizar los problemas característicos de los dispositivos que componen este tipo de redes y cómo, por medio de los micro-benchmarks, lograr alcanzar un perfilado adecuado de dichos dispositivos en cuanto al consumo de energía, al ancho de banda con que disponen y a la potencia de cómputo. La experiencia aquí presentada concluye identificando cuáles son los ámbitos adecuados para el emplazamiento de una MANET dedicada al cómputo científico distribuido basándose en los perfiles generados de cada uno de los aspectos antes mencionados.

Palabras clave: Micro-benchmarks, MANET, Cálculo Científico, Análisis de Rendimiento.

Abstract: In this work the results derived from the application of a suite of micro - benchmarks to different customers that form a mobile ad -hoc network (MANET) intended to perform scientific calculations in a distributed manner are presented . This article begins with a brief description of motivation research topic, and then analyze the characteristic problems of the devices that make up these networks and also through micro-benchmarks achieve adequate profiling devices such as energy consumption, the bandwidth available and computing power. The experience presented here concludes by identifying what are the appropriate areas for the location of a MANET dedicated to scientific distributed computing based on the profiles generated from each of the aforementioned aspects.

Keywords: Micro-benchmarks, MANET, Scientific Computing, Performance Analysis.

1. Introducción

Formalmente, las redes móviles ad-hoc o MANET 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. En este tipo de redes, la topología varía dinámicamente 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 [AdHocNet05].

Los problemas asociados a los ambientes móviles son bien conocidos y en particular las cuestiones energéticas deben ser consideradas con mucho cuidado debido a que, muchos o todos, los nodos que componen las redes móviles ad-hoc utilizan baterías o alguna otra forma de alimentación agotable [Allard06].

Otra limitante es el ancho de banda, el cual es un problema que está presente en todos los tipos de redes siendo éstas cableadas o inalámbricas. En particular, las MANET debido a la naturaleza de sus enlaces poseen un limitado ancho de banda. Con lo cual el *throughput* real es 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. [Macker99].

Las dos contingencias que se describen en los párrafos anteriores están ligadas a las características intrínsecas de la plataforma de comunicación y no tanto al destino al cual se le da a la misma. La potencia con que se cuenta para la resolución de cálculos científicos es un aspecto más afín al objetivo que justifica la conformación de una red de las características que aquí se presentan. Por lo cual, disponer de una medida confiable de la potencia de cómputo que se dispone para realizar un cálculo científico es especialmente crítico para discernir los ámbitos adecuados donde se pueda implantar la plataforma de cómputo.

El artículo científico aquí presentado está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se explica la teoría de dominio y se muestra una revisión respecto a los trabajos previos acerca del uso y evaluación de micro-benchmarks. La sección 3 describe cómo se diseñaron los micro-benchmarks propuestos. La información sobre los experimentos realizados y los resultados obtenidos se encuentra detallada en la sección 4, y, finalmente, las conclusiones, en la sección 5.

2. Trabajos previos

Este apartado introduce sucintamente las principales alternativas para desarrollar aplicaciones que hagan uso de la potencia de cálculo de varios dispositivos con capacidades computacionales trabajando en forma simultánea para resolver un problema de cómputo. Luego, abordará las distintas formas de comunicación que se pueden utilizar para que los nodos computacionales

intercambien información en pos de la concreción del cálculo del resultado.

En primer lugar, se define una serie de conceptos básicos de la computación paralela y distribuida que están dentro del ámbito de interés de este artículo, como lo son, la computación paralela y concurrente, así como también la sincronización entre tareas. Otro concepto que se presenta es el de sistemas de computación de altas prestaciones heterogéneos o *clusters* en relación con la computación distribuida y el ejemplo más significativo de su aplicación.

En segunda instancia, los medios de comunicación que se pueden utilizar para que los nodos de un sistema de cálculo distribuido puedan intercambiar información serán revisados. Los tipos de redes de datos como las LAN, MAN y WAN se considerarán y se presentará como un nuevo medio de soporte de comunicación, las redes móviles ad-hoc o MANET.

La computación paralela ha sido utilizada ampliamente a lo largo de la historia para la resolución de problemas en cálculos científicos debido a que acortaban significativamente los tiempos de cómputo, ya que separaban el problema en partes menos complejas, las cuales se distribuían y se resolvían en forma simultánea [Valiant90]. Esto mismo puede ser alcanzado de forma virtual o real. La primera se da cuando varias tareas están asociadas a un solo procesador y se les va asignando *slots* de tiempo para que puedan ir avanzando en la resolución de su parte del problema. Con lo cual el paralelismo de cómputo es virtual, ya que en un mismo instante de tiempo solo una instrucción se está ejecutando. A este tipo de soluciones se las conoce como computación concurrente [Varela13]. La segunda se da cuando existen varios procesadores para realizar los cálculos y por ello en un mismo instante de tiempo, existe más de una tarea ejecutando cálculos. Independientemente de, si es realizado en forma virtual o real, la sincronización en la resolución de cálculos paralelos colaborativos es necesaria. La sincronización se entiende como la espera de alguna señal o mensaje de parte de una tarea, en pos de la correctitud de los resultados, o cuando existe una dependencia de una tarea que provea un resultado parcial a otra para que esta última pueda continuar su ejecución.

Una alternativa económica para implementar sistemas de computación en paralelo son los sistemas denominados "sistemas de computación de altas prestaciones heterogéneos o *clusters*". Éstos se componen de múltiples máquinas, a priori, de distintas características conectadas mediante una red de comunicación, las cuales trabajan en forma conjunta para resolver cálculos en forma distribuida. Los *clusters* conformados por PC son soluciones económicas para obtener ambientes de altas prestaciones. Uno de los proyectos emblemáticos en el área de la computación distribuida sobre sistemas heterogéneos es el proyecto SETI@home [SETI15], el cual está dirigido por un grupo de investigadores del Laboratorio de Ciencias Espaciales de la Universidad de California, Berkeley, que intenta utilizar la potencia de cálculo de miles de computadoras heterogéneas hogareñas para realizar una búsqueda de señales de radio sensibles de civilizaciones extraterrestres.

Los medios de comunicación en este tipo de ambientes computacionales pueden variar desde redes de área local (LAN) hasta redes de área metropolitana (MAN) o amplia (WAN) [Bert98]. Como mencionamos anteriormente, las computadoras pertenecientes a un sistema de cómputo distribuido que se encuentran interconectadas mediante una red local conforman los *clusters*, mientras que por otro lado, si los equipos que pertenecen a un sistema de cómputo distribuido se encuentran distantes unos de otros y utilizan canales de comunicación que abarcan distancias mucho mayores, como en internet, se estaría hablando de computación *Grid* o *Internet Computing* [Foster00]. A partir de estos últimos tipos de sistemas computacionales distribuidos, surge un nuevo modelo que propone ofrecer recursos de cálculo como un servicio. A esto último, se lo conoce como computación en la nube. Existe un cuarto y nuevo tipo de red de comunicación, denominadas redes móviles ad-hoc o MANET, las cuales son redes inalámbricas conformadas por nodos autónomos interconectados. Éstas tienen la cualidad de ser auto-organizadas y autogeneradas, eliminando la necesidad de una infraestructura centralizada.

Las redes móviles ad-hoc se presentan como la arquitectura de comunicación más flexible que existe actualmente. En base a esta gran ventaja, se motiva la exploración de montar una infraestructura de computación distribuida de altas prestaciones sobre sistemas heterogéneos que pueda explotar las crecientes capacidades de cómputo de los nodos que conforman este tipo de redes.

Los dispositivos electrónicos inalámbricos, en especial los dispositivos móviles, consumen energía eléctrica proporcionada por baterías, las cuales son limitadas en tamaño y capacidad. Por lo cual, un buen manejo de la energía es imprescindible en cualquier aplicación que tenga como plataforma de cómputo dichos dispositivos. El buen manejo de la energía requiere un profundo entendimiento de dónde y cómo la energía es utilizada [Carroll10]. Es por esto último que la idea de implementar un micro-benchmark que provea una medida fidedigna de cuál es el período más extenso que distintos dispositivos móviles dentro de una MANET pueden llevar a cabo cálculos con orientación científica antes de agotar la carga de la batería, toma especial relevancia para diagnosticar la viabilidad de implantación de una plataforma de cómputo con las características antes mencionadas.

Otro aspecto que es crítico dimensionar es la cantidad de ancho de banda que contará la red para establecer los canales de comunicación con los nodos con el fin de asignar las tareas a realizar y la posterior recolección de los resultados desprendidos de haber realizado las mismas. En la asignación de tareas se encuentra comprendida la distribución de los conjuntos de datos que servirán como entrada para llevar a cabo la misma. Los tamaños de los conjuntos de datos determinarán el tiempo de entrega de los mismos, delimitando de esta manera la magnitud de los problemas que se podrán afrontar con este tipo de plataforma de cómputo.

Así mismo, tener una medida de la potencia de cómputo del sistema distribuido también se vuelve indispensable. Es por ello que las operaciones de punto flotante por

segundo o Flops será la medida seleccionada en artículo para dimensionar el aspecto antes mencionado. Para entender un poco mejor esta medida, si suponemos que una máquina capaz de procesar una operación de punto flotante por segundo, tendría una potencia de un Flops; si pudiera procesar un millón, tendría una potencia de un Megaflops, y si fuera capaz de procesar billones de operaciones por segundo, su potencia se mediría en Teraflops y así sucesivamente [Govindu04].

3. Diseño de los micro-benchmarks propuestos

Para la ejecución de la *suite* de micro-benchmark se confeccionó una red MANET compuesta por dispositivos móviles de distintos fabricantes y en particular tomando forma con tableta. Dichos dispositivos móviles funcionan con el sistema operativo Android. Otro aspecto relevante es que todas las tabletas poseen distintas capacidades y estado de uso con el objetivo de modelar un escenario afín a situaciones reales.

El protocolo de red adoptado para el establecimiento de conexión entre los nodos fue el protocolo IP. Debido a que la topología elegida fue *fully connected* no fue necesario el emplazamiento de ningún mecanismo de ruteo adicional con el fin de que todos los dispositivos sean alcanzables desde cualquier otro en MANET. La topología elegida restringió los rangos de movimientos de los componentes de MANET en función de mantener la misma todo el tiempo de duración de los micro-benchmarks.

A continuación, se detallan los micro-benchmarks desarrollados para dimensionar los aspectos imperantes en este tipo de plataforma de cómputo de científico.

3.1. Consumo de energía

Como es de público conocimiento, en los ambientes móviles, unos de los ejes cruciales es el consumo de energía, ya que las baterías actuales no ofrecen periodos muy prolongados entre recarga y recarga, por lo cual, medir el consumo de energía de una aplicación que funciona sobre una red móvil ad-hoc toma especial relevancia. En concordancia con este último razonamiento, se construyó un micro-benchmark que cronometrará cuanto tiempo tarda un dispositivo móvil en consumir toda la carga de su batería realizando varias computaciones intensivas. Dichas computaciones intensivas fueron realizadas compartiendo el consumo de batería junto con las aplicaciones que ejecuta los dispositivos al iniciar su sistema operativo y sin ninguna interacción con el usuario posterior al comienzo de la ejecución del micro-benchmark. Las computaciones intensivas tomaron la forma de repetidas multiplicaciones entre matrices de grandes dimensiones (teniendo en cuenta la memoria de los dispositivos) con el fin de aproximarse lo más posible a una computación científica real.

3.2. Medida del ancho de banda

El segundo de los micro-benchmarks fue construido teniendo como objetivo dimensionar, registrar y analizar los aspectos relacionados con el rendimiento del ancho de

banda en MANET. Para lo cual, se construyó una aplicación Android destinada a generar tráfico de *downloading* y *uploading* de datos de manera de poder analizar el rendimiento de la infraestructura de red subyacente.

Dicho aplicativo se diseñó de manera de conformar una arquitectura cliente-servidor, en la cual dos de los dispositivos móviles tomarán el rol de clientes y el restante el rol del servidor. El experimento comienza cuando los clientes se comunican con el servidor, para que este último les indique la cantidad de bytes a intercambiar entre ambos con el fin de realizar el cronometrado del tiempo insumido en la generación de dicha cantidad tráfico de red, ya sea de *downloading* y como de *uploading* de datos. El sentido del tráfico de *downloading* se genera desde el servidor hacia los clientes, mientras que en el de *uploading* posee el sentido inverso. Los datos intercambiados son asignados una sola vez antes de comenzar con la actividad y enviados entre los clientes y el servidor tantas veces hasta alcanzar la cantidad de bytes a intercambiar. El micro-benchmarks se diseñó de esta manera con el fin de evitar cualquier tipo de perturbación asociada a accesos a dispositivos de almacenamiento de datos como por ejemplo la *sdcard* en las tabletas.

3.3. Potencia de cómputo

El último micro-benchmark fue desarrollado con el fin de relevar las operaciones de punto flotante por segundo que pueden alcanzar los dispositivos conectados a las MANET y así dimensionar la potencia de cómputo. Para obtener la cantidad de Flops que puede alcanzar los nodos componentes de MANET se realizó una adaptación del aplicativo llamado Flops [Flops] de código abierto, la cual consistió en articular los medios necesarios para que el aplicativo original pueda funcionar sobre las plataformas Android de las tabletas.

4. Experimentos y resultados

Las aplicaciones de medida se instalaron y ejecutaron en cada nodo componente de la red MANET, para luego recolectar los datos producidos, con ellos calcular los valores promedios, con el fin de arribar a un perfilado adecuado en cada aspecto.

En esta sección, se describe, inicialmente, los detalles de hardware y software de cada elemento de MANET, para luego presentar los resultados empíricos de la ejecución de los micro-benchmarks.

4.1. Configuración de hardware y software

Las tabletas utilizadas poseen distintas características de hardware y las mismas se encuentran detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1: Hardware utilizado en los micro-benchmarks.

Marca	Modelo	CPU	RAM
ASUS	Eee Pad Transformer TF101	2 core(s) a 1.0GHZ	1GB
ACER	Iconia B1-720	2 core(s) a 1.3GHZ	1GB
ASUS	MeMO Pad HD 7	2 core(s) a 1.2GHZ	1GB

Como se mencionó anteriormente, los dispositivos que conforman el sistema distribuido de cómputo funcionan con el sistema operativo Android, aunque los mismos son de distintas versiones, las cuales están expuestas en la Tabla 2 junto con el detalle de la herramienta utilizada en la construcción de los micro-benchmarks.

Tabla 2: Software utilizado en los micros-benchmarks

Marca	Modelo	OS	Herramienta
ASUS	Eee Pad Transformer TF101	Android 4.0	Android NDK release 10.
ACER	Iconia B1-720	Android 4.1	Android NDK release 10.
ASUS	MeMO Pad HD 7	Android 4.2	Android NDK release 10.

4.2. Resultados experimentales

El primer resultado que se presenta en este artículo es el de la aplicación que mensura la autonomía energética, el cual arrojó que la autonomía de los dispositivos evaluados es lo suficientemente prolongada como para sostener una actividad de cómputo científico de por lo menos 12 horas. La Figura 1 muestra la autonomía promedio registrada durante la prueba.

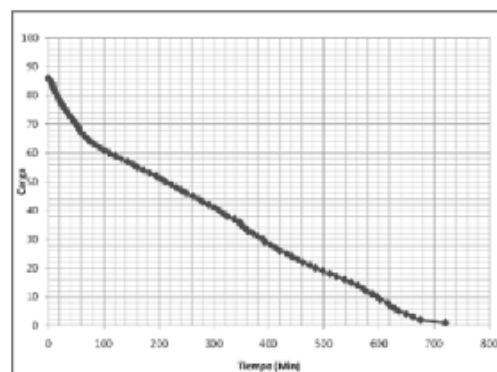


Figura 1: Autonomía energética promedio de los dispositivos evaluados.

Los anchos de banda registrados durante la ejecución de los micro-benchmarks construidos para dicho fin son lo suficientemente adecuados como para poder distribuir paquetes de datos necesarios para realizar un cómputo científico distribuido y luego comenzar con la recolección de los resultados con tiempos aceptables de transferencia. La Figura 2 muestra los anchos de banda promedio de *downloading* de datos y La Figura 3 los de *uploading* de datos registrados durante la prueba.

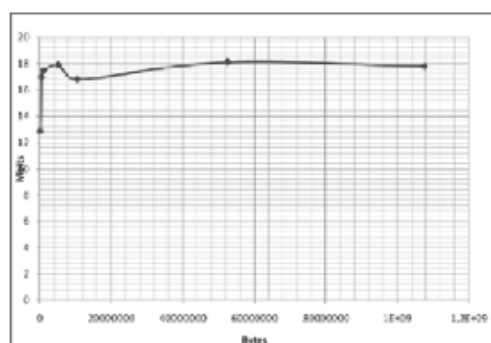


Figura 2: Mbits promedio de *downloading* de datos

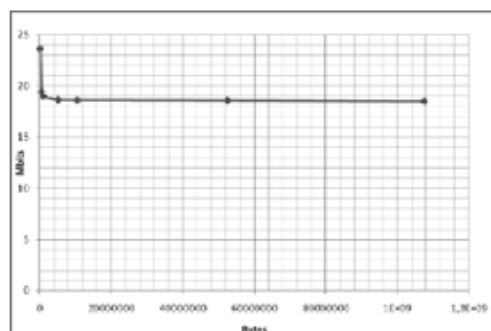


Figura 3: Mbits promedio de *uploading* de datos

Finalmente, los resultados del último micro-benchmark se muestran en la Tabla 3. Analizando los resultados arrojados se puede concluir que los Gflops con que cuenta la plataforma de cómputo son adecuados para encarar ciertos problemas de cálculo científico de importancia media.

Tabla 3: GFlops promedio

Precisión	Prueba Realizada	FP Ops	GFlops
Simple	128-bit SSE - Add/Sub	128000000000	14.3473
Simple	128-bit SSE - Multiply	256000000000	10.9307
Simple	128-bit SSE - Multiply + Add	384000000000	12.5268
Doble	128-bit SSE - Add/Sub	640000000000	7.17904
Doble	128-bit SSE - Multiply	1280000000000	5.06069
Doble	128-bit SSE - Multiply + Add	1920000000000	6.15217

5. Conclusiones y trabajos futuros

Con el incesante avance de los dispositivos móviles en cuanto a capacidades de cómputo, autonomía y velocidades cada vez más elevadas en cuanto a transferencias de datos, la computación científica móvil se hace cada vez más atractiva. Si a este último hecho, le sumamos la flexibilidad de poder establecer una red de comunicación sin ningún tipo de infraestructura adicional que los dispositivos móviles, una plataforma de cómputo con tal adaptabilidad se torna única.

Los datos experimentales derivados de la ejecución de las aplicaciones para la medición de distintos tipos de rendimiento realizadas en este trabajo, demuestran que actualmente la utilización de la plataforma de cómputo científico que aquí se propone, queda relegada a ámbitos de características singulares.

Por último, se planea continuar con la línea de investigación que aquí se presenta con el fin de seguir desarrollando la plataforma de cómputo hasta poder equiparan con las cableadas convencionales.

Referencias bibliográficas

- [AdHocNet05] Ad-Hoc Networks - Technologies and protocols. Springer 2005.
- [Allard06] Allard, Géraud, et al. "Evaluation of the energy consumption in MANET." Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 170-183.
- [Macker99] Macker, Joseph. "Mobile ad hoc networking (MANET): Routing protocol performance issues and evaluation considerations." (1999).
- [Valiant90] Valiant, Leslie G. "A bridging model for parallel computation." Communications of the ACM 33.8 (1990): 103-111.
- [Varela13] Varela, Carlos A. Programming Distributed Computing Systems: A Foundational Approach. The MIT Press, 2013.
- [Bert98] Bert, Glen. MCSE Networking Essentials: Next Generation Training. Second Edition. New Riders Publishing, Indianapolis, Indiana.1998.
- [Foster00] Foster, Ian. "Internet computing and the emerging grid." nature web matters 7 (2000).
- [Carroll10] Carroll, Aaron, Gernot Heiser. "An Analysis of Power Consumption in a Smartphone." USENIX annual technical conference. 2010.
- [Govindu04] Govindu, Gokul, et al. "Analysis of high-performance floating-point arithmetic on FPGAs." Parallel and Distributed Processing Symposium, 2004. Proceedings. 18th International. IEEE, 2004.
- [Rajovic13] Rajovic, Nikola, et al. "Supercomputing with commodity CPUs: are mobile SoCs ready for HPC?" Proceedings of the International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. ACM, 2013.
- [SETI15] SETI@home, 2015
<http://setiathome.berkeley.edu/>
- [Flops] Flops <https://github.com/Mystical/Flops>