



Comparação de Desempenho Entre NoC e WiNoCs Usando Topologia Mesh

Performance Comparison Between NoC and WiNoCs Using Mesh Topology

Samuel da Silva Oliveira¹
Márcio Eduardo Kreutz²

Resumo: As Redes-em-Chip contribuem muito para o desempenho nas comunicações intra-chip. Alguns fatores, como reutilização e escalabilidade são algumas das razões que levam ao uso desse tipo de arquitetura de comunicação no lugar do barramento. No entanto, as formas de uso desse tipo de comunicação também evoluíram e se adaptaram a vários cenários e desafios. As redes sem fio começaram a ser consideradas, obtendo melhorias em vários aspectos. Nesse artigo serão analisados e comparados o desempenho entre redes-em-chip convencionais e redes que se utilizam de comunicação sem fio. As comparações foram realizadas para latência média dos pacotes, vazão, número de pacotes recebidos e consumo energético. Pode-se verificar que na maioria das métricas usadas, as redes convencionais obtiveram valores mais otimizados.

Palavras-chave: Redes-em-Chip; Sistemas em chip; WiNoC.

Abstract: *Network-on-Chip contributes greatly to performance in intra-chip communications. Some factors, such as reuse and scalability are some of the reasons that lead to the use of this type of communication architecture instead of busses. However, the ways of using this type of communication have also evolved and adapted to various scenarios and challenges. The wireless networks started to appear, giving some improvements in several aspects. In this paper, we will analyze and compare the performance between conventional on-chip networks and networks using wireless communication. The comparisons were made for average packet latency, flow rate, number of packets received and energy consumption. We can verify that in most of the metrics considered in this study, the conventional networks could obtain more optimized values.*

Keywords: *Network-on-Chip; System-on-Chip; WiNoCs.*

1 INTRODUÇÃO

A cada ano, mais e mais transistores são miniaturizados e colocados na mesma placa de silício. Antes, os SoCs (System-on-Chips) eram simples sistemas que não eram tão complexos e conseguiam atender as aplicações que surgiam. Com o tempo, as aplicações incorporadas se tornaram cada vez mais complexas, e vários elementos de processamento foram incorporados

¹ Mestre em Sistemas e Computação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
{s.oliveira.15@hotmail.com}

² Doutor e Professor – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
{kreutz@dimap.ufrn.br}



ao projeto de silício com seus bilhões de transistores. Esses sistemas são conhecidos como MP-SoCs (Multiprocessor System-on-Chips).

Como os MPSoCs suportam vários núcleos internos, é necessário haver comunicação entre eles. Vários modelos de comunicação podem executar essa tarefa, como: ponto a ponto, barramento e rede-em-chip. Comumente os barramentos são usados para este propósito, mas devido a algumas desvantagens, como aumento de capacitância, não-escalabilidade e ausência de paralelismo eles não são adequados para aplicações com diversos núcleos de processamento.

A fim de superar algumas das desvantagens do uso do barramento, uma nova arquitetura de comunicação chamada Redes-em-Chip (Network-on-Chip - NoC) foi proposta no início dos anos 2000 (Benini; De Micheli, 2002)(Agarwal; Iskander; Shankar, 2009). As NoCs são compostas por roteadores que são interconectados por meio de alguma topologia, para rotear as mensagens entre os elementos de processamento (EP). Essas redes são reutilizáveis, possuem alta escalabilidade, paralelismo na comunicação, entre outras características que fizeram das NoCs um dos paradigmas de comunicação intra-chip mais utilizados.

Várias pesquisas têm surgido abordando outro conceito envolvendo NoCs. Algumas pesquisas têm se concentrado em WiNoCs (Wireless Network-on-Chips)(Agyeman et al., 2015). Estas são redes sem fio que visam reduzir alguns custos de NoC, como o consumo de energia. As WiNoCs têm várias vantagens e desvantagens que podem ou não ajudar nossa arquitetura de comunicação. Para escolher qual seria o melhor modelo de arquitetura para uma rede com uma dada aplicação, deve-se ter em mente as métricas que serão priorizadas e ainda no estágio de projeto realizar testes que possam gerar respostas necessárias.

Esse artigo tem como proposta comparar o desempenho entre redes NoC convencionais e redes WiNoC, ambas usando uma topologia Mesh (Zeferino, 2007). Objetiva-se descobrir entre as duas arquiteturas em tempo de projeto, qual é a mais indicada para se obter melhores valores em latência média, número de pacotes recebidos, vazão da rede e consumo de energia.



Ao longo das experiências são modificados os padrões de tráfego e utilizada uma taxa de injeção média, usando uma topologia mesh 8x8. Para realizar os experimentos o simulador Noxim (Catania et al., 2016) foi usado para obter e validar resultados encontrados.

É esperado então contribuir com decisões de *design*, onde o projetista possa então avaliar a performance das arquiteturas em detrimento das métricas abordadas e decidir qual seria a melhor a ser utilizada.

O texto está organizado da seguinte forma: a segunda seção aborda alguns trabalhos que falam sobre redes WiNoCs e explica o que tem sido estudado na literatura; a terceira seção descreve o problema tratado por esse trabalho mais detalhadamente; a seção quatro apresenta os resultados obtidos e a seção de número cinco traz as conclusões e fala de alguns trabalhos futuros.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

(Ganguly et al., 2009) introduz o conceito de WiNoCs e busca comparar com redes-em-chip convencionais e busca avaliar a performance das WiNocs para consumo de energia, latência média e vazão da rede. No artigo em questão as redes foram divididas em vários *clusters* formando diversas sub-redes. Cada sub-rede contém uma estação base de transmissão sem fio. Cada roteador dentro da sub-rede é conectado a estação base através de fios. Para avaliar a rede WiNoC proposta foi considerada uma aplicação com 64 cores.

(Pande et al., 2009) propõe substituir os links com fios de uma NoC por links sem fio, de forma que pudesse ter uma melhora na latência, consumo de energia e interconexão de roteamento. Esse trabalho aborda uma exploração de espaço de projeto da WiNoC e trata de alguns trade-off do projeto. É esperado então encontrar através de otimização topologias de interconexões ideais que venham minimizar o caminho mais curto e o custo da fiação, utilizando conexões de longa distância.

Os resultados mostraram que através da inserção de links sem fio e de longo alcance, o desempenho da NoC pode ser aprimorado de forma significativa, mostrando assim que a WiNoC supera de fato a NoC e seu desempenho aumenta à medida que o sistema aumenta o seu tamanho.



(Wu and Zhao, 2013) propõe um tipo de roteamento dinâmico e uma arbitragem multicanal baseada em handshaking, a fim de melhorar o uso da largura de banda e reduzir a sobrecarga de contenção. Para explorar o desempenho da malha sobreposta, uma técnica de roteamento dinâmico foi proposta para aliviar o congestionamento da rede. O excesso de tráfego é desviado para outras rotas, assim evitando a sobrecarga na rede. A estratégia de arbitragem baseada em atribuição e handshaking foi desenvolvida para evitar rotas sobrepostas. Os resultados apresentados mostram uma boa melhoria no desempenho da rede, além de uma diminuição na complexidade do projeto e diminuição dos custos já que não leva nenhum fio.

(Ferreira, 2015) aborda modelagens de redes-em-chip sem fio. Utilizando o conhecido simulador NS-2 (NS, 2018) são feitas redes híbridas entre NoCs convencionais e WiNoCs. Com isso é pretendido avaliar diferentes parâmetros das WiNoCs que são associados a roteamento, aplicação e número de nós que são envolvidos em redes hierárquicas. Vários parâmetros foram utilizados para as simulações. Esses valores podem ser alterados pelo usuário nas classes de geração de script TCL do NS-2. Alguns desses parâmetros são: número de clusters, tamanho do pacote, número de switches por clusters, largura de banda da simulação sem fio, atraso para a camada de enlace, entre outros. As métricas que foram utilizadas na avaliação de convergência da simulação, foram: fluxos de tráfego, *throughput*, taxa de entrega e atraso médio.

Os resultados mostram que os *clusters* de WiNoC com oito ou mais nós engajados em comunicação entre *clusters* (60% ou mais de tráfego externo em um cluster de 16 nós) possuem seu desempenho geral significativamente degradados. Foi obtido desempenho estável em diferentes perfis de tráfego e tamanhos de topologia.

(DiTomaso et al., 2015) propõe a A-WiNoC, uma rede-em-chip sem fio que tem como objetivo a diminuição do consumo de energia e largura de banda em relação as NoCs convencionais. A A-WiNoC utiliza transceptores sem fio e melhora o rendimento da rede dinamicamente, realizando novamente a atribuição de canais devido a demanda de largura de banda de diferentes cores. Um algoritmo adaptável é proposto. Esse algoritmo funciona em segundo plano junto de um esquema que serve de compartilhamento de token, para conseguir largura de banda sem fio eficiente.



Os experimentos foram realizados em NoCs com fio e sem fio com 64 cores. É então percebida uma melhoria de 54% no tráfego sintético. Os resultados mostram que a A-WiNoC pode obter uma economia de energia entre 25% a 35% e pode escalar até 256 cores com 21% de economia de energia.

(Duraismy et al., 2017) procura reduzir a latência em mensagens que são do tipo multicast. NoCs tradicionais como a rede mesh são geralmente escolhidas para lidarem com a comunicação na arquitetura. Esse tipo de NoCs não conseguem um bom desempenho de latência quando se trata de transmissão de pacotes multicast. Mesmo adicionando alguns recursos adicionais o desempenho nesse tipo de transmissão não tende a crescer o suficiente. Esse trabalho propõe um projetar uma WiNoC para sustentar os requisitos da alta largura de banda e o alto rendimento das aplicações emergentes, que venha a incorporar o suporte necessário a multicast. Integrando o roteamento multicast com uma forma de reconhecimento de congestionamento a rede WiNoC é capaz de lidar eficientemente com injeções do tipo multicast. Para aplicações executando um protocolo de coerência do cache martelo, o protocolo multicast-aware atinge uma média de redução de 47% nos valores de latência em comparação com o reconhecimento multicast baseada em uma árvore XY. Também se obteve uma economia de 26% no atraso da energia.

(Li et al, 2018) trabalha com a comunicação entre hardware e o cérebro através de estímulos neurais. Devido à alta capacidade cerebral humana ser muito complexa, a modelagem e análise dos sinais neurais é uma tarefa que exige bastante recursos. Portanto nesse trabalho é empregado um algoritmo paralelo fractal espaço-temporal, para gerar e analisar esses modelos de forma eficiente. Para endereçar esse problema é proposto um aprendizado de máquina que é inspirado em uma WiNoC baseada em manycore, a fim de lidar com a natureza computacional intensiva, vinda da comunicação desses modelos. Os resultados experimentais mostram que quando comparado a rede mesh tradicional, a rede-em-chip sem fio alcança 55% de economia de atraso de energia em um sistema de 1024 cores.

(Dehghani and RahimiZadeh, 2018) aborda uma arquitetura híbrida de redes-em-chip sem fios, para resolver problemas de comunicação em sistemas MP-SoCs. A topologia utilizada nesse trabalho é uma arquitetura híbrida que junta as topologias mesh e árvore. Uma otimização é realizada retirando links com fio e acrescentando links sem fio, de forma que



pudesse aumentar o desempenho da rede. Um roteamento especial também é utilizado para se adequar a esse tipo de topologia. A topologia proposta também foi comparada com outras arquiteturas WiNoCs em simulações em nível de rede. Os resultados mostram que a rede proposta nesse trabalho se mostrou eficiente quando comparada a outras WiNoCs, usando padrões de tráfego sintéticos e realistas em termos de vazão, latência e consumo de energia. Os resultados alcançados mostram uma melhora de 35% na vazão, 58% na latência e uma diminuição no consumo de energia de 43%.

Diferente desses trabalhos que foram apresentados, nesse artigo é realizada a comparação de desempenho entre uma arquitetura NoC regular, usando uma topologia Mesh, com o desempenho de uma arquitetura WiNoC que também utiliza uma topologia Mesh. O objetivo dessa comparação de desempenho é para que em tempo de projeto possa-se ajudar a escolher a arquitetura mais indicada para determinada aplicação alvo. Para ajudar nessa comparação e na escolha da rede, diversas métricas são analisadas através de diversas simulações. Além de analisar a vazão, latência média e consumo de energia, como é feito em (Ganguly et al., 2009), nesse trabalho também é avaliada a quantidade de pacotes que conseguem chegar ao destino. Um dos principais objetivos de uma NoC é garantir que todos os pacotes consigam ser trafegados através da rede, para que aja um bom funcionamento do sistema, então é importante também considerar essa métrica de avaliação na análise de bom desempenho de uma rede.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Redes-em-Chip podem ser uma boa solução para comunicações intra-chip. No entanto, dependendo da aplicação e em que métrica se espera algum ganho na rede, abordagens comuns podem não ser suficientes para resolver esse problema. Como todo tipo de tecnologia, as NoCs também passam por evoluções constantes. Uma dessas evoluções são as WiNoCs, que são redes-em-chip sem fio. Com esse tipo de rede obtém-se algumas vantagens em cima das redes com fio e também desvantagens. O objetivo aqui nessa pesquisa é comparar as redes WiNoC e as redes convencionais comuns. Pretende-se então averiguar se para determinadas métricas e aplicações a WiNoC teria alguma vantagem se comparada a uma rede-em-chip que utiliza fios na comunicação entre os roteadores. Para efeito de comparação foram escolhidos 5



padrões de tráfego que simularam o comportamento de comunicação da rede, visando o desempenho para quatro métricas diferentes, que são: taxa de latência média, quantidade de pacotes recebidos, vazão e consumo de energia. A latência individual de cada pacote é bem pequena e não interessa para comparação do desempenho da rede, por isso é então analisada a latência como um todo, fazendo uma média da latência de cada pacote. A taxa de latência média é dada pelo somatório da latência de cada pacote pelo número total de pacotes (Mesquita, 2016).

$$LatênciaMédia = \frac{\sum_{i=1}^{N^{\circ} de Pacotes} LatênciaMédia dos pacotes}{N^{\circ} de Pacotes}$$

A vazão é definida como o número de bits que podemos transmitir sobre a rede em um determinado tempo. No caso do simulador utilizado, a vazão é dada em flits e é o número de *flits* transmitidos por ciclo de clock. Flit é a menor unidade em que um pacote pode ser dividido.

Outro fato que é objeto de interesse nessa pesquisa é a quantidade de pacotes que conseguem chegar ao destino. Um dos fatores que acarretam na perda de pacotes é quando se tem os buffers dos roteadores lotados e alguns dos novos pacotes acabam sendo descartados e são considerados pacotes perdidos. Quanto maior o tráfego na rede, mais fácil de acontecer essa perda de pacote, já que sempre chegarão pacotes nos roteadores em uma velocidade maior que os roteadores podem encaminhar os pacotes que já estão neles. Outro fator que pode colaborar para a perda de pacotes é o deadlock ou livelock. Deadlock é quando o pacote fica bloqueado por algum motivo e não tem como seguir seu percurso. Com esse tempo de espera a vida útil do pacote pode acabar e ele precisar ser reenviado (o que também implica no aumento da latência). Uma boa implementação de arbitragem junto de um bom roteamento ajuda a evitar o deadlock. O livelock ocorre quando existe um pacote circulando pela rede sem conseguir chegar ao seu destinatário. Isso pode ocorrer devido ao roteamento fazer o pacote rodar em círculos e também acabando com a sua vida útil (isso também influencia na latência da rede). O problema de livelock pode ser resolvido com uma técnica de roteamento determinístico. Nessa pesquisa é utilizado o roteamento XY que é determinístico.



O simulador possui em módulo que estima o consumo de energia. Esse módulo é usado nesse trabalho para estimar quanto de energia a arquitetura de rede gasta. Os modelos foram implementados em HDL e estima as médias de potência dinâmica e estática. O modelo para o consumo de energia no Noxim (Catania et al., 2016) é dado pela fórmula abaixo:

$$E(e, c) = \alpha(e, c) * P_{avg}(e) * T_{ck}$$

Cada ciclo de energia é dado pelo elemento "e". $P_{avg}(e)$ é a média da potência dinâmica e $\alpha(e, c)$ é a função de atividade, que é 0 se não estiver em um cliço ativo, e 1, caso contrário.

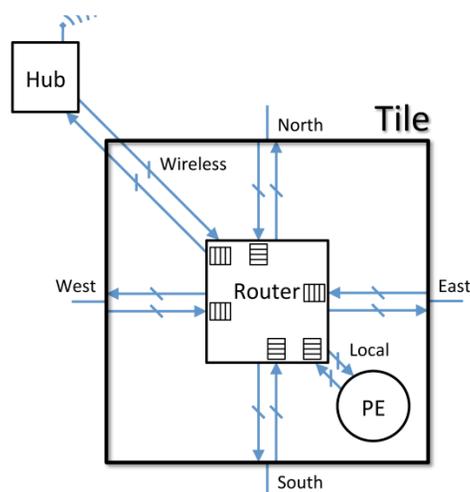
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para o trabalho realizado aqui é escolhido usar a topologia Mesh, por ser uma topologia amplamente usada tanto nos meios de pesquisas, quanto no uso real de MP-SoCs. As métricas usadas para comparação de desempenho foram: latência média, taxa de pacotes entregues, vazão da rede e consumo de energia. A pesquisa busca simular arquiteturas de rede NoC e WiNoC em uma topologia de tamanho 8x8. Foram também utilizados 5 padrões de tráfego diferente, de modo que possam corroborar com a nossa pesquisa e obtermos resultados mais precisos. Com as simulações espera-se obter os resultados desejados, afim que possamos comparar o desempenho desses dois tipos de rede e assim avaliar sua performance.

Para simular os experimentos e obter os resultados a ferramenta de simulação Noxim (Catania et al., 2016) foi usada em um sistema operacional Linux Ubuntu 18.04, usando um processador Intel Core I5 e 8 GB de RAM .A ferramenta foi escolhida por possuir um módulo de avaliação de rede-em-chip sem fio e a rede-em-chip convencional. A ferramenta também dispõe de uma biblioteca que analisa o consumo de energia, além de obter resultados para latência, vazão e quantidade dos pacotes entregues. O simulador é desenvolvido usando a biblioteca SystemC e o nível RTL de abstração, o que garante uma maior precisão nos resultados. A latência é dada em ciclos de clock. Na figura abaixo vemos um exemplo de roteador que é utilizado na ferramenta Noxim.

As simulações são realizadas em 5 diferentes padrões de tráfego. O padrão Shuffle calcula seu destino através do resto da divisão do nodo fonte menos um pelo comprimento do bit do endereço do nodo fonte. Os padrões Transpose 1 e Transpose 2 são duas matrizes transpostas diferentes e tem seus destinos calculados através do resto de divisão do nodo fonte menos o valor do endereço do nodo fonte sobre 2, pelo endereço do nodo fonte. O padrão de tráfego Butterfly possui suas coordenadas no formato binário. Para obter os destinos basta apenas trocar o bit mais significativo do nodo de origem pelo menos significativo. O padrão de tráfego Random escolhe seus nodos origem e destino de forma aleatória.

Figura 1: Roteador Com Antena Usado no Noxim



Fonte: (Catania et al., 2016)

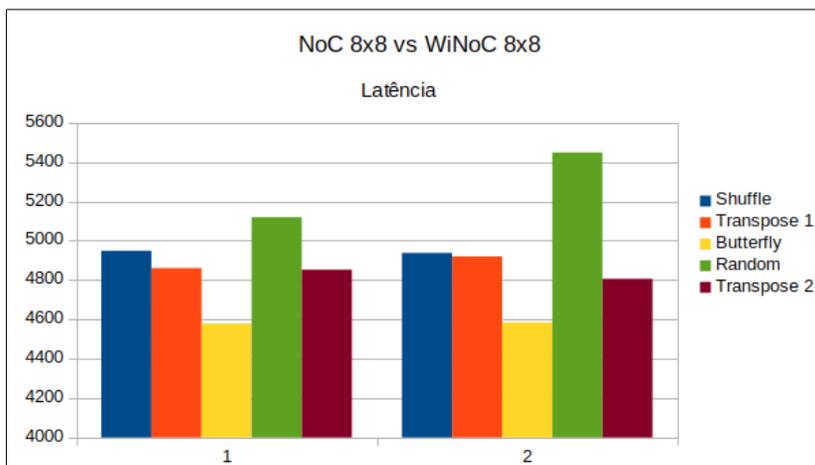
Na figura 1 pode-se observar que o roteador utilizado na Noxim é ligado unicamente a um elemento de processamento. O roteador contém 4 portas (fora a porta local que se conecta ao elemento de processamento), cada porta é ligada a outro roteador. Opcionalmente cada roteador pode conter uma antena, essa antena permite a comunicação wireless.

O Noxim também estima o consumo de energia através de bibliotecas que a ferramenta utiliza. Os resultados são mostrados em diversos gráficos onde são comparados lado a lado as redes NoC e WiNoC.

As redes usadas na simulação são redes Mesh 8x8. O roteamento utilizado é o XY. Os roteadores contam com 4 canais virtuais. Os buffers podem conter até 8 flits. Cada flit tem um tamanho de 32 bits. O chaveamento é do tipo wormhole. A arbitragem usada é do tipo Round-Robin e foram usados 5 padrões de tráfego diferentes para as simulações.

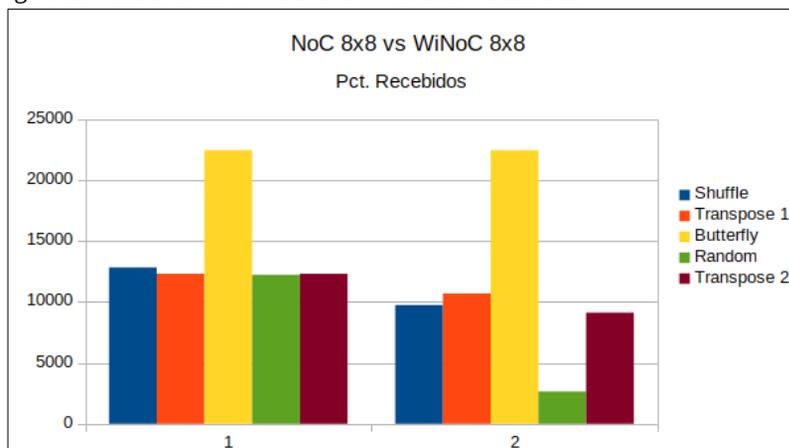
Os gráficos são separados pelas métricas de avaliação. Os gráficos mostram os padrões de tráfego utilizados. A rede 1 é a NoC e a rede 2 é a WiNoC.

Figura 2: NoC 8x8 vs WiNoC 8x8 – Latência



A figura 2 diz respeito as taxas de latência média nas duas arquiteturas de rede. A rede mesh mais uma vez obteve melhores valores de latência, com exceção só padrão de tráfego Traspose 2, onde a rede WiNoC se saiu melhor.

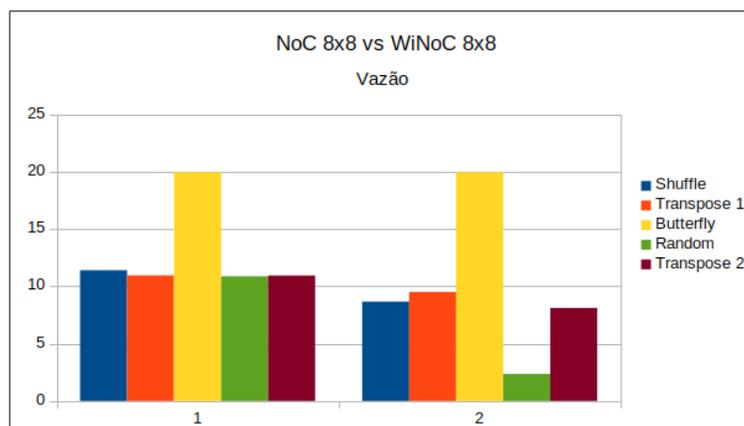
Figura 3: NoC 8x8 vs WiNoC 8x8 – Pacotes Recebidos





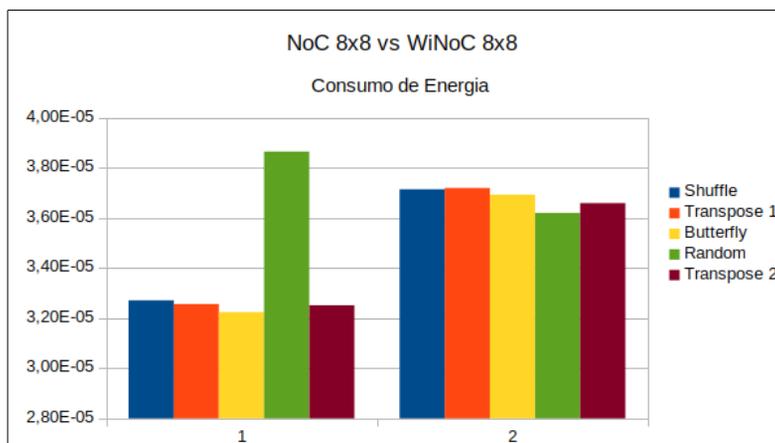
A figura 3 trata da quantidade de pacotes recebidos utilizando os dois modelos de rede. Novamente o padrão Random quando utilizado na WiNoC teve o pior desempenho. No mais os outros padrões se mostraram equilibrados nas duas redes nesse quesito.

Figura 4: NoC 8x8 vs WiNoC 8x8 – Vazão



A figura 4 mostra os valores referentes a vazão nas duas redes. A rede WiNoC obteve valores menores de vazão na maioria dos casos, quando comparado a rede NoC. O padrão de tráfego Butterfly conseguiu atingir os mesmos valores nas duas redes.

Figura 5: NoC 8x8 vs WiNoC 8x8 – Consumo de Energia





A figura 5 diz respeito ao consumo de energia. A rede WiNoC obteve os melhores valores de consumo de energia quando comparado a rede NoC. Apenas o padrão de tráfego *Random* da rede NoC conseguiu ter um desempenho melhor.

Olhando para os resultados pode-se perceber que em quase todas as métricas escolhidas para comparação, a rede que utiliza comunicação sem fio tem se mostrado com um desempenho menor em relação as redes que utilizam fio para realizar a comunicação. Como nas NoCs convencionais utiliza-se uma estrutura ponto a ponto interligada através de fio, tem-se praticamente o dobro da velocidade se comparada com a utilização de antenas para esse trabalho. Com o dobro da velocidade de transmissão consegue-se uma taxa de latência média menor, já que os pacotes conseguem chegar ao seu destino mais rapidamente. Também com isso pode-se garantir uma taxa maior de entrega dos pacotes, já que tem maiores chances de serem entregues dentro do prazo estipulado e também evitar uma contenção na rede. Com isso é garantido uma melhor taxa de entrega dentro da rede. Consequentemente como se tem uma velocidade de transmissão maior e uma taxa de entrega de pacotes maior no processo de comunicação com fio, então também se consegue uma maior vazão, quando comparado ao processo de comunicação sem fio. Contudo, em relação ao consumo de energia redes WiNoC conseguem resultados mais otimizados, sendo indicadas para esse tipo de prioridade.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Esse estudo destinou-se a analisar o comportamento das redes-em-chip sem fio e ao mesmo tempo as comparar com as redes tradicionais. Através das análises, foi possível observar o funcionamento e comportamento em simulações e averiguar alguns atributos, conforme otimizações esperadas para as redes sem fio. Após todas as simulações e experimentos pode-se notar que as NoCs convencionais conseguem melhores resultados que as WiNoCs. Entretanto, as redes sem fio têm o potencial de desenvolver um consumo menor de energia, o que pode ser ideal para algum projeto onde não seja tão importante a latência



média ou a taxa de entrega dos pacotes, sendo, portanto, a energia o ponto mais crucial à ser otimizado para a aplicação alvo. Com isso, pode-se concluir que utilizar redes-em-chip sem fio pode ser uma boa prática para projetos que priorizem a diminuição do consumo de energia em detrimento do desempenho.

Futuramente é planejada uma evolução dessa pesquisa sobre as redes WiNoCs através do uso e testes em topologias irregulares. Topologias irregulares constituem-se de soluções interessantes para se obter economia de área, pois podem apenas usar os roteadores necessários para, por exemplo, se obter um limite de desempenho. Tendo isso em mente pretende-se avaliar o desempenho das redes-em-chip sem fio quanto a latência, consumo de energia e área, quando são usadas em topologias irregulares.

REFERÊNCIAS

- BENINI, L. AND DE MICHELI, G. (2002). **Networks on chips: A new soc paradigm**, *computer* 35(1): 70–78.
- ZEFERINO, C. A., BRUCH, J. V., PEREIRA, T. F., KREUTZ, M. E. AND SUSIN, A. A. (2007). Avaliação de desempenho de rede-em-chip modelada em systemc, **Proceedings of the 27rd Congress of Brazilian Computer Society-WPerformance**, pp. 559–578.
- GANGULY, A., CHANG, K., PANDE, P. P., BELZER, B. AND NOJEH, A. (2009). Performance evaluation of wireless networks on chip architectures, *Quality of Electronic Design, 2009. ISQED 2009. Quality Electronic Design, IEEE*, pp. 350–355.
- PANDE, P. P., GANGULY, A., CHANG, K. AND TEUSCHER, C. (2009). Hybrid wireless network on chip: A new paradigm in multi-core design, *Proceedings of the 2nd international Workshop on Network on Chip Architectures, ACM*, pp. 71–76.
- AGARWAL, A., ISKANDER, C. AND SHANKAR, R. (2009). Survey of network on chip (noc) architectures & contributions, *Journal of engineering, Computing and Architecture* 3(1): 21–27.
- MARKER, B., CHAN, E., POULSON, J., VAN DE GEIJN, R., VAN DER WIJNGAART, R. F., MATTSON, T. G. AND KUBASKA, T. E. (2011). Programming many-core architectures-a case study: Dense matrix computations on the intel scc processor, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. To appear .
- WU, R. AND ZHAO, D. (2013). Integrated routing and channel arbitration in overlaid mesh winoc, *SOC Conference (SOCC), 2013 IEEE 26th International, IEEE*, pp. 368–373.
- DITOMASO, D., KODI, A., MATOLAK, D., KAYA, S., LAHA, S. AND RAYESS, W. (2015). A-winoc: Adaptive wireless network-on-chip architecture for chip multiprocessors, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 26(12): 3289–3302.



- AGYEMAN, M. O., WAN, J.-X., VIEN, Q.-T., ZONG, W., YAKOVLEV, A., TONG, K. AND MAK, T. (2015). On the design of reliable hybrid wiredwireless network-on-chip architectures, *Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc)*, 2015 IEEE 9th International Symposium on, IEEE, pp. 251– 258.
- FERREIRA, J. C. (2015). Modelagem e simulação de redes em chip sem o., PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- CATANIA, V., MINEO, A., MONTELEONE, S., PALESI, M. AND PATTI, D. (2016). Cycle-accurate network on chip simulation with noxim, *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)* 27(1): 4.
- MESQUITA, JONATHAN WANDERLEY DE. Exploração de espaço de projeto para geração de redes em chip de topologias irregulares otimizadas: a rede UTNoC. 2016. Dissertação de Mestrado. Brasil.
- DURASAMY, K., XUE, Y., BOGDAN, P. AND PANDE, P. P. (2017). Multicast-aware high-performance wireless network-on-chip architectures, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems* 25(3): 1126–1139.
- DEHGHANI, A. AND RAHIMIZADEH, K. (2018). Design and performance evaluation of mesh-of-treebased hierarchical wireless network-on-chip for multicore systems, *Journal of Parallel and Distributed Computing* .
- ITRS (2018). ITRS. MAR., 2018. Disponível em: <<http://www.itrs2.net/>>. Acesso em Março 14, 2018.
- LI, X., DURASAMY, K., BOGDAN, P., DOPPA, J. R. AND PANDE, P. P. (2018). Scalable network-onchip architectures for brain-machine interface applications, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems* (99): 1–13.
- NS (2018). The network simulator – ns-2. Disponível em: <<https://www.isi.edu/>>. Accessed: 2018-07-09.