



Estudo e implementação de técnicas de Rendezvous utilizando microcontroladores e rádios para comunicação sem fio

RESUMO

Douglas Alisson Tubiana
douglasdat19@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná - UTFPR, câmpus
Curitiba.

Glauber Brante
gbrante@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná - UTFPR, câmpus
Curitiba.

Guilherme Luiz Moritz
moritz@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná - UTFPR, câmpus
Curitiba.

Para que dois usuários consigam se comunicar em uma Rede de Rádio Cognitivo é necessário uso de algoritmos de *rendezvous* para encontrar um canal comum. Este trabalho propõe a análise de algoritmos de *rendezvous* em diferentes cenários. O primeiro algoritmo analisado foi o Asynchronous Channel Hopping (ACH), que propõe máxima diversidade de *rendezvous* sem a necessidade de uma sincronização de clock. O segundo foi o Enhanced Jump-Stay (EJS), uma versão melhorada do Jump-Stay com melhores valores de ETTR (expected time-to-*rendezvous*). O último algoritmo a ser testado foi o Simple Role-Based (SRB), que se baseia na atividade do canal, este algoritmo garante valores pequenos de ETTR e MTTR (maximum time-to-*rendezvous*). Os testes foram realizados utilizando microcontroladores equipados com rádios e os cenários considerados se diferenciam pelo número de usuários primários utilizando a rede. Nos experimentos o algoritmo SRB obteve os melhores resultados de ETTR e MTTR, como previsto pelas simulações.

PALAVRAS-CHAVE: Rede de rádio cognitiva; *Rendezvous*; *Time-to-rendezvous*.

INTRODUÇÃO

Atualmente boa parte do espectro licenciado é utilizado de maneira ineficiente e o espectro não licenciado está cada vez mais sobrecarregado devido ao aumento do número de aplicações wireless. Para amenizar esse problema que as Redes de Rádio Cognitivo (CRN: *Cognitive Radio Networks*) são desenvolvidas e utilizadas, as quais são capazes de alterar seu comportamento baseadas na percepção do espectro livre e reprogramação para uso desse espectro (AKYLDIZ, 2006, 2009). O objetivo de uma CRN é permitir que usuários comuns, ou Usuários Secundários (SUs: *Secondary Users*), utilizem o espectro licenciado sem comprometer a utilização da rede pelos seus proprietários, chamados de Usuários Primários (PUs: *Primary Users*).

Dessa forma, para que dois SUs possam se comunicar, é necessário que haja o *rendezvous*, i.e., os usuários devem acessar um mesmo canal disponível ao mesmo tempo para então estabelecer a comunicação. Para realizar esse *rendezvous*, os nós seguem uma sequência de troca de canais baseados em algoritmos que dividem o tempo em espaços, chamados *timeslots*. Assim este trabalho apresenta os experimentos realizados com algoritmos de *rendezvous* baseados em microcontroladores equipados com rádios, assim como uma comparação com os testes realizados em simulação.

METODOLOGIA

Dentre todos os algoritmos encontrados na literatura, foram escolhidos três que apresentaram bons resultados em simulação, além de características facilitantes para experimentação, como a não necessidade de sincronização de *clock*.

O primeiro a ser estudado foi o *Asynchronous Channel Hopping* (ACH), que tem como principal característica garantir o máximo de diversidade de *rendezvous*. A sequência de saltos é pré-determinada por uma matriz de canais, a qual distribui os canais disponíveis aleatoriamente, mas de modo que todos sejam utilizados igualmente. Além disso, por ser um modelo assimétrico, o ACH gera matrizes diferentes para o receptor e para o transmissor (BIAN, 2013).

A seguir foi estudado o *Enhanced Jump-Stay* (EJS), que é uma melhoria de sua versão JS anterior (LIU, 2012) e que alterna uma sequência de saltos de canais, em uma ordem pré-determinada mas não sequencial, com períodos onde o receptor permanece em um canal específico (LIN, 2013). Essa característica dá a sua denominação de *Jump-Stay*.

O último algoritmo considerado foi o *Simple Role-Based* (SRB), que é baseado em uma estratégia chamada *Wait for Mommy*, onde o receptor se mantém em um canal esperando pelo transmissor encontrá-lo. Entretanto, o receptor só pode permanecer no mesmo canal caso não haja atividade dos PUs. Dessa forma, a cada *timeslot* o receptor realiza o sensoriamento do canal e, caso esteja livre, permanece; caso contrário, salta para o próximo canal disponível. O transmissor, por sua vez, utiliza uma sequência de saltos *round robin*, iniciando em um canal aleatório e realizando saltos sequenciais de forma crescente nos canais (GUERRA, 2014).

Para analisar o desempenho de cada algoritmo foi utilizado o número de tentativas necessárias para realizar o *rendezvous*, chamado de *time-to-rendezvous* (TTR). Dessa forma, as duas métricas mais importantes são o

maximum TTR (MTTR), maior número de tentativas, e o *expected* TTR (ETTR), valor médio das tentativas de *rendezvous*.

Para analisar o desempenho de cada algoritmo foi utilizado o número de tentativas necessárias para realizar o *rendezvous*, chamado de *time-to-rendezvous* (TTR). Dessa forma, as duas métricas mais importantes são o *maximum* TTR (MTTR), maior número de tentativas, e o *expected* TTR (ETTR), valor médio das tentativas de *rendezvous*.

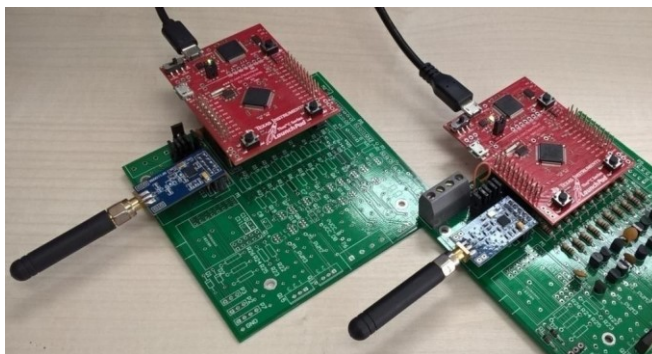


Figura 1. *Hardware* utilizado para realização dos testes.

Os resultados experimentais consistiram de simulações computacionais, baseadas nas expressões de ETTR e MTTR de (BIAN, 2013; LIN, 2013; GUERRA, 2014), bem como em implementação em hardware utilizando microcontroladores. Para esta implementação foi utilizado o microcontrolador ARM-Cortex M4 contido na LaunchPad Tiva C e o *transceiver* CC1101, conforme a Figura 1, ambos da Texas Instruments. Como o cenário prevê dois usuários, um transmitindo e outro recebendo, dois conjuntos foram utilizados, com a mesma configuração e *firmware*, um operando como transmissor e outro como receptor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto para a simulação como para o experimento, foi utilizada uma rede com 20 canais que não se sobrepõem, dividindo em *timeslots*, onde em cada *timeslot* o algoritmo irá definir o canal a ser utilizado pelo usuário.

Por serem proprietários do espectro licenciado, os PUs possuem prioridade no uso dos canais da rede, portanto mesmo que um usuário comum transmitindo esteja no mesmo canal que seu receptor, se este canal estiver sendo utilizado por um PU, o *rendezvous* não irá ocorrer, e ambos os usuários irão continuar suas trocas de canais.

Foram criados 11 cenários diferentes, onde cada cenário se diferencia pelo número de PUs na rede, inicialmente nenhum, para então dois, a seguir quatro, até 20. Cada PU possui 50% de chance de estar ocupando um canal e alternando este estado de ocupado ou disponível após um número aleatório de *timeslots*, baseado na distribuição de poisson. Além disso, foram realizadas uma série de 10000 amostras por cenário para cada algoritmo.

A Figura 2 mostra a comparação dos três algoritmos testados experimentalmente, à esquerda analisando o ETTR e à direita o MTTR. Levando em consideração que quanto menor o resultado melhor, o algoritmo que se destaca é o SRB, apresentando valores muito baixos mesmo para uma rede com todos os PUs possíveis presentes.

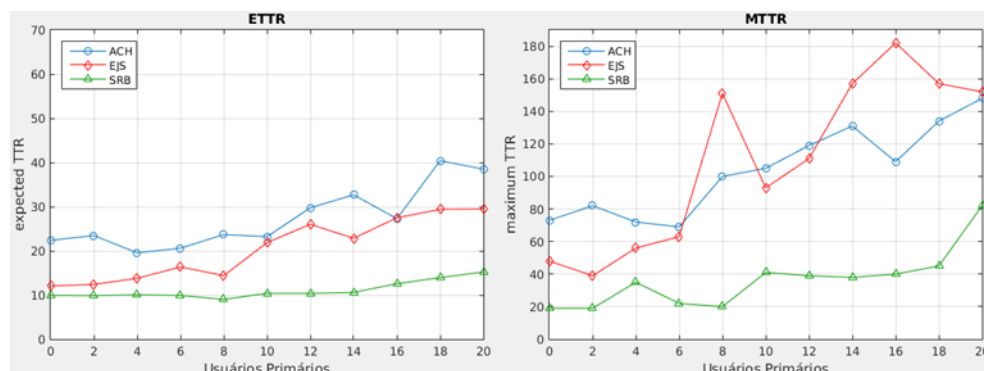


Figura 2. Comparação de ETTR e MTTR de todos os algoritmos.

A comparação dos resultados experimentais com os simulados é mostrado na Figura 3. Na análise de ETTR os resultados experimentais se mostraram próximos dos simulados, o que indica que o experimento foi realizado corretamente mas que seria necessário um número maior de amostras para gerar uma curva mais estável. O gráfico de MTTR também mostrou que o experimento atendeu o que prometia mostrando valores muito abaixo dos limites superiores gerados pelas simulações dos algoritmos ACH e EJS, além de valores muito próximos para o SRB.

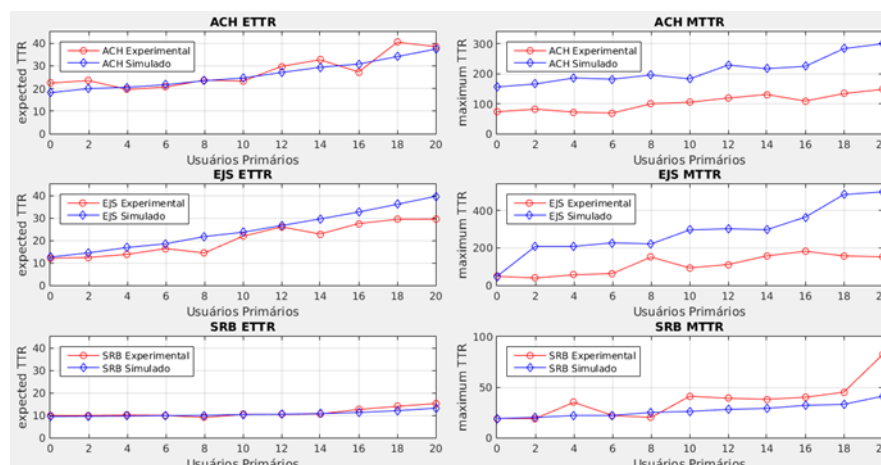


Figura 3. Comparação de ETTR e MTTR entre simulado e experimental.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foram comparados três algoritmos de *rendezvous* para CRNs: ACH, EJS e SRB. Para tais comparações, utilizou-se simulações computacionais, bem como validação dessas simulações com microcontroladores equipados com rádios. Os resultados experimentais obtidos demonstraram bastante coerência com a teoria, obtendo valores de ETTR e MTTR muito próximos das simulações. Além disso, o algoritmo SRB obteve melhor desempenho em todas as situações analisadas. Como trabalhos futuros, sugere-se a expansão do número de nós operando ao mesmo tempo, visando demonstrar a ocupação real de canais por PUs. Por fim, espera-se que novos algoritmos de *rendezvous* possam ser desenvolvidos a partir do ferramental experimental desenvolvido neste trabalho.

Study and implementation of Rendezvous techniques using microcontrollers and radios for wireless communication.

ABSTRACT

In order for two users to be able to communicate in a Cognitive Radio Network, it is necessary to use rendezvous algorithms to find a common channel. This work proposes the analysis of rendezvous algorithms in different scenarios. The first algorithm analyzed was the Asynchronous Channel Hopping (ACH), which proposes maximum diversity of rendezvous without the necessity of a clock synchronization. The second was Enhanced Jump-Stay (EJS), an improved version of Jump-Stay with better expected time-to-rendezvous (ETTR) values. The last algorithm to be tested was Simple Role-Based (SRB), which is based on channel activity, this algorithm guarantees small values of ETTR and MTTR (maximum time-to-rendezvous). The tests were performed using microcontrollers equipped with radios and the scenarios considered are differentiated by the number of primary users using the network. In the experiments the SRB algorithm obtained the best ETTR and MTTR results, as predicted by the simulations.

KEYWORDS: Cognitive radio network; Rendezvous; Time-to-rendezvous.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Capes pelo auxílio financeiro no desenvolvimento deste trabalho, assim como a UTFPR e o LABSC pelo espaço e equipamento disponibilizado.

REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, Ian F. et al. Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey. **Computer Networks**, v. 50, n. 13, p.2127-2159, set. 2006. Elsevier BV.

AKYILDIZ, Ian F.; LEE, Won-yeol; CHOWDHURY, Kaushik R.. CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks. **Ad Hoc Networks**, v. 7, n. 5, p.810-836, jul. 2009. Elsevier BV.

BIAN, Kaigui; JUNG-MIN. Maximizing Rendezvous Diversity in Rendezvous Protocols for Decentralized Cognitive Radio Networks. **IEEE Transactions On Mobile Computing**, v. 12, n. 7, p.1294-1307, jul. 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

GUERRA, E.o. et al. Simple role-based rendezvous algorithm for cognitive ad hoc radio networks. **Electronics Letters**, v. 50, n. 3, p.182-184, 30 jan. 2014. Institution of Engineering and Technology (IET).

LIN, Zhiyong et al. Enhanced Jump-Stay Rendezvous Algorithm for Cognitive Radio Networks. **IEEE Communications Letters**, v. 17, n. 9, p.1742-1745, set. 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

LIU, Hai et al. Jump-Stay Rendezvous Algorithm for Cognitive Radio Networks. **IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems**, v. 23, n. 10, p.1867-1881, out. 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

TUBIANA, D. A.; BRANTE, G.; MORITZ, G. L. Estudo e implementação de técnicas de Rendezvous utilizando microcontroladores e rádios para comunicação sem fio. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Douglas Alisson Tubiana

R. Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Curitiba, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

