

## ANALISE COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES MOVEIS AD HOC

Underléa Cabreira Corrêa, Vítório Bruno Mazzola, M.A.R. Dantas

Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina  
(UFSC)

Campus Universitário – Trindade 88040-900 – Florianópolis – SC – Brasil

{underlea, mazzola, mario}@inf.ufsc.br

**Resumo.** Neste artigo apresentamos uma análise comparativa, para verificar as principais características dos protocolos com uma abordagem híbrida, que implementa o paradigma de agentes móveis, e aqueles que não fazem uso de tal mecanismo. Nosso objetivo é o estabelecimento de parâmetros que apontem as características mais apropriadas de um protocolo de roteamento para execução dentro de um ambiente de rede móvel ad hoc. Os resultados de nossa pesquisa indicam que os protocolos de roteamento considerados apresentam aspectos inerentes apropriados para o desenvolvimento de um framework de sub-sistema que atenda as exigências estabelecidas para uma performance diferenciada de roteamento em redes móveis.

### 1. Introdução

As redes móveis *ad hoc* (MANETs) são ambientes que se destacam dentro da comunicação *wireless* [WU 04]. Temos verificado uma tendência na miniaturização, aumento de capacidade de processamento e armazenamento dos dispositivos móveis que reunidos a aplicações capazes de oferecer boa interatividade entre hardware e software, têm contribuído com o aumento da popularidade dessas redes [PERKINS 01].

As MANETs são relativamente novas, todavia o conceito de redes de pacote de rádio móvel existe desde os anos 70, não muito antes de iniciar o desenvolvimento da tecnologia de comutação de pacotes, que cresceu dentro do que conhecemos agora como *internet*, o Departamento de Defesa (DoD) dos EUA pesquisa como habilitar essa tecnologia para operar sem as restrições da infra-estrutura fixa [PERKINS 01].

Uma das motivações originais das MANETs foi encontrada, segundo [PERKINS 01], na necessidade de sobrevivência dos militares em campos de batalha. Sendo que em regiões tais como desertos e florestas virgens não há infra-estrutura de comunicação territorial, bem como em situações que permitam a existência de uma, corre-se o risco de destruição da comunicação local. A arquitetura *ad hoc* com seus dispositivos móveis auto-organizáveis é também usada na assistência em desastres, conferências, redes de sensores, área de redes pessoais (PAN – *Personal Area Network*) e aplicações de computação embutida [WU 04, MIGAS 03].

Entre os diversos problemas que as MANETs apresentam, temos o problema da localização dos *hosts*. Devido ao fator mobilidade, diversos trabalhos de pesquisa, como [JOA-NG 99, NIKAEIN 01, NIKAEIN 00, DOV 02, MARWAHA 02, MINAR 99] têm sido desenvolvidos com o intuito de oferecer entre outros, um algoritmo de roteamento que defina a topologia da rede e esteja constantemente informando o estado e a

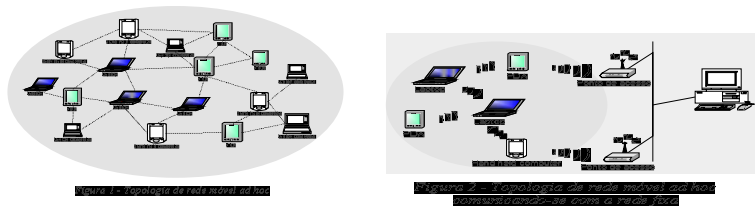
localização de cada *host*. Alcançar a eficácia de um protocolo de roteamento para uma rede móvel *ad hoc* é uma tarefa instigante, já que esse deve executar eficazmente sobre uma larga escala de configurações das MANETs.

Com o intuito de realizar uma análise de domínio dos protocolos de roteamento híbrido, buscamos nesse artigo comparar as características dos algoritmos que utilizam a abordagem híbrida, através do uso de agentes móveis, [MARWAHA 00, ROYCLHOUDHURY 00, ONISHI 01] e aqueles que não fazem uso de tal mecanismo [JOA-NG 99, NIKAEIN 01, NIKAEIN 00].

O artigo está estruturado da seguinte forma. Características das MANETs na seção 2. Na seção 3 os protocolos de roteamento abordados nesta pesquisa. Comparações na seção 4. Conclusões e trabalhos futuros na seção 5.

## 2. Características das MANETs

As MANETs [PERKINS 01] são caracterizadas por um sistema autônomo de nodos móveis independentes, podendo operar de modo isolado Figura 1 ou por intermédio de um *gateway* de interface com a rede fixa Figura 2, onde seus nodos são equipados com transmissores e receptores usando antenas onidirecionais, que captam sinais de todas as direções (*broadcast*), altamente direcional (*peer-to-peer*), ou uma combinação de cada. Possuem tecnologia de comunicação *wireless*, onde os dispositivos computacionais móveis são capazes de trocar informações diretamente entre si ou através de *multi-hops* sem a necessidade de infra-estrutura de comunicação [PERKINS 2001, CORSON 98] e devem estar fisicamente habilitados para se comunicarem mutuamente mesmo quando roteadores, estações base ou provedores de serviços de *internet* (ISPs), não podem ser encontrados [CAMPBELL 03]. As MANETs empregam a estrutura tradicional TCP/IP para fornecer uma comunicação fim-a-fim entre os nodos [PERKINS 01] contudo, devido a sua mobilidade e aos recursos limitados em redes *wireless*, cada camada do modelo TCP/IP requer definição e modificações para funcionar eficientemente.



CORSON 99 define que as características mais salientes das MANETs são: a topologia dinâmica e móvel onde os nodos são livres para moverem-se arbitrariamente, causando dificuldade na determinação de uma rota válida e na localização dos *hosts* para estabelecimento da comunicação; segurança limitada já que essas redes são geralmente mais propensas ao aumento das possibilidades de escuta e invasões; rápidas instalações sem a necessidade de infra-estrutura fixa; conectividade através de um canal de comunicação entre dois ou mais *hosts* dentro de uma mesma área geográfica de alcance de ondas de rádio; largura de banda forçada, pois os *links wireless* continuam tendo

capacidade significativamente mais baixa do que as redes fixas e operação de energia limitada onde os nodos contam com baterias para funcionar.

### 3. Roteamento em Redes Móveis Ad Hoc

Por mais que o ambiente MANET seja produtivo, a natureza dinâmica de sua topologia dificulta a realização do roteamento *multi-hop* [ONISHI 01].

Os protocolos de roteamento para MANETs, segundo [ABOLHASAN 03] podem ser classificados em três grupos diferentes: *global/pro-ativo*, *on-demand/reativo* e híbrido. No protocolo de roteamento pro-ativo, é definido por [ABOLHASAN 03] que as rotas para todo destino são determinadas no início e mantidas usando um processo periódico de atualização da rota. Já no protocolo reativo um nodo inicia a descoberta da rota somente quando ele deseja se comunicar com seu destino [NIKAEIN 01]. O algoritmo de roteamento híbrido combina propriedades básicas das duas primeiras classes de protocolos em uma e é considerado por [ABOLHASAN 03] a nova geração dos protocolos de roteamento para MANETs projetados para aumentar a escalabilidade permitindo que os nodos com proximidade trabalhem juntos para formar uma espécie de *backbone* a fim de reduzir o *overhead* de descoberta da rota. Todavia, os protocolos [MARWAHA 02, ONISHI 01] que fazem uso de agentes móveis buscam oferecer um algoritmo de roteamento que defina a topologia da rede e esteja constantemente informando o estado e localização de cada host, buscando atender a lista de propriedades qualitativas e quantitativas desejáveis a um protocolo de roteamento, sugerido em [CORSON 99].

#### 3.1. Algoritmo de Roteamento para MANET

Nessa seção abordaremos as características dos protocolos de roteamento para o ambiente de redes móveis *ad hoc* que serão utilizados neste trabalho de pesquisa. Primeiramente relataremos três trabalhos bem conhecidos e categorizados como protocolos de roteamento híbrido, em consequente trataremos de outros dois trabalhos de pesquisa que utilizam agentes móveis onde [MARWAHA 02] pode ser caracterizado como híbrido e [ONISHI 01] caracteriza-se pela utilização da abordagem pro-ativa. Dentre os estudados temos:

##### A. ZHLS – Zone-based hierarchical link state

O ZHLS [JOA-NG 99] é um protocolo híbrido de roteamento *peer-to-peer*, característica essa que evita gargalo de tráfego, previne único ponto de falha e simplifica o gerenciamento da mobilidade. O ZHLS incorpora informação da posição dentro de uma abordagem de roteamento hierárquico que utiliza sistema de posição global (GPS – *Global Position System*). A rede é dividida dentro de zonas não sobrepostas e o roteamento é feito pela definição do *zone\_ID* e do *node\_ID* do destino.

##### B. DDR – Distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks

O DDR [NIKAEIN 00] é uma abordagem híbrida que se baseia no conceito de zonas não sobrepostas, onde cada nodo precisa conhecer somente o próximo salto para todos os nodos dentro de sua zona, reduzindo dessa forma o roteamento de informação e utilização da largura de banda. O DDR evita *broadcasting* enviando somente a informação necessária embutida em *beacons* (sinais de alarme) para os vizinhos, e o tamanho de suas zonas aumentam e diminuem dinamicamente de acordo com algumas

características como densidade do nodo, taxa de conexão e desconexão da rede, força de transmissão e mobilidade do nodo. A idéia principal do DDR é construir uma floresta de uma topologia da rede de modo distribuído usando somente a troca periódica de mensagens entre os nodos e seus vizinhos.

C. *HARP – Hybrid ad hoc routing protocol*

O HARP [NIKAEIN 01] é um protocolo de roteamento de nível de zona hierárquico, onde o roteamento é executado em nível de *intra-zone* e *inter-zone*. O roteamento *intra-zone* confia num mecanismo pro-ativo (herdado do DDR), já a *inter-zone* confia num mecanismo reativo como no ZHLS. No HARP cada nodo mantém somente a informação de roteamento daqueles nodos que estão dentro de sua zona, e de suas zonas vizinhas; é responsável pelo descobrimento e mantimento dos trajetos para satisfazer os requerimentos da aplicação; evita atraso extra causado por falha no trajeto durante a transmissão de dados, restaura o trajeto antes do período de instabilidade, além de gerar e selecionar trajetos conforme o nível de estabilidade da zona.

D. *Mobile agents based routing protocol for mobile ad hoc networks (Ant-AODV)*

Esse protocolo [MARWAHA 02] tenta superar desvantagens como redução da capacidade de aproveitamento da rede devido à atualização contínua das tabelas de roteamento dos nodos móveis causada pelo AODV [DAS 03] e a dependência dos nodos móveis que aguardam a informação das rotas para os vários destinos fornecidos pelos agentes formigas. Devido a isso esse protocolo busca combinar o método de roteamento AODV [DAS 03] com *Ant-based routing* [MINAR 99] para dar origem a o método de roteamento híbrido *Ant-AODV* hábil a reduzir o atraso fim-a-fim e a latência da descoberta da rota fornecendo alta conectividade quando comparado aos métodos de roteamento AODV [DAS 03] e *Ant-based* [MINAR 99]. O protocolo de roteamento *Ant-AODV* usa troca de mensagens de erro de rota (RERR) para informar os nodos da falha do link como no AODV, e mensagens *Hello* são espalhadas através de *broadcast* para manter a tabela dos vizinhos atualizada para uma escolha aleatória do próximo salto.

E. *The multi-agent system for dynamic network routing*

Esse protocolo de roteamento [ONISHI 01] é caracterizado como pro-ativo, onde suas rotas são feitas em direção oposta da busca pretendida; cada nodo conhece qual o próximo nodo para transmitir pacotes de mensagem, cada nodo na rede disputa o mesmo papel no roteamento; os pacotes de mensagem podem ser transmitidos através de várias rotas. Tem como vantagem o menor atraso em fazer uma comunicação e uma estabilidade por causa da constante quantidade de pacotes de controle; economiza o tamanho dos pacotes de mensagem, possui alta robustez e flexibilidade. Esse modelo está interessado apenas em uma rota provável e não em todo o mapa da rede como a maioria dos protocolos de roteamento pro-ativo.

F. *Mobile agents for routing topology discovery, and automatic network reconfiguration in ad hoc networks*

A pesquisa [MIGAS 03] propõe acessar diferentes modelos de uso dos agentes móveis e estáticos para determinar a melhor rota através da rede móvel *ad hoc* fornecendo benefícios como melhor desempenho, escalabilidade, comunicação fim a fim confiável, reduzir possíveis atrasos e minimizar perdas. A idéia é baseada no fato de que cada nodo terá um agente estático que executará no fundo monitorando a disponibilidade

dos recursos da rede e os agentes móveis coletarão informações dos agentes estáticos usando-as para determinar, por exemplo, o melhor trajeto para roteamento de tráfego na rede.

#### 4. Comparação

Nessa seção demonstramos através da Tabela 1 a comparação entre os protocolos de roteamento estudados na seção 3.1, considerando algumas diferenciações e as principais características dos algoritmos em estudo, tendo como pontos considerados:

1. Característica de abordagem pro-ativa e reativa
2. Suporte a múltiplos trajetos
3. Faz *flood* limitado para transmitir informações de roteamento ou solicitação de rotas
4. Possui mecanismos para aumentar as entradas na tabela de roteamento
5. Aplica estratégia de consumo de energia e questões de segurança
6. Usa *beacons* para enviar informações
7. Executa roteamento em dois níveis
8. Utiliza agentes móveis e estáticos para efetuar comunicação
9. Aponta sistema de roteamento orientado a curtos trajetos
10. Os nodos utilizam mensagens de requisição de rotas ao destino
11. Mensagens de erro de rota (RERR) são utilizadas para informar os nodos sobre uma falha no enlace local
12. Mensagens *Hello* são utilizadas para manter a tabela dos vizinhos atualizada
13. Utiliza sistema de posição de posição global (GPS – *Global Position System*)
14. Baseia-se no conceito de zonas
15. Baseia-se na metáfora de formiga

**Tabela 1 – Comparação das Características de roteamento**

Protocolo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DDR	xx	x	-	-	x-	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-
HARP	xx	x	x	-	x-	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-
ZHLS	xx	x	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	x	-
Ant-AODV	xx	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-	x
The multi agent system for dynamic network routing	x-	x	x	x	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-
Mobile agents for routing topology discovery, and automatic network reconfiguration	-	x	x	-	x	-	-	xx	x	-	-	-	-	x	-

Legenda: X = possui a característica

- = ausência da característica

Por meio de nossa comparação percebemos que cada algoritmo de roteamento busca superar através da abordagem híbrida e/ou da aplicação do paradigma agente móvel, desvantagens como desperdício dos recursos da rede wireless, falta de escalabilidade em relação a freqüente mudança topológica da rede e a conexão fim-a-fim apresentadas nos protocolos de roteamento, e.g. [GUANGYU 02 e MINAR 99] que aplicam abordagem puramente pro-ativa ou reativa. Além disso, podemos também estabelecer o domínio de aplicações dos algoritmos em estudo por meio das

características coletivas que os unificam e pelos aspectos distintos peculiar a cada protocolo.

Dentre os protocolos de roteamento comparados utilizaremos em nossos experimentos futuros os algoritmos de roteamento HARP [NIKAEIN 01], Ant – AODV [MARWAHA 02] e o *Multi-agent system for dynamic network routing* [ONISHI 01]. Justificamos a escolha do HARP dentre os abordados por esse aplicar o nível de estabilidade da zona como uma métrica de determinação de rota e manutenção adiantada do trajeto simplificado do protocolo de roteamento o que não é o caso do DDR e ZHLS, além disso, o HARP utiliza o DDR em seu algoritmo para gerar a estrutura lógica com relação às propriedades da rede (número de nodos na rede, número de comunicações, frequência de mudança topológica). Outro algoritmo a ser analisado será o Ant-AODV por apresentar característica híbrida como o HARP e ainda empregar o uso de agentes móveis. Além do HARP e o Ant-AODV analisaremos o algoritmo *The multi-agent system for dynamic network routing* por esse ser um algoritmo de abordagem pro-ativa que aplica o paradigma agente móvel.

## 5. Conclusão

Neste artigo apresentamos uma análise comparativa que identifica características coletivas dos protocolos de abordagem híbrida, que implementam o paradigma de agentes móveis, e aqueles que não fazem uso de tal mecanismo. Nosso objetivo foi o estabelecimento de parâmetros que apontem os aspectos fundamentais de um protocolo de roteamento híbrido dentro de um ambiente de rede móvel *ad hoc*. Os resultados de nossa pesquisa indicam que os protocolos de roteamento considerados apresentam aspectos inerentes apropriados para o desenvolvimento de um *framework* de sub-sistema que atenda as exigências estabelecidas para uma performance diferenciada de roteamento dentro do contexto dinâmico das redes móveis *ad hoc*.

## 6. Referências

- ABOLHASAN, M., WYSOCKI, T., DUTKIEWICZ, Eryk. (2003) “A review of routing protocols for mobile ad hoc networks”, Elsevier Computer Science, [www.elsevier.com/locate/adhoc](http://www.elsevier.com/locate/adhoc), Aug.
- CORSON, S., MACKER, J. (1999) “Mobile Ad Hoc Networking (MANET)”. IETF RFC 2501, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>, Jan.
- CORSON, S., MACKER, J. (1998) “Mobile Ad Hoc Networking and IETF”, ACM Mobile Computing and Communication Review, Vol. 2 and 3, Numbers 1,2,3,4, [http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet\\_home.html](http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet_home.html), Oct.
- CAMPBELL, A. T., CONTI M., GIORDANO S., (2003) “Mobile Ad Hoc Networks”, Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands. Mobile Networks and Applications, p. 483–484.
- DAS, S., PERKINS, C. and ROYER, E. (2003) “Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing” RFC 3561, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>.
- GUANGYU, Pei; GERLA, M., *Tsu-Wei Chen* (2000) “Fisheye state routing: a routing scheme for ad hoc wireless networks”, Communications ICC. IEEE International Conference, Vol.1, Jun, p. 70-74.

- JOA-NG, M. and I-TAI, L. (1999) "A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks", IEEE Journal on selected areas in communications, vol 17, nº 8, p. 1415-1425.
- MARWAHA, S., THAM, C. K. and SRINIVASAN, D. (2002) "Mobile Agents based Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", Global Telecommunications Conference. GLOBECOM '02. IEEE, Vol. 1, p. 17-21.
- MARWAHA, S., THAM, C. K. and SRINIVASAN, D. (2002) "A Novel Routing Protocol using Mobile Agents and Reactive Route Discovery for Ad Hoc Wireless Networks", Networks ICON, 10th IEEE International Conference, p. 311 – 316.
- MINAR, N., KRAMER, K.H., and MAES, P. (1999) "Cooperating mobile agents for dynamic Networking", Software Agents for Future Communications Systems, Chapter 12.
- MIGAS, N., BUCHANAN, W., J., WILLIAM, McARTNETY, K. A. (2003) "Mobile Agents for Routing", Topology Discovery, and Automatic Network Reconfiguration in AdHoc Networks, Engineering of Computer-Based Systems, 10<sup>th</sup> IEEE International Conference and Workshop, p. 200-206.
- NIKAEIN, N. and BONNET, C. (2001), "HARP- Hybrid Ad Hoc Routing Protocol", In: IST2001 – International Symposium on Telecommunications <http://www.eurecom.fr/~nikaeinn/harp.ps>.
- NIKAEIN, N., LABIOD, H. and BONNET, C. (2000) "DDR – Distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks" Mobile and Ad Hoc IEEE Networking and Computing. MobiHOC 2000 First Annual Workshop, p19- 27.
- ONISHI, R., YAMAGUCHI, S., MORINO, H. and SAITO, T. (2001) "The Multi-agent System for Dinamic Network Routing", Autonomous Decentralized Systems, 5<sup>th</sup> IEEE International Symposium, p. 375-382.
- PERKINS, C. E. "Ad Hoc Networking", 1<sup>st</sup> ed. United States of America, Addison-Wesley, p. 11- 27.
- ROYCLHOUDHURY, R., BANDYOPADHYAY, S., K., P.; (2000) "A distributed mechanism for topology discovery in ad hoc wireless networks using mobile agents", Mobile and Ad Hoc Networking and Computing, MobiHOC IEEE 2000 First Annual Workshop, p. 145-146.
- WU, J. and STOJMENOVIC I. (2004) "Ad Hoc Networks", Computer, Volume: 37, Issue: 2, Feb.2004, p. 29-31.