

A D H OC E S ENSOR N ETWORKS

# Rede móvel ad hoc: Marcos, desafios e Novas direções de pesquisa

Marco Conti, Conselho Nacional de Pesquisa da Itália

Sílvia Giordano, Universidade de Tecnologia Aplicada do Sul da Suíça

## UM BSTRACT

Neste artigo, discutimos o estado da arte de rede ad hoc (móvel) com vários saltos. Esta paradigma tem sido frequentemente identificado com o soluções desenvolvidas dentro do IETF MANET grupo de trabalho, por isso é denominado o paradigma MANET. No entanto, eles não coincidem, e na última década eles claramente divergiu. Neste artigo, começamos da reafirmar porque o paradigma MANET não tinha um grande impacto nas comunicações do computador, e discutimos a evolução do multihop ad hoc paradigma de rede com base nas lições aprendi com a pesquisa da MANET. Especificamente, analisamos quatro redes de sucesso paradigmas, malha, sensor, oportunista e redes veiculares, que surgiram da Mundo MANET como uma aplicação mais pragmática do paradigma de rede ad hoc multihop. Também apresentamos as novas direções de pesquisa em o campo de rede ad hoc multihop: pessoas-rede centrada, desencadeada pelo aumento penetração dos smartphones na vida cotidiana, que está gerando uma revolução centrada nas pessoas em computação e comunicações.

## INTRODUÇÃO

A rede ad hoc multihop (móvel) paradigma emergiu, no campo civil, no Década de 1990 com a disponibilidade de dispositivos sem fio prontos para tecnologias capazes de fornecer rede direta de conexões entre dispositivos de usuários: Bluetooth (IEEE 802.15.1) para redes de área pessoal, e o Família de padrões 802.11 para wireless de alta velocidade LAN (consulte os Capítulos 2 e 3 em [1, 2]). Especificamente, esses padrões sem fio permitem a comunicação direta entre dispositivos de rede dentro do alcance de transmissão de suas interfaces sem fio, tornando a rede ad hoc de salto único um realidade, isto é, WLAN / WPAN sem infraestrutura onde os dispositivos se comunicam sem a necessidade de qualquer infraestrutura de rede (Fig. 1).

O paradigma multihop foi então concebido para estender a possibilidade de se comunicar com qualquer alguns nós de rede, sem a necessidade de desenvolver qualquer infraestrutura de rede onipresente. Dentro

nos anos 90, auxiliamos no uso do multihop paradigma em redes ad hoc móveis (MANETs), onde os usuários próximos se comunicam diretamente (por explorando as interfaces de rede sem fio de seus dispositivos no modo ad hoc) não apenas para trocar seus próprios dados, mas também para retransmitir o tráfego de outros nós de rede que não podem se comunicar diretamente, operando assim como os roteadores fazem no legado Internet. Por esse motivo, em uma MANET, o os dispositivos dos usuários fornecem cooperativamente a Internet serviços, geralmente fornecidos pela infra-estrutura de rede estrutura (por exemplo, roteadores, switches, servidores).

Em seu nascimento, a MANET foi vista como uma das a rede sem fio mais inovadora e desafiadora paradigmas de trabalho [3], e foi promissor para tornar-se uma das principais tecnologias, aumentando está presente no dia a dia de todos. O potencialidades deste paradigma de rede feito rede ad hoc uma opção atraente para construir redes sem fio de quarta geração (4G), e portanto, MANET imediatamente ganhou impulso, e isso produziu enormes esforços de pesquisa em a comunidade da rede móvel [1, 2, 4].

O modelo da Internet foi fundamental para o MANET Internet Engineering Task Force (IETF) grupo de trabalho, que, herdando o Camada de pilha de protocolos TCP / IP, assumindo um IP-visão central de uma MANET; consulte “Mobile Ad Hoc Networks (MANETs)” por JP Macker e M. S. Scott Corson em [1]. A pesquisa MANET comunidade focada no que chamamos de *puro general propósito* MANETs, onde *puro* indica que não infraestrutura é assumida para implementar a rede funções de trabalho, e nenhuma autoridade está encarregada de gerenciamento e controle da rede. *Em geral-propósito* denota que essas redes não são projetado com qualquer aplicação específica em mente, mas sim para suportar qualquer aplicativo TCP / IP legado ção, como mostrado na Fig. 2.

Seguindo essa visão, a pesquisa se concentrou em aprimorando e estendendo o roteamento da camada IP e encaminhamento de funcionalidades para suprir transportar os serviços legados da Internet em uma rede sem qualquer infraestrutura. Na camada de rede, observamos uma proliferação de protocolo de roteamento propostas como protocolos de roteamento de Internet legados desenvolvidos para redes com fio claramente não são adequado para o imprevisível e dinâmico

1 <http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter/>

Figura 1. Rede ad hoc de salto único.

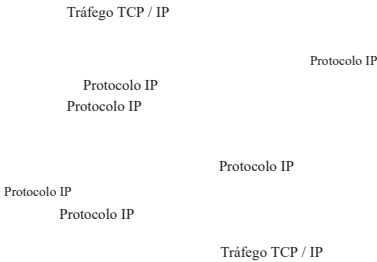


Figura 2. A abordagem MANET de propósito geral puro.

natureza da topologia MANET [4]. Esforços extensos têm se dedicado a construir um conjunto de padrões protocolos padrão. No entanto, os padrões lançados protocolos, vetor de distância sob demanda Ad Hoc (AODV), roteamento de estado de link otimizado (OLSR), Dynamic Source Routing (DSR) e Transmissão de topologia baseada em caminho reverso para-guarda (TBRPF) (veja o site IETF MANET página 1) têm seus prós e contras, e nenhum dos eles são superiores aos outros em todos os contextos. Portanto, eles ainda estão em discussão como RFCs experimentais. Atualmente, o grupo é pur-processando um reativo (DYMO, ou seja, AODV versão 2) e um protocolo pró-ativo (OLSRv2).

O interesse de pesquisa espalhou-se rapidamente a partir de roteamento para todas as camadas do protocolo da Internet pilha; [1, 2] apresentam uma visão completa de MANET pesquisa desde o físico até a aplicação camada. Acima do IP, MANET geralmente assume o uso do transporte UDP e TCP protocolos. Infelizmente, o TCP não funciona corretamente neste cenário, conforme amplamente discutido na literatura [2]. Para melhorar o desempenho mance do TCP em uma MANET, várias propostas foram apresentados. A maioria dessas propostas são versões modificadas do TCP legado usado em a Internet. No entanto, soluções baseadas em TCP pode não ser a melhor abordagem ao operar em ambientes MANET; portanto, vários autores propuseram novos protocolos de transporte sob medida para os recursos MANET. Além disso, meio-ware e aplicações constituem o menos investi-áreas fechadas no campo MANET. Na verdade, no projeto de MANETs de uso geral que havia não há uma compreensão clara das aplicações para quais redes ad hoc multihop são uma oportunidade nidade. Falta de atenção aos problemas de aplicações bly constitui uma das principais causas para o impacto de MANET insignificante na rede sem fio campo de trabalho. Falta de atenção ao aplicativo ções também limitaram o interesse em desenvolver Soluções de middleware sob medida em MANETs [2].

Além de uma análise aprofundada de todos camadas da pilha de protocolo, pesquisa MANET também focado em tópicos de pesquisa de camadas cruzadas com atenção especial à eficiência energética, segurança, e cooperação [1].

Depois de mais de uma década de intensa esforços de pesquisa, o campo de pesquisa MANET pro- produziram resultados teóricos profundos (por exemplo, desempenho limites de desempenho no desempenho MANET [5, 6]), ou protocolo inovador e solução arquitetônica (por exemplo, arquiteturas inovadoras de camada cruzada e protocolos conforme discutido em [7, Capítulo 1]), mas em termos de implementações do mundo real e implantações industriais, o puramente geral pose paradigma MANET sofre de escassa exploração e baixo interesse na indústria e entre os usuários [8]. Por que isso aconteceu? A a resposta inicial a esta pergunta foi fornecida em 2007, em dois artigos complementares que fizeram uma crítica análise ical das atividades de pesquisa da MANET [8, 9] apontando que as principais razões para As expectativas perdidas da MANET são devido ao falta de:

- *Implementação, integração e experimentação*
- *Simulação de credibilidade*
- *Motivações socioeconômicas*

Além disso, essa análise também destacou que a rede mesh, rede veicular, rede oportunista e rede de sensores paradigmas foram originados do Campo de pesquisa da MANET. Estes anúncios multihop paradigmas de rede hoc, aprendendo com a experiência MANET, surgiu com a promessa de evitar os erros da MANET. Na verdade, esses novos "nascidos em MANET" paradigmas se distanciaram do principais fraquezas da MANET por seguir-uma abordagem de desenvolvimento mais pragmática. Atualmente, seis anos após essa análise, a malha, sensor, oportunista e rede veicular obras são uma realidade na rede ad hoc móvel campo de trabalho, e seu sucesso pode ser resumido pelo seguinte *desenvolvimento pragmático estratégia de opção* :

- 1 *Desenvolvimento orientado a aplicativos* , que (como oposto ao design de propósito geral de MANET) primeiro identifica a aplicação cenários a serem abordados antes de começar o desenvolvimento das soluções técnicas.
- 2 *Redução da complexidade* . Dependendo da cenário de aplicação específico, alguns MANET as restrições foram relaxadas; por exemplo, a suposição de que a rede é com- posta apenas dos dispositivos dos usuários, e / ou que o modelo de comunicação tem que estar em conformidade com o da Internet.
- 3 A abordagem de *pesquisa focada* aborda apenas os tópicos de pesquisa relevantes para a construção redes robustas e eficazes para suporte- o (s) cenário (s) de aplicação específico (s) e não fingindo substituir a Internet.
- 4 O uso de *modelos de simulação realistas* em a fim de basear o desenvolvimento do protocolo em estudos de simulação confiáveis.
- 5 O *desenvolvimento de testbeds de rede real com o envolvimento dos usuários* , no início estágios da concepção desses novos paradigmas, a fim de colocar os usuários no loop do desenho e experimentação de redes.

Neste artigo, revisamos o status atual de a rede ad hoc multihop (móvel) pesquisa. Especificamente, discutimos os marcos e desafios em malha, sensor, oportunista, e redes veiculares. Também discutimos o que é previsto no futuro da rede ad hoc multihop trabalhando. Em particular, discutimos as pessoas revolução centrada. Graças ao aumento difusão de smartphones, o centrado nas pessoas paradigma combina comunicações sem fio e redes de sensores com a vida diária e comportamentos das pessoas para construir computação e soluções de comunicação fortemente acopladas com pessoas.

Apresentamos e discutimos malha, sensor, oportunidade redes tunísticas e veiculares, respectivamente. Para cada paradigma, mostramos como o puro e paradigma MANET de uso geral (e o resultados de pesquisas relacionadas) foi transformado em um paradigma de rede que conquistou os usuários e aceitação do mercado, explorando o lições aprendidas com MANETs. Por esta razão filho, a apresentação de cada paradigma é organizado para destacar os principais elementos do *estratégia de desenvolvimento pragmático*: aplicativo-ori-desenvolvimento integrado, redução da complexidade do problema ção, pesquisa focada, uso de realistas modelos de simulação e desenvolvimento de modelos reais testbeds de rede com o envolvimento dos usuários. Finalmente, concluímos resumindo o paradigmas, seguido pela introdução do visão multiparadigma.

## MESH NETWORKING: AN EFFECTIVE LOW-COST EXTENSION OF INTERNET

### Um APLICAÇÃO-ORIENTED Paradigm

O design da rede mesh sem fio (WMN) paradigma começou a partir de um conjunto bem definido de cenários de aplicação resumidos em [10]: "Fornecendo uma extensão flexível e de baixo custo de a Internet." Os protótipos WMN iniciais eram impulsionado principalmente pelas iniciativas das comunidades de usuários com voluntários individuais configurando Ponto a ponto de longa distância baseado em IEEE 802-11 links entre suas casas (Fig. 3) para construir um rede comunitária e oferece uma variedade de serviços para seus participantes, variando de compartilhamento de arquivos e voz sobre IP (VoIP) em toda a comunidade para Internet-acesso à rede através da comunidade WMN-to-Gateways de Internet. Hoje em dia, escala metropolitana WMNs são uma realidade em muitas áreas urbanas modernas apoiado por municípios e governo organizações <sup>2</sup> que oferecem uma ampla gama de serviços variando de vigilância de segurança a inteligente serviços de transporte.

### COMPLEXIDADE REDUÇÃO

A partir do cenário de aplicação bem definido nário, foi imediatamente possível reduzir o Complexidades de MANET. Especificamente, o WMN paradigma introduz uma mudança arquitetônica, com respeito às MANETs, ao adotar uma rede de duas camadas arquitetura de trabalho baseada em comunicação multihop cátons. Um backbone sem fio multihop é formado por malha sem fio dedicada (e muitas vezes fixa) roteadores, que executam uma estratégia de roteamento multihop para

Figura 3. Redes mesh da comunidade.

se interconectam, conforme ilustrado em Fig. 4. Alguns dos roteadores mesh atuam como gate-formas, fornecendo à WMN uma conexão direta conexão à Internet e outras com / sem fio redes. Finalmente, para oferecer suporte a dados contínuos serviços de transporte para dispositivos de usuários (também chamados clientes mesh), pontos de acesso mesh estão conectados aos roteadores de malha para oferecer conectividade para malha clientes.

Consequentemente, a topologia muda devido ao mobil-problemas de energia ou de energia não influenciam o tráfego para guarda em WMNs como em MANETs, e o impacto da mobilidade é restrito ao último salto (ou seja, a conexão entre os usuários e os pontos de acesso da malha).

### FOCUSED RESEARCH

Seguindo a organização arquitetônica acima, os principais desafios em WMNs foram subdividido em três áreas principais:

- Explorando os roteadores de malha sem fio para construir uma interconexão de backbone de rede robusta conectar todos os roteadores de malha e, possivelmente, alguns gateways de / para a Internet
- Definir um conjunto de protocolos de roteamento que, por explorando o backbone da rede, pode identificar especificar o (s) melhor (es) caminho (s) para encaminhamento de tráfego dentro da WMN e de / para a Internet
- Apoiar a mobilidade dos usuários entre as malhas pontos de acesso

Todas as áreas têm sido objeto de intensa atividades de pesquisa fornecendo soluções eficazes a esses problemas. Em particular, um grande corpo de pesquisa focada na construção de uma rede sem fio robusta backbone de malha, explorando rádio, multi-canal e capacidade multi-taxa laços, usando tecnologias sem fio heterogêneas e tipos de antenas [11]. Isso significa que um O ambiente WMN é caracterizado por uma rica diversidade de links e caminhos, que fornece uma oportunidade sem precedentes de encontrar caminhos que pode satisfazer os requisitos do aplicativo. Efect-várias soluções de atribuição de canal foram desenvolvido para construir robusto e eficiente backbones de malha sem fio ([12, 13]). Contudo, as características multifacetadas de um WMN complicar o processo de seleção de caminho. Para exemplo, a interferência em WMNs é muito fenômeno complexo, e o processo de roteamento

<sup>2</sup> Veja <http://www.muni-wireless.com>

### ACTUAL RESEARCH

Seguindo a abordagem de desenvolvimento pragmático, atualmente WMN é uma rede bem estabelecida paradigma de desenvolvimento para o qual várias empresas são

Tráfego TCP / IP

**Figura 4.** Arquitetura de duas camadas da rede MESH.

deve estar ciente da interferência existente entre links e fluxos de tráfego para obter vantagens na capacidade multi-canal e multi-rádio bilidades [14]. Além disso, na maioria das aplicações cenários a porção do tráfego de um roteador mesh entrega a outros roteadores na rede (ou seja, tráfego intra-mesh) será mínimo com respeito para o tráfego transportado através de conexões estabelecidas com hosts externos (ou seja, tráfego entre malhas). Como resultado, a maior parte do tráfego WMN é geralmente entre clientes de malha e gateway (s) de malha. Isso implica que o tráfego é agregado no gateways de malha, que podem ter um efeito negativo no desempenho da rede. Por exemplo, dependendo da topologia da rede e no roteamento estratégia, muitos roteadores de malha podem selecionar o mesmo gateway, e os níveis de congestionamento podem construir excessivamente no canal sem fio compartilhado em torno do gateway. Isso também pode levar a utilização desigual dos recursos dos gateways. Como consequência, os protocolos de roteamento devem cuidar levar plenamente em consideração a distribuição de cargas de tráfego [7, “Quality of Service in Mesh Redes”].

#### REALISTIC SIMULATION EXPERIMENTATIONS COM USERS

O desenvolvimento do paradigma WMN tem explorado um uso combinado e sinérgico de simulação e experimentação [15]. O primeiro fase deste paradigma foi dominada pela experimentação de redes comunitárias principais-baseado no uso direto do protocolo MANET cols. O sucesso inicial do paradigma WMN entre os usuários estimulou uma pesquisa aprofundada atividades para desenvolver protocolos sintonizados com o características específicas da WMN. Neste segundo fase, simulação e experimentação foram usado de forma conjunta. Experimentos foram usados para investigar a viabilidade do desenvolvido soluções em ambientes reais, enquanto estudo de simulação Ies foram usados nos primeiros estágios do projeto de protocolo (para comparar e alterar o contraste soluções naturais) e estudar a escalabilidade de as soluções propostas em grandes redes, assim superando as limitações dos testbeds reais em termos de tamanho da rede e diversidade de cenários. Testbeds reais também foram úteis para configurar realismo-modelos de simulação de tique e para validar o simu- resultados de instalação [7, “Trabalho Experimental versus Simulação no estudo de Mobile Ad Hoc Redes”].

oferecendo soluções comerciais, e WMNs são usado para estender a conectividade com a Internet em vários áreas metropolitanas. Do ponto de vista de pesquisa ponto, os aspectos fundamentais dos WMNs têm foram investigados em profundidade, fornecendo soluções para suportar aplicativos legados da Internet ções. No entanto, alguns aspectos de pesquisa deste tecnologia ainda está sob investigação para fazer é mais robusto e capaz de suportar mais serviços avançados que exigem qualidade de serviço (QoS) (por exemplo, aplicativo de streaming de vídeo [16]), e operando de uma forma eficiente em termos de energia maneira [17].

## SENSOR NETWORKS : AMARKET SOLUTION PARA A LARGE RANGE DE PROBLEMAS

### Um APLICAÇÃO-ORIENTED Paradigm

Redes de sensores sem fio (RSSF) representam um classe especial de redes ad hoc multihop que são desenvolvidos para controlar e monitorar uma ampla gama de eventos e fenômenos. Igual a WMNs, WSNs são bem-sucedidos tanto na academia e indústria. RSSFs são implantados para fins específicos cenários de aplicação (por exemplo, agricultura de precisão [18] e monitoramento estrutural [19]). Assim, o design dessas redes depende muito do cenário de aplicação específico e o mentos da aplicação em termos de confiabilidade, oportunidade e assim por diante. Em uma RSSF, uma série de nós sem fio são implantados dentro do monitor área de armazenamento, conforme ilustrado na Fig. 5. Esses os nós podem se comunicar diretamente entre eles- e normalmente seguem o multihop paradigma (através dos outros nós sensores) para transmitir as informações coletadas para uma pia nó. Do nó coletor, eles eventualmente alcançam a Internet.

### COMPLEXIDADE REDUÇÃO

A visão orientada pelo aplicativo e a necessidade de resolver um problema concreto foi refletido de uma forma natural mudança real para uma abordagem mais pragmática. Dentro fato, a pesquisa de RSSF sempre tem em mente o real desenvolvimento. Assim, em vários casos, RSSFs são desenvolvido sem mobilidade ou com o suporte de alguns nós de maior capacidade. Por exemplo, quando a densidade do nó do sensor é baixa e, portanto, a rede de sensores está desconectada, elemento móvel mentos (também referidos como mulas de dados ou mensagem balsas) são usados para coletar os dados detectados e entregue-os na pia [20].

### FOCUSED RESEARCH

Nos últimos 10 anos, RSSFs desencadearam intensive atividades científicas, que produziu um grande quantidade de literatura para abordar a RSSF desafios de pesquisa, principalmente centrados em quatro áreas principais [21]:

- *Cenários de rede de aplicativos* : com o coverage de uma ampla gama de alvos de aplicação e cenários [22]

- *Protocolos de comunicação para RSSF* : médio protocolos de controle de acesso (MAC), roteamento protocols, algoritmos de agrupamento, segurança, rede funciona com nós móveis, e assim por diante [23, 24]
- *Sistema de sensor de hardware e software* : características e requisitos para um nó sensor [25], plataformas de sistema e sistema operacional (SO), testbeds, diagnósticos e depuração Apoio, suporte
- *Serviços de rede e otimização de RSSF* : de avanços de hardware para a compreensão de fenômenos físicos relacionados com o projeto de algoritmos e esquemas para energia

eficiência, sincronização de tempo e relógio, segurança, cobertura e conectividade, segurança e localização, desempenho de rede manees, e assim por diante [26]

REALISTIC SIMULATION EXPERIMENTATION COM USERS

A necessidade de desenvolvimento real produziu um abordagem ortogonal para validação MANET. Embora inicialmente a simulação fosse amplamente usada [27], logo foi substituído por grandes bancos de ensaio implantado em várias universidades, 3 que são abertas para acesso à comunidade de pesquisa. Isso permite validação com nós sensores reais, e o final resultados, que são finalmente fornecidos ao usuário final, são necessariamente coletados em uma implantação real. Uma das maiores implantações de rede de sensores no mundo (com cerca de 5000 sensores conectados para a mesma estação base) é o GreenOrb 4 WSN, que usa vários tipos de sensores (para medição temperatura, umidade, iluminação, carbono dióxido de carbono, etc.) para vigilância florestal.

C ACTUAL RESQUISA

Podemos argumentar que RSSF legado é um excelente área consolidada, e principalmente rede especializada cenários de trabalho ainda são pesquisados. Contudo, algumas questões complementares adicionais ainda são questões de pesquisa, como:

- Problemas relacionados à privacidade, segurança e confiança [28, 29]
- Desempenho da rede [30]
- Desenvolvimento amigável [31]

Além disso, novos paradigmas de RSSF estão surgindo, como:

- RSSFs para coleta de energia
- RSSFs com robôs
- RSSFs subaquáticas
- O uso de telefones celulares como um centro humano ferramenta de detecção tric

A seguir, discutiremos os três primeiros, enquanto o quarto é discutido mais tarde.

**RSSF de coleta de energia:** Em [7, “Wireless Sensor Networks com Coleta de Energia ”], o autores exploram as oportunidades e desafios de RSSFs com base na coleta de energia (EHWSNs), que resultam de dotar nós RSSF com o capacidade de extrair energia do ambiente meio ambiente. A colheita de energia pode explorar diferentes fontes de energia, como a energia solar, vento, vibrações mecânicas, variação de temperatura ções, campos magnéticos e assim por diante. Continuamente fornecer energia e armazená-la para uso futuro, subsistemas de coleta de energia permitem nós RSSF para durar potencialmente para sempre. Este benefício abriu novas direções de investigação como energia eficiente

Figura 5. RSSFs são frequentemente puros, como são MANETs tradicionais, mas eles são aplicáveis catião específico, conforme mostrado nessas figuras: monitoramento de animais selvagens, construção monitoramento e prevenção de incêndios.

armazenamento gy, técnicas ideais para coleta de energia e modelos de previsão de energia para previsíveis fontes de energia (principalmente solar e eólica). Em cima de EHWSNs, os protocolos de alocação de tarefas constituem um área altamente estudada, dado que o objeto de design vários protocolos de comunicação mudaram de conservação de energia a otimização oportunista mização do uso da energia captada.

**RSSFs com robôs:** apesar da abundância de aplicação bem-sucedida em vários domínios, RSSFs ainda estão sujeitos a eventos operacionais que surgem durante a implantação, manutenção ou substituição mento. Sensor sem fio e redes robóticas (WSRNs) confiar essas tarefas a ricos em recursos robôs móveis cuidando de estações com restrições de recursos sensores adicionais [32]. As ações são colaborativas executado pelos agentes robóticos com base em as informações recebidas pelo autônomo implantado unidades de detecção, conforme pesquisado em [7, “Robot-Assisted Redes de sensores sem fio: aplicativos recentes e Desafios Futuros ”]. Graças ao mais recente avanços em sistemas multi-robô, o WSN's as tarefas operacionais podem ser simplificadas e agora são estudado do ponto de vista de intervenção do robô, e distribuição de tarefa e coordenação multi-robô nação são agora os maiores desafios.

**WSN subaquático:** Referência [7, “Underwater Networks com mobilidade limitada: algoritmos, Systems, and Experiments ”] discute como RSSFs pode ser empregado no ambiente subaquático mento, onde falta de soluções viáveis de recarga limita o poder e os nós alavancam seus limites mobilidade para maior funcionalidade e extensão tempo de vida. Neste caso, RSSFs combinam um local com alguma mobilidade semelhante ao de perfiladores de coluna de água. No entanto, para melhorar detectando a qualidade enquanto otimiza a vida útil do sistema, o sistema precisa de inteligência automatizada para permitir cada nó se posicione de maneira ideal, de modo que o sistema geral captura melhor a variável de interest (que geralmente muda ao longo do tempo e espaço). Qualquer solução deve ser robusta para comunicação falhas de comunicação na rede, bem como de energia eficiente. Referência [7, “Advances in Underwater Acoustic Networking ”] complementa o pré-vioso trabalho com um relato abrangente de

3 Veja, por exemplo, Motelab laboratório <http://motelab.eecs.harvard.edu/>, Twist [http://www.tkn.tu-berlin.de/menue/telecommunication\\_networks\\_gro](http://www.tkn.tu-berlin.de/menue/telecommunication_networks_gro) para cima / e Indriya <http://indriya.comp.mus.edu.sg/>

4 <http://www.greenorbs.org/>

Enquanto uma MANET representa um Engenharia abordagem para esconder mobilidade do nó por construindo “estável” caminhos ponta a ponta como na internet, rede oportunista trabalhos não considere o nó móbil- como um problema, mas como uma oportunidade para explorar.

avanços recentes na comunicação acústica subaquática nicações e redes. Tecnologia de transmissão niques, arquiteturas, protocolos e algoritmos para redes subaquáticas estão sendo ativamente pesquisado. Em RSSFs subaquáticas, comp. Acústica as comunicações são uma solução mais válida do que a tradição comunicações de radiofrequência (RF) tradicionais, devido aos requisitos de transmissão deste último em tal ambiente. Ainda assim, devido ao físico propriedades do meio de propagação, underwa- outros sinais acústicos sofrem de transmissão severa perda de sessão, propagação multipercurso variável no tempo, Propagação Doppler, limitada e dependente da distância largura de banda e alto atraso de propagação, geração ligações não confiáveis e limites severos no largura de banda disponível.

NETWORKING OPORTUNÍSTICO : AFIRST STEP IN PEOPLE-CENTRIC NETWORKING

Isso implica uma mudança do legado baseado em pacotes comunicação, em direção à comunicação baseada em mensagem comunicação, trazendo novas oportunidades para projeto de protocolo de aplicativo.

**C OMPLEXIDADE R EDUCAÇÃO**

O networking oportunista se afasta do Inter- abordagem orientada para a rede usada em MANETs, uma vez que não impõe um caminho de ponta a ponta da fonte para o destino. Isso elimina o enorme esforço de ocultando a mobilidade do nó, o que causou alta plexidade em MANETs. Em networking oportunista o paradigma de rede multihop torna-se melhor esforço (sem a necessidade de manter caminhos ou tabelas) e centrada no usuário e mobilidade (humana) torna-se uma oportunidade de comunicação.

**F OCUSED RESQUISA**

Três direções principais caracterizaram o pesquisa em rede oportunista: mod de mobilidade els, protocolos de roteamento e disseminação de dados.

Um APLICAÇÃO O RIENTED P Aradigm

O networking oportunista é um dos mais evoluções interessantes da rede multihop-paradigma ing. Na verdade, enquanto MANET representa uma abordagem de engenharia para ocultar a mobilidade do nó construindo caminhos "estáveis" de ponta a ponta, como em a Internet, as redes oportunistas não mobilidade do nó sider é um problema, mas como uma oportunidade oportunidade de explorar. Em redes oportunistas, o a mobilidade dos nós cria oportunidades de contato entre os nós, que podem ser usados para conectar partes da rede que de outra forma são desconexas conectado. Especificamente, de acordo com este paradigma (também referido como tolerante ao atraso ou desafiado redes), os nós podem carregar fisicamente dados enquanto se movem pela área de rede até que eles entrem em contato com um próximo salto adequado nó (ou seja, até que exista uma oportunidade de encaminhamento). Assim, ao contrário de uma MANET, um nó continua armazenar dados quando não houver um próximo salto bom. Esta implica que, com o paradigma oportunista, um os dados podem ser entregues de uma fonte para um destino, mesmo se um caminho de ponta a ponta entre eles nunca saem, explorando a sequência de gráficos de conectividade gerados pelo movimento dos nós mento [33, 34]. Este é um relativamente jovem paradigma, e a pesquisa de rede oportunista é ainda em andamento. Portanto, pode-se argumentar que é impacto ainda não foi provado. No entanto, dado que podemos considerar a rede veicular ad hoc (VANET) um dos mais avançados e con desenvolvimentos de creta da rede oportunista paradigma de trabalho, podemos afirmar que o paradigma de rede oportunista já tem um papel significativo no campo das redes de computadores.

Além de VANET, outros cenários, moti-vating o uso de rede oportunista, são discutidos em [7, "Aplicações em tolerância a atrasos e Redes Oportunistas "]. Rede oportunista-trabalhar parece muito adequado para comunicações em ambientes generalizados onde o ambiente mento é saturado por dispositivos (com curto alcance tecnologias sem fio) que podem se auto-organizar em um rede para interações locais entre os usuários. Dentro nesses cenários, a rede é geralmente parti-localizada em ilhas desconectadas, que podem ser interconectados explorando a mobilidade dos nós.

Modelos de mobilidade, roteamento e modelo-ção das propriedades da mobilidade humana e crucial para caracterizar as restrições de comunicações oportunistas e design estratégias de encaminhamento práticas e eficazes [35, 36]. Principais elementos da mobilidade humana terização são o *tempo de contato* , a distribuição da duração do contato entre dois dispositivos, e o *tempo de contato* (TIC), a distribuição do tempo entre dois contatos consecutivos entre dispositivos. Em particular, a caracterização ção da distribuição de TIC gerou um grande debate na comunidade científica onde diferentes grupos de pesquisa afirmaram que resultados completamente diferentes, variando de funções de distribuição de cauda - com [37] ou sem [38] um corte exponencial - para um distribuição exponencial [39]. Em [40], os autores mostraram um resultado fundamental que ajuda explicar as diferenças entre as diferentes TIC distribuições observadas na literatura. Sob-reconhecer as propriedades da distribuição de TIC é um questão crítica devido ao fato de que nesta distribuição ação depende da eficácia de várias rotinas protocolos de integração para redes oportunistas. Para exemplo, em [38] os autores mostraram que para um esquema de encaminhamento simples, como o esquema de dois saltos esquema, o atraso esperado para a mensagem para-proteção pode ser infinita, dependendo do propriedades da distribuição das TIC. Referência [7, "Modelos de mobilidade em redes oportunistas"] apresenta estudos de medição recentes sobre mobilidade humana e modelos de mobilidade realistas.

**Roteamento:** protocolos de roteamento oportunistas tem que enfrentar três problemas principais:

- A incerteza da conectividade futura
- As características do ser humano (ou veicular lar) mobilidade
- A heterogeneidade dos recursos do nó e mobilidade

Técnicas de replicação são usadas para lidar com o primeiro obstáculo, enquanto o encaminhamento baseado em utilitário técnicas são usadas para o segundo e terceiro. Conforme indicado em [7, "Roteamento Oportunista"], esquemas de roteamento oportunistas são construídos principalmente em um ou mais dos seguintes mecanismos básicos:

- Mecanismo assistido por mobilidade: Store-and-leve uma mensagem até que haja uma comunicação oportunidade de ção;

- Mecanismo de encaminhamento local: as decisões são feito para trazer a mensagem probabilisticamente mais perto de seu destino.
- Mecanismo de replicação: Propagar múltiplos cópias da mesma mensagem em paralelo, para aumentar a probabilidade de pelo menos um sendo entregue.
- Mecanismo de codificação: codificação de origem e rede técnicas de codificação de trabalho são usadas para reduzir variabilidade de desempenho e melhorar uso de recursos.  
No entanto, devido à grande variedade de cenários e características, nenhum esquema de roteamento é ideal para cada cenário de aplicação.  
**Disseminação de dados:** Isso representa uma con cenário de aplicação de creta em rede oportunista trabalhando em que os nós geralmente desempenham ambas as funções de "editor" e "assinante" ao mesmo Tempo. Diversas estratégias de disseminação - classi-encontrados em seis categorias principais em [7, "Data Disseminação em Redes Oportunistas "]] - têm foi proposto, com base no problema específico alvo e o tipo de solução proposta:
- Estratégias baseadas em popularidade: conduza a seleção ção de itens de conteúdo a serem armazenados em cache com base a popularidade do próprio conteúdo
- Estratégias baseadas em comportamento social: seleção realizado com base na dimensão social dos usuários
- Estratégias de publicação / assinatura: com base na seleção em sobreposições centradas no conteúdo

Figura 6. O networking oportunista é baseado na mobilidade humana.

rede tunística está relacionada com a caracterização ção dos comportamentos sociais. Em [43] há um primeiro tentativa de ligar a similaridade de caráter social istics (homofilia) de humanos com a probabilidade de contatos, conectando assim o oportunista onetworking com uma grande área de pesquisa em humanas ciências. Outra nova área relevante que é emergir de uma rede oportunista é computação oportunista [41]: os serviços pré-enviadas em dispositivos de usuários podem ser oportunisticamente distribuído e combinado de acordo com os usuários



- Estratégias baseadas em otimização global: um global solução de otimização aproximada por um local
- Estratégia baseada em tecnologias heterogêneas gies: seleção realizada combinando o infraestrutura de banda larga sem fio com um rede oportunista de dispositivos de usuário
- Estratégias ponto a ponto (p2p): seleção por formado usando abordagens semelhantes a não-estruturadas sistemas p2p turados.

REALISTIC SIMULATION  
EXPERIMENTATIONS COM USERS

Aprendendo com a experiência da MANET, oportunidades pesquisadores da rede de tiques despenderam muitos esforços para desenvolver simuladores realistas (por exemplo, ONE s ) e bancos de ensaio experimentais [41]. Como humanos normalmente carregar os dispositivos, é a mobilidade humana que gera as oportunidades de comunicação, como ilustrado na Fig. 6. Assim, a rede oportunista experimentos, necessariamente, envolvem usuários reais. Estudar traços de mobilidade humana é o começo apontar para entender as propriedades do ser humano mobilidade, com o objetivo de fornecer uma zação das propriedades temporais de dispositivos / mobilidade humana. Portanto, esses experimentos também são usados para derivar modelos de mobilidade, que são a base para realistas oportunistas simulações de rede.

ACTUAL RESQUISA

Além da atividade em três áreas principais discussed acima, a comunidade de pesquisa é atual- Estou investigando o intercâmbio entre rede oportunista e o personagem social terísticas de pessoas. Na verdade, os dispositivos móveis agem como proxies dos humanos no mundo cibernético e assim, herdam os laços sociais de seus proprietários [42]. Nesse sentido, uma área de pesquisa emergente na oportunidade

interesses e necessidades. Projetos como EU FP7-FIRE SCAMPI ("Plataforma de serviço para social Aware Computação móvel e difusa"), US NSF DoC ("Computação Oportunista Distribuída"), e EIT-ICT Lab MONC (Mobile Opportunistic Networking and Computing) estão abrindo o caminho de pesquisa em computação oportunista.

VEHICULAR NETWORKING

Um APLICAÇÃO O RIENTED P Aradigm

Uma rede ad hoc veicular (VANET) é uma rede rede ad hoc de salto composta por veículos que comunicar-se entre eles, explorando o wireless tecnologias (normalmente) pertencentes ao 802.11 família. Esta é uma especialização de anúncio multi-hop paradigma de rede hoc bem motivado pelo valor socioeconômico do avançado inteligente Sistemas de Transporte (ITS) visando reduzir os congestionamentos de tráfego, o alto número de tráfego acidentes rodoviários, etc. De fato, a VANET pode fornecer transportar uma grande variedade de aplicações, incluindo aplicações de segurança de tráfego (por exemplo, para evitar colisões ance, aviso de obstáculo na estrada, dis- seminários, etc.), informações de trânsito e serviços de infoentretenimento (por exemplo, jogos, multimidia streaming, etc.). Por exemplo, um carro envolvido em um acidente pode explorar a possibilidade de diretamente comunicar-se com outros veículos para informar por veículos da situação perigosa. Uma extensão sive levantamento das aplicações veiculares é apresentado em [44].

COMPLEXIDADE REDUÇÃO

Os sistemas ITS avançados exigem que o veículo para beira da estrada (V2R) e veículo a veículo (V2V) comunicações. Em comunicações V2R um veículo cle normalmente explora wireless com base em infraestrutura tecnologias, como redes celulares, WiMAX e WiFi, para se comunicar com uma base à beira da estrada

5  
[http://www.netlab.tkk.fi/tu  
tkimus / dtm / theone /](http://www.netlab.tkk.fi/tu tkimus / dtm / theone /)

Figura 7. VANET.

estação / ponto de acesso. No entanto, as unidades de beira de estrada não são densos o suficiente para garantir a rede cobertura exigida pelos aplicativos ITS e, portanto, As comunicações V2V são adotadas para estender o conectividade / cobertura de rede e para garantir melhor desempenho da rede. As comunicações V2V são baseadas no Paradigma de rede ad hoc multi-hop “puro” como MANET. Especificamente, de acordo com este paradigma, os veículos na estrada dinamicamente auto-organizar-se em uma VANET, explorando seus interfaces de comunicação sem fio, consulte a Fig. 7. No entanto, o alto nível de mobilidade dos veículos e a possibilidade de cenários de rede esparsos, que ocorrem quando a intensidade do tráfego é baixa, tornar ineficiente o armazenamento e encaminhamento legado paradigma de comunicação usado em MANET e

O campo de pesquisa V2V herdou MANET resultados relacionados a roteamento ad hoc multi-hop / para- protocolos de proteção [45], que foram ajustados e modificado para adaptá-los ao peculiar características do campo veicular [46]. O roteamento tarefa é desafiadora na VANET devido ao alto mobilidade de veículos que estão intermitentemente conectado. No entanto, na VANET, a mobilidade do nós da rede (ou seja, veículos) é restringida por as características da estrada e os outros veículos movendo-se ao longo da estrada. Atenção especial tem foi reservado para o desenvolvimento de otimizado protocolos de roteamento um para todos (em uma região específica) como vários aplicativos desenvolvidos para VANET usar comunicação de difusão (geocasting) serviços [47] para distribuir uma mensagem de um veículo cle a todos os outros veículos (em uma determinada área). Largo- fundição ou geocodificação também são os básicos serviços de comunicação para disseminação de conteúdo em uma VANET, ou seja, a disseminação para outros veículos de um arquivo contendo informações relevantes informações (por exemplo, um mapa da cidade ou informações de infoentretenimento como um arquivo de música mp3). Devido ao condições de conectividade intermitente, a oportunidade paradigma tunístico aplicado a redes veiculares recentemente gerou um grande corpo de literatura principalmente em protocolos de roteamento e disseminação de dados ção em redes veiculares (por exemplo, [48, 49]).

REALISTIC SIMULATION  
EXPERIMENTATIONS COM USERS

Tanto a simulação quanto a experimentação têm um papel principal na concepção e avaliação da soluções desenvolvidas para redes veiculares. No simulação de redes veiculares muita atenção ção tem se dedicado a desenvolver modelos de estradas e da mobilidade de veículos por

empurrar para a adoção do mais flexível, pragmático e robusto, transporte e encaminhamento de loja paradigma adotado pelas redes oportunistas (veja a seção “Rede Oportunista”). Dentro além disso, sempre que possível, comunicação V2V ções exploram as comunicações V2R para tornar seus comunicações mais robustas, reduzindo alguns fraquezas e vulnerabilidades de infra-estrutura pura comunicações sem estrutura.

O alto valor socioeconômico dos veículos aplicativos empurraram o padrão internacional órgãos de ização para desenvolver especificações técnicas a ser adotado pela indústria automobilística. Entre estes vale lembrar o padrão IEEE 1609 família para acesso sem fio em ambiente veicular (WAVE) que foi desenvolvido em o padrão IEEE 802.11p. Normalmente, poder o consumo não é um problema para esta rede, pois as baterias dos veículos são recarregadas continuamente.

F OCUSED R ESQUISA

Exploração de comunicações V2R bem estabelecida tecnologias (WiFi, WiMAX, Zigbee, etc.) operam operando no modo baseado em infraestrutura (por exemplo, consulte “Habilitando Tecnologias e Padrões para Dispositivos Móveis Rede sem fio Multihop ”[7]). Sua adoção ção em redes veiculares requer uma análise cuidadosa ysis de seu desempenho ao operar em alta ambientes dinâmicos onde o tempo de conexão entre o veículo e a unidade de beira de estrada pode ser curtos e / ou vários veículos estão conectados ao mesma unidade de beira de estrada (problema de escalabilidade).

explorando a extensa literatura desenvolvida em o campo dos sistemas de transporte, por exemplo, modelos de como os carros se movem ao longo de uma estrada levando em consideração sideração de suas velocidades, a distância entre eles, sinais de tráfego, o layout da estrada, etc [50].  
Vários simuladores de rede conhecidos como ns-2, ns-3, SWANS, OMNET ++, OPNET, etc., são capazes de tomar como entrada arquivos de rastreamento, gerados por modelos especializados de mobilidade de veículos (por exemplo, Vanet-MobiSim e SUMO), que fornecem realistas comportamentos de mobilidade de veículos. No entanto, em alguns cenários, as interdependências entre os veículos comunicações e seus padrões de mobilidade tornar o problema mais complexo. Por exemplo, quando ocorre um congestionamento / acidente, a comunicação catação entre os veículos influencia sua mobilidade desencadeando uma mudança de estrada e / ou uma velocidade redução. Para este tipo de simulação, o acima abordagem não é adequada e, portanto, o A comunidade VANET está desenvolvendo sim- uladores que são capazes de levar em consideração o interdependências entre a mobilidade dos veículos e suas comunicações. Por exemplo, TraNS (Ambiente de simulação de tráfego e rede) integra ns-2 e SUMO fornecendo feed- costas do simulador de rede (ns-2) para afetam os traços de mobilidade produzidos pelo Simulador de mobilidade SUMO.  
Outro aspecto importante a considerar (para produzir simulações VANET realistas) está relacionado para a simulação do canal wireless entre veículos e de / para unidades de beira de estrada levando para

conta como o sinal de rádio se propaga neste meio Ambiente.  
Uma discussão atualizada e aprofundada sobre Modelos e ferramentas de simulação VANET podem ser encontrado em “Modelos de Mobilidade, Topologia e Simu- em Vanet ”[7]. Os protótipos da VANET têm foi amplamente utilizado para verificar a viabilidade de Soluções VANET e a eficácia de Aplicativos VANET. Por essas razões, vários testbeds foram desenvolvidos em todo o mundo. Entre destes, vale lembrar o projeto CarTel no MIT (que desenvolveu um teste de 27 carros para testar V2V, V2R, monitoramento de superfície de estradas, etc.), o projeto DiselNet em UMass (que é baseado em 35 barramentos que implementam um sistema baseado em DTN paradigma de comunicação), o projeto ShanghaiGrid (que envolve milhares de táxis e ônibus para monitoramento de veículos e tráfego e meio ambiente sensorimento) e o projeto pioneiro FleetNet (envolvendo várias empresas e universidades em Alemanha demonstrará sua plataforma para comunicações do veículo). Uma pesquisa atualizada de As atividades experimentais da VANET podem ser encontradas em “Trabalho experimental em Vanet” [7].

C ACTUAL R ESQUISA

Várias questões interessantes e desafiadoras são ainda a ser abordado no campo VANET; um esp- a atenção social deve ser reservada para desenvolver modelos isticos para caracterizar a mobilidade do Nós VANET [50], e estudar analiticamente o desempenho da tecnologia 802.11 em VANET [51]. A pesquisa atual também é intensiva em dados comunicação. Uma pesquisa é apresentada no capítulo de Awwad, Yi e Stojmenovic em [7]. UMA fsew outros capítulos no mesmo livro que examina o atividades de pesquisa em andamento experimental testbeds e ferramentas de simulação.

T HE P Eople -C entéricos R EVOLUÇÃO

Um APLICAÇÃO -O RIENTED P Aradigm

Na rede multihop móvel, a tecnologia características podem ser naturalmente combinadas com comportamentos das pessoas e eventos da vida diária, permitindo a definição de um primeiro exemplo de rede

Figura 8. Sensores de telefone celular usados para sensorimento participativo.

com as pessoas, não deixando espaço para o sistema tradicional abordagens orientadas para o tempo. Isso gera uma convergência física conforme o celular atua como um proxy do comportamento humano no mundo cibernético. Enquanto as pessoas realmente se movem para o físico dimensão, seus telefones celulares projetam seu movimentos no mundo cibernético.

R EALISTIC S IMULATION E XPERIMENTATIONS COM U SERS

Claramente, avaliação de soluções centradas em pessoas deve ser feito pelos usuários. Mesmo no caso de simu- ção, alguns vestígios humanos reais são necessários.

F OCUSED C ACTUAL R ESQUISA

Conforme discutido abaixo, as principais direções das pessoas redes centradas no ple são:

- Sensor de telefone celular: onde bilhões de os dispositivos / telefones móveis dos usuários são usados como instrumentos de coleta de dados com reconhecimento de localização para observações do mundo real
- Nuvem de telefonia móvel: onde os dispositivos das pessoas são usados para oferecer um serviço de computação em nuvem

H óvel P HONE S Ensing

Na detecção de telefones celulares (também conhecido como *multidão*



paradigma que coloca as pessoas no centro, como o rede é construída com os dispositivos das pessoas. Esta tornou-se cada vez mais verdadeiro e real com o recente surgimento dos smartphones. Na verdade, a principal inovação introduzida pelo celular telefones é que eles se movem e se movem com as pessoas (os proprietários). Por esse motivo, a rede paradigmas baseados nesses dispositivos (por exemplo, móveis sensor de telefone, rede / computação oportunista ou computação em nuvem móvel) estão mudando de um paradigma dispositivo a dispositivo voltado para uma pessoa paradigma da pessoa: a visão centrada nas pessoas [52]. Esta visão, conforme esclarecido a seguir, considera o conhecimento e experiência em MANETs. Quanto a rede oportunista, centrada em torno os dispositivos móveis das pessoas tornam esse paradigma muito orientado a aplicativos, enquanto abre novos desafios de pesquisa relacionados à mobilidade humana.

C OMPLEXIDADE R EDUÇÃO

O paradigma centrado nas pessoas privilegia os principais abordagem para baixo, levando em consideração as pessoas necessidades e restrições primeiro. A rede, em termos de conexões, dados e recursos, construções

sensação ) o mundo físico é sentido sem a implantação de uma rede de sensores: ele cria uma *participação rede de sensores históricos* onde as pessoas tomam uma papel nas fases de decisão do sistema de detecção [53]. Um sistema participativo fornece ferramentas para compartilhar, publicar, pesquisar, interpretar e verificar as informações informações coletadas usando um dispositivo de custódia [54]. Dentro *detecção oportunista*, as atividades de detecção são per-formada pela exploração (oportunista) de todos os dispositivos sensores disponíveis no ambiente sempre que houver uma correspondência com o aplicativo requisitos. Além disso, sensores multimodais propagação no meio ambiente pode ser explorada oportunisticamente para inferir informações precisas sobre o comportamento social dos usuários e o ambiente social ao seu redor. Na verdade, partici-a detecção patória e oportunista oferece uma imprecisão oportunidades denteadas para *detecção urbana abrangente* [55]: para efetivamente *coletar e processar* o digital pegadas geradas por humanos ao interagir com o mundo físico circundante e o social atividades nele. Um dos principais objetivos desses sensores atividades é investigar a cidade híbrida (ou seja, um cidade que opera simultaneamente no cyber / digi-

Figura 9. Nuvem de telefone móvel - os usuários podem obter recursos de computação de outros Comercial.

reinos físicos e físicos) para investigar humanos comportamento e relações socioeconômicas ([56, 57]). Este é um altamente desafiador e inovador objetivo de pesquisa que pode trazer o desenvolvimento de novas aplicações urbanas que beneficiam os cidadãos, planejadores urbanos e formuladores de políticas. Preservando o privacidade dos indivíduos enquanto contribuem com seus dados detectados são um grande desafio para o progresso em direção ao sensoriamento urbano abrangente [58].

H óvel P HONE C ALTO

A *computação em nuvem* ganhou impulso no últimos anos como uma resposta ao grande aumento de solicitações de serviço derivadas de *novos* recursos elevados aplicativos de consumo: os recursos de computação (hardware e software) são entregues como um service pela Internet. Enquanto este novo serviço modelo tem se mostrado muito poderoso, é também associado a um alto custo de energia no acesso aos serviços próprios. Conforme mostrado por vários notáveis estudos na comunidade de smartphones [59, 60], acessar recursos de computação remota requer dispositivos finais para investir uma quantidade significativa de seus recursos energéticos.

Os dispositivos móveis inteligentes estão se tornando cada vez mais e mais capaz e será cada vez mais capaz de oferecem cada vez mais serviços, atendendo de forma eficaz como uma *nuvem móvel*. Reunindo seus recursos e encorajando suas explorações oportunistas por dispositivos com poucos recursos, dispositivos móveis inteligentes podem simplificar a escalabilidade sustentável do Internet do futuro trazendo serviços e recursos mais próximos de onde são necessários,

tarefas intensivas são necessariamente subótimas abordagem. Na extremidade oposta, a computação em nuvem oferece recursos de ponta a um custo não desprezível custo gy. Se paramos de olhar para a comunicação móvel tecnologias de integração simplesmente como um meio de conectar um dispositivo móvel para a infraestrutura e abolir o modelo de serviço consumidor-operador estrito, nós pode começar a ver o verdadeiro potencial de hoje dispositivos móveis e a comunicação adicional oportunidades decorrentes de dispositivos diretos contatos [52]. Isso é claramente centrado em torno usuários: eles desempenham os papéis de consumidor e produtor, às vezes ansioso para compartilhar seus recursos com outras pessoas. Além disso, alguns mais populares recursos são susceptíveis de existir em dispositivos próximos ao usuário, permitindo economia de energia e tempo.

Isso naturalmente leva ao oportunista colocando a visão, onde os serviços podem ser combinados em vários nós, são oferecidos por qualquer nó, e pode ser descarregado para qualquer nó (e não apenas um subconjunto especial de nós de infraestrutura). Desse modo, computação oportunista oferece uma distribuição nuvem móvel, ou seja, um sistema de computação que har-avalia a CPU, memória, energia e detecção recursos de vários nós de heterogêneos recursos que coletivamente formam uma nuvem que é distribuído no espaço e no tempo [52]. Cada nó na nuvem distribuída corresponde a um par encontro, e pode, portanto, fornecer locais úteis informação de contexto, que é algo que um dis-nuven de computação tentadora não seria capaz de dar.

Especificamente, conforme indicado na Fig. 9, dispositivos podem combinar e explorar uns dos outros recursos para aumentar seu poder de computação e superar as limitações de seus próprios recursos [41], sem a pegada de energia de comunicação e extrema centralização da computação em nuvem. Portanto, o modelo de nuvem móvel distribuído oferecido pela computação oportunista pode ser visto como meio de fornecer computação eficiente em energia acesso a dispositivos com recursos limitados.

S ESUMO E C ONCLUSÕES :

T OWARD Uma M ULTI -P Aradigm E RA

Enquanto a MANET estimulou algumas décadas de esforços de pesquisa, não impactou significativamente o mercado de rede sem fio, devido a vários fracassos erros em seu design original e na pesquisa abordagem, conforme amplamente discutido em obras [7, Capítulo 1; 8]). No entanto, as lições aprendidos com a experiência da MANET fornecem a base para uma estratégia de desenvolvimento pragmática que tem sido

reduzindo o prêmio de energia pago por sistemas com restrição de recursos [52].

A importância da computação em nuvem móvel cresce com a proliferação do telefone móvel dispositivos e recursos de computação ubíquos. Em vez de buscar serviços em nuvem de um ponto distante fora do data center, imaginamos que amanhã sistemas embarcados buscarão serviços em nuvem de dispositivos móveis inteligentes em seus arredores [52]. Isso permitirá a exploração da vasta gama de recursos disponíveis nos dispositivos dos usuários e, no ao mesmo tempo, permite uma economia significativa de energia para sistemas embarcados, que não terão que pagar o prêmio de energia necessário para acessar um nuvem. No entanto, há claramente uma compensação: o (exclusivo) execução local de computacionalmente aplicado no desenvolvimento de vários “MANET-born” paradigmas de rede de comunicação - malha, sensor, oportunista, veicular e centrado nas pessoas networking - que são, ou em breve serão, bem-sucedidos e generalizado. Neste artigo, temos extensivamente discutiu esses paradigmas de rede emergentes, mostrando que seu design e implantação podem ser descrito de acordo com os cinco pontos do prag-estratégia de desenvolvimento matemática: orientado para a aplicação desenvolvimento, redução de complexidade, focado pesquisar, modelos de simulação realistas e desenvolver mentação de bancos de teste de rede real.

Para cada paradigma, resumimos o principais recursos, desafios de pesquisa e soluções, e o status atual da implantação. Enquanto malha, sensor, e as redes veiculares já têm um

	Relevância de mercado	Cenários de aplicação	Interesse de pesquisa	Questões de pesquisa aberta
MANET	Decrescente	Nicho (militar e segurança)	Baixo e decrescente	estandardização
WMN	Alto	Cidades inteligentes	Médio mas decrescente	QoS, otimização de desempenho
WSN	Alto	Inteligência ambiental, penetração, monitoramento e controlando	Alto	Desenvolvimento amigável, desempenho, mobilidade, WSRN, under-água e redes de sensores acústicos
OppNet	Médio mas aumentando	Rede social móvel Disseminação de dados, descarregamento	Aumentando	Privacidade, desempenho, abordagens de comunicação, e arquiteturas
VANET	Alto	Segurança rodoviária, eficiência de tráfego, infoentretenimento	Alto	Suporte QoS, transmissão confiável protocolos e padronização
Pessoas-cêntrico	Médio mas aumentando	Cenários de base social, cenários de telefone celular	Aumentando	Privacidade, desempenho, serviço abordagens e arquiteturas

Tabela 1. Resumo dos paradigmas nascidos em MANET.

papel importante no mercado de rede difundido, o networking oportunista e centrado nas pessoas paradigmas estão atraindo um interesse crescente fortemente acoplado com o uso crescente de smartphones, e espera-se que se tornem centrais tral nos próximos anos. A Tabela 1 apresenta uma soma maria do estado atual da pesquisa e tendências de mercado nesses paradigmas e compara eles com MANET.

Pode-se esperar que em um futuro próximo o paradigmas acima serão misturados e / ou integrado com redes baseadas em infraestrutura, gerando assim novos paradigmas de rede, mesclando as propriedades do recurso self- \* do multihop redes ad hoc e a confiabilidade e robustez ness recursos de redes baseadas em infra-estrutura. Os principais exemplos dessa tendência são as células híbridas redes oportunistas, que visam mitigar os problemas de tráfego de dados do celular (descarregando algum tráfego, explorando oportunamente o dispositivos dos usuários) e redes veiculares, onde técnicas de rede oportunistas são exploradas ed para superar as limitações de cobertura da estrada redes secundárias baseadas em infraestrutura. Mais geralmente, podemos imaginar aplicações complexas cenários onde vários paradigmas de rede estão misturados, como o ilustrado em Fig. 10, onde cada paradigma não atua de forma iso ção, mas há compartilhamento entre eles, com benefício mútuo: a era do multiparadigma.

R EFERÊNCIAS

[1] S. Basagni *et al.* , Eds., *Rede móvel ad hoc* , IEEE Press e Wiley, 2004.

[2] J. Chlamtac, M. Conti e J. Liu, “Mobile Ad Hoc Net- trabalhando: Imperativos e Desafios”, *Rede Ad Hoc*

[6] P. Gupta e PR Kumar, “The Capacity of Wireless Networks”, *IEEE Trans. Info. Theory IT* , vol. 46, não. 2, 2000, pp. 388–404.

[7] S. Basagni *et al.* , Eds., *Rede móvel ad hoc - Cutting Edge Directions* , IEEE Press and Wiley, 2013.

[8] M. Conti e S. Giordano, “Multihop Ad Hoc Network- ing: The Theory,” *IEEE Commun. Mag.* Tópico de destaque em Ad Hoc and Sensor Networks, vol. 45, não. 4, abril de 2007, pp. 78–86.

[9] M. Conti e S. Giordano, “Multi-Hop Ad Hoc Network- ing: The Reality,” *IEEE Commun. Mag.* Tópico em destaque sobre Ad Hoc and Sensor Networks, vol. 45, não. 4, abril de 2007, pp. 88–95.

[10] R. Bruno, M. Conti e E. Gregori, “Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks,” *IEEE Commun. Mag.* , Março de 2005, pp. 123–31.

[11] B. Bakhshi, S. Khorsandi e A. Capone, “On-Line Roteamento de QoS conjunto e atribuição de canal em Redes Mesh Sem Fio Multi-Canal, Multi-Rádio”,

Figura 10. A era do multiparadigma.

*J.* , vol. 1, não. 1 ° de janeiro a fevereiro a março de 2003.

[3] S. Giordano e WW Lu, “Challenges in Mobile Ad Rede Hoc”, *IEEE Commun. Mag.* , vol. 39, no. 6, 2001.

[4] S. Giordano. “Mobile Ad Hoc Networks,” *Handbook of Redes sem fio e computação móvel*, Wiley, pp. 325–46.

[5] M. Grossglauser e DNC Tse, “Mobility Aumenta a capacidade de redes sem fio ad hoc”, *IEEE / ACM Trans. Líquido.* , vol. 10, não. 4, 2002, pp. 477–86.

*Comp. Comun.* , vol. 34, edição 11, julho de 2011, pp. 1342–60.

[12] H. Skalli *et al.* , “Estratégias de Atribuição de Canal para Multi-Redes de malha sem fio de rádio: problemas e soluções,” *IEEE Commun. Mag.* , vol. 45, não. 11, 2007, pp. 86–95.

[13] AA Franklin, A. Balachandran e C. Siva Ram Murthy, “Online Reconfiguration of Channel Atribuição em Malha Sem Fio Multi-Canal Multi-Rádio Redes”, *Comp. Comun.* , vol. 35, edição 16, 2012, pp. 2004–13.

Página 12

Nós podemos imaginar  
aplicação complexa  
cenários, onde sete  
rede geral  
paradigmas são misturados  
juntos onde cada  
paradigma não  
agir isoladamente, mas  
há um compartilhamento  
entre eles, com  
benefício mútuo: o  
era multiparadigma.

[14] KR Chowdhury, M. Di Felice e L. Bononi, “XCHARM: A Routing Protocol for Multi-Channel Wire- menos Redes Mesh”, *Comp. Comun.* , vol. 36, edição 14, 2013, pp. 1485–1497.

[15] K. Tan *et al.* , “Comparando Ferramentas de Simulação e Experi- mental Testbeds for Wireless Mesh Networks,” *Pervu- Sive and Mobile Computing* , vol. 7, edição 4, agosto de 2011, pp. 434–48.

[16] R. Bruno, M. Conti e A. Pinizzotto, “Routing Inter- Tráfego líquido em redes de malha heterogênea: análise and Algorithms,” *Performance Evaluation J.* , vol. 68, não. 9, 2011, pp. 841–58.

[17] A. de la Oliva, A. Banchs e P. Serrano, “Throughput e roteamento consciente de energia para rede de malha baseada em 802.11 funciona,” *Comp. Comun.* , vol. 35, edição 12, 2012, pp. 1433–46.

[18] S. Li *et al.* , “NCOME: Practical Land Monitoring in Pre- cision Agriculture with Sensor Networks,” *Comp. Com- mun.* , vol. 36, edição 4, 2013, pp. 459–67.

[19] G. Hackmann *et al.* , “A Holistic Approach to Decentral- Localização de danos estruturais ized using Wireless Sen- sor Networks”, *Comp. Comun.* , vol. 36, edição 1 de 2013, pp. 29–41.

[20] M. Di Francesco, SK Das, G. Anastasi, “Data Collec- ção em redes de sensores sem fio com elementos móveis: A Survey”, *TOSN* , vol. 81, n° 7, 2011.

[21] J. Yick, B. Mukherjee e D. Ghosal, “Wireless Sensor Pesquisa de rede”, *Comp. Líquido.* , 5212, 2008, pp. 2292–330.

[22] T. Arampatzis, J. Lygeros e S. Maesis, “A Survey of Aplicações de sensores sem fio e sensor sem fio Networks,” *IEEE Intelligent Control* , 2005, pp. 719–24.

[23] IF Akyildiz *et al.* , “Wireless Sensor Networks: A Sur- vey,” *IEEE Commun. Mag.* , 2002, vol. 40, pp. 102–14.

[24] C. Konstantopoulos *et al.* , “Edição especial: reativa Wireless Sensor Networks,” *Comp. Comun.* , vol. 36, edição 9 2013, pp. 963–64.

[25] M. Augusto *et al.* , “Pesquisa sobre Rede de Sensor Wireless Dispositivos”, *Proc. ETF03, IEEE* , 2003, vol. 1, pp. 537–44.

[26] A. Munir e A. Gordon-Ross, 2010, “Otimização Approaches in Wireless Sensor Networks,” *Sustainable Wireless Sensor Networks* , Y. Kheng Tan, Ed.

[27] I. Stojmenovic, “Simulations in Wireless Sensor and Ad Redes Hoc: Modelos de Combinação e Avanço, Met- rics and Solutions”, *IEEE Commun. Mag.* , vol. 46, não. 12, dezembro de 2008, pp. 102–07.

[28] N. Li *et al.* , “Preservação de privacidade no sensor sem fio Networks: A State-of-the-Art Survey,” *Ad Hoc Networks - Elsevier* , abril de 2007, pp. 1501–14.

[29] X. Chen, “Sensor Network Security: A Survey”, *IEEE Commun. Surveys & Tutorials* , vol. 112, 2009, pp. 52–73.

[30] D Puccinelli *et al.* , “The Impact of Network Topology sobre o desempenho da coleção”, *Wireless Sensor Networks* , 2011, pp. 17–32.

[31] A. Foerster *et al.* , “FLEXOR: User Friendly Wireless Sen- sor Network Development and Deployment,” *13° IEEE Int’l. Symp. um mundo sem fio, móvel e multimídia Networks WoWMoM’12* , San Francisco, CA, junho de 2012.

[32] J. Chen, H. Frey e X. Li, edição especial: Wireless Sen- sor e Redes de Robôs: Algoritmos e Experimentos, *Comp. Comun.* , vol. 35, edição 9, 2012, pp. Iii – iv.

[33] UG Acer, P. Drineas e AA Abouzeid, “Connect- ivity in Time-Graphs,” *Pervasive and Mobile Comput- ing* , vol. 7, edição 2, 2011, pp. 160–71.

[34] S. Ferretti, “Shaping Opportunistic Networks,” *Comp. Comun.* , vol. 365, 2013, pp. 481–503.

[35] D. Karamshuk *et al.* , “Modelos de Mobilidade Humana para Redes Oportunistas”, *IEEE Commun. Mag.* , vol. 4912, dezembro de 2011, pp. 157–65.

[36] T. Hossmann *et al.* , “Coleta e Análise de Multi- Dados de Rede Dimensional para Rede Oportunista - ing Research”, *Comp. Comun.* , vol. 35, edição 13, 2012, pp. 1613–25.

[37] T. Karagiannis *et al.* , “Lei de potência e exponencial Decay of Intercontact Times entre Mobile Devices,” *IEEE Trans. Mobile Computing* , vol. 9, 2010, pp. 1377–90.

[38] A. Chaintreau *et al.* , “Impacto da Mobilidade Humana em Opportunistic Forwarding Algorithms,” *IEEE Trans. Mobile Computing* , vol. 6, não. 6, junho de 2007, pp. 606–20.

[39] W. Gao *et al.* , “Multicasting in Delay Tolerant Net- funciona: A Social Network Perspective,” *Proc. ACM Mobi- Hoc 2009* .

[40] A. Passarella e M. Conti, “Characterizing Aggregate Tempos entre contatos em oportunidades heterogêneas Networks,” *Proc. IFIP TC6 Networking 2011* , Valência, Espanha, maio de 2011, pp. 301–13.

[41] M. Conti *et al.* , “From Opportunistic Networks to Opportunistic Computing”, *IEEE Commun. Mag.* , Setembro 2010, vol. 489, pp. 126–39.

[42] A. Passarella *et al.* , “Ego Network Models for Future Ambientes de rede social da Internet”, *Comp. Com- mun.* , vol. 3518, 2012, pp. 2201–17.

[43] A. Förster *et al.* , “On Context Awareness and Social Distance in Human Mobility Traces,” *ACM MobiOpp 2012* , Zurique, março de 2012.

[44] E. Hossain *et al.* , “Vehicle Telematics over Heteroge- neous Wireless Networks: A Survey,” *Comp. Comun.* , vol. 33, edição 7, 2010, pp. 775–93.

[45] F. Li e Y. Wang, “Routing in Vehicular Ad Hoc Net- funciona: A Survey,” *IEEE Vehic. Tech. Mag.* , Junho de 2007, pp. 12–22.

[46] H. Hartenstein e KP Laberteaux, “A Tutorial Survey em Redes ad hoc veiculares”, *IEEE Commun. Mag.* , Junho de 2008, pp. 164–71.

[47] N. Wisitpongphan *et al.* , “Transmitir Mitigação de Tempestades Techniques in Vehicular Ad Hoc Networks,” *IEEE Wire- menos Comun.* , vol. 14, não. 6, dezembro de 2007, pp. 84–94.

[48] J. Burgess *et al.* , MaxProp: Roteamento para Baseado em Veículos Disruption-Tolerant Networks,” *Proc. IEEE INFOCOM* , 2006.

[49] S. Panichpapiboon e W. Pattara-Atikom, “A Review de protocolos de disseminação de informações para veiculos Redes Ad Hoc”, *IEEE Commun. Pesquisas e tutoriais* , vol. 14, edição 3, 2012, pp. 784–98.

[50] J. Harri, F. Filali e C. Bonnet, “Mobility Models for Redes veiculares ad hoc: uma pesquisa e taxonomia,” *IEEE Commun. Surveys & Tutorials* , vol. 11, não. 4, 2009, pp. 19–41.

[51] R. Bruno e M. Conti, “Throughput and Fairness Análise de dados de veículo para infraestrutura baseados em 802.11 Transferências”, *Proc. IEEE MASS 2011* , Valência, Espanha, outubro 2011

[52] S. Giordano e D. Puccinelli, “The Human Element as the Key Enabler of Pervasivness,” *Proc. 10° IEEE IFIP Wksp Anual de Rede Ad Hoc do Mediterrâneo. Med- HocNet 2011* , junho de 2011, Itália.

[53] ND Lane *et al.* , “Urban Sensing Systems: Opportunistic ou participativo?”, *Proc. 9° Wksp. Computação Móvel- ing Systems and Applications* , 2008, pp. 11–16.

[54] ND Lane *et al.* , “Urban Sensing: Opportunistic or Participativo”, *Proc. 1° Wksp. Detectando no dia a dia Telefones Celulares em Apoio à Pesquisa Participativa* , Sydney, Austrália, 6 de novembro de 2007.

[55] D. Cuff, MH Hansen e J. Kang, “Urban Sensing: Out of the Woods”, *Commun. ACM* , 513, 2008, pp. 24–33.

[56] E. Miluzzo *et al.* , “Aproveitando a vibração da cidade Usando VibN, um aplicativo de detecção contínua para Smartphones”, *Proc. 1st Int’l. Symp. da Digital Foot- impressões para Social and Community Intelligence* , pp. 11–18.

[57] F. Calabrese *et al.* , “Pervasive Urban Applications,” *Pervasive and Mobile Computing* , vol. 9, edição 5, 2013.

[58] J. Shi *et al.* , “PriSense: Privacy-Preserving Data Aggre- gation in People-Centric Urban Sensing Systems,” *Proc. INFOCOM 2010* , San Diego, CA, março de 2010.

[59] E. Cuervo *et al.* , “MAUI: Fazendo os smartphones durarem Longer with Code Offload,” *MobiSys’10* .

[60] J. Baliga *et al.* , “Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport”, *Proc. IEEE* , janeiro de 2011.

B IOGRAFIAS

M ARCO C ONTI (marco.conti@giit.cnr.it) é um diretor de pesquisa do Conselho Nacional de Pesquisa da Itália. Ele publicou mais de 300 artigos de pesquisa em periódicos e conferências procedimentos e quatro livros relacionados a design, modelagem, e avaliação de desempenho de redes de computadores. Ele recebeu vários prêmios de Melhor Artigo, incluindo no IFIP TC6 Networking 2011 e IEEE WoWMoM 2013. Ele serviu como Presidente Geral e (Co) de Programa para várias conferências, incluindo Networking 2002, IEEE WoWMoM 2005 e 2006, IEEE PerCom 2006 e 2010, ACM MobiHoc 2006, e IEEE MASS 2007.

Silvia Giordano (silvia.giordano@supsi.ch) é Ph.D. a partir de EPFL, é professor da University of Applied Technology of Sul da Suíça (SUPSI), e pesquisador associado em CNR. Ela dirige o Laboratório de Networking. Ela tem published extensivamente nas áreas de QoS, controle de tráfego e redes sem fio e móveis. Ela é editora de vários periódicos, e na direção, organização e comitiva executiva comitês de várias conferências internacionais. Ela é uma ACM Palestrante ilustre e membro do conselho da ACM N2Women.

