

Modelo de Comunicação Endereçada por Interesses

Renato C. Dutra, Cláudio L. Amorim
{rcdutra, amorim}@lcp.coppe.ufrj.br

Laboratório de Computação Paralela/PESC
COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal – 68.511 – Rio de Janeiro – RJ – Brazil ¹

(Relatório Técnico ES-733 (Defesa de Qualificação de Doutorado realizada em 25/03/2009) - LCP/PESC/COPPE/UFRJ). Uma versão completa deste Relatório está disponível em
(*Technical Report ES-733 (D.Sc. Qualifying Examination in 03/25/2009)*) - LCP/PESC/COPPE/UFRJ). A full version of this technical report is available at

<http://www.lcp.coppe.ufrj.br/papers.htm>

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2010

¹Essa pesquisa foi financiada por CNPq, CAPES, FINEP

Resumo

Apresentamos um novo modelo de difusão de informações em redes de comunicação baseado na declaração de interesses de seus usuários. Os declarados interesses de um usuário definem seu prefixo, o qual é utilizado pelo protocolo da rede como cabeçalho das suas mensagens. O modelo usa os prefixos das mensagens como um mecanismo original de endereçamento, encaminhamento de mensagem e agrupamento de usuários com interesses comuns. O modelo é composto basicamente de um método de difusão combinado com uma estrutura de mensagem de tal modo que dispense um elemento centralizador. Uma mensagem no modelo é composta somente por palavras-chave que expressem interesses e o método permite a difusão das mensagens por meio de casamento de interesses entre os prefixos das mensagens e os dos equipamentos da rede por onde elas são propagadas, permitindo formar grupos de interesses espontaneamente.

Abstract

We present a new model of information diffusion in communication networks, based on the declaration of interests of the users. The declared interests of a user define his/her prefix, which the network protocol uses as the header of his/her messages. The model uses the message prefixes as an original mechanism of addressing, message forwarding, and clustering users with common interests. The model is composed basically of a diffusion method combined with a message structure in such a way that it obviates the need of a central element for information diffusion. In the model, a message is composed only of keywords that express interests and a method that allows the dissemination of messages by means of interest matching between the prefixes of the messages with those of the network equipments that propagate them, allowing forming interest groups spontaneously.

Sumário

1	Introdução	5
2	Modelo de Comunicação Endereçada por Interesse	7
3	Categorias de Interesse	8
4	Redes Endereçadas Por Interesses - REPI	8
4.1	Faixas e Canais de Interesses	8
4.2	Instanciando Interesses	9
4.3	Sintonização	10
4.4	Estrutura da Mensagem	12
5	Exemplos Ilustrativos	14
6	A REPI e as Camadas de Rede	15
7	Proposta do Algoritmo Básico do Protocolo WORD para REPI	16
8	Trabalhos Relacionados	18
8.1	Nomenclatura	18
8.2	Projeto PROEM e Difusão Dirigida	24
8.3	Sistemas Publisher/Subscriber	27
8.4	Redes Orientadas a Conteúdo e Sociais	35
8.5	Protocolos de Comunicação IM, IRC e CXTIP	38
8.6	Banco de Dados Distribuído - TinyDB	39
8.7	Patentes	39
	Referências Bibliográficas	41

Lista de Figuras

1	Categorias em eixos cartesianos	9
2	Mensagem contendo Prefixo e Payload	13
3	REPI nas Camadas de Rede	16
4	Grafo Modelo	20
5	Grafo Modelo Troca de Vértices por Mobilidade	21
6	Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Pervasiva	23
7	Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Orientada a Interesses	24
8	Arquitetura do Sistema PROEM. (Fonte: adaptado de [1])	26
9	Elementos do modelo <i>The Information Bus</i>	27
10	Modelo de Comunicação <i>The Information Bus</i>	28
11	Modelo de Comunicação Publisher/Subscriber. (Fonte: adaptado de [2])	29
12	Roteamento Publisher/Subscriber	30
13	Faixas (F_k) e Canais (Ch_m) de Interesse REPI	31
14	Exemplo de Comunicação REPI.	31
15	Modelo de Comunicação MEI implementado em uma REPI	32
16	Difusão de Mensagens REPI	33
17	Problema Passagem Estrangeira	34
18	Problema Histórico do Percurso de uma Mensagem	35
19	REPI Relacionado com os Sistemas Sem Fio - $A \subset (B,C,D,E,F)$; $B \subset (C)$; $E \subset (C)$; $G \in (A,B,C,E,F) \wedge \notin D$	35

1 Introdução

A proliferação de dispositivos móveis pessoais tais como telefones inteligentes, assistentes digitais pessoais e laptops, em conjunto com a crescente disponibilidade de acesso a redes de comunicação sem fio, têm permitido que a rede Internet se torne cada vez mais presente no cotidiano das pessoas. Atualmente, a arquitetura cliente/servidor é a dominante na rede Internet, e as aplicações são desenvolvidas para esta arquitetura, inclusive as de grande popularidade, como comércio eletrônico multimídia, pesquisa de informações, redes sociais, mensagens instantâneas e blogs, que beneficiam diariamente milhões de pessoas em todo o mundo.

Variações da arquitetura cliente/servidor incluem hierarquias descentralizadas com servidores centrais conectados a servidores secundários (*proxy*) que atuam como caches de disco, estrategicamente localizados nas bordas da rede, tais como os implementados por redes de distribuição de conteúdo [3, 4]. No modelo descentralizado, os servidores *proxies* cooperam com o servidor central, armazenando réplicas das informações de modo que possam atender a uma fração significativa dos acessos dos usuários, aliviando o tráfego no *backbone* da rede até o servidor central.

O modelo publisher/subscriber, aplicado a redes cabeadas, segue esta arquitetura cliente/servidor por usar despachantes centralizados [2, 5] ou hierarquias descentralizadas baseadas em *proxies* [6]. Este modelo de comunicação distribuída assíncrona é composto de Publishers (editores) e Subscribers (assinantes) e Dispatchers (despachantes), em que os Publishers divulgam conteúdo para os Subscribers que o assinaram. O despachante é responsável pelo envio dos conteúdos entre os Publishers e Subscribers e pela assinatura dos serviços pelos Subscribers. Versões desse modelo para as redes sem fio móveis [7–11], são adaptações do modelo de redes cabeadas. Por exemplo, o uso de *overlay networks* por meio de *spanning trees* [7, 8, 12], sobrepondo uma rede “cabeada” (observável e controlável) em uma rede móvel sem fio Ad Hoc (*Mobile Wireless Ad Hoc Network* - MANET). Um dos problemas encontrados nesta implementação em MANETs, é o custo de manutenção das *spanning trees*, devido às características dinâmicas de mobilidade e volatilidade da rede móvel. Uma alternativa, é o uso de tabelas *hash* distribuídas, para identificação dos nós para manutenção de *spanning trees* dinâmicas [3, 4, 13–15].

Outra tendência importante, é utilizar identificação única em redes sem fio, especificamente para solucionar problemas de roteamento *end-to-end* [16, 17]. Entretanto, identificação única e roteamento são mais facilmente utilizadas em redes cabeadas do que em redes sem fio móveis.

Por outro lado, a disponibilidade de banda larga cada vez maior para o usuário final, contribui para a crescente aplicabilidade de modelos de comunicação distribuída, representados, particularmente, na arquitetura *Peer-to-Peer* (P2P), onde os usuários cooperam entre si para também prover conteúdos entre eles, e assim reduzir a carga de comunicação no servidor central. Esta arquitetura

é utilizada em várias aplicações (p.e.: YouTube [18], Limewire [19], BitTorrent [20], Kazaa [21]).

Ainda, MANETs são interpretadas como redes P2P [22], com dezenas ou milhares de nós, possuindo características de mobilidade, multihopping, auto-organização, economia de energia e escalabilidade. Neste caso, a estratégia para solucionar os problemas dinâmicos da rede MANET, foi utilizar soluções de redes cabeadas, no caso a arquitetura P2P.

Embora o uso dessas soluções de redes cabeadas aplicadas a redes móveis sejam promissoras, as características distintas de MANETs têm estimulado a pesquisa e desenvolvimento de novos mecanismos e técnicas que explorem efetivamente estas características, evitando adaptações diretas de soluções de redes cabeadas.

Nesses casos, geralmente, não há a preocupação de o escopo das aplicações serem o mesmo de redes cabeadas, permitindo, inclusive, o desenvolvimento de novas e originais aplicações.

De fato, alguns trabalhos compartilham desta ideia. Kortuem et al. [1], propõem a colaboração baseada no uso do perfil do usuário, a troca de informação do perfil e a possibilidade de pessoas desconhecidas se encontrarem. Porém, os encontros são físicos, o usuário é identificado e precisa se locomover para se encontrar, não existe o uso do multihop e a mensagem é convencional, de acordo com o protocolo utilizado (por exemplo, TCP/IP). Rantanen et al. [23], propõem o encaminhamento de mensagens no contexto móvel, porém os equipamentos são identificados, as mensagens são convencionais e GPS é utilizado para localização. Em Borcea et al. [24], existe o conceito da rede ser orientada ao usuário, porém é um experimento voltado para o reconhecimento de padrões em redes sociais, utilizando mecanismos convencionais. Em Popescu et al. [25], é proposto modelar a comunicação de interesses em um vetor multidimensional, porém o trabalho se detém na análise matemática do problema ontológico. Em Valduriez et al. [26], é discutido o problema de ontologia inerente à WEB semântica, e proposto um mapeamento dos termos.

Diferentemente, nós propomos um novo modelo de comunicação endereçada por interesses (MEI). Este modelo pertence ao modelo de mensagens assíncronas, do qual o Pub/Sub também faz parte, e se diferencia dos outros pela mensagem não utilizar endereçamento origem-destino, mas somente palavras, termos (em um caso mais geral, sequência de caracteres), que representem interesses dos usuários.

Este modelo foi implementado e avaliado em uma rede ad hoc, por meio de uma Rede Endereçada Por Interesses (REPI). Um novo protocolo de comunicação, chamado WORD, foi desenvolvido para dar suporte à rede REPI nas redes ad hoc. O modelo MEI não necessita que os nós sejam estáveis ou identificados, portanto, as características intrínsecas às redes ad hoc, tais como mobilidade e volatilidade, são mantidas.

Uma aplicação prática da REPI, é sua utilização em um ambiente de calamidade pública na

ocorrência de um desastre natural (por exemplo, um deslizamento de terra). Neste ambiente, as redes de telefonia fixa e celular estão inoperantes e a comunicação entre as pessoas não pode ser feita por estes meios convencionais. Utilizando os celulares, a REPI pode ser formada rapidamente, comunicando por multihop cada um dos celulares e promovendo a comunicação entre as equipes de resgate e os sobreviventes. Cada equipe pode definir um canal de interesse: Bombeiros, Médicos, Defesa Civil, Voluntários; e cada um destes canais pode ter subcanais de comunicação por região, localmente direcionando os esforços para uma região mais necessária. Ainda, os celulares podem servir como localizadores das vítimas.

Uma REPI possui três propriedades distintas: a primeira é a rede ser endereçada por termos, ou seja, a estrutura da mensagem é composta apenas de termos, sem o uso de outras formas ou campos de identificação; a segunda propriedade é a rede se formar somente quando uma entidade² envia mensagens através de uma ação pró-ativa, ou seja, a rede se materializa para uma entidade quando ela envia uma mensagem; a terceira propriedade é a ausência de endereçamento convencional *end-to-end* permitindo à rede ser volátil, e independente de roteamento clássico, para a difusão das mensagens.

É importante observar os potenciais benefícios trazidos pelo modelo de comunicação distribuída que aplicações REPI representam. Primeiro, a possibilidade de obter instantaneamente informação pela sintonia de um determinado interesse. Segundo, as necessidades de interesse de uma entidade passam a ser compartilhados por outras entidades. É ela quem decide sobre por onde a informação trafegará (não é um equipamento quem decide a rota), portanto, permite melhor qualidade de interação entre as entidades. Terceiro, a localidade da rede, ou seja, a formação de grupos locais criando oportunidades de aproximação entre indivíduos de uma comunidade, e com isso permitindo a participação deles nas soluções de questões sociais, econômicas, ambientais e de segurança pública.

O restante do texto está organizado da seguinte forma. No Capítulo 2, apresentamos o novo modelo MEI e descrevemos a implementação REPI do modelo proposto baseadas em contexto e redes sociais. No Capítulo 8, o modelo é situado no estado da arte, por meio dos trabalhos relacionados.

2 Modelo de Comunicação Endereçada por Interesse

O Modelo de Comunicação Endereçada por Interesse - MEI, se enquadra no modelo de fila de mensagens (*Message Queue*) assíncrono, em que a durabilidade da mensagem é nula, ou seja, não existe armazenamento da mensagem. MEI é completamente distribuído e utiliza Interesses para a comunicação das mensagens, permitindo aos nós trocarem informações entre si diretamente ou

²No decorrer do texto, entidade é utilizado como um usuário ou um equipamento, de acordo com o contexto

por multihop utilizando as características intrínsecas da rede sem fio.

A definição de Interesse nesse modelo é qualquer termo (sequência de caracteres), que tenha um significado para o usuário. O uso de interesse como paradigma de comunicação, faz com que todas as mensagens encaminhadas sejam mensagens onde os interesses são declarados no cabeçalho, diferindo das abordagens convencionais, nas quais o cabeçalho define endereços numéricos do destino. Esta característica permite que o foco da informação seja o usuário e não o equipamento em redes convencionais. Normalmente, a mensagem é composta por informações para a rede, que formam o cabeçalho, e informações para o usuário que formam o *payload*. No caso do modelo proposto, toda a mensagem, cabeçalho e *payload*, são interesses do usuário e portanto são originados dele e o tem como destino. Assim, os Interesses são os únicos componentes da mensagem, e são definidos pelo usuário.

3 Categorias de Interesse

Os interesses típicos de uma pessoa podem ser genericamente categorizados em pessoal, familiar, profissional, social, comercial, econômico, cultural, etc (como pode ser visto no Orkut [27], por exemplo). Os interesses típicos de uma organização podem ser obtidos, por exemplo, do portal da empresa na Internet. Assim, diferentes ambientes podem ter diferentes interesses. Em uma situação de calamidade pública causada por desastres naturais (por exemplo, em deslizamentos de terra), onde as condições são adversas e as comunicações tradicionais, fixas e celulares, estão inoperantes, categorias como Bombeiros, Médicos, Defesa Civil e Voluntários serão canais de comunicação, mesmo a localização das vítimas pode ser um canal de Socorro. Em um outro exemplo, um ambiente Hospital, pode-se obter identificação (pacientes ou corpo médico), especialidades, emergências, convênios. Em ambientes comerciais, uma Loja Virtual com categorias identificação, seções, produtos, promoções e procedimento de compra são mais pertinentes, enquanto que em um Restaurante, identificação, especialidades, cardápios, preços, promoções e cartões de crédito são mais apropriados. Na Figura 1 propôs-se eixos cartesianos para melhor representar as categorias, definidas como Faixas, e os valores nos eixos, definidos como Canais.

4 Redes Endereçadas Por Interesses - REPI

4.1 Faixas e Canais de Interesses

Por praticidade, as entidades definem interesses utilizando predicados e agrupando-os em categorias. Entretanto, cada aplicação poderá definir diferentes categorias e predicados. Para tornar o modelo independente da aplicação, foram criadas as Faixas e Canais de interesses. As Faixas de interesse são as categorias, por exemplo, Pessoal, Social e Profissional. Os Canais de interesse

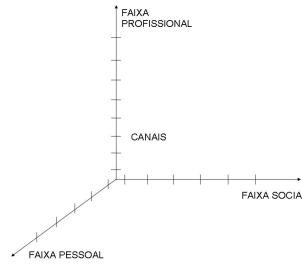


Figura 1: Categorias em eixos cartesianos

são os vários termos, ou sequência de caracteres definidas pelo usuário, que identifiquem os interesses dele na rede. Desse modo, uma aplicação poderá definir independentemente as categorias e predicados apropriados e mapeá-los de maneira direta em Faixas e Canais de interesses. Essa analogia com faixas e canais encontra correspondência no rádio, em que o usuário escolhe a faixa de frequências (AM, FM, OM, etc...) e o canal (uma frequência específica) que deseja ouvir. No modelo MEI, é como se fosse possível “ouvir” (sintonizar) vários canais de rádio ao mesmo tempo, e as várias frequências corresponderiam a vários assuntos em um dado momento. Prosseguindo com a analogia, foi criada a figura do Sintonizador, que vem a ser o responsável pela sintonia dos interesses de desejo do usuário com os interesses de outros usuários que existam na rede.

Por outro lado, cada entidade utiliza o mapeamento da aplicação para armazenar no seu próprio dispositivo os seus interesses de acordo com as categorias estabelecidas pela aplicação que a associarão a faixas de interesses.

É importante observar que os interesses das entidades podem variar dependendo do lugar, do momento e das circunstâncias. Assim, o Sintonizador permite que uma entidade possa alterar, quando desejar, as faixas e canais de interesses ativas da aplicação.

4.2 Instanciando Interesses

Devido às inúmeras possibilidades de escolha de interesses que uma aplicação possa oferecer, é necessário limitar a explosão destes interesses na rede. Assim, cada entidade armazena um prefixo em um dispositivo de comunicação próprio. A figura do Prefixo encontra analogia no sistema de rádio, como o prefixo de radioamador que identifica o usuário no sistema, inclusive, essa é uma característica utilizada na REPI, a possibilidade de identificação do usuário por meio do seu Prefixo.

O Prefixo é organizado como uma coleção de Faixas, cada uma com diversos interesses apropriados a cada ambiente. Utilizando a notação lógica, os interesses podem ser identificados por predicados e valores. Assim, uma tupla foi definida para formalizar o Prefixo de interesses, for-

mado pelo Nome do Interesse e pelo Atributo deste Interesse: o Predicado e o Valor do Interesse (Equação 1). Essa tupla é encaminhada pela REPI para os outros dispositivos.

$$\text{Prefixo}(\text{Interesse}, \text{Predicado}, \text{Valor}) = \text{Prefixo}(\text{carro}, \text{vermelho}, 50) \quad (1)$$

Por exemplo, o interesse “profissional” pode ser descrito pelos predicados nome da empresa, área de atuação, cargo, tempo na empresa, etc. O interesse “Comercial” de uma pessoa poderá incluir predicados que identifiquem produtos que o usuário deseja comprar; já o interesse “Saúde” poderá incluir predicados que definam os cuidados de saúde próprios. Para uma empresa, os interesses servirão para descrever o seu negócio, por exemplo, utilizar faixas de interesse, predicados e valores para definir os produtos. Cada aplicação poderá definir diversas tuplas, cada uma formada por interesse/predicado/valor, que juntas descrevam o perfil de interesses sobre o qual a aplicação irá operar, inclusive podendo utilizar ontologia para criar prefixos, como utilizado em *Web Ontology Language* (OWL) ou em *The Friend Of A Friend* (FOAF). Vários trabalhos referem-se a este problema, inclusive aplicando-o em sistemas móveis pervasivos [28]. Um prefixo poderá ser armazenado manualmente ou pela Internet, por uma rede de celulares ou por algum outro sistema.

4.3 Sintonização

A sintonização permite que os interesses selecionados pela entidade sejam formatados em prefixos e disseminados. Um prefixo é gerado por meio da ativação e desativação de interesses e predicados dentre os que compõem os canais da entidade.

No caso da REPI uma mensagem de interesse a ser disseminada contém basicamente um prefixo e um contador de saltos da mensagem, chamado *Hop-To-Live* - HTL, sendo transmitida quando o usuário desejar alguma informação da rede. A função do prefixo é caracterizar a mensagem enquanto a função do HTL é limitar a área de atuação da REPI, caso necessário. É importante ressaltar que as conexões da rede com os vizinhos só existem quando o usuário enviar uma mensagem, diferentemente das redes atuais que mantêm conexões de controle com os vizinhos, mesmo que os usuários não estejam enviando mensagens. Neste caso, os vizinhos recebem e retransmitem as mensagens de acordo com a política de encaminhamento estabelecida, e, neste momento, tem-se uma rede (o foco mudou do dispositivo para o usuário). É necessário examinar por meio dos resultados da simulação e do experimento se essa estratégia consome menos energia em relação às outras estratégias, aumentando o tempo de vida útil do equipamento, gerando menor tráfego de mensagens e diminuindo o número de colisões.

No envio ou encaminhamento da mensagem, os vizinhos podem armazenar os prefixos que passaram e guardá-los em uma tabela de prefixos para cada mensagem que tenha recebido, mesmo

que não tenha interesses em comum (a mensagem que não tenha interesse em comum poderá ser descartada, de acordo com a política de encaminhamento). Essa afirmação implica em três esclarecimentos:

1. manter a tabela, ou seja, atualizá-la, não é necessário, basta armazenar a tabela com informação mínima da rede, pois seu objetivo é oferecer alguma informação da rede naquele momento para um novo vizinho recém-chegado de forma rápida. Atualizar essa tabela para toda a rede, envolveria a criação de uma mensagem de controle, acarretando em um custo maior para a rede, devido ao aumento do tráfego e à falta de informação do número de nós total da rede, que varia dinamicamente, pela premissa de que a rede é volátil;
2. uma entidade pode ter enviado vários prefixos, por seus interesses serem vários e mutáveis, portanto essa tabela não garante que o número de prefixos é igual ao número de nós na rede;
3. a entidade pode ter recebido mensagens que não coincidem com seus interesses, porém, isto não a impede de armazenar as mensagens, dependendo da política de encaminhamento e da interface de comunicação das camadas inferiores com a camada aplicação.

Caso seja útil conhecer a rede ou o número de nós/pessoas que estão naquele momento na rede, basta que a identificação do usuário ou do equipamento seja incluída no prefixo, permitindo que a tabela seja mantida, com a informação de quais interesses cada usuário deseja. Existem problemas nessa abordagem devido à perda da “invisibilidade” do equipamento, embora a anonimidade do usuário possa permanecer, e devido à volatilidade da rede que torna a informação da tabela dinâmica no tempo, exigindo atualizações em curtos períodos. Estas questões dependerão da aplicação e da dimensão da rede

Assim, existem dois casos em que a mensagem pode ser descartada: quando não existem interesses coincidentes entre os prefixos, dependendo da política de encaminhamento; e quando o equipamento saiu da rede, dependendo do movimento do usuário ou da queda de energia do equipamento.

Baseado nas argumentações anteriores, pode-se distinguir quatro funcionalidades de comunicação na REPI: Formação da rede, Endereçamento, Interação e Atualização da Tabela de Prefixos.

- Formação da Rede - ocorre quando uma entidade envia alguma mensagem. Neste caso, a mensagem é encaminhada de acordo com alguma política de encaminhamento. Não existe manutenção da rede, pois não existem mensagens de controle.
- Endereçamento - ocorre quando uma entidade envia uma mensagem com Interesse específico. Um mecanismo para permitir este endereçamento é criar um termo conhecido apenas pela

origem e destino (uma sistema de chave pública ou privada pode ser utilizada); Este termo é incluído no prefixo como um interesse, e a mensagem será encaminhada pela rede, dependendo da política de encaminhamento, e quando a mensagem chegar ao destino encontrará coincidência neste termo. Em princípio, não existe sigilo, todas as entidades que encaminharam a mensagem puderam ver a mensagem, e não foram destino da mensagem por um específico campo no prefixo que permitirá à aplicação mostrar com destaque essa mensagem em detrimento de outras. A menos que a aplicação crie alguma assinatura, por exemplo, não há garantia de entrega, portanto essa mensagem pode não chegar ao(s) destino(s) nem a origem saber que não houve entrega.;

- Interação - ocorre quando uma entidade deseja enviar mensagem para várias entidades. É um caso mais geral do endereçamento e o mais frequente na REPI, em que os interesses coincidem e a mensagem apresentada ao usuário pela aplicação é também encaminhada;
- Atualização da Tabela de Prefixos - um dispositivo recém-chegado, ao enviar seu prefixo, poderá solicitar a Tabela de Prefixos Individual (TPI) de seus vizinhos para atualizar a sua.

4.4 Estrutura da Mensagem

A mensagem da REPI foi construída com cabeçalho (Prefixo) e “payload”, como a maioria das mensagens encontradas em protocolos. Porém, diferentemente destas, o prefixo utiliza somente termos (ao invés de um cabeçalho numérico), sendo dividido em duas partes: parte B - em que os campos seguem a distribuição Normal, chamada de Vetor de Variáveis Normais que segue a Distribuição Normal Multivariada e a parte Y - em que os campos seguem a distribuição Zipf, chamada de Vetor de Variáveis Zipf³ (a propriedade inerente à distribuição Zipf foi estendida para um texto com palavras aleatórias em [29]). Teoricamente, a parte B, com distribuição Normal Multivariada, permitirá que ocorra formação de grupos e o encaminhamento da mensagem, enquanto a parte Y, com distribuição Zipf, permitirá, no limite, a identificação de um usuário na rede, devido à probabilidade de ocorrência de termos pouco usados ser pequena. Assim, o prefixo foi projetado contendo informações que seguem a distribuição Normal, para encaminhamento, e informações que seguem a distribuição Zipf (Figura 2), para identificação dos interesse e do usuário. Esta implementação da REPI utiliza somente a parte com distribuição Normal Multivariada para o encaminhamento,

³A lei Zipf, que recebe o nome do linguista que a descobriu em 1932, George Kingsley Zipf, se caracteriza pela frequência de qualquer palavra ser inversamente proporcional ao seu *Rank* na tabela de frequências, seguindo uma distribuição Zipfiana, uma distribuição da família das distribuições de probabilidade discreta *Power Law*. Na Equação 2, r é o *Rank* de uma palavra, $P(r)$ é a frequência da palavra de *Rank* r , C é uma constante de valor $C \approx 0.1$ e α é uma constante de valor $\alpha \approx 1$.

$$P(r) = \frac{C}{r^\alpha} \quad (2)$$

Ou seja, um texto em língua inglesa, por exemplo, contém poucas palavras usadas muitas vezes e muitas palavras usadas raramente [29]

porém o modelo MEI não se limita a esta implementação, permitindo que todo o prefixo seja usado para encaminhamento dependendo da função de casamento utilizada.

Esta implementação de estrutura de mensagem deve ser investigada quanto à sua funcionalidade e com esta finalidade serão realizadas e experimentos para avaliar a ocorrência de formação de grupos, endereçamento e interação entre os nós.

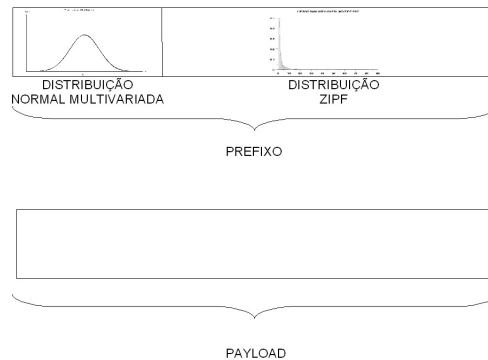


Figura 2: Mensagem contendo Prefixo e Payload

Com este objetivo, campos do prefixo são fixos e escolhidos pelo usuário (utilizando uma aplicação), de uma tabela com informações biométricas, que seguem a distribuição Normal, como cor do cabelo, altura, peso, etc. Essas informações são classes, ou seja, a aplicação poderá apenas escolher instâncias dessas classes, definidas no modelo. Outros campos do prefixo são variáveis, com inserção de qualquer termo pelo usuário, com várias possibilidades. É suposto que a escolha destes termos siga uma distribuição Zipf. Por exemplo, suponha que os usuários da rede se comportem na escolha destes termos como escolhem páginas na Internet ou filmes em uma locadora de Vídeo [30]. Estas escolhas seguem a distribuição Zipf [31]. Portanto, as informações escritas nos campos do prefixo pelo usuário poderão seguir a distribuição Zipf.

Assim, a política de encaminhamento poderá utilizar as duas partes do prefixo diferentemente. O Vetor de Variáveis Normais, que segue a distribuição Normal Multivariada, permitirá a **Formação da Rede**, criando caminhos por onde a mensagem possa ser encaminhada, e a **Interação** entre os usuários, enquanto o Vetor de Variáveis Zipf, que segue a distribuição Zipf, permitirá que poucos usuários tenham o prefixo exatamente igual, gerando o **Endereçamento** da mensagem.

O número de campos no prefixo permite que a rede se conecte completamente ou não. Por exemplo, utilizar somente dois campos no prefixo que sejam binários permitirá uma rede em que todos os nós terão os mesmos interesses. Por outro lado, utilizar um prefixo complexo, com vários campos, poderá impedir que dois nós tenham mesmo interesse. O projeto do prefixo de forma a obter as melhores combinações de probabilidades é uma área de pesquisa aberta.

5 Exemplos Ilustrativos

Existe uma variedade de ambientes que permitem a formação de faixas, canais e prefixos. Suponha uma aplicação onde um usuário queira sintonizar as condições de tráfego de uma via expressa (por exemplo, Linha Vermelha, Linha Amarela, Avenida Brasil para quem sai da UFRJ). O usuário possui um equipamento sem fio com uma interface de comunicação e um protocolo (WiFi, ZigBee, Bluetooth, GPRS...) e uma aplicação baseada no modelo MEI instalada. O usuário seleciona a Faixa “Profissional” e, nessa faixa, o Canal “UFRJ” e o *prefixo(Noticia, Trafego, Condiçao)* pré-programado (utilizando um dicionário de palavras). Após alguns instantes, o usuário poderá consultar o dispositivo que já terá montado uma Tabela TPI, com todos os prefixos recebidos dos dispositivos que responderam com a referida tupla. Note que, os dispositivos remotos dos outros usuários com o mesmo interesse, irão também incluir o prefixo recebido do usuário nas suas TPIs. Uma vez incluído no grupo, o referido usuário poderá trocar mais informações sobre as condições de tráfego na referida via com seus participantes, incluindo serviços de tráfego na cidade. Também, uma entidade de serviço de trânsito poderá prestar serviços para outros usuários com interesses em outras vias, sintonizando outros canais de interesse com outros atributos tais como Avenida Brasil, Avenida Presidente Vargas, Avenida Perimetral, etc.

Essa situação permite avaliar a agilidade da do modelo MEI frente aos modelos existentes. Neste exemplo, percebe-se que as mensagens se propagam pela via expressa de usuário a usuário, até chegar ao ponto gerador de congestionamento, e, caso um usuário neste ponto seja colaborativo, enviará uma mensagem explicando porque está engarrafado e onde está localizado o fator gerador. Utilizar bonificação nestes casos é fundamental para que o sistema funcione. Nesta situação a volatilidade e a mobilidade não são obstáculos para o funcionamento do modelo. Um caso real que pode ser comparado com a proposta do modelo MEI foi o uso de uma Rádio FM, feito por um radialista, durante uma inundação no Rio de Janeiro, em Janeiro de 2008. A rádio FM pedia às pessoas com celulares que enviassem informações sobre o estado das ruas em que se encontravam e as repassava ao vivo. Normalmente eles utilizariam um helicóptero para obter essas informações, porém, devido ao clima, estes não podiam decolar. Este acontecimento é próximo do modelo MEI, porém, as pessoas precisavam estar sintonizados naquela rádio FM específica para que soubessem das informações. No caso do MEI essa informação chegaria ao equipamento sem fio pela possibilidade de sintonia de vários canais ao mesmo tempo.

Em outro ambiente, assuma que o usuário vá a um *shopping center* comprar um *smarthphone*. Nesse caso, o usuário ativará a Faixa “Pessoal”, o Canal “Compra” *prefixo(telefonia, smarthphone, bluecode)*. As lojas que dispuserem de *smarthphones bluecode* formarão com o usuário, um grupo de interesse que poderá interagir trocando informações sobre

modelos, preços, etc.

6 A REPI e as Camadas de Rede

Quanto à REPI, para tornar mais clara sua implementação, é ilustrativo verificar quais são as modificações nas camadas de rede de acordo com o modelo OSI/ISO:

- camada 2 (Enlace) - sendo esta camada responsável pelo acesso ao meio, como o modelo altera o acesso por meio da seleção de interesses, seria necessário que o acesso ao meio ocorresse por interesse, por exemplo, instanciando interesses em cada canal, conseqüentemente, conectando os equipamentos por coincidência de interesses.
- camada 3 (Rede) - o roteamento clássico de endereçamento não existe neste modelo, apenas o encaminhamento de mensagens, que pode ser implementado, por exemplo, inserindo uma filtragem de casamento de interesses (*Matching Filtering*).
- camada 4 (Transporte) - é necessário desenvolver um *middleware*, uma interface entre a camada de transporte e as camadas superiores, permitindo ao programador o desenvolvimento de aplicações de acordo com o modelo.

Essas alterações nas camadas de rede são apresentadas em um diagrama na Figura 3. Nessa Figura observa-se que é proposto o protocolo WORD, o *middleware* n-Tuple (nT), e a aplicação REPI. O protocolo WORD, englobando a camada 2 e 3 do modelo OSI, é responsável pela interface do *middleware* nT, que engloba as camadas 4 e 5, com a camada física. Por sua vez, uma aplicação baseada na REPI, que engloba as camadas 6 e 7, é responsável pela interface do usuário com o *middleware*.

Devido à especificação do *middleware* nT e ao desenvolvimento da aplicação REPI exigirem um tempo considerável, eles não farão parte da pesquisa. Assim como, devido à necessidade de alteração do transceptor de radiofrequência dos equipamentos atuais, considerou-se que a camada 2 será controlada pelo protocolo nativo do equipamento, e, portanto, o trabalho se deterá na camada 3, encaminhamento das mensagens. Este encaminhamento e suas implicações serão examinados por meio de resultados alcançados por um simulador desenvolvido para este fim.

É possível que seja necessário algum mecanismo de Reputação para que o usuário participe da rede, permitindo que seu equipamento encaminhe mensagens. Em um primeiro momento, o usuário talvez queira participar até de todos os interesses, porém, em algum momento, é suposto que ele não queira mais participar e inclusive desligue seu equipamento. Embora, a rede **cooperativa** seja uma característica intrínseca de redes ad hoc, a REPI somente possui esta característica se o usuário

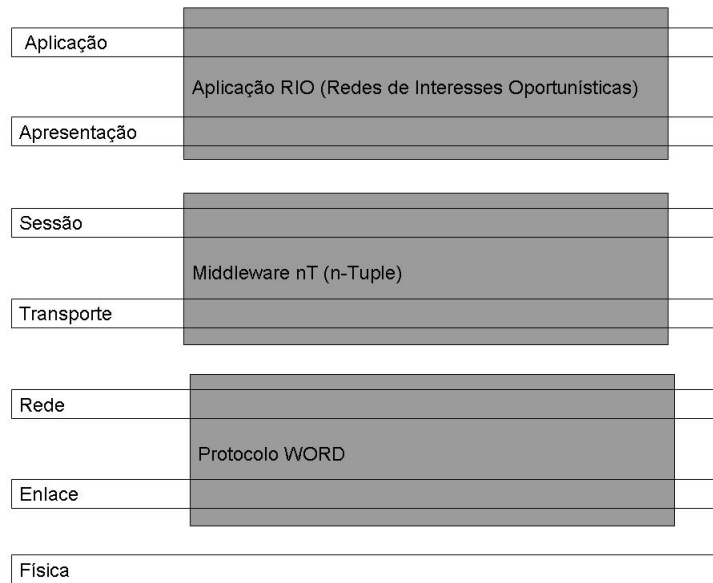


Figura 3: REPI nas Camadas de Rede

permitir, devido ao foco da rede ser o usuário e não o equipamento. Assim, esta participação (**colaboração**) do usuário é necessária para que a REPI seja uma rede cooperativa.

7 Proposta do Algoritmo Básico do Protocolo WORD para REPI

A primeira proposta de algoritmo de comunicação e encaminhamento do protocolo WORD utiliza a filtragem por termos baseada em conteúdo para encaminhamento. Cada mensagem é composta apenas de cabeçalho (chamado Prefixo), e a informação, transportada no próprio cabeçalho, devido ao serviço fornecer formação de grupos virtuais por meio da aglomeração dos conteúdos dos cabeçalhos.

Foram desenvolvidos dois algoritmos, implementados no simulador, para encaminhamento de mensagens, representados pelos Algoritmos 1 e 2, onde HLL é o número de saltos da mensagem (Hop-To-Live), P_i é o prefixo do nó i , P_j é o prefixo do nó j e H_i é o número máximo de saltos que i atribui a HLL .

O primeiro algoritmo “Algoritmo Sem Memória” é uma abordagem ingênua de encaminhamento de mensagem em que os nós de encaminhamento não tem memória, implicando em que os únicos fatores de decisão para encaminhamento de mensagem é o uso do Prefixo P_i do nó i ser coincidente com o Prefixo P_j do nó j , e o valor de HLL . O segundo algoritmo “Algoritmo Com Memória” assume que os nós de encaminhamento de mensagem possuem memória (representada pela variável TPI - Tabela de Prefixos Individual), e podem identificar se uma mensagem já foi encaminhada

<p>1 Ao enviar $Mensagem(P_i, HTL)$: 2 → Programa HTL com H_i</p> <p>3 Ao receber $Mensagem(P_j, HTL)$ de qualquer sensor j: 4 → Se $P_i = P_j$, decrementa $HTL = HTL - 1$, envia $Mensagem(P_j, HTL)$</p> <p>5 Ao expirar HTL: 6 → Descarta $Mensagem(P_i, HTL)$</p>

Algoritmo 1: Algoritmo Sem Memória - M^-

pelo nó, utilizando essa característica em conjunto com o encaminhamento por Prefixo e o valor de HTL .

<p>1 Ao enviar $Mensagem(P_i, HTL) \forall j \in R_{min}$: 2 → Programa HTL com H_i</p> <p>3 Ao receber $Mensagem(P_j, HTL)$ de qualquer sensor j: 4 → Armazena P_j em TPI 5 → Se $P_i = P_j$ E $Mensagem(P_j, HTL) \notin TPI$, decrementa $HTL = HTL - 1$, envia $Mensagem(P_j, HTL) \forall j \in R_{min}$</p> <p>6 Ao expirar HTL: 7 → Descarta $Mensagem(P_i, HTL)$</p>

Algoritmo 2: Algoritmo Com Memória - M^+

Nestes dois algoritmos, devido à possibilidade de ciclos na rede, HTL foi incluído para impedir que a mensagem se propague em ciclo por tempo indefinido. Ainda, os algoritmos terminam quando o valor de HTL da mensagem for igual a zero.

Ratsanamy et al. [32] estudou o efeito dos saltos *hops* para redes P2P cabeadas, utilizando tabelas *Hash* do conteúdo, para encaminhamento das mensagens, mostrando que o número de *hops* não aumenta com o aumento do número de nós, e o valor de *hops* suficiente para entrega das mensagens encontra-se entre 4 e 5 *hops* para 2^{10} (1024) nós.

No caso da REPI, uma rede sem fio, não se pode afirmar que estes valores entre 4 e 5 são os ideais, devido a terem sido obtidos em redes cabeadas, em situação diversa da REPI, porém estes valores podem ser utilizados como base e, assim, definiu-se $HTL = 10$ (embora exista uma suposição de que este valor seja alto para redes sem fio, devido à possibilidade de múltiplos percursos serem gerados). Este valor será utilizado e avaliado na simulação e no experimento.

8 Trabalhos Relacionados

8.1 Nomenclatura

Nesta relatório técnico, os trabalhos foram classificados em dois tipos: de Rede e de Serviço. Os trabalhos referentes ao Tipo de Rede serão apresentados a seguir e, após, os referentes ao Tipo de Serviço.

Quanto ao Tipo de Rede, foram encontradas as seguintes denominações: Redes Mesh, Redes de Sensores Sem Fio, Redes AdHoc, Redes Móveis, Redes Sem Fio, Redes Multihop e Redes Peer-to-Peer (P2P). Essas redes são definidas a seguir de acordo com a literatura.

Redes Mesh [33] são divididas em dois grupos de equipamentos, classificados como Grupo Roteador e Grupo Cliente. O Grupo Roteador possui mínima mobilidade e forma um *backbone* de comunicação com o Grupo Cliente e com redes convencionais. O Grupo Cliente pode ser estacionário ou móvel e faz conexões entre si ou/e com o Grupo Roteador. Ainda, os autores supõem que a Rede Mesh melhorará a performance de Redes AdHoc, Wireless Local Area Networks (WLANs) e Wireless Personal Area Networks (WPANs).

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) [34] são definidas como um grande número de equipamentos compostos de meios de sensoriamento, meios de comunicação, meios de armazenamento, meios de fornecer energia e meios de processamento. Um equipamento, chamado *Sink*, interconecta a rede de sensores às redes convencionais, sem limitação de energia, comunicação, armazenamento ou processamento.

Redes AdHoc [35–37] são definidas como um grupo de equipamentos que se conectam e executam um determinado serviço por um período de tempo. Caso estes equipamentos se comuniquem por radiofrequência e se locomovam, tem-se uma rede sem fio móvel Ad Hoc (*Mobile Wireless Ad Hoc Network* - MANET). Ainda, MANET é uma rede P2P com dezenas ou centenas de milhares de nós se comunicando em regiões cujos raios têm comprimento de centenas de metros. Cada nó tem capacidade de processamento e comunicação por radiofrequência e são completamente móveis [22]. O objetivo das MANETs é formar e manter uma Rede Multihop conectada capaz de transportar tráfego entre os nós. Essas redes têm as características de:

- Mobilidade
- Multihopping
- Auto-organização
- Economia de energia
- Escalabilidade

Redes Móveis é um termo genérico para redes em que os equipamentos alteram suas posições geográficas uns em relação aos outros e em relação à sua posição anterior [37], enquanto Redes sem fio é um termo genérico para redes em que os equipamentos se comunicam por meio de ondas eletromagnéticas pelo ar. A rede sem fio engloba dois exemplos: Redes Ad Hoc e Redes Multihop [38].

Define-se Redes Multihop [35, 39, 40] como redes que podem encaminhar ou rotear mensagens de um nó a outro por meio de outros nós intermediários. Para cada nó que pode encaminhar ou rotear a mensagem, é dito que a mensagem passou por um *hop*, um salto. O termo *hop* encontra correspondência em redes cabeadas devido aos roteadores e à arquitetura cliente/servidor, porém, em redes sem fio, este termo é aplicado devido ao alcance dos rádios ser limitado a uma região de raio R e suas antenas serem onidirecionais⁴, diminuindo a probabilidade de existir caminhos de todos os nós para todos os nós (um grafo plenamente conectado) [35]. Assim, cada nó envia mensagens aos seus vizinhos que são responsáveis por propagar essas mensagens até o destino. Um dos problemas encontrados em Redes Multihop é como definir o caminho de propagação da mensagem até o destino, pois a rede é volátil e móvel, implicando em caminhos diferentes a cada envio de mensagem. Ainda, como ordenar as mensagens na chegada ao destino, e por fim, caso algum pacote seja perdido, ter conhecimento dessa perda e, se necessário, como recuperá-lo. Estas questões são desafios à pesquisa.

Sistemas Peer-to-Peer (P2P) [43] são sistemas distribuídos sem qualquer controle centralizado ou hierarquizado, e os programas executando em cada nó são equivalentes em funcionalidade. Porém, em [44] vê-se a necessidade de criação de um *Super-Peer* gerando uma organização hierárquica no sistema, proporcionando melhoria no tráfego das redes atuais, prejudicado pelo número crescente de nós. O conceito atribuído às redes P2P é abrangente e engloba redes com fio, sendo um dos desafios dessas redes cabeadas P2P, o multicast, o envio de informação de um para muitos nós. Vários trabalhos [45, 46] envolvendo P2P são confrontados e classificados de acordo com suas características de escalabilidade, gerenciamento e técnicas de construção de *overlay networks*.

Neste sentido, Redes Endereçadas por Interesses - REPIs, são bem adaptadas às redes ad hoc, devido a não haver nenhuma hierarquia entre os nós, inclusive havendo a possibilidade de não haver identificação dos nós, tornando a rede anônima. Ainda, a REPI aceita mobilidade devido à redundância das mensagens. Assim, as duas características de redes ad hoc sem fio móveis (MANETs), volatilidade e mobilidade são respeitadas. No caso da REPI, essa mobilidade é assumida ser discreta, ou seja, o nó está conectado ou não à rede, devido ao serviço não exigir mobilidade contínua como proposto em [47] em que os autores definem e utilizam as Redes de Vizinhaça como

⁴Embora em [41, 42] sejam discutidos os erros comuns no estudo da propagação de radiofrequência, este relatório usará a propagação onidirecional

modelo de redes dinâmicas, contínuas no tempo, aplicado ao problema de transmissão de voz. O problema de mobilidade aplicado às redes MANETs é abordado em [48], onde é apresentado um experimento para captura de dados reais de mobilidade com o objetivo de obter conhecimentos mais precisos sobre o movimento de equipamentos. Ainda, o mesmo grupo propõe um novo modelo de mobilidade markoviano [49].

A Figura 4 é um grafo de arestas $A_{nm}(x)$ e vértices V_i , onde esses representam nós da rede ou equipamentos, e aquelas representam as conexões físicas entre estes equipamentos.

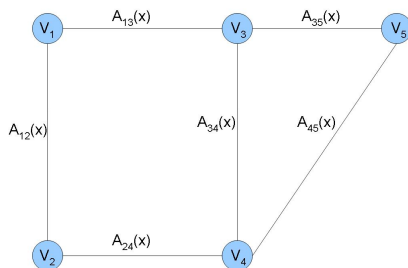


Figura 4: Grafo Modelo

Este grafo pode representar a mobilidade discutida no parágrafo anterior se as arestas assumem valores discretos 0 ou 1, de acordo com a posição do equipamento (0 se equipamento fora do alcance de radiofrequência de qualquer nó, 1 se não), ou do desejo de participação do usuário (0 se equipamento desligado, 1 se não). Para o problema proposto, não importa se o nó se locomove para outra região dentro da rede, ou seja, os vértices são trocados porém as conexões continuam existindo com outros vértices (como pode ser visto na troca do vértice V_5 pelo vértice V_2 na Figura 5). Neste caso ele é considerado conectado. Essa característica é assumida devido ao fato da rede ter grande densidade de nós por área (é assumido que uma grande densidade, no caso estudado, é um nó por $30 \pm 9m^2$ (uma variação de 30%)), permitindo que este nó seja substituído por outro também móvel; e devido ao fato dos nós não precisarem ser identificados. Naturalmente, se a densidade da rede for pequena, esparsa, ou houver identificação única, essa característica não poderá ser utilizada e outro mecanismo deverá substituí-lo.

Uma outra característica da REPI, é utilizar o multihop para propagação das mensagens. O uso do multihop implica em vários problemas, um deles a perda de pacotes pela falha de alguns nós, ou por ausência de vizinhos. No caso da REPI, o problema de perda de pacotes não é crucial devido à rede ser assumida com falha, ou seja, não existe garantia de entrega da mensagem. Um outro fato é que, a princípio, não existe destino, no conceito de comunicação *end-to-end*. Existem interesses que serão distribuídos pela rede e as mensagens conterão estes interesses que poderão chegar aos nós interessados.

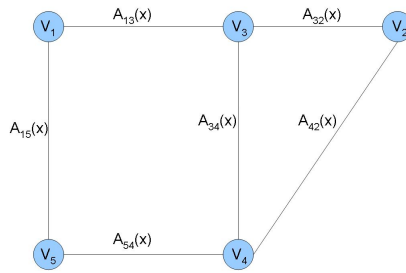


Figura 5: Grafo Modelo Troca de Vértices por Mobilidade

Apresentados os trabalhos referentes ao Tipo de Rede e definida a proposta com relação a eles, serão apresentados a seguir, os classificados como Tipo de Serviço, com o objetivo de classificar o problema proposto quanto a estes serviços. Assim, com relação aos usos dessas redes, podemos dividi-los por necessidades da rede em si, devido às limitações de equipamentos, recursos, etc., e por necessidades humanas, ao utilizar as facilidades da rede pelos seus atributos. Assim, por necessidade da rede⁵:

- *ubiquitous* - Ubíqua, ou seja, encontra-se em todo o lugar. De acordo com [50–52], sistema computacional ubíquo objetiva usar a tecnologia para monitorar, controlar e interagir com um número de diferentes componentes em um ambiente inteligente, abrangendo equipamentos pessoais, controle ambiental e pessoas.
- *pervasive* - descendente direta da Ubiquitous Computing [53] e caracterizada por um ambiente saturado com computação e comunicação, de tal forma integrado com os usuários e o próprio ambiente que estes não percebem a presença da tecnologia, e essa “desaparece” do ambiente. A computação móvel e o sistema distribuído compõem o sistema pervasivo sem as quais este se torna um sistema sem fio normal, como pode ser observado na Figura 6.
- *cooperative* - é um atributo inerente às MANETs [33,34,54], se caracterizando por nós em uma rede colaborarem com seus vizinhos com algum objetivo de acordo com algum protocolo. Por exemplo os nós podem cooperar para distribuir o uso de energia por todos, sem prejudicar um determinado nó (Energy-aware Protocol) [55].
- *Delay/Disruption Tolerant Networks (DTN)* - essa rede foi proposta [56, 57] e aperfeiçoada [58] como uma rede de Internets em escala interplanetária, em que perturbações podem ocorrer entre as comunicações. Essas perturbações foram tratadas utilizando o mecanismo de *store-and-forward*, para entregar as mensagens. Protocolos de feixe (*Bundle Protocols*) [59]

⁵Devido à nomenclatura ampla e diversa na língua inglesa, utilizou-se os nomes em inglês para não gerar mais uma nomenclatura em língua portuguesa.

foram propostos englobando *store-and-forward*, permitindo feixes de dados com consistência semântica entre si serem entregues corretamente mesmo em caso de perturbação da rede. Um artigo que reúne alguns problemas relacionados às redes intermitentes e redes DTN adhoc foi publicado em 2006 [60].

- *opportunistic* - alguns autores [61] incluem redes oportunísticas como uma subclasse das redes tolerantes à falha ou perturbação (DTNs), e a definem como uma rede em que os nós aguardam uma “oportunidade” para se comunicar com seus “contatos”. Esses contatos podem ter um comportamento completamente aleatório. Outros autores [62] desacoplam as redes oportunísticas das DTNs, situando-as nas redes conectadas intermitentemente, e discutem os problemas inerentes a essas redes de forma probabilística. Outros autores [63], já incluem essas redes nas redes de característica epidêmica, em que as conexões são feitas por “contatos” eventuais, como nas epidemias humanas. E outros ainda [64], propõem análises adaptativas para essas redes.

A REPI é considerada uma rede intermitente, e não uma rede DTN, por ser esta uma rede com características bem definidas e aplicada a sistemas interplanetários, conforme definição anterior.

Um outro fator é que DTNs são redes assíncronas que mantêm durabilidade na entrega das mensagens por meio de armazenamento, enquanto a REPI é uma rede assíncrona que não tem durabilidade nas mensagens, ou seja, nenhuma mensagem é armazenada. Isto porque quando uma mensagem é perdida na REPI, não existe na memória dos equipamentos essa mensagem para re-envio, porém, existe a informação sendo propagada pela rede por outros nós e essa mensagem poderá alcançar ou não o nó requisitante da informação por outro caminho ou por redundância das mensagens replicadas.

Ainda, existe sempre a possibilidade dessa mensagem não alcançar o destino por algum motivo e, portanto, o modelo MEI não garante a entrega de mensagens.

Com relação ao uso das redes, a seguir foram descritas as redes de acordo com as necessidades humanas. As classificações foram feitas de acordo com as facilidades proporcionadas pelas redes para o indivíduo:

- *spontaneous* - o termo espontâneo foi introduzido em 2001 [65] definindo uma rede criada quando um grupo de pessoas se reúne para alguma atividade colaborativa. Assim, os autores incluem o fator humano, suas interações e desejos, em associação com as atividades do grupo, para estabelecer um serviço básico. Ainda, foi proposta uma aplicação que promove uma colaboração espontânea em redes móveis sem fio [66].

- *social* - o termo social aplicado às redes se refere às relações entre indivíduos poderem ser modeladas por um grafo, em que os vértices são as pessoas ou objetos que as representem, e as arestas, são os meios como elas se relacionam [23, 67–75]. Em um exemplo típico, tem-se um arranjo produtivo local em Silva Jardim, onde os vértices são as empresas, e as arestas são as comunicações financeiras entre essas empresas. Essa modelagem permite avaliar qual empresa é mais participativa em relação às outras, e qual empresa apenas usa o sistema, sem devolver recursos [76]. Com as redes sem fio móveis permitindo um equipamento para cada pessoa/empresa, um grafo representativo da rede social pode ser modelado e aplicado nesses equipamentos, reproduzindo as conexões de cada equipamento como as conexões de cada pessoa/empresa.
- *collaborative* - As redes colaborativas, como no contexto de redes sociais, são redes independentes que utilizam algum recurso permitindo a uma interface conectá-las em uma colaboração [66]. Essa colaboração normalmente é pelos recursos da rede (como, por exemplo, no caso de uma computação de grade [77]), ou, de uma forma mais abrangente, por recursos humanos (como no caso de redes de colaboração científica [78]).

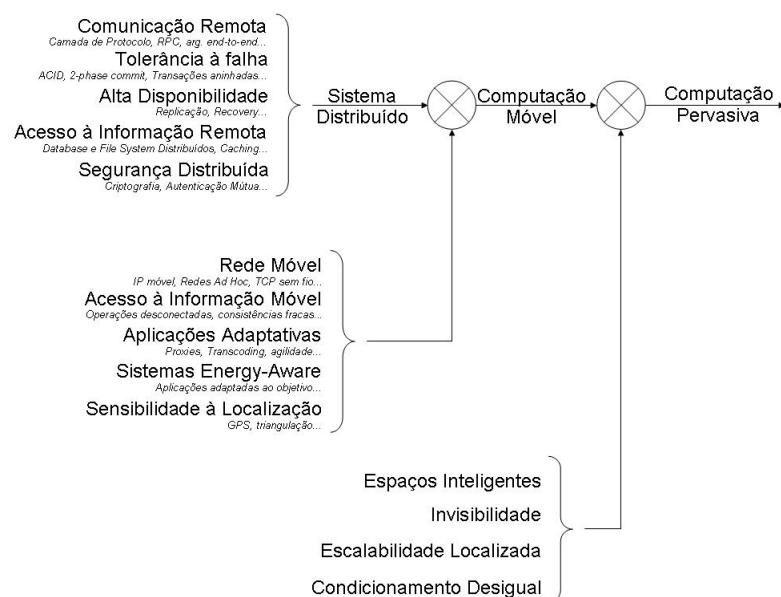


Figura 6: Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Pervasiva
 (Fonte: adaptado de [53])

Assumiu-se, então, que a REPI possui características de rede espontânea e colaborativa, dependendo da aplicação programada. Porém, a rede proposta não é cooperativa, porque as mensagens são encaminhadas, sem cooperação entre os nós para poder otimizar ou melhorar a performance, por exemplo, e portanto esta característica só é atribuída à REPI se a aplicação ou/e o usuário

permitirem.

Na Figura 7 observam-se algumas modificações baseadas na Figura 6 que representa a taxonomia de problemas de pesquisa para o modelo MEI proposto.

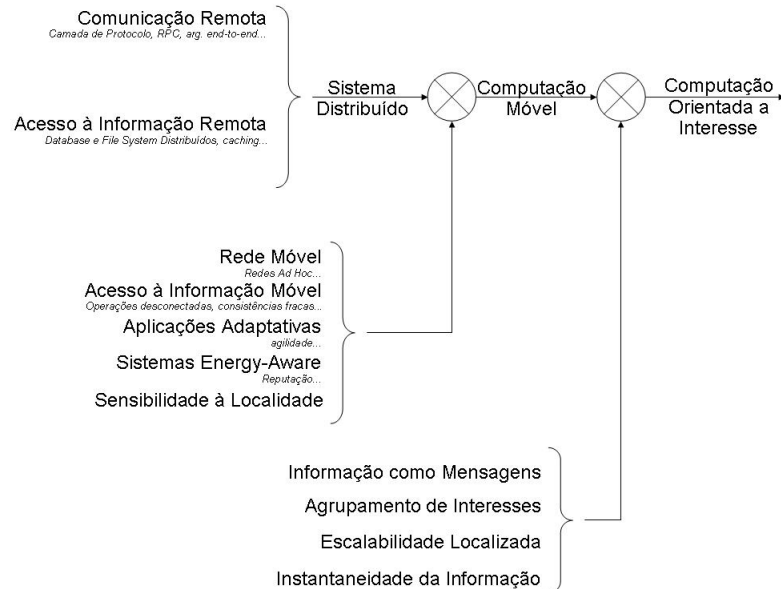


Figura 7: Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Orientada a Interesses
(Fonte: adaptado de [53])

Após a definição da nomenclatura, a REPI foi comparado com alguns trabalhos considerados pioneiros e relevantes.

8.2 Projeto PROEM e Difusão Dirigida

Um trabalho pioneiro foi , proposto por Kortuem et al. [1], em 1999, descrevendo uma aplicação chamada PROEM. Este trabalho introduzia a noção de colaboração baseada em perfil do usuário entre usuários móveis durante encontros casuais. O projeto PROEM é um sistema que o usuário veste (*wearable system*), para colaboração baseada em perfil, o que permite aos usuários a publicação e troca de informação pessoal durante encontros físicos. O PROEM utiliza essa comunicação para identificar interesses mútuos ou amigos em comum. Uma característica dessa abordagem é a comunicação de pessoas que nunca se encontraram ou se conheceram.

As definições de PROEM para colaboração baseada em perfil são muito similares as que utilizamos na REPI:

- Perfil do usuário - coleção de dados pessoais armazenados em um equipamento móvel que descreve o usuário;
- Encontro - uma situação de proximidade física de dois ou mais indivíduos;

- Troca de perfil - a transmissão dos dados pessoais entre dois ou mais equipamentos móveis durante um encontro;
- Regras de encontro - comportamentos pré-definidos que são identificados como efeito colateral de uma troca de perfil.

Porém, tais definições não se aplicam plenamente, devido à colaboração baseada em perfil não contemplar a possibilidade de multihop portanto, as trocas de informações de perfil são realizadas apenas se existir encontro físico entre um ou mais usuários (dois usuários por vez), com perda de anonimidade. Dessa forma, poder-se-ia alterar essas definições para a REPI como:

- Perfil do usuário - coleção de dados pessoais armazenados em um equipamento móvel que descreve o usuário, e **define seu Prefixo**;
- Encontro - uma situação de proximidade física de dois ou mais **equipamentos**;
- Troca de perfil - a transmissão **de prefixos** entre dois ou mais equipamentos móveis **em uma região**;
- Regras de encontro - **se o prefixo de um usuário for próximo a de outro prefixo, troca-se informação**;
- **Mensagem - cabeçalho da mensagem é o prefixo do usuário**

Duas características propostas em PROEM são encontradas também na REPI, cada equipamento é ao mesmo tempo cliente e servidor, e o controle da comunicação pertence ao usuário. Essa característica de retirar do equipamento a decisão de conexões e transferir ao usuário a motivação e a liberdade de qual caminho ou interesse escolher é um novo paradigma a ser investigado, quando da utilização do modelo MEI.

Porém, um fator que dissocia PROEM da REPI refere-se à camada mais baixa de PROEM ser a camada de serviços. A função principal dessa camada é interconectar dois equipamentos durante um encontro, porém, não é definido se essa interconexão é baseada no perfil, como é o caso do Prefixo na REPI.

Outro fato divergente, é o cache de perfil, em que todos os equipamentos mantém um armazenamento dos perfis de todos com os quais teve um encontro (este atributo é considerado, pelos autores, o diferencial do modelo PROEM em relação aos trabalhos anteriores). Baseado nessa cache, são geradas regras básicas que serão utilizadas em futuros encontros.

No caso da REPI, não é necessária esta cache, inclusive pelo seu custo da manutenção ser diretamente proporcional à volatilidade da rede e ao relativamente grande número de nós, em comparação ao de PROEM. Na Figura 8 encontra-se a arquitetura do sistema PROEM.

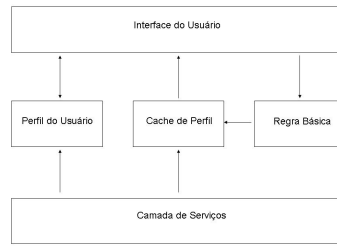


Figura 8: Arquitetura do Sistema PROEM. (Fonte: adaptado de [1])

Um outro fato diferencia PROEM da REPI, o uso de identificação única por meio do atributo *Unique User ID* (UID). Essa característica gera um problema de gerenciamento desta identificação única em sistemas com grande número de nós.

Um dos primeiros trabalhos alterando paradigmas de comunicação em redes sem fio, especificamente em redes de sensores, foi a difusão dirigida (*Directed Diffusion*, 2000) [16], um modelo orientado ao dado (*Data-centric*), em que dados gerados por sensores são nomeados como pares valor-atributo. Basicamente, os nós requisitam dados enviando valores-atributos, que são propagados pela rede, por multihop, e os dados que satisfizerem uma determinada condição são encaminhados de volta, novamente por multihop, para os nós requisitantes.

Este paradigma de comunicação da Difusão Dirigida usa dois mecanismos principais: a identificação dos nós e a eleição de líder local para envio das mensagens.

A identificação dos nós é um problema devido à natureza volátil da rede, ou seja, nós podem desaparecer, e à mobilidade, ou seja, nós podem mudar suas conexões com os vizinhos. Ainda, o grande número de nós impede uma distribuição única de identificação, assim, foi proposta uma solução para esse problema usando um algoritmo chamado *Rumor Routing* [17], que reaproveita identificadores aleatoriamente na rede, em um raio mínimo de alcance, de forma a não existirem dois identificadores iguais locais.

A eleição de um líder local envolve o problema de consumo de energia. Devido a esse líder ser o responsável pelo envio e recepção de mensagens, seu consumo de energia será muito maior que os dos outros nós, e, conseqüentemente, seu tempo de vida será muito menor. Quando este líder não possuir mais energia suficiente, como este líder será substituído? Existem alternativas, tal como haver um rodízio de líderes, porém todas envolvem um custo que deve ser considerado.

A REPI não envolve eleição de líder devido à comunicação ocorrer por seleção de interesses, e todos os nós que sintonizarem nos interesses selecionados podem receber a informação. Ainda, a identificação de nós torna-se dispensável devido à identificação ser o prefixo da mensagem, que contém as informações dos interesses, permitindo que nós com mesmo interesse recebam as informações

propagadas pela rede.

8.3 Sistemas Publisher/Subscriber

Em 1993 foi proposta uma abstração, um barramento de informação, *The Information Bus* [6], um modelo Pub/Sub distribuído para redes cabeadas. Foi desenvolvida uma aplicação voltada para o sistema financeiro, especificamente para acompanhamento de ações nas bolsas de valores. A contribuição deste trabalho decorre desta abstração de um barramento de informação que está próximo à abstração proposta pelo modelo MEI, no que se refere ao uso de informações para encaminhamento de conteúdo (mensagens). Os autores definem quatro princípios de projeto para esse modelo:

- Protocolos de comunicação com semântica mínima
- Objetos são auto-descritos - podem ser dois: dados e serviços. Serviços controlam o acesso aos recursos do sistema, enquanto Dados contém informação.
- Tipos podem ser dinamicamente definidos - Um objeto é uma instância de uma classe, e cada classe é a implementação de um tipo.
- Comunicação anônima - dois estilos de comunicação: Request e Reply (Req/Rep), baseado na arquitetura cliente/servidor, trabalhando sob demanda, síncrono e Pub/Sub, assíncrono.

Na Figura 9 pode-se ver os elementos que compõem o modelo.

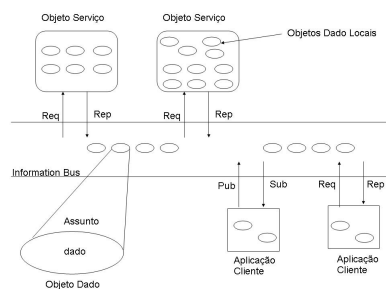


Figura 9: Elementos do modelo *The Information Bus*
(Fonte: adaptado de [6])

Uma outra forma de examinar o modelo *Information Bus* é apresentado na Figura 10. Nessa figura encontra-se representados os Ch_k canais de interesses com os quais os $S_n + P_m$ nós se conectam (linhas tracejadas) para obter as informações (as setas indicam o fluxo de informação, por exemplo, do nó P_m sai uma seta que vai até o Canal Ch_k , que se dirige para o proxy que a redireciona para o mesmo canal CH_k que o dirige para o nó S_3 que recebe a informação publicada pelo nó P_m). Verifica-se que todos os canais Ch_n se conectam com um único *proxy*, tornando este

modelo centralizado no *proxy*, embora descentralizado do despachante (*container*), como o modelo padrão de Pub/Sub (mostrado na Figura 11). O *proxy*, portanto, controla a comunicação entre os nós S_n e P_m .

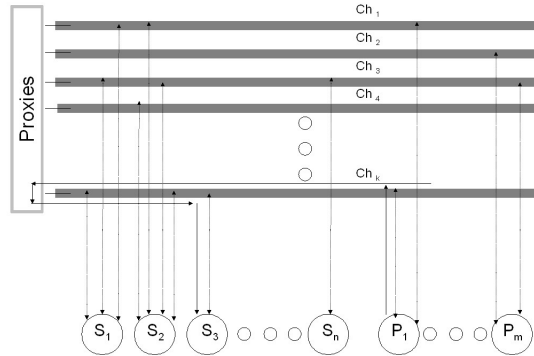


Figura 10: Modelo de Comunicação *The Information Bus*

Em um trabalho de 2003 [2], Eugster et al. descreve os vários tipos de sistemas Pub/Sub implementados em redes cabeadas, incluindo os primos e parentes próximos, tais como o *Message Passing*, *Remote Procedure Calls (RPC)*, *Notifications*, *Shared Spaces* e *Message Queueing* como primos e *The Information Bus*, *Content-based Pub/Sub* e *Type-based Pub/Sub* como parentes próximos.

Outro modelo relacionado com o proposto MEI, é representado por Publisher/Subscriber - Pub/Sub aplicado a sistemas móveis(2003) [5,8,9,79,80], especificamente *Content-based Pub/Sub*.

Basicamente, publisher/subscriber permite a um assinante do serviço registrar seus interesses utilizando predicados em um servidor centralizado [2] ou em um sistema descentralizado utilizando proxies [6], dependendo do modelo [8] adotado. Outras entidades podem publicar informações no serviço publisher/subscriber. As informações publicadas serão filtradas pelas palavras chaves e enviadas para os assinantes pertinentes.

Um modelo classificado como publisher/subscriber distribuído em redes móveis foi proposto [8–10] e a representação gráfica deste modelo é apresentada na Figura 11.

A forma de rotear normalmente utilizada nas redes baseadas neste modelo é apresentada na Figura 12. Onde o protocolo de rotear utiliza *spanning trees* para evitar ciclos no grafo.

Uma referência a modelos próximos ao MEI é apresentado por Anceaume et al. [81] e refere-se ao modelo Pub/Sub. Propõe um esquema ótimo de difusão de informação determinístico para sistemas móveis, completamente distribuído. É considerado, que mensagens são sempre entregues corretamente, e somente uma vez. Este esquema utiliza uma organização de multi-camadas lógica para modelar o sistema móvel, ou seja, o grupo de nós é representado por grafos fracamente

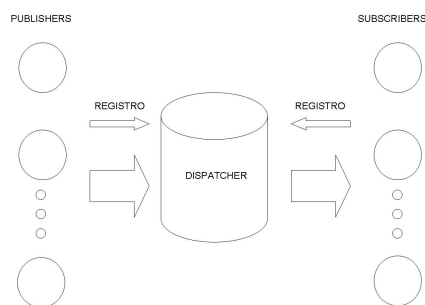


Figura 11: Modelo de Comunicação Publisher/Subscriber. (Fonte: adaptado de [2])

conectados l , onde l é maior que a unidade. Para conectar com uma específica camada l , os nós executam um protocolo de conexão subjacente. Para provar que o esquema é ótimo foi suposta a independência entre as camadas, ou seja, as ações executadas em uma camada não influenciam qualquer outra camada; e que os grafos são acíclicos dirigidos (DAG), e para isso, foi mantida a técnica original do modelo Pub/Sub de arestas reversas. Segundo os autores, este esquema é escalável, mantém a anonimidade, e é completamente descentralizado e modular.

Do mesmo grupo, é apresentado um trabalho em 2004 [70] propondo um middleware e um protocolo de gerenciamento genérico para implementação de transações atômicas em sistemas dinâmicos em larga escala de uma forma auto-organizável. São propostos dois “módulos” e três “serviços”, sendo os módulos instanciados e executados em grupos pequenos de nós e implementados utilizando técnicas conhecidas de sistemas distribuídos; e os serviços são abstrações com tempo de vida longo, envolvendo todos os nós da rede e implementados utilizando técnicas conhecidas de P2P. Ainda, o uso de oráculos nos módulos e serviços é fundamental para o funcionamento da arquitetura devido àqueles serem divididos em duas partes: uma parte “benigna” (em que existe conhecimento) e outra parte “oráculo” (obtida por técnicas conhecidas). Este trabalho encontra similaridade com a REPI proposta devido à abstração “transação”, encontrada na definição do modelo computacional, ser identificada de uma forma associativa usando a noção abstrata de contexto. O contexto pode ser uma combinação de tópicos de transação, como por exemplo, vender uma kombi 1975, identificação de alguém que possa estar interessado (revendedores em uma cidade, etc...). É assumido que existe uma forma de obter uma identificação única da transação utilizando funções de *hash*. Nesta definição de transação, o uso de interesses como identificação é similar ao proposto na REPI, porém, seu uso é diferente, devido a obter uma identificação única, o que não é uma premissa do RIO, e devido à transação não ser a própria mensagem, mas um apêndice desta. Ainda, o processo de troca de transações segue o modelo Pub/Sub de registro de clientes e editores.

Uma agenda referenciando os principais problemas encontrados no modelo Publisher/Subscriber aplicado a sistemas móveis, orientado ao conteúdo, foi proposto por Carzaniga et al. [7, 11, 12]. A utilização do modelo Pub/Sub em redes sem fio móveis permitiu essa nova abordagem **orientada ao conteúdo** (*Content-based*), ainda, com o uso de *Overlay Networks* com *Spanning tree* em redes sem fio simulando uma rede com fio. Diferentemente dos sistemas cabeados, o uso de *Spanning tree* em redes móveis representa um problema pela necessidade de recalcular a árvore a cada momento, devido à mobilidade dos nós. Essa abordagem utilizando árvores é normalmente usada em redes sem fio com pouca ou nenhuma mobilidade.

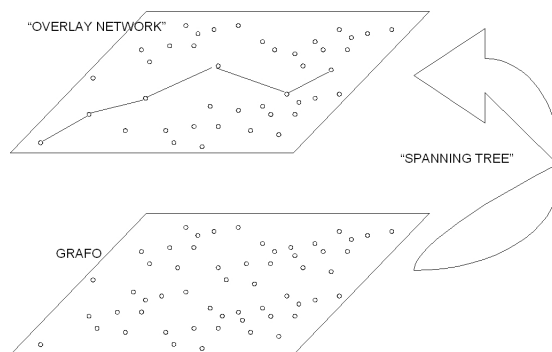


Figura 12: Roteamento Publisher/Subscriber
(Fonte: adaptado de [7])

Uma das propostas para solucionar o problema do cálculo de árvores em sistemas móveis é o uso de tabelas *hash* distribuídas (DHTs) para gerar redes *overlay* em sistemas móveis como pode ser visto em [13–15, 43, 82–84].

Em 2007, Yoneki et al. [80] propuseram uma rede *Overlay* social-consciente (*Socio-aware Overlay*) baseado em um modelo Pub/Sub aplicado a redes tolerantes a perturbação (DTN). O objetivo é introduzir essa nova abordagem para construir um *backbone* para Pub/Sub, baseado na descoberta de estruturas comunitárias humanas em computação pervasiva. Foi realizado um experimento em um *pub* em que as pessoas portavam um equipamento sem fio e foram realizadas medições relacionadas à interação social dessas pessoas, objetivando encontrar padrões no comportamento humano que pudessem servir para projeto de protocolos de roteamento ou de redes humanas.

Apesar dessas inovações em relação aos sistemas Pub/Sub de redes com fio, o modelo continuou centralizado em um sistema de registro de assinantes e de editores, que exigem uma ordem na distribuição das informações.

Diferentemente, o modelo MEI, apresentado na Figura 13, é focado na interação direta entre as entidades de um grupo de interesse enquanto que publisher/subscriber em redes móveis não

permite interação direta entre os assinantes, seja por causa de um despachante seja por causa de um *proxy*. Ainda, nesta Figura 13 os N_n nós se conectam com os Ch_m canais de acordo com seus interesses (as conexões com os interesses estão representadas por setas). As faixas de interesse são quaisquer agrupamentos dos canais.

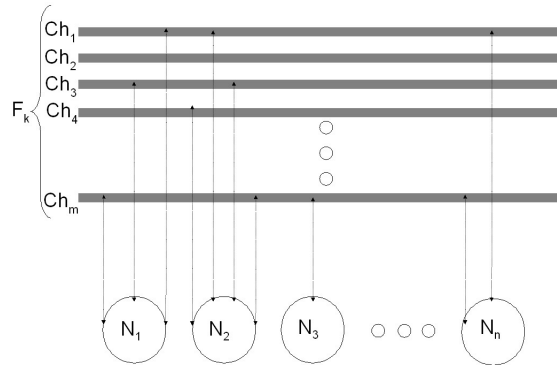


Figura 13: Faixas (F_k) e Canais (Ch_m) de Interesse REPI

O modelo MEI têm os interesses localmente armazenados no dispositivo de cada entidade, portanto não utiliza nem servidores centrais nem servidores *proxy*.

Uma implementação de uso do modelo MEI pode ser visto na Figura 14, em que é apresentado um exemplo de comunicação entre dois nós. Nesta Figura 14 existem dois nós i e j com conexões de interesse (representadas por setas tracejadas) e uma conexão de interesse em comum com o canal Ch_k e o canal Ch_o . Pode-se notar que a comunicação entre dois nós, i e j , com interesses em canais iguais (representados pela seta contínua), ocorre diretamente, sem intermediários, por meio das mensagens $M_{ij}(Int_k)$ e $M_{ij}(Int_o)$, sejam eles *proxies* distribuídos ou centralizados, ou despachantes.

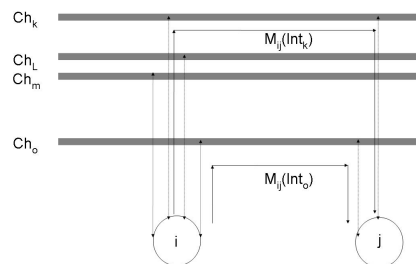


Figura 14: Exemplo de Comunicação REPI

O modelo MEI pode ser utilizado em redes ad hoc devido à sua característica totalmente distribuída, enquanto o modelo publisher/subscriber foi desenvolvido orientado para redes metropolitanas cabeadas. Mesmo sua aplicação a modelos sem fio impacta no problema da mobilidade

dos nós, dificultando a aplicação de *Spanning Trees* para rotear as mensagens. Carzaniga et al. [12] endereçam problemas referentes à aplicação de Pub/Sub em sistemas móveis. Ainda, em sistemas Pub/Sub existem pesquisas orientadas para o uso de protocolos probabilísticos e adaptativos [2] sendo um desafio unir essas abordagens aos sistemas móveis Pub/Sub.

O modelo MEI é escalável. Sistemas móveis são assíncronos por natureza [9, 44, 85], e este desacoplamento incrementa a escalabilidade pela remoção de dependências explícitas entre os componentes. No modelo MEI tanto as mensagens são enviadas de modo assíncrono quanto a comunicação na rede sem fio é assíncrona. Outro fator favorável ao modelo MEI que pode contribuir para uma implementação escalável foi a decisão de na REPI utilizar-se mensagens curtas, diminuindo o número de colisões no acesso ao meio e permitindo mais nós enviarem mensagens. Além disso, devido ao modelo MEI, não existem canais de controle na implementação, tornando o uso da mensagem ótimo, pois a mensagem é completamente construída por informações pertinentes ao usuário. Entretanto, como já dito, não existe garantia de entrega da mensagem no modelo MEI, sendo suposto que a redundância de caminhos permita a entrega na maior parte das vezes, porém, se não houver entrega, o usuário simplesmente re-enviará a mensagem.

Diferentemente dos modelos existentes, o modelo MEI propõe a criação de faixas de interesse, com as quais as entidades se comunicam em grupos de interesse, por meio de mensagens.

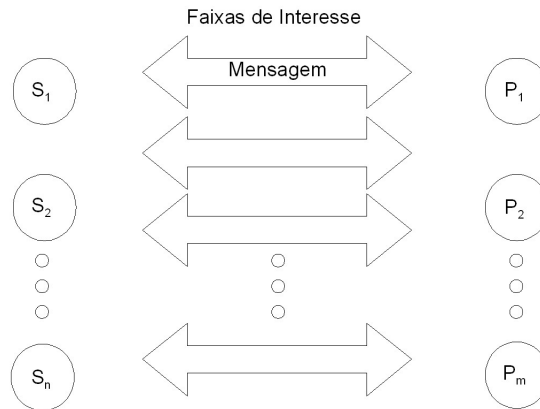


Figura 15: Modelo de Comunicação MEI implementado em uma REPI

Na Figura 15 pode ser visto o modelo MEI, composto de n nós S do lado esquerdo e m nós P do lado direito. As setas conectando os nós são as mensagens trocadas entre os nós com mesma faixa de interesse. Pode-se notar que a união destas setas representam um despachante da Figura 11, no modelo Pub/Sub, completamente distribuído. Note-se que um nó N qualquer pode ser S e P , simultaneamente.

Ainda, a implementação do modelo proposto utiliza comunicação de interesses por disseminação, onde todos os dispositivos locais recebem os interesses de todos, filtrando-os localmente,

conforme mostrado na Figura 16.

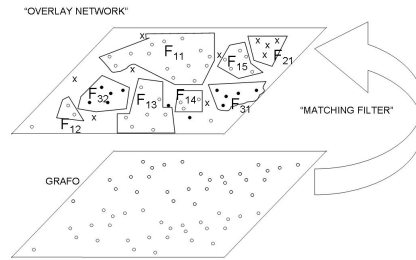


Figura 16: Difusão de Mensagens REPI

Nessa Figura 16 são apresentados os grupos F_{nm} formados pelos nós com a mesma faixa de interesse, formado pela troca de mensagens entre eles com termos que compõem o interesse de cada nó, processadas pelo filtro de casamento (*Matching Filter*). Entre os grupos pode haver *flooding* na transmissão de mensagens e mensagens filtradas entre os grupos. Ainda, é possível observar alguns casos interessantes, como a possibilidade de isolamento de alguns nós que não conseguiram participar de nenhum grupo, assim como a possibilidade de isolamento de grupos com mesmo interesse (como por exemplo, os grupos F_{31} e F_{32}), ou o isolamento de grupos pelos nós de fronteira não se conectarem, devido a não alcançar o mínimo de potência necessária (como por exemplo, os grupos F_{11} , F_{13} e F_{14}).

Existem alguns problemas com o modelo MEI e à REPI, propostos. No caso do modelo MEI o mais evidente é definido como a seguir:

- Ontologia - os termos utilizados podem ser diferentes no significante, o símbolo representativo, porém terem o mesmo significado, o conceito, impedindo que interesses iguais (com o mesmo significado, porém com diferentes significantes) formem grupos. Este é um problema aberto e não será abordado. Para a implementação, considerou-se um dicionário de palavras onde o usuário poderá selecionar as palavras.

Quanto à REPI os dois problemas mais evidentes foram definidos como a seguir:

- *Foreign Gateway* (Passagem Estrangeira) - quando ocorre troca de mensagens entre dois grupos de mesmo interesse e existe apenas um nó de conexão entre estes dois grupos e este nó não pertence ao grupo de interesse (Figura 17). Este nó passa a ser o único direcionador de mensagens e essa característica pode acarretar um consumo de energia extraordinário. Assim, o nó se desligará por falta de energia ou se desconectará por alcançar um consumo de energia além de determinado limite. Os dois fatos implicarão nos dois grupos ficarem isolados.

Um outro fato é o usuário perceber que o seu equipamento está sendo muito usado e desligá-lo. Existem várias formas de contornar este problema, e, basicamente, pode-se utilizar um mecanismo de reputação, para que este usuário receba, por exemplo, pontos por permitir o uso de seu equipamento. Alguns trabalhos endereçam este problema, por exemplo [86] estuda este problema em MANET com usuários mentirosos, [87] propõe políticas auto-organizáveis em sistemas móveis, e, em 2007, [88] propôs um sistema de reputação em um ambiente de computação por palavras (*Computing with Words* - CW), utilizando lógica proposicional, pois, segundo os autores, os valores numéricos dos sistemas anteriores são limitados ao analisarem os julgamentos para obter a reputação.

- *Tracking History* (Histórico do Percurso) - para evitar a inundação de mensagens na rede, o armazenamento, na própria mensagem, de todos os nós do percurso por onde a mensagem passou poderia ser implementado como apresentado na Figura 18. Porém, a necessidade de utilizar algum mecanismo de histórico no modelo proposto é uma questão de pesquisa. O filtro de *matching* utilizado no modelo deveria ser suficiente para evitar a propagação de mensagens por inundação. Foram implementados três mecanismos que complementam o filtro de *matching* que serão avaliados em um experimento futuro. O primeiro é a marcação, na mensagem, de cada nó pelo qual tenha passado, implicando em cada nó ter identificação única. O segundo é um número sequencial incluído na mensagem para que essa seja unicamente identificada. O terceiro é utilizar um contador de tempo de vida da mensagem, baseado em número de saltos, que evita ciclos, como complemento ao filtro de *matching*.

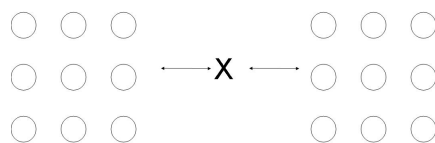


Figura 17: Problema Passagem Estrangeira

O problema de Passagem Estrangeira não parece ser suficiente para inviabilizar o modelo proposto, pois o número de nós é assumido ser grande com redundância de caminhos para o encaminhamento das mensagens. Mesmo que este problema ocorra em alguma região, uma solução é armazenar o número de mensagens que este nó de passagem estrangeira recebe e incluir uma condição limite para o número de mensagens que os nós podem encaminhar de acordo com o nível

de energia existente, ou por algum outro fator.

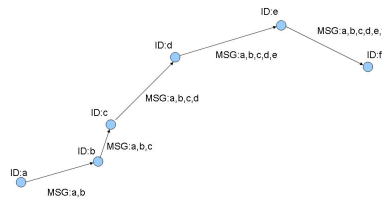


Figura 18: Problema Histórico do Percorso de uma Mensagem

Outra discussão referente à REPI refere-se a manter ou não o caminho que a mensagem seguiu para utilizar este caminho de volta ou impedir que o mesmo nó envie a mesma mensagem várias vezes. A solução escolhida foi não armazenar este caminho na mensagem, pois acredita-se que o modelo funcionará independente deste problema, porém, este fator será avaliado durante as simulação e os experimentos.

Na Figura 19, é apresentado um diagrama de interseção entre a REPI e as redes sem fio mais utilizadas. A REPI abrange todas as outras exceto a rede MESH que possui hierarquia entre os nós, diferentemente da REPI.

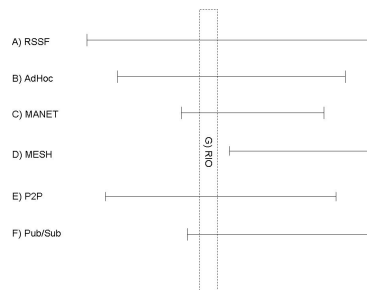


Figura 19: REPI Relacionado com os Sistemas Sem Fio - $A \subset (B,C,D,E,F)$; $B \subset (C)$; $E \subset (C)$; $G \in (A,B,C,E,F) \wedge \notin D$

8.4 Redes Orientadas a Conteúdo e Sociais

O projeto chamado InfoRadar, referente a agrupamento de equipamentos e encaminhamento de mensagens no contexto móvel foi apresentado em [23](2004). Este artigo utiliza conceitos de mobilidade e conteúdo social, temporal e espacial, e permite a interação entre indivíduos de modo assíncrono, com o objetivo de estender as possibilidades de interação social. É proposto utilizar GPS para definir um identificador baseado em informações geográficas. A proposta, porém, não utiliza termos do perfil como identificação imediata do interesse, utilizando o formato padrão de

mensagens com identificação. Além disso, não define claramente como ocorre a distribuição das mensagens.

Assim como em [80], alguns grupos estudaram a dinâmica de redes sociais com experimentos e número de nós em torno de 100. Normalmente os trabalhos envolvendo redes sociais apresentam poucos nós se comunicando (em torno de 5 a 10) e alguns resultados são adquiridos somente por simulações. Um trabalho relevante, com número de nós igual a 200, com um equipamento funcional medindo parâmetros é encontrado em [89]. Nele é apresentado um estudo da dinâmica social por meio de redes de sensores sem fio (RSSF), utilizando os equipamentos sensores para identificar e apresentar visualmente o interesse dos indivíduos. O equipamento sensor foi modificado para incluir um mostrador de *LEDs* apresentando mensagens curtas aos usuários. Este experimento não utiliza multihop entre os nós móveis, somente com nós fixos, utilizando uma hierarquia parecida com a utilizada em redes MESH. Ainda, utiliza uma tabela local com as identificações únicas de cada equipamento vizinho. O meio de comunicação entre os nós móveis é o infravermelho, exigindo um mínimo alinhamento entre os equipamentos para ocorrer a troca de informação. Alguns cenários foram realizados, tais como, encontro de pessoas e votação, e os resultados encontrados foram esperados, inclusive as colisões na rede durante o cenário de votação, em que as pessoas votavam várias vezes seguidas, impedindo a comunicação e distorcendo o resultado da votação.

Um trabalho referente ao ambiente de tráfego é apresentado em [90] de 2008, em que é proposto implementar *chat* de voz em estradas, sobre Redes Sociais Veiculares. Os autores argumentam que trabalhos anteriores utilizam algoritmo de roteamento de MANETs baseado no fenômeno *small world* de Redes Sociais, utilizam identificação de nós *bridge* para roteamento baseado nas características de centralidade, utilizam estudos do impacto de relacionamentos e padrões de movimento em protocolos de roteamento e referenciam [80]. Segundo os autores, nenhum dos trabalhos do estado da técnica, consideram a rede veicular como uma rede subjacente que pode fazer uso de uma rede social sobreposta e, assim, propõem essa Rede Social Veicular com propriedades específicas distintas das Redes Sociais atuais.

O mesmo grupo também propôs um *middleware* chamado MobiSoc [24], definindo aplicações centradas no usuário (*People-Centric*) e aplicações centradas no local (*Place-Centric*). Neste trabalho são apresentados desafios nessa área, tais como, Gerenciamento e Coleta dos Dados Sociais e da Localização, Aprendizagem dos padrões Geo-Sociais⁶, Privacidade e Uso Eficiente de Energia. Na definição do MobiSoc é utilizado o conceito de perfil do usuário, perfil do local, relacionamentos sociais entre pessoas e associações entre pessoas e locais. É considerado que a rede é volátil,

⁶uma discussão interessante sobre estes padrões, encontra-se disponível em [91], informando que a capacidade de relacionamento social dos primatas está em torno de 148 indivíduos, ou seja, a mente dos primatas não processa grupos sociais maiores que este valor. Baseado neste trabalho anterior, um grupo [92] estudou algumas redes sociais na Internet e encontraram coincidências com este número.

e que evolui continuamente com o tempo, devido à criação de novos perfis de usuários, de relacionamentos e mudanças de locais. Este *middleware* atua como uma entidade centralizada para gerenciamento do estado social e fornece uma API para programadores desenvolverem aplicações. Segundo os autores, eles escolheram uma solução centralizada porque é mais simples manter uma visão consistente do estado social e fornecer controle de acesso a dados privados. Ainda, essa arquitetura centralizada com servidores, permite um uso mais eficiente da energia nos equipamentos móveis, devido a parte do processamento ser realizado nos servidores (Essa argumentação deve ser melhor discutida, devido ao custo de energia ser maior na recepção da radiofrequência do que na transmissão e no processamento, conforme pode ser visto em [93]).

Uma outra classe de trabalhos com os quais a REPI guarda semelhança é com a classe de redes oportunísticas. Em 2007, foi proposto o *Wireless Opportunistic Podcasting* [94], onde os autores propõem utilizar *podcasting* em redes sem fio. A abordagem é semelhante à de PROEM, quanto à troca de informações ocorrerem somente quando ocorre proximidade física entre os equipamentos, porém, utiliza conceitos como a rede ser volátil e as mensagens serem curtas. Como ferramenta de busca de conteúdo na rede sem fio os autores utilizaram *Bloom Filter* [95], uma estrutura de dados probabilística. Nenhum algoritmo de roteamento de redes multihop foi utilizado, em substituição, utilizaram um modelo de disseminação orientado ao receptor no nível de aplicação. Este modelo de disseminação é baseado na seleção dos nós que estão sincronizados e a ordem pela qual são descarregados os conteúdos dos nós. O controle dessa sincronização dos nós é feita por um gerente de sincronização, que mantém o estado de todos os encontros passados e atuais vizinhos. Uma das limitações do modelo é somente permitir conexões par a par, e não permitir múltiplas conexões, embora a camada de acesso permitisse. Ainda, é utilizado um identificador único global.

Um middleware para desenvolvimento de aplicações foi proposto no projeto contextS [96], que vem sendo desenvolvido desde 2003. Em 2006 e 2007 foram apresentados trabalhos propondo aprendizagem baseado em ambientes ubíquos [97,98], e um artigo de 2008 foi apresentado propondo um modelo geral para arquitetura de software projetado como suporte à computação ubíqua.

Popescu et al. [25], propõem um trabalho com um vetor multidimensional de interesses, utilizando perfil de usuário em redes de comunicação, para gerar um mapeamento hierárquico dos nós de uma *overlay network* em um espaço de comunicação multidimensional. Baseado nessa modelagem, foram propostos algoritmos para comunicação de agrupamento de interesses, obtendo como resultado escalabilidade com baixo *overhead*. No modelo proposto, MEI, é possível inúmeras possibilidades de interesses para representar a mensagem. Para diminuir estas possibilidades, foi proposto um número de interesses limitado para que a implementação da rede se torne factível.

Valduriez et al. [26], discute o problema de coincidência de termos na Web Semântica, entre

requisitantes e fornecedores de informação, identificando-se que a interoperabilidade semântica reside em coincidências de termos ou esquemas de mapeamento. É dito que a informação é composta de partes compartilhadas e não compartilhadas e a abordagem clássica se detém apenas na parte compartilhada. Documentos e perguntas são representados em um vetor semântico, com o objetivo de ampliar o uso da parte não compartilhada. O vetor semântico utiliza conceitos ao invés de termos, adicionando pesos a cada conceito representativo do documento, e pesos aos conceitos relacionados à pergunta. O vetor resultante representa o documento e outro vetor resultante representa a pergunta, em um espaço n -dimensional de conceitos de ontologia. Logo, a relevância entre um documento e a pergunta corresponde à proximidade dos vetores no espaço. Devido à dificuldade de ponderar os conceitos com pesos, é proposto um método de expansão de perguntas, que mantenha a dispersão do conceito central evitando o aumento de ruído dada esta expansão. Ainda, baseado nesta expansão, é definida a relevância do documento. Experimentos realizados foram melhores em 90% dos casos, frente ao método clássico. Esta abordagem pode ser utilizada como uma solução ao problema de ontologia encontrado na coincidência dos interesses. Este grupo está envolvido no projeto Brasil-França, SARAVA [99].

8.5 Protocolos de Comunicação IM, IRC e CXTIP

Em [100](2004) os autores organizam e classificam o estado da técnica em P2P e incluem aplicações envolvendo *Instant Message* (IM), *Internet Relay Chat* (IRC) e *Jabber* na categoria P2P *Communication and Collaboration*, cujas características são comunicação e colaboração direta, em tempo real, entre computadores.

Instant Messages (IM) é um outro protocolo de comunicação utilizado na Internet, que permite aos usuários enviar e receber mensagens curtas instantâneas entre seus equipamentos, sejam eles com ou sem fio, pessoais ou não [101–103]. A diferença básica entre estes serviços e a proposta do modelo MEI é o fato que eles definem *profile* como um local em que informações sobre o usuário são armazenadas, incluindo informações multimídia, fotos, etc... Essas informações não são utilizadas para encontrar grupos, e caso fossem, o agrupamento por informações envolveria um custo alto, devido aos protocolos não terem sido construídos para redes sem fio. Ainda, o objetivo original foi desenvolver uma ferramenta centrada no usuário, porém, não centrado nos interesses do usuário, como no modelo MEI.

Internet Relay Chat (IRC) [104] é um protocolo de comunicação centralizado desenvolvido para redes cabeadas. Embora exista, nas aplicações que utilizam este protocolo, o conceito de canal de conversa (chat channel), e este possa ser criado a qualquer momento por qualquer usuário para a discussão de um interesse específico, novamente, o usuário tem que ser convidado ou descobrir que

aquele canal existe para poder participar. Não existe uma identificação de interesse e o envio das mensagens do canal para o usuário. Além, nestas aplicações o usuário precisa estar conectado a um servidor, centralizado, sem a qual não ocorre o envio das mensagens trocadas para o usuário.

Um outro protocolo avaliado foi o *Context Transfer Protocol* - CXTTP [105]. Este protocolo foi desenvolvido para nós móveis e permite a rápida transferência autorizada de contexto, sem utilizar todos os protocolos previamente definidos para este serviço. Devido a este protocolo ser desenvolvido especificamente para redes móveis celulares, é assumido que existe identificação única para os nós e que todo o processo de transferência é controlável. Basicamente, um nó se comunicando com outro, por meio de uma Estação Rádio base (ERB), pode interromper essa comunicação (por exemplo, em um *handover*), e o sistema tem que restabelecer a comunicação sem que os usuários percebam. CXTTP utiliza protocolo IP em redes móveis sem fio. Este protocolo difere do protocolo da REPI pelo fato de exigir a identificação única, utilizar um centralizador (a ERB), ser completamente controlável (gerando mensagens de controle e aumentando o custo da comunicação), e não utilizar *multihop* para encaminhamento das mensagens.

8.6 Banco de Dados Distribuído - TinyDB

Embora no modelo MEI não exista a necessidade de armazenar informações de interesse dos nós pertencentes à rede, a passagem destas informações pelos nós poderia ser utilizada para armazenamento e processamento, por exemplo, para obter padrões, localizações, etc. Sistema móveis sem fio em larga escala com características de processamento de dados para obtenção de informações é encontrado na aplicação distribuída tinyDB [106], que processa perguntas (como um processador padrão, com funções *select*, *join*, *project* e *aggregate*), porém, incorporando técnicas de aquisição de dados (devido ao equipamento permitir quando e onde o dado será coletado). Esta aplicação foi desenvolvida para redes de sensores sem fio (WSN).

8.7 Patentes

A revisão bibliográfica contemplou também patentes depositadas nos escritórios de patentes americano (USPTO) e europeu (EPO), devido ao depósito de duas patentes, feito pelos autores em 2006 [107] e 2008 [108]. Estes escritórios concentram em torno de 90% das patentes depositadas no mundo. Assim, foram feitas buscas baseadas em palavras e na classificação internacional (IPC), e 14 patentes foram encontradas que continham algum método ou sistema baseado em conteúdo, perfil ou interesse. A patente [109] refere-se a filtragem colaborativa para transmissão de informação e utiliza os conceitos de perfil do equipamento e perfil do usuário e um usuário pode enviar estes perfis para outros usuários com o objetivo de obter informações. Foi utilizado um método de correlação estatístico para obter essa informação e decidir quem enviaria de volta a informação

mais próxima da requisitada. Essa patente claramente difere do proposto no modelo MEI devido à forma de casamento das informações.

Referências

- [1] KORTUEM, G., SEGALL, Z., COWAN, T. G., “Close Encounters: Supporting Mobile Collaboration Through Interchange of User Profiles”, *Lecture Notes in Computer Science*, v. 1707, pp. 171–185, 1999.
- [2] EUGSTER, P., FELBER, P., GUERRAOUI, R., et al., “The many faces of publish/subscribe”, *ACM Comput. Surv.*, v. 35, n. 2, pp. 114–131, 2003.
- [3] KARGER, D., LEHMAN, E., LEIGHTON, T., et al., “Consistent hashing and random trees: Distributed caching protocols for relieving hot spots on the World Wide Web”. In: *Proceedings of the 29th ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 654–663, ACM, ACM Press, May 1997.
- [4] KARGER, D., SHERMAN, A., BERKHEIMER, A., et al., “Web caching with consistent hashing”, *Comput. Netw.*, v. 31, n. 11-16, pp. 1203–1213, 1999.
- [5] LIU, Y., PLALE, B., “Survey of publish subscribe event systems”, Technical Report TR574, Indiana University, May 2003.
- [6] OKI, B., PFLUEGL, M., SIEGEL, A., et al., “The Information Bus: an architecture for extensible distributed systems”. In: *SOSP '93: Proceedings of the fourteenth ACM symposium on Operating systems principles*, pp. 58–68, ACM: New York, NY, USA, 1993.
- [7] CARZANIGA, A., RUTHERFORD, M. J., WOLF, A. L., *A Routing Scheme for Content-Based Networking*, Tech. Rep. CU-CS-953-03, Department of Computer Science, University of Colorado, jun 2003.
- [8] CAPORUSCIO, M., CARZANIGA, A., WOLF, A., “Design and Evaluation of a Support Service for Mobile, Wireless Publish/Subscribe Applications”, *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 29, n. 12, pp. 1059–1071, dec 2003.
- [9] HUANG, Y., GARCIA-MOLINA, H., “Publish/subscribe in a mobile environment”, *Wirel. Netw.*, v. 10, n. 6, pp. 643–652, 2004.
- [10] BALDONI, R., “The Publish/Subscribe Communication Paradigm and its Application to Mobile Systems”, 2005.
- [11] GARCIASANCHEZ, A.-J., GARCIASANCHEZ, F., PAVON-MARINO, P., et al., “OMCPS: Optimized Middleware for a Content - based Publish / Subscribe Architecture”. In: *Proceedings IEEE Pacific Rim Conference*, pp. 468–472, 2007.

- [12] CARZANIGA, A., HALL, C. P., “Content-based communication: a research agenda”. In: *SEM '06: Proceedings of the 6th international workshop on Software engineering and middleware*, pp. 2–8, ACM: New York, NY, USA, 2006.
- [13] ARAUJO, F., RODRIGUES, L., KAISER, J., et al., “CHR: A Distributed Hash Table for Wireless Ad Hoc Networks”. In: *ICDCSW '05: Proceedings of the Fourth International Workshop on Distributed Event-Based Systems (DEBS) (ICDCSW'05)*, pp. 407–413, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2005.
- [14] ZAHN, T., SCHILLER, J., “DHT-based Unicast for Mobile Ad Hoc Networks”. In: *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, p. 179, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2006.
- [15] HEER, T., GOTZ, S., RIECHE, S., et al., “Adapting Distributed Hash Tables for Mobile Ad Hoc Networks”. In: *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, p. 173, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2006.
- [16] INTANAGONWIWAT, C., GOVINDAN, R., ESTRIN, D., “Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks”. In: *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 56–67, ACM: New York, NY, USA, 2000.
- [17] BRAGINSKY, D., ESTRIN, D., “Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks”. In: *Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA 2002)*, pp. 1–12, 2002.
- [18] YOUTUBE, “<http://www.youtube.com>”, 2005.
- [19] LIMEWIRE, “<http://www.limewire.com>”, 2005.
- [20] BITTORRENT, “<http://www.BitTorrent.com>”, 2006.
- [21] KAZAA, “<http://www.kazaa.com>”, 2006.
- [22] SOHRABI, K., J., G., AILAWADHI, V., et al., “Protocols for selforganization of a wireless sensor network”, *IEEE Personal Communications*, v. 7, pp. 16–27, 2000.
- [23] RANTANEN, M., OULASVIRTA, A., BLOM, J., et al., “InfoRadar: group and public messaging in the mobile context”. In: *NordiCHI '04: Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*, pp. 131–140, ACM: New York, NY, USA, 2004.

- [24] BORCEA, C., GUPTA, A., KALRA, A., et al., “The MobiSoC middleware for mobile social computing: challenges, design, and early experiences”. In: *MOBILWARE '08: Proceedings of the 1st international conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications*, pp. 1–8, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering): ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2007.
- [25] POPESCU, G. V., LIU, Z., “Network overlays for efficient control of large scale dynamic groups”. In: *DS-RT '06: Proceedings of the 10th IEEE international symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*, pp. 135–142, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2006.
- [26] VENTRESQUE, A., CAZALENS, S., LAMARRE, P., et al., “Improving interoperability using query interpretation in semantic vector spaces”. In: *Proceedings of the 5th European Semantic Web Conference, LNCS*, Springer Verlag: Berlin, Heidelberg, June 2008.
- [27] ORKUT, “<http://www.orkut.com>”, 2005.
- [28] MACHADO, R. P., CARVALHO, G., PAES, R., et al., “Applying Ontologies in Open Mobile Systems. In: Workshop on Building Software for Pervasive Computing”. In: *OOPSLA*, 2004.
- [29] LI, W., “Random texts exhibit Zipf’s-law-like word frequency distribution”. In: *In Proceedings of IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 1842–1845, 1992.
- [30] ISHIKAWA, E., AMORIM, C. L., “Cooperative Video Caching for Interactive and Scalable VoD Systems”. In: *ICN '01: Proceedings of the First International Conference on Networking-Part 2*, pp. 776–785, Springer-Verlag: London, UK, 2001.
- [31] CHERVENAK, A. L., PATTERSON, D. A., KATZ, R. H., “Choosing the best storage system for video service”. In: *MULTIMEDIA '95: Proceedings of the third ACM international conference on Multimedia*, pp. 109–119, ACM: New York, NY, USA, 1995.
- [32] RATNASAMY, S., FRANCIS, P., SHENKER, S., et al., “A Scalable Content Addressable Network”. In: *In Proceedings of ACM SIGCOMM*, pp. 161–172, 2001.
- [33] AKYILDIZ, I., WANG, X., WANG, W., “Wireless mesh networks: A survey”, *Computer Networks*, v. 47, pp. 445–487, 2005.
- [34] AKYILDIZ, I., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., et al., “Wireless Sensor Networks: A Survey”, *Computer Networks*, v. 38, n. 4, pp. 393–422, March 2002.

- [35] BROCH, J., MALTZ, D. A., JOHNSON, D. B., et al., “A performance comparison of multihop wireless ad hoc network routing protocols”. In: *MobiCom '98: Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 85–97, ACM: New York, NY, USA, 1998.
- [36] LI, J., BLAKE, C., DE COUTO, D. S. J., et al., “Capacity of Ad Hoc Wireless Networks”. In: *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 61–69, Rome, Italy, July 2001.
- [37] MOHAPATRA, P., KRISHNAMURTHY, S., GERLA, M., “Ad Hoc Networks: Technologies and Protocols”, Springer, 2005.
- [38] GUPTA, P., KUMAR, P., “The capacity of wireless networks”, *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 46, pp. 388–404, 2000.
- [39] GELENBE, E., “A diffusion model for packet travel time in a random multihop medium”, *ACM Trans. Sen. Netw.*, v. 3, n. 2, pp. 10, 2007.
- [40] GOSSAIN, H., AGGARWAL, P., BARKER, C., et al., “System and Method for multihop packet forwarding”, WO patent N° 2007/084884, 26/07/2007.
- [41] KOTZ, D., NEWPORT, C., ELLIOTT, C., *The Mistaken Axioms of Wireless-network Research*, Tech. rep., Dartmouth College Computer Science Technical Report TR2003-467, 2003.
- [42] KOSTIN, S., PINHO, L. B. D., AMORIM, C. L., “Transmission Power Levels Prediction for Distributed Topology Control Protocols within Parameterized Scenarios”. In: *15th International Conference on Telecommunication*, pp. 1–10, 2008.
- [43] STOICA, I., MORRIS, R., KARGER, D., et al., “Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications”. In: *SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 149–160, ACM: New York, NY, USA, 2001.
- [44] YANG, B., GARCIA-MOLINA, H., “Designing a Super-Peer Network”. In: *ICDE*, pp. 49–49, 2003.
- [45] ABAD, C., YURCIK, W., CAMPBELL, R., “A survey and comparison of end-system overlay multicast solutions suitable for network centric warfare”. In: *In Proc. of SPIE'04.*, pp. 215–226, 2004.

- [46] ANWAR, Z., YURCIK, W., CAMPBELL, R., “A survey and comparison of peer-to-peer group communication systems suitable for network-centric warfare”. In: *In Proc. of SPIE’05.*, pp. 215–226, 2004.
- [47] MISHRA, A., SHIN, M., ARBAUGH, W. A., “Context Caching using Neighbor Graphs for Fast Handoffs in a Wireless Network”. In: *INFOCOM*, pp. –361, 2004.
- [48] CAMPOS, C. A. V., DE MORAES, L. F. M., “Investigating the user mobility in wireless mobile networks through real measurements”. In: *CoNEXT ’06: Proceedings of the 2006 ACM CoNEXT conference*, pp. 1–2, ACM: New York, NY, USA, 2006.
- [49] CAMPOS, C. A. V., DE MORAES, L. F. M., “A Markovian model representation of individual mobility scenarios in ad hoc networks and its evaluation”, *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, v. 2007, n. 1, pp. 35–35, 2007.
- [50] WEISER, M., “The Computer for the Twenty-First Century”, *Scientific American*, pp. 94–100, 1991.
- [51] CREPALDI, R., HARRIS III, A. F., KOOPER, R., et al., “Managing heterogeneous sensors and actuators in ubiquitous computing environments”. In: *SANET ’07: Proceedings of the First ACM workshop on Sensor and actor networks*, pp. 35–42, ACM: New York, NY, USA, 2007.
- [52] YANG, S. J., HUANG, A. F., CHEN, R., et al., “Context Model and Context Acquisition for Ubiquitous Content Access in ULearning Environments”. In: *Proceedings of the IEEE international Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*, v. 2, pp. 78–83, IEEE: Washingtonm, DC, USA, 2006.
- [53] SATYANARAYANAN, M., “Pervasive Computing: Vision and Challenges”, *IEEE Personal Communications*, v. 8, pp. 10–17, 2001.
- [54] PERKINS, C., BELDING-ROYER, E., DAS, S., “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, RFC 3561, 2003.
- [55] YE, W., HEIDEMANN, J., ESTRIN, D., “An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”. In: *Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002)*, pp. 1–10, 2002.
- [56] BURLEIGH, S., CERF, V., DURST, B., et al., “The Interplanetary Internet: The Next Frontier in Mobility”, <http://www.ipnsig.org/reports/INETPlenary-06June01.ppt>, 2001.

- [57] CERF, V., BURLEIGH, S., HOOKE, A., et al., “Delay-Tolerant Networking Architecture”, RFC 4838, 2007.
- [58] FALL, K., “A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets”, *Technical Report IRB-TR-03-003*, 2003.
- [59] SCOTT, K., BURLEIGH, S., MITRE, C., “Bundle Protocol Specification”, RFC 5050, 2007.
- [60] ZHANG, Z., “Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges”, *Communications Surveys and Tutorials*, v. 8, pp. 24–37, 2006.
- [61] WANG, Y., JAIN, S., MARTONOSI, M., et al., “Erasure-coding based routing for opportunistic networks”. In: *in Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking (WDTN05)*, pp. 229–236, ACM Press, 2005.
- [62] LINDGREN, A., DORIA, A., EN, O. S., “Probabilistic routing in intermittently connected networks”. In: *SIGMOBILE Mobile Computing and Communication Review*, p. 2003, 2004.
- [63] EUGSTER, P. T., GUERRAOU, R., KERMARREC, A., et al., “From Epidemics to Distributed Computing”, *IEEE Computer*, v. 37, pp. 60–67, 2004.
- [64] MUSOLESI, M., HAILES, S., MASCOLO, C., “Adaptive Routing for Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks”. In: *in Proc. WOWMOM*, pp. 183–189, IEEE press, 2005.
- [65] FEENEY, L. M., AHLGREN, B., WESTERLUND, A., “Spontaneous networking: an application-oriented approach to ad hoc networking”, *IEEE Communications Magazine*, v. 39, pp. 176–181, 2001.
- [66] WANG, A. I., SORENSEN, C., FOSSUM, T., “Mobile Peer-to-Peer Technology used to Promote Spontaneous Collaboration”. In: *2005 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems (CTS 2005)*, pp. 48–55, IEEE Computer Science: St. Louis, Missouri, USA, May 15-20 2005, In conjunction with ICSE’05.
- [67] AVVENUTI, M., VECCHIO, A., “An Agent-Based Framework for Nomadic Computing”. In: *FTDCS '99: Proceedings of the 7th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, p. 213, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 1999.
- [68] KLEINBERG, J. M., “Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment”, *Journal of the ACM*, v. 46, pp. 668–677, 1999.

- [69] ROWSTRON, A., DRUSCHEL, P., “Pastry: Scalable, Decentralized Object Location, and Routing for Large-Scale Peer-to-Peer Systems”, *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2218, pp. 329–350, 2001.
- [70] ANCEAUME, E., FRIEDMAN, R., ROY, M., et al., *An Architecture for Dynamic Scalable Self - Managed Distributed Transactions - TR 1601*, Tech. rep., IRISA - France, Oct 2004.
- [71] MUSOLESI, M., HAILES, S., MASCOLO, C., “An ad hoc mobility model founded on social network theory”. In: *MSWiM '04: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pp. 20–24, ACM: New York, NY, USA, 2004.
- [72] MOTANI, M., SRINIVASAN, V., NUGGEHALI, P. S., “PeopleNet: engineering a wireless virtual social network”. In: *MobiCom '05: Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 243–257, ACM: New York, NY, USA, 2005.
- [73] HASSAS, S., MARZO-SERUGENDO, G. D., KARAGEORGOS, A., et al., “On Self-Organising Mechanisms from Social, Business and Economic Domains”, Informatica, 2006.
- [74] MUSOLESI, M., MASCOLO, C., “Designing mobility models based on social network theory”, *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, v. 11, n. 3, pp. 59–70, 2007.
- [75] POLICRONIADES, C., VIDALES, P., ROTH, M., et al., “Data management in human networks”. In: *CHANTS '07: Proceedings of the second workshop on Challenged networks CHANTS*, pp. 83–90, ACM: New York, NY, USA, 2007.
- [76] ALMEIDA, M., D’IPOLITTO, C., “A análise de redes sociais como ferramenta estratégica de desenvolvimento regional”, *Inteligência Empresarial*, v. 30, pp. 19–27, 2007.
- [77] FOSTER, I., “The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations”, *International Journal of Supercomputer Applications*, v. 15, pp. 2001, 2001.
- [78] ALEX, P., CHIRITA, R., DAMIAN, A., et al., “Search Strategies for Scientific Collaboration Networks”. In: *In Proceedings of 2nd P2P Information Retrieval Workshop held at the 14th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*, pp. 33–40, ACM Press, 2005.
- [79] TERPSTRA, W. W., BEHNEL, S., FIEGE, L., et al., “A peer-to-peer approach to content-based publish/subscribe”. In: *DEBS '03: Proceedings of the 2nd international workshop on Distributed event-based systems*, pp. 1–8, ACM: New York, NY, USA, 2003.

- [80] YONEKI, E., HUI, P., CHAN, S., et al., “A socio-aware overlay for publish/subscribe communication in delay tolerant networks”. In: *MSWiM*, pp. 225–234, 2007.
- [81] ANCEAUME, E., DATTA, A. K., GRADINARIU, M., et al., “Publish/subscribe scheme for mobile networks”. In: *POMC '02: Proceedings of the second ACM international workshop on Principles of mobile computing*, pp. 74–81, ACM: New York, NY, USA, 2002.
- [82] PUCHA, H., DAS, S. M., HU, Y. C., “Ekta: An Efficient DHT Substrate for Distributed Applications in Mobile Ad Hoc Networks”. In: *WMCSA '04: Proceedings of the Sixth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 163–173, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2004.
- [83] LEONG, B., LI, J., “Achieving One-Hop *DHT* Lookup and Strong Stabilization by Passing Tokens”. In: *12th International Conference on Networks (ICON)*, pp. 344–350, Singapore, nov 2004.
- [84] PUCHA, H., DAS, S., HU, Y., “How to Implement *DHTs* in Mobile Ad Hoc Networks?” *Student Poster in Mobicom, 10th*, 2004.
- [85] YANG, B., GARCIA-MOLINA, H., “Comparing Hybrid Peer-to-Peer Systems”. In: *The VLDB Journal*, pp. 561–570, sep 2001.
- [86] MUNDINGER, J., BOUDEEC, J., “Analysis of a Reputation System for Mobile Ad-Hoc Networks with Liars”. In: *WIOPT '05: Proceedings of the Third International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*, pp. 41–46, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2005.
- [87] BUCHEGGER, S. LE BOUDEEC, J.-Y., “Self-policing mobile ad hoc networks by reputation systems”, *Communications Magazine IEE*, v. 47, n. 7, pp. 101–107, 2005.
- [88] YUAN, W., GUAN, D., LEE, S., et al., “A reputation system based on computing with words”. In: *IWCMC '07: Proceedings of the 2007 international conference on Wireless communications and mobile computing*, pp. 132–137, ACM: New York, NY, USA, 2007.
- [89] LAIBOWITZ, M., GIPS, J., AYLWARD, R., et al., “A sensor network for social dynamics”. In: *IPSN '06: Proceedings of the fifth international conference on Information processing in sensor networks*, pp. 483–491, ACM: New York, NY, USA, 2006.
- [90] SMALDONE, S., HAN, L., SHANKAR, P., et al., “RoadSpeak: enabling voice chat on roadways using vehicular social networks”. In: *SocialNets '08: Proceedings of the 1st workshop on Social network systems*, pp. 43–48, ACM: New York, NY, USA, 2008.

- [91] DUNBAR, R.
- [92] MARLOW, C., “Primates on Facebook”. In: *In The Economist*, 2009.
- [93] MONTEIRO, A. C., AMORIM, C. L., BRANCO, L. M. C., et al., “Medição Precisa do Consumo de Energia em Dispositivos Móveis de Comunicação Sem Fio”. In: *VIII Workshop em Sistemas Computacionais, III Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pp. 1–10, SBAC, 2007.
- [94] MAY, M., LENDERS, V., KARLSSON, G., et al., “Wireless opportunistic podcasting: implementation and design tradeoffs”. In: *CHANTS '07: Proceedings of the second workshop on Challenged networks CHANTS*, pp. 75–82, ACM: New York, NY, USA, 2007.
- [95] BRODER, A., MITZENMACHER, M., “Network Applications of Bloom Filters: A Survey”. In: *Internet Mathematics*, pp. 636–646, 2002.
- [96] DA COSTA, C. A., YAMIN, A. C., GEYER, C. F. R., “Toward a General Software Infrastructure for Ubiquitous Computing”, *IEEE Pervasive Computing*, v. 7, n. 1, pp. 64–73, 2008.
- [97] BARBOSA, D. N. F., AUGUSTIN, I., BARBOSA, J. L. V., et al., “Learning in a Large-Scale Pervasive Environment”. In: *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, p. 226, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2006.
- [98] NINO, C. P., MARQUES, J., BARBOSA, D. N. F., et al., “Context-Aware Model in a Ubiquitous Learning Environment”. In: *PERCOMW '07: Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 182–186, IEEE Computer Society: Washington, DC, USA, 2007.
- [99] VALDURIEZ, P., MATTOSO, M., “<http://www.sciences.univ-nantes.fr/lina/ATLAS/files/Soumission09.html>”, INRIA - France, 08/03/2009.
- [100] ANDROUTSELLIS-THEOTOKIS, S., SPINELLIS, D., “A survey of peer-to-peer content distribution technologies”, *ACM Comput. Surv.*, v. 36, n. 4, pp. 335–371, 2004.
- [101] AIM, “<http://dashboard.aim.com/aim>”, 2009.
- [102] PIDGIN, “<http://www.pidgin.im/>”, 2009.
- [103] DAY, M., ROSENBERG, J., SUGANO, H., “A Model for Presence and Instant Messaging”, RFC 2778, 1993.

- [104] OIKARINEN, J., REED, D., “Internet Relay Chat Protocol”, RFC 1459, 1993.
- [105] LOUGHNEY, J., NAKHJIRI, M., PERKINS, C., et al., “Context Transfer Protocol - CXTP”, RFC 4067, 2005.
- [106] MADDEN, S. R., FRANKLIN, M. J., HELLERSTEIN, J. M., et al., “TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks”, *ACM Trans. Database Syst.*, v. 30, n. 1, pp. 122–173, 2005.
- [107] AMORIM, C., DUTRA, R., BRANCO, L., “Method For Building Spontaneous Virtual Communities Based on Common Interests Using Wireless Equipments”, WO Patent N° WO2008019462, 2006.
- [108] AMORIM, C. L., DUTRA, R., “Método para formação de comunidades virtuais espontâneas baseadas em interesses comuns utilizando faixas de predicados”, INPI Patent N° PI0800633-4, 2008.
- [109] KIMURA, T., HASHIZUME, A., SHIONO, T., “Information Transmission system by collaborative filtering”, EP 1 610 529, 15/06/2005.