

# O Fenómeno Social no Encaminhamento em Redes Oportunistas

Rui Quelhas\*, António Costa† e Joaquim Macedo‡

Centro Algoritmi  
Universidade do Minho  
Braga, Portugal 4710-057

\* Email: pg15590@alunos.uminho.pt

† Email: costa@di.uminho.pt

‡ Email: macedo@di.uminho.pt

**Resumo**—As redes oportunistas ou tolerantes a atrasos surgiram com o objetivo de mitigar os problemas comuns a cenários de comunicação de topologia dinâmica onde os nós se encontram em constante movimento. Esta lógica implica contradições a vários níveis nos modelos tradicionais TCP/IP, particularmente numa perspetiva aplicacional e de rede. A introdução de propostas como o Bundle Protocol veio resolver, em parte, alguns destes problemas, no entanto, a tecnologia insiste em não florescer. Este trabalho baseia-se num cenário bastante comum, as chamadas Pocket Switched Networks (PSNs), para introduzir uma *framework* de suporte a comunicações oportunistas, assente numa arquitetura móvel, baseada num princípio de convergência dos grafo de contatos físicos e social de a cada um dos nós da rede. Pretende-se com esta proposta aproximar a comunidade no que diz respeito à abordagem a novas estratégias de encaminhamento e suporte ao desenvolvimento de serviços de rede e aplicações apropriados aos ambientes disruptivos terrestres mais usuais.

**Index Terms**—Redes oportunistas, tolerância a atrasos, informação de contexto, aplicações sociais, computação móvel.

## I. INTRODUÇÃO

As redes oportunistas constituem um conceito que se tem revelado promissor na busca pelo paradigma da internet de próxima geração. Estas estabelecem um cenário idêntico a uma Mobile Ad-hoc Network (MANET) no qual os nós existentes são capazes de comunicar uns com os outros, mesmo que nunca exista uma rota que os una diretamente [1]. No entanto também se distinguem destas na medida em que não assumem a necessidade de cada nó possuir ou adquirir conhecimento sobre a topologia da rede. O conceito de Delay-tolerant Networks difere um pouco desta definição já que assume uma arquitetura de rede formada por regiões separadas umas das outras, com cada uma a operar internamente numa pilha protocolar própria [2]. Isto é, e seguindo a definição à letra, existe a possibilidade de uma Delay-tolerant Network (DTN) ser formada por regiões que por sua vez correspondem a redes oportunistas. Independentemente destas diferenças de terminologia, ambas as abordagens se baseiam num princípio onde o encaminhamento de mensagens é feito à medida das necessidades, armazenando estas enquanto não surge uma oportunidade de expedição, estratégia à qual se dá o nome de *store-and-forward*.

As aplicações de rede social como Facebook<sup>1</sup> ou o Twitter<sup>2</sup> assumiram nos últimos anos uma escala global, registando atualmente subscrições na ordem das centenas de milhões de utilizadores. Estes que acedem diariamente a cada uma destas plataformas, para, à distância de um clique, comunicarem com a sua rede de amigos, conhecidos ou até estranhos, promoverem eventos, discutirem tópicos e partilharem conteúdos. Hoje em dia, o perfil social de cada pessoa quase que pode ser determinado através das atividades que esta inicia utilizando estes serviços. Em muitos casos, grande parte da sua vida pessoal foi completamente transposta para este novo mundo virtual, onde a “liberdade” dá asas à imaginação.

Pocket Switched Networks são redes oportunistas formadas por dispositivos de comunicação transportados por seres humanos, e constituem a sua vertente terrestre mais comum. Este tipo de cenário abre algumas perspetivas para o estabelecimento das chamadas redes sociais implícitas. Estas surgem de uma interação, entre pessoas (e aplicações) próximas entre si, totalmente emersa no contexto local, do qual resultam alguns indicadores sociais com uma enorme potencialidade de aplicação a vários níveis, no desenvolvimento de novas tecnologias e produtos.

Este trabalho baseia-se neste conceito para propor uma ferramenta de arquitetura móvel e pervasiva baseada em Android<sup>3</sup>, à qual chamamos SociAL-based OppOrtunistic Networking (SALOON) *framework*. O objetivo base desta *framework* passa pela disponibilização de uma *testbed* para o desenvolvimento de protocolos, serviços e aplicações para cenários oportunistas, integrada de base com componentes para a gestão de informação de contexto, particularmente, de cariz social. Concretamente, pretende-se promover a convergência de dois planos, o grafo de contatos físicos entre dispositivos num cenário oportunista, e o grafo social de cada um dos seus portadores, por forma a avançar com as seguintes contribuições:

- introduzir uma métrica correspondente ao peso de cada laço existente no grafo social das várias pessoas repre-

<sup>1</sup> <http://www.facebook.com>

<sup>2</sup> <http://www.twitter.com>

<sup>3</sup> <http://developer.android.com/index.html>

sentadas na DTN, que seja capaz de garantir alguma otimização adicional ao nível dos processos de encaminhamento;

- disponibilizar mecanismos de suporte aplicativo que permitam extrair parâmetros de contexto de ambos os planos e possam potenciar o desenvolvimento de ferramentas sociais mais inteligentes e adaptadas ao escopo local; e
- abrir a janela para a criação de *datasets* que contemplem esses indicadores na sua gênese e permitam avaliar a potencialidade associada aos conceitos anteriores, em parte propostos por outros autores através de análises empíricas, muitas vezes baseadas no senso comum.

## II. TRABALHO RELACIONADO

As redes oportunistas (ou tolerantes a atrasos) constituíram desde de sempre um enorme desafio no estabelecimento de processos de comunicação eficientes. Isso reflete-se particularmente ao nível do encaminhamento e da expedição, devido em grande parte à ausência de conhecimento sobre a evolução topológica da própria rede (movimento, aparecimento e desaparecimento dos nós). Os últimos anos têm sido férteis em propostas distintas na abordagem a este problema num contexto *store-and-forward*. Uma das características mais especiais deste tipo de redes é o fato dos processos de encaminhamento e expedição serem encarados como duas tarefas interligadas que efetivamente se realizam na mesma fase (rotas são construídas à medida que as mensagens vão sendo expedidas salto-a-salto).

Os esforços de classificação destas estratégias resultou no aparecimento de uma taxonomia relativamente popular que estabelece uma divisão inicial entre abordagens baseadas na utilização de infraestrutura e abordagens puramente móveis [1]. A última contempla uma outra divisão entre os chamados protocolos *dissemination-based* e *context-based*.

O Epidemic Routing [3] enquadra-se na primeira categoria, e consiste numa estratégia de encaminhamento básica (*broadcast*), onde as mensagens são espalhadas pela rede a cada novo contato, como se de uma doença epidémica se tratasse. Aquando em encontro entre nós, estes trocam um *summary vector* contendo uma representação compacta das mensagens que armazenam, e cada um requisita ao outro todas aquelas que ainda não possui. De fato, a versão mais recente do protocolo não determina um funcionamento tão rudimentar, possuindo inclusive alguns mecanismos de controlo de envio baseados na limitação do número total de cópias da mensagem em trânsito, ou do número de “saltos” que estas podem dar. Abordagens como a priorização das mensagens ou esquemas de codificação são amplamente utilizadas para esse fim.

A disseminação epidémica acaba por evidenciar um *tradeoff* entre o atraso na transmissão das mensagens e o *overhead* na rede. Um baixa percepção do atraso implica habitualmente a existência de um grande número de cópias distribuídas. É com o objetivo de mitigar este problema que surgem os chamados protocolos *context-based*. Concetualmente, estes operam de forma a selecionar mais eficientemente o próximo nó para

o qual devem expedir uma mensagem, através da correspondência que cada um possui com um determinado conjunto de indicadores de contexto. Quanto maior esta for, maiores são também as garantias oferecidas pelo nó em questão para entregar a mensagem ao destino final. Alguns autores vão mais longe, e dividem esta categoria em duas outras, *partially context-aware* e *fully context-aware*, mediante a natureza dos tais indicadores de contexto. Respetivamente, se estes dizem respeito a ambientes específicos ou possuem um carácter mais genérico [4].

Na primeira categoria, e considerando aqueles que possuem uma base “social”, distinguem-se algumas propostas como o BubbleRap [5], o FairRoute [6], o SimBet [7] e o People-Rank [8]. Todos se baseiam no fato de que os nós assumem uma importância diferente na rede e isso acaba por determinar a sua capacidade de encaminhamento de mensagens nesta. Na segunda, destacam-se essencialmente o HiBOP [9] e o ProPicman [10] que constroem uma espécie de perfil englobando alguns dados identificativos do portador ou informação relativa ao padrão de encontros verificados no passado, numa tentativa de “prever” comportamentos futuros que possam determinar alguma tendência relativa às garantias de encaminhamento que estes podem ou não oferecer.

O Hagggle<sup>4</sup> surge como uma plataforma de testes ideal para a maioria destes protocolos, visto que privilegia uma arquitetura de rede *data-centric* na qual o contexto social, essencialmente sob a forma de interesses e preferências, encaixa relativamente bem. Nesta abordagem a base de encaminhamento deixa de ser a mensagem em si, e passa a ser o seu conteúdo, o que garante uma melhor seleção dos nós para os quais esta deve ser encaminhada, sendo que estes assumem o tal interesse ou preferência por esse conteúdo [11], [12]. Projetos como o SOCIALNETS<sup>5</sup>, têm originado várias propostas baseadas em modelos de mobilidade suportados por conceitos de comunidade e redes sociais [13]. Estes descrevem, a níveis diferentes, padrões de comunicação entre os nós, como a duração dos contatos e o intervalo de tempo entre cada um, como estando relacionados com algumas propriedades das redes complexas de escala livre, como os grafos sociais, apresentando por vezes uma natureza característica de *small-worlds*, onde todos os nós se encontram interligados a uma maior ou menor distância por *hubs* de elevado grau social, ou seja, com crescentes ligações que garantem esse maior alcance no grafo.

Tendo em conta este último aspeto, alguns autores encontram-se neste momento a tentar construir a ponte entre uma representação de um grafo social mais concreto (com dados reais sobre as relações de cada elemento) e o grafo dos contatos oportunistas numa DTN [14], [15]. No entanto, na maioria dos casos, o esforço tem passado por alternativas não-baseadas na experimentação real ou no desenvolvimento de qualquer arquitetura de suporte.

Por outro lado, a nossa proposta distingue-se de todas as outras em alguns aspetos importantes. Acima de tudo, assume

<sup>4</sup> <http://www.hagggleproject.org/>

<sup>5</sup> <http://www.social-nets.eu/>

uma postura inovadora e arrojada na medida em que vê a solução DTN como resposta a uma necessidade complementar e não exclusiva. Isto é, baseia-se no *status-quo* ao assumir que os cenários de aplicação destas redes são cada vez mais reduzidos, como consequência da evolução tecnológica não só ao nível das redes sem fios e celulares (de 3ª e 4ª geração), que promovem melhores performances, maior cobertura e alcance, como também ao nível do *hardware* dos dispositivos móveis como os *smartphones*, que possuem uma panóplia considerável de interfaces de rede e serviços de comunicação. No entanto, assume também, que apesar de reduzidos, estes cenários vão continuar a existir, isto porque existem locais aos quais será sempre impossível fazer chegar essa infraestrutura de comunicação, e mesmo quando tal não acontece, a mesma infraestrutura continua sujeita a determinados fatores que podem contribuir para o seu mau funcionamento, ou ausência deste (por exemplo, desastres naturais, ataques terroristas ou cibernéticos).

Consequentemente, a proposta assume também, por outro lado, que por mais raras que possam ser as oportunidades de conectividade global (obtida através do acesso à internet) estas vão sempre existir. Logo, devem ser aproveitadas ao máximo para, particularmente, enriquecer ainda mais o contexto existente entre os dispositivos de comunicação, as pessoas que os utilizam, e os restantes pares numa rede. Isto permite-nos introduzir um outro componente inovador, que assume um papel de extrema importância no nosso trabalho, que consiste na utilização desse contexto não só na melhoria e otimização de alguns processos de *networking*, mas também na criação de novas perspetivas aplicacionais.

### III. CONCEITOS GERAIS

Essencialmente, o trabalho de desenvolvimento da *framework* passou pela aplicação de um conjunto de conceitos relativos a modelos e arquiteturas de suporte DTN, uma avaliação ao nível dos esquemas de encaminhamento ou de expedição apropriados, promovendo também um estudo teórico do impacto da utilização de informação de contexto (de cariz social) a estes e a outros níveis.

#### A. Modelo DTN e Bundle Protocol

As DTNs apareceram inicialmente como uma forma de aperfeiçoar os modelos de comunicação espacial/interplanetária existentes até então. As primeiras propostas surgiram através da iniciativa Interplanetary Internet (IPN) que resultou na criação de um grupo de trabalho específico no seio do Internet Research Task Force (IRTF) para lidar exclusivamente com questões relacionadas com este paradigma de comunicação, o Interplanetary Internet Research Group (IPNRG). O trabalho do grupo passava por estudar ambientes de rede (particularmente o espacial) caracterizados pela baixa potência, largura de banda assimétrica, longos atrasos e altas taxas de erro. O grupo concluiu que uma simples extensão ao modelo TCP/IP não seria suficiente para fazer face a todos estes problemas. Foi então proposta uma nova abordagem à qual chamaram *bundling* cujo princípio consistia na formação de

uma rede *overlay* baseada num esquema de *store-and-forward* sobre qualquer rede com as características referidas [16].

Mais tarde, alguns membros da comunidade decidiram estudar outros cenários, para além do espacial, onde a comunicação também estaria sujeita a fortes atrasos e cortes repentinos, aos quais chamaram *challenged-environments* [2]. Isto levou ao estabelecimento de um novo conceito base que pudesse ser alargado a este tipo de ambientes, o que resultou eventualmente no aparecimento do termo DTN. Esta nova visão levou também à transformação do IPNRG na naquilo que, hoje em dia, é conhecido por Delay-tolerant Networking Research Group (DTNRG). Para além do DTNRG, existem hoje em dia, outros organismos que possuem visões relativamente distintas sobre o propósito das DTNs [16], [17], no entanto, todos acabam geralmente por convergir num mesmo sentido em relação ao papel do Bundle Protocol (BP).

O BP é aceite como a tecnologia de rede ideal para aplicar em cenários onde se pressupõe tolerância a atrasos. Este é responsável pela comunicação na rede de *overlay*, funcionando sobre uma camada de convergência cujo desenho condiz com possíveis protocolos de nível inferior. Oferece formas de lidar com ligações intermitentes, e a capacidade de aproveitar contactos agendados, previstos ou oportunistas, disponibilizando mecanismos de armazenamento persistente para garantir a implementação do *store-and-forward*. Segue uma filosofia de *late binding* dos *end-point identifiers* (EIDs) na rede *overlay* para endereços específicos de cada camada de convergência, processo este que também aplica na resolução de nomes, através de um esquema baseado em Uniform Resource Identifiers (URIs). Pressupõe um modelo troca de mensagens (e não comutação de pacotes), denominadas *Application Data Units* (ADUs), que na sua forma mais simples, se encontram divididas em *bundles*. Para tal efeito, disponibiliza também alguns mecanismos adicionais de transferência de custódia sobre estes *bundles* e de confirmações de receção *end-to-end*.

#### B. PROPHET

O Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (PROPHET), protocolo na categoria *partially context-aware*, é provavelmente o esquema de encaminhamento de referência em arquiteturas DTN. Este introduziu um princípio inovador (e ao mesmo tempo básico) que consiste no seguinte: considerando três nós distintos, *A*, *B* e *C*, se *A* encontra frequentemente *B*, e por sua vez *B* encontra frequentemente *C*, então *A* e *C* estão também ligados através de uma alta (numa medida equivalente a *B*) previsibilidade de entrega de mensagens entre si. O funcionamento subjacente é similar aquele que é proposto pelo *Epidemic Routing* distinguindo-se apenas pela adição de um mecanismo de controlo de envio baseado no conceito de probabilidade de entrega. Conceitualmente, durante um encontro, os nós em contacto trocam, para além do respetivo *summary vector*, um novo vetor contendo uma probabilidade de entrega para cada um dos nós com os quais já se encontraram. Como resultado disto, os nós apenas obtêm um do outro, as mensagens para os quais possuem uma maior probabilidade de entrega ao

destino final. Esta probabilidade de entrega é determinada essencialmente pela frequência de contatos que cada possível nó intermediário tem com o destino final ou com outros nós que eventualmente ofereçam melhores condições de entrega.

### C. Informação de Contexto

Uma possibilidade para a definição de contexto é aquela apresentada em [18] que considera um conjunto de objetos distribuídos associados a dispositivos móveis com funcionalidades de comunicação. Objetos estes referidos como *peers*, cujo contexto é caracterizado por um conjunto de parâmetros externos à sua implementação e com influência no seu comportamento. O contexto em si é dividido em duas categorias:

- **Contexto Individual.** Uma visão global egocêntrica do *peer* que representa um conjunto de parâmetros existentes num ambiente diretamente acessível ao dispositivo, que englobam informação sobre os seus recursos energéticos, de armazenamento ou memória, a localização física, a temperatura, entre outros.
- **Contexto Social.** Conjunto de parâmetros associados a outros *peers* e disponíveis na proximidade do *peer* em questão, estando este perfeitamente consciente da sua existência.

Esta análise enquadra-se apenas num ponto de vista da rede. O papel do contexto pode também ser descrito num âmbito mais aplicacional. Há quem o defina como qualquer informação que possa ser usada para caracterizar a situação envolvente a uma entidade, seja ela uma pessoa, um local ou um objeto considerados relevantes à interação entre um utilizador e uma aplicação ou até mesmo entre aplicações [19]. Outros vão mais longe na definição procurando enaltecer a importância da existência de um perfil de utilização. Este perfil engloba indicadores sociais dos laços que o utilizador mantém com os seus pares, os seus interesses e preferências, e tudo aquilo que possa ser fundido com informação disponibilizada por componentes existentes em dispositivos de comunicação modernos como acelerómetros, microfones, câmeras, bússolas ou até mesmo dados obtidos através de redes de sensores externos [20].

Qualquer uma das definições se enquadra na visão que este trabalho pretende transmitir. Por um lado pretende-se privilegiar a existência do tal perfil de utilização, que acima de tudo ajuda a estabelecer qual a natureza das relações sociais que um utilizador possui, não só pelos tais interesses e preferências comuns associadas a cada relação, mas também, essencialmente através da análise da atividade em cada um destes laços. Através de serviços como o Facebook ou o Twitter, passa a ser possível medir esta atividade examinando alguns indicadores como a quantidade de *posts* ou qualquer mensagem que os utilizadores troquem entre si através da aplicação, referências a localizações geográficas comuns ou até mesmo fotos onde estes eventualmente apareçam juntos. Por outro lado, é também importante, particularmente num ambiente como o que é proposto, ter uma noção concreta das limitações tecnológicas que a rede e o próprio dispositivo apresentam. Isto aplica-se numa perspetiva de comunicação global

e em particular na influência ao nível do encaminhamento e suporte aplicacional (tal como a nossa abordagem propõe).

## IV. ARQUITETURA

Em termos estruturais, o sistema que se pretende propor é constituído por um componente essencial, um serviço de rede disponibilizado em dispositivos baseados na plataforma Android. Por sua vez, esse serviço deve adaptar-se a dois contextos de funcionamento distintos. Um cenário puramente oportunista, formado a um nível concetual pelas pessoas que efetivamente transportam os dispositivos—PSN, e onde a comunicação é feita entre estes através do mesmo serviço. Outro cenário prevê a possibilidade de utilização da internet para privilegiar um outro serviço que disponibiliza *plugins* de integração com plataformas *online* de rede social.

### A. Visão Global

O principal objetivo do sistema passa pela disponibilização de mecanismos capazes de processar informação de contexto aplicacional e de, entre outras coisas, a aplicar como modelo de otimização dos processos de comunicação e encaminhamento em DTNs. O cenário de aplicação previsto, onde se assume que os nós que formam a rede correspondem efetivamente a dispositivos de comunicação transportados por humanos, leva a uma tendência natural para privilegiar o lado mais social desse contexto. É importante estabelecer qual o conjunto de parâmetros que podem formar essa componente social e qual a sua origem, isto é, de que forma e em que condições é que são obtidos. Os contatos em si criam condições para o aparecimento de algumas métricas que podem ser avaliadas como componentes da relação social entre os nós intervenientes. No entanto, estes parâmetros não são suficientes para perceber por exemplo, qual a natureza do relacionamento entre os nós, e originam um escopo “local” bastante restritivo que dificulta a criação de esquemas de *routing* mais inteligentes e com capacidade de tomar outro tipo de decisões de envio com um maior alcance na rede.

O conhecimento sobre a natureza desses laços sociais permite a construção de caminhos para o envio de uma mensagem que oferecem mais garantias de entrega desta, bem como maior segurança e privacidade. A primeira consideração é especialmente importante numa situação onde a rede ainda é demasiado pequena (metáfora do “ovo” e da “galinha”) ou bastante esparsa e é necessário fazer uma escolha criteriosa de quais os nós mais habilitados para fazerem a mensagem chegar ao destino. A segunda é da mesma forma crítica, na medida em que existe a necessidade (que pode variar entre utilizadores) de manter um certo nível de privacidade em relação ao conteúdo das próprias mensagens e não só. Para tal a escolha do nó para o qual devem ser transmitidas essas mensagens passa por aqueles que oferecem um maior grau de confiança. São este tipo de considerações que nos permitem distinguir os tipos e os padrões dos encontros, se estes são entre pessoas conhecidas ou desconhecidas e onde normalmente ocorrem [21]. Faz sentido separar ligações existentes entre dispositivos apenas porque as pessoas que os transportam se cruzam todos os

dias, por exemplo a caminho do local de trabalho (*familiar strangers*), de outras onde os portadores mantêm efetivamente um laço social.

Uma forma possível, e perfeitamente adequada aos padrões tecnológicos mais recentes, de identificar esse laço social consiste em determinar se este é registado como tal, em alguma plataforma *online* apropriada como o Facebook. É comum, hoje em dia, este tipo de serviços disponibilizar alguma interface de comunicação exterior, habitualmente sob a forma de uma *Application Programming Interface* (API), através da qual podem ser obtidas (mediante algumas permissões concedidas por cada utilizador) determinados indicadores que permitem avaliar o peso da relação de uma pessoa com todas aquelas que fazem parte do seu grafo social. O processo de comunicação com estas interfaces apenas é possível num contexto de conectividade global, onde existe disponível uma ligação à internet, seja diretamente através das interfaces de rede do próprio dispositivo, ou de algum componente externo a funcionar como *gateway*. Isto faz com que o sistema tome proporções que acabam por ultrapassar o escopo de um ambiente DTN.

Daí a existência de dois possíveis “estados” nos quais o sistema se pode encontrar, um onde é garantida a tal possibilidade de comunicação com um serviço social *online* ao qual chamamos *connected*, e outro no qual o nó se encontra num cenário puramente oportunista ao qual optamos por chamar *disrupted*. No primeiro cenário, obviamente terá de existir uma ligação implícita à internet seja através de uma ligação Wi-Fi ou celular. Num contexto ad-hoc, e caso o nó se encontre no estado *connected* existe também a possibilidade deste comunicar diretamente com um outro nó através de uma outra interface de rede apropriada (por exemplo, Bluetooth). O sistema tem em conta todas estas possibilidades assumindo um formato tal como aquele ilustrado pela Figura 1.

A ligação com os serviços sociais *online* é estabelecida através de componentes próprios tipo *plugin*, de forma a garantir a existência de mecanismos específicos apropriados para gerir os diferentes subconjuntos de indicadores de contexto que cada serviço disponibiliza. Isto porque cada um destes espelha a sua própria visão do grafo social de utilizadores que normalmente é diferente dos restantes, apesar de existirem cada vez mais tentativas para normalizar essa situação<sup>6,7</sup>.

Os *plugins* lidam com a parte mais custosa do processo que envolve a travessia do grafo social e a computação do conjunto métricas disponíveis, de maneira a efetuar o cálculo do peso de cada laço social do utilizador. Tendo em conta as limitações de recursos dos dispositivos, não faz sentido estes assumirem um papel ativo no processo, e sendo assim é proposto um esquema onde os *plugins* se encontram acessíveis *online*, quando “embebidos” na *cloud* ou, em último caso, podem ser instalados num qualquer servidor a funcionar como *gateway*. A vertente pervasiva do sistema foi desenvolvida em Java (Dalvik), para *smartphones* Android, e é constituída por um pacote

aplicacional que inclui entre outros, uma implementação já existente do BP (Bytewalla<sup>8</sup>), e uma pequena base de dados onde é persistida alguma informação extraída de cada um dos encontros que envolveram o dispositivo em questão. No topo, existe uma simples aplicação de gestão, que permite entre outras coisas, manter o registo e as credenciais de acesso para os serviços sociais disponibilizados.

## B. Organização Interna

Internamente, o pacote aplicacional assume um formato idêntico ao ilustrado na Figura 2. Apesar desse não ser o objetivo principal, a estrutura foi também planeada por forma a facilitar a criação de novas aplicações, tipo *Mobile Social Computing Application* (MSCA), sobre o próprio sistema. Estas podem então privilegiar o peso das relações sociais em alguma das suas funcionalidades, registando-se como “consumidoras” dos *plugins* disponíveis. A integração pode também ser feita com o próprio grafo de encontros físicos e é proporcionada por um componente próprio—o *Context-Manager*. Para tal, este componente, de natureza *cross-layer*, disponibiliza interfaces de comunicação com cada *plugin* e com a própria base de dados. Esta, por sua vez, funciona como um módulo externo, existindo no sistema operativo sob a forma de diferentes *Content Providers*<sup>9</sup>, o que permite à informação persistida estar diretamente disponível (através do uso de *Intents*<sup>10</sup> apropriados) para qualquer aplicação externa ao sistema, caso exista alguma necessidade especial que implique a não utilização do *Context Manager*.

A título de exemplo, uma aplicação podia beneficiar da arquitetura proposta, disponibilizando mecanismos de recomendação *matchmaking*, entre outras funcionalidades de carácter homofílico, onde o contexto relativo ao grafo de contatos possa ser potenciado para promover a descoberta de novas amizades numa espécie de rede social ad-hoc, sempre com base nos encontros diretos entre os nós via serendipidade, por exemplo numa perspectiva *friend-of-a-friend*. Da mesma forma, o perfil social de cada utilizador pode também ser utilizado num âmbito mais orientado à divulgação de conteúdos com base nos interesses e preferências, locais visitados, entre outros casos de uso.

Na Figura 2, são perceptíveis algumas funcionalidades concretas do componente móvel do sistema, nomeadamente:

- 1) O processo de persistência dos parâmetros de contexto dos encontros, implementada através integração do *Contact Manager* (componente de raiz no Bytewalla) com o *Content Provider* apropriado (A), no qual se processam operações de gestão dos dados. Os parâmetros pertencem a um subconjunto que engloba a frequência de contatos, a duração média de cada um, o intervalo de tempo médio entre estes e a sua localização.
- 2) A obtenção de uma representação do grafo social na deteção de um encontro, pelo *Contact Manager* e através

<sup>6</sup> <http://code.google.com/apis/socialgraph/>

<sup>7</sup> <http://www.foaf-project.org/>

<sup>8</sup> <http://www.tslab.ssvl.kth.se/csd/projects/1031352/>

<sup>9</sup> <http://developer.android.com/guide/topics/providers/content-providers.html>

<sup>10</sup> <http://developer.android.com/guide/topics/intents/intents-filters.html>

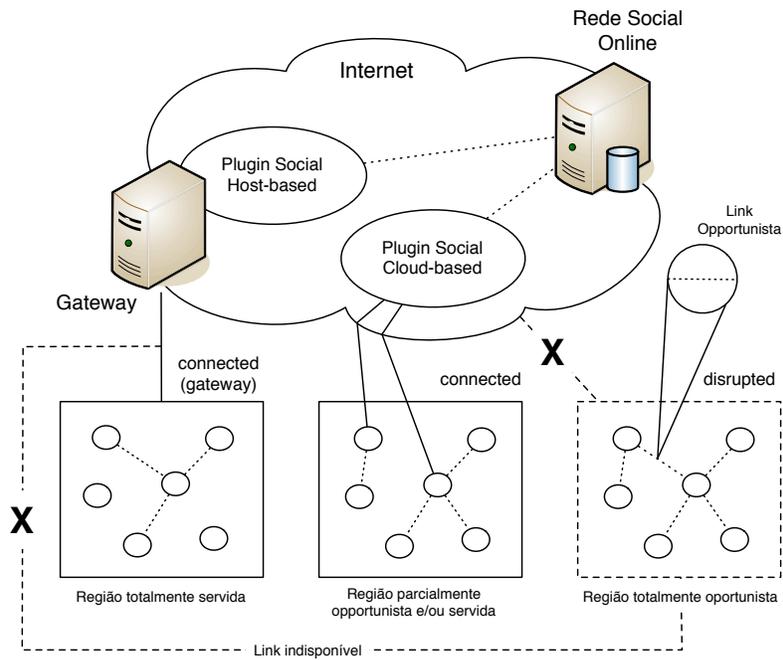


Figura 1. Arquitetura de rede do sistema (perspetiva global).

do *Context Manager* ( $B$ ) por forma a garantir o processo de enriquecimento do padrão de encontros, tal como descrito na secção V.

- 3) A deteção dos encontros em si, feita através de um processo de descoberta de vizinhos onde cada nó faz o *broadcast* de um anúncio próprio reconhecido por todos aqueles que se encontram na sua proximidade. Este mecanismo apesar de poder, em teoria, funcionar à escuta em várias interfaces de rede, resume-se neste caso apenas a uma alternativa baseada em IP<sup>11</sup>, visto o Bytewalla apenas implementar de raiz uma camada de convergência TCP<sup>12</sup> ( $C$ ), o que torna impossível optar por exemplo por um processo de descoberta baseado em Bluetooth. Devido à mesma limitação, toda a troca de mensagens num contexto oportunista apenas é feita via Wi-Fi em modo ad-hoc.
- 4) A descoberta de serviços faz-se da mesma forma, e cada nó anuncia o seu *token* social (identificador do seu perfil nos serviços sociais *online* nos quais se encontra registado) o que permite estabelecer desde logo a relação direta com o endereço que mantém no contexto oportunista (EID).

## V. APLICAÇÃO PROTOCOLAR

Apesar do objetivo principal deste trabalho residir na proposta da SALOON framework, é importante fazer uma avaliação do impacto que a informação de contexto possa ter em alguns dos componentes previstos. Uma das ideias passava por uma análise dos benefícios, por exemplo, ao

nível do encaminhamento. Nesse sentido avançou-se com uma proposta teórica, a esse nível, usando como referência um dos protocolos mais populares no modelo DTN, o PROPHET.

A estratégia base do PROPHET resulta de um esquema para expedição de mensagens baseado na previsibilidade que cada nó da rede apresenta para entrega destas ao destino final. Como consequência da variação de encontros entre os nós ao longo do tempo (sejam estes entre nós da mesma, ou de uma distinta “região”), o valor dessa previsibilidade também varia mediante a frequência com que estes ocorrem entre o mesmo par de intervenientes. Isto é, num encontro entre um nó  $A$  e um nó  $B$ , a previsibilidade de entrega de um ao outro é calculada (ou re-calculada) para cada um destes, na sua própria perspetiva. Dá-se o cálculo da previsibilidade de entrega de  $A$  a  $B$ — $P_{(A,B)}$ , e de  $B$  a  $A$ — $P_{(B,A)}$ , respetivamente em  $A$  e em  $B$ . O valor resulta da aplicação da Equação 1, onde  $P_{encounter} \in [0, 1]$  é um fator de escala que aumenta à medida que ocorrem novos encontros com o nó em questão, neste caso  $B$ , e  $\delta \in$

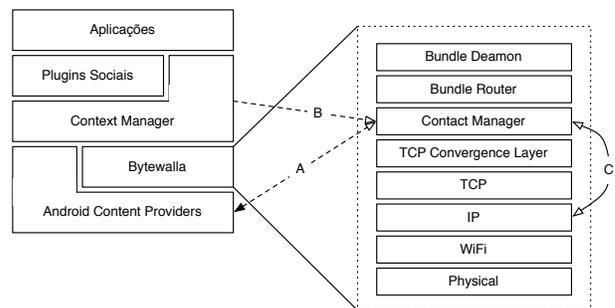


Figura 2. Organigrama em pilha do componente móvel do sistema.

<sup>11</sup> <http://tools.ietf.org/id/draft-irtf-dtnrg-ipnd-01.txt>

<sup>12</sup> <http://tools.ietf.org/html/draft-irtf-dtnrg-tcp-layer-02>

$[0, 1]$  corresponde a um valor (habitualmente muito reduzido) utilizado para determinar um limite superior para a gama de valores de previsibilidade (isto porque se assume  $P_{(x,y)} = 1$ , sse  $x = y$ ).

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)_{old}} + (1 - \delta - P_{(a,b)_{old}}) * P_{encounter} \quad (1)$$

A propriedade transitiva do protocolo também se deve refletir na atualização dos valores da previsibilidade de entrega de cada nó, mas neste caso, para os restantes nós que não aquele com o qual têm o encontro. Esta atualização é feita após uma troca inicial de um conjunto de mensagens, contendo estruturas de dados próprias, entre ambos os nós em contato. Este processo denomina-se por *routing information exchange* e consiste no envio mútuo, numa oportunidade de contato, de uma ou mais mensagens que incluem um dicionário dos EIDs que identificam cada um dos nós “conhecidos”—*Routing Information Base Dictionary* (RIBD)—e posteriormente uma outra estrutura *Routing Information Base* (RIB), que por sua vez mantém uma associação entre cada EIDs e o respetivo valor da previsibilidade de entrega (ao nó destino) que estes apresentam. Por questões de otimização ao nível do processamento das mensagens, essencialmente para descrever um formato uniforme, ambas as estruturas são codificadas num *Type-length Value* (TLV)<sup>13</sup>. Da mesma maneira, sempre que possível, os valores numéricos são descritos através de *Self-Delimiting Numeric Values* (SDNVs)<sup>14</sup>.

Por forma a distinguir os contatos efetivos daqueles não intencionais, como por exemplo, resultantes de um re-estabelecimento de uma ligação que possa ter sido interrompida devido a artefatos ou falhas momentâneas na rede, estabelece-se um valor ( $I\_typ$ ) para o intervalo de tempo médio entre contatos—tendo em conta o cenário de aplicação e como consequência a frequência de contatos “esperada”—por forma a garantir um maior controlo sobre essas situações. Isto é, o fator  $P_{encounter}$  apenas pode aumentar na existência de contatos efetivos, logo o aumento resultante de um conjunto de vários contatos não intencionais (dentro do intervalo de tempo especificado) deve acontecer na mesma medida do aumento resultante de um único novo contato efetivo. Para esse intervalo de tempo é também estabelecida uma constante correspondente ao limite superior do valor deste fator, no caso,  $P_{encounter\_max}$ . Assim, o valor do fator resulta da aplicação da Equação 2, sendo calculado em função do tempo  $t$  passado desde o último encontro por forma a determinar a natureza do contato.

$$P_{encounter}(t) = \begin{cases} P_{encounter\_max}, & \text{se } t \geq I\_typ \\ P_{encounter\_max} \times \frac{t}{I\_typ}, & \text{se } t < I\_typ \end{cases} \quad (2)$$

Considerando o mesmo cenário, e mais uma vez, do ponto de vista do nó  $A$ , o protocolo define um processo de atualização [22] dividido em três fases distintas:

- 1) No primeiro encontro entre os nós, onde não é conhecido qualquer valor histórico,  $P_{(A,B)}$  é calculado assumindo

$P_{encounter} = P_{encounter\_first} = 0.5$ , isto se não existir qualquer dado adicional (fora do contexto do protocolo) que permita tecer considerações sobre possíveis encontros futuros. Em encontros subsequentes, o valor de  $P_{encounter}$  é calculado usando a Equação 2 mediante as condições em questão.

- 2) Antes de se iniciar o processo de *routing information exchange*, cada nó atualiza o valor da previsibilidade para todo o nó  $X$  que este “conhece” utilizando a Equação 3, onde  $\gamma \in [0, 1]$  é uma constante de envelhecimento que determina a rapidez com a qual o valor de  $P_{(A,X)}$  diminui e  $k$  é o número de unidades de tempo consumidas desde a última atualização.
- 3) Após terminado o processo de *routing information exchange*, e por forma a aplicar a propriedade transitiva, cada nó volta a proceder a uma nova atualização, neste caso de todos os valores de previsibilidade para todo o nó  $Y$  que por transitividade é alcançável através de  $B$ . Neste caso, o valor obtido através da aplicação da Equação 4, onde  $\beta \in [0, 1]$  é uma constante que determina o peso da propriedade transitiva na decisão de expedição das mensagens.

$$P_{(A,X)} = P_{(A,X)} \times \gamma^k \quad (3)$$

Findo este processo, cada um dos nós em contato envia uma nova estrutura codificada como TLV que essencialmente lista alguns meta-dados, particularmente o EID do destino final, para todos aqueles *bundles* pretende expedir—*Bundle Offer* (BO). Ambos os nós analisam esta estrutura e determinam quais os *bundles* a requisitar, construindo uma lista (ordenada de acordo com as suas políticas de expedição) daqueles que se possam adequar à sua capacidade para os fazer chegar ao destino. Esta lista é enviada ao nó que pretende expedir a mensagem que por sua vez lhe envia os respetivos *bundles* na ordem estabelecida. Se o algum dos nós corresponder ao destino final de algum *bundle* então este é retirado da *queue* de envio e eventualmente será consumido. Caso contrário, e se algum destes se encontra nesse momento em contato com um outro nó, e assumindo que mesmo contato já alcançou a mesma fase do processo, passa a haver a possibilidade, caso se justifique, de enviar imediatamente para este uma BO por forma a avaliar se é um melhor candidato para manter alguns dos *bundles* que possa ter recebido nessa fase.

$$P_{(A,Y)} = P_{(A,Y)_{old}} + (1 - P_{(A,Y)_{old}}) \times P_{(A,B)} \times P_{(B,Y)} \times \beta \quad (4)$$

A nossa abordagem surge como forma de otimizar este mecanismo de expedição, e reside na adoção de algumas estratégias inovadoras no calculo dos valores da previsibilidade de entrega. Assim, propõe-se uma métrica à qual chamámos *Afinidade Social*, que resulta da correlação dos indicadores de contexto, na nossa ótica mais apropriados, para determinar o peso de um laço social registado por exemplo no Facebook. Esta métrica é posteriormente aplicada na cobertura de algumas lacunas ou situações dúbias no processo de atualização

<sup>13</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Type-length-value>

<sup>14</sup> <http://www.dtnrg.org/wiki/SDNV>

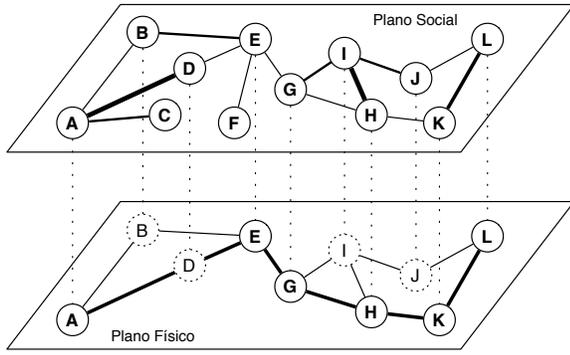


Figura 3. Convergência do grafo social e do grafo de encontros físicos na transmissão de uma mensagem de  $A$  para  $L$ .

da previsibilidade descrito anteriormente. No fundo, o objetivo passa por unificar o plano social com plano de encontros físicos, tal como é ilustrado pela Figura 3. Deste modo, um nó possui uma representação alternativa da rede que deve utilizar na construção dos melhores caminhos pelos quais pode expedir a mensagem.

Esta ideia surge no seguimento de algumas conclusões já alcançadas por outros autores, que partindo do mesmo princípio, provam através de uma análise empírica que existe uma relação entre a atividade que duas pessoas geram entre si no Facebook e a tendência de encontros físicos entre ambas no mundo real [15]. Essa relação reside essencialmente no tipo de ligação as une (se são amigos, familiares, colegas ou conhecidos) e a quantidade de eventos de comunicação que promovem entre si (*posts*, *likes* e comentários). No fundo, as conclusões determinam que quanto mais forte é o relacionamento, maior é também o número de eventos registados tal como o número e até a duração dos encontros físicos.

Numa perspetiva de encaminhamento, a afinidade social constitui uma métrica adicional na definição do comportamento de um protocolo. Por outro lado, serve ao mesmo tempo como referência (na medida em que se avalia uma possível convergência) na comparação com outras estratégias baseadas num modelo probabilístico, tais como o PROPHET. O modelo é idêntico em qualquer uma das abordagens, no entanto passa a existir um termo de avaliação de adicional que se pretende complementar aquele que é desde logo usado.

Assim, considera-se que a afinidade social entre dois nós  $A$  e  $B$ ,  $SA_{(A,B)}$  possui a mesma gama de valores que a previsibilidade de entrega logo  $SA_{(A,B)} < 1$ , se  $A \neq B$ . A cada atualização, o seu valor resulta da aplicação da Equação 5 onde  $i$  corresponde a um indicador de contexto,  $size(i)$  corresponde ao valor discreto desse indicador,  $max(i)$  corresponde ao limite superior para esse valor discreto e  $w$  corresponde ao peso atribuído ao indicador. Pretende-se que  $size(i)$  indique um valor quantitativo do número de interações entre os utilizadores para o indicador de contexto em questão, por exemplo, o número de *posts* que estes trocaram entre si no Facebook. No mesmo sentido,  $max(i)$  representa o maior número de *posts* trocados com um determinado elemento

do grafo social. Por outro lado  $w$  é um valor determinado pelo *plugin* e diz respeito à importância percentual de cada um dos indicadores.  $\lambda$  é um fator de que determina a significância de um utilizador na rede em relação ao tamanho total do grafo social, ou seja, para um grafo com 100 nós,  $\lambda = 0.01$ .

$$SA_{(A,B)} = \sum_i^n \frac{size(i) \times w}{max(i)} \times (1 - \lambda) \quad (5)$$

Obviamente que a atualização apenas é feita em situações onde existe uma ligação à internet que permita estabelecer um canal com o *plugin* e o respetivo serviço social. Esta é feita por um componente implementado através de um *Service*<sup>15</sup> Android que se encontra à “escuta” nas interfaces de rede do dispositivo, determinando quando existe efetivamente uma ligação ativa à internet para poder iniciar o processo. Para evitar qualquer *overhead* adicional estabeleceu-se um intervalo temporal mínimo de uma semana, a considerar, entre atualizações, um valor razoável numa perspetiva de evolução das propriedades grafo social.

Aquilo que se propõe em concreto é aplicar o valor da afinidade social entre dois nós, essencialmente no cálculo da previsibilidade de entrega ao primeiro encontro. Isto porque achamos que o valor, por omissão, estabelecido pelo PROPHET não tem qualquer significado na medida em que cada nó assume uma importância diferente na rede. Concretamente, considerando um encontro entre  $A$  e  $B$ ,  $P_{encounter\_first}$  é calculado através da interpolação linear representada pela Equação 6, onde  $X$  e  $Y$  correspondem aos nós para os quais, os valores da afinidade social  $SA_{(A,X)}$  e  $SA_{(A,Y)}$  respetivamente, são aqueles imediatamente abaixo e acima do valor  $SA_{(A,B)}$ .

$$P_{e,f} = P_{(A,X)} + \frac{(P_{(A,Y)} - P_{(A,X)}) \times (SA_{(A,B)} - SA_{(A,X)})}{SA_{(A,Y)} - SA_{(A,X)}} \quad (6)$$

As restantes atualizações ao longo do tempo desenrolam-se naturalmente, de acordo com o processo descrito pelo PROPHET. Por outro lado, é necessário ter em conta alguns casos especiais, nomeadamente a inexistência da representação de qualquer um dos grafos (social ou de encontros) que forcem obrigatoriamente o *fallback* ao processo original. Existem outras possibilidades de aplicação da nova métrica, por exemplo, na ponderação ao nível da função de envelhecimento e da propriedade transitiva, que também parecem não seguir qualquer regra de distinção do papel de cada nó. O impacto social poderia acentuar ou amortizar o valor de cada uma destas propriedades mediante padrões idênticos aquele que é seguido no caso do primeiro encontro. A estratégia passou por exemplificar o cenário do primeiro encontro, visto ser aquele que na nossa opinião parece ter um maior impacto a curto prazo.

Infelizmente, esta estratégia não pode desde logo ser validada em ambiente de simulação e testes visto que ainda não se encontra disponível (pelo menos publicamente) qualquer *dataset* que contemple os indicadores necessários ao cálculo da

<sup>15</sup> <http://developer.android.com/guide/topics/fundamentals/services.html>

afinidade social. E essa é outra das principais motivações que nos leva a propor a SALOON framework, pois acreditamos que venha a facilitar experiências futuras no sentido da recolha e análise dessa informação. No fundo, a proposta surge como forma de validar algumas conclusões retiradas em trabalhos como [15] ou [14], onde a tal convergência de grafos é ponderada, sendo que a nossa solução pretende efetivamente fazer transparecer esse componente.

## VI. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho consiste numa avaliação dos benefícios ao nível da comunicação em Delay-tolerant Networks, particularmente num contexto de Pocket Switched Network, que podem surgir da convergência das representações do grafo relativo aos encontros oportunistas registados por cada um dos nós da rede, e do grafo social social do seu portador. Partindo duma premissa onde é assumido que nas condições atuais, a evolução tecnológica ao nível dos dispositivos de comunicação e das próprias redes garante que vão existir sempre oportunidades de ligação à rede global (por mais raras estas que sejam), conclui-se que estas devem ser aproveitadas na medida do possível, para enriquecer o contexto subjacente à interação de um utilizador com o seu dispositivo de comunicação e outros na sua proximidade. Para tal, apresenta-se um protótipo da SALOON *framework*, desenvolvida sobre um sistema distribuído (assente numa arquitetura móvel) que visa responder a conjunto de necessidades, neste tipo de ambientes, a vários níveis.

A *framework* pretende funcionar como *testbed* para a promoção do desenvolvimento de novas estratégias na otimização dos processos de encaminhamento em redes oportunistas através da introdução de parâmetros de contexto social, obtidos através de plataformas como o Facebook. Isto, por sua vez leva-nos a apresentar uma nova métrica—afinidade social—que funciona como um indicador na avaliação da natureza dos relacionamentos entre os nós, e portanto útil para uma construção mais eficiente de caminhos para a transmissão de mensagens na rede. Como consequência, pretende-se que o protótipo seja usado na recolha de dados que permitam validar alguns dos conceitos introduzidos e fomentem o aparecimento de novas oportunidades de investigação. Apresenta-se em concreto um caso de uso para aplicação da nova métrica e uma análise teórica sobre o impacto desta. Por outro lado, avaliam-se também alguns cenários adicionais, nomeadamente ao nível aplicacional que podem beneficiar com a introdução dos novos parâmetros contextuais.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. Pelusi, A. Passarella, and M. Conti, "Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 44, no. 11, pp. 134–141, November 2006.
- [2] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," in *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, ser. SIGCOMM '03. New York, NY, USA: ACM, 2003, pp. 27–34.
- [3] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks," Department of Computer Science, Duke University, Durham, NC, 2000, CS, June 2000.
- [4] M. Conti, J. Crowcroft, S. Giordano, P. Hui, H. Anh Nguyen, and A. Passarella, "Routing issues in opportunistic networks," in *Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications*, 1st ed., B. Garbinato, L. Rodrigues, and H. Miranda, Eds. Springer Publishing Company, Incorporated, 2009, ch. 6, pp. 121–147.
- [5] P. Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, "Bubble rap: social-based forwarding in delay tolerant networks," in *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, ser. MobiHoc '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 241–250.
- [6] J. M. Pujol, A. L. Toledo, and P. Rodriguez, "Fair routing in delay tolerant networks," in *INFOCOM 2009, IEEE*, 2009, pp. 837–845.
- [7] E. M. Daly and M. Haahr, "Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs," in *MobiHoc '07: Proceedings of the 8th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. Montreal, Quebec, Canada: ACM Press, 2007, pp. 32–40.
- [8] A. Mtibaa, M. May, C. Diot, and M. Ammar, "Peoplerank: Social opportunistic forwarding," in *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, March 2010, pp. 1–5.
- [9] C. Boldrini, M. Conti, J. Jacopini, and A. Passarella, "Hibop: a history based routing protocol for opportunistic networks," in *WoWMoM 2007. IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007.*, 2007, pp. 1–12.
- [10] H. A. Nguyen, S. Giordano, and A. Puiatti, "Probabilistic routing protocol for intermittently connected mobile ad hoc network (propicman)," in *WoWMoM 2007. IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007.*, 2007, pp. 1–6.
- [11] J. Su, J. Scott, P. Hui, J. Crowcroft, E. de Lara, C. Diot, A. Goel, M. Lim, and E. Upton, "Haggle: Seamless networking for mobile applications," in *UbiComp: Ubiquitous Computing*, ser. Lecture Notes in Computer Science, J. Krumm, G. Abowd, A. Seneviratne, and T. Strang, Eds., vol. 4717. Springer Berlin/Heidelberg, 2007, pp. 391–408.
- [12] E. Nordström, P. Gunningberg, and C. Rohner, "A search-based network architecture for mobile devices," Department of Information Technology, Uppsala University, Tech. Rep. 2009-003, January 2009.
- [13] M. Musolesi and C. Mascolo, "Mobility models for systems evaluation," in *Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications*, 1st ed., B. Garbinato, L. Rodrigues, and H. Miranda, Eds. Springer Publishing Company, Incorporated, 2009, ch. 3, pp. 43–62.
- [14] A. Mtibaa, A. Chaintreau, J. LeBrun, E. Oliver, A.-K. Pietilainen, and C. Diot, "Are you moved by your social network application?" in *Proceedings of the first workshop on Online social networks*, ser. WOSP '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 67–72.
- [15] T. Hossmann, F. Legendre, G. Nomikos, and T. Spyropoulos, "Stumbl: Using facebook to collect rich datasets for opportunistic networking research," in *The Fifth IEEE WoWMoM Workshop on Autonomic and Opportunistic Communications (AOC 11)*. Lucca, Italy: IEEE, June 2011.
- [16] A. McMahon and S. Farrell, "Delay- and disruption-tolerant networking," *Internet Computing, IEEE*, vol. 13, no. 6, pp. 82–87, November/December 2009.
- [17] L. Wood, P. Holliday, D. Floreani, and W. M. Eddy, "Sharing the dream," in *Ultra Modern Telecommunications Workshops, 2009. ICUMT '09. International Conference on*, October 2009, pp. 1–2.
- [18] P. Th. Eugster, B. Garbinato, and A. Holzer, "Middleware support for context-aware applications," in *Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications*, 1st ed., B. Garbinato, L. Rodrigues, and H. Miranda, Eds. Springer Publishing Company, Incorporated, 2009, ch. 14, pp. 305–322.
- [19] A. K. Dey, "Understanding and using context," *Personal Ubiquitous Computing*, vol. 5, pp. 4–7, January 2001.
- [20] A. Beach, M. Gartrell, X. Xing, R. Han, Q. Lv, S. Mishra, and K. Seada, "Fusing mobile, sensor, and social data to fully enable context-aware computing," in *Proceedings of the Eleventh Workshop on Mobile Computing Systems & Applications*, ser. HotMobile '10. New York, NY, USA: ACM, 2010, pp. 60–65.
- [21] A. Miklas, K. Gollu, K. Chan, S. Saroiu, K. Gummadi, and E. de Lara, "Exploiting Social Interactions in Mobile Systems," in *Proceedings of UbiComp 2007*, September 2007, pp. 409–428.
- [22] A. Lindgren and A. Doria, "Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks," Draft, March 2006.