

Roteamento Adaptativo a Contextos para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

Etienne C. R. de Oliveira¹ e Célio V. N. de Albuquerque¹

¹Instituto de Computação - Universidade Federal do Fluminense (UFF)

Abstract. *A DTN scenario is formed by several diverse contexts, which vary, both throughout different regions and during the network's lifetime, and leads to significant oscillations in performance of metrics, like message delivery rates and delay. In order to minimize these oscillations, this work proposes a routing protocol with the ability to provide a dynamic context adaptation, named CARTOON. This paper selected five distinct scenarios to evaluate the performance of the CARTOON protocol and the results were normalized by the complete-knowledge oracle. The CARTOON protocol exhibits a near optimum performance in terms of message delivery rate, with a global average of 95.04%.*

Resumo. *O cenário de uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões é constituído de diversos contextos dessemelhantes, que se formam em diferentes regiões ao longo da existência de uma rede e são responsáveis por oscilações expressivas no desempenho de métricas como mensagens entregues e atraso. Com o objetivo de minimizar as referidas oscilações, este trabalho propõe um protocolo de roteamento capaz de adaptar-se dinamicamente ao contexto, intitulado CARTOON. Para a análise do desempenho do protocolo CARTOON foram selecionados cinco cenários com características distintas e os resultados foram normalizados em função do oráculo do pleno conhecimento. O protocolo CARTOON exibiu um desempenho próximo do ótimo em relação à métrica mensagens entregues, com uma média, em termos globais, de 95,04% do ótimo.*

1. Introdução

Uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões, ou simplesmente DTN (*Delay and Disruption Tolerant Networking*), pode ser definida como uma rede que apresenta características particulares, tais como atrasos longos e/ou variáveis, frequentes desconexões, entre outras [Fall 2003, Jain et al. 2004, Cerf et al. 2007]. Da mesma forma, os cenários típicos de DTNs possuem atributos próprios e excessivamente variáveis. Logo, o tipo, a duração e a periodicidade de contato¹, a proporção de nós no cenário (denso ou esparso), a velocidade de deslocamento, a taxa de transmissão, o padrão de mobilidade etc. interferem no comportamento dos protocolos de roteamento.

Em função da diversidade de peculiaridades e do dinamismo comum aos cenários de DTNs, diversos protocolos de roteamento têm sido propostos. Entretanto, as propostas encontradas na literatura são, em sua maioria, elaboradas para atender a um problema ou cenário específico. Como constatação, uma parcela significativa das propostas ostenta resultados satisfatórios quando avaliadas nos cenários para as quais foram elaboradas. No entanto, quando comparadas com outras propostas em cenários distintos dos originais, o

Pesquisa parcialmente financiada pelo IBGE, Capes, CNPq e FAPERJ.

¹contato pode ser entendido como uma oportunidade para que dois nós possam comunicar-se.

desempenho demonstrado normalmente fica aquém do esperado ou exibe resultados que oscilam drasticamente [Oliveira et al. 2011].

De fato, um cenário de uma DTN é constituído de contextos dessemelhantes que se formam em diferentes regiões ao longo da existência da rede. Logo, o termo contexto será utilizado neste trabalho como referência às variações dos atributos de uma DTN (densidade, tempo de contato etc.), que ocorrem ao longo da existência de um cenário e que retratam um momento específico. A oscilação no desempenho dos protocolos de roteamento para DTNs decorre, principalmente, da formação dos referidos contextos. Assim, um protocolo de roteamento para DTNs deveria dispor da habilidade para identificar as características do contexto e para adaptar-se conforme a condição observada.

O protocolo CARTOON (*Context-Aware Routing Protocol for Opportunistic Networks*), proposto neste artigo, apresenta a capacidade de detectar e classificar o contexto de uma DTN em função de atributos de rede factíveis de serem avaliados de forma indiscriminada por qualquer nó da rede. Ademais, em função das informações extraídas do contexto, os componentes do protocolo CARTOON adaptam-se dinamicamente às características do contexto objetivando, dessa forma, apresentar um desempenho competitivo, independente do cenário em questão.

Este trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados; a Seção 3 define os atributos de rede que serão analisados para detecção do contexto; a Seção 4 descreve as funcionalidades e os componentes adaptativos do protocolo CARTOON; a Seção 5 analisa o desempenho do protocolo proposto; e, por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e relaciona alguns trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O aumento na quantidade de propostas de protocolos de roteamento para DTNs que empregam diferentes mecanismos adaptativos vem ao encontro do objetivo deste trabalho, indicando, possivelmente, uma nova tendência. No entanto, uma parcela significativa dessas propostas, tais como as descritas a seguir, restringe a adaptação ao contexto ao utilizar valores imutáveis no cálculo do índice de roteamento ou pressupõe que os nós da rede devem dispor de recursos específicos, tais como GPS (*Global Positioning System*), medidor de energia etc., impedindo a utilização ampla e irrestrita da proposta.

O protocolo ORWAR (*Opportunistic Routing with Window-Aware Replication*) [Sandulescu and Nadjm-Tehrani 2010] possibilita a replicação de mensagens baseada no índice de roteamento, no tamanho da mensagem e na duração da janela de contato. A janela de contato é calculada dinamicamente com base no deslocamento dos nós envolvidos no contato, permitindo a seleção da mensagem mais adequada à transmissão. Huang *et al.* [Huang et al. 2010] propuseram modificações ao protocolo PROPHET com o objetivo de torná-lo adaptativo a quatro parâmetros distintos, identificados por capacidade de armazenamento, quantidade de energia, banda de transmissão e popularidade. Embora os valores relativos a cada parâmetro sejam obtidos dinamicamente, a formulação do índice de roteamento utiliza pesos com valores imutáveis. O protocolo CAR (*Context-aware Adaptive Routing*) [Musolesi and Mascolo 2009] adota modos distintos para o envio de mensagens. Se o nó de destino estiver na mesma região em que o nó que detém a mensagem, o envio dar-se-á através de um protocolo de roteamento pró-ativo para MANET. Caso o nó de destino se encontre em uma região diferente, a mensagem será enviada para o vizinho di-

reto que apresente o maior índice de roteamento. No entanto, uma das variáveis utilizada no cálculo do índice de roteamento é dependente do cenário, de forma que todos os nós da rede assumem o mesmo valor.

O protocolo de roteamento NECTAR [Oliveira and Albuquerque 2009b, Oliveira and Albuquerque 2009a] utiliza o conceito de vizinhança, identificado por *Nidx*, para efetuar o encaminhamento de mensagens em cenários estocásticos, objetivando o aumento da probabilidade de entrega de mensagens e a redução do tráfego na rede. O protocolo NECTAR implementa componentes que atuam de forma adaptativa, como o cálculo do índice de envelhecimento e a determinação do modo de disseminação. O índice de envelhecimento aplicado é inversamente proporcional ao valor do *Nidx*, possibilitando que rotas mais estáveis sejam envelhecidas de forma mais amena. A disseminação epidêmica do protocolo NECTAR é norteadada por dois limiares. No primeiro limiar, as mensagens enviadas são armazenadas por todos os vizinhos diretos; já no segundo limiar, as mensagens transmitidas somente serão armazenadas se a taxa de ocupação da área de armazenamento estiver abaixo de um determinado valor.

3. Detecção do Contexto

A detecção do contexto envolve o estabelecimento de regras bem definidas que possibilitem aos nós da rede examinar o contexto a partir de mais de um atributo de rede e, baseado em um conhecimento prévio, determinar a ação mais indicada a ser tomada com o objetivo de buscar o melhor desempenho de alguma métrica, entre as quais é razoável relacionar a taxa de entrega, a latência, a quantidade de transmissões etc.

Entre os atributos presentes em uma DTN é possível relacionar a densidade, a velocidade de deslocamento, a quantidade de energia disponível, a capacidade de armazenamento, o tipo de contato, a taxa de transmissão, entre tantos outros. Em relação à lista de atributos supramencionados, a maioria pode ser vista na qualidade de um atributo passível de estudo com o intuito de prover a detecção de contexto para a função de roteamento. Entretanto, nem todos os atributos podem ser empregados de forma irrestrita. A obtenção da velocidade de deslocamento ou da posição geográfica requer que o nó disponha, por exemplo, de um GPS. Como não existe obrigatoriedade para que os nós de uma DTN estejam equipados com mecanismos complementares, o emprego desses atributos restringe a capacidade de adaptação dinâmica. Portanto, de forma a prevenir circunstâncias que impeçam a adoção de forma ampla e irrestrita da capacidade de adaptação dinâmica por todos os nós da rede, esta proposta estabeleceu que somente os atributos que possam ser avaliados indiscriminadamente sejam considerados.

Oliveira *et al.* [Oliveira et al. 2011] comparam o desempenho dos protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* variando parâmetros de configuração em três cenários com propriedades contrastantes e destacam o quanto a densidade da rede e a capacidade de armazenamento são capazes de impactar o desempenho de diversas métricas, como quantidade de mensagens entregues, latência média etc. Além disso, ao propor e avaliar um mecanismo de adaptação para o protocolo PROPHET, os autores ratificam a dimensão do impacto da densidade da rede e da capacidade de armazenamento em relação a métricas como, por exemplo, a taxa de mensagens entregues. Em princípio, quanto maior a quantidade de atributos avaliados, maior a acuidade da detecção do contexto. Tornase, todavia, imprescindível pesar a limitação de recursos comum aos nós que compõem as DTNs ao quantificar os atributos analisados. Consequentemente, em função dos re-

sultados exibidos em [Oliveira et al. 2011] e de forma a tornar o processo de adaptação dinâmica computacionalmente viável, os atributos de rede densidade e capacidade de armazenamento foram selecionados para compor o processo de detecção de contexto. Já para lidar com a dinâmica do contato, o atributo periodicidade de contato foi selecionado.

4. CARTOON

O protocolo CARTOON (*Context-Aware Routing Protocol for Opportunistic Networks*) possui a habilidade de adequar-se às particularidades dos contextos que se formam ao longo da existência de DTNs em função de seus componentes adaptativos, tais como o cálculo dinâmico da densidade e do percentual de ocupação, a determinação do modo de disseminação etc. As principais variáveis e os processos de envio probabilístico e epidêmico de mensagens encontram-se descritos nas Subseções 4.1, 4.2 e 4.3.

4.1. Constantes e Variáveis do Protocolo CARTOON

Como os componentes adaptativos do protocolo CARTOON fazem uso de diversas variáveis, torna-se imprescindível descrever a abrangência e o significado de algumas variáveis. Cabe destacar que as variáveis são atualizadas dinamicamente, a cada evento de contato ou de transmissão. A Tabela 1 relaciona as variáveis que têm seus valores computados de forma local, devido às observações realizadas ao longo da vida útil do nó. Já a constante *TAM_ARMAZENA* contém a capacidade de armazenamento em octetos.

Tabela 1. Tabela de variáveis locais ao protocolo CARTOON

Campo	Descrição
<i>Densidade_idx</i>	Densidade estimada considerando observações locais e dos vizinhos diretos
<i>Densidade_local</i>	Densidade estimada com base na quantidade de vizinhos diretos e indiretos com até dois saltos
<i>Densidade_viz</i>	<i>Densidade_idx</i> informada por um vizinho direto
<i>Perc_Armazena</i>	Percentual real de ocupação da capacidade de armazenamento
<i>Perc_Estima_Ocup</i>	Percentual real de ocupação da capacidade de armazenamento acrescido de mensagens descartadas durante o período estabelecido por <i>Tjanela</i>
<i>Tjanela</i>	Média do intervalo de tempo entre o contato atual e o último contato de cada um de seus vizinhos diretos
<i>Tjanela_ini</i>	Média do valor atual de <i>Tjanela_ini</i> com a mediana dos intervalos de tempo entre contatos de cada par de nós
<i>Tjanela_max</i>	Média do valor atual de <i>Tjanela_max</i> com a mediana dos maiores intervalos de tempo entre contatos de cada par de nós

Além das variáveis já descritas, existem outras variáveis que contêm informações pertinentes exclusivamente a um par de nós e que se encontram descritas na Tabela 2.

4.2. Processo de Envio Probabilístico de Mensagens

Os nós com o protocolo CARTOON são inicializados no modo de disseminação probabilística e executam, ciclicamente, os seguintes procedimentos:

1. ocorrência de um contato - as mensagens, cujo destino corresponde ao nó que se encontra em contato, são enviadas e, para cada mensagem enviada, uma mensagem de reconhecimento passivo (*PassiveAck*) [Jubin and Tornow 1987] é criada;
2. envelhecimento da tabela de roteamento e cálculo da estimativa de contato - a tabela de roteamento é analisada, possibilitando que as rotas para os nós cujo contato foi perdido sejam envelhecidas, e que se identifiquem características que permitam estimar quando, provavelmente, ocorrerá um próximo contato;

3. atualização da tabela de roteamento - cada nó envia a sua tabela de roteamento e, se houver necessidade, atualiza o índice de roteamento com informações provenientes da tabela de roteamento recebida;
4. cálculo e envio da densidade - a métrica densidade é recalculada a partir da tabela de roteamento e enviada para o nó que se encontra em contato;
5. envio de mensagens para o próximo salto - as mensagens, cujo próximo salto corresponda ao nó que se encontra em contato, são enviadas;
6. envio de reconhecimento passivo - envio de informações resumidas de mensagens entregues (reconhecimento passivo), possibilitando que cópias de mensagens entregues sejam eliminadas e evitando o recebimento de mensagens idênticas;
7. disseminação epidêmica - após a execução dos procedimentos supracitados, o modo de disseminação epidêmica é acionado para o envio de mensagens.

Tabela 2. Tabela de variáveis específicas de um par de nós e das mensagens

Campo	Descrição
$Dcontato_{(a,b)}$	Duração do contato, não necessariamente contígua, entre os nós n_a e n_b dentro da janela de tempo estabelecida por $Tjanela_{max}$
$Dcontato_{idx}_{(a,b)}$	Índice de roteamento de n_a para n_b
$Qcontato_{(a,b)}$	Quantidade de contatos entre n_a e n_b calculada dentro de uma janela de tempo estabelecida por $Tjanela_{max}$
$Qtde_de_Saltos_{(a,b)}$	Quantidade de nós necessária para que uma mensagem enviada por n_a possa alcançar n_b
$\sigma_{int_contato}_{(a,b)}$	Desvio padrão dos intervalos entre contatos de n_a e n_b dentro de uma janela de tempo estabelecida por $Tjanela_{max}$
TTL	Encaminhamentos possíveis para a cópia de uma determinada mensagem
$\bar{x}_{int_contato}_{(a,b)}$	Média dos intervalos entre contatos de n_a e n_b dentro de uma janela de tempo estabelecida por $Tjanela_{max}$

As principais funções do protocolo CARTOON, representadas pelo cálculo e envelhecimento do índice de roteamento, pela estimativa de contato, pelo cálculo do percentual de ocupação e da densidade, e pela determinação do tempo de vida e da transferência de custódia, encontram-se descritas nas Subseções 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4.

4.2.1. Cálculo e Envelhecimento do Índice de Roteamento

O protocolo CARTOON adotou o atributo duração do contato entre pares de nós na condição de índice de roteamento. Logo, considerando que o nó n_b entrou em contato com o nó n_a , $Dcontato_{(a,b)}$ denotará a duração, não necessariamente contínua, do(s) contato(s) entre os vizinhos diretos n_a e n_b , porém limitada a uma janela de tempo deslizante determinada por $Tjanela_{max}$. A Equação 1 descreve a fórmula utilizada para calcular o índice de roteamento entre os vizinhos diretos n_a e n_b .

Já a atualização do índice de roteamento para vizinhos indiretos segue uma fórmula diferenciada, possibilitando que a distância para o nó de destino, representada pela quantidade de nós intermediários ($Qtde_de_Saltos$), influencie o valor atribuído. Durante o período de contato entre n_a e n_b haverá a troca da tabela de roteamento e, caso n_b conheça uma rota para um nó qualquer identificado por n_c que não seja vizinho direto de n_a e que resulte em $Dcontato_{idx}_{(a,c)} < Dcontato_{idx}_{(b,c)}$, $Dcontato_{idx}_{(a,c)}$ será atualizado conforme a Equação 2.

$$Dcontato_idx_{(a,b)} = \max \left(Dcontato_idx_{(a,b)}; \frac{Dcontato_{(a,b)}}{Tjanela_max_a} \right) \quad (1)$$

$$Dcontato_idx_{(a,c)} = \frac{Dcontato_idx_{(b,c)} \times Qtde_de_Saltos_{(b,c)}}{Qtde_de_Saltos_{(b,c)} + 1}, \quad (2)$$

onde $Qtde_de_Saltos_{(b,c)}$ representa, a partir de n_b , a quantidade de nós para que a mensagem possa alcançar n_c .

Uma das consequências proveniente da mobilidade dos nós é a obsolescência de rotas que, quando não é devidamente identificada e tratada, provoca o envio indevido de mensagens e ainda pode ocasionar, dependendo de particularidades da rede, a perda de mensagens. Por conseguinte, todas as rotas existentes na tabela de roteamento serão envelhecidas conforme a Equação 3:

$$Dcontato_idx_{(a,b)} = \frac{Dcontato_idx_{(a,b)}}{\max \left(1; \frac{TS - Ult_Atualiza_{(a,b)}}{Tjanela_ini} \right)}, \quad (3)$$

onde TS denota o tempo atual; $Ult_Atualiza$ indica o instante em que ocorreu a última atualização da rota; e a função $\max \left(1; \frac{TS - Ult_Atualiza_{(a,b)}}{Tjanela_ini} \right)$ evita o envelhecimento de rotas em consequência da perda de contato ocasional, seja devido à gestão de energia, seja devido aos nós estarem se deslocando no limite do raio de alcance etc.

4.2.2. Componente Adaptativo Estimativa de Contato

A partir do momento em que n_a identifica que o contato com n_b é considerado perdido, entra em ação o processo de estimativa de contato visando determinar o instante em que n_a e n_b voltarão a se encontrar. A quantidade de contatos ocorridos entre n_a e n_b no intervalo de tempo determinado por $Tjanela_max$ e o intervalo entre os contatos serão analisados com o objetivo de determinar uma estimativa para um próximo contato. O atributo periodicidade de contato, relacionado na Seção 3, é analisado sob os aspectos quantitativo e qualitativo e os seguintes procedimentos são executados condicionalmente:

1. a média ($\bar{x}_{int_contato_{(a,b)}}$) e o desvio padrão ($\sigma_{int_contato_{(a,b)}}$) dos intervalos entre contatos são calculados, e caso $\sigma_{int_contato_{(a,b)}} < \frac{\bar{x}_{int_contato_{(a,b)}}}{2}$, $Incrementa_idx_{(a,b)}$ e $Estima_Contato_{(a,b)}$ serão calculados conforme as Equações 4 e 5;
2. o índice de roteamento de n_a para n_b , $Dcontato_idx_{(a,b)}$, será atualizado de acordo com as seguintes condições:
 - de TS até $Incrementa_idx_{(a,b)}$ - o índice de roteamento $Dcontato_idx_{(a,b)}$ será envelhecido conforme ilustra a Equação 3;
 - de $Incrementa_idx_{(a,b)}$ até $Estima_contato_{(a,b)}$ - o índice de roteamento $Dcontato_idx_{(a,b)}$ será incrementado segundo a Equação 6.

Quando o contato entre os nós n_a e n_b for restabelecido, o índice $Dcontato_idx_{(a,b)}$ passará a ser atualizado através da Equação 1. Entretanto, caso o contato não seja restabelecido até o instante previsto por $Estima_contato_{(a,b)}$, o índice de roteamento voltará ser envelhecido conforme a Equação 3. É importante salientar que, se a análise qualitativa ou quantitativa for falsa, as amostras serão consideradas inapropriadas para a execução do processo de estimativa de contato e, conseqüentemente, o índice $Dcontato_idx_{(a,b)}$ será envelhecido normalmente, de acordo com a Equação 3.

$$Incrementa_idx_{(a,b)} = TS + \left(\frac{\bar{x}_int_contato_{(a,b)}}{2} \right) + \sigma_int_contato_{(a,b)}, \quad (4)$$

$$Estima_contato_{(a,b)} = TS + \bar{x}_int_contato_{(a,b)}, \quad (5)$$

$$Dcontato_idx_{(a,b)} = Dcontato_idx_{(a,b)} \times \left(1 + \frac{TS - Incrementa_idx_{(a,b)}}{Tjanela_ini} \right), \quad (6)$$

onde TS indica o tempo atual.

4.2.3. Estimativa do Percentual de Ocupação e da Densidade

Cabe salientar que, todo nó n_a mantém uma variável identificada por $Perc_Armazena_a$, que representa o percentual real de ocupação da área de armazenamento e é atualizada a cada operação de inclusão ou exclusão de mensagens. Para a estimativa do percentual de ocupação, identificada por $Perc_Estima_Ocup_a$, será estipulado um período de observação resultante da média do intervalo de tempo entre o contato atual e o último contato de cada um de seus vizinhos diretos, que será representado por $Tjanela_a$.

Em função do valor apurado por $Tjanela_a$ serão computados todos os descartes ocorridos do instante de cálculo (TS) até o instante determinado por $TS - Tjanela_a$. O valor computado é armazenado na variável $Descartes_a$, possibilitando o cálculo da variável $Perc_Estima_Ocup_a$ conforme apresenta a Equação 7.

$$Perc_Estima_Ocup_a = \left(\frac{Descartes_a \times 100}{TAM_ARMAZENA} \right) + Perc_Armazena_a, \quad (7)$$

onde $TAM_ARMAZENA$ representa a capacidade de armazenamento de n_a .

Já a estimativa da densidade por um nó qualquer, identificado por n_a , envolve a densidade local, calculada a partir da quantidade de vizinhos diretos e vizinhos indiretos com até dois saltos, e a densidade observada por cada um dos vizinhos diretos. Dessa forma, considerando que $Qtde_vizinho_densidade_a$ representa a quantidade de registros na tabela de roteamento que atende à restrição $Qtde_de_Saltos \leq 2$ e que $Densidade_viz_a$ representa a média da densidade apurada pelos vizinhos diretos, é possível observar, através da Equação 8, o processo de cálculo da métrica $Densidade_idx_a$.

$$Densidade_idx_a = \left(\frac{densidade_local_a + Densidade_viz_a}{2} \right) \quad (8)$$

Os atributos percentual de ocupação e densidade, relacionados na Seção 3, são fundamentais para determinar, de forma dinâmica, o envio epidêmico de mensagens.

4.2.4. Tempo de Vida e Transferência de Custódia

Com o objetivo de otimizar o uso dos recursos, a cada transmissão de uma determinada mensagem, o valor do campo TTL da mensagem transmitida será decrementado de uma unidade até alcançar o valor um. Por conseguinte, uma mensagem com $TTL = 1$ não pode ser replicada, ou seja, somente pode ser encaminhada para o nó de destino, ou sofrer uma transferência de custódia [Cerf et al. 2007].

Na transferência de custódia a mensagem é efetivamente transmitida para um vizinho direto, ficando o transmissor sem uma cópia da mensagem. Consequentemente, transferências de custódia somente podem ser utilizadas no modo de disseminação probabilística. Considerando um cenário onde n_a , que está em contato com n_b , selecionou para transmissão uma determinada mensagem cujo destino é n_c e cujo $TTL = 1$, torna-se necessário que $Dcontato_{idx(a,c)} < Dcontato_{idx(b,c)}$ e que $Perc_Estima_Ocup_b < 100$ para que possa haver uma transferência de custódia de n_a para n_b :

4.3. Processo de Envio Epidêmico de Mensagens

Visto que durante o modo de disseminação epidêmica os nós enviam suas mensagens para todos os vizinhos diretos, sempre haverá a possibilidade de ocorrer um congestionamento na rede, tal qual uma quantidade expressiva de descartes. Em uma DTN essas consequências podem ser temerárias, principalmente em função da escassez de recursos e de contatos. Logo, é imprescindível uma análise das particularidades do contexto visando determinar restrições para o emprego desse modo de disseminação. Cabe, então, ao componente adaptativo modo de disseminação epidêmica do protocolo CARTOON avaliar se o contexto encontra-se adequado e, em caso afirmativo, calcular dinamicamente a duração máxima de permanência no modo de disseminação epidêmica e estabelecer restrições ao processo de seleção de mensagens para o envio epidêmico. As funções executadas estão enumeradas a seguir:

1. análise global das restrições - verifica se a mediana da estimativa do percentual de ocupação ($Perc_Estima_Ocup$) dos vizinhos diretos, representada pela variável $fase$, é menor que 100, justificando o envio de forma epidêmica;
2. análise local das restrições - calcula o tempo de permanência máxima no modo de disseminação epidêmica ($Tperdura_{ep}$) e o limite de tempo para que uma mensagem possa ser retransmitida de forma epidêmica ($Tlimita_{ep}$);
3. seleção de mensagens - seleciona as mensagens que podem ser disseminadas, ou seja, as mensagens que não tenham sido recebidas sob custódia, que tenham sido disseminadas de forma epidêmica há mais de $Tlimita_{ep}$ unidades de tempo, e que apresentem $Tempo_de_Vida > 1$;
4. envio de mensagens - efetua o envio das mensagens selecionadas através do modo de disseminação epidêmica pelo tempo de permanência máxima calculado;
5. disseminação probabilística - após a execução dos procedimentos supracitados, retorna o controle ao modo de disseminação probabilística.

Os atributos densidade ($Densidade_{idx}$) e percentual de ocupação ($Perc_Estima_Ocup$), calculados em função da adaptação ao contexto, são utilizados com o intuito de influenciar a duração da disseminação epidêmica ($Tperdura_{ep}$), calculada pela Equação 9, e o intervalo de tempo mínimo para que uma mensagem possa ser retransmitida de forma epidêmica ($Tlimita_{ep}$), calculada pela Equação 10.

$$Tperdura_{ep} = TS + \left(\frac{Tjanela_{max}}{Densidade_{idx}} \right) \times \left(\frac{100}{fase} \right) \quad (9)$$

$$Tlimita_{ep} = TS - \min(TS, \left(\frac{Tjanela_{max}}{Densidade_{idx}} \times \left(1 - \frac{fase}{100} \right) \right)) \quad (10)$$

É razoável salientar que, quanto menores forem os valores associados às variáveis *Densidade_idx* e *fase*, maior será a duração do modo de disseminação epidêmica e menor será a restrição para o reenvio de mensagens. Em outras palavras, contextos esparsos e com espaço disponível na capacidade de armazenamento favorecem o uso frequente do modo de disseminação epidêmica, ao contrário de contextos densos e com plena ocupação da capacidade de armazenamento. Ademais, com o intuito de evitar o descarte das mensagens presentes na área de armazenamento, as mensagens encaminhadas durante a fase epidêmica somente serão armazenadas pelos vizinhos diretos se a estimativa do percentual de ocupação (*Perc_Estima_Ocup*) estiver abaixo de 100%.

5. Avaliação do CARTOON

Para uma avaliação justa, é essencial o uso de cenários com características contrastantes, com contatos dos tipos previsível e oportunista, e extraídos, preferencialmente, de experimentos reais. Ademais, alterações na capacidade de armazenamento dos nós e na densidade da rede possibilitam uma análise ampla do desempenho de diversas métricas. Logo, cabe à Seção 5.1 descrever as características dos cenários e o ambiente em que foram produzidos os resultados; e, cabe à Seção 5.2 analisar os resultados.

5.1. Características dos Cenários e Ambiente de Simulação

A Tabela 3 relaciona cinco cenários com contatos do tipo oportunista e previsível para o processo de avaliação, identificados por Dartmouth College [Kotz et al. 2004], UMass DieselNet [Banerjee et al. 2008], Infocom 2006 iMotes [Scott et al. 2009], Helsinki WDM [Ekman et al. 2008] e Princeton ZebraNet [Wang et al. 2007].

Para a avaliação do protocolo CARTOON foram implementados, no simulador utilizado em [Oliveira et al. 2011, Oliveira and Albuquerque 2009a, Oliveira and Albuquerque 2009b], os protocolos *Epidemic* [Vahdat and Becker 2000], PROPHET [Lindgren et al. 2011] e NECTAR, que representam, respectivamente, as classes de protocolos com disseminação epidêmica, probabilística, e adaptativa; além do oráculo do pleno conhecimento [Jain et al. 2004]. A metodologia de avaliação adotada, normalizando-se o desempenho dos protocolos implementados perante os resultados do oráculo do pleno conhecimento, impede que haja conclusões incoerentes, como as que podem ser obtidas através da comparação com um protocolo cujo desempenho tenha sido comprometido por características intrínsecas a um determinado cenário.

Tabela 3. Características sumarizadas dos cenários

Cenário	Características dos cenários				Características dos contextos			
	Quantidade de Nós	Duração	Dimensão Aproximada (Km^2)	Raio de Alcance (m)	Qtde de Mensagens	Capacidade de Armazenamento	Arquivos de Tráfego	Qtde de Cenários
Dartmouth	50 e 100	8 h	809,30	100	1.000	10%,	5 arquivos	40
DieselNet	16 e 33	14 dias	241,40	100		25%,		40
iMotes	50 e 98	4 dias	6,68	30 e 100		50%		80
WDM	75 e 150	6 h	15.300,00	150 e 250		e		80
ZebraNet	30 e 40	45 min	97,124	150 e 250		100%		80
Total de Cenários								320

Para cada cenário apresentado na Tabela 3 foram gerados cinco arquivos de tráfego distintos com 1.000 mensagens cada um. Já o tamanho da mensagem foi fixado em 10 Kbytes, a velocidade de comunicação foi mantida em 1 Mbps e os endereços de origem

e destino foram escolhidos de forma aleatória. A partir dos arquivos de movimento dos cenários selecionados, foram realizadas, com os protocolos implementados, simulações com os cinco arquivos de tráfego. Logo, os resultados exibidos são provenientes da média dos cinco arquivos de tráfego, possibilitando o cômputo do intervalo de confiança, cujo nível de confiança foi estipulado em 95%. Para cada conjunto cenário, protocolo e arquivo de tráfego foram executadas quatro simulações, com a capacidade de armazenamento dos nós limitada a 10%, 25%, 50% e 100% do arquivo de tráfego, permitindo a avaliação de cada protocolo em 320 cenários distintos.

5.2. Avaliação dos Resultados

A metodologia estabelecida para avaliar o comportamento do protocolo CARTOON atua sob três dimensões distintas. A primeira dimensão visa mensurar o desempenho do protocolo CARTOON perante o oráculo do pleno conhecimento em função de métricas como mensagens entregues, descartes e atraso médio. Para a segunda dimensão, o objetivo é analisar as oscilações no desempenho do protocolo CARTOON frente às mudanças de características dos cenários. Já a terceira dimensão tenciona demonstrar o ganho de desempenho que se obtém face à adoção dos componentes adaptativos estimativa de contato e modo de disseminação epidêmica.

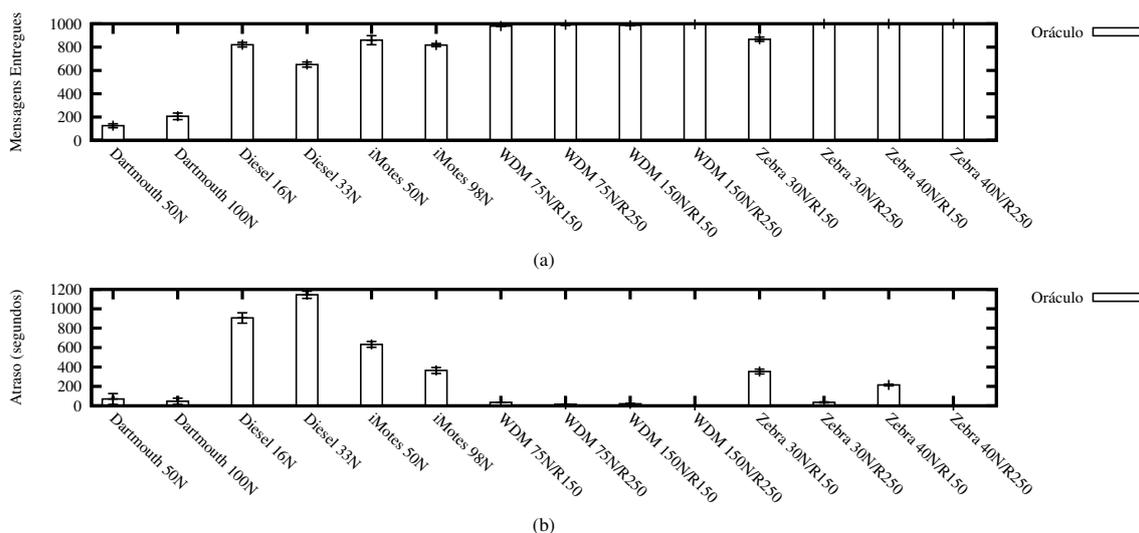


Figura 1. Mensagens entregues e atraso do oráculo do pleno conhecimento

A normalização de resultados em função do desempenho do oráculo do pleno conhecimento possibilita uma análise precisa do comportamento dos protocolos; porém, oculta características importantes, inerentes aos cenários avaliados. Torna-se, dessa forma, fundamental apresentar, através da Figura 1, o desempenho do oráculo do pleno conhecimento, visando ratificar a diversidade de características e as restrições dos cenários selecionados, e, ainda, comprovar a existência de requisitos essenciais para que o processo de avaliação do protocolo CARTOON seja considerado adequado.

As simulações com o oráculo do pleno conhecimento permitiram identificar que, em função da inexistência de descartes, a formação de regiões desconexas foi responsável pela impossibilidade de alcançar o destinatário para todas as mensagens não entregues. Portanto, o gráfico de descartes foi suprimido da Figura 1. Posto isso, o protocolo CARTOON será avaliado segundo as métricas mensagens entregues, atraso médio e descartes. Os cenários com as capacidades de armazenamento limitadas a 10%, 25%, 50% e 100%

do total de mensagens encontram-se simbolizados por B10%, B25%, B50% e B100%, respectivamente. No entanto, os cenários com B25% e B50% foram omitidos por não apresentarem resultados relevantes. A Figura 2 exibe o desempenho, normalizado pelo oráculo do pleno conhecimento, do protocolo CARTOON e dos demais protocolos em função da métrica mensagens entregues por cenário.

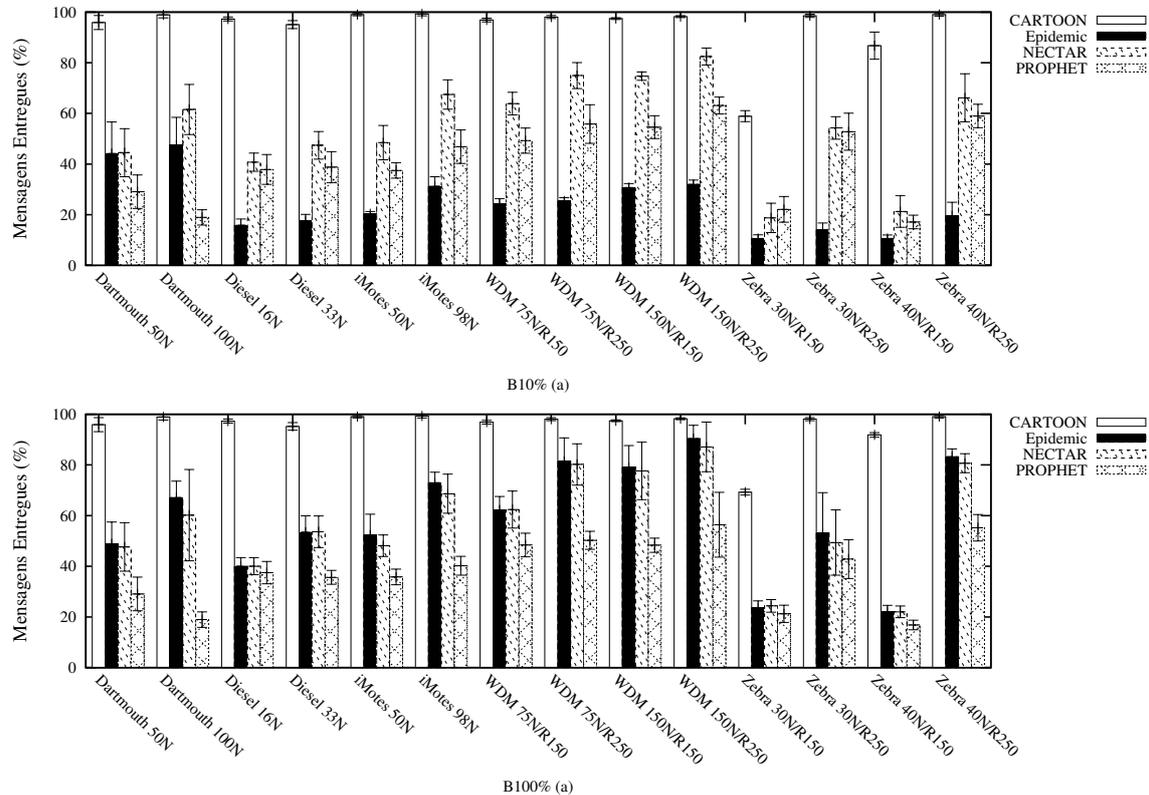


Figura 2. Mensagens entregues - Capacidade de armazenamento B10% e B100%

O protocolo CARTOON demonstrou um desempenho próximo do ótimo em relação à métrica mensagens entregues. Considerando-se todos os cenários avaliados, o protocolo CARTOON transmitiu para o destinatário, em média, 95,04% das mensagens possíveis de serem entregues, alcançando uma taxa de 99,54% no cenário iMotes com 98 nós. O único cenário em que o desempenho do protocolo CARTOON destoou foi o cenário ZebraNet, com 30 nós e raio de alcance de 150 metros, cujo desempenho médio, ponderando-se todas as capacidades de armazenamento de mensagens, foi de 66,61%. Logo, serão apresentados comentários específicos acerca desse cenário. A duração do cenário ZebraNet de apenas 45 minutos implicou um tráfego cujas características podem ser consideradas como de um tráfego em rajada, comparando-se com a média do intervalo de tempo para geração de mensagens dos demais cenários. Além disso, a quantidade reduzida de nós, associada ao padrão de movimentação em grupos, implicou a formação de regiões desconexas, o que pode ser constatado pela quantidade reduzida de entradas na tabela de roteamento. No cenário em questão, o protocolo CARTOON entregou, em média, 511,2 mensagens aos destinatários e as tabelas de roteamento dos nós apresentaram, em média, 17,5 entradas. Já no mesmo cenário, porém com raio de alcance modificado para 250 metros, o protocolo CARTOON entregou 985,4 mensagens e as tabelas de roteamento dos nós continham, em média, 27,66 entradas. É coerente, então, concluir que a capacidade de antever o posicionamento dos nós foi determinante para o oráculo do pleno

conhecimento entregar, em média, 867,60 mensagens no cenário em questão.

A capacidade de detectar características dos contextos permitiu ao protocolo CARTOON identificar o modo de disseminação mais adequado, o que resultou na menor quantidade de mensagens descartadas. A Tabela 4 exibe, por protocolo, a média global de descartes e o percentual de cenários em que ocorreram descartes.

Tabela 4. Média global de descartes e percentual de cenários com descarte

	CARTOON		<i>Epidemic</i>		NECTAR		<i>PROPHET</i>	
	Média	%	Média	%	Média	%	Média	%
Descartes	1.382, 1	12,05%	103.616, 9	66,07%	136.104, 4	66,07%	46.941, 9	50,00%

Cabe ressaltar que o atraso médio superior do oráculo do pleno conhecimento, exibido na Figura 3, deve-se, evidentemente, à quantidade superior de mensagens entregues em todos os cenários. Já em relação ao protocolo CARTOON, em um único cenário referenciado por DieselNet com 16 nós e B10%, foi identificado um atraso médio 6,16% superior ao protocolo *Epidemic*. No entanto, no referido cenário, o protocolo CARTOON entregou, em média, 97,32% das mensagens, enquanto que o protocolo *Epidemic* entregou, em média, 15,84% das mensagens.

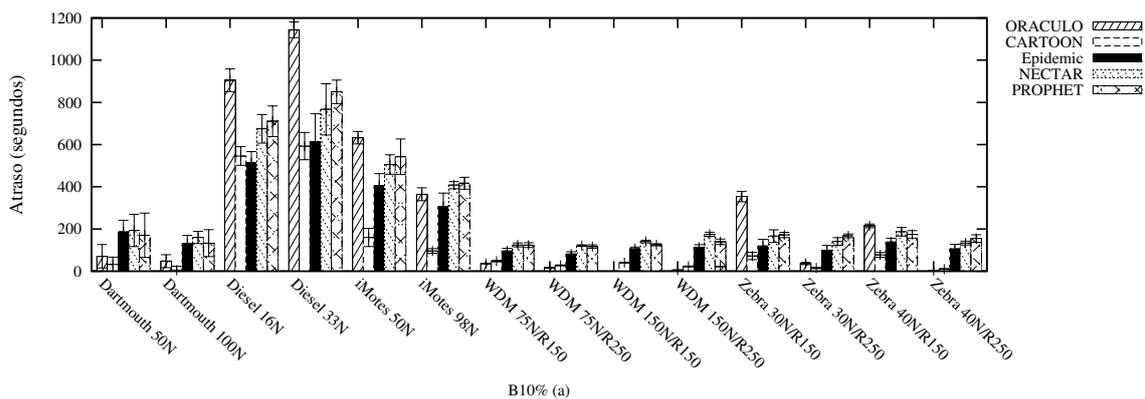


Figura 3. Atraso - Capacidade de armazenamento B10%

Com o intuito de verificar a eficiência do protocolo CARTOON em relação à capacidade de adaptação dinâmica, torna-se imprescindível realizar um estudo das oscilações no desempenho da métrica mensagens entregues. E, para mensurar essas oscilações, o desvio padrão (σ) foi adotado como medida de variância.

Tabela 5. Oscilações do protocolo CARTOON em relação à mensagens entregues

	Dartmouth	DieselNet	iMotes	WDM		ZebraNet	
	Raio 100m	Raio 150m	Raio 30m	Raio 150m	Raio 250m	Raio 150m	Raio 250m
Média	97,41	96,25	99,16	97,16	98,16	78,59	99,30
% σ	1,89	1,27	0,32	0,39	0,26	16,14	0,53

A Tabela 5 apresenta a média e o percentual correspondente ao desvio padrão em relação à média (% σ) da métrica mensagens entregues para o protocolo CARTOON. A partir da análise das oscilações foi possível constatar o excelente desempenho dos componentes adaptativos do protocolo CARTOON. Independente da capacidade de armazenamento (B10%, B25%, B50% e B100%), da densidade e de características intrínsecas aos cenários, o desvio padrão manteve-se abaixo de 2% da média, exceto no cenário ZebraNet com 30 nós e raio de 150 metros, em função de características previamente apresentadas.

A implementação de uma versão simplificada do protocolo CARTOON permitiu mensurar, em termos percentuais, a representatividade dos componentes adaptativos em relação ao desempenho da métrica mensagens entregues, conforme ilustra a Tabela 6. A eficiência pôde ser comprovada, pois, em termos globais, os componentes adaptativos estimativa de contato e modo de disseminação epidêmica foram responsáveis por 38,57% das mensagens entregues. No entanto, os componentes adaptativos demandaram um uso do exarcebado do processador, o que resultou em um consumo médio global de cerca de 1.405% superior aos demais protocolos.

Tabela 6. Participação dos componentes adaptativos - mensagens entregues

	Global	Dartmouth	DieselNet	iMotes	WDM	ZebraNet
Componentes Adaptativos	38,57%	71,02%	28,28%	37,84%	7,35%	48,37

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Com o intuito de definir um ambiente adequado para a avaliação do protocolo CARTOON, foram reunidos arquivos de movimento de diversos cenários, com particularidades que remetem à contatos do tipo oportunista e previsível, possibilitando a análise do desempenho segundo três dimensões distintas: a 1^a dimensão mensurou o desempenho do protocolo CARTOON em função das métricas mensagens entregues, descartes e atraso; a 2^a dimensão avaliou as oscilações no desempenho apresentado; e, por fim, a 3^a dimensão evidenciou o ganho no desempenho proporcionado pelos componentes adaptativos.

Tendo em vista que a avaliação da métrica mensagens entregues foi normalizada em função do oráculo do pleno conhecimento, é possível afirmar que o protocolo CARTOON apresentou um desempenho próximo do ótimo. Considerando-se todos os cenários avaliados, o protocolo CARTOON transmitiu para o destinatário, em média, 95,04% das mensagens possíveis de serem entregues, alcançando uma taxa de 99,54% no cenário iMotes com 98 nós. Nas demais métricas avaliadas, o protocolo CARTOON caracterizou-se por apresentar, em termos globais, a menor quantidade de descartes e o menor atraso.

Em relação à análise das oscilações da métrica mensagens entregues, os componentes adaptativos do protocolo CARTOON apresentaram um excelente desempenho, mantendo-se abaixo de 2% em 85,71% dos cenários. Já os componentes adaptativos foram responsáveis por um percentual médio de 38,57% na métrica mensagens entregues. No entanto, em função da complexidade computacional, o consumo de recursos do processador foi substancialmente superior, se comparado com os demais protocolos. Por fim, o desempenho próximo do ótimo em relação à métrica mensagens entregues, as oscilações mínimas de desempenho e eficiência dos componentes adaptativos que foram apurados em cenários provenientes de experimentos reais e com características contrastantes, comprovam que o protocolo CARTOON atingiu o objetivo proposto.

Uma alternativa para um trabalho futuro poderia prover o protocolo CARTOON com mecanismos de qualidade de serviço que possibilitariam, por exemplo, reduzir as restrições impostas ao modo de disseminação epidêmica para determinadas mensagens, ou criar classes diferenciadas para o envio no modo de disseminação probabilística. Ademais, a análise do contexto objetivando o processo de adaptação dinâmica do protocolo CARTOON foi limitada aos atributos de rede densidade, percentual de ocupação da capacidade de armazenamento e periodicidade de contato. No entanto, outros atributos poderiam ser analisados, como, por exemplo, a gestão de energia, implicando o desenvolvimento de versões específicas do protocolo CARTOON.

Referências

- Banerjee, N., Corner, M., Towsley, D., and Levine, B. N. (2008). CRAW-DAD trace umass/diesel/transfer/fall2007 (v. 2008-09-14). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/umass/diesel/transfer/fall2007>.
- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, B., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Delay-tolerant Networking Architecture. RFC Draft 4878, IETF.
- Ekman, F., Keränen, A., Karvo, J., and Ott, J. (2008). Working Day Movement Model. In *Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE, MobilityModels'08*, pages 33–40. ACM.
- Fall, K. (2003). A Delay-tolerant Network Architecture for Challenged Internets. Technical report, Intel Research Berkeley.
- Huang, T.-K., Lee, C.-K., and Chen, L.-J. (2010). PROPHET+: An Adaptive PROPHET-based Routing Protocol for Opportunistic Network. In *Proceedings of the IEEE Advanced Information Networking and Applications, AINA'10*, pages 112–119.
- Jain, S., Fall, K., and Patra, R. (2004). Routing in a Delay Tolerant Network. In *Proceedings of the SIGCOMM*, pages 145–158.
- Jubin, J. and Tornow, J. (1987). The DARPA Packet Radio Network Protocols. *Proceedings of the IEEE*, 75(1):21–32.
- Kotz, D., Henderson, T., and Abyzov, I. (2004). CRAW-DAD trace dartmouth/campus/syslog/01_04 (v. 2004-12-18). http://crawdad.cs.dartmouth.edu/dartmouth/campus/syslog/01_04.
- Lindgren, A., Doria, A., Davies, E., and Grasic, S. (2011). Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks. RFC Draft, Internet Engineering Task Force.
- Musolesi, M. and Mascolo, C. (2009). CAR: Context-aware Adaptive Routing for Delay-Tolerant Mobile Networks. In *IEEE Transactions on Mobile Computing*, volume 8, pages 246–260. IEEE Computer Society.
- Oliveira, E. and Albuquerque, C. (2009a). Análise do Protocolo NECTAR em Cenários com Mobilidade e Frequentes Interrupções. In *SBRC 2009*.
- Oliveira, E. and Albuquerque, C. (2009b). NECTAR: A DTN Routing Protocol Based on Neighborhood Contact History. In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing - SAC09*, pages 359–365. ACM Press.
- Oliveira, E., Silva, E., and Albuquerque, C. (2011). Promovendo Adaptação a Contextos em DTNs. In *SBRC 2011*.
- Sandulescu, G. and Nadjm-Tehrani, S. (2010). Adding Redundancy to Replication in Window-aware Delay-tolerant Routing. *Journal of Communications*, 5(2).
- Scott, J., Gass, R., Crowcroft, J., Hui, P., Diot, C., and Chaintreau, A. (2009). CRAW-DAD trace cambridge/haggle/imote/infocom2006 (v. 2009-05-29). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/cambridge/haggle/imote/infocom2006>.
- Vahdat, A. and Becker, D. (2000). Epidemic Routing for Partially Connected Ad hoc Networks. Technical Report CS-200006, Duke University.
- Wang, Y., Zhang, P., Liu, T., Sadler, C., and Martonosi, M. (2007). CRAW-DAD trace set princeton/zebranet/movement (v. 2007-02-14). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/princeton/zebranet/movement>.