

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

**ESTUDO DO IMPACTO DO RÁDIO EM MÉTRICAS DE MODELOS DE
MOBILIDADE DTN**

Rui Jorge Martins da Silva Chilo

Dissertação

Mestrado em Redes e Serviços de Comunicação

Orientador: Ricardo Morla

Outubro 2009

RESUMO

As DTN (Delay Tolerant Network) fornecem uma base de comunicação que permite a entrega de dados mesmo que não haja, ou nunca vá haver, comunicação directa entre origem e destino. Isto é feito por meio de nós intermédios que facilitam esta transmissão. A mobilidade dos nós é fundamental para que haja troca de mensagens e a comunicação exista.

De forma a investigar diferentes parâmetros a incluir nos modelos usados em redes DTN, uma questão de investigação relevante é: de que forma o estado (activo/desactivo) da componente rádio da comunicação sem fios influencia as métricas de tempo de contacto ao nível da mobilidade dos nós, em diferentes modelos de mobilidade, nas redes DTN?

Para responder à questão efectuada, este trabalho tem como principais objectivos:

1) proporcionar nesta área um termo de comparação para o tempo de contacto esperado em função do padrão que possa ser escolhido para o estado da interface de rádio; 2) implementar uma plataforma de simulação que permita criar geradores de contacto para vários modelos de mobilidade e integrar a componente rádio activa/desactiva nesses modelos; e 3) analisar e discutir o impacto da componente rádio nas métricas de contacto nos modelos de mobilidade através dos resultados obtidos nas simulações efectuadas.

Para alcançar os objectivos propostos foi necessário efectuar uma revisão bibliográfica onde foram seleccionados artigos científicos que descrevem modelos de mobilidade em redes DTN, assim como as métricas mais adequadas para a análise do impacto da interface ligada/desligada. Foi posteriormente desenvolvida uma plataforma que permite a simulação de vários modelos de mobilidade, bem como a análise destes relativamente às diversas métricas escolhidas, principalmente a variável rádio ligado/desligado.

Foram recolhidas métricas (n.º de contactos, tempo de contacto) aplicadas aos padrões de rádio definidos, que ilustram o comportamento da interface nos vários cenários testados - 3 velocidades diferentes para os modelos Random Walk (RW), Random Waypoint (RWP) e 2 velocidades para o Message Ferry (MF) e Zebra Mobility Model (ZMM) - sendo feitas 100 simulações no total.

Para as simulações efectuadas, observou-se que a relação entre a percentagem de rádio activa e o tempo de contacto não era linear. Comparando os vários modelos relativamente à diminuição encontrada, observa-se que os modelos testados têm

perdas de 50% do tempo de contacto para uma redução de 1/3 de tempo de interface.

O trabalho de investigação desenvolvido permitiu implementar um protótipo ao qual se podem adicionar novos modelos e recolher diversas métricas de mobilidade dos nós, com a opção da componente rádio activa ou desactiva. A recolha sistemática de informação científica relativa aos modelos de mobilidade foi importante para a implementação destes na plataforma apresentada, assim como a escolha de parâmetros para a simulação dos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE

DTN, Delay Tolerant Networks, Duty-cycle, modelos de mobilidade

ABSTRACT

DTN (Delay Tolerant Network) provide a basis for data communication as they allow messages to be delivered even when there is not, or ever will be a direct connection between data origin and destiny.

To investigate what different parameters can be included in the models used by DTN, the research question to be studied is: in what way the state of the radio component (on/off) can affect the the time of contact between the various piers, in the different mobility models that are used by DTN.

In order to answer the above research question, the main goals of this work are: 1) to provide; 2) to implement a platform to simulate the generation of contact for various mobility models and integrate the radio component (on/off) into these models; 3) to analyze and discuss the impact of introducing the radio component into the contact measures for the mobility models, from the obtained simulation results.

A bibliographic research was performed and integrated articles about mobility models in DTN as well as the most adequate measures for the analysis of the impact of the radio component (on/off) integration. Afterwards, a simulation platform was developed to reproduce various mobility models and analyze that impact.

Several measures were collected (number of contacts, time of contact) in relation to the radio component simulation and these reflect the behavior of the simulation platform on the various scenarios. 3 velocity measures were tested with 2 mobility models, Random Walk (RW) and Random Waypoint (RWP), while 2 velocity measures were tested with other 2 mobility models, Message Ferry (MF) and Zebra Mobility Model (ZMM). In total, 100 simulations were performed.

For these simulations, the relation between the percentage of the radio component that was on and the time of contact was not linear. All the tested models have a loss of 50% of contact time for a reduction of 1/3 of the active interface time.

This research work allowed the implementation of a prototype where new models can be added and tested in order to generate more mobility measures, with the radio component option available. The systematic revision about mobility models was important for its implementation in the developed simulation platform as well as in the selection of the various parameters to be used during those simulations.

KEYWORDS

DTN, Delay Tolerant Networks, Duty-cycle, mobility models

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos meus pais pela paciência que têm tido, à minha namorada pelo apoio, incentivo e ajuda sempre presente, ao Prof. Doutor Bruno Oliveira pela paciência e disponibilidade incondicional, ao meu orientador pela sua disponibilidade e todas suas ideias e sugestões.

SUMÁRIO

RESUMO	3
PALAVRAS-CHAVE.....	4
ABSTRACT	5
KEYWORDS.....	6
AGRADECIMENTOS	7
SUMÁRIO	8
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
SIGLAS E ACRÓNIMOS	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Enquadramento	15
1.1.1. As DTN	15
1.1.2. Bundle protocol.....	17
1.1.3. Self-delimiting numeric values - SDNV (K. Scott November 2007)	20
1.1.4. Custody transfer	20
1.1.5. Prioridade	21
1.1.6. Segurança.....	21
1.1.7. Modelos de mobilidade e métricas.....	22
1.1.8. Projectos	22
1.2. Questão de Investigação	24
1.3. Objectivos da Investigação	24
1.4. Organização da Dissertação.....	25
2. TRABALHO RELACIONADO	26
2.1. Modelos de mobilidade	26
2.1.1. Caracterização dos modelos de mobilidade	26
2.1.2. Modelos de mobilidade individual.....	28
2.1.3. Modelos Urbanos.....	48
2.1.4. Modelos de Grupo	52
2.1.5. Restricted Random Model Extension.....	58

2.2. Protocolos de encaminhamento.....	58
2.2.1. Cenário determinístico	60
2.2.2. Cenário estocástico	62
2.3. Métricas.....	68
2.3.1. Métricas para protocolos	68
2.3.2. Métricas para modelos de mobilidade:.....	71
2.3.3. Métricas de mobilidade de grupo	74
2.4. Discussão	75
2.5. Controlo rádio	76
3. IMPLEMENTAÇÃO	79
3.1. Rádio Extension for all mobility model.....	79
3.1.1. Descrição	79
3.2. Arquitectura.....	80
3.2.1. Classes	81
3.2.2. Funções comuns	85
3.2.3. Saídas de dados.....	86
3.2.4. Interface Gráfica	86
4. AVALIAÇÃO.....	87
4.1. Descrição das experiências	87
4.1.1. Teste de homogeneidade.....	88
4.1.2. Padrões on/off do rádio	89
4.2. Métricas usadas na comparação.....	90
4.2.1. Teste de uniformidade	90
4.2.2. Métricas utilizadas	91
4.3. Resultados.....	91
4.3.1. Testes de homogeneidade	91
4.3.2. Valores obtidos para as métricas de distâncias entre nós.....	96
4.3.3. Rede acessível, contactos únicos, e unidades isoladas	98
4.3.4. Acumulado de contactos únicos.....	100
4.3.5. Tempo de contacto	101
4.4. Discussão	106
4.4.1. Histogramas de posição e testes de uniformidade	106
4.4.2. Rádio On/Off.....	107
4.4.3. Plataforma	109

4.4.4. Métricas dos modelos	109
5. CONCLUSÕES	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

LISTA DE FIGURAS

Ilustração 1 - percentagem de utilização do link para diferentes protocolos com interrupção de ligações (Michael Demmer and Jain December 2004).....	17
Ilustração 2 - Esquema do modelo OSI (Enciclopedia 2004)	18
Ilustração 3 - O Bundle protocol encontra-se na camada de aplicação do modelo da Internet (K. Scott November 2007).....	19
Ilustração 4 - Mapa de conceitos para a caracterização de modelos de mobilidade - adaptado de (Christian 2001, 2001).....	27
Ilustração 5 - média da percentagem de vizinhos vs tempo (Camp, Boleng, and Davies 2002)	29
Ilustração 6 - Quebras de ligação vs velocidade vs tempo de pausa para o modelo RWP (Camp, Boleng, and Davies 2002)	31
Ilustração 7 - Distribuição de densidade das UM no espaço de simulação (Bernd Gloss 2005).....	32
Ilustração 8 - Exemplo de movimentação do modelo extraído do artigo (Le Boudec and Vojnovic 2005)	33
Ilustração 10 - Vista da transformação de espaço 2D tradicional com a forma toroidal (Camp, Boleng, and Davies 2002)	34
Ilustração 15 - Funções para as actualizações dos parâmetros do modelo (Camp, Boleng, and Davies 2002).	35
Ilustração 9 - Distribuição de densidade as UM no espaço de simulação (Bernd Gloss 2005).....	36
Ilustração 11 - Exemplo de um diagrama de Voronoi com os pontos iniciais (corners of an obstacle), os pontos de intersecção de um edifício e a delimitação das 4 células obtidas. (Jardosh et al. 2003)	39
Ilustração 13 - Velocidade ao longo do tempo para o SRMM (Christian 2001)	40
Ilustração 14 - visualização da curvatura no espaço em SRMM (Christian 2001).....	41
Ilustração 16 - esquema de influência no vector direcção para deslocações próximas do limite de simulação.....	42
Ilustração 17 - Esquema de grelha de ruas numa cidade (Da Silva, Nacif Rocha, and Mateus 2002)	49
Ilustração 18 - Esquema de deslocação das UM no espaço de simulação (Bernd Gloss 2005).....	49
Ilustração 19 - Unidades móveis representadas por a) coordenada física e b) velocidade (Wang and Baochun 2002)	56
Ilustração 20 - Esquema conceptual do conhecimento necessário para o encaminhamento em DTN (Sushant, Kevin, and Rabin 2004)	60
Ilustração 21 - Exemplo de estrutura e criação de grafo baseado em lista de contactos com a árvore de caminhos, informação para o algoritmo de aprendizagem e a construção da árvore (Radu Handorean 2004)	62
Ilustração 22 - Representação de classes da plataforma criada	81
Ilustração 23 - Visualização de partes do ecrã da plataforma criada	87
Ilustração 24 - Histogramas das 10 simulações em RW e exemplo de representação do movimento	93
Ilustração 25 - Histogramas e representação do movimento gerado nas 10 simulações em RWP	94
Ilustração 26 - Histogramas das 10 simulações em MF e exemplo de representação do movimento gerado	95
Ilustração 27 - Histogramas das 10 simulações em ZMM e exemplo de representação do movimento gerado	96

Ilustração 28 - visualização de contactos únicos ao longo do tempo de simulação para todas as unidades	100
Ilustração 29 - unidades em contacto vs rede acessível ao longo da simulação (3600s)	101
Ilustração 30 - Gráficos indicativos do tempo de contacto vs percentagem activa da interface por modelo.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - valores de Qui2 obtidos dos vários modelos testados.....	92
Tabela 2 - valores obtidos da métrica distância entre vizinhos para os modelos RW, RWP, MF, ZM	97
Tabela 3 - valores obtidos da métrica distância entre não vizinhos para os modelos RW, RWP, MF, ZM	97
Tabela 4 - valores obtidos da métrica distância entre todos os nós para os modelos RW, RWP, MF, ZM	97
Tabela 5 - valores obtidos da métrica n.º de vizinhos nos RW, RWP, MF, ZM.....	99
Tabela 6 - valores obtidos para a métrica rede acessível nos modelos RW, RWP, MF, ZM	99
Tabela 7 - valores obtidos da métrica n.º de nós isolados nos modelos RW, RWP, MF, ZM	99
Tabela 8 - tempo de contacto e intercontacto por modelo.....	101
Tabela 9 - tempos de contacto rádio para os vários modelos, agrupados por velocidade máxima	102

SIGLAS E ACRÓNIMOS

AP - Access Point

DTN - Delay Tolerant Networks

MF - Message Ferry Mobility Model

MM - Mobility Model

RW - Random Walk Mobility Model

RWP - Random Waypoint Mobility Model

UM - Unidades Móveis

ZMM - Zebra Mobility Model

1. Introdução

A rede convencional cablada está cada vez mais a incluir ligações sem fio. É importante distinguir entre ligações estáveis no tempo e no espaço de outras redes que não o são. Com a inclusão de mais e mais equipamentos móveis nas redes sem fio, e a instabilidade de alguns nós, torna-se cada vez mais necessário repensar esta questão da instabilidade assim como na qualidade de serviço.

Ao falar-se de instabilidade pode-se analisar os locais onde essa instabilidade é maior. São habitualmente locais de complicado acesso, em vias de desenvolvimento, ambientes invulgares ou zonas de catástrofe, onde a conectividade pode ser difícil de atingir com os meios convencionais.

As DTN (Delay Tolerant Network) tentam colmatar esta dificuldade e fornecem uma base de comunicação que permite a entrega de dados mesmo que não haja ou nunca vá haver comunicação directa entre a origem e destino. Isto é feito por meio de nós intermédios que facilitam esta transmissão. A mobilidade dos nós é fundamental para que haja troca de mensagens e a comunicação exista.

Apesar de estas redes proporem outros meios de transmissão de dados, a interface sem-fios mantém-se o meio principal para a transmissão de dados. Sendo este um recurso que consome energia, essencial em equipamentos móveis, todos os processos que reduzam o consumo do mesmo são importantes, nomeadamente a desactivação do equipamento. Este mecanismo permite a poupança de recursos à custa da redução da possibilidade de comunicação, sendo necessário um estudo das implicações deste na transmissão de dados.

A simulação tem vindo a tornar-se uma ferramenta indispensável na construção e avaliação de modelos de mobilidade. Estes modelos tentam representar o movimento habitual de pessoas e demais unidades móveis e integrados permitem a análise de sistemas em ambientes não propícios ou de implementação complexa ou impraticável.

1.1. ENQUADRAMENTO

1.1.1. As DTN

A Internet tradicional é constituída na sua grande maioria por redes cabladas e estruturadas com boas características, como por exemplo, ligação contínua, falhas esporádicas, ligação ponto-a-ponto possível, atraso curto, e taxas de erro baixas.

As redes sem fio estão a tornar-se cada vez mais populares e em teoria os equipamentos móveis permitem ligar os seus detentores à Internet a qualquer hora e em qualquer lugar, no entanto, nem sempre existe um ponto de acesso disponível ou ao alcance. Mesmo assim, estas são redes "bem comportadas" e estruturadas em comparação com as redes DTN.

Por outro lado, Delay tolerant networks (DTNs) são redes em que nem sempre existe caminho entre origem e destino em tempo real devido à mobilidade dos nós intervenientes, curto alcance de rádio, obstáculos físicos, recursos escassos, etc. (Guo et al. 2007)

Podem existir condicionantes que inviabilizem a comunicação. São em geral redes em que o protocolo TCP/IP não funcionaria por diversas razões como requisitos especiais (Kevin 2003):

- **meio hostil:** Altitudes elevadas, gelos, calor extremo, cadeias montanhosas, florestas tropicais, zonas ácidas ou básicas, tempestades frequentes;
- **localização remota:** postos nos árticos e desertos, zonas rurais, montanhosas;
- **quebra de ligação frequente:** grande mobilidade dos nós, redes baseadas na rede de transportes, zonas de interferência esperada (zonas industriais, interferências rádio), bibliotecas itinerantes, satélites em órbita baixa, translação de planetas entre outros.

Podem ter recursos limitados (ex: redes de sensores):

- tamanho muito reduzido;
- comunicação rádio;
- pouca memória;
- reduzida largura de banda;
- pouca capacidade de processamento;
- milhares de nós na mesma rede: muitas vezes os nós são endereçados em agregado para facilitar todo o processo;

- equipados com baterias: transmissão esporádica para conservar energia em ambientes com milhares de nós.

Podem fazer uso de meios de comunicação exóticos:

- comunicação com satélites em órbita baixa;
- redes rádio de longa distância;
- redes ópticas com atrasos de propagação elevado: comunicação no espaço;
- redes acústicas de comunicação no ar e na água;
- redes ópticas com linha-de-vista;
- rede acústica subaquática.

Redes ad-hoc militares:

- em ambientes hostís ou de guerra;
- factores ambientais;
- interferência propositada;
- transmissão simultânea;
- competição por largura de banda com serviços de mais alta prioridade: serviços de voz;
- questões relacionadas com a segurança.

Ao contrário da Internet, esta comunicação especializada pode ainda estar limitada por atraso e erros na comunicação, questões de segurança, confiança no destinatário, endereçamento, fiabilidade, etc.

As DTN contornam os diversos problemas de ligação através de técnicas de troca de mensagens (Warthman 2003). Neste sistema não é antecipadamente criada uma ligação extremo-a-extremo, a transmissão é feita ponto-a-ponto, mediante os nós disponíveis para contacto directo.

Havendo mensagens a receber, estas são totalmente recebidas e guardadas. Assim que seja possível, e exista um ou mais nós ao alcance, os protocolos de encaminhamento enviam ou não a mensagem para a entidade seguinte. Este processo tem o nome de store-and-forward (guardar-e-encaminhar). O nó de destino não necessita estar activo para que haja encaminhamento da mensagem.

Em 2004 foi apresentado o trabalho “Implementing Delay Tolerant Networking”(Michael Demmer and Jain December 2004), da Intel com a prova de conceito deste método de encaminhamento. Estes investigadores usaram como exemplo de comparação 3 protocolos de entrega de mensagens - DTN, Simple Mail

Transfer Protocol (SMTP), Simple File Transfer Protocol - por comparação entre o modelo end-to-end e hop-by-hop.

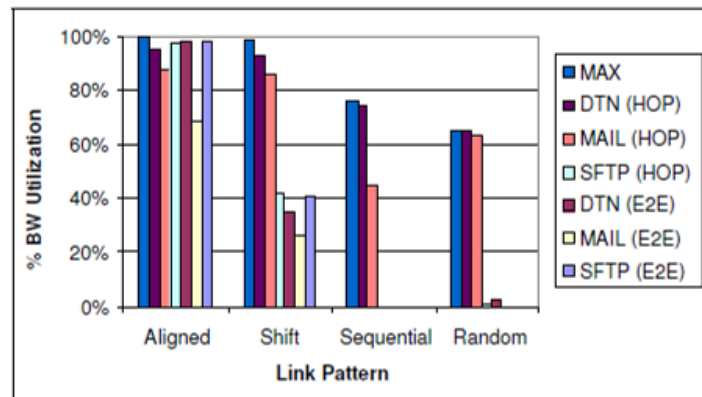


Ilustração 1 - percentagem de utilização do link para diferentes protocolos com interrupção de ligações
(Michael Demmer and Jain December 2004)

Na experiência são inseridas fases sem conectividade alternando com fases de transmissão. Inicialmente todas as interligações são activadas ao mesmo tempo (alinhamento) e depois são activadas 10s após a activação da ligação anterior, segue-se uma fase sequencial, em que apenas uma ligação está activa mas em sequência até ao destino e uma última fase em que é aleatória a ligação que está activa. São também comparados em ambientes ponto-a-ponto e origem-destino. Estas 4 experiências demonstram as grandes capacidades do protocolo, relativamente aos já existentes.

1.1.2. Bundle protocol

Para permitir a comunicação em ambientes tão distintos e heterogêneos, seria necessário criar uma arquitectura *standard* para comunicar através de múltiplos pontos/regiões sendo que poderá não haver ligação aparente, atrasos variáveis, etc. Exemplos ainda actuais incluem a comunicação no deserto, nos pólos, entre a terra e em satélites de comunicação, para a lua, ou para Marte.

O reconhecimento desta necessidade levou à criação de um conceito “bundle” como uma maneira de agregar em alto nível o problema das comunicações em “store and forward”. Este conceito é uma nova área de desenvolvimento de protocolos nas camadas mais altas do modelo OSI (ZIMMERMANN APRIL 1980), acima da camada de transporte com o objectivo de se resolver o problema do envio de “bundle” de forma segura e garantida ao longo de uma rede com características muito diferentes das que são a Internet actual.

From Computer Desktop Encyclopedia
 © 2004 The Computer Language Co. Inc.

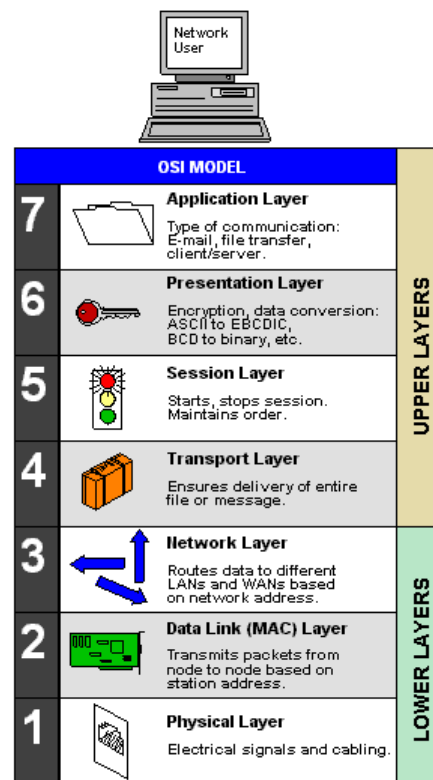


Ilustração 2 - Esquema do modelo OSI (Enciclopedia 2004)

Este protocolo descreve a comunicação ponto-a-ponto, formato de cada bloco de dados a transmitir, relatórios diversos, serviços abstractos e respectiva descrição para a troca de mensagens (bundles) em redes DTN. Para proporcionar uma framework para o desenvolvimento de algoritmos e aplicações em DTN, foram publicados dois RFC ((V. Cerf Abril 2007) e (K. Scott November 2007)) em 2007 para definir uma abstracção em software que seja executado em redes com possibilidade de interrupção.

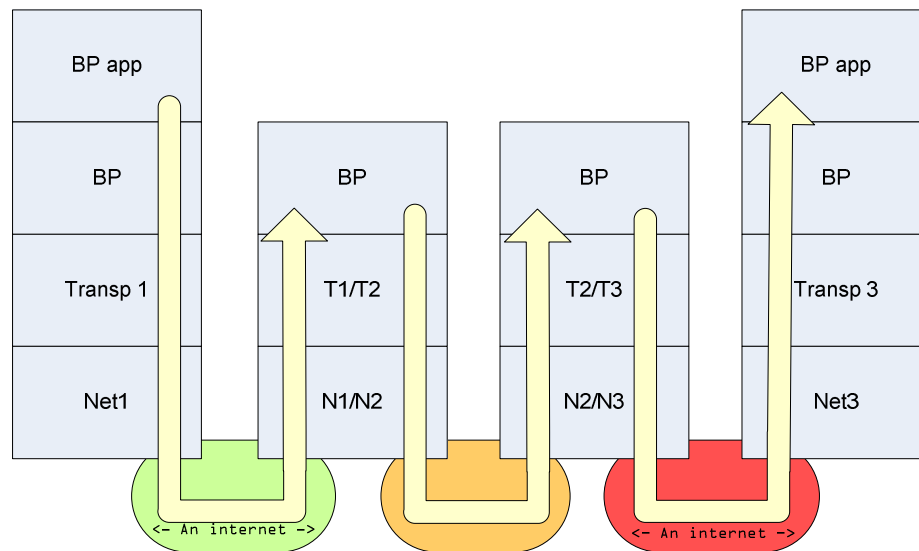


Ilustração 3 - O Bundle protocol encontra-se na camada de aplicação do modelo da Internet (K. Scott November 2007)

Vulgarmente conhecido como *Bundle Protocol*, este define uma série de blocos de dados contínuos como um “*bundle*” - em que cada bundle contém informação suficiente que permita encaminhá-lo na rede. Os bundles são encaminhados mediante um processo de “store and forward” entre os nós participantes sobre diversos protocolos de transporte (incluindo os protocolos baseados em IP ou não).

As camadas de transporte que encaminham blocos bundle são chamadas de bundle convergence layers. São estas as responsáveis por tornar transparente a comunicação de dados em meios e protocolos distintos. A arquitectura bundle é uma sobreposição à rede existente, fornecendo um novo paradigma baseado em identificadores finais (endpoint identifiers - EIDs) e em classes com granularidade diversa de fornecimento de serviços.

Os protocolos bundle recolhem informação da camada de apresentação e guardam-na construindo o bundle de suporte para ser enviado por redes diversas com informação relativa ao destinatário dos dados, origem dos mesmos, identificador da entidade a quem relatar os dados transmitidos, garantias de serviço esperado, entre outras. As classes de serviço normalmente definidas pela camada de aplicação e pelo RFC5050 (K. Scott November 2007) são baseadas na urgência de entrega: bulk, normal, expedited.

1.1.3. Self-delimiting numeric values - SDNV (K. Scott November 2007)

Os vários campos de um pacote bundle são, na sua maioria, representados em formato SDNV. Este formato foi desenvolvido para resolver o problema da existência de campos (extra) para conter informação de “tamanho do campo” (length) em campos de tamanho variável. A poupança de caracteres é um factor importante quando se trata de ligações que poderão ser de muito baixa capacidade, poupando em overhead nos pacotes a transmitir.

Esta estrutura também representa, de uma forma mais concisa, valores de pequena dimensão, pelo que podem ser enviados 16bit em vez de 64bit para representar o mesmo valor. No caso das DTN em comunicações no espaço ou redes de sensores suportados por baterias, a redução dos dados a transmitir é de extrema importância.

Durante a fase de desenvolvimento de protocolos, o uso de SDNV, que permite representar valores suficientemente grandes para guardar uma chave RSA, reduz a necessidade de decidir o tamanho de variáveis dado que o número representado cresce e reduz de tamanho conforme as necessidades (K. Scott November 2007).

1.1.4. Custody transfer

A cada transferência entre os vários nós da rede, são trocados um conjunto de sinais que permitem verificar se o destinatário pode guardar a mensagem, e se a recepção foi efectuada com sucesso, caso em que é possível ao transmissor apagar a sua cópia da mensagem.

Este mecanismo permite que a cada instante seja possível identificar o detentor do *bundle* transmitido. O campo *report-to* é consultado para notificar esta entidade:

- da aceitação de transferência de custódia (custody acceptance status);
- do identificador do detentor de custódia (current custodian);
- de encaminhamento do bundle (bundle forwarding status report);
- da entrega (bundle delivery status report);
- da remoção: bundle deletion status report;
- da transferência de custódia com sucesso: Succeeded;
- da falha de transferência: Failed.

1.1.5. Prioridade

Habitualmente nos ambientes onde as DTN são usadas, com as restrições de recursos existentes, é necessário por vezes o envio de mensagens prioritárias. O protocolo tem em atenção esta necessidade e inclui um campo no cabeçalho do primary block para indicar esta necessidade (Bundle processing control flag, campo `general`, bits 8 e 7).

São usados 3 tipos de prioridade:

- **a prioridade mais baixa** (bulk – bits 00) é o nível inferior da escala. Todos os pacotes marcados com um nível mais alto são transmitidos em primeiro lugar;
- **prioridade normal** (normal – representado a 01) é o nível habitual da transmissão;
- **prioridade alta** (expedited – bits 10) é o nível mais alto, indicando que os pacotes marcados com este nível deverão ser transmitidos antes de qualquer um, sendo urgente a entrega destes pacotes ao destinatário;
- Encontra-se reservada a representação '11' para uso futuro.

1.1.6. Segurança

A segurança é um factor importante em todas as redes e sistemas. A confidencialidade, autoria e integridade dos dados foram factores a ter em conta na elaboração do protocolo.

Foram criados 3 tipos de cabeçalhos de segurança que podem ser incluídos num bundle. São estes o Bundle Authentication Header (BAH), o Payload Security Header (PSH) e o Confidentiality Header (CH).

O BAH é usado para garantir a autenticidade do bundle na transmissão entre nós. O PSH é usado para garantir a autenticidade do bundle desde a origem, que criou o bloco (PSH security-source - que pode não ser o emissor dado que pode ser um nó intermédio a acrescentar este bloco) até ao destino (PSH security-destination), que verifica/autentica a origem do PSH. A informação de autenticação pode, se o ciphersuite permitir, ser verificada por qualquer nó ao longo do trajecto entre as duas entidades, que deverão ter as chaves criptográficas e o estado de revogação para o fazer.

1.1.7. Modelos de mobilidade e métricas

Modelos de mobilidade são representações simplificadas da realidade, através das quais é possível simular padrões conhecidos de mobilidade de entidades. Estes padrões são extraídos habitualmente da realidade e permitem a geração de novos cenários.

A simulação executada com os modelos pretendidos é cada vez mais importante na verificação de protocolos de encaminhamento antes do uso dos seus benefícios por todos os utilizadores da Internet .

Para verificar e melhorar o desempenho dos mesmos é necessário recolher dados de diversas métricas que permitam a comparação e análise dos modelos, comportamentos e capacidades.

1.1.8. Projectos

Há diversos projectos que usam a tecnologia DTN para a transmissão de dados e acesso à Internet .

O projecto Diselnet (Michael and Kevin 2007; Aruna, Brian, and Arun 2007; Burgess et al. 2006; Antunes 2008) da Universidade de Massachusetts Amherst, Estados Unidos, usa uma rede de autocarros para fornecer Internet aos seus utentes e transeuntes. Os autocarros estão equipados com dispositivos GPS e sem fio com o protocolo 802.11b. Durante a circulação dos veículos, o cruzamento de autocarros é usado para a troca de informação por parte dos ocupantes que recebem e enviam informação. Para este fim são usados routers DTN que executam os vários pedidos na Internet .

As pesquisas são recolhidas por uma aplicação Web e guardadas em disco se não for possível a sua transmissão para o servidor proxy.

O servidor proxy é responsável por efectuar as pesquisas na Internet e guardar as primeiras 20 páginas relacionadas com a pesquisa. Em geral os utilizadores só visualizam as 20 primeiras páginas de qualquer pesquisa (Aruna et al. 2007). Se possível, estas páginas são entregues de imediato à interface *web*, e por sua vez ao utilizador. Se não for possível, estas são guardadas e entregues assim que houver um contacto intermédio que os encaminhe.

O projecto Zebranet (Zhensheng 2006; Agoston, Justin, and Christine 2009; Michael and Kevin 2007) da universidade de Princeton, nos Estados Unidos, usa sensores sem-fio para recolher informação de localização de cada zebra. Os colares transmissores, colocados no pescoço do animal, estão equipados com GPS e registam periodicamente a informação recolhida em memória flash, permitindo a monitorização da vida selvagem sem interferência humana. A recolha é feita periodicamente pelos investigadores e corresponde à informação total dos equipamentos dada a troca de mensagens entre os vários equipamentos (coleiras).

RuralKiosk (Seth et al. 2006) é um projecto que pretende colocar postos de Internet em aldeias rurais na Índia. O projecto já se encontra em fase de implementação e consiste num posto equipado com um servidor, que gere a comunicação com o transporte de informação em autocarro, e um ou mais postos. Estes postos são construídos com computadores mais antigos, mantendo um custo de operação e aquisição muito baixo porque o acesso à Internet é feito esporadicamente.

O projecto Wizzy Digital Courier (Michael Demmer and Jain December 2004), implementado na África do Sul, pretende efectuar troca de emails e pesquisas Web através do uso de uma PEN USB que é transportada de bicicleta ou de mota entre algumas escolas do país.

O projecto Cartel (Bret et al. 2006), do instituto de tecnologia do Massachusetts, baseia-se na recolha de informação em carros equipados com sensores. Os carros têm um computador que processa a informação e permite a sua visualização. Adicionalmente, transmite essa informação para uma unidade central através de contactos oportunistas ou acesso à Internet . A informação recolhida permite calcular o tempo em deslocações na cidade, implementações de redes sem-fios e recolha de dados sobre o funcionamento dos veículos.

Inter PlaNetary (IPN) (Zhensheng 2006) foi criado pela Jet Propulsion Laboratory como parte da iniciativa Next Generation Internet . O objectivo é permitir a comunicação extremo-a-extremo numa rede interplanetária. A rede é constituída por um sistema híbrido que permite a comunicação normal a curta distância e um

backbone que seja tolerante aos grandes atrasos na transmissão espacial, contactos previsíveis, etc. Pretende-se criar, de futuro, uma “rede de Internets”.

Um outro projecto “Sámi Network Connectivity, ou Reindeer Herders na Suécia (Michael and Kevin 2007), fornece serviços de Internet e correio electrónico ao povo Sámi que vive do pastoreio de renas. Estes abandonam as suas vilas por períodos grandes de tempo, sem contacto com os seus familiares e outros Sámi. As áreas de pasto, como seria de esperar, não têm qualquer recurso de Internet disponível.

Há ainda outros projectos como o village network (Zhensheng 2006; Agoston, Justin, and Christine 2009), THEDU (Aruna et al. 2007), Infostation Model (Zhensheng 2006), SWIm (Zhensheng 2006) e projectos para áreas de catástrofe (Aschenbruck et al. 2004), entre outros.

1.2. QUESTÃO DE INVESTIGAÇÃO

Uma componente indispensável para a comunicação em redes DTN é a interface rádio. Esta acarreta um consumo energético acrescido, que pode ser evitado se a mesma estiver desligada. Esta poupança energética pode ser importante para permitir um prolongamento do tempo de vida/ciclo de manutenção de um sensor ou equipamento móvel.

A questão de investigação proposta por esta dissertação é a seguinte: de que forma o estado (activo/desactivo) da componente rádio influencia as métricas de tempo de contacto ao nível da mobilidade dos nós, em diferentes modelos de mobilidade?

1.3. OBJECTIVOS DA INVESTIGAÇÃO

Os objectivos gerais da investigação são os seguintes:

- Proporcionar aos investigadores interessados nesta área um termo de comparação para o tempo de contacto esperado em função do padrão que possam escolher para o estado da interface de rádio;
- Descrever os modelos de mobilidade mais comumente aplicados às DTN;
- Implementar uma plataforma para simular modelos de mobilidade que permita:

- Criar geradores de contacto para os modelos de mobilidade;
- Integrar a componente rádio activa/desactiva para os mesmos modelos;
- Analisar e discutir o impacto da componente rádio nas métricas de contacto nos modelos de mobilidade através dos resultados obtidos nas simulações efectuadas, ajudando a responder à pergunta de investigação anteriormente colocada.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação começa por descrever os vários modelos de mobilidade, protocolos e métricas referidas em artigos analisados relacionados com as DTN.

Segue-se um capítulo com a descrição da extensão proposta e a implementação efectuada, detalhando as classes e a forma como o movimento é gerado. É referido também o procedimento a usar para adicionar novos modelos de mobilidade à plataforma.

O capítulo de avaliação descreve as experiências efectuadas, as métricas usadas na análise, os resultados obtidos e termina com a discussão dos resultados.

As conclusões e trabalho futuro terminam este documento.

2. Trabalho relacionado

2.1. MODELOS DE MOBILIDADE

2.1.1. Caracterização dos modelos de mobilidade

Para que seja possível testar não só os protocolos mas a própria arquitectura da rede é necessário recorrer a simplificações da realidade. Os modelos de mobilidade tentam representar a realidade recorrendo a simplificações da mesma, com padrões de movimento ou funções matemáticas que modelam os diversos comportamentos.

A movimentação dos nós no espaço tem uma grande influência na performance de um protocolo (Liao et al. 2004) e melhora as capacidades das redes ad hoc (Grossglauser and Tse 2002), o que também se aplica às DTN, pois estas têm as mesmas restrições que as redes ad hoc, sendo ainda mais exigentes dado que pode não haver ligação extremo-a-extremo disponível. A deslocação dos nós é pois fundamental para que haja propagação da informação na rede (Camp, Boleng, and Davies 2002).

Modelos gerados a partir de traçados são mais precisos do que outros modelos de mobilidade (Liao et al. 2004). Obter o traçado de cada nó ao longo do tempo é possível, mas nem sempre viável, e na maioria dos casos são necessárias muitas horas para o implementar, o que poderá ser impraticável. Há, no entanto, artigos que extraem informação a partir destas listas de dados (Liao et al. 2004; Tuduca and Gross 2005; Kim, Kotz, and Kim 2006; Rojas, Branch, and Armitage 2006; Yoon et al. 2006; Tuduca and Gross 2005). Os diversos modelos desenvolvidos, foram extraídos de observações de comportamento, recolha de dados de deslocação, de forma empírica, entre outros, mas todos eles tentam representar, de forma simplificada, a realidade a partir de padrões de deslocação. Os padrões são posteriormente confrontados com o movimento que tentam representar, por meio de análise estatística e posteriormente validados.

A geração de movimentos a partir dos modelos permite a análise e recolha de características específicas de cada modelo e, entre outros fins, a verificação/validação/desenvolvimento de protocolos e arquitecturas de comunicação em que haja mobilidade dos nós.

Todos os modelos têm propriedades em comum, como a dimensão em que são utilizados, a forma como geram a próxima posição, se o movimento é em grupo ou individual, entre outras.

No artigo (Christian 2001), os autores resumem diversas características dos modelos de mobilidade na seguinte figura:

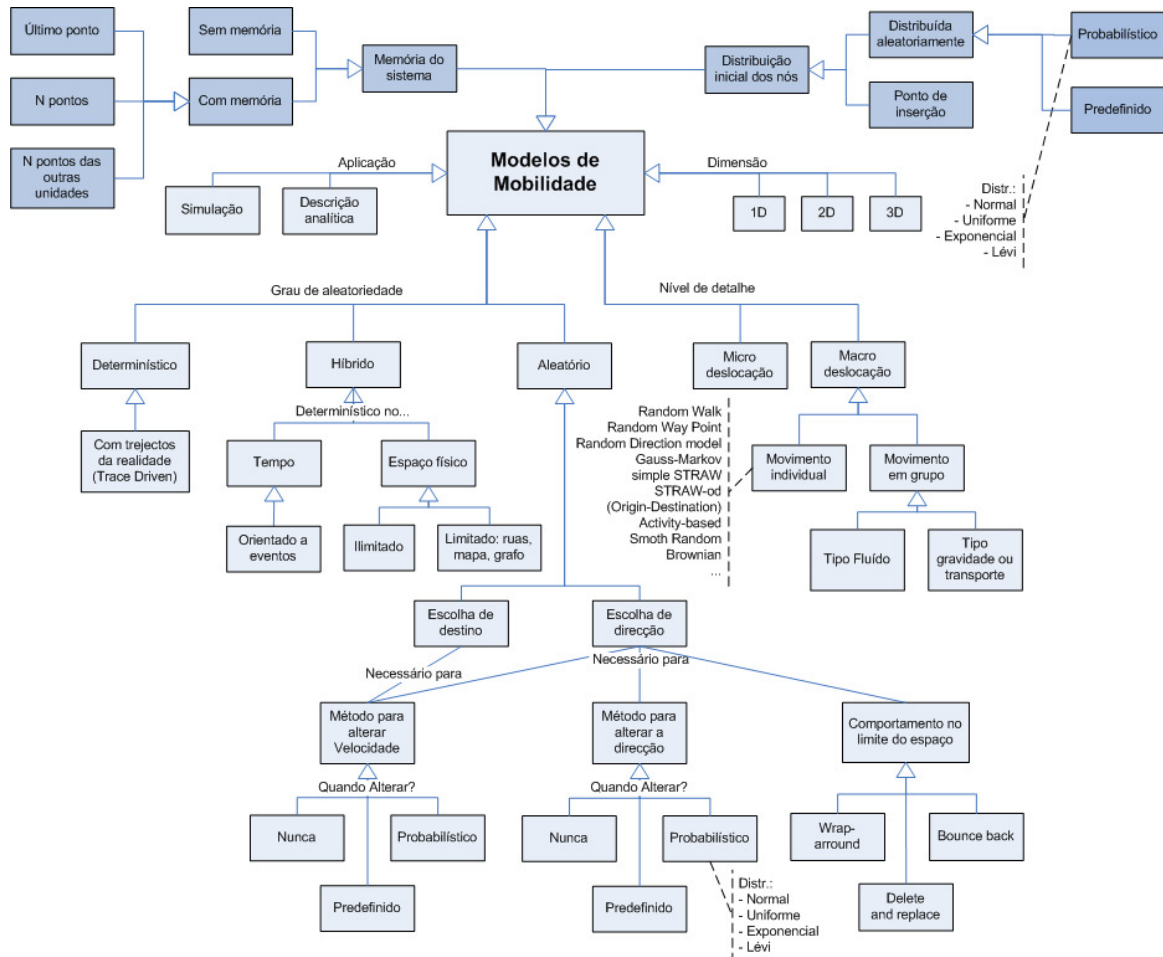


Ilustração 4 - Mapa de conceitos para a caracterização de modelos de mobilidade - adaptado de (Christian 2001, 2001)

O mapa de conceitos foi complementado com informação relativa a características encontradas nos modelos analisados (a azul mais escuro) indicando a memória, que permite às unidades ajustar o seu comportamento mediante o histórico ou informação de terceiros; e a colocação inicial dos nós que é referida como sendo um dos factores que influênciam o arranque da simulação - *burn-in* (Camp, Boleng, and Davies 2002).

2.1.2. Modelos de mobilidade individual

2.1.2.1. RANDOM WALK (DRUNK) MOBILITY MODEL

Este modelo, também chamado de movimento browniano (Camp, Boleng, and Davies 2002), ou mais vulgarmente de drunken movement, foi o primeiro apresentado por Einstein em 1926. Muitas entidades, como partículas, deslocam-se de forma perfeitamente imprevisível e este modelo tenta representa-los.

Neste modelo, uma Unidade Móvel (UM) escolhe uma qualquer direcção e desloca-se a uma velocidade também aleatória nessa direcção. A velocidade é definida entre $[V_{min}, V_{max}]$ e a direcção entre $[0, 2\pi]$ para 2D. Quando uma UM atinge o limite de simulação, é reflectida no ângulo de incidência, continuando na nova direcção.

Foi provado em 1921 por Polya (Camp, Boleng, and Davies 2002) que neste modelo, a 1D e 2D, a UM retorna sempre ao ponto de origem com probabilidade 1.0.

Há muitas variantes deste modelo em várias dimensões: 1D, 2D, 3D e d-D. (Camp, Boleng, and Davies 2002)

2.1.2.2. RANDOM MOBILITY MODEL

Variante do Random Walk Mobility Model (RW) em que o método de cálculo da nova direcção e velocidade são iguais ao RW (Blakely and Lowekamp 2004).

Neste modelo, a cada intervalo de tempo Δt são actualizados os vectores velocidade (v) e direcção (d), como sucede com o modelo RW. No entanto, o Δt é a unidade de tempo de simulação (habitualmente 1s (Wang and Baochun 2002)).

Este modelo, apesar de mais próximo da realidade é ainda bastante abrupto na mudança de comportamento. Para colmatar esta falha, foi sugerido em (Christian 2001), que se limitasse a direcção e velocidade entre intervalos de valores predefinidos permitindo assim, uma deslocação mais suave das Unidades Móveis (UM) e melhor aproximação à realidade, por exemplo, no que diz respeito à curvatura de veículos em cidade, permitindo a distribuição de uma curva ao longo de alguns segundos.

Este e outros modelos ad hoc/DTN diferem dos utilizados em redes móveis porque não necessitam de uma estação base (BT) e na definição de “célula” em que apenas a localização física é importante e não a ligação com a antena respectiva (Blakely and Lowekamp 2004).

2.1.2.3. RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL (ARIYAKHAJORN, WANNAWILAI, AND SATHITWIRIYAWONG 2006)

Ao ser iniciada a transmissão da mensagem, cada nó calcula um destino uniformemente distribuído no espaço definido para a simulação e calcula uma velocidade V uniformemente distribuída entre o intervalo $[0, V_{max}]$. V_{max} é um parâmetro definido como reflectindo a capacidade de mobilidade dos nós. Assim que é atingido o objectivo, o nó aguarda um tempo Z antes de reiniciar o processo. A direcção/sentido de deslocação da Unidade Móvel poderá ser escolhida por ponto de destino (x,y) ou por azimuth (ângulo θ a seguir) e distância (Blakely and Lowekamp 2004), resultando em padrões de deslocação distintos.

Há algumas variantes deste modelo definidas, entre outros, nos artigos (Lin, Noubir, and Rajmohan 2004; Camp, Boleng, and Davies 2002; Muhammad and Robert 2008; Ariyakhajorn, Wannawilai, and Sathitwiriawong 2006; Rojas, Branch, and Armitage 2006; Bansal and Liu 2003). Existe ainda uma variante sem pausas, indicada no artigo (Camp, Boleng, and Davies 2002) (cf. com referência 18 do mesmo).

Na fase de colocação das UM (inicialização do sistema), a colocação aleatória dos nós não é representativa da forma como estes se distribuem quando estão em deslocação. Um gráfico de **Média acumulada de nós em alcance** (Camp, Boleng, and Davies 2002) permite verificar esta situação.

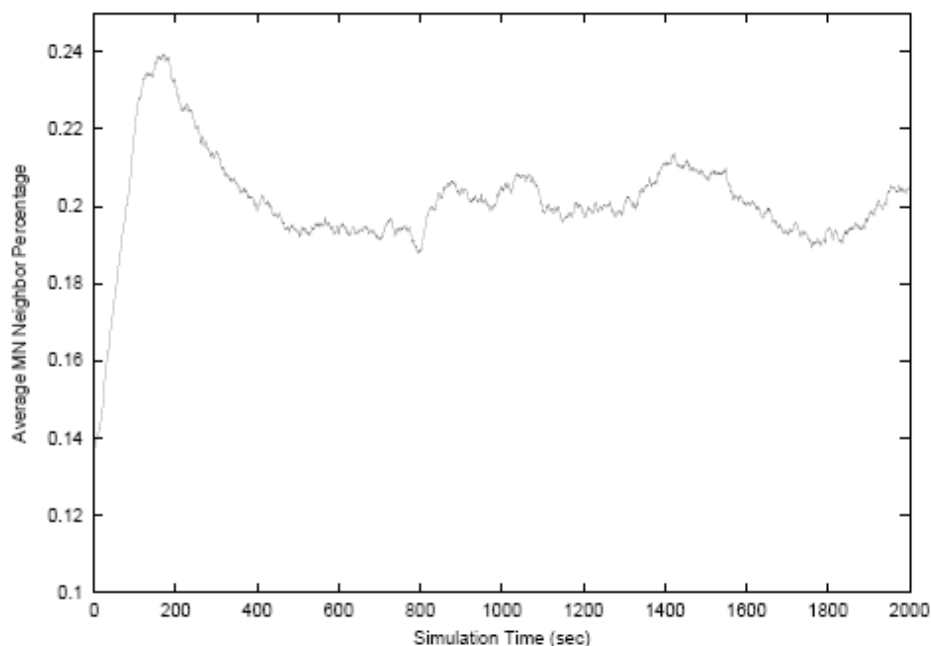


Ilustração 5 - média da percentagem de vizinhos vs tempo (Camp, Boleng, and Davies 2002)

Há três maneiras de contornar esta situação (descritas em (Camp, Boleng, and Davies 2002)):

- Executar a simulação durante algum tempo e guardar a última localização das unidades, usando as mesmas para as posições iniciais de simulações posteriores;
- Iniciar a distribuição das unidades de uma forma mais adequada ao modelo. Por exemplo, colocar as unidades numa forma triangular é mais adequado do que colocar as mesmas unidades de forma aleatória;
- Remover os primeiros 1000s de cada simulação. Assim garante-se que o problema de inicialização seja retirado mesmo que as unidades se desloquem devagar. Se estas se deslocarem depressa poderá reduzir-se este valor inicial. Esta remoção inicial é melhor que a 1ª hipótese dado que gera uma configuração inicial diferente a cada lançamento.

Habitualmente, os valores a retirar do modelo deverão ser recolhidos após algum tempo de deslocação das unidades de forma a minimizar o problema de inicialização do sistema (burn-in). Similarmente o problema surge na distribuição de velocidades denominado neste caso de Speed decay problem (Lin, Noubir, and Rajmohan 2004)

Há ainda um factor de correlação entre a velocidade dos nós e o tempo em pausa. Um cenário em que os nós se deslocam rapidamente e com bastante tempo de espera, gera uma rede mais estável do que nós a deslocarem-se lentamente. O gráfico de velocidade/tempo/trocas de ligação por nó é indicativo do ponto de corte deste detalhe. Sensivelmente os 20s de pausa para velocidades até 50m/s. (cf. ref. 17 do artigo (Camp, Boleng, and Davies 2002) para uma explicação mais detalhada)

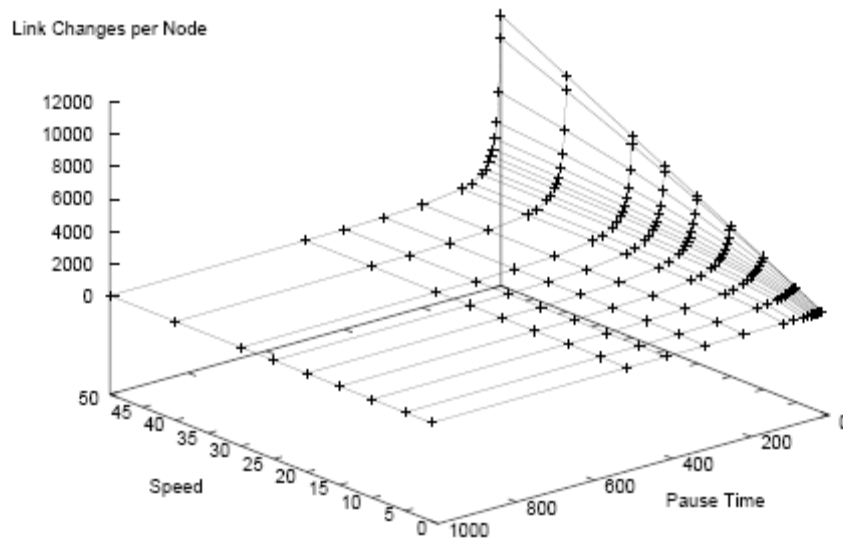


Ilustração 6 - Quebras de ligação vs velocidade vs tempo de pausa para o modelo RWP (Camp, Boleng, and Davies 2002)

Para multicast em redes ad hoc, foi feito um estudo com este modelo (cf. (Elizabeth and Charles 1999)).

Nas condições apresentadas (vel. $[0,1]$ s; pausa $[60-300]$ s; simulações de 300s) as UM quase não se movem pelo que é de considerar algum cuidado dado que com unidades que não se movem a rede é muito estável, não gerando grandes trocas de topologia.

Por fim, Este modelo é muito similar ao Random Walk (Camp, Boleng, and Davies 2002) se o tempo de pausa for 0 e se os intervalos mínimo e máximo de velocidade corresponderem.

A distribuição de UM ao longo do espaço de simulação está representada na figura seguinte:

Sojourn Density Distribution

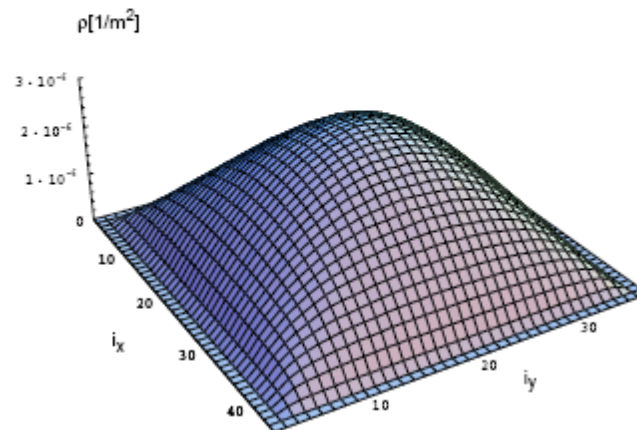


Ilustração 7 - Distribuição de densidade das UM no espaço de simulação (Bernd Gloss 2005)

Outras referências para artigos com este modelo: (Liao et al. 2004)

Um melhoramento apresentado em 2001 por Xiaoyan (Xiaoyan et al. 2001) denominado **Targeting Model** apresenta o mesmo procedimento que o RWP alterando a forma como a unidade se comporta próxima do seu objectivo, reduzindo a sua velocidade até parar com acelerações negativas, aguardando o mesmo tempo antes de iniciar o processo.

2.1.2.4. RESTRICTED RANDOM WAYPOINT MOBILITY MODEL (LE BOUDEC AND VOJNOVIC 2005)

Neste modelo de mobilidade, a unidade desloca-se no interior de uma das áreas definidas dentro do espaço de simulação, de forma idêntica ao modelo anterior. Após um número aleatório de visitas, este modelo escolhe uma nova posição numa outra área previamente já definida.

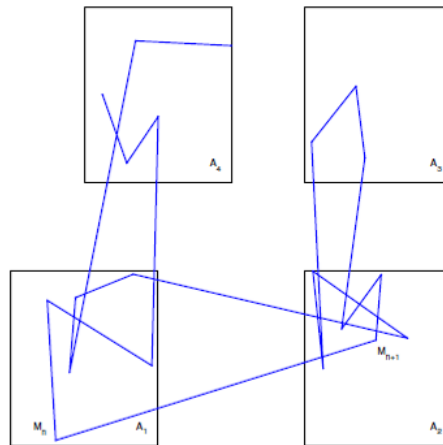


Ilustração 8 - Exemplo de movimentação do modelo extraído do artigo (Le Boudec and Vojnovic 2005)

Este esquema de simulação também pode ser usado em ambientes onde se pretenda usar o modelo Message-Ferry.

Existe ainda uma variante deste modelo, com a inclusão de *hotspots*, descrita no artigo (Muhammad and Robert 2008). Nesta modificação existe uma probabilidade p de o destino estar dentro de uma área de cobertura de um hotspot em que o tempo de espera neste local possa ser superior.

2.1.2.5. AREA-BASED RANDOM WAYPOINT MODEL (AGOSTON, JUSTIN, AND CHRISTINE 2009)

O artigo que apresenta este modelo descreve que são criadas áreas dentro da área de simulação para a deslocação das unidades e que estas áreas se podem sobrepor. As unidades deslocam-se de acordo com o Random Waypoint MM.

Este modelo é uma restrição aplicada ao modelo RWP para cada unidade e pode-se considerar uma aplicação do Restricted Random Model Extension descrito na secção 2.1.5.

2.1.2.6. BOUNDLESS SIMULATION AREA MOBILITY MODEL

A grande novidade deste modelo é a forma como o espaço de simulação é representado e a utilização de memória (direcção e velocidades anteriores).

Neste modelo, a cada intervalo de tempo, são calculados novos desvios para o vector velocidade e direcção. Estes são adicionados aos vectores respectivos e calculado o novo destino.

Na grande maioria de todos os modelos, as UM ou param no limite da área de simulação ou são reflectidas. Este é um modelo 2D em que não há limites sobre o espaço de simulação (boundless). Para que tal seja possível, é usada uma estrutura toroidal em que o limite superior é a continuação do limite inferior, e o limite esquerdo a continuação do limite direito. Ou seja, qualquer deslocação que saia pelo limite superior, entra na simulação pelo limite inferior sem alteração de velocidade e direcção. Para criar esta estrutura, “dobra-se” a área de simulação superior para coincidir com a inferior e, posteriormente, unem-se as extremidades da figura cilíndrica criada. A esta transição dá-se o nome de estrutura toroidal e tem a forma representada na seguinte ilustração.

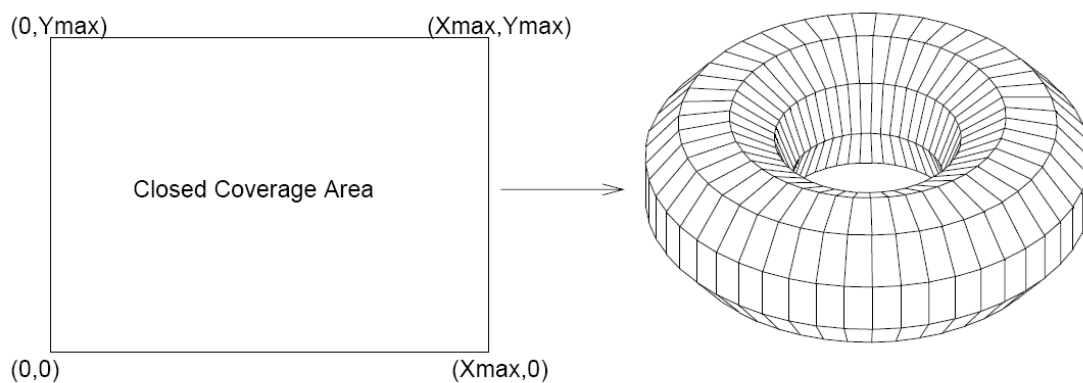


Ilustração 9 - Vista da transformação de espaço 2D tradicional com a forma toroidal (Camp, Boleng, and Davies 2002)

Para representar o movimento de cada UM são usados como parâmetros: a posição (x,y) e a velocidade (vector v , θ como direcção da velocidade). A velocidade deverá estar no intervalo $[0, v_{\max}]$, a direcção entre $[0, 2\pi]$. Existem ainda os valores $A_{\max}$ que representam a aceleração máxima e o α o ângulo máximo permitido. Sendo assim, o Δv deverá estar uniformemente distribuído entre $[-A_{\max} \Delta t, A_{\max} \Delta t]$ e a variação de direcção entre $[-\alpha \Delta t, \alpha \Delta t]$.

As funções que representam a actualização das coordenadas são:

$$v(t + \Delta t) = \min[\max(v(t) + \Delta v, 0), V_{\max}];$$

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + \Delta\theta;$$

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t) * \cos \theta(t);$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + v(t) * \sin \theta(t);$$

Ilustração 10 - Funções para as actualizações dos parâmetros do modelo (Camp, Boleng, and Davies 2002).

2.1.2.7. RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL

Uma falha existente no modelo Random Waypoint (RWP) é a existência de ondas de densidade (density waves¹). Para aliviar este efeito, e promover um semi-constante número de vizinhos, desenvolveu-se o modelo Random Direction Mobility Model (RD).

Neste modelo, as unidades móveis (UM) escolhem uma direcção e deslocam-se nessa direcção até atingirem o limite de simulação. Assim que o atingem, aguardam um tempo Z e “reflectem” segundo um ângulo aleatório (entre 0 e 180 graus).

A deslocação sem paragens até ao limite de simulação, e o tempo de pausa neste ponto, fazem com que o número de saltos (hop count) seja muito mais alto do que noutros modelos (p. ex. RWP). O mesmo sucede com o número de partições de rede (network partitions) que também terá maior probabilidade de ocorrer.

Este modelo garante a distribuição uniforme das UM ao longo de todo o espaço de simulação. (Bernd Gloss 2005)

¹ Density waves são aglomerados de unidades na mesma zona da área de simulação, pelo que, há picos de densidade e de escassez na mesma zona. As unidades tendem a convergir e dispersar.

Sojourn Density Distribution

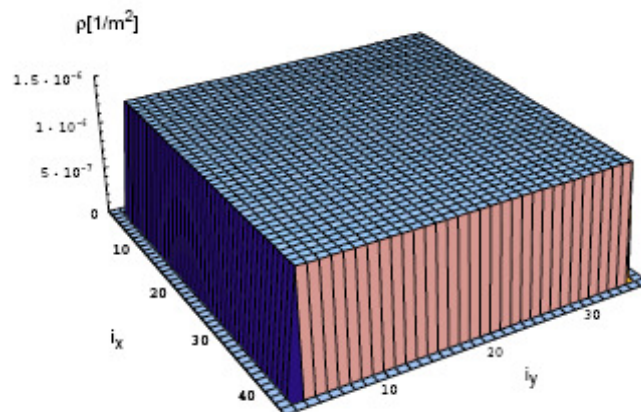


Ilustração 11 - Distribuição de densidade as UM no espaço de simulação (Bernd Gloss 2005)

2.1.2.8. MODIFIED RANDOM DIRECTION MOBILITY MODEL

Este modelo é uma pequena modificação do modelo Random Direction (RD). Baseia-se na alteração do ponto de paragem das unidades.

A unidade continua a escolher uma direcção. Após este passo, é decidido um destino dentro desta direcção e a unidade inicia a sua deslocação até este destino. Quando for atingido o objectivo, a unidade aguarda um tempo predefinido Z antes de recomeçar o processo.

Esta modificação gera padrões de deslocação que poderiam ser simulados pelo modelo Random Walk (RW) com tempo de espera antes da alteração de destino (Camp, Boleng, and Davies 2002).

Existem 3 variantes deste modelo:

- **variante com reflexo** - Caso a UM atinja o limite de simulação, reflecte com um ângulo simétrico ao da incidência (Nain et al. 2005).
- **variante sem reflexo** - Neste caso, ao atingir o limite de simulação, a UM mantém a direcção mas o seu ponto de entrada será diametralmente oposto ao limite que ultrapassou, transformando o espaço de simulação num Toro (Nain et al. 2005).
- **alteração da velocidade** - semelhante ao anterior, mas a velocidade de entrada no ponto diametralmente oposto é metade da anterior (Nain et al. 2005). Os autores sustentam que a densidade de distribuição dos nós é igual nestas condições, quando confrontado com o modelo com reflexo.

2.1.2.9. MOBILITY VECTOR MODEL (XIAOYAN ET AL. 2001)

Este modelo tem por base um par de vectores e um valor para a aceleração. Entre estes valores aplica-se a seguinte função:

$$P=B+\alpha D$$

em que P é a próxima posição, B é o vector base, α é a aceleração e o D é o vector desvio.

Poderá confrontar-se com o modelo Reference Point Group Mobility Model e verificar a similaridade existente com o movimento das várias unidades em torno do vector do próprio grupo.

2.1.2.10. OBSTACLE MOBILITY MODEL

Ao contrário de muitos outros modelos, este tem em conta obstáculos colocados ao longo do espaço de simulação.

Os obstáculos são representados por vértices e mapeados por diagramas de Voronoi² para calcular os caminhos médios disponíveis (considera-se que se circula no ponto equidistante entre obstáculos). Com esta trama de caminhos é construído um grafo de caminhos possíveis.

Na inicialização, as UM são colocadas arbitrariamente ao longo destes caminhos e a partir desse momento, escolhem um destino (um vértice), calculam o caminho mais curto até este destino e deslocam-se a uma velocidade aleatória ao longo do caminho definido até atingirem o destino. Quando chegam ao objectivo, aguardam um tempo arbitrário antes de iniciar todo o processo de escolha de um novo destino.

A construção do espaço de simulação baseia-se em:

- **determinar a área de simulação** (coordenadas para definir a área);

² Diagramas de Voronoi são diagramas de células criados a partir de pontos iniciais, célula para cada ponto, em que todos os pontos dessa célula, estão mais próximos do ponto inicial da célula do que de qualquer outro ponto inicial. As áreas delimitadas poderão ser consideradas como áreas de influência do ponto de origem. Este diagrama tem n pontos e o algoritmo de cálculo é de ordem de complexidade $O(n \log n)$, no pior caso.

- **inserir obstáculos:** cada obstáculo é representado pelos seus vértices e esta informação é inserida no cálculo do diagrama de voronoi;
- **inserir pontos de interesse:** cada ponto é representado por um vértice e esta informação é inserida no cálculo do diagrama de voronoi;
- **calcular caminhos:** executando o algoritmo de Voronoi (Mark de Berg 2008) obtém-se um conjunto de vértices que criam as arestas e os respectivos caminhos ou nós do grafo. Cada aresta do grafo criado é apenas um caminho, pelo que, poderá ser usado em ambos os sentidos. O peso de cada aresta é o tamanho da própria aresta, facilitando assim a escolha do caminho por um algoritmo de caminhos mínimos, como o algoritmo de Dijkstra³;
- **entradas dos edifícios:** Estes caminhos são intersectados com os limites dos edifícios para criar os pontos de entrada dos edifícios. É possível percorrer o interior do edifício.

³ O Algoritmo de Dijkstra foi criado pelo cientista Edsger Dijkstra in 1959. este é um algoritmo de pesquisa em grafos que resolve o problema de pesquisa em profundidade a partir de uma única origem, com custos por aresta não-negativos. O resultado é uma árvore de caminhos mínimos para os diversos nós. Este pode ser interrompido assim que se atinge um objectivo pelo que, é largamente usado em protocolos de encaminhamento de redes, p.ex OSPF (Open Shortest Path First).

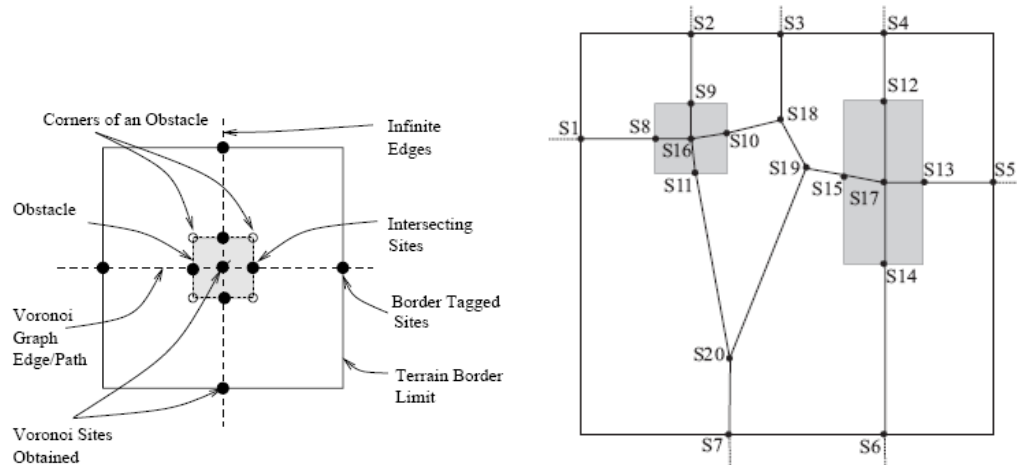


Ilustração 12 - Exemplo de um diagrama de Voronoi com os pontos iniciais (corners of an obstacle), os pontos de intersecção de um edifício e a delimitação das 4 células obtidas. (Jardosh et al. 2003)

2.1.2.11. SMOOTH RANDOM MOBILITY MODEL

Modelos sem memória de direcção constroem padrões de movimento com mudanças de direcção abruptas e alterações de velocidade bruscas. Em vez deste tipo de mobilidade, os autores de (Christian 2001) apresentam um modelo que tem em atenção estes dois factores.

Na vida selvagem, as unidades tendem a mover-se a uma velocidade preferida em detrimento de movimentos uniformemente distribuído entre um valor máximo e mínimo.

São mantidos os valores de velocidade actual, aceleração actual, velocidade pretendida, para além da velocidade máxima permitida, um conjunto de velocidades preferidas e o valor de aceleração máxima.

A função de distribuição de probabilidade da velocidade dos nós é descrita da seguinte maneira: a probabilidade para um conjunto de valores de velocidade predefinida tem uma alta probabilidade enquanto é assumida uma distribuição uniforme para os restantes valores dentro do intervalo $[0, V]$,

A frequência de alteração da velocidade é um processo de Poisson. Após cada evento, é calculada uma nova velocidade de acordo com a probabilidade anterior. A velocidade actual é alterada mediante incrementos ou decrementos da velocidade de acordo com a função $a(t)$. A função de distribuição é uniformemente distribuída entre $[a_{\min}, 0[$ e $]0, a_{\max}]$.

A cada intervalo, a velocidade é alterada de acordo com a equação do movimento:

$$v(t) = v(t - \Delta t) + a(t)\Delta t$$

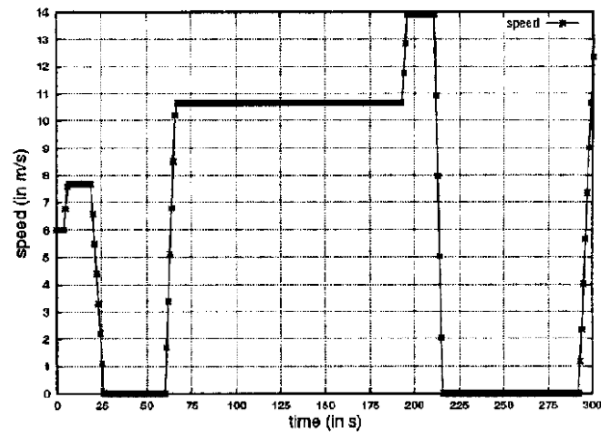


Ilustração 13 - Velocidade ao longo do tempo para o SRMM(Christian 2001)

A alteração de velocidade pode ser rápida ou lenta, dependendo do valor de $a(t)$. No que diz respeito à direcção, esta é uma distribuição uniforme de $[0, 2\pi]$. Após o cálculo da nova direcção, o momento de alteração segue uma distribuição exponencial (Christian 2001).

Apesar da variação de direcção poder ser um valor grande, o valor de incremento para a nova velocidade deverá ser um valor entre $[-\pi, \pi]$. Assim, de acordo com esta distribuição, é definido o valor a incrementar a cada unidade de tempo. Assim as alterações de direcção serão graduais e não abruptas.

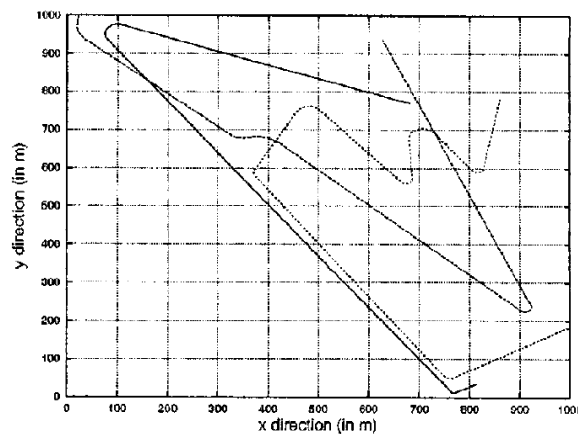


Ilustração 14 - visualização da curvatura no espaço em SRMM (Christian 2001)

2.1.2.12. GRAPH-BASED MOBILITY MODEL / GRAPH BASED RANDOM WAYPOINT (JING ET AL. 2002)

Este modelo tem por base um grafo que representa o(s) caminho(s) possíveis entre os vários vértices que definem os locais que os utilizadores podem visitar. Os caminhos poderão ser ruas, autoestradas, passeios, corredores, etc. aos quais poderão ter associados atributos como a largura, o número de utilizadores que suporta, restrições de direcção, etc. de forma a representar as limitações do mundo real que o modelo descreve.

Na inicialização, cada unidade é colocada aleatoriamente num nó e é escolhido aleatoriamente o seu destino. A unidade desloca-se pelo caminho mais curto entre vértices. Quando este atinge o objectivo, aguarda um tempo aleatório antes de escolher o próximo destino e iniciar a sua deslocação.

Este modelo representa mais detalhadamente o movimento real de veículos e pessoas, bem como as limitações existentes no espaço circundante. As restrições do espaço envolvente têm um grande impacto na performance dos protocolos de encaminhamento, pelo que, o movimento dos nós é feito ao longo das arestas do grafo, representando assim as restrições existentes. Os autores sugerem que o grafo seja modelado a partir de dados reais, para reflectir o melhor possível as restrições a que os utilizadores de equipamentos móveis estão sujeitos, estando estes a deslocar-se numa cidade ou num campus.

Este modelo tem similaridades com o modelo City Section mobility Model e a descrição feita em (König-Ries, Klein, and Breyer 2006) sugere que também seja conhecido por Graph based Random Waypoint.

2.1.2.13. GAUSS-MARKOV MOBILITY MODEL (ARIYAKHAJORN, WANNAWILAI, AND SATHITWIRIYAWONG 2006)

Este modelo usa processos de markov para a deslocação das unidades, no entanto, em vez de determinar o destino, este actualiza a direcção usada pela unidade. O Gauss-Markov Mobility Model actualiza a intervalos fixos de tempo os parâmetros da velocidade e direcção de acordo com as funções:

$$s_n = \alpha s_{n-1} + (1 - \alpha) \bar{s} + \sqrt{(1 - \alpha^2)} s_{x_{n-1}}$$

$$d_n = \alpha d_{n-1} + (1 - \alpha) \bar{d} + \sqrt{(1 - \alpha^2)} d_{x_{n-1}}$$

Em que s_n é a velocidade no passo n , s com traço é a média da velocidade, s_x é uma variável aleatória da distribuição de gauss, d_n é a direcção no passo n , d com traço é a direcção média, d_x é uma variável aleatória com distribuição de gauss e $0 \leq \alpha \leq 1$. Se $\alpha=1$ a direcção e velocidade mantêm-se descrevendo um movimento linear. Se $\alpha = 0$ a direcção é puramente aleatória, equivalente ao Random Mobility Model, e perde as suas características de memória, pelo que, o valor de alpha deve ser devidamente escolhido.

Para garantir que a unidade não saia da área de simulação, a direcção média é influenciada conforme a figura seguinte descreve:

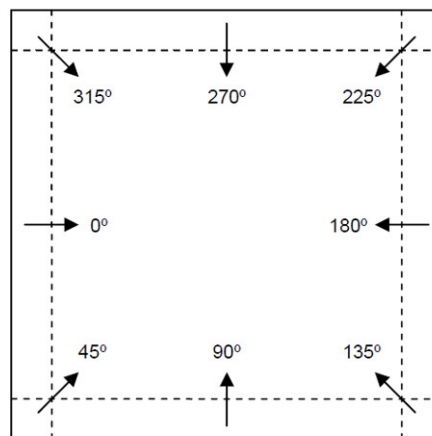


Ilustração 15 - esquema de influência no vector direcção para deslocações próximas do limite de simulação

2.1.2.14. MESSAGE FERRY/MULE MOBILITY MODEL (SHAH ET AL. 2003)

O cenário mais simples consiste num conjunto de 1 ponto de acesso ao exterior (router), 1 message ferry/MULE (Mobile Ubiquitous LAN Extensions) (Shah et al. 2003) e um número alargado de sensores dispostos numa grelha.

A unidade móvel desloca-se entre os vários sensores em random walk e recolhe destes as mensagens a transmitir, procedendo à entrega destas mensagens se encontrar as unidades respectivas. Os sensores podem estar dispersos em grupo.

Quando o ferry encontra o AP, entrega as mensagens e recebe as respostas e novas mensagens a enviar para a grelha, e segue o seu percurso.

Neste modelo podem coexistir vários Data Mules, várias redes ou grupos de redes dispersas no espaço de simulação, as MULE podem ter percurso específico como se estivessem a interligar cidades.

Há diversos projectos que usam este modelo de mobilidade com o intuito de interligar as várias redes ou apenas para recolher a informação extraída.

Este modelo é usado em diversas situações na implementação de redes DTN e por isso mesmo podem existir diversas variantes. Umas com mais Ferrys, outras com menos e permite interligar redes que nunca estiveram nem estarão à partida interligadas. Também é muito usado em redes de sensores dada a poupança de energia possível nos sensores, pois a transmissão pode ser feita a curta distância. As unidades podem ter pouca capacidade de suporte de dados, etc. (Shah et al. 2003)

Outra referência interessante sobre o mesmo assunto com indicação de implementação pode ser encontrada em (Chang-Jie et al. 2008; Khaled and Kevin 2006)

2.1.2.15. ZEBRA MOBILITY (AGOSTON, JUSTIN, AND CHRISTINE 2009)

Esta é uma implementação baseada no artigo relativo ao projecto ZebraNet, referido também nos artigos (Zhensheng 2006; Agoston, Justin, and Christine 2009; Michael and Kevin 2007; Bar-Noy and Kessler 1993).

Cada unidade (zebra) é independente e move-se no espaço de simulação entre zonas de pastagem e locais de água. As visitas a locais de água são regulares.

As unidades deslocam-se segundo o modelo RWP e têm dois estados:

- **procura de pastagem:** deslocam-se rapidamente até um local de pastagem e podem fazer grandes caminhadas;
- **pastagem:** deslocam-se lentamente e fazem distâncias curtas;

A velocidade de ambos os estados é calculada com base na velocidade de pastagem, e após cada fase de pastagem, decide aleatoriamente qual o modo

seguinte. O ponto de corte é um parâmetro que decide a probabilidade de continuar a pastar.

A distribuição de distâncias é bimodal com médias de 3,1m e 13m, respectivamente, e pode ser representado por 2 normais com as médias indicadas e variância de 1,0 de igual probabilidade.

O ângulo de curvatura resulta de uma distribuição normal centrada em 60° e com variância de 1,0.

Todas as distribuições são truncadas para remover valores negativos e valores angulares superiores a 180°.

O temporizador de “sede” faz com que a unidade se desloque para um local de água à velocidade de procura. Retoma posteriormente a procura de um local de pastagem.

2.1.2.16. VILLAGE MOBILITY (AGOSTON, JUSTIN, AND CHRISTINE 2009)

O modelo é constituído por aldeias e pessoas que as habitam. As vilas estão dispersas pela área de simulação em que as aldeias a distâncias inferiores a um parâmetro, estão interligadas por ruas.

As aldeias têm um tamanho definido que pode estar relacionado com o número de habitantes. Unidades que estejam numa aldeia só poderão deslocar-se dentro dessa área de influência.

Cada unidade pertence a uma aldeia gerada aleatoriamente e desloca-se mediante a escolha das seguintes possibilidades:

- **a pessoa escolhe ir para a sua aldeia:** se já está na aldeia onde pertence, escolhe um ponto aleatório dentro da área da aldeia para se deslocar. Se não, deverá proceder como para uma outra aldeia em que o destino é a sua aldeia base;
- **escolhe ficar na mesma aldeia:** escolhe um ponto aleatório dentro da área da aldeia para se deslocar;
- **ou escolhe visitar uma outra:** com o algoritmo de Dijkstra escolhe o caminho mais curto até à aldeia desejada desde que haja caminho para a mesma. Desloca-se posteriormente para o início do caminho de saída da

aldeia, e segue linearmente pelos caminhos entre aldeias. Repetindo o processo para cada aldeia no seu caminho.

Deverão existir parâmetros para regular a probabilidade da escolha das 3 posições anteriores.

A escolha da aldeia destino poderá ser aleatória ou uma escolha pesada de acordo com o tamanho da aldeia.

A velocidade de deslocação na aldeia deverá ser escolhida, sendo que entre aldeias poderá usar velocidades superiores, por exemplo, para bicicletas ou carros.

A probabilidade de escolha do método de transporte é proporcional à distância a percorrer. A probabilidade de andar de carro é o rácio entre a distância à próxima aldeia e a distância máxima entre aldeias. A probabilidade de andar a pé ou de bicicleta é $1-P$ (carro) e a probabilidade de andar de bicicleta é o dobro da probabilidade de andar a pé.

A probabilidade de andar de carro tem um máximo de 0,8 e um mínimo de 0,2.

2.1.2.17. LÉVY WALK MOBILITY MODEL (RHEE ET AL. 2007; INJONG ET AL. 2008)

O modelo levy walk é um tipo de random walk similar ao movimento dos humanos e animals. As distâncias a percorrer são calculadas de acordo com uma distribuição exponencial do tipo $y=x^{-\alpha}$ em que $1 < \alpha < 3$.

Ajustando os parâmetros de α é possível obter uma distribuição normal e simular um random walk (Seongik et al. 2008)

2.1.2.18. ACTIVITY BASED USER MODEL (KÖNIG-RIES, KLEIN, AND BREYER 2006)

A autora deste modelo baseia-se na premissa que o movimento do utilizador e a utilização que faz dos recursos da rede estão altamente correlacionados (König-Ries, Klein, and Breyer 2006). Efectivamente, todas as actividades que fazemos estão de algum modo associadas a locais específicos, com padrões de movimento similares. Um exemplo é a consulta de e-mail, que poderá ser efectuada enquanto o utilizador se desloca de um lado para o outro, mas certamente não irá responder enquanto se desloca, ou escrever algum relatório ou artigo. Outro exemplo possível é a utilização da rede para consultas ou divertimento num ciber-café.

Os modelos habituais para o teste de protocolos e de ambientes de redes, quer *Delay Tolerant Networks* (DTN), quer *ad hoc* não tentam capturar padrões e

relações entre actividades, considerando o movimento e usufruto da rede como dois factores independentes. (König-Ries, Klein, and Breyer 2006)

Este modelo tenta criar um ambiente de mobilidade e de utilização da rede baseado na utilização real dos utilizadores e das suas actividades, obtendo padrões de utilização, preferências e uso de serviços de forma natural. Adicionalmente, modelando as necessidades dos utilizadores e as suas actividades, induzem-se tipos de serviços e por fim a utilização da rede (König-Ries, Klein, and Breyer 2006).

Este modelo de mobilidade é construído a partir de 4 componentes: Modelo de Actividade; Modelo de deslocação no espaço; Modelo de movimento; Modelo de serviços. Estes componentes serão descritos nas próximas secções.

A modelação pretende cumprir com os novos requisitos da modelação orientada ao serviço em redes sem fios. Assim sendo pretendem representar:

- **semântica de alto nível:** responde a necessidade de simulação ao nível de aplicação neste tipo de redes. Encontrar representações de cenários do mundo real e simular o seu comportamento, facilitado por informação comportamental e associar à semântica respectiva;
- **conjunto diversificado de serviços:** os recursos da rede são modelados na sua diversidade, relacionando actividades com comportamentos de uso da ligação sem-fios;
- **interdependência da utilização da rede em concordância com mobilidade:** obtêm-se simultaneamente comportamentos de mobilidade e utilização da rede. Este modelo mapeia comportamentos de mobilidade, actividade e situações particulares com utilização de perfis de uso da rede;
- **relação entre tempo, localização e necessidades do utilizador:** captura estes parâmetros e dependências correlacionando a actividade actual de cada utilizador e os serviços em uso;

Modelo de Actividade

A tarefa principal deste componente é a conversão de uma lista abstracta de tarefas, relacionadas com o acesso da rede ou não, numa lista de actividades com *duração, início e prioridade*.

A lista é construída a partir de actividades descritas pelo grupo que se pretende investigar/aplicar (por alunos e funcionários por meio de inquérito no artigo). São descritas as actividades, calculados períodos de duração média e a prioridade entre

todas as tarefas (usado no módulo posteriormente). Estas tarefas poderão estar associadas a dias da semana, horas específicas como o horário de abertura da biblioteca, etc. Tipicamente, actividades lúdicas e de tempos livres têm duração associada a distribuições aleatórias (König-Ries, Klein, and Breyer 2006).

Tendo as tarefas identificadas, são gerados planos de actividade ao longo do período de simulação. Dado poder haver sobreposições de pares (início de actividade, duração) a prioridade calculada anteriormente é usada para decidir que tarefa que é executada primeiro.

Modelo de deslocação no espaço

Este tipo de modelo descreve o espaço por onde as Unidades Móveis (UM) se podem deslocar. Os modelos habituais de avaliação de desempenho de protocolos *ad hoc* e DTN não têm restrições físicas (Ariyakhajorn, Wannawilai, and Sathitwiriawong 2006; Abdulla and Simon 2007), mas na realidade existem obstáculos e impossibilidades que não permitem a livre circulação de pessoas e UM.

Os autores deste modelo apresentam uma representação do espaço baseada em grafos, onde os vértices representam locais onde vários caminhos se interceptam ou locais onde poderá haver as actividades descritas anteriormente.

Entre os diversos nós, são feitas tantas ligações quanto a largura da ligação entre os mesmos. Esta largura poderá ser representada por uma propriedade da ligação mas isto não é descrito pelos autores.

Este modelo pode ser alargado a ruas e representar diversos ambientes existentes na realidade, no entanto, não permite a representação de espaços abertos.

Modelo de movimento

A deslocação no espaço é feita por comandos de movimento, de alto nível, que este componente desentrelaça em comandos mais simples. Este processo é feito mediante a utilização de 3 camadas que recolhem informação de cada um dos anteriores.

A camada mais alta, transforma a semântica do movimento (deslocar para o local x para a actividade “comer”) em comandos físicos de deslocação (deslocar para o bar). Este terá que associar a actividade “comer” ao local onde esta poderá ser executada, mas alguns utilizadores poderão preferir a biblioteca para estudar, por exemplo.

A informação relativa à localização das actividades será recolhida do modelo de actividades.

A segunda camada “cálculo de caminho” tem de determinar a sequência de nós entre a posição actual e o local da actividade desejada. Como se considera que utilizadores a pé optimizam a distância a percorrer, considera-se o caminho mais curto entre os dois pontos.

Finalmente, a 3ª camada executa o caminho escolhido e fará os ajustes de velocidade tendo em conta a ocupação dos ramais de ligação dos nós.

A informação relativa ao estado dos caminhos é fornecida a partir do modelo anterior.

Os autores aplicam uma simplificação mediante a utilização de cada ramal dado que aplicam a mesma velocidade a todas as UM a circular num determinado ramal.

Modelo de serviços

Este modelo representa a implementação da utilização da rede com a informação semântica recolhida do modelo de actividades.

Os serviços representados pelos autores para um ambiente escolar são:

- **serviços de documentação:** download de documentos estáticos de outros utilizadores na rede;
- **serviços de trabalho cooperativo:** serviços que facilitam a cooperação e induzem interacções complexas;
- **serviços interactivos:** serviços que induzem um grande número de pequenas interacções;
- **serviços dependentes:** serviços só usados em ligação com outros serviços, por exemplo, serviços de impressão;

Os serviços indicados pretendem criar uma abstracção aos serviços habitualmente usados e representam o nível de intensidade de utilização de serviços.

2.1.3. Modelos Urbanos

2.1.3.1. MANHATTAN GRID MOBILITY MODEL (ZHOU, XU, AND GERLA 2004)

O modelo de mobilidade Manhattan Grid foi proposto para áreas urbanas.

As ruas de Manhattan assemelham-se a uma grelha, em que todas as ruas têm ambos os sentidos. Este modelo de cidade foi usado em diversos artigos e generalizado para os modelos em grelha (Bar-Noy and Kessler 1993).

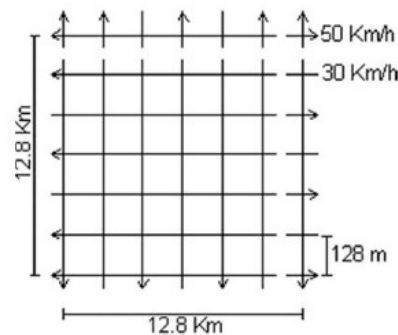


Ilustração 16 - Esquema de grelha de ruas numa cidade (Da Silva, Nacif Rocha, and Mateus 2002)

Neste modelo, as unidades deslocam-se como no modelo Random Walk com espaço de decisão reduzido (as ruas), pelo que, a geração de direcções está sujeita ao uso de uma grelha. Nos entroncamentos só é permitida a escolha das direcções em frente, esquerda ou direita. A probabilidade de manter as unidades a deslocarem-se na mesma direcção é de 0.5, enquanto que nas restantes direcções é de 0.25 (Zhou, Xu, and Gerla 2004). Este modelo descreve o movimento em linhas horizontais ou verticais, não sendo indicado para modelar intersecções em autoestradas porque estas têm características mais complexas.

As unidades móveis (UM) deslocam-se a uma velocidade dentro de um intervalo definido $[V_{\min}, V_{\max}]$.

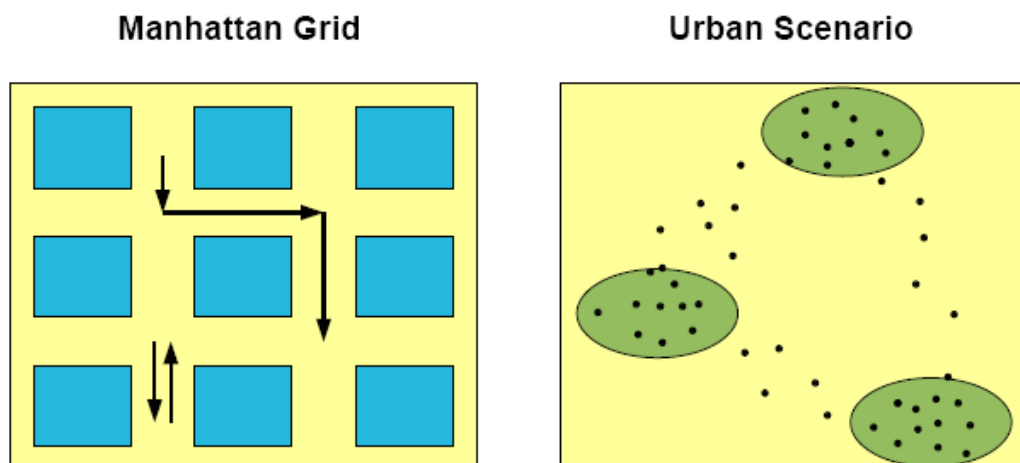


Ilustração 17 - Esquema de deslocação das UM no espaço de simulação (Bernd Gloss 2005)

2.1.3.2. CITY SECTION MOBILITY MODEL (CAMP, BOLENG, AND DAVIES 2002)

Este modelo é uma junção de dois cenários, o Random Waypoint model (RWP) e o Manhattan mobility model. O modelo tem por base as ruas, estradas, autoestradas, cruzamentos, etc. do modelo Manhattan e o movimento a partir do RWP (Random Waypoint). Assim que uma unidade é inserida, escolhe um destino e segue pelo caminho mais curto até este. Depois, aguarda algum tempo no destino e escolhe um novo destino, recomeçando o processo.

Podem ser usadas outras restrições como a velocidade máxima na via, semáforos, etc.

2.1.3.3. RICE UNIVERSITY MODEL (AMIT KUMAR AND DAVID 2004)

Este modelo foi desenvolvido pela equipa da Rice University e por esse motivo na literatura designam-no por Rice University Model. É muito similar a modelos baseados em grafos.

Este modelo extrai informação das ruas a partir da informação existente nos census e cria um grafo com a informação geográfica projectada de acordo com a projecção de Mercator. As coordenadas são inseridas como arestas e os cruzamentos e interligações são vértices do grafo. Para as arestas é guardada informação de cada rua, como a velocidade máxima, o tamanho da rua, o número de faixas, etc, no entanto as ruas não são orientadas.

As unidades são inseridas em qualquer ponto do grafo e é calculado o seu destino. O cálculo do caminho a percorrer baseia-se no algoritmo de Dijkstra shortest path. Assim que a unidade atinge o seu objectivo escolhe um novo destino e repete o processo. A velocidade de deslocação pelas arestas é calculada aleatoriamente dentro do limite de velocidade da rua (+5 milhas por hora).

2.1.3.4. STOP SIGN MODEL (SSM) (MAHAJAN ET AL. 2006)

No final de cada rua, habitualmente há um semáforo ou um sinal de paragem. Este modelo implementa um grafo de ruas em que todas as ruas têm um sinal de paragem que obriga os veículos a parar nesse local por um período configurável. Nesse local forma-se uma fila de espera, uma para cada rua, pelo que, se houver veículos à sua frente, só depois destes avançarem é que o veículo anterior pode aguardar o seu tempo.

No seu movimento, as unidades não podem ultrapassar o carro da frente, a não ser que a rua tenha várias faixas e seja permitido ultrapassar.

Na intersecção, os veículos podem passar sem ter como limitação os restantes veículos na intersecção, dado que não há controlo de tráfego.

Apesar de não haver um sinal em cada rua de uma cidade, esta generalização é um primeiro passo que permite verificar os protocolos de comunicação e pode ser melhorado nos passos seguintes.

2.1.3.5. PROBABILISTIC TRAFFIC SIGN MODEL (PTSM) (MAHAJAN ET AL. 2006)

Este modelo expande o anterior, substituindo os sinais de paragem por semáforos. Como na realidade, o veículo só pára se encontrar um sinal vermelho, no entanto não há coordenação entre os semáforos das várias direcções. Com este modelo pretende-se verificar se há algum impacto na substituição destes sinais.

No PTSM faz-se uma aproximação às características dos semáforos dando uma probabilidade de paragem de $(1-p)$. Com a decisão de parar é gerado um tempo entre $[0, w]$ s. Como anteriormente, havendo fila, os nós terão de esperar pelo que se encontra à sua frente, adicionando 1 segundo para simular o atraso habitual no arranque dos veículos. Ao sinal vermelho, os carros começam a atravessar o sinal, segundo a segundo, até que a fila fique vazia. O carro seguinte fará novamente a decisão de parar ou não.

Novamente, sem controlo de paragem ao atravessar direcções, esta decisão fará com que não haja paragens a mais no modelo, aproximando-se ao modelo de semáforos reais.

2.1.3.6. TRAFFIC LIGHT MODEL (TLM) (MAHAJAN ET AL. 2006)

O modelo expande os anteriores com a coordenação entre sinais luminosos. Em intersecções com um número par de vias, o sinal fica verde em faixas opostas de trânsito. Veículos que pretendam mudar de direcção, usam a regra de faixas livres e independentes de semáforo para o fazer assim que chegam à cabeça da fila. Após um tempo fixo o sinal troca para outro par de vias com trânsito oposto. Casos em que o número de ruas é ímpar, apenas uma de cada vez tem sinal verde.

Este modelo adiciona aceleração e desaceleração às diversas unidades. Assim sendo, cada veículo acelera gradualmente para a velocidade pretendida,

substituindo a funcionalidade anterior (instantânea). Em oposição, ao aproximar-se de uma intersecção a desaceleração é gradual.

Foi também adicionada a funcionalidade que permite a utilização de várias faixas de rodagem, baseadas na informação dos census (TIER). Quando um veículo altera a sua direcção, escolhe a faixa com menos carros parados e em movimento na direcção pretendida.

As várias funcionalidades podem ser ligadas ou desligadas conforme o objectivo pretendido.

O artigo (Mahajan et al. 2006) indica informação detalhada dos resultados obtidos.

2.1.4. Modelos de Grupo

2.1.4.1. EXPONENTIAL CORRELATED RANDOM (ECR) MODEL(XIAOYAN ET AL. 1999; BADIA AND BUI 2006)

Este foi o primeiro modelo de grupos introduzido nas redes de comunicação wireless.

A nova posição é calculada baseada na soma dos pesos da posição anterior e uma função de gauss para a deslocação. O peso influencia o comportamento do grupo e é baseado em dois parâmetros, uma correlação exponencial e uma variância.

$$b(t+1) = b(t)e^{-\frac{1}{T}} + (\sigma\sqrt{1 - (e^{-\frac{1}{T}})^2})r \quad (\text{Camp, Boleng, and Davies 2002})$$

$b(t)$ é a posição anterior, r é um número aleatório de gauss com variância tau, T é um parâmetro. Este parâmetro é inversamente proporcional ao deslocamento obtido.

Neste modelo não é fácil especificar um padrão de mobilidade ajustado às necessidades.

2.1.4.2. COLUMN MOBILITY MODEL (CAMP, BOLENG, AND DAVIES 2002)

Este modelo descreve o movimento de um conjunto de nós numa determinada direcção. Poderá ser uma deslocação em patrulha, padrão de procura, entre outras.

Foi sugerido pelo autor do modelo que as unidades utilizassem um modelo de mobilidade individual dentro do ponto de referência, sendo que o ponto de referência é actualizado por uma variável aleatória que corresponda ao avanço a obter.

2.1.4.3. GRAVITY MODEL (XIAOYAN ET AL. 2001)

Este modelo pode ser aplicado a satélites em torno de planetas, e outros pontos de atracção como uma unidade com acesso à Internet.

Assim sendo as unidades tendem a ser atraídas, por exemplo, por uma fonte de sinal melhor, e por esse facto, na direcção deste(s) ponto(s) de interesse. As fórmulas de atracção gravítica são vulgarmente conhecidas, bem como as usadas para o cálculo da atracção eléctrica, entre outras.

De outra forma, o modelo contempla a repulsão do objecto em vez da atracção. Se se atribuir uma carga eléctrica a cada unidade, as positivas irão repelir-se, as negativas também e as restantes combinações irão atrair-se. Por exemplo, um cenário possível desta funcionalidade passa por atribuir uma carga negativa aos APs e positiva às restantes.

O artigo (Badia and Bui 2006) faz uso de um modelo de atracção de massa ou carga eléctrica para aumentar (carga mais forte) ou diminuir (ou mais fraca) a distância entre os nós e o líder, aceitando que o valor do desvio próprio possa ser a partir de um qualquer outro modelo de mobilidade. Outra referência com uma estrutura similar pode ser encontrada em (Xiaoyan et al. 2001).

2.1.4.4. NOMADIC COMMUNITY MOBILITY MODEL (CAMP, BOLENG, AND DAVIES 2002)

O modelo nomadic tenta representar a mobilidade num cenário em que os nós se deslocam juntos. Este modelo pode ser aplicado em conferências, ambientes militares, deslocação de uma tribo para outro local, mudança de sala de aulas, deslocação de um cardume, etc.

O grupo move-se aleatoriamente de um local para outro e a deslocação de cada unidade é uma pequena variação da deslocação do ponto de referência do grupo. Este movimento individual pode ser um qualquer modelo de mobilidade individual desde que não ultrapasse um limite predeterminado.

Assim que atingem o objectivo, os nós estão confinados a um outro limite físico.

2.1.4.5. PURSUE MOBILITY MODEL

Como o próprio nome indica, este modelo tenta descrever um cenário de perseguição de um nó por outros. Este modelo poderá descrever, por exemplo, uma perseguição policial ou uma caçada.

A função utilizada para a alteração de posição descreve uma aceleração em direcção ao objectivo com um vector de alteração de localização:

$$P_t = P_{t-1} + a(P_{\text{target}} - P_{t-1}) + r$$

P_t é a nova posição, P_{t-1} é a posição anterior, $a(x)$ é o vector aceleração, r é um vector aleatório que pode seguir um modelo de mobilidade individual. Este vector deve ser limitado para que se mantenha o padrão de perseguição (Camp, Boleng, and Davies 2002).

2.1.4.6. PHEROMONE BASED MOBILITY MODELS (LIAO ET AL. 2004; JOHN ET AL. 2005)

Animais como formigas e outros seres vivos, usam feromonas para os guiar, afastar, aproximar, de locais onde possa haver comida, predadores, a sua toca, etc. A natureza distribuída de sistemas baseados em feromonas e a observação de padrões complexos, que surgem de “blocos de controlo” tão simples, tornou esta área de investigação interessante. Tem havido alguma investigação e provas por simulação e teste deste conceito. (Liao et al. 2004; John et al. 2005)

O funcionamento do modelo é similar ao descrito para modelos de grupo com atracção/repulsão, em que as UM são atraídas ou repelidas por feromonas produzidas por outras unidades. Há também outras unidades que indicam para seguir um determinado caminho, outras que indicam alertas, etc.

A movimentação das unidades pode ser feita inicialmente com base num modelo predefinido e o comportamento a ser usado é alterado conforme as indicações encontradas ao longo do caminho por outras unidades ou pelo investigador.

2.1.4.7. REFERENCE POINT GROUP MOBILITY MODEL (XIAOYAN ET AL. 1999)

No modelo RPGMM, cada nó do grupo tem duas componentes de movimento: o vector de movimento individual e o de grupo, sendo o primeiro baseado no modelo Random Waypoint Mobility Model (RWP).

A unidade move-se dentro da área da próxima localização do grupo, escolhendo uma direcção baseada no modelo anterior e deslocando-se até este a uma velocidade constante. Aguarda um tempo de pausa e reinicia o processo.

A componente de grupo é partilhada por todos os nós do grupo e é também baseada no modelo RWP (sem pausas), no entanto, a área de simulação usada é a área total (Zhou, Xu, and Gerla 2004). O ponto central do grupo poderá ser

eventualmente uma unidade móvel, como por exemplo a unidade que detém acesso à Internet .

A cada ponto de destino, o autor do modelo ((Xiaoyan et al. 1999)) chama checkpoints e não indica a deslocação como sendo RWP. Na descrição que faz, o modelo indica que é calculada uma nova direcção e um novo ponto de referência, e que as unidades se deslocam de acordo com o vector direcção apresentado, no entanto não indica tempo de pausas. A referência (Zhou, Xu, and Gerla 2004) não descreve este tempo de pausas mas apenas que se desloca de acordo com o modelo RWP.

A deslocação do grupo poderá ser predefinida de forma a representar melhor a realidade que tenta descrever (Xiaoyan et al. 1999).

Os cenários apresentados pelo autor do modelo são: campos de batalha, zonas de desastre ou áreas de conferência, habitualmente também atribuídas às DTN dada a problemática relacionada com a falta de recursos e a comunicação entre grupos que possa não estar sequer ao alcance.

Como este modelo é baseado no RWP, sofre dos mesmos problemas associados a este, como por exemplo, a falta de uniformidade na distribuição da densidade na área de simulação.

Do ponto de vista de um modelo de grupo, não permite a partição nem a junção parcial e global de grupos.

2.1.4.8. REFERENCE VELOCITY GROUP MOBILITY MODEL (WANG AND BAOCHUN 2002)

No mundo real, não é habitual as unidades deslocarem-se sabendo de antemão a deslocação de uma unidade (o líder) ou um ponto virtual de deslocação. Para colmatar esta falha, foi desenvolvido um modelo designado Reference Velocity Group Mobility Model.

Neste modelo, a característica comum entre unidades do mesmo grupo é a sua velocidade e não a sua posição. A posição é calculada mediante um vector aleatório e a velocidade é calculada considerando um vector aleatório e o valor da velocidade do grupo, sendo que, a soma de todos os vectores velocidade corresponde aproximadamente à média do vector de velocidade do grupo.

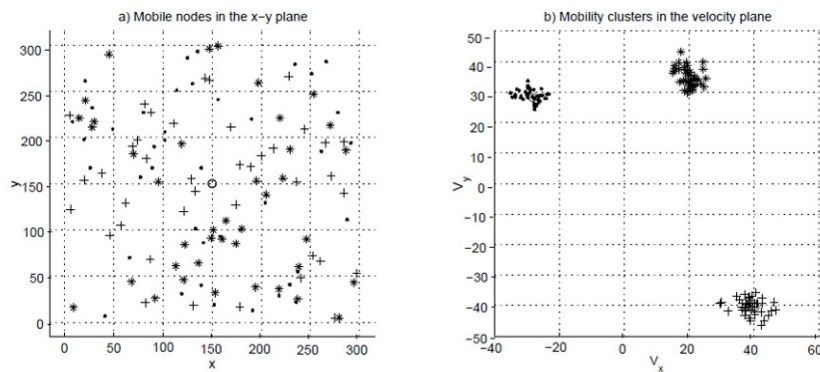


Ilustração 18 - Unidades móveis representadas por a) coordenada física e b) velocidade (Wang and Baochun 2002)

De acordo com o indicado pelo próprio autor, este modelo e o modelo RPGMM podem ser retirados um do outro pelo que, são essencialmente o mesmo (Blakely and Lowekamp 2004).

2.1.4.9. STRUCTURED GROUP MOBILITY MODEL (BLAKELY AND LOWEKAMP 2004)

No SGMM cada grupo tem um ponto de referência c_j que pode ser o centro geográfico do grupo, a localização do líder ou o centro de massa do grupo. Independentemente do seu movimento, a direcção é o ângulo entre o 0 do sistema do modelo e a direcção a tomar.

Os grupos e os nós subordinados ocupam uma posição relativa a c_j . O modelo calcula a sua posição escolhendo uma distância d_i de c_j a partir de uma distribuição D e um ângulo a_i relativo ao ângulo de direcção a partir de uma outra distribuição A .

Um simulador necessita das distribuições, dos vectores c_j e direcção para determinar todo o movimento do grupo, sendo que o ângulo de direcção pode ser calculado a partir de qualquer modelo de mobilidade individual ou a partir de algum caminho predefinido.

2.1.4.10. SWARM GROUP MOBILITY MODEL (DONGSOO S KIM 2007)

O comportamento de um grupo é um movimento natural. Temos como exemplo a deslocação de uma manada, soldados de infantaria num campo de batalha, a deslocação de veículos numa autoestrada, todos estes têm por base o movimento individual que demonstra o movimento de colaboração de uma população. O movimento de manada prende-se com factores relacionados com a protecção fornecida pelo grupo mas parece haver algum controlo sobre todos os membros do

grupo, no entanto, este é o agregar de diversos movimentos individuais em que cada unidade se desloca de acordo com a sua percepção do movimento do grupo. (Dongsoo S Kim 2007)

Inicialmente, a unidade é colocada no espaço de simulação numa localização arbitrária e atribuída uma direcção $([0, 2\pi])$ e velocidade $([v_{min}, v_{max}])$. Cada unidade tem um valor máximo de aceleração permitido.

Os valores inseridos devem reflectir as características da unidade, peso, potência máxima, valores limites estruturais, hidrodinâmicos, e transportados para os parâmetros indicados.

Modelar a percepção é um passo bastante complexo. Para humanos, a percepção visual durante o dia e o apoio auditivo durante a noite ajudam a analisar o meio envolvente. No caso de um veículo, o ângulo de visão é dependente da velocidade do veículo. no entanto, dada a complexidade, os autores indicam simplificar o processo e cada unidade, apenas recebe informação dos seus vizinhos. Os vizinhos são todas as unidades que se encontrem num raio determinado da unidade.

No artigo não é bem clara a forma como este processo se desenrola, apenas que é um peso na decisão do tipo de comportamento.

No SGMM cada unidade simula o comportamento em 2D, não sendo especificado o comportamento em 3D, e não tendo em consideração a gravidade, flutuabilidade, etc.

O comportamento é baseado num conjunto de comportamentos da vida real como a atracção pelo centro do grupo, perseguição, evitar colisões, igualar a velocidade e navegação aleatória.

Cada tendência é uma força a aplicar e a sua influência é afectada pelo peso originado da percepção da unidade

As fórmulas do movimento são:

$$\begin{aligned} a_j &= w^c v_j^c + w^t v_j^t + w^a v_j^a + w^m v_j^m + w^r v_j^r \\ v_j &= \alpha v_j + \min(a_j, \langle a_{\max}, \tan^{-1} a_j \rangle) \\ p_j &= \beta p_j + \min(v_j, \langle v_{\max}, \tan^{-1} v_j \rangle) \Delta T, \end{aligned} \quad (\text{Dongsoo S Kim 2007})$$

2.1.5. Restricted Random Model Extension

Este modelo é uma extensão ou generalização de um conceito, pois caracteriza-se por introduzir um desvio ou limitação às funções de distribuição usadas nos vários modelos de mobilidade, nomeadamente na direcção, limitar a velocidade de circulação numa cidade; áreas possíveis no espaço de simulação; etc. Desta forma, a actualização da velocidade só poderá ser feita entre $[v_{actual}-k, v_{actual}+k]$ criando um viés na distribuição usada.

O objectivo pode ser o de suavizar a curvatura, a aceleração etc. e não permitir mudanças bruscas de estado. (Basagni 2004)

Este modelo é uma extensão que se pode aplicar a quase todos os modelos. Um exemplo possível é a modelação de deslocação de veículos em auto-estrada dado que estes estão limitados em velocidade, não inferior a 40km/h e não superior a 120km/h no caso português.

2.2. PROTOCOLOS DE ENCAMINHAMENTO

Os protocolos de encaminhamento ad hoc podem ser de 2 tipos: Table-driven e on-demand. Nos protocolos baseados em tabelas, sempre que há uma alteração da topologia da rede, actualizam a sua tabela de encaminhamento e entregam uma cópia aos seus vizinhos. Nos protocolos on-demand, quando um nó pretende enviar dados a outro, envia anteriormente um pacote em broadcast (RREQ) a toda a rede. O destinatário enviará de volta (REEP) o caminho pelo qual os dados devem ser enviados (Liao et al. 2004). Para acomodar a dinâmica alteração de topologias de rede foram propostos diversos protocolos como o OLSR, AODV, DSR, LAR, EASE, ODMRP, entre outros (Zhensheng 2006), que tentam acomodar as necessidades destas redes e necessitam que haja de alguma forma interligação de extremo a extremo.

Nas DTN, não é garantido à partida que o nó de destino esteja alcançável, ou seja, que este esteja ligado ou haja interligação possível até ao mesmo. Pode mesmo suceder que dois nós nunca estejam na mesma partição de rede, pelo que, não estarão em contacto directo durante toda a comunicação. Os nós intermédios são bastante importantes em todo o processo. Sendo assim, nem os protocolos de encaminhamento usados em redes ad hoc nem os habituais da Internet poderão ser usados para satisfazer os requisitos deste tipo de rede.

As unidades de dados em DTN poderão ser mensagens, blocos ou bundles, pelo que, por questões de simplicidade, serão usados de forma arbitrária.

Os protocolos proactivos DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) e OLSR (Optimized Link-State Routing) mantêm uma tabela em tempo real dos caminhos possíveis. Por outro lado, a classe de protocolos reactivos AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) e DSR (Dynamic Source Routing) são usados para calcular caminhos a pedido. De uma forma geral, muitos dos protocolos anteriores podem ser usados para acomodar as necessidades de interligação dentro da própria partição, ou seja, como entrada nos protocolos DTN (Sushant, Kevin, and Rabin 2004).

O objectivo do encaminhamento em redes tradicionais é, em geral, minimizar o caminho a percorrer, minimizando uma determinada métrica. Em redes DTN não é claro, à partida, o objectivo ou métrica a minimizar. Inicialmente o objectivo é maximizar a probabilidade da mensagem ser entregue pois, por diversos factores (Time-To-Live, ciclos na rede, esgotado o tempo para entrega, falta de recursos no nó, congestionamento/filas esgotadas, etc.), o pacote pode perder-se. Pode ser importante saber exactamente onde se encontra o pacote ou até minimizar o tempo (delay) de entrega.

Os objectivos considerados no início da comunicação poderão influenciar a performance da rede, e o consumo de recursos nos diversos nós por esta constituída.

O encaminhamento pode também ser feito na origem (Source Routing) ou nó a nó (perhop routing).

Source routing é um encaminhamento habitualmente usado em redes IP tradicionais e ad hoc. Neste tipo de encaminhamento, antes do envio do pacote, é determinado o caminho a percorrer e esse caminho é registado de alguma forma nos dados a enviar.

O segundo tipo de encaminhamento é usado em redes que habitualmente não detêm essa informação ou têm necessidades específicas a satisfazer, como a falta de memória, baixo processamento, falta de informação ponto a ponto, etc. Assim, a informação de encaminhamento é calculada em cada nó, usando os recursos disponíveis na altura, o que pode eventualmente levar a um melhor encaminhamento de dados, mas terá um custo superior de processamento,

podendo mesmo gerar ciclos entre nós, o que eventualmente invalidará a entrega das mensagens por parte destes (Sushant, Kevin, and Rabin 2004).

As mensagens podem ainda ser fraccionadas e os diferentes fragmentos serem enviados por caminhos distintos. Com esta técnica de encaminhamento, é possível melhorar a transferência de dados (dado que os bundle podem ser bastante extensos e haver nós que não os comportam) bem como reduzir o atraso entre nós e o load balancing nos diferentes caminhos utilizados.

Esta técnica tem o custo adicional de divisão e reconstrução dos blocos originais mas também permite ajustar o tamanho dos fragmentos conforme as redes a utilizar.

2.2.1. Cenário determinístico

Um factor importante em todos os protocolos usados é a quantidade de informação que estes necessitam para obter uma melhor forma de minimizar a função objectivo. O encaminhamento em redes intermitentes tem diversas variáveis pelo que, toda a informação disponível na rede é importante.

Na seguinte figura (Ilustração 20) são indicados diversos níveis de conhecimento e os respectivos custos em computação para o cálculo do encaminhamento:

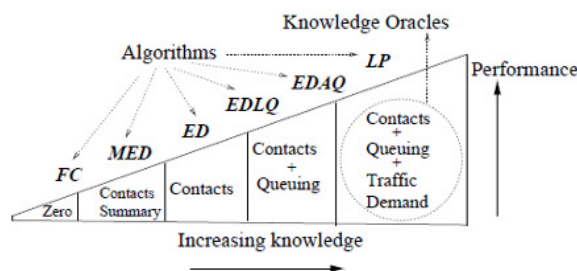


Ilustração 19 - Esquema conceptual do conhecimento necessário para o encaminhamento em DTN (Sushant, Kevin, and Rabin 2004)

- **FC (First Contact):** Uso da informação local, e envio ao nó que estiver em contacto;
- **MED (Minimum Expected Delay):** a partir da informação de contactos pode-se obter o tempo esperado para o próximo contacto entre dois nós. Para este efeito é usado o algoritmo de Dijkstra sem variação no tempo;

- **ED (Earlies Delay):** mais uma vez é usado o algoritmo de dijkstra mas modificado com custos baseados no tempo de espera até ao próximo contacto;
- **EDLQ (Earlies Delivery with Local Queue):** similar ao anterior mas a função de custo incorpora o estado da queue local;
- **EDAQ (Earlies Delivery with All Queue):** similar ao anterior no entanto, a função de custo incorpora informação do estado das filas de espera em todos os nós e reservas;
- **LP (Linear Program):** é um problema de programação linear com informação de contactos, filas de espera e tráfego na rede.

Os autores de (Sushant, Kevin, and Rabin 2004) descrevem detalhadamente cada um destes algoritmos e adicionam cenários e avaliação de performance. No entanto, a informação necessária em vários dos níveis, habitualmente não está disponível, sendo este um exemplo teórico de aplicação.

Para o cenário determinístico foram definidos diversos protocolos. Como exemplo do uso de informação da rede e/ou mobilidade dos nós apresentam-se os seguintes:

- **Space time routing:** o movimento dos nós pode ser registado e criar uma estrutura de localização ao longo do tempo. Esta deslocação permite que um nó possa levar uma mensagem e entregar ao seguinte, construindo assim um caminho previsível no tempo e no espaço. Neste tipo de redes pode-se prever a localização e o momento onde a unidade móvel irá estar num tempo finito ou infinito/cíclico. No relatório técnico (Merugu, Ammar, and Zegura 2004) é proposta uma framework de encaminhamento tendo em conta a localização e a hora prevista para cada nó. Mais especificamente, é criada uma tabela de encaminhamento que usa o destino e a hora de chegada para determinar qual será a unidade móvel a usar para o próximo salto da mensagem. O algoritmo apresentado calcula esta tabela minimizando o atraso de entrega da mensagem. Este algoritmo recolhe a informação de um grafo extraída do movimento dos nós. Os autores avaliam empiricamente a performance da heurística com outras soluções disponíveis;
- **Árvores de contacto:** Assim como a proposta anterior, esta proposta dirige-se a redes em que possa não haver contacto directo entre os nós origem-destino (Radu Handorean 2004). A partir da lista de contactos (local e duração) é construído um grafo de encaminhamento de mensagens. A partir

ação 20 - Exemplo de estrutura e criação de grafo baseado em lista de contactos com a árvore de os, informação para o algoritmo de aprendizagem e a construção da árvore (Radu Handorean 2004)

-

. Cenário estocástico

Em algumas DTN, os nós não têm informação nenhuma sobre a rede pelo que não podem determinar o melhor caminho para minimizar a função de entrega.

No primeiro caso, não há tanto desperdício dos recursos de rede e de baterias dos equipamentos, dado que circula apenas uma cópia da mensagem. Quando a

mensagem é recebida pelo destinatário, não há nenhuma outra cópia na rede pelo que, não é necessário o envio de uma mensagem de recepção pela rede (mensagem de “cura” na designação epidémica (Antunes 2008)). No entanto, como já foi indicado anteriormente, a mensagem pode perder-se na rede e a taxa de entrega será relativamente baixa. Desta forma, o consumo de recursos é baixo e o congestionamento da rede é muito limitado.

Por outro lado os protocolos baseados em replicação, permitem aumentar significativamente a taxa de entrega de pacotes pois estas disseminam a informação pela rede, havendo diversas cópias disponíveis, o que aumenta a probabilidade de entrega. O custo deste tipo de protocolos é o gasto significativo de recursos da rede. Tendo este ponto em consideração, são vários os protocolos que tentam minimizar este problema.

De uma forma geral, os algoritmos de encaminhamento em DTN são heurísticos, pelo que, não serão óptimos para todas as situações pois são diversos os parâmetros a otimizar e geram um problema NP-completo em nós com capacidades reduzidas (Banerjee, Corner, and Levine 2007).

2.2.2.1. REPLICATION-BASED

Estes protocolos permitem que uma mensagem seja replicada e disseminada na rede. Os problemas que podem surgir desta replicação prendem-se com a congestão da rede, desperdício de recursos (largura de banda, espaço de armazenamento e memória, energia, etc) e comprometem a escalabilidade da rede. Como são geradas diversas cópias da mesma mensagem, torna-se importante saber que mensagens transmitir e por que ordem, assim como as que se devem remover.

2.2.2.2. DIRECT TRANSMISSION (ABDULLA AND SIMON 2007)

Neste modelo existe apenas uma cópia na rede: a unidade, após produzir uma mensagem, aguarda que esteja em contacto com outra unidade para entregar a mensagem. O tempo de espera para entrega é ilimitado dado que a unidade pode nunca entrar em contacto com o destinatário da mensagem (Abdulla and Simon 2007). O custo em storage é significativo por este motivo dado que, num caso extremo, a mensagem pode nunca ser entregue.

A grande vantagem deste modelo é a mínima ocupação de recursos de rede até à entrega da mensagem, e é usado como modelo de comparação e avaliação de outros protocolos. Este modelo não utiliza informação da rede e é a base para todos os modelos epidémicos, fazendo parte de algumas das metodologias descritas de seguida.

2.2.2.3. EPIDEMIC ROUTING

Esta foi a primeira proposta desenvolvida para o cenário das DTN e baseia-se na entrega de uma cópia das mensagens a transmitir a todos os novos elementos da rede, que possam ainda não a ter recebido.

Este modelo inunda rapidamente a rede com inúmeras cópias da mensagem a enviar, sendo o protocolo que garante a melhor taxa de entrega com menor atraso, mas com custos muito elevados. Este sistema é também usado para garantir que as bases de dados distribuídas conseguem manter a sua sincronização.

A estratégia usada para o reencaminhamento de mensagens é muito eficiente em encontros oportunistas mas, em situações realistas, o custo em recursos usados é significativo. Os novos protocolos baseados neste método fazem uso de heurísticas para decidir a entrega ou não de uma cópia aos diversos nós em contacto.

2.2.2.4. PROPHET ROUTING PROTOCOL

O protocolo Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET) usa um algoritmo que tenta explorar a não aleatoriedade dos contactos na vida real. Neste âmbito, as unidades que transportam a informação são vulgarmente designadas de *Data Mules*.

Este protocolo mantém uma métrica de probabilidade (*Delivery Predictability*) e actualiza-a a cada encontro, para todos os destinos conhecidos, mediante a troca de informação entre estes. Com as novas probabilidades calculadas, o nó decide se passa a mensagem para o seguinte ou não (Anders, Avri, and Olov 2003).

As regras usadas são:

1. quando os nós A e B se encontram, actualizam as suas probabilidades de acordo com:

$$P(A, B) = P(A, B) + (1 - P(B, A)) * P_{init}$$
, em que P_{init} é uma variável de inicialização;

1. Quando A encontra C, a actualização é feita mediante a mesma equação mas para as unidades A,C;
2. A cada encontro, as probabilidades são afectadas por um parâmetro de envelhecimento de acordo com:

$P(A,B) = P(A,B) * y^k$, em que y é a constante de envelhecimento e k o número de unidades de tempo desde o último encontro;

3. As probabilidades são trocadas de acordo com:

$P(A,B) = P(A,B) + (1 - P(A,B) * P(A,C) * P(C,B) * \beta)$ em que β é a constante de escala.

O protocolo é mantido pelo IRTF DTN research group (A. Lindgren 2008). Este protocolo foi usado em ambiente real para fornecer acesso básico à Internet (páginas e email) para a Reindeer herders no norte da Suécia (Michael and Kevin 2007).

2.2.2.5. DTLSR

Delay Tolerant Link State Routing (DTLSR) é muito similar aos algoritmos tradicionais disponíveis baseados no estado da ligação. No caso de surgir uma alteração na rede, são enviados a todos os nós (flood) os anúncios de alteração do estado da rede. Cada nó altera o seu grafo de rede conforme a informação recebida. Para calcular o caminho de um pacote, basta usar o algoritmo de Dijkstra para calcular o caminho mais curto.

Os link state announcements (LSA) foram adaptados para as DTN, sendo que o tempo de vida destes é prolongado no tempo e os vários anúncios são guardados para a eventualidade de uma partição de rede. Neste caso, os dados são actualizados e as mensagens que forem para a nova partição são reencaminhadas para o gateway respectivo.

Similarmente ao OSPF (Open Shortest Path First), cada nó no sistema pertence a uma área e o protocolo opera sobre esta área. Os nós que estejam no limite entre duas áreas detectam esta configuração e fazem-se anunciar como sendo gateways para a outra rede (Michael and Kevin 2007).

2.2.2.6. MAXPROP(BURGESS ET AL. 2006)

MaxProp é baseado na prioridade quer de mensagens a transmitir primeiro aos seus vizinhos, quer nas mensagens a abandonar.

Cada unidade mantém uma lista de todos os nós da rede e a respectiva probabilidade (inicialmente igual para todos). Conforme encontra unidades, incrementa a probabilidade desse nó por 1 e normalizar novamente o vector (somatório de probabilidades = 1). Em cada encontro, os nós trocam a informação e recalculam os seus dados. Idealmente, os nós mantêm as listas de encontros anteriores, o que resulta num melhor valor para o caminho mínimo.

O algoritmo mantém uma lista ordenada de mensagens baseada em probabilidades e pesos de caminhos (de acordo com o histórico existente). Para além desta métrica, são também adicionadas probabilidades a outros mecanismos, como a recepção de acknowledgments, o número de intermediários, maior prioridade para pacotes recentes, menor número de saltos necessários, etc. No final do processo, as mensagens são trocadas pela ordem obtida e descartadas as de valor mais baixo. As mensagens mais recentes são promovidas para não sofrerem “starvation” dado haver muitas mensagens mais antigas. É também mantida uma lista de passagem por nós para que não sucedam ciclos durante o trânsito de mensagens.

Os autores em (Burgess et al. 2006) indicam que este protocolo é melhor que outros que usem “oráculos” de conhecimento com listas de contactos. A avaliação é feita baseando-se em traçados reais obtidos do projecto UMASS DieselNet, bem como em simulação em diversas topologias. Os autores demonstram a necessidade de incluir informação adicional na rede para uma melhor escolha do caminho a percorrer (Sushant, Kevin, and Rabin 2004).

2.2.2.7. RAPID

Resource Allocation Protocol for intentional DTN (RAPID) define um algoritmo que tenta calcular se a utilidade para a métrica pretendida na rede justifica o custo de recursos na transmissão. A métrica poderá ser minimizar o atraso médio, minimizar o tempo máximo de entrega, ou maximizar o número de pacotes entregues antes de um limite de tempo (exemplos apresentados no artigo (Aruna, Brian, and Arun 2007)).

O protocolo faz uso de um canal de transmissão de meta-informação, proposto anteriormente por Jain et al (Sushant, Kevin, and Rabin 2004). Esta informação,

integrada no algoritmo de decisão, apesar de atrasada, permite melhorar as escolhas de caminhos em redes DTN.

Dado que este é um algoritmo de tipo flood (inunda a rede), é importante o envio dos acknowledgements para a remoção das cópias espalhadas pela rede.

2.2.2.8. SPRAY AND WAIT

Os protocolos anteriores permitem um grande número de mensagens disponíveis na rede, pelo que, há um grande número de recursos gastos em cópias que poderão nunca ser entregues.

Este novo paradigma é o mais usado (Michael and Kevin 2007) e tenta obter o melhor dos algoritmos de flood, limitando à partida a quantidade de cópias disseminadas na rede.

Há 2 fases distintas. Uma primeira fase (spray) em que a unidade que gera uma mensagem decide o número de cópias que vai distribuir pela rede e copia para cada unidade que encontra uma cópia da mesma. Cada unidade que recebe a cópia, ou detém apenas uma cópia, entra na segunda fase (wait). Nesta segunda fase, a unidade aguarda por contactar com o destinatário e entregar a mesma (Thrasyvoulos, Konstantinos, and Cauligi 2005).

Uma outra versão (binary spray & wait) deste protocolo estipula que, na primeira fase, em vez de entregar uma cópia da mensagem a quem encontre, a unidade deverá entregar metade das cópias que detém a cada unidade que encontra até que fique com apenas uma. Nesse momento, passa para o modo de espera até a mensagem expirar ou ser entregue ao destinatário.

Para ambas as alternativas, o tempo de entrega das mensagens está inteiramente relacionado com o tempo usado na 2ª fase do processo.

Os autores em (Thrasyvoulos, Konstantinos, and Cauligi 2005) indicam este segundo método como o mais eficiente das várias versões apresentadas.

2.2.2.9. CORE-AIDED ROUTING (ABDULLA AND SIMON 2007)

As redes de sensores usam frequentemente sistemas DTN para a transferência de dados dada a restrição de recursos de memória. Uma solução habitual é o uso de

Data Mules ou de unidades sem restrição de espaço de armazenamento. Habitualmente, os nós com estas características são designados de *Core* (Abdulla and Simon 2007).

Há dois esquemas habituais para a implementação deste esquema. São estes:

- **Copy-to-core:** em que as unidades entregam uma cópia das mensagens assim que entram em contacto com os nós de core. A sua cópia fica a aguardar uma mensagem de ACK por parte do destinatário. Este modelo aumenta o número de mensagens que cada nó mantém, aumentando a probabilidade de entrega.
- **Dump-to-core:** As unidades delegam no core as mensagens que têm para enviar, apagando a sua cópia mas recuperando os recursos gastos. Este esquema pode ser importante em ambientes muito limitados de recursos. Neste caso só os nós de core podem entregar a mensagem.

Pode haver mais que uma unidade de core no sistema. Entre estas unidades é possível o uso de esquemas epidémicos dado não haver limitação de recursos.

2.3. MÉTRICAS

Os modelos de mobilidade incluem diversas métricas para analisar, descrever e comparar modelos e características destes, permitindo assim escolher o modelo que melhor se adequa a cada objectivo ou aplicação.

As métricas que se seguem estão agrupadas em protocolos e modelos dado que são usadas para avaliar parâmetros nestas áreas.

2.3.1. Métricas para protocolos

Este conjunto de métricas avaliam características de protocolos e permitem comparar os diversos protocolos desenvolvidos:

- **Link (path) availability:** métrica que mede a disponibilidade ou não de um caminho entre 2 nós. A descrição inclui uma taxa de tolerância para aceitar a existência de um caminho de uma origem a um destino. Aplica-se habitualmente quando se pretende analisar a possibilidade de entrega de uma mensagem;
- **Link (path) persistence:** Mede a duração no tempo de um caminho. Deste ponto de vista, o caminho estará activo no início da simulação e assim que se perder, perde-se definitivamente, pelo que, permite analisar até onde os protocolos na Internet (statefull) poderiam transmitir informação.

- **Link (path) residual time:** Mede o tempo restante até que o caminho deixe de estar activo/disponível. Permite usar algoritmos para a escolha dos pacotes a transmitir antes que não seja possível a transmissão;
- **Link (path) duration:** Mede a duração no estado activo de um caminho. Permite determinar a janela de oportunidade de transmissão e analisar a influência deste na entrega de pacotes. Quanto maior for o parâmetro, melhor será a probabilidade de ser possível enviar dados ao destinatário;
- **Taxa de entrega;** (Abdulla and Simon 2007) contabiliza o número de pacotes entregues vs os pacotes que foram enviados. Esta métrica permite analisar a eficiência do protocolo na entrega de mensagens, relativamente aos enviados;
- **Atraso de entrega extremo-a-extremo:** soma dos tempos em filas de espera e em trânsito desde o envio até à recepção do mesmo; (Abdulla and Simon 2007)
- **Routing overhead:** tempo gasto no processamento de encaminhamento de cada pacote;
- **Número de pacotes encaminhados:** corresponde ao número de pacotes encaminhados para outros nós. Isto permite contabilizar os pacotes encaminhados e compará-los com os recebidos ou enviados;
- **Tamanho das filas de espera /estado dos buffers** (Abdulla and Simon 2007): corresponde ao número de pacotes em fila de espera. São habitualmente calculadas médias, valores mínimos/máximos e desvio padrão. Permite analisar as necessidades de recursos nos nós.
- **Tempo em fila de espera:** intervalo de tempo durante o qual a mensagem esteve em fila de espera;
- **Envios por hora / recepções por hora:** taxa média por unidade de tempo de envios ou recepção de pacotes;
- **N.º de mensagens de controlo:** volume de mensagens de controlo na rede em comparação com as mensagens de dados em trânsito; (Liao et al. 2004)
- **N.º de partições:** representa a média de nós na rede passíveis de serem atingidos. O valor é interessante dado que não havendo uma infraestrutura, indica o tamanho da rede. Este valor é dependente do alcance rádio dos equipamentos(König-Ries, Klein, and Breyer 2006);
- **Número de pacotes enviados:** corresponde ao número de pacotes enviados por todos os nós;

- **Número de pacotes recebidos:** corresponde ao número de pacotes recebidos por todos os nós;
- **Pior caso de entrega (de latência) / worst-case delivery latency:** corresponde ao maior tempo de atraso na entrega;(Aruna, Brian, and Arun 2007)
- **Peso dos cabeçalhos do protocolo por pacote** (Jing et al. 2002);
- **Velocidade dos nós vs taxa de entrega** (Zhou, Xu, and Gerla 2004): permite avaliar o impacto da velocidade na taxa de entrega de dados;
- **Throughput vs velocidade dos nós** (mobilidade dos nós)(Zhou, Xu, and Gerla 2004);
- **Mobilidade dos nós vs atraso extremo-a-extremo** (Zhou, Xu, and Gerla 2004);
- **N.º de nós vs taxa de entrega** (Zhou, Xu, and Gerla 2004), a diversas velocidades;
- **N.º de nós vs mobilidade dos nós** (Zhou, Xu, and Gerla 2004);
- **N.º de nós vs atraso extremo-a-extremo** (Zhou, Xu, and Gerla 2004);
- **Atraso na transmissão:** tempo necessário para transmitir um pacote;
- **Packet delivery fraction:** n.º de pacotes de dados recebidos sobre o n.º de pacotes enviados (Aschenbruck et al. 2004);
- **Normalized routing load:** n.º de pacotes reencaminhados sobre o n.º de pacotes recebidos;
- **Latência média** (Burgess et al. 2006):
- **Percentagem de pacotes já entregues** (Burgess et al. 2006):
- **Message delay vs network load** (Wenrui and Mostafa 2003): permite verificar uma das origens do atraso de entrega de mensagens;
- **N.º de mensagens vs velocidade;**
- **Pacotes descartados ao longo do tempo;**
- **Fairness;**

Durante a avaliação surgiu a ideia de analisar também o:

- **N.º de mensagens de controlo em fila de espera:** são habitualmente calculadas médias, valores mínimos/máximos, desvio padrão para verificar o impacto das mensagens de controlo na rede;

2.3.2. Métricas para modelos de mobilidade:

- **Inter-contact-time/inter-meeting time:** na literatura ambos os tempos são usados como métricas para caracterizar a mobilidade dos nós. Esta representa o tempo até que haja contacto entre 2 elementos. Habitualmente é usada a distribuição desta métrica para comparar os modelos;
- **Remaining inter-contact time:** tempo médio até ao próximo contacto;
- **Histograma de inter-contact-time:** histograma da variável anterior em tempo versus observações (Muhammad and Robert 2007);
- **Contact-duration / contact time:** Representa o tempo de contacto entre entidades, ou seja, o tempo disponível para que possa haver trocas de dados entre contactos. Habitualmente é usada a distribuição desta métrica para comparar os modelos;
- **Heterogeneidade:** diagrama de encontros únicos sobre o total de encontros (Frans et al. 2008). Se os nós se movem de acordo com um padrão e estão confinados a uma área de simulação mais pequena que outros, deverão encontrar habitualmente os mesmos nós e terão encontros esporádicos com outros. No entanto, outros nós que percorram áreas maiores ou interliguem áreas geográficas, entrarão em contacto com mais nós. No diagrama, um ponto indicará o total de encontros sobre os encontros únicos de cada nó. Quando mais distribuído, maior será a dispersão dos nós na área de simulação
- **Média acumulada de nós ao alcance** (ao longo do tempo) (König-Ries, Klein, and Breyer 2006): permite verificar se todos os nós estiveram em contacto com os restantes na simulação;
- **Average time until connection loss:** o tempo médio até que não seja possível transmitir. Este valor é uma medida da estabilidade da rede e depende do alcance rádio do equipamento (König-Ries, Klein, and Breyer 2006);
- **Relative mobility / movimento relativo:** este parâmetro representa a velocidade média entre todos os nós. O valor indica se os utilizadores se movem uniformemente entre eles. Por exemplo, um grupo tem uma mobilidade relativa de 0 se não se mover ou se está a deslocar em formação; (König-Ries, Klein, and Breyer 2006)
- **Número de vizinhos:** contabiliza-se o número de vizinhos e o número de vizinhos distintos encontrados durante o período de simulação;

- **Média de duração de contactos por nó;**
- **Possibilidades de entrega de mensagens** (Agoston, Justin, and Christine 2009): este corresponde a um oráculo de conhecimento (Sushant, Kevin, and Rabin 2004). A simulação é dividida em intervalos iguais (épocas) durante a qual, é atribuída uma mensagem a cada nó que tenta entregá-la a todos os nós. Dado que este valor é para ser contabilizado num cenário sem rádios reais, erros de transmissão e buffers limitados, este indica o caso ideal, sendo assim o limite teórico possível. O oráculo é efectuado por contactos epidémicos directos, com troca de todas as mensagens nos buffers e registo da hora de entrega. As épocas são escolhidas pelo utilizador e é possível determinar o número de mensagens por entregar;
- **Sharp turns:** permite quantificar o número de curvas apertadas na simulação. Valores de curvatura entre $[90^{\circ}, 180^{\circ}]$ são considerados abruptos. Esta métrica permite analisar as curvaturas em termos de suave ou abruptas dado que os utilizadores habitualmente fazem uma curva até 90° (Campos and De Moraes 2007). Esta métrica poderá ser usada para avaliar o efeito que um tipo de fronteira pode causar.
- **Quantidade de perda de ligação por alcance por Velocidades médias / link changes vs transmtion range at diferent velocities:** permite analisar a influência da mobilidade na queda de ligações a diferentes velocidades médias.(Xiaoyan et al. 2001)
- **Quebras de ligação / velocidade/ tempo de pausa:** permite verificar que se os tempos de pausa são demasiado grandes e a velocidade também, então a rede é mais estável que em situações em que os nós se movem lentamente. (Ariyakhajorn, Wannawilai, and Sathitwiriawong 2006);
- **Frequência relativa da velocidade dos nós:**
- **Frequência relativa da direcção dos nós:**
- **Distância média entre nós:**
- **Distância média entre vizinhos;**
- **Velocidade dos nós ao longo do tempo;**
- **Velocidade média de todos os nós ao longo do tempo;**
- **Rácio de velocidade entre vizinhos;**
- **Velocidade relativa entre vizinhos;**
- **Histograma da velocidade;**
- **Direcção relativa entre vizinhos;**

- **Direcção ao longo do tempo;**
- **Network Connectivity Analysis, and Path Length.**(Rainer, Franck, and Philipp 2008)
- **Densidade de nós / node density (Jing et al. 2002):** corresponde ao total de cobertura rádio dos nós sobre o total de cobertura possível. Quanto menor for este valor, mais próximos estão as unidades móveis (Jing et al. 2002). O total é definido como a área de simulação para os modelos que não limitam a área de deslocação das unidades (RW, RWP, etc) e para os modelos com grafos, corresponde ao somatório das arestas multiplicado por $2 \cdot R$ onde R é o raio de cobertura do rádio. As fórmulas para calcular este parâmetro são:

- **Modelos com grafos:** $\frac{\pi R^2}{\sum_{e \in E} l(e) \cdot 2R} \cdot n$, $l(e)$ é o comprimento da aresta e , R é o

raio de cobertura rádio, E é a lista de todos os vectores do grafo;

- **Modelos sem obstáculos:** $\frac{\pi R^2}{l \cdot w} \cdot n$, l é o comprimento da altura da área de simulação, w é o comprimento da largura da área de simulação, R é o raio de cobertura rádio;

- **Generalizando para Modelos com obstáculos:** $\frac{\pi R^2}{l \cdot w - \sum_{o \in O} a(o)} \cdot n$, l é o

comprimento da altura da área de simulação, w é o comprimento da largura da área de simulação, R é o raio de cobertura rádio, $a(o)$ é a área do obstáculo o , O é a lista de todos os obstáculos;

- **Modelo de mobilidade vs quebra de ligações (Williams and Huang);**
- **Modelo de mobilidade vs duração de contactos (Williams and Huang);**
- **Average Node degree:** n.º de nós em contacto (em media) ao longo do tempo de simulação (Aschenbruck et al. 2004);
- **Mincut:** o n.º mínimo de ligações entre um nó e os seus vizinhos, calculado a cada X segundos (Aschenbruck et al. 2004). Quanto mais densa for a distribuição de nós, maior será este parâmetro;
- **Degree of spatial dependence** (Bai, Sadagopan, and Helmy 2003): corresponde ao desvio entre duas unidades móveis em termos de velocidade e direcção, ou seja, duas unidades que se desloquem com velocidades e direcções similares têm um alto valor de dependência. O cálculo é efectuado

mediante o: $\cos(D_i(t), D_j(t)) * (\min(v_i(t), v_j(t)) / (\max(v_i(t), v_j(t))))$, em que i e j são unidades móveis diferentes, D_i é a direcção de i , v_i é o vector velocidade de i ;

- **Average degree of spatial dependence** (Bai, Sadagopan, and Helmy 2003): este corresponde à média da métrica anterior para todos os pares em que o resultado seja diferente de 0;
- **Degree of temporal dependence** (Bai, Sadagopan, and Helmy 2003): calcula-se da mesma forma que o degree of spatial dependence mas é calculado para a mesma unidade em intervalos de tempo (valor escolhido) diferentes. Como o anterior, o valor será maior se o desvio e a velocidade forem muito similares;
- **Average Degree of temporal dependence** (Bai, Sadagopan, and Helmy 2003): este corresponde à média do degree of temporal dependence de todos os pares em que o resultado seja diferente de 0;
- **N.º de nós sem contacto / unreachable node pairs;**
- **Prevalência (Lee and Hou 2006):** reflecte a frequência com que as unidades visitam o mesmo local;

Acrescenta-se também:

- **Tempo de rádio ligado**, com percentagem, histograma, média, Max., Mín., desvio padrão;
- **N.º contactos directos;**
- **Cobertura da rede / Tamanho da área de deslocação:** permite analisar a probabilidade de contactos;
- **Componentes da velocidade:** permite ver se há uma tendência de deslocação das unidades no espaço de simulação;
- **Espaço percorrido pelos nós;**

2.3.3. Métricas de mobilidade de grupo

- **Rádio Coverage:** definido como o rácio de utilizadores dentro do alcance de uma unidade em comparação com a totalidade do número de elementos do grupo (Badia and Bui 2006);
- **Average Inter-node distance:** este permite analisar a dispersão das unidades relativamente ao seu ponto de referência. Se este valor for grande, a capacidade de atracção do líder ao seu grupo é menor, permitindo maior liberdade entre estes (Badia and Bui 2006);

- **Average inter-node distance/average distance of group líder and its followers:** este parâmetro indica que há uma relação linear entre estes dois valores dentro do grupo e permite ajustar as atracções para que os nós estejam ao alcance rádio do líder, por exemplo (Badia and Bui 2006);

2.4. DISCUSSÃO

Os artigos disponibilizados na pesquisa permitiram a recolha de modelos de mobilidade usados em simulações na área de investigação das DTN. Adicionalmente, muitos dos artigos recolhidos estão também associados a redes ad hoc dada a similaridade existente entre estas.

Os modelos estão descritos de forma a descrever a sua funcionalidade e permitir, a partir desta descrição a implementação dos modelos para simulação.

Um investigador poderá escolher o modelo a usar, mediante as necessidades de mobilidade dos nós e o objectivo a que se propõe. A escolha do modelo pode ser crítica para o resultado final pois as características de cada um são bastante distintas.

Com esse intuito, os modelos foram agrupados em: modelos individuais, urbanos e de grupo. Esta estrutura facilita a procura mediante as características recolhidas.

A pesquisa efectuada centrou-se na obtenção de modelos de mobilidade, pelo que, a amostra de protocolos recolhida é menor do que a indicada na tabela resumo de um dos artigos.

Há diversos modelos de mobilidade baseados em padrões de movimento retirados do comportamento humano - Social Networks (Musolesi, Hailes, and Mascolo 2004), (Mirco and Cecilia 2007)

. As áreas sociais de investigação têm interagido com as áreas da matemática e informática para produzir modelos que possam representar melhor o movimento de pessoas e o seu comportamento.

O presente documento não explorará estes modelos.

Para os objectivos propostos nesta dissertação, os modelos a usar são os mais utilizados e descritos em artigos relacionados com as DTN. São estes: Random Walk, Random WayPoint, Message Ferry e Zebra MM.

Uma análise posterior permitiu a recolha de diversas métricas usadas na comparação e avaliação dos modelos e protocolos associados.

A partir da recolha realizada, verifica-se a existência de diversas métricas nos mais variados campos. Existem métricas simples, como medição de velocidades, pacotes entregues, distância entre nós, que permite a análise simples de parâmetros e avaliar a interferência de uma nova funcionalidade no comportamento normal das unidades num qualquer modelo.

Por outro lado há métricas complexas que interrelacionam vários parâmetros, como a quantidade de perdas de ligação por alcance, relacionada com as velocidade média dos nós. Este relacionamento permite analisar, a relação existente entre a velocidade média e a perda de ligações, o que justificará um aumento de perdas de ligação em que as unidades se movem livremente no espaço e por outro lado, a baixa perda de ligações em modelos como o Graph-based mobility model aplicado a autoestradas.

2.5. CONTROLO RÁDIO

Na revisão efectuada não existem referências na literatura que descrevam ou avaliem o estado da interface de rede e a sua influência nas métricas referidas. O estado do rádio é normalmente referido em artigos relacionados com a poupança de energia ou, por vezes, em avaliação de protocolos e não no uso efectuado pelos portadores de dispositivos móveis enquanto se deslocam num determinado meio.

A interface rádio é uma grande fonte de consumo energético em redes de sensores. De acordo com este problema, são em geral aplicadas duas abordagens ao problema: uma primeira relacionada com o controlo de potência e uma outra com intervalos de desactivação/activação da interface.

No primeiro caso, a potência de transmissão é usada para reduzir o consumo da interface. Para ajuste da potência são usadas (Guoliang et al. 2009):

- métricas como o average node degree ou o Packet Reception Ratio. Este tipo de funções optimiza o custo de transmissão de pacotes. Outro protocolo (XTC) usa a mesma métrica para optimizar mas tenta remover as ligações com má qualidade, havendo troca desta informação entre nós vizinhos, regulando a mesma métrica;
- há mecanismos que ajustam periodicamente a potência de transmissão (LMA e LMN) para garantir que o n.º de vizinhos em 1 e 2 saltos estejam dentro de

um determinado valor, no entanto, podem gerar partições da rede, que não é um problema para as redes DTN mas sim para as Ad-Hoc;

- ajuste da qualidade da ligação para um nível considerado aceitável (ATPC) que gera, em tempo real, a potência de transmissão para cada par de vizinhos;
- o sistema PCBL recolhe estatísticas para cada salto com diversas potências de transmissão. São assim escolhidas as potências mínimas necessárias à transmissão;
- substituições de transmissão de potência elevada pelo encaminhamento entre nós a curta distância.
-

Este primeiro caso mantém um gasto de transmissão associado à interface sempre ligada, minimizando o custo de transmissão. Por outro lado, no segundo caso (intervalos de desactivação/activação da interface), a desactivação da interface rádio elimina totalmente o consumo da interface. Há dois tipos de mecanismos para este caso (Guoliang et al. 2009): Duty-cycle, que activa e desactiva a interface em intervalos regulares, ao longo do tempo; e o Backbone-based, que tenta reduzir a densidade de nós activos enquanto mantém uma topologia de rede desejada.

O mecanismo Duty-cycle pode ser:

- **síncrono:** todas as unidades activam e desactivam a sua interface ao mesmo tempo. Este tipo é usado por alguns protocolos MAC, havendo ainda protocolos (S-MAC) que usam um canal para que as unidades que não têm dados a receber possam desactivar a sua interface até ao próximo ciclo. Neste caso é necessário o uso de uma interface de baixo consumo para esta função;
- **assíncrono:** neste mecanismo, cada unidade tem o seu ciclo e usa um preâmbulo para sincronizar a comunicação entre nós (B-MAC). Um outro mecanismo (X-MAX) insere no preâmbulo a identificação da unidade destino para que apenas essa responda ao pedido. Time Division Multiple Access é outro mecanismo assíncrono em que cada unidade tem a sua fatia de transmissão;
- **híbrido:** conjugam ambos os sistemas para obter melhores resultados que os anteriores.

Apesar de estes mecanismos reduzirem o consumo energético, induzem também atrasos na comunicação, pois só poderão transmitir quando as interfaces estão activas.

3. Implementação

3.1. RÁDIO EXTENSION FOR ALL MOBILITY MODEL

Habitualmente os modelos consideram que as unidades móveis têm sempre a componente rádio activa. Nos traçados de deslocação, um utilizador que usa o seu equipamento portátil para receber e efectuar chamadas VoIP provavelmente irá manter a interface e o equipamento ligado enquanto se desloca de um ponto para o outro, figurando o seu registo em todos os APs por onde circule.

Por outro lado, um utilizador que use um portátil, desliga habitualmente o equipamento enquanto se desloca de um ponto a outro (Yoon et al. 2006), não sendo possível contactá-lo durante esse movimento.

Dadas as limitações de recursos patente nas redes DTN, nomeadamente no consumo de bateria, este sistema não parece ser o ideal e não representa o estado habitual destes e outros equipamentos móveis no dia-a-dia, como é o caso dos telefones equipados com antenas wi-fi.

A proposta desta tese centra-se na possibilidade de controlo do estado da interface sem fios (ligado ou desligado, quando e onde) e a influência deste comportamento em algumas métricas usadas para a comparação entre alguns modelos de mobilidade aplicados às DTN.

Na literatura analisada, não foi possível verificar a inclusão nem a influência deste parâmetro nos modelos de mobilidade, centrando-se habitualmente esta análise apenas em termos de alcance rádio.

3.1.1. Descrição

As unidades móveis deverão deslocar-se de acordo com o modelo escolhido para o efeito e sobre este é aplicada a extensão que controlará se é ou não possível o contacto entre as unidades vizinhas, mediante a simulação de um “estado da interface de rádio”.

A extensão rádio inclui controlos para ligar/desligar a interface:

- Em intervalos regulares e de duração regular;
- Mediante uma distribuição desejada;

- Em áreas específicas (hotspots);
- Em intervalos de tempo predefinidos pelo utilizador.

Sendo assim, é possível controlar a disponibilidade de rede bem como o tempo durante o qual esta estará ligada ou desligada.

Dado que actualmente a grande maioria dos telefones já incluem GPS, é possível indicar um conjunto de hot-spots ou quiosques ao qual o equipamento poder-se-á ligar para receber/enviar mensagens de uma forma autónoma. Por outro lado a integração de áreas específicas na simulação permite analisar a influência de espaços em que não haja cobertura de rede, como em áreas geograficamente adversas, em que não há necessidade ou possibilidade de contacto mesmo que a interface esteja ligada.

3.2. ARQUITECTURA

A plataforma desenvolvida com base no modelo cliente-servidor, apresenta ao cliente uma página para decisão e consulta. A cada acesso é possível obter a deslocação efectuada por uma ou mais Unidades Móveis (UM) seguindo o movimento descrito pelo modelo de mobilidade escolhido. Os restantes parâmetros necessários à simulação podem ser alterados e obter o movimento desejado.

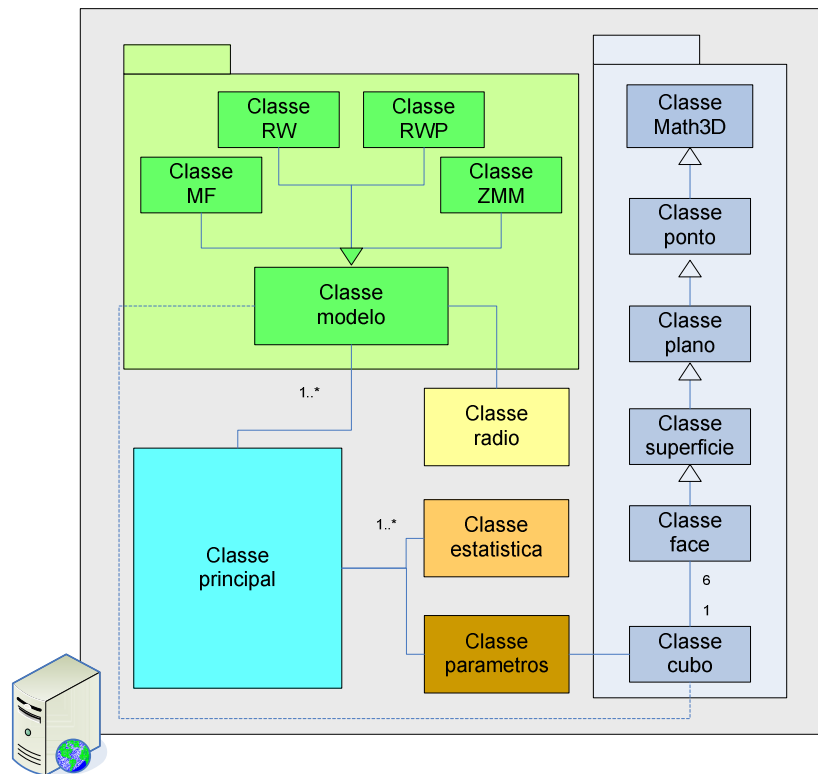


Ilustração 21 - Representação de classes da plataforma criada

O cliente poderá ser qualquer browser disponível munido do plugin Scalable Vector Graphics (SVG) da Adobe, que é necessário para a visualização do movimento. O servidor foi implementado em PHP/HTML e Javascript com a utilização de classes que serão descritas mais pormenorizadamente na próxima secção.

A classe principal desenvolvida cria um conjunto de UM definidas pelo utilizador, que descrevem o movimento desejado, invocando o método *proxposicao* durante todos os instantes de simulação, construindo assim o movimento de cada unidade ao longo do tempo.

O movimento é apresentado em SVG com uma interface que permite a rotação e escala do movimento criado em duas e três dimensões (2D e 3D).

As métricas são aplicadas ao movimento descrito pela unidade e os resultados são apresentados em forma de tabela com indicação de parâmetros estatísticos, mesmo que estes não tenham significado (cf. ilustração na secção Interface Gráfica).

3.2.1. Classes

As classes criadas são de 3 tipos: Classes matemáticas, que permitem o cálculo vectorial e estatístico; Classe de parâmetros, que inclui todos os parâmetros

necessários à simulação; Classes de modelo, que implementam os diversos modelos implementados;

3.2.1.1. CLASSES MATEMÁTICAS

A classe **Math3D** permite o cálculo diverso em 3D em coordenadas cartesianas. A classe fornece um conjunto de funções utilizadas por todas as classes deste tipo. São estas a: soma, subtração, multiplicação por constante de vectores, verificação se um ponto é 3D, norma entre 2 vectores, o produto interno entre vectores (dot), o produto externo (crossproduct), o ângulo entre 2 vectores e o cálculo do ponto de intersecção entre segmentos.

A classe **ponto** estende a classe anterior e representa um ponto no espaço, sendo a unidade básica que representa a posição da unidade móvel num dado momento. Esta classe inclui as coordenadas cartesianas, soma, subtração de vectores e o escalamento do ponto. Adicionalmente calcula a distância a outro ponto, verifica a igualdade entre 2 pontos e imprime o respectivo ponto em formato standard.

A classe **plano** também estende a classe anterior e representa um plano no espaço. Para além da coordenada do ponto, herdada do método anterior, adiciona o vector normal ao plano e permite o cálculo do mesmo. Permite também o cálculo do ponto de intersecção de um plano com um segmento de recta.

Segue-se a classe **face** que limita o plano com um ponto mínimo e máximo. Estes pontos são usados na função que valida se um ponto pertence à face e no cálculo de intersecção com um segmento de recta.

A classe **cubo** permite representar a área de simulação. É constituída por 3 pares de faces diametralmente opostas e paralelas aos planos formados pelos eixos cartesianos. Esta classe permite verificar se um ponto se encontra dentro ou fora da área de simulação delimitada e retornar o plano da face ou as faces de intersecção com um segmento de recta.

Cada unidade móvel detém um cubo que representa a sua área de simulação. Este permite determinar os pontos de contacto com o limite de simulação (executando o procedimento determinado nesta situação).

A classe de **estatísticas** permite obter a estatística descritiva relativa a uma série de dados. Esta classe calcula o valor mínimo, a média, o valor máximo, o desvio

padrão e a variância, a soma total e a contagem dos elementos usados. Também calcula histogramas relacionados com a mesma estatística.

3.2.1.2. CLASSE PARÂMETROS

Esta classe detém os dados gerais necessários para executar a simulação. Estes dados permitem alterar o comportamento do simulador para o mesmo modelo de simulação, e até usar parâmetros não indicados na literatura, criando assim novos modelos de simulação. Fica a cargo do operador a escolha correcta dos parâmetros para efectuar a simulação.

Os valores disponíveis incluem: a dimensão a usar (2D ou 3D), os valores máximos e mínimos de velocidade, a largura da área de simulação nas 3 componentes cartesianas, as coordenadas de origem da simulação, o intervalo entre a actualização de velocidade / direcção (se aplicável ao modelo), o comportamento na fronteira de simulação, o tempo de paragem (se aplicável), o tempo de simulação, se a distribuição inicial dos nós é aleatória ou predefinida, a função de geração de números aleatórios que é apenas usada para a velocidade, o número de unidades móveis na simulação, o alcance rádio, o n.º de divisões a colocar nos histogramas para cada componente, o tipo de controlo de rádio (sempre ligado, aleatório, etc.) e os dados associados a esta variável rádio como o intervalo de activo/desactivo e duração.

Esta classe de parâmetros inclui uma função (terminar) que permite intercalar outros parâmetros específicos do modelo na representação de variáveis.

Salienta-se que o motivo para o uso de geradores de números aleatórios apenas para a velocidade, deve-se à necessidade de manter a direcção distribuída uniformemente em toda a gama $[-\pi, \pi]$.

3.2.1.3. CLASSE MODELO

Os vários modelos estendem a classe modelo e implementam apenas a função de deslocação. Todos os modelos recebem uma classe com as configurações (classe parâmetros) e também outros parâmetros aquando da criação da classe.

Esta classe fornece aos modelos o ID, um vector de posições e respectivo tempo de simulação, uma classe de estatísticas, uma classe para controlo da interface de rádio, restando a cada modelo implementar a função proxPosicao que retorna a próxima posição da unidade.

Esta classe implementa ainda uma função de validação de posição, ou seja, uma função que verifica se o ponto passado está dentro da área de simulação; uma função para calcular novas direcções; uma outra que retorna a posição num dado momento de simulação; uma função para retornar o número de posições armazenadas da unidade; e uma função que retorna se num dado momento a interface rádio está ou não disponível.

3.2.1.4. CLASSES DE MODELO DE MOBILIDADE

Esta classe estende a classe anterior implementando a função de deslocação `proxPosicao`. Dependendo do modelo podem existir algumas funções extra de apoio ao cálculo.

3.2.1.5. CLASSE DE INTERFACE RÁDIO

Esta classe, implementa o proposto na secção anterior Rádio Extension for all mobility models. Neste âmbito, existe uma variável que armazena o tipo de comportamento da interface, uma outra com os dados necessários para o comportamento anterior, um tempo máximo de simulação e um vector com os intervalos de tempo de simulação em que a interface se encontra activada.

Os tipos “sempre activa”, “activa em intervalos regulares”, “activa em intervalos predefinidos” e “mediante distribuição” são criados aquando da criação da classe, dado não necessitarem de informação adicional. A variante “activa em áreas geográficas específicas” necessita de informação de movimento, pelo que, existe uma função específica para construir o vector de intervalos activos, que é invocado sempre que haja alteração de posição na função `proxPosicao`.

A função *ligado* retorna o estado da interface num dado tempo de simulação passado como argumento.

3.2.1.6. CLASSE PRINCIPAL

Esta classe faz uso de todos os parâmetros inclusos na classe parâmetros para gerar um conjunto de unidades móveis. Para cada unidade criada, esta classe invoca o método de deslocação das UM (`proxposicao`) ao longo de toda a simulação. Após esta fase, esta executa todas as estatísticas e cálculo de métricas (cf. com secção funções comuns) do movimento gerado.

3.2.2. Funções comuns

Para que seja possível a recolha de dados foram, criadas diversas funções que permitem a extracção de informação. Estas funções são comuns a todos os modelos pelo que, figuram nesta secção.

- **listaContactos:** retorna diversas métricas, nomeadamente, uma lista com unidades em contacto e a duração respectiva, um log de contactos entre unidades, uma lista de unidades sem contacto e respectiva duração, uma lista de distância entre vizinhos, uma lista de distâncias entre não vizinhos, e por fim uma lista de distâncias entre todas as unidades.
- **listaContactosRádio:** retorna uma lista de unidades em contacto e respectiva duração em que ambas as interfaces rádio estão activas;
- **ImprimeTabelaContactos:** apresenta em formato HTML os dados relativos a listagens de contactos.
- **Classe histograma:** classe que cria um histograma a partir de uma série de dados e as divisões espaciais a usar (p. ex.: 20 divisões horizontais e verticais). A série representa a posição de cada unidade no espaço de simulação. Esta classe também é responsável pelo cálculo de Chi2 para verificar se a distribuição é uniforme no espaço.
- **numContactosUnicos:** função que calcula a métrica “contactos únicos”, número total de contactos por unidade e o total de todas as unidades;
- **getVizinhos:** função que implementa e recolhe os dados relativos à métrica “n.º de vizinhos”;
- **getRede:** função que implementa a métrica “tamanho da rede” em cada momento;
- **getHistVizinhosRedeAcumuladoPorUnidade:** recolhe os dados necessários para as métricas: histograma de vizinhos, histograma acumulado de vizinhos, histograma da rede, histograma de unidades isoladas;
- **sharpturns:** esta função implementa o cálculo da métrica sharp turns que permite verificar se o comportamento do modelo é próximo do movimento habitual de pessoas. Em geral, as pessoas não fazem desvios de direcção superiores a 90º da direcção em que se deslocam (Campos and De Moraes 2007).

3.2.3. Saídas de dados

A representação do movimento foi implementada em SVG (Scalable Vector Graphics) dada a simplicidade de criação de traçados nesta linguagem Markup. Para o efeito foi acrescentada a capacidade de representação do movimento em 3D, rotação, translação e redução/ampliação.

As métricas usadas na avaliação do impacto da componente rádio foram extraídas dos vários artigos que figuram na bibliografia e são recolhidos sob a forma de tabelas com inclusão da estatística descritiva associada. Assim se obtém uma análise preliminar dos resultados obtidos e validação inicial dos mesmos.

3.2.4. Interface Gráfica

A interface gráfica foi desenvolvida em PHP/HTML e interage com as várias classes descritas anteriormente, permitindo a visualização dos dados gerados.

Esta é dividida em 2 áreas principais, uma área de menu onde é possível visualizar os modelos disponíveis e uma outra onde são apresentados todos os dados gerados. Esta última área divide-se em 3 partes, uma primeira com uma introdução ao modelo; uma segunda parte com os parâmetros para o modelo e uma terceira com os dados gerados, com a visualização do movimento gerado e as métricas do mesmo.

Na figura seguinte, apresenta-se a visualização de um movimento baseado no modelo Zebra e do lado direito. A título de exemplo das métricas recolhidas, apresenta-se do lado direito da figura os dados obtidos para a métrica “vizinhos vs tamanho da rede” para o instante 75s (em cima) e os dados recolhidos pela métrica de contactos (em baixo).

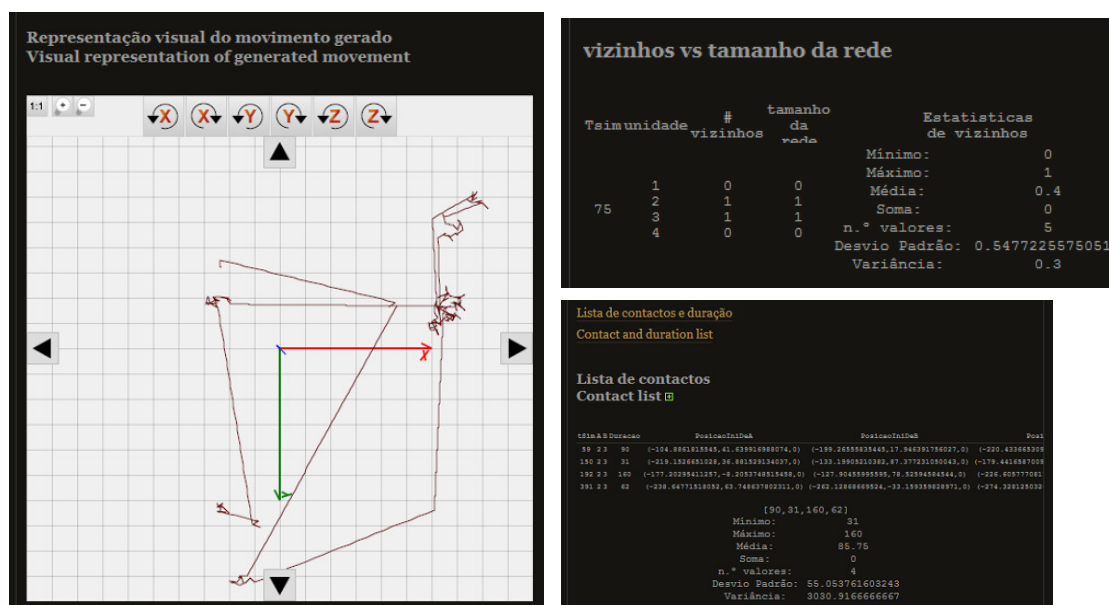


Ilustração 22 - Visualização de partes do ecrã da plataforma criada

4. Avaliação

4.1. DESCRIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS

Antes de iniciar a recolha de dados, foi necessário estipular a área de simulação e a duração temporal da mesma. Habitualmente, os investigadores escolhem áreas de simulação iguais ou próximas de 1000x1000m (Christian 2001; Xiaoyan et al. 1999; Xiaoyan et al. 2001; Bai, Sadagopan, and Helmy 2003) e tempos de simulação no espaço de horas (3600s (Jing et al. 2002), 12h (Dongsoo S Kim 2007; Agoston, Justin, and Christine 2009)), no entanto, há modelos que incluem trajectos de dias e semanas para analisar as consequências de deslocações a longo curso. Os resultados obtidos neste trabalho de investigação têm por base uma simulação com a duração de 1h.

Os modelos testados foram o Random Walk, o Random Waypoint, o Message Ferry e o Zebra mobility model pela grande quantidade de artigos que os usam.

A média dos vários resultados é executada sobre 10 lançamentos, de acordo com o que é apontado por alguns artigos (Balasubramanian et al. 2007; Shin, Hong, and Rhee 2008; Aruna et al. 2007).

Após a geração de um movimento, as estatísticas relacionadas com a componente rádio são todas geradas a partir deste movimento, o que reduz o n.º de variáveis que poderão influenciar os resultados finais.

O número de unidades a usar em cada lançamento é sugerido ser da ordem de grandeza de 40 unidades (Bai, Sadagopan, and Helmy 2003; Aruna et al. 2007), no entanto, este valor permite uma cobertura quase total do espaço de simulação. Isto faz com que haja uma ligação a todos os nós durante grande parte da simulação, o que não é uma característica das redes DTN. A simulação com 10 unidades permite cobrir 1/3 do espaço de simulação, pelo que, optou-se por este valor.

Considerou-se que, dado que o número de possibilidades aumenta a cada parâmetro a controlar, os movimentos seriam efectuados a velocidades de 2m/s, 4m/s e 10m/s para os modelos Random Walk e Random Waypoint. Para o modelo Message Ferry, a unidade ferry deslocar-se-ia a uma velocidade mais alta e as restantes a 10% da mesma, com os valores de 30m/s e 20m/s, e as unidades localizadas nas áreas limitadas a deslocarem-se respectivamente a 3m/s e 2m/s respectivamente. Para o modelo Zebra, as velocidades são as indicadas no modelo (3m/s e 13m/s para a fase de deslocação curta) e, para a fase de deslocação longa, escolheu-se o movimento com velocidade máxima de 20m/s e 15m/s que estão relacionados com a velocidade máxima das zebras; a cobertura de rede foi de 100m e, após este limite, deixa de haver contacto; a distribuição inicial dos nós é aleatória na área de simulação, com excepção do modelo message ferry que inclui limitação de áreas para os nós em aldeias em que a área de simulação foi substituída pela área da aldeia para estes casos; a distribuição uniforme foi usada para a geração de todos os números aleatórios.

Os cenários testados são então: 1) RW a 10m/s; 2) RW a 4m/s 3) RW a 2m/s; 4) RWP a 10m/s; 5) RWP a 4m/s 6) RWP a 2m/s; 7) MF a 30m/s 8) MF a 20m/s; 9) ZMM a 20m/s e 10) ZMM a 15m/s.

4.1.1. Teste de homogeneidade

De forma a verificar a homogeneidade da dispersão dos nós no espaço, foi usado o teste do Qui2. O valor esperado corresponde ao produto do número de divisões no espaço em X, Y.

O cálculo do Qui2 tem por base o histograma de amostras de posições. A grandeza e os intervalos de amostragem estão relacionados com o número de divisões do espaço em que se estratifica o histograma, e o tempo necessário para que uma

unidade possa percorrer 3x a diagonal principal, tentando assim garantir que não haja dependência entre amostragens consecutivas. Segue-se a fórmula usada para o cálculo do tempo de simulação necessário (“movimento grande”):

$$T = \frac{3\lambda}{v_{\max}} * divX * divY$$

Em que: λ é o tamanho da diagonal principal em m (metros); $v_{\max}$ é a velocidade máxima permitida de uma unidade; $divX$, o número de divisões em X; e $divY$ o número de divisões em Y.

4.1.2. Padrões on/off do rádio

Foi analisado o impacto que teria o tempo de contacto se a interface estivesse 1) sempre ligada, 2) desligada durante 180 segundos e ligada durante 60 segundos (1/3 do tempo), 3) 180 segundos desligada e 120 segundos ligada (2/3 do tempo ligada), 4) 360 segundos desligada e 60 segundos ligada (1/6 do tempo ligada), 5) 360 segundos desligada e 120 segundos ligada (1/3 do tempo ligada), 6) intervalos aleatórios, 7) ligada em intervalos predefinidos de 0-1200 segundos, 8) 1200-2400 segundos, 9) 2400-3600 segundos, 10) 600-3600 segundos.

Para os parâmetros regulares (1-5) (tempo ligado e tempo desligado) todas as interfaces são ligadas e desligadas em simultâneo, bem como para os intervalos predefinidos. Para o intervalo aleatório (6), cada interface gera um conjunto de intervalos em que a interface estará activa, seguido de outro intervalo em que estará inactiva, até que termine o tempo de simulação. Estes intervalos são criados mediante uma distribuição uniforme com o máximo de 10% do tempo total de simulação.

Os padrões 2 a 5 permitem analisar a influência da redução do tempo activo da interface nas métricas de mobilidade, em comparação com o padrão tradicional em que a interface está sempre ligada e a consumir recursos. Os padrões 7 a 9 permitem ao investigador simular fases esperadas de impossibilidade de contacto, como é o caso de cenários relacionados com a comunicação com satélites em órbita à volta de planetas, zonas sem contacto possível, interferências programadas, contactos programados, entre outras. O padrão 6 permite analisar a influência de activações aleatórias, simulando perda de sincronismo de relógio por exemplo. O padrão 10 permite a verificação do período de burn-in e a influência que este tem

nos dados recolhidos (cf. ilustração 5). O primeiro padrão é o padrão tradicional e servirá de comparação para todos os outros.

Esperamos que estes testes permitão fornecer termos de comparação para investigadores que necessitem usar padrões similares de comportamento de interfaces, e possam verificar a eficácia de protocolos para o valor esperado em simulação.

4.2. MÉTRICAS USADAS NA COMPARAÇÃO

De entre as métricas anteriormente descritas, foram escolhidas as métricas que mais poderiam sofrer impacto com a alteração da interface rádio, nomeadamente o tempo de contacto. Esta métrica descreve o tempo em que é possível transferir dados entre unidades móveis. As medidas foram efectuadas baseadas num tempo de contacto e não no contacto em ambos os sentidos, ou seja, é contabilizado o tempo de contacto de A com B, sem incluir o tempo de contacto de B com A, pois o tempo de contacto é o tempo disponível entre estes, tendo ambos a oportunidade de transferir dados no mesmo intervalo.

Em complemento a esta análise, são recolhidos dados que permitem a comparação com outros modelos, no que diz respeito ao tempo sem contacto, n.º de contactos efectuados, n.º de vizinhos, rede acessível a cada instante e n.º de nós isolados.

A plataforma permite também recolher resultados de métricas como a velocidade instantânea com divisão por componente (V_x , V_y , V_z), distância entre nós, etc.

4.2.1. Teste de uniformidade

Os testes de uniformidade permitem verificar se há uniformidade espacial das unidades ou, por outro lado, se estas se aglomeram em zonas específicas ou passam frequentemente em determinado local.

Neste caso, Para verificar a uniformidade utiliza-se o teste de Qui2. Este testa a associação entre variáveis independentes e discretas. O seu objectivo é verificar se a distribuição das frequências observada desvia-se significativamente das frequências esperadas.

4.2.2. Métricas utilizadas

Após o lançamento das várias simulações, foram recolhidos dados relativos às métricas:

- Vizinhaça: n.º de unidades a distâncias inferiores a 100m a cada instante de simulação. Esta métrica é medida entre pares de unidades;
- Rede acessível: rede alcançável em cada instante de simulação, constituída pelo agregado dos vizinhos de uma unidade com os vizinhos desta;
- Nós isolados: n.º de nós que não têm vizinhos, a cada instante de simulação;
- Distância entre nós vizinhos: distância entre todos os nós inferior a 100m, medido a cada instante de simulação;
- Distancia entre nós não vizinhos: distância entre todos os pares de nós com distâncias superiores a 100m, a cada instante de simulação;
- Distância entre todos os nós: distância entre todos os nós da simulação, a cada instante de simulação.
- N.º de contactos: corresponde ao n.º de intervalos de tempo de contacto entre pares de unidades que sejam vizinhas;
- Tempo contactos: corresponde ao somatório dos intervalos de tempo de contacto entre pares de unidades que sejam vizinhas.

4.3. RESULTADOS

Os resultados iniciais obtidos na plataforma dizem respeito à velocidade das várias unidades. As estatísticas recolhidas indicam a velocidade mínima, média, máxima, e desvio padrão da velocidade instantânea a cada instante. Os mesmos parâmetros são recolhidos relativamente às componentes X e Y desta variável.

Foram efectuados 10 lançamentos por cada cenário com um total de 100 simulações (3x10 para o RW e para o RWP, 2x10 para o MF e para o ZMM).

As estatísticas recolhidas dizem respeito a distância entre nós, n.º de vizinhos,

4.3.1. Testes de homogeneidade

Para cada um dos 10 lançamentos, foi calculado o valor de Qui2 (Qui-quadrado) e o valor da respectiva distribuição para se verificar se as unidades ocuparam todo o espaço de simulação.

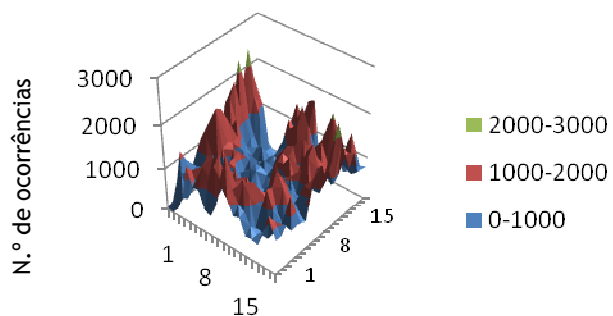
Os valores obtidos não são significativos pois seriam necessárias mais amostras do que as que foram geradas pelos 3600s de simulação, pelo que, os valores são meramente informativos, no entanto, os histogramas gerados permitem visualmente analisar a distribuição das unidades.

Tabela 1 - valores de Qui2 obtidos dos vários modelos testados

Cenário	Modelo	Qui2	Valor da Distribuição de Qui2	Validade do resultado	Resultado da uniformidade
1	RW 10	93,470	1	Amostra insuficiente	Uniforme
2	RW 4	260.736	0,9999	Amostra insuficiente	Uniforme
3	RW 2	716,662	2,02034E-20	Amostra insuficiente	Não Uniforme
4	RWP 10	172,301	1	Amostra insuficiente	Uniforme
5	RWP 4	145,678	1	Amostra insuficiente	Uniforme
6	RWP 2	145,678	1	Amostra insuficiente	Uniforme
7	MF 30/3	627,083	2,12964E-12	Amostra insuficiente	Não Uniforme
8	MF 20/2	640,346	1,72968E-13	Amostra insuficiente	Não Uniforme
9	ZMM 20/13/3.1	198.756	1	Amostra insuficiente	Uniforme
10	ZMM 15/13/3.1	206.009	1	Amostra insuficiente	Uniforme

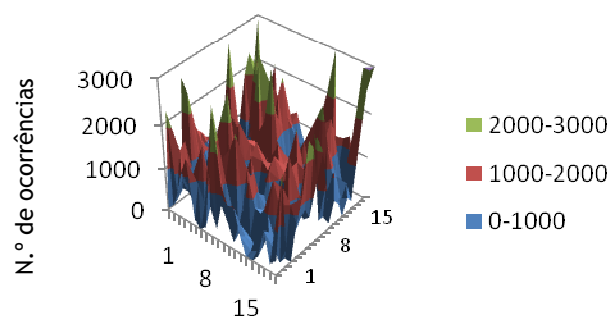
Cada ilustração seguinte é um grupo de representações dos histogramas gerados no passo anterior. Assim cada um está dividido em 3 ou 4 partes identificadas com o modelo e a velocidade a que correspondem. A última figura de cada um é um exemplo para ilustrar o tipo de movimento que cada modelo gera e apoiar a razão pela qual os histogramas apresentam estes padrões.

a) Histograma do cenário 1

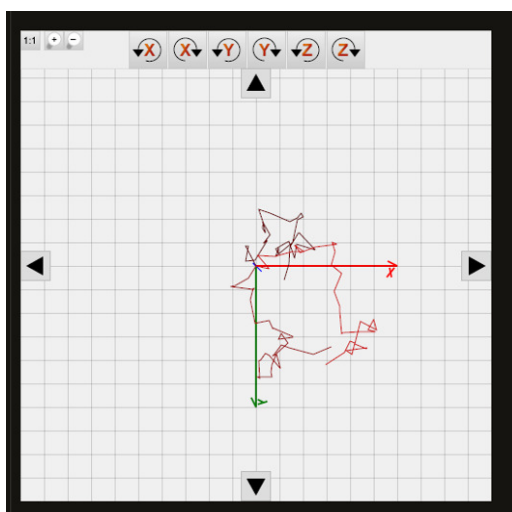


N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

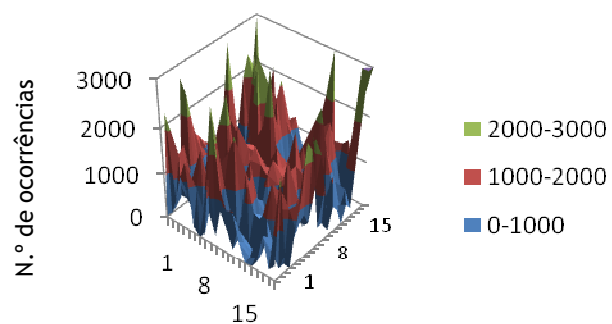
b) Histograma do cenário 2



N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

d) exemplo típico de movimento RW
(simulação de 36s)

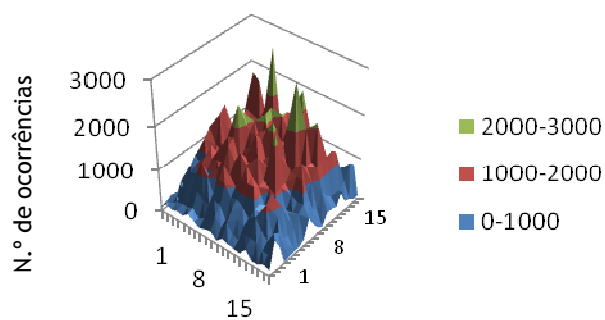
c) Histograma do cenário 3



N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

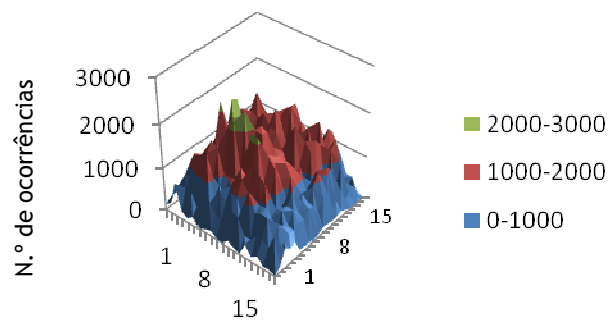
Ilustração 23 - Histogramas das 10 simulações em RW e exemplo de representação do movimento

a) Histograma do cenário 4

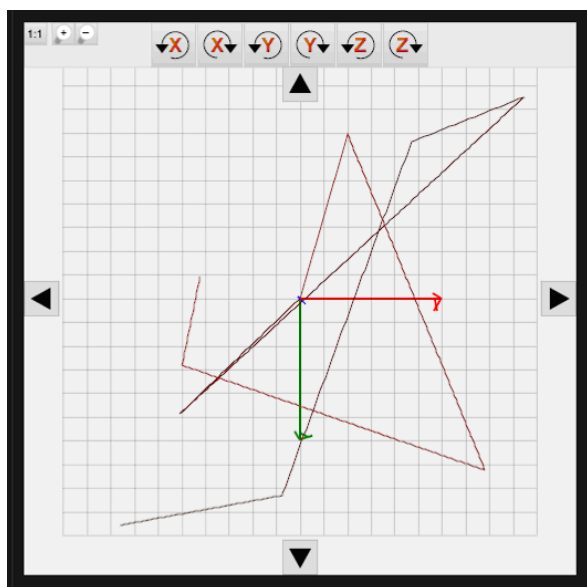


N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

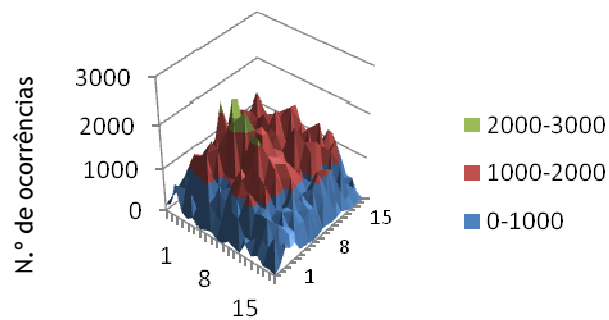
b) Histograma do cenário 5



N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

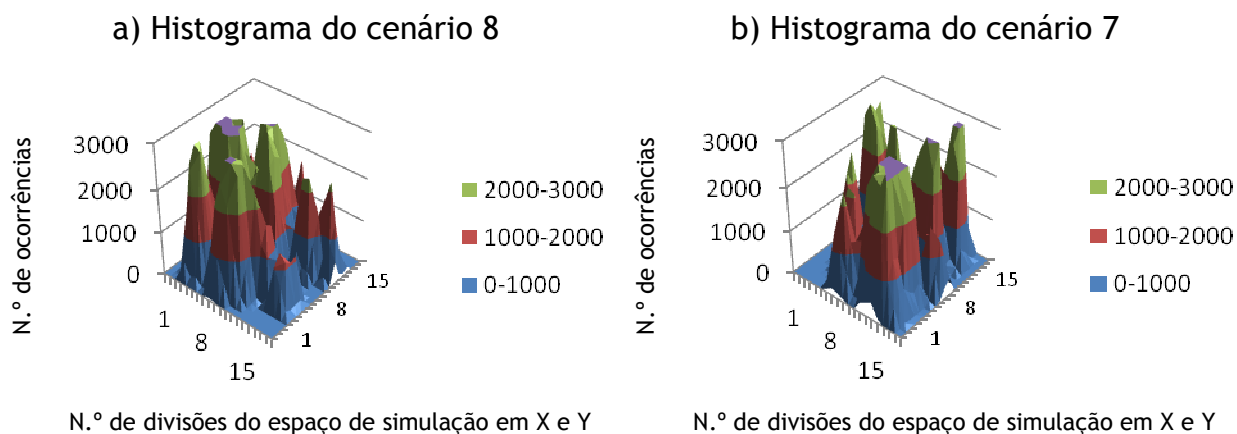
c) exemplo típico de movimento RWP
(simulação de 36s)

c) Histograma do cenário 6



N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

Ilustração 24 - Histogramas e representação do movimento gerado nas 10 simulações em RWP



c) exemplo típico de movimento MF (simulação de 360s)

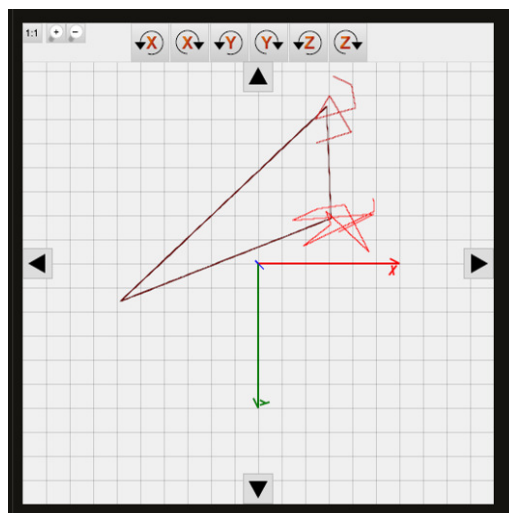
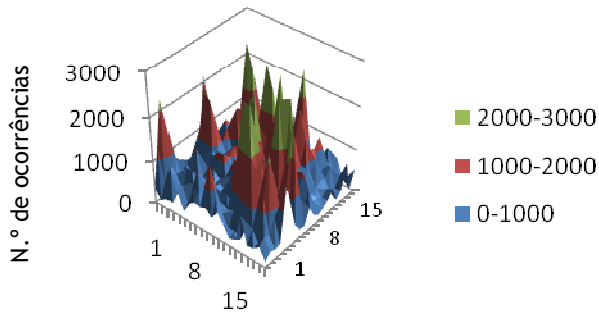


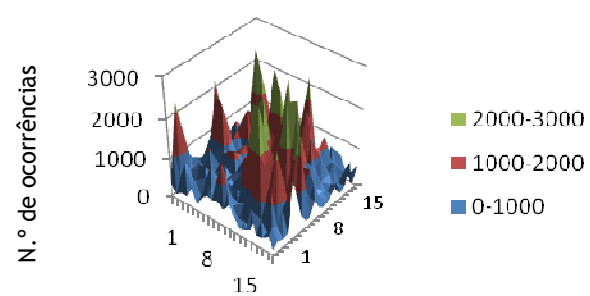
Ilustração 25 - Histogramas das 10 simulações em MF e exemplo de representação do movimento gerado

a) Histograma do cenário 9



N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

b) Histograma do cenário 10



N.º de divisões do espaço de simulação em X e Y

c) exemplo típico de movimento ZMM (simulação de 360s)

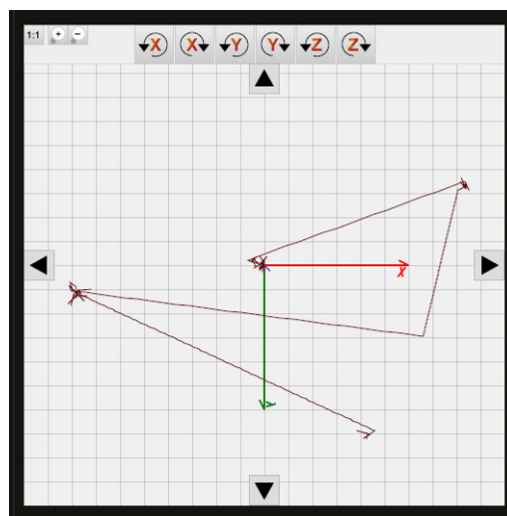


Ilustração 26 - Histogramas das 10 simulações em ZMM e exemplo de representação do movimento gerado

4.3.2. Valores obtidos para as métricas de distâncias entre nós

Esta métrica mede a distância entre todos os nós e está agrupada em nós vizinhos, nós não vizinhos e apresenta valores para todos os nós.

Com estas medidas é possível analisar se os modelos pertencem aos modelos de grupo, a distância habitual entre unidades, se os modelos percorrem grande parte do espaço de simulação, analisar a mobilidade dos nós, etc.

Nas tabelas 2 a 4, apresentam-se valores mínimos e máximos, médias e desvios padrão dos valores recolhidos para cada cenário referido em 4.3

Tabela 2 - valores obtidos da métrica distância entre vizinhos para os modelos RW, RWP, MF, ZM

	RW			RWP			MF		ZM	
Vmax	10	4	2	10	4	2	20/2	30/3	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	0,014565858	0,416557	0,9819529	0,611205	0,2025103	0,58796	0,473567	0,004679	0,266936	0,025231
Máximo:	100,0	99,99968	99,998451	99,99839	99,999056	99,99973	99,99994	99,9998	99,99907	99,99893
Média	67,1	65,66903	69,8334	65,62564	66,534504	65,30502	61,32614	55,12892	49,3251	48,8885
Soma	2656623	2659322	2526329,2	4063533	4066550,5	4467693	18003570	18827707	6840271	6845900
Desv. Pad	22,6	13,16629	4,8314546	23,72111	23,106908	23,25334	24,44849	36,08715	29,1002	28,19576
Variância:	512,9680262	173,3513	23,342954	562,691	533,92918	540,7179	597,7289	1302,282	846,8218	795,0008

Tabela 3 - valores obtidos da métrica distância entre não vizinhos para os modelos RW, RWP, MF, ZM

	RW			RWP			MF		ZM	
Vmax	10	4	2	10	4	2	20/2	30/3	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	100,2526898	100,3655	100,95364	100,9324	100,70133	100,3361	100,9544	100,7342	100,1114	100,0006
Máximo:	1325,2	1330,506	1315,1939	1280,604	1206,4485	1277,107	1087,101	1061,389	1271,105	1176,12
Média	548,8	533,3775	527,91758	443,2278	446,68732	430,53	381,4553	355,0593	462,6017	475,1354
Soma	870511184	8,42E+08	777981984	6,95E+08	698886250	6,69E+08	5,16E+08	4,69E+08	7,5E+08	77841427
Desv. Pad	236,7	239,849	264,76625	199,8236	199,39838	194,5072	204,2815	290,0821	217,3955	222,5695
Variância:	56022,00898	57527,53	70101,165	39929,48	39759,715	37833,04	41730,92	84147,65	47260,8	49537,18

Tabela 4 - valores obtidos da métrica distância entre todos os nós para os modelos RW, RWP, MF, ZM

	RW			RWP			MF		ZM	
Vmax	10	4	2	10	4	2	20/2	30/3	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	0,014565858	0,416557	0,9819529	0,611205	0,2025103	0,58796	0,473567	0,004679	0,266936	0
Máximo:	1325,2	1330,506	1315,1939	1280,604	1206,4485	1277,107	1087,101	1061,389	1271,105	1331,72
Média	531,0	520,7975	517,36653	428,9164	432,49173	415,0566	326,2364	275,4343	430,2943	449,0519
Soma	862876174	8,45E+08	780345531	6,99E+08	702952801	6,74E+08	5,34E+08	4,52E+08	7,56E+08	7,79E+08
Desv. Pad	245,1	248,7171	269,70747	208,8024	208,39195	204,0616	219,1768	324,1798	236,2233	243,4474
Variância:	60072,35657	61860,21	72742,12	43598,46	43427,204	41641,16	48038,46	105092,5	55801,45	59266,65

4.3.3. Rede acessível, contactos únicos, e unidades isoladas

As tabelas 5 a 7 seguintes apresentam os resultados obtidos para as métricas anteriores.

Cada tabela corresponde a uma métrica e está dividida em colunas. As colunas correspondem aos modelos de mobilidade, que por sua vez subdividem-se em colunas contendo os resultados de 10 simulações para cada uma das velocidades estudadas.

Salienta-se que o mínimo recolhido é o mínimo das 10 simulações efectuadas para cada cenário (p. ex. modelo MF e $v_{max}=10$). Aplica-se o mesmo princípio para as restantes medidas (máximo, média, etc).

Tabela 5 - valores obtidos da métrica n.º de vizinhos nos RW, RWP, MF, ZM

	RW			RWP			MF		ZM	
Vmax	10	4	2	10	4	2	20/2	30/3	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo:	3,0	3	2	4	4	4	6	6	7	7
Média	0,2	0,238045	0,2166787	0,341716	0,3386837	0,382466	1,611824	1,4985	0,735162	0,735162
Soma	79860	85720	78026	123052	121960	137726	580418	539610	264732	264732
Desv. Pad	0,5	0,43883	0,4258634	0,582417	0,5790484	0,622843	0,924075	1,631956	1,236311	1,204846
Variância:	0,240199559	0,192571	0,1813596	0,33921	0,3352971	0,387934	0,853915	2,663281	1,528466	1,451653

Tabela 6 - valores obtidos para a métrica rede acessível nos modelos RW, RWP, MF, ZM

	RW			RWP			MF		ZM	
Vmax	10	4	2	10	4	2	20/2	30/3	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo:	4,0	3	3	6	5	6	10	9	8	9
Média	0,3	0,243649	0,2193492	0,394152	0,3944654	0,452735	2,380161	2,284574	0,952308	0,957545
Soma	90427	87738	76302	141934	142047	163030	857096	822675	342926	344812
Desv. Pad	0,5	0,456308	0,4493489	0,743311	0,7437622	0,814533	1,501413	2,54287	1,664536	1,62315
Variância:	0,298127185	0,208217	0,2019144	0,552511	0,5531822	0,663464	2,25424	6,46619	2,77068	2,634617

Tabela 7 - valores obtidos da métrica n.º de nós isolados nos modelos RW, RWP, MF, ZM

	RW			RWP			MF		ZM	
Vmax	10	4	2	10	4	2	20/2	30/3	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	1	2	3	1	1	1	0	0	0	0
Máximo:	10,0	10	10	10	10	10	8	7	10	10
Média	7,9	7,675423	7,8913635	6,517912	7,129103	6,847653	1,226215	0,888725	6,121189	6,092863
Soma	285193	56445	284168	23471	256719	246584	23561	0	220424	219404
Desv. Pad	1,8	1,79406	1,6268169	1,859592	1,9038716	1,931786	1,167654	1,313808	2,368583	2,380526
Variância:	3,079883999	3,218649	2,6465332	3,458082	3,6247272	3,731796	1,363416	1,726091	5,610184	5,666902

4.3.4. Acumulado de contactos únicos

Esta métrica permite verificar se as unidades estiveram todas em contacto ou não durante a simulação podendo-se recolher o momento a partir do qual as unidades estiveram em contacto com todas as outras unidades.

A métrica é calculada a partir da rede acessível, no entanto, poderia igualmente ser calculada a partir da métrica nós isolados.

Este ponto não é fundamental para as DTN dado que não é necessário que todas as unidades contactem entre si para haver transmissão da informação. Dado que esta informação foi recolhida, mas não traria mais informação relevante à discussão, apresenta-se a título de exemplo uma simulação RW em que, apesar de não ter havido contacto entre todos os nós, (ilustração 29 - o acumulado indica um total de 6 unidades encontradas) poderia ser possível entregar ao seu destino a informação enviada.

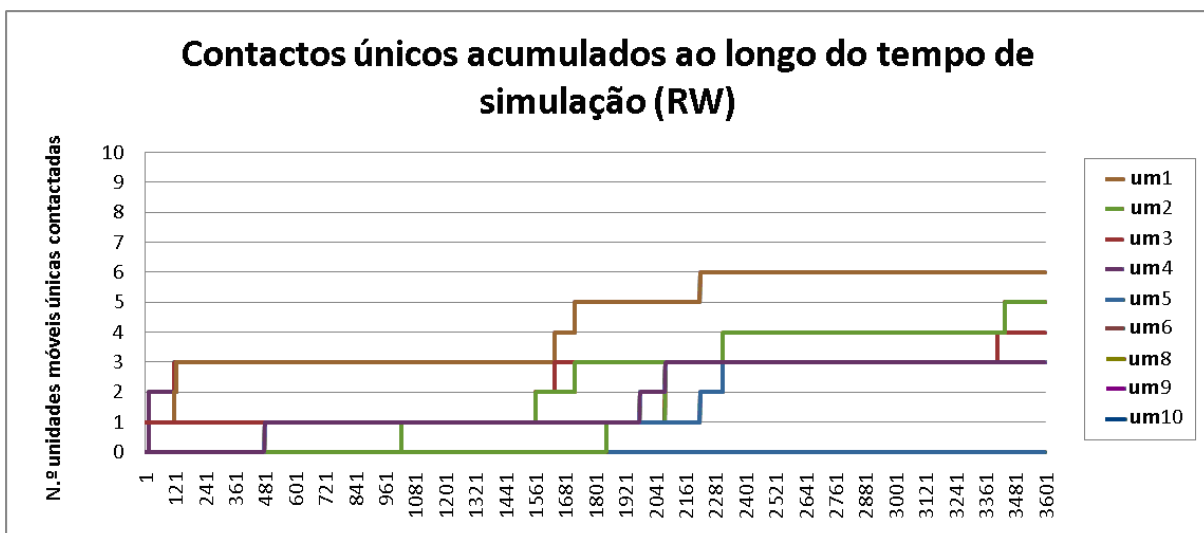


Ilustração 27 - visualização de contactos únicos ao longo do tempo de simulação para todas as unidades

O gráfico seguinte apresenta a rede acessível a preto e o n.º de contactos para todas as unidades de simulação cada unidade de tempo, onde se dá relevância ao instante 2153, o instante em que todas as unidades estavam em contacto entre si, pelo que, teria sido possível entregar mensagens a toda a rede.

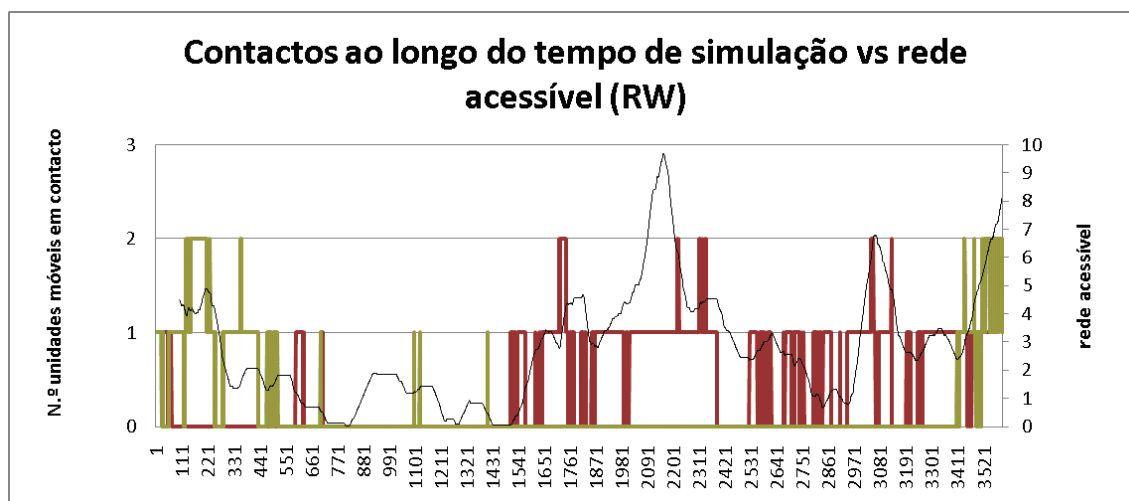


Ilustração 28 - unidades em contacto vs rede acessível ao longo da simulação (3600s)

4.3.5. Tempo de contacto

Os dados relativos ao tempo de contacto foram resumidos e encontram-se na tabela seguinte. Nesta tabela, para cada modelo de mobilidade foi calculado o tempo de contacto e o tempo sem contacto (tempo entre contactos). Cada uma destas colunas subdivide-se em colunas representativas dos dados recolhidos por velocidade máxima.

Tabela 8 - tempo de contacto e intercontacto por modelo

	RWP					
	Tempo de contacto			Tempo sem contacto		
Vmax	10	4	2	10	4	2
Mínimo:	1	1	1	1	6	1
Máximo:	747	651	3601	3511	3597	3106
Soma	67421	56807	39013	1251828	738653	14539
Média	41,56658446	88,07287	91,795294	868,7217	1295,8825	53,25641
Desv. Pad	51,90844161	78,58101	394,65272	804,6019	1028,8237	274,1216
Variância:	2694,48631	6174,974	155750,77	647384,2	1058478,1	75142,63
	RW					
	Tempo de contacto			Tempo sem contacto		
Vmax	10	4	2	10	4	2
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	778	2128	2157	2296	2945	3418
Soma	38014	42896	26324	10339	37676	104559
Média	21,27252	63,17526	82,52038	31,23565	59,33228	60,68427
Desv. Pad	55,65542	226,3791	303,1619	141,28	264,8693	263,3575
Variância:	3097,525	51247,52	91907,16	19960,04	70155,76	69357,18

	MF			
	Tempo de contacto		Tempo sem contacto	
Vmax	20/2	30/3	20/2	30/2
Mínimo:	1	1	1	1
Máximo:	1691	1758	3581	3083
Soma	293398	333746	421265	507667
Média	128,0095986	104,0355	210,31702	163,9751
Desv. Pad	174,9961898	144,4021	322,66452	287,0327
Variância:	30623,66643	20851,96	104112,39	82387,79

	ZM			
	Tempo de contacto		Tempo sem contacto	
Vmax	20/13/3.1	15/13/3.1	20/13/3.1	15/13/3.1
Mínimo:	1	1	1	1
Máximo:	551	494	3573	3556
Soma	131628	136776	1569598	1510318
Média	48,250733	63,19668	577,908	710,7731
Desv. Pad	60,659209	74,29629	625,759	712,5743
Variância:	3679,5396	5519,938	391574,3	507762,1

Os dados que se seguem dizem respeito aos testes efectuados com alteração de padrão da componente rádio. Cada bloco de dados corresponde a um modelo com indicação de velocidade máxima usada na simulação. Os padrões rádio usados figuram pela seguinte ordem: a) rádio sempre ligado; b) activo 120s e desactivo 180s; c) activo 60s e desactivo 180s; d) activo 120s e desactivo 360s; e) activo 60s e desactivo 360s

Tabela 9 - tempos de contacto rádio para os vários modelos, agrupados por velocidade máxima

	RW (vmax=10)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	747,0	121	61,0	121,0	61,0	336
Média	41,9	18,46955608	16,8	20,1	19,2	18,22173499
Soma	62072	20910	8337	8004	4194	57580
N.º valores:	1494	1136	509	425	232	3216
Desv. Pad	52,0	30,49160448	20,4	30,4	27,6	31,24920299
Variância:	2702,2	929,7379437	416,0355115	925,8625651	763,7863814	976,5126878

	RW (vmax=4)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	2128,0	121	61,0	121,0	61,0	325
Média	70,9	41,88339391	30,8	47,4	35,2	43,22711951
Soma	42896	21670	8751	8949	4147	6246
N.º valores:	679	524	296	212	137	159
Desv. Pad	224,1	49,82330939	25,7	45,5	20,0	59,32004838
Variância:	50216,98011	2482,362158	661,4986603	2065,796241	401,6690505	3518,868139

	RW (vmax=2)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	3601,0	121	61,0	121,0	61,0	302
Média	102,2	56,29672609	39,5	60,8	37,8	59,122
Soma	39013	19886	7925	8286	3693	6595
N.º valores:	425	394	223	159	109	132
Desv. Pad	392,1	47,84031381	21,6	44,9	22,7	77,41151992
Variância:	153725,4058	2288,695625	466,475878	2017,423008	517,130272	5992,543417

	MF (vmax=30)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	1758,0	121	61,0	121,0	61,0	284
Média	109,9	53,52982	35,7	50,8	35,9	41,87088763
Soma	333746	171412	70866	71085	33553	47214
N.º valores:	3208	3292	2015	1448	950	1165
Desv. Pad	140,0	39,23594243	20,5	37,6	20,0	40,42388712
Variância:	19604,56121	1539,459178	418,9701507	1417,092509	398,3052946	1634,09065

	MF (vmax=20)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1 1	
Máximo:	1691,0	121	61,0	121,0	61,0	281
Média	133,8	59,73444043	38,5	55,8	36,8	45,9786655
Soma	293398	151354	62329	62266	29154	45581
N.º valores:	2292	2567	1636	1135	805	998
Desv. Pad	170,6	41,50511026	20,7	39,5	20,3	46,76917212
Variância:	29110,18891	1722,674178	426,5065485	1559,589289	411,2466397	2187,35546

	RWP (vmax=10)					
	sempre ligado	180 deslig. 120 lig.	180 deslig. 60 lig.	360 deslig. 120 lig.	360 deslig. 60 lig.	intervalos aleatórios
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	747,0	121,0	61,0	121,0	61,0	290
Média	41,9	31,6	24,8	31,3	22,9	30,13067589
Soma	62072	31591	13323	12553	5731	10652
N.º valores:	1494	1010	542	409	250	358
Desv. Pad	52,0	27,4	17,6	33,2	17,0	31,48130781
Variância:	2702,180927	751,3	309,7082939	1104,23667	289,4788443	991,0727412

	RWP (vmax=4)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	651,0	288	74,0	323,0	61,0	6
Média	89,1	50,68777843	33,7	49,4	32,7	49,3
Soma	61130	31662	12112	12913	5593	9856
N.º valores:	696	628	358	263	170	204
Desv. Pad	76,5	35,93309497	20,7	38,8	21,1	97,8359726
Variância:	5852,160077	1291,187314	428,0389218	1505,970159	446,792225	9571,877534

	RWP (vmax=2)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	10	1	1	1	1	9
Máximo:	2954,0	2341	95,0	165,0	61,0	6
Média	138,4	68,36746911	41,0	64,4	39,4	122,7
Soma	68969	38715	14502	15473	6949	63352
N.º valores:	499	554	352	244	177	504
Desv. Pad	162,3	109,3572178	21,3	37,6	21,1	42,61292833
Variância:	26327,58268	11959,00108	455,8113599	1415,108337	443,4031426	1815,861661

	ZM (vmax=20)					
	Sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	551,0	121	61,0	121,0	61,0	197
Média	49,3	34,03141462	27,1	33,1	26,4	28,13127445
Soma	138356	65738	27666	22267	11956	15852
N.º valores:	2809	1932	1022	681	460	559
Desv. Pad	61,7	32,40201711	21,0	31,9	19,8	343,4903814
Variância:	3807,720171	1049,890713	441,8608166	1016,577285	393,9682435	117985,6421

	ZM (vmax=15)					
	sempre ligado (a)	180 deslig. 120 lig. (b)	180 deslig. 60 lig. (c)	360 deslig. 120 lig. (d)	360 deslig. 60 lig. (e)	intervalos aleatórios (f)
Mínimo:	1	1	1	1	1	1
Máximo:	494,0	155	63,0	136,0	61,0	227
Média	63,4	42,49476505	32,7	42,3	30,4	38,29054392
Soma	137115	68782	29386	26276	12783	21369
N.º valores:	2164	1615	894	621	419	552
Desv. Pad	74,3	37,59370641	22,1	37,9	21,7	39,76440382
Variância:	5520,425166	1413,286762	489,9456267	1435,205893	472,6554339	1581,207812

O cálculo das percentagens de perda permite analisar o impacto que esta redução do tempo de rádio activo proporcionou:

	180 deslig. 120 lig.	180 deslig. 60 lig.	360 deslig. 120 lig.	360 deslig. 60 lig.	intervalos aleatórios
Rácio:	2/3	1/3	1/3	1/6	
Cenário 1	66,31%	86,57%	87,11%	93,24%	7,24%
Cenário 2	49,48%	79,60%	79,14%	90,33%	85,44%
Cenário 3	49,03%	79,69%	78,76%	90,53%	83,10%
Cenário 4	49,11%	78,54%	79,78%	90,77%	82,84%
Cenário 5	48,21%	80,19%	78,88%	90,85%	83,88%
Cenário 6	43,87%	78,97%	77,57%	89,92%	8,14%
Cenário 7	48,64%	78,77%	78,70%	89,95%	85,85%
Cenário 8	48,41%	78,76%	78,78%	90,06%	84,46%
Cenário 9	52,49%	80,00%	83,91%	91,36%	88,54%
Cenário 10	49,84%	78,57%	80,84%	90,68%	84,42%
Média:	50,54%	79,96%	80,34%	90,77%	69,39%

A ilustração 30 representa em forma de gráfico os dados relativos à alteração do tempo de rádio activo vs inactivo, na métrica de tempo total de contacto.

Os valores de tempo activo vs inactivo são de 2/3, 1/3, 1/6, que, comparados com o tempo de contacto total, geram os gráficos apresentados de seguida. A tracejado foi mapeado o valor (médio) respectivo para cada modelo a partir dos rácios e o valor total de contacto.

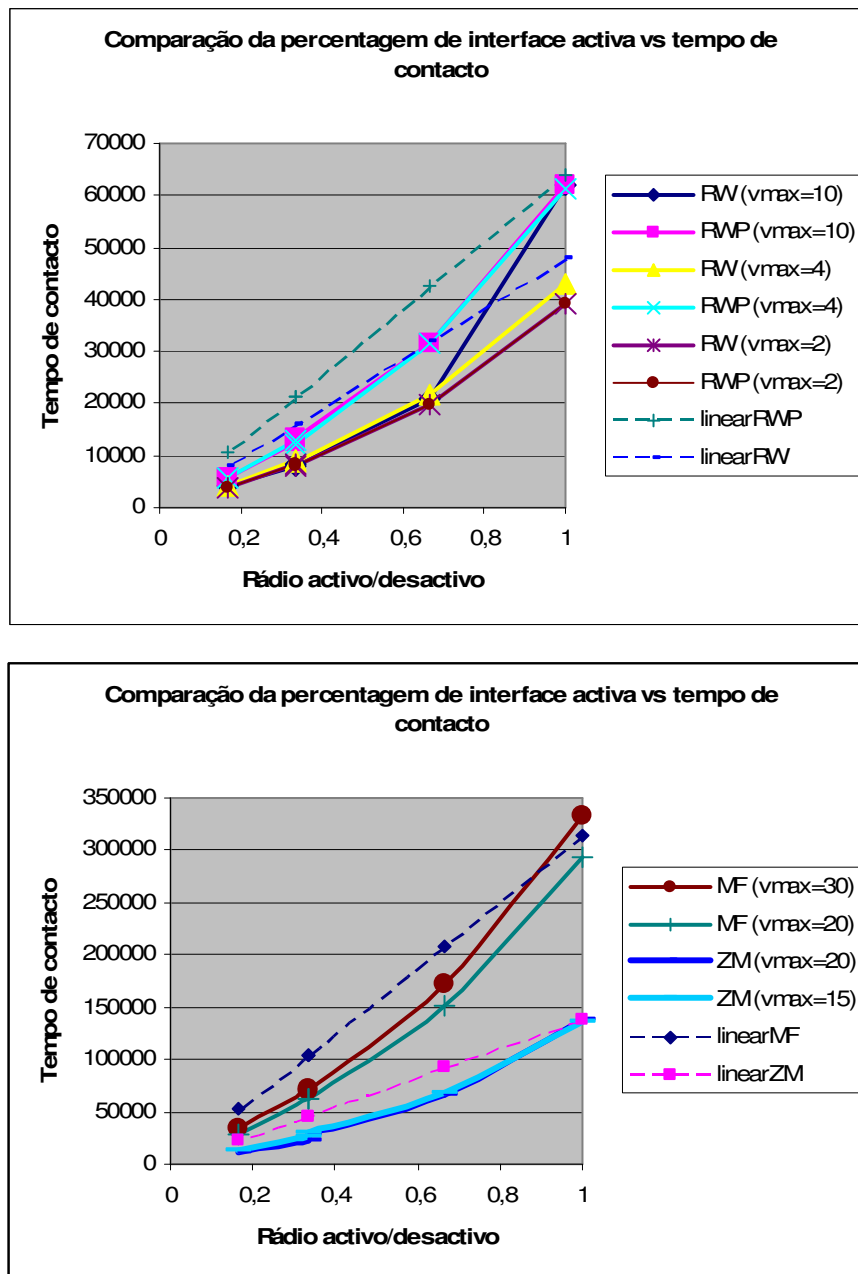


Ilustração 29 - Gráficos indicativos do tempo de contacto vs percentagem activa da interface por modelo.

4.4. DISCUSSÃO

4.4.1. Histogramas de posição e testes de uniformidade

No Random Walk, as unidades têm tendência a percorrer todo o espaço de simulação, como anteriormente foi dito na secção Modelos de mobilidade. Pelo que é possível observar nos histogramas da ilustração 23, há bastantes picos mas estão distribuídos por todo o espaço de simulação, sendo mais abruptos em velocidades máximas inferiores dado que as unidades deslocam-se mais lentamente e estarão próximos do último instante de amostragem. Os picos na fronteira de simulação são devidos ao tipo de fronteira utilizado no modelo que reflecte as unidades,

aumentando assim a probabilidade de haver maior concentração de nós na fronteira.

Todos os cenários seguintes não intersectam a fronteira de simulação, pelo que, não há acumulação de nós nesta zona.

Os cenários 4, 5 e 6 correspondem a histogramas típicos de movimentos RWP pois ocupam a zona central da área de simulação, um pouco mais abruptos em velocidades mais altas dado que as unidades passam pouco tempo em deslocação e mais tempo paradas, criando uma rede mais estável. Por outro lado, movimentações mais lentas geram melhor distribuição central das unidades com picos mais suaves. Pelo que se observa é claro que as unidades ocupam ou circulam muitas vezes perto do centro da simulação, favorecendo as ligações de curta duração mas frequentes.

Os cenários 7 e 8 são referentes ao modelo MF que apresenta concentração de unidades em zonas específicas do mapa, o que é representado nas figuras por zonas com densidade elevada rodeadas por reduções abruptas, havendo mesmo zonas sem nenhuma ocorrência em geral perto da fronteira. Nestes cenários há grande probabilidade de haver contactos de longa duração.

Os restantes cenários, como o RW ocupam a área de simulação algo uniforme mas com picos pronunciados pois, as unidades têm tendência a permanecer na mesma zona com saltos pequenos e por vezes alguns saltos maiores para outras zonas de simulação. Como este modelo usa o RWP para os saltos grandes, há maior ocupação da zona central marcada por mais zonas verdes.

4.4.2. Rádio On/Off

Para as 100 simulações efectuadas, com 4 modelos diferentes, a relação entre a percentagem de rádio activa e o tempo de contacto observou-se que era não linear e que a percentagem de perda de tempo de contacto nos vários modelos é significativa e superior a 50% em todos os padrões escolhidos.

Todos os valores estão muito próximos da média, o que sugere que o modelo de mobilidade não tem interferência na percentagem de tempo de contacto e os valores que distam bastante provavelmente poderão ter algum erro de medição associado.

A tabela 9 permite visualizar os resultados para os vários padrões. Observa-se que o melhor comportamento pertence ao cenário 6 (RWP a 2m/s) e o pior ao cenário 1 (modelo RW a 10m/s) que se explica pela pouca mobilidade maior probabilidade de

contacto na zona central e maior permanência nessa zona do modelo RWP e os contactos curtos, grande distribuição na área de simulação, dos nós do pior caso. Constata-se pela análise da tabela X que os cenários 7 e 8 têm todos os valores abaixo da média, o que sugere ser um modelo interessante e que os cenários 9 e 10, que têm vindo a ser associados à mobilidade humana e animal, tem valores na média de simulação.

Comparando os vários modelos relativamente à diminuição não linear encontrada, observa-se que os modelos RW e RWP são mais sensíveis a esta alteração do rácio activo/Desactivo enquanto que os modelos MF e ZM, apesar de terem perdas maiores (também têm valores maiores) mas estão mais próximos do valor linear; Na generalidade, observa-se que quanto mais lento se movem as unidades, maior será a média de tempo por contacto nos padrões de 1 a 6. Isto deve-se à mobilidade dos nós ser cada vez mais reduzida e não se verificar quebras de ligação tão frequentes. O valor total do tempo em contacto reduz inversamente, dado que o n.º de contactos diminui pelo mesmo factor, o que faz com que sejam menos unidades a contribuir para o total de contacto, havendo mesmo unidades isoladas com maior frequência (cf. análise de modelos). No entanto, no modelo RWP, o tempo total de contacto também aumenta. A forma de deslocação das unidades neste modelo justifica estes valores pois, como as unidades se movem razoavelmente nas imediações do centro, uma deslocação mais lenta propicia maior tempo na zona central e consequente aumento também do tempo de contacto.

O tempo total de contacto está sensivelmente ordenado do menor para o maior (RW, RWP, ZMM, MF) em que o seguinte é sensivelmente o dobro do anterior. No modelo MF, as unidades estão relativamente próximas umas das outras nas suas aldeias, o que justifica um valor bastante alto. No caso do modelo ZMM, as unidades deslocam-se para os bebedouros o que aumenta o n.º de contactos e as pausas são frequentes com deslocações pequenas. O modelo RW é demasiado errático para que as unidades possam manter o contacto durante muito tempo, sendo muito frequentes os contactos curtos em comparação com o modelo RWP que se deslocam nas imediações do centro (ver ilustração 5).

O padrão aleatório produz resultados diferentes em todos os modelos, sendo que no RW e RWP produz resultados próximos dos obtidos para o 2/3 do tempo, o ZMM na ordem do 1/3 e o MF valores intermédios entre o 1/3 e os 2/3. O RW e o RWP

são próximos em termos de aleatoriedade o que sugere um bom comportamento desta variável aleatória também. O MF tem a vantagem das unidades estarem sempre perto umas das outras o que melhora a probabilidade de estarem pares activos na mesma zona em comparação com o modelo ZMM que apenas tem 3 pontos de encontro;

Os dados recolhidos não sofrem grandes alterações relativamente ao padrão 10 (burn-in) dado que o erro a ele associado estará próximo dos 15% do tempo de simulação e os valores obtidos apesar de sofrerem um viés, fazem subir a média em apenas alguns pontos;

4.4.3. Plataforma

A plataforma implementada permite facilmente a simulação de novos modelos, sendo necessário para isso apenas a extensão da classe *modelo* e a implementação da função *proxposicao* na mesma classe. Esta função é invocada a cada instante de simulação para pedir a próxima posição onde irá estar a unidade móvel naquele instante. As métricas usadas neste estudo são calculadas com base nas posições retornadas pela função e o tempo de simulação correspondente;

Para as várias simulações, variou-se um parâmetro de cada vez, de forma a reduzir o número total de simulações necessárias. Desta forma, foi possível recolher um maior número de estatísticas no mesmo tempo computacional, com a desvantagem de não serem analisadas as interacções entre parâmetros. Assim, a fixação de 3 velocidades e de 4 modelos permitiu reduzir o número de simulações a 100;

A componente rádio é gerida por uma classe individual o que permitiu uma abstracção de todos os outros componentes do modelo. Duas vantagens advieram desta metodologia. Os valores de rádio são calculados após uma simulação de movimento, não sendo necessário repetir a simulação para gerar novos resultados. Durante a geração de estatísticas de rádio, consulta-se a informação de estado e, em caso afirmativo, regista-se o contacto. Este procedimento reduz o tempo total do cálculo de estatísticas, dado que não é verificado o estado do rádio a cada estatística, este apenas é verificado quando necessário.

4.4.4. Métricas dos modelos

Relativamente à métrica n.º de vizinhos, os modelos que usam pontos geográficos comuns a todas as unidades comportam-se de maneira diferente dos restantes. É o caso do modelo ZMM, em que as unidades têm que beber em intervalos fixos, ou no

caso do MF onde as unidades estão limitadas à aldeia que lhes é atribuída. A probabilidade de ter um grande número de vizinhos aumenta e reflecte-se nestes dois modelos de simulação. Em contraste, no caso do RW e RWP, as unidades deslocam-se livremente, o que não facilita o aglomerar de unidades e, como consequência, observa-se uma diminuição do nº de vizinhos. O modelo RWP tem a vantagem de as suas unidades móveis terem a tendência de se deslocarem mais perto do centro de simulação (Ilustração 3), pelo que, ajuda a obter mais contactos e a ter um maior nº de vizinhos do que o modelo RW;

As médias dos números vizinhos e de rede acessível são calculadas a cada instante de tempo de simulação, o que gera médias baixas quando o movimento é livre no espaço, uma vez que é frequente as unidades ficarem isoladas;

A rede acessível é facilmente influenciada pelo n.º de vizinhos, pelo que esta acompanha a métrica anterior, ou seja, quando há um maior nº de vizinhos a rede acessível também é maior. No entanto, para uma unidade a média do modelo MF está muito próxima do n.º de unidades da aldeia respectiva, dado que é muito provável que esta unidade mantenha uma rede praticamente estável entre as unidades da sua aldeia.

Relativamente ao n.º de unidades isoladas, verifica-se que o MF é o único modelo com uma média muito inferior aos restantes. Isto deve-se à distribuição de nós por aldeia, pelo que as unidades ficam confinadas a uma área de simulação dentro da aldeia, o que aumenta a probabilidade de haver contacto entre elas e reduz o n.º de unidades isoladas.

Os restantes modelos não têm limitação na área de simulação pelo que, a probabilidade de haver isolamento de nós é significativamente maior, nomeadamente quando a velocidade máxima é baixa.

No modelo ZM observamos um menor número médio de unidades isoladas do que o modelo RWP, dado que as unidades têm que se encontrar regularmente em determinados sítios para beber água. No modelo RW, se as unidades se deslocarem para a fronteira da área de simulação, é bem mais fácil haver unidades isoladas, com a agravante que quanto menor for a velocidade, mais difícil é às unidades encontrarem-se e poderem trocar dados.

Apenas no modelo RW com velocidades máximas baixas foi encontrado um mínimo de 3 unidades isoladas. Uma vez que as unidades são distribuídas aleatoriamente na

área de simulação, é provável que estas tenham ficado em zonas isoladas no início da simulação e a baixa velocidade a que se deslocam não permitiu que ocorresse um encontro entre estas unidades e as outras durante o tempo de simulação.

A distância média entre não vizinhos deverá ser inferior no modelo MF, relativamente a todos os outros modelos aqui simulados, porque neste modelo há unidades limitadas às aldeias da área de simulação que poderão ser ocasionalmente não vizinhas das outras unidades da mesma aldeia. Esta mesma limitação fará com que as unidades em aldeias diferentes tenham distâncias restritas a um intervalo de valores possíveis, cujo máximo é claramente inferior à distância máxima que poderia ocorrer na área de simulação total, pelo que, a média será inferior a todos os outros modelos.

As grandes deslocações obtidas nas simulações do modelo ZM (ilustrado na figura 19.c) são sensivelmente iguais a uma deslocação do tipo RWP, o que explica que a média das distâncias percorridas seja similar.

No modelo RW, as unidades móveis deslocam-se em qualquer direcção, e após atingirem a fronteira da área de simulação, são reflectidas com o mesmo ângulo de incidência. Este efeito fará com que após chegar à fronteira, a distância entre o ponto inicial e o ponto final seja menor do que a distância percorrida, aumentando a probabilidade de haver temporariamente uma acumulação de unidades junto aos vértices da fronteira, com o consequente aumento da média de distância entre nós.

5. Conclusões

O trabalho de investigação desenvolvido permitiu implementar um protótipo ao qual se podem adicionar novos modelos e recolher diversas métricas de mobilidade dos nós, com a opção da componente rádio activa ou desactiva, podendo assim ser usada como uma ferramenta de investigação nesta área. A recolha sistemática de informação científica relativa aos modelos de mobilidade foi importante para a implementação destes na plataforma apresentada, assim como o ajuste de parâmetros dos mesmos.

Os dados recolhidos permitem tirar conclusões relativas à influência do estado da interface nos contactos dos modelos gerados, no entanto, de futuro será necessário:

- prolongar o estudo para que se possa tirar uma conclusão mais generalista dos valores;
- prolongar a recolha de modelos de mobilidade e aumentar a variedade de modelos na plataforma para obter maior diversidade de resultados;
- aplicar testes estatísticos aos vários resultados e poder comprovar matematicamente os resultados obtidos;
- alargar a plataforma para analisar pontos geográficos e alargar o estudo para modelos 3D;
- integrar com outras plataformas de simulação, nomeadamente o NS2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Lindgren, A. Doria. 2008. *Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks - draft-irtf-dtnrg-prophet-01*. IETF 2008 [cited 2008-12-21 2008]. Available from <http://tools.ietf.org/html/draft-irtf-dtnrg-prophet-01>.
- Abdulla, M., and R. Simon. 2007. The impact of the mobility model on delay tolerant networking performance analysis. Paper read at Proceedings - Simulation Symposium.
- Agoston, Petz, Enderle Justin, and Julien Christine. 2009. A framework for evaluating DTN mobility models. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. Rome, Italy: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- Amit Kumar, Saha, and B. Johnson David. 2004. Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*. Philadelphia, PA, USA: ACM.
- Anders, Lindgren, Doria Avri, and Schel Olov. 2003. Probabilistic routing in intermittently connected networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 7 (3):19-20.
- Antunes, Constantino Rocha. 2008. Routing optimization for delay tolerant networks in intelligent environments, [s. n.], Porto.
- Ariyakhajorn, Jinthana, Pattana Wannawilai, and Chanboon Sathitwiriawong. 2006. A Comparative Study of Random Waypoint and Gauss-Markov Mobility Models in the Performance Evaluation of MANET. Paper read at Communications and Information Technologies, 2006. ISCIT '06. International Symposium on.
- Aruna, Balasubramanian, Levine Brian, and Venkataramani Arun. 2007. DTN routing as a resource allocation problem. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 37 (4):373-384.
- Aruna, Balasubramanian, Zhou Yun, W. Bruce Croft, Levine Brian Neil, and Venkataramani Aruna. 2007. Web search from a bus. In *Proceedings of the second ACM workshop on Challenged networks*. Montreal, Quebec, Canada: ACM.
- Aschenbruck, N., M. Frank, P. Martini, and J. Tolle. 2004. Human mobility in MANET disaster area simulation - a realistic approach. Paper read at Local Computer Networks, 2004. 29th Annual IEEE International Conference on.
- Badia, L., and N. Bui. 2006. A group mobility model based on nodes' attraction for next generation wireless networks. Paper read at ACM International Conference Proceeding Series.
- Bai, F., Narayanan Sadagopan, and A. Helmy. 2003. IMPORTANT: a framework to systematically analyze the Impact of Mobility on Performance of Routing Protocols for Adhoc Networks. Paper read at INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE.
- Balasubramanian, A., Y. Zhou, W. B. Croft, B. N. Levine, and A. Venkataramani. 2007. Web search from a bus. Paper read at MobiCom'07 Co-Located Workshops - Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Challenged Networks, CHANTS'07, at Montreal, QC.

- Balasubramanian, Aruna, Brian Levine, and Arun Venkataramani. 2007. DTN routing as a resource allocation problem. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 37 (4):373-384.
- Banerjee, N., M. D. Corner, and B. N. Levine. 2007. An Energy-Efficient Architecture for DTN Throwboxes. Paper read at INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE.
- Bansal, N., and Z. Liu. 2003. Capacity, delay and mobility in wireless ad-hoc networks. Paper read at Proceedings - IEEE INFOCOM.
- Bar-Noy, Amotz, and Ilan Kessler. 1993. Tracking mobile users in wireless communications networks. Paper read at Proceedings - IEEE INFOCOM.
- Basagni, Stefano. 2004. *Mobile ad hoc networking*. Piscataway, N. J.: IEEE Press.
- Bernd Gloss, Michael Scharf, Daniel Neubauer. 2005. A More Realistic Random Direction Mobility Model Location Dependent Parameterization of RD. Würzburg, Germany, 13-15/Out/2005.
- Blakely, K., and B. Lowekamp. 2004. A structured group mobility model for the simulation of mobile ad hoc networks. Paper read at MobiWac'04 - Proceedings of the Second International Workshop on Mobility Management and Wireless Access Protocols.
- Bret, Hull, Bychkovsky Vladimir, Zhang Yang, Chen Kevin, Goraczko Michel, Miu Allen, Shih Eugene, Balakrishnan Hari, and Madden Samuel. 2006. CarTel: a distributed mobile sensor computing system. In *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*. Boulder, Colorado, USA: ACM.
- Burgess, J., B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine. 2006. MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. Paper read at Proceedings - IEEE INFOCOM.
- Camp, T., J. Boleng, and V. Davies. 2002. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications and Mobile Computing* 2 (5):483-502.
- Campos, C. A. V., and L. F. M. De Moraes. 2007. A Markovian model representation of individual mobility scenarios in ad hoc networks and its evaluation. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking* 2007.
- Chang-Jie, Jiang, Chen Chien, Chang Je-Wei, Jan Rong-Hong, and Chiang Tsun Chieh. 2008. Construct Small Worlds in Wireless Networks Using Data Mules. In *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (sutc 2008) - Volume 00*: IEEE Computer Society.
- Christian, Bettstetter. 2001. Mobility modeling in wireless networks: categorization, smooth movement, and border effects. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 5 (3):55-66.
- . 2001. Smooth is better than sharp: a random mobility model for simulation of wireless networks. In *Proceedings of the 4th ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. Rome, Italy: ACM.
- Cong, Liu, and Wu Jie. 2009. Scalable Routing in Cyclic Mobile Networks. *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.* 20 (9):1325-1338.
- Da Silva, S. L., M. Nacif Rocha, and G. R. Mateus. 2002. Simulation and analysis of a new mobility model for mobile communication networks. *Annals of Operations Research* 116 (1-4):57-68.
- Dongsoo S Kim, Seok K Hwang 2007. Swarm Group Mobility Model for Ad Hoc Wireless Networks. *International Journal of Ubiquitous Convergence Technology* 1 (1):63-69.

- Elizabeth, M. Royer, and E. Perkins Charles. 1999. Multicast operation of the ad-hoc on-demand distance vector routing protocol. In *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*. Seattle, Washington, United States: ACM.
- Enciclopedia, Computer Desktop. 2004. OSI model, edited by C. D. Enciclopedia.
- Frans, Ekman, Ker Ari, nen, Karvo Jouni, J, and Ott rg. 2008. Working day movement model. In *Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*. Hong Kong, Hong Kong, China: ACM.
- Grossglauser, M., and D. N. C. Tse. 2002. Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks. *Networking, IEEE/ACM Transactions on* 10 (4):477-486.
- Guo, Hui, Jiang Li, A. Nicki Washington, Chunmei Liu, Marcus Alfred, Rajni Goel, Legand Burge, and Peter Keiller. 2007. Performance Analysis of Homing Pigeon based Delay Tolerant Networks. Paper read at Military Communications Conference, 2007. MILCOM 2007. IEEE.
- Guoliang, Xing, Sha Mo, Hackmann Greg, Klues Kevin, Chipara Octav, and Lu Chenyang. 2009. Towards unified radio power management for wireless sensor networks. *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 9 (3):313-323.
- Injong, Rhee, Shin Minsu, Hong Seongik, Lee Kyunghan, and Chong Song. 2008. On the Levy-Walk Nature of Human Mobility. Paper read at INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE.
- Jardosh, A., E. M. Belding-Royer, K. C. Almeroth, and S. Suri. 2003. Towards Realistic Mobility Models For Mobile Ad hoc Networks. Paper read at Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM.
- Jing, Tian, Haehner Joerg, Becker Christian, Stepanov Illya, and Rothermel Kurt. 2002. Graph-Based Mobility Model for Mobile Ad Hoc Network Simulation. In *Proceedings of the 35th Annual Simulation Symposium*: IEEE Computer Society.
- John, A. Sauter, Matthews Robert, H. Van Dyke Parunak, and A. Brueckner Sven. 2005. Performance of digital pheromones for swarming vehicle control. In *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. The Netherlands: ACM.
- K. Scott, S. Burleigh. 2008. *Bundle protocol specification, RFC 5050* November 2007 [cited 2008-06-05 2008]. Available from <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5050.txt>.
- Kevin, Fall. 2003. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. Karlsruhe, Germany: ACM.
- Khaled, A. Harras, and C. Almeroth Kevin. 2006. Inter-Regional Messenger Scheduling in Delay Tolerant Mobile Networks. In *Proceedings of the 2006 International Symposium on on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*: IEEE Computer Society.
- Kim, Minkyong, David Kotz, and Songkuk Kim. 2006. Extracting a mobility model from real user traces. Paper read at Proceedings of the 25th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM).
- König-Ries, Birgitta, Michael Klein, and Tobias Breyer. 2006. Activity-Based User Modeling in Wireless Networks. *Mobile Networks and Applications* 11 (2):267-277.
- Le Boudec, J. Y., and M. Vojnovic. 2005. Perfect simulation and stationarity of a class of mobility models. Paper read at Proceedings - IEEE INFOCOM.

- Lee, J. K., and J. C. Hou. 2006. Modeling steady-state and transient behaviors of user mobility: Formulation, analysis, and application. Paper read at Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc).
- Liao, H. C., Y. W. Ting, S. H. Yen, and C. C. Yang. 2004. Ant mobility model platform for network simulator. Paper read at International Conference on Information Technology: Coding Computing, ITCC.
- Lin, G., G. Noubir, and Rajaraman Rajmohan. 2004. Mobility models for ad hoc network simulation. Paper read at INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.
- Mahajan, A., N. Potnis, K. Gopalan, and A. Wang. 2006. Urban Mobility Models for VANETs. Paper read at Proc. of 2nd Workshop on Next Generation Wireless Networks.
- Mark de Berg, Otfried Cheong, Marc van Kreveld and Mark Overmars. 2008. *Computational Geometry Algorithms and Applications* Third Edition ed. 1 vols. Berlin Heidelberg: Springer.
- Merugu, Shashidhar, Mostafa H. (Mostafa Hamed) Ammar, and Ellen W. Zegura. 2004. Routing in Space and Time in Networks with Predictable Mobility.
- Michael Demmer, Eric Brewer, Kevin Fall, Sushant, and Melissa Ho Jain, Robin Patra. December 2004. Implementing Delay Tolerant Networking: Intel Research Berkeley Technical Report
- Michael, Demmer, and Fall Kevin. 2007. DTLSR: delay tolerant routing for developing regions. In *Proceedings of the 2007 workshop on Networked systems for developing regions*. Kyoto, Japan: ACM.
- Mirco, Musolesi, and Mascolo Cecilia. 2007. Designing mobility models based on social network theory. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 11 (3):59-70.
- Muhammad, Abdulla, and Simon Robert. 2007. The Impact of the Mobility Model on Delay Tolerant Networking Performance Analysis. In *Proceedings of the 40th Annual Simulation Symposium*: IEEE Computer Society.
- . 2008. A Simulation Study of Common Mobility Models for Opportunistic Networks. In *Proceedings of the 41st Annual Simulation Symposium (anss-41 2008) - Volume 00*: IEEE Computer Society.
- Musolesi, M., S. Hailes, and C. Mascolo. 2004. An ad hoc mobility model founded on social network theory. Paper read at ACM MSWiM 2004 - Proceedings of the Seventh ACM Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems.
- Nain, P., D. Towsley, B. Liu, and Z. Liu. 2005. Properties of random direction models. Paper read at Proceedings - IEEE INFOCOM.
- Radu Handorean, Christopher Gill and Gruia-Catalin Roman. 2004. Accommodating transient connectivity in ad hoc and mobile settings, edited by D. o. C. S. Engineering. Washington: University of St. Louis.
- Rainer, Baumann, Legendre Franck, and Sommer Philipp. 2008. Generic mobility simulation framework (GMSF). In *Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*. Hong Kong, Hong Kong, China: ACM.
- Rhee, I., M. Shin, S. Hong, K. Lee, and S. Chong. 2007. Human mobility patterns and their impact on delay tolerant networks. *ACM HotNets*.
- Rojas, A., P. Branch, and G. Armitage. 2006. Experimental validation of the random waypoint mobility model through a real world mobility trace for large geographical areas. Paper read at ACM MSWiM 2005 - Proceedings of the Eighth ACM Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems.

- Seongik, Hong, Rhee Injong, Kim Seong Joon, Lee Kyunghan, and Chong Song. 2008. Routing performance analysis of human-driven delay tolerant networks using the truncated levy walk model. In *Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*. Hong Kong, Hong Kong, China: ACM.
- Seth, A., D. Kroeker, M. Zaharia, S. Guo, and S. Keshav. 2006. Low-cost communication for rural internet kiosks using mechanical backhaul. In *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking*. Los Angeles, CA, USA: ACM.
- Shah, R. C., S. Roy, S. Jain, and W. Brunette. 2003. Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. Paper read at Sensor Network Protocols and Applications, 2003. Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE International Workshop on.
- Shin, M., S. Hong, and I. Rhee. 2008. DTN routing strategies using optimal search patterns. Paper read at Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, at San Francisco, CA.
- Sushant, Jain, Fall Kevin, and Patra Rabin. 2004. Routing in a delay tolerant network. In *Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. Portland, Oregon, USA: ACM.
- Thrasymoulos, Spyropoulos, Psounis Konstantinos, and S. Raghavendra Cauligi. 2005. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*. Philadelphia, Pennsylvania, USA: ACM.
- Tuduce, C., and T. Gross. 2005. A mobility model based on WLAN traces and its validation. Paper read at Proceedings - IEEE INFOCOM.
- . 2005. A mobility model based on WLAN traces and its validation. Paper read at INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE.
- V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, H. Weiss. 2008. *Delay-Tolerant Networking Architecture* April 2007 [cited 2008-06-05 2008]. Available from <http://tools.ietf.org/html/rfc4838>.
- Wang, K. H., and Li Baochun. 2002. Group mobility and partition prediction in wireless ad-hoc networks. Paper read at Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on.
- Warthman, Forrest. 2003. Delay Tolerant Networks (DTNs) - A tutorial.
- Wenrui, Zhao, and H. Ammar Mostafa. 2003. Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-Partitioned Wireless Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the The Ninth IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*: IEEE Computer Society.
- Williams, Sean A., and Dijiang Huang. Group force mobility model and its obstacle avoidance capability. *Acta Astronautica* 65 (7-8):949-957.
- Xiaoyan, Hong, Gerla Mario, Pei Guangyu, and Chiang Ching-Chuan. 1999. A group mobility model for ad hoc wireless networks. In *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. Seattle, Washington, United States: ACM.
- Xiaoyan, Hong, Kwon Taek Jin, Gerla Mario, Gu Daniel Lihui, and Pei Guangyu. 2001. A Mobility Framework for Ad Hoc Wireless Networks. In *Proceedings of the Second International Conference on Mobile Data Management*: Springer-Verlag.
- Yoon, J., B. D. Noble, M. Liu, and M. Kim. 2006. Building realistic mobility models from coarse-grained traces. Paper read at MobiSys 2006 - Fourth International Conference on Mobile Systems, Applications and Services.

- Zhensheng, Zhang. 2006. Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* 8 (1):24-37.
- Zhou, B., K. Xu, and M. Gerla. 2004. Group and swarm mobility models for ad hoc network scenarios using virtual tracks. Paper read at Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM, at Monterey, CA.
- ZIMMERMANN, HUBERT. APRIL 1980. OSI REFERENCE MODEL - THE ISO MODEL OF ARCHITECTURE FOR OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION. *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS* VOL. COM-28, NO. 4:425-432