

Encaminhamento em redes de conectividade intermitente e tolerantes a atrasos



Créditos



Slides de António Costa



Bibliografia

- Evan P.C. Jones and Paul A.S. Ward, Routing Strategies for Delay-Tolerant Networks, 2006.
- Fall, K. Farrell, S. DTN: an architectural retrospective, Selected Areas in Communications, IEEE Journal, June 2008 Volume: 26, Issue: 5
- RFC4838 - Delay-Tolerant Networking Architecture (2007)
- RFC5050 - Bundle Protocol Specification (2007)

Delay-Tolerant Networks



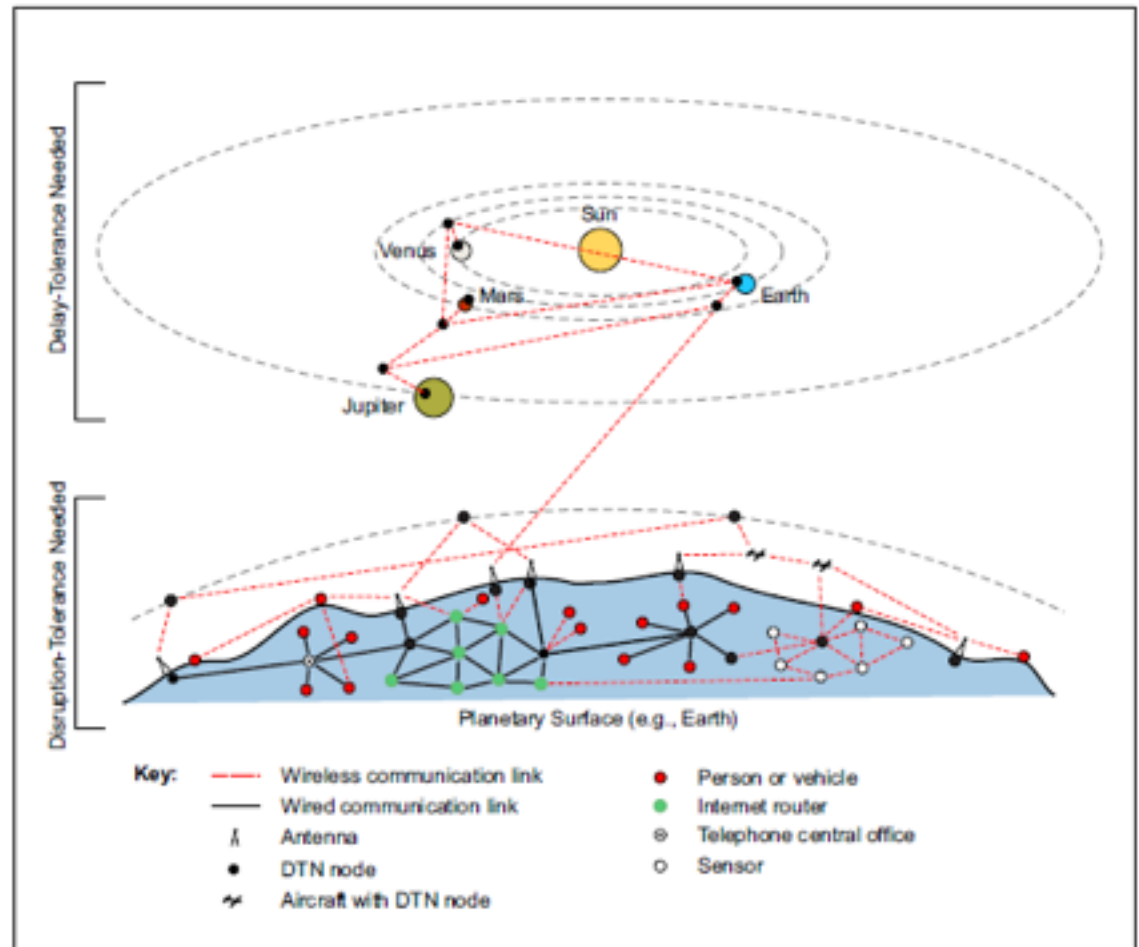
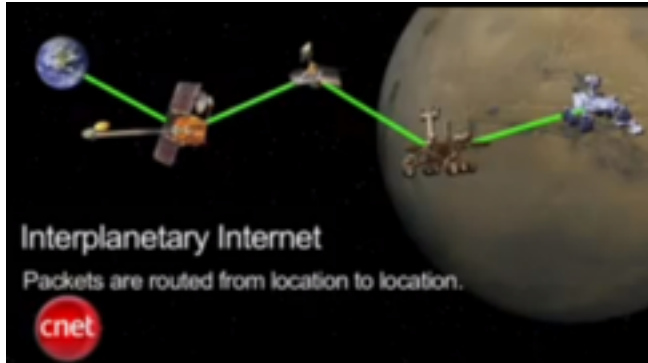
- Uma derivação das **MANET (Mobile Ad Hoc Networks)**
- Trata-se de uma rede onde não existe conectividade contemporânea entre todos os nós

Como encaminhar pacotes nestas circunstâncias?

Problema é ainda mais complexo se considerarmos a mobilidade!

- Investigado na última década: a comunicação é possível neste cenário! Mas ainda na infância
- O protocolo de encaminhamento é uma peça chave!
 - Paradigma *store-carry-and-forward*
- **Um problema inventado? Ou existem mesmo na realidade?**

DTN: A origem...



<http://www.ipnsig.org/>

http://ipnsig.org/wp-content/uploads/2012/07/DTN_Tutorial_v2.03.pdf

DTN: Aplicações (1)

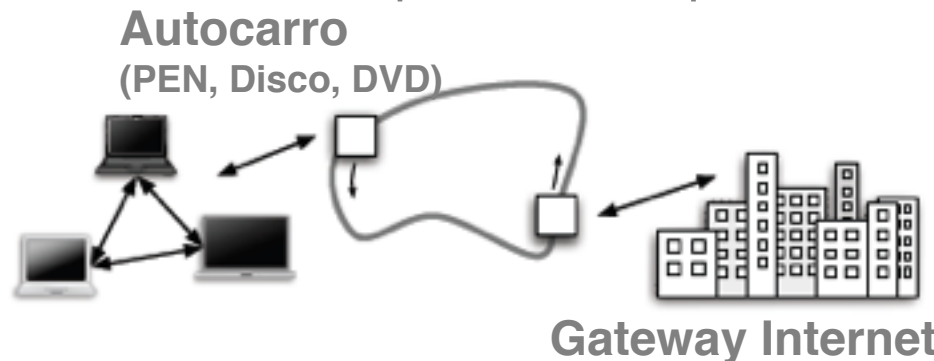


- Conectividade de regiões em desenvolvimento:

Estudantes com laptop e sem infra-estrutura de rede de suporte que pretendem colaborar em projectos;

- as mensagens podem ter de esperar na rede quando o aluno não estiver na escola
- Conectividade externa em dois saltos:
 - Aproveitar os autocarros para carregar os pacotes para pontos de acesso com conectividade à Internet e vice versa (se necessário)
 - Enviar e receber DVD com dados pelo correio para ficheiros grandes

Ex: KioskNet
(Índia e Cambodja)



DTN: Aplicações (2)



- Conectividade de regiões desconectadas regiões protegidas ou de conectividade não rentável
 - Parque natural da Lapónia (protegido pela UNESCO; não se pode instalar antenas...)
 - Esquimós...
 - Minas ... melhor levar os dados com os mineiros...



● Monitorização ambiente e da vida animal

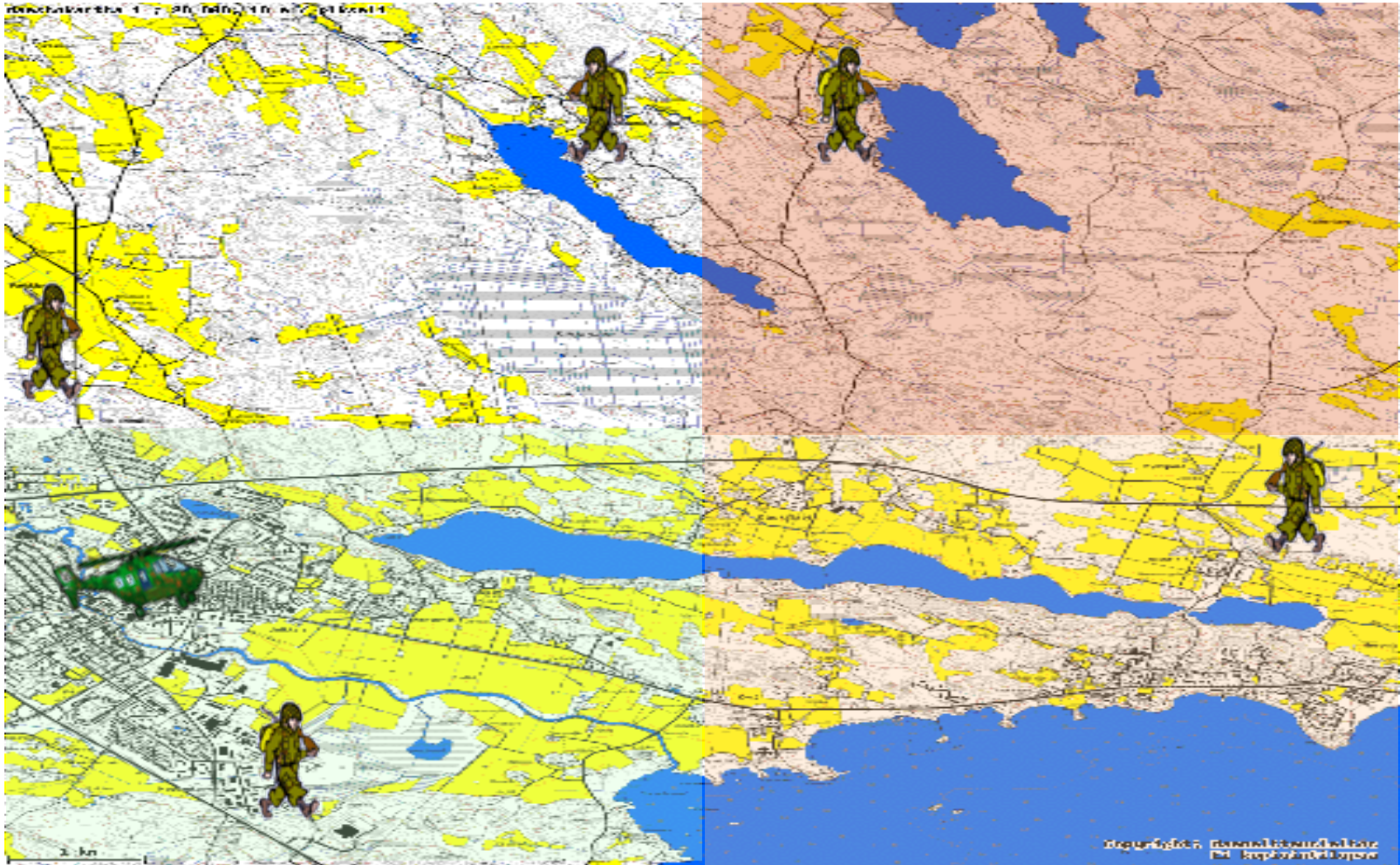
- Redes de sensores para estudo da vida animal (**ZebraNet**)
- The ZebraNet Wildlife Tracker (Princeton University), Kenya, 2004
- De Zebra para Zebra (equipadas com coleiras)
 - Capturar e guardar dados 24h/24h, georeferenciados por GPS
 - De vez em quando emitir um sinal e ver se há vizinhos(as) para aproveitar para trocar dados entre... os investigadores de vez em quando passam por lá também para coligir e mandar apagar dados



DTN: Aplicações(4)



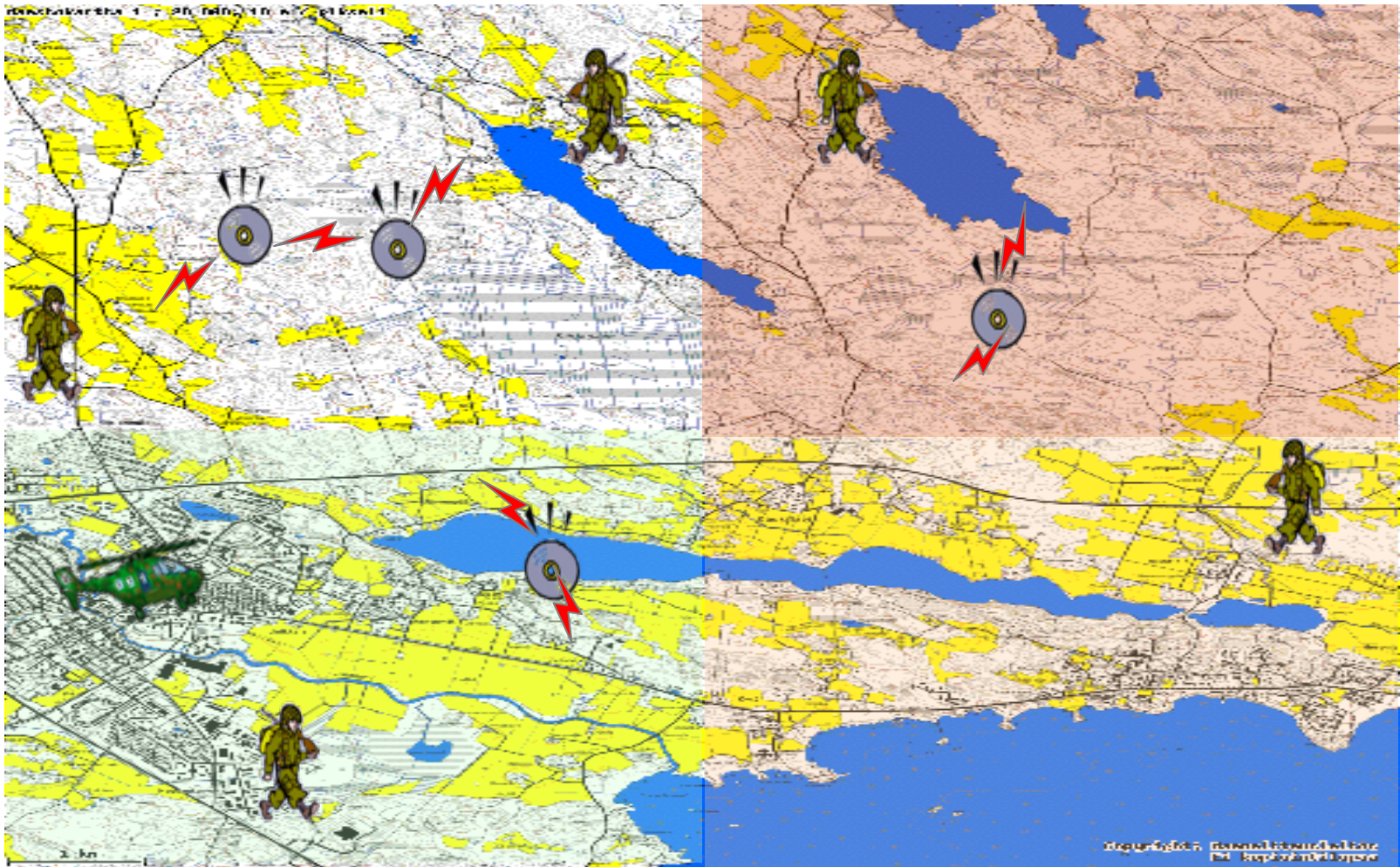
- **Aplicações militares:** militares em combate



DTN: Aplicações(4)



- **Aplicações militares:** DTN com *Throwboxes*



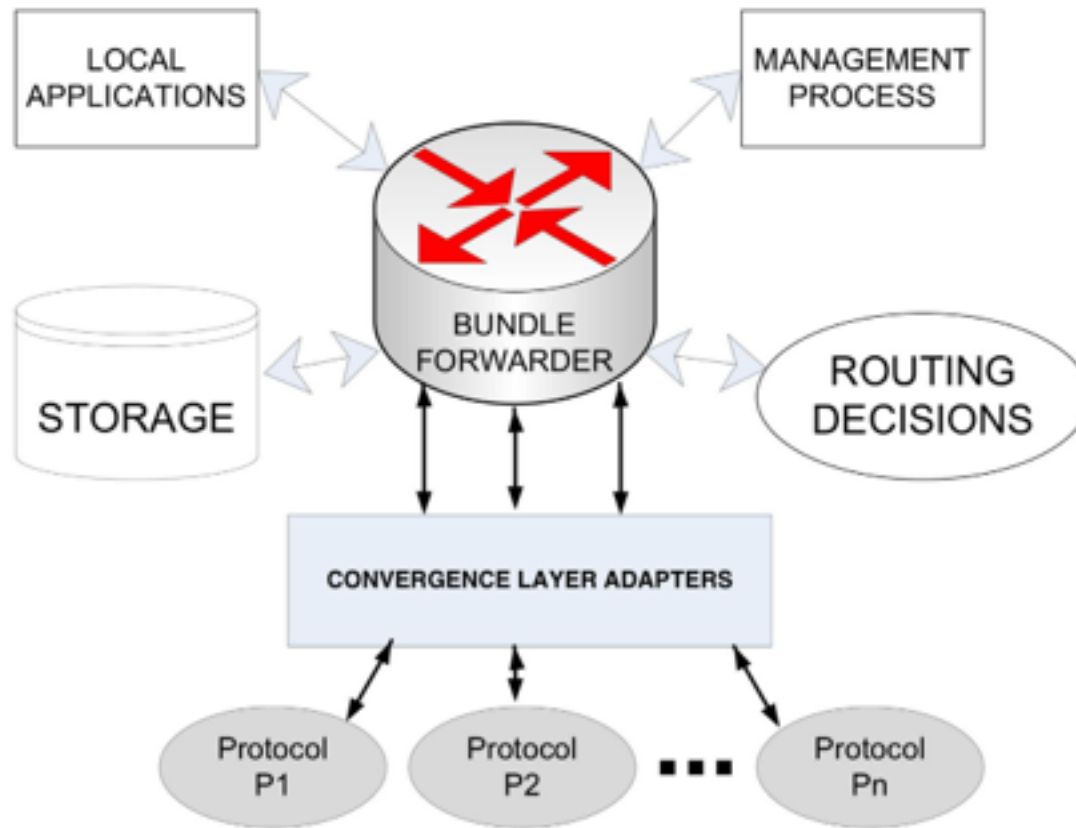
DTN: Aplicações (5)



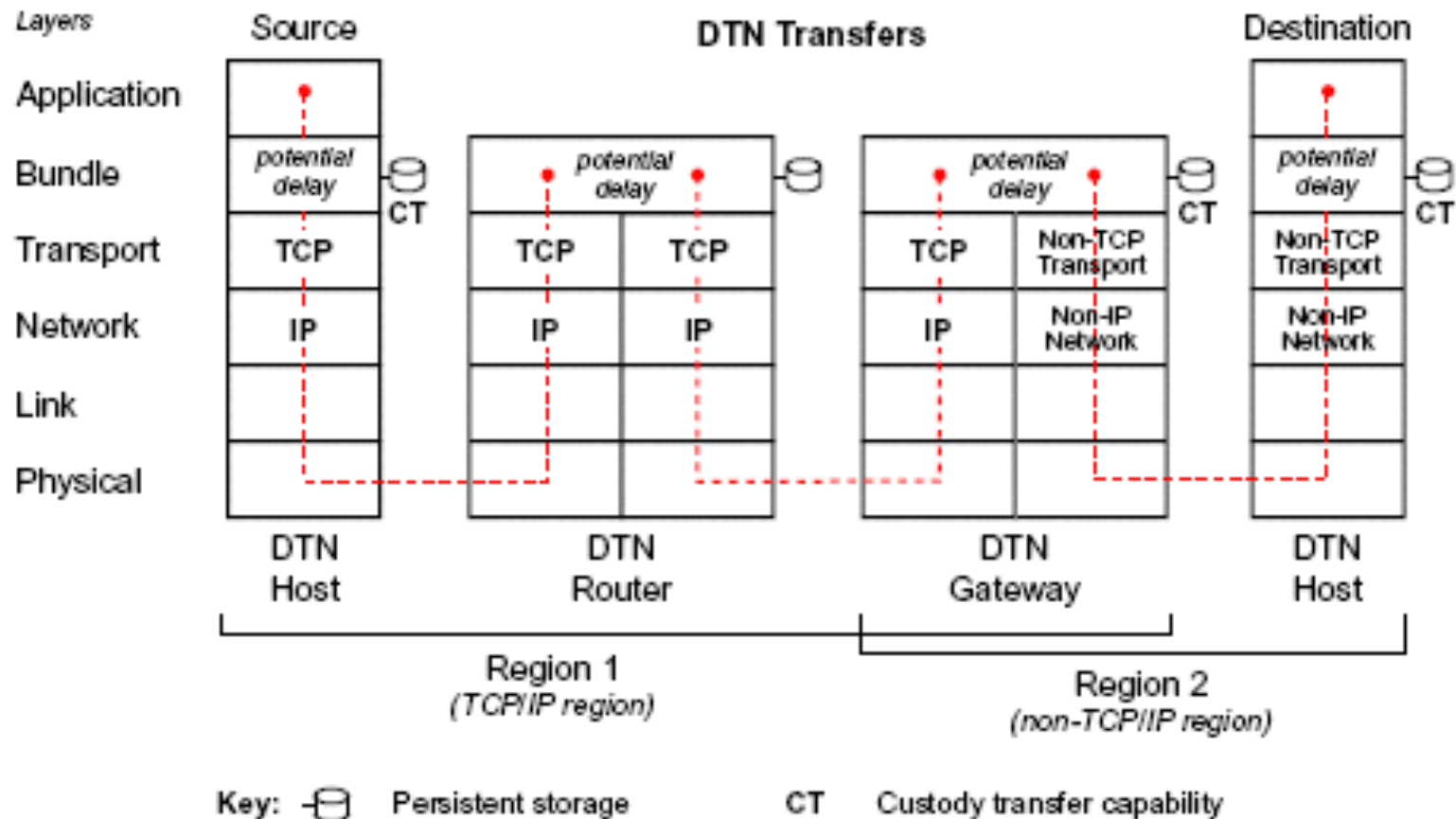
- Comunicações submarinas (undersea)
- VDTN: redes DTN veiculares
- Redes Urbanas ou Redes Sociais
 - Ex: *pocket switched networks*
- ...

Qual a melhor forma de encaminhar pacotes nestas circunstâncias?

DTN Node



DTN Architecture





● Características das DTN

- Rede composta por nós que são sistemas computacionais ligados por links unidireccionais com alguns dos outros
- As ligações podem estabelecer-se ou desfazer-se pelas mais variadas razões
 - Obstruções, falha de energia, fora de alcance de transmissão, mobilidade, falhas da rede, etc...
- Quando a ligação entre dois nós se estabelece e está activa há uma oportunidade efectiva de enviar dados de um nó para outro – esta oportunidade designa-se por “**contacto**”
 - Pode existir mais que um contacto disponível entre dois nós
- Na teoria de grafos: *Multigrafo variável no tempo*



- **Características das DTN (continuação)**

- Pretende-se que seja sempre possível enviar dados entre quaisquer nós da rede aproveitando os contactos
- As mensagens podem ter de ser armazenadas temporariamente por longos períodos de tempo até haver um contacto

- **Tempo de transferência de uma mensagem de um nó para outro (4 componentes):**

1. Tempo de espera por contacto (desde que foi recebida até poder ser enviada ao próximo nó)
2. Tempo na fila de espera (tempo de esvaziamento da fila de mensagens com mais prioridade)
3. Tempo de transmissão (tempo necessário para enviar todos os bits da msg)
4. Tempo de propagação (tempo necessário para que um bit atravessasse a ligação)



(1) Escalonamento dos contactos

- Das 4 componentes, o tempo maior é seguramente o tempo de espera por um contacto: pode variar entre segundos ou dias
- Contactos caracterizam-se pela sua previsibilidade:
 - Escalonamento preciso (ex: resultante de movimentos no espaço de objectos que podem ser calculados)
 - Escalonamento aproximado (ex: contactos podem ser menos precisos se ocorrerem ligeiros atrasos não previstos, como nos horários dos autocarros ou movimento de veículos na estrada)
 - Escalonamento implícito (movimento humano que segue muitas rotinas habituais)
 - Escalonamento aleatório (não se sabe quando há conectividade)



(2) Capacidade dos contactos

- Que quantidade de dados é possível transferir em cada contacto?
- Depende da tecnologia usada na ligação e da duração do contacto!
- Mesmo que seja possível prever a duração dos contactos, a taxa de transmissão pode ser variável;
- Será importante apenas para o *routing*?
- Pode-se ignorar a capacidade a menos que seja insuficiente para transferir uma mensagem, pois aí deve ocorrer fragmentação
- Boa capacidade pode ser preferida a outras características...

(3) Espaço de armazenamento (buffers)

- As mensagens podem ter de permanecer muito tempo no nó...



(4) Capacidade de processamento

- Dispositivos pequenos, com CPU e memória muito limitados
- As estratégias de encaminhamento podem ser diferentes... pois podem não ser capazes de operações complexas

(5) Energia

- As reservas de energia dos nós móveis podem ser limitadas
- A recepção e envio de mensagens, bem como os procedimentos de encaminhamento, consomem energia
- Estratégias que enviem menos bytes ou façam menos cálculos permitem maior eficiência energética
- As estratégias de routing podem otimizar o consumo de energia



1. Taxa de entrega

- Talvez a medida mais importante numa DTN: percentagem das mensagens geradas que é efectivamente entregue
- Nas DTN as mensagens podem não se “perder” mas a rede pode não as conseguir entregar num espaço de tempo útil

2. Latência

- Tempo desde que a mensagem é gerada até que é recebida
- Embora se espere que as aplicações possam tolerar atrasos grandes, é suposto beneficiarem de um tempo o mais curto possível

3. Transmissões

- Algumas estratégias transmitem mais mensagens que outras
- Medida da capacidade dos contactos que é consumida



- **Protocolos de *routing* convencionais não servem...**
 - Assumem que há sempre conectividade fim a fim e nas DTN tal não acontece
 - A posição dos nós pode ser desconhecida se o seu padrão de mobilidade for desconhecido
- **Várias abordagens/estratégias**
- **Podem ser comparadas em duas propriedades:**
 - **Replicação** - tentar aumentar a probabilidade de entrega aumentando o número de cópias das mensagens (mínimo de uma até o máximo de uma cópia por nó)
 - **Conhecimento** – tentar aumentar o grau de conhecimento da rede e do escalonamento dos contactos (mínimo assumir que o nó só conhece os contactos activos, máximo conhece todo o escalonamento de contactos da rede)



- **Estratégias baseadas na inundação da rede (*flooding*)**

- (1) **Encaminhamento “epidémico”** (Becker 2000)

- Não há nenhum conhecimento da rede
 - Pacotes espalham-se como um *virus* que contamina tudo:

Inundar todos os nós vizinhos alcançáveis com cópias de um pacote
enquanto o nó de destino não obtiver uma cópia

Cada nó mantém um vector de sumariação que constitui o índice dos pacotes que já viu; quando dois nós se encontram, trocam vectores entre si e pedem uma cópia dos pacotes novos;



- **Esquemas epidémicos consomem muitos recursos:**
 - Largura de banda, buffers, energia do nó, etc
 - Consumo de recursos pode **degradar seriamente o desempenho**
- **É preciso controlar o *flooding*!**
- **Pode até acontecer das mensagens continuarem a ser reenviadas de nó para nó depois de chegar ao destino!**
- **Como lidar com isso?**



- **Autores propõem “*dead certificates*”**
 - Devem propagar-se também de forma epidémica... mas são mensagens muito mais pequenas
 - O objectivo dos certificados é informar que a mensagem chegou ao destino e as cópias em buffer devem ser eliminadas imediatamente
- **Caso extremo na família de protocolos, que garante o tempo mínimo de entrega**
 - Pacotes seguem sempre por todas as ligações possíveis
- **Aspecto mais crítico: espaço de armazenamento temporário (buffers)**
 - Estratégias de gestão FIFO ou outras
 - Ex: descarte de mensagens com base no histórico de probabilidade de sucesso na entrega



- Outras estratégias baseiam-se na limitação do número de réplicas das mensagens (tentando evitar uma cópia por nó)

(2) Contacto directo

- O emissor aguarda até que entre em contacto com o receptor, para lhe entregar a mensagem
- Só há uma única cópia da mensagem na rede
- Caso extremo inverso: não consome quase nenhuns recursos, mas diminui muito a probabilidade de entrega
 - Não escala: probabilidade de entrega tende para zero com aumento do número de nós na rede



(3) Reenvio em 2 saltos (*two-hop relay*)

- O emissor copia a mensagem para os primeiros N nós com que contacta
 - Emissor armazena a mensagem até fazer N cópias
 - Nó que recebe a mensagem só entrega ao destinatário!
 - Número de cópias na rede até entrega: $N + 1$
- Melhor probabilidade de entrega que o contacto directo
 - Aumentando o N diminui-se a latência e aumenta a probabilidade de entrega
 - Mas também é possível que as mensagens nunca sejam entregues
 - Basta não haver contacto dos nós intermédios com o destinatário
- Usada em estratégias de **mobilidade pro-activa**
 - nós de recolha que viajam pela rede em percursos planeados ou aleatórios para melhorar a conectividade de dois saltos



(4) Reenvio em árvore (*Tree-Based Flooding*)

- O emissor copia a mensagem para os nós que contacta e diz-lhes também quantas cópias devem fazer
 - Árvores com profundidade 1 é equivalente ao reenvio em 2 saltos
- Muitas estratégias para limitar o número de cópias...
- Exemplo: cada nó pode copiar as vezes que quiser, mas a mensagem só atravessa no máximo N saltos (limita apenas a profundidade da árvore mas não a largura)
- Pode-se limitar também a largura impondo um máximo de cópias M. O número total de réplicas é dado por:

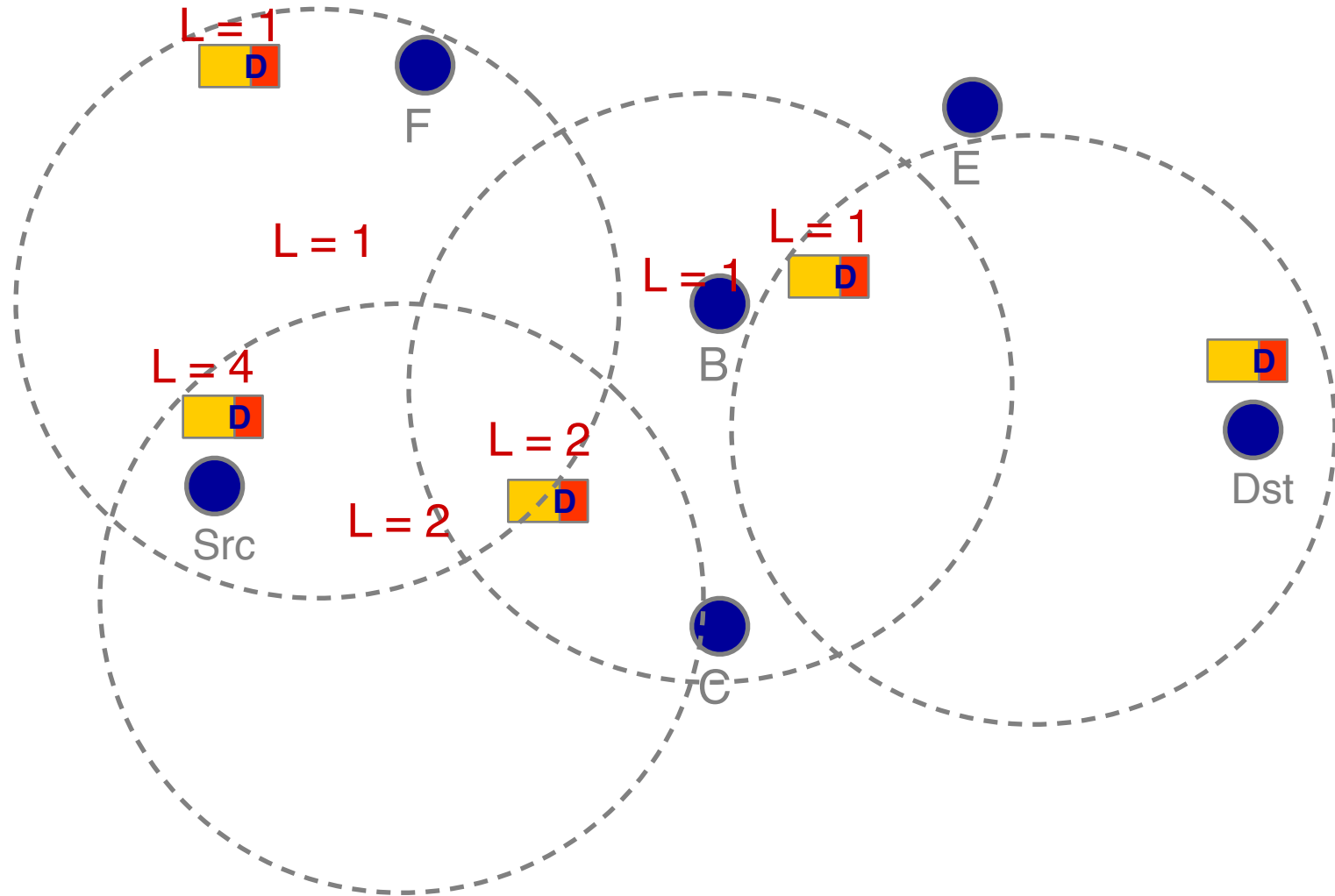
$$\sum_{i=1}^N m^N$$



(4) Reenvio em árvore (continuação)

- Mais complexo é o mecanismo para limitar o número de réplicas exactamente a N
 - Cada nó distribui sempre a responsabilidade de fazer metade das cópias actuais que tem para fazer para qualquer outro nó que contacta;
 - Este esquema é óptimo se as probabilidades de contacto inter-nós forem independentes e uniformemente distribuídas
- As estratégias em árvore conseguem entregar mensagens a múltiplos saltos de distância mas a afinação dos parâmetros pode ser complicada...

DTN: Encaminhamento





- **Estratégias baseadas em informação de reenvio**

- **Baseado na localização**

- Encaminhar na direcção esperada do destinatário (obter informação de posição de algum modo, ex GPS)
- Pode falhar pois usa um mínimo local...

- **Baseado num gradiente**

- Procure seguir pelo gradiente de melhoria do valor de uma função utilidade...
- Exige mais informação que a localização...
- Encaminha para um nó que tem maior probabilidade de fazer chegar o pacote ao destino (baseado no histórico)

- **Baseado em métricas das ligações..**



- **Routing baseado no gradiente: a função Utilidade**

Também designado por encaminhamento baseado na utilidade

Na maior parte dos modelos de mobilidade, pode-se considerar que

$$\text{Se } T_B(D) < T_A(D)$$

Então

$$P(B \text{ mais perto de } D \text{ que } A) > (A \text{ mais perto de } D \text{ que } B)$$

Definir então uma função Utilidade

$$U_X(Y) \text{ baseada no valor do temporizador } T_X(Y)$$

Função monolítica decrescente no tempo

Decisão de routing:

$$\text{Nó } A \text{ passa a } B \text{ a mensagem que tem para } D \text{ se } U_A(D) < U_B(D)$$



- **Random Walk**

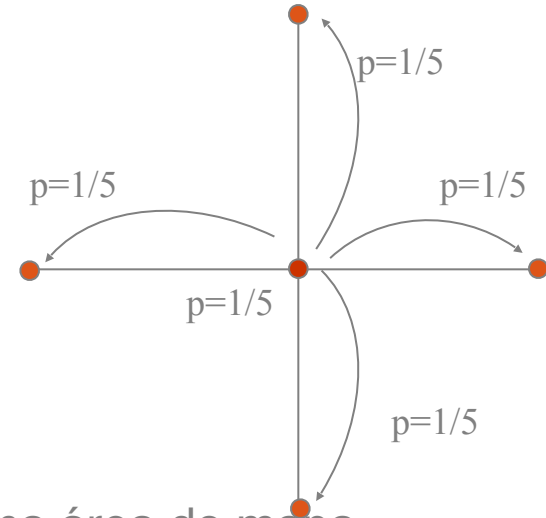
- Movimento aleatório de um ponto para outro, escolhendo a direcção e a velocidade
- Valores escolhidos em intervalos

- **Random Waypoint Walk**

- Nó fica num ponto um tempo aleatório
- Depois escolhe um novo ponto aleatório numa área do mapa
- Finalmente escolhe aleatoriamente a velocidade até esse novo ponto..

- **Baseado em trajectos/mapas**

- **Modelo de Movimento de Dia de Trabalho**





- Exemplos de movimentos random e random waypoint

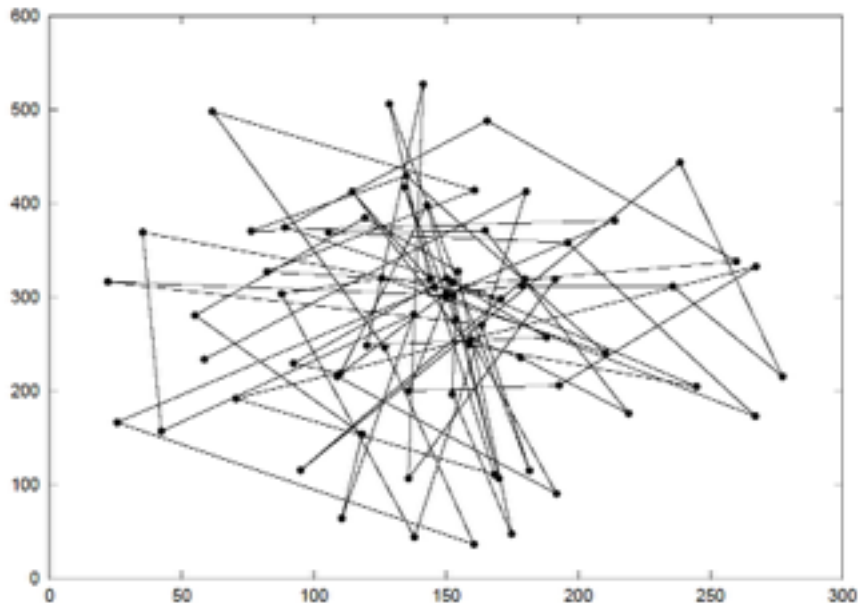


Figure 1: Traveling pattern of an MN using the 2-D Random Walk Mobility Model (time).

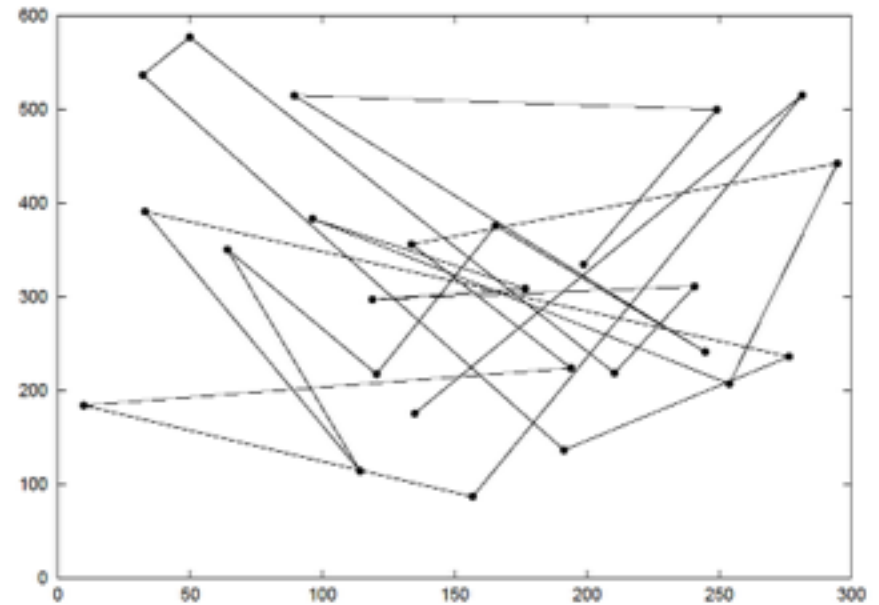


Figure 3: Traveling pattern of an MN using the Random Waypoint Mobility Model.



● ONE

- Desenvolvido na Universidade Aalto, Finlândia
- Ferramenta potente para geração de traces de mobilidade
- Corre simulações de troca mensagens DTN com diferentes protocolos
- Visualização interactiva da simulação em tempo real
- Resultados da simulação em ficheiro

● Componentes principais do ONE

- Gerador de Mobilidade
- Engenho de Simulação DTN
- Vizualizador

● Código ONE

- Desenvolvido Java
- Licença GPL



- Disponibiliza mecanismos flexíveis para criar mobilidade de grupos numa superfície
- Nós divididos em diferentes grupos com diferentes atributos de movimento
- Grupos podem ter outras propriedades diferentes (alcance do rádio, armazenamento)
- Grupos permitem a distinção entre pedestres, carros, autocarros, eléctricos, dispositivos estacionários, etc...
- O espaço pode ser organizado de acordo com mapas de cidade baseados em informação GPS
- Esses mapas podem ser *aumentados* com o auxílio de editores de mapas para definir paragens de autocarros, eléctricos, zonas de estacionamento, etc...
- Produz como saída ficheiros com traces de mobilidade que podem alimentar o Engenho de Simulação do ONE ou exportados para serem usados noutros simuladores (tal como o ns2 e o dtnsim2).



- Simulador baseado em eventos discretos para troca de mensagens DTN
- Usa como entrada ficheiros de trace dos geradores de mobilidade
- Também aceita ficheiros de mobilidade externos e mesmo do mundo real (ex. CRAWDAD)
- Há um gerador externo de mensagens é usado para controlar a respectiva transmissão (instante de geração, tamanho, fonte, destino)
- O engenho pode gerar respostas às mensagens de entrada
- Estão implementados vários protocolos encaminhamento: Prophet, DirectDelivery, FirstContact, MaxProp, Spray-and-Wait, etc...
- Gera um conjunto de ficheiros de saída com bastante detalhes bem como as estatísticas agregadas da simulação



- Opera na saída do Engenho de Simulação
- O visualizador em tempo real analisa em cada instante a saída engenho de simulação e mostra como os nós se movem da superfície defina, quantas mensagens transportam e muitos detalhes acerca das comunicações em curso
- Alguns mecanismos de controlo interactivo permitem a focagem em nós seleccionados e suportam pontos de interrupção quando ocorrem eventos pré-definidos
- Os componentes que não são em tempo real consistem num conjunto de scripts de pós-processamento e visualização dos resultados da simulação.

ONE - Algumas Limitações



- Limitações na configuração dos factores de aleatoriedade nomeadamente sementes para geradores de números pseudo-aleatórios
- Utilização de Mapas em formato WKT (bastante simples) em vez de OSM (Open Street Map)
- Desempenho — Problemas quando há muitos nós, muitas mensagens e modelos de movimento complexos

ONE - Desafio a resolver



- Desenvolvimento de uma versão paralela do ONE
- Partição do espaço (mapa da cidade) em N partes em que cada uma corresponda a máquina a correr o ONE
- Existência de centenas de milhares (ou mesmo milhões) de nós
- Desenvolvimento duma camada de software para Sincronização temporal e espacial das diversas instâncias do ONE



1. **Fábio Manuel Afonso Cerqueira**, *Caching em Redes de Dados Nomeados*, Mestrado em Engenharia Informática, 2014. (em co-supervisão com António Costa)
2. **Paulo Alexandre Gomes Duarte**, *Dados Nomeados em Redes Tolerantes a Atrasos*, Mestrado Integrado em Engenharia de Comunicações, 2014. (em co-supervisão com António Costa)
3. **Renato dos Santos Ipiranga**, *Tolerância a Atrasos em Redes de Dados Nomeados*, Mestrado em Engenharia Informática, a concluir em 2015. (em co-supervisão com António Costa)
4. **Ricardo Filipe da Silva Oliveira**, *Selfish Behaviour in Resource Constrained Delay Tolerant Networks*, Mestrado em Engenharia Informática, 2012- (em co-supervisão com António Costa)
5. **João Miguel Timóteo Antunes**, *Recolha e Análise de Dados de Contactos Físicos e Sociais numa Rede Tolerante a Atrasos*, Mestrado Integrado em Engenharia de Comunicações, concluída em 2013. (em co-supervisão com António Costa)
6. **Louis Philippe Martins Costa**, *Dados Nomeados em Redes Tolerantes a Atrasos*, Mestrado Integrado em Engenharia de Comunicações, concluída em 2013. (em co-supervisão com António Costa)
7. **Pedro Jorge Alves Barbosa Vieira**, *Towards Social-Aware Opportunistic Network Datasets*, Mestrado em Engenharia Informática, concluída em 2012. (em co-supervisão com António Costa)
8. **Rui Filipe Pedro Quelhas**, *Improving Opportunistic Communications with Social Context*, Mestrado em Engenharia Informática, concluída em 2011. (em co-supervisão com António Costa)
9. **Denis Rodrigues da Silva**, *Energia em Redes Tolerantes a Atrasos*, Mestrado em Redes e Serviços de Comunicações, concluída em 2011. (em co-supervisão com António Costa)



- Ari Keränen, Teemu Kärkkäinen, and Jörg Ott: Simulating Mobility and DTNs with the ONE. (Invited paper) Journal of Communications, Academy Publisher, Vol 5 No 2, pp 92-105, February 2010.
- Ari Keränen, Jörg Ott, Teemu Kärkkäinen: The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools), Rome, Italy, March 2009. [PDF]
- Frans Ekman, Ari Keränen, Jouni Karvo, and Jörg Ott: Working Day Movement Model. 1st SIGMOBILE Workshop on Mobility Models for Networking Research, Hong Kong, May 2008. [PDF]
- Frans Ekman: Mobility Models for Mobile Ad Hoc Network Simulations. Master Thesis, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking, May 2008. [PDF]
- Ari Keränen and Jörg Ott: Increasing Reality for DTN Protocol Simulations. Technical Report, Helsinki University of Technology, Networking Laboratory, July 2007. [preliminary PDF] (official PDF with ISBN to come)