Comunicações Multidestinatárias em Ambientes Virtuais Distribuídos Escaláveis

Renata Cruz Teixeira `renata@gta.ufrj.br`

Otto Carlos Muniz B. Duarte* `otto@gta.ufrj.br`

Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
COPPE/EE - Programa de Eng. Elétrica/Departamento de Eletrônica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
C. P. 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
http://www.gta.ufrj.br

Resumo

Uma proposta para alcançar a escalabilidade em ambientes virtuais distribuídos é a utilização de protocolos multidestinatários, através do particionamento dos participantes do ambiente virtual em grupos multipontos de acordo com seu posicionamento no mundo virtual. Estes protocolos precisam suportar trocas de grupo dinâmicas de forma a possibilitar a movimentação dos participantes neste mundo. Este artigo propõe um plataforma para sistemas de realidade virtual distribuída na Internet, analisando suas características de escalabilidade e dinamismo. Foram realizadas simulações para verificar o impacto do particionamento em grupos para este tipo de aplicação. Os resultados apontam para uma diminuição do atraso, tanto para entrada no mundo quanto para trocas de grupo, e um aumento da freqüência de trocas de grupo quando o número de grupos representando o ambiente aumenta.

palavras-chave: realidade virtual distribuída, protocolos multidestinatários, escalabilidade.

Abstract

Multicast protocols have been proposed as a way to make distributed virtual environments scalable, by means of dividing virtual environment participants into multicast groups according to their position in the virtual world. These protocols must support dynamic group exchanges allowing participants to move around this virtual world. This paper proposes a platform for distributed virtual reality systems over the Internet, and analyzes its scalability and dynamism. Simulations were done to assess the impact of users partition for distributed virtual reality applications. The results points to a reduction of both the delay to enter the group and the delay to exchange groups, and an increase of the frequence of group exchanges when the number of groups grows.

keywords: distributed virtual reality, multicast protocols, scalability.

---

*Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, CAPES, REENGE, FUJB, PROTEM-CC, CNPq e COFECUB.

1 Introdução

Um ambiente virtual distribuído é um sistema onde vários usuários interagem entre si em tempo-real, mesmo que estes usuários estejam fisicamente espalhados pelo mundo. Estes sistemas visam uma sensação de realismo incorporando gráficos tri-dimensionais e som estéreo para imergir o usuário em um mundo virtual. A capacidade de integração de gráficos imersivos com a habilidade de ter múltiplos usuários compartilhando informação e manipulando objetos no ambiente tornam os sistemas de realidade virtual uma ferramenta bastante atrativa. Atualmente, estes sistemas estão sendo usados para educação e treinamento, engenharia e projeto, comércio e entretenimento. O número de aplicações de realidade virtual tem crescido rapidamente com a introdução de novas tecnologias, aumentando a capacidade dos equipamentos e reduzindo os custos.

Porém, apesar de todo seu potencial, sistemas de realidade virtual distribuída possuem restrições que dificultam sua implementação eficiente. Estes sistemas são complexos por representarem muitos tipos tradicionais de sistemas simultaneamente. Eles são sistemas distribuídos, devendo gerenciar os recursos da rede – contornando perdas de dados, banda passante limitada e atraso. São aplicações gráficas, devendo manter a taxa de quadros em tempo-real e compartilhar o tempo de CPU entre renderização e outras tarefas. Além disto, são aplicações interativas, precisando processar em tempo-real as entradas dos usuários.

Nestes ambientes, cada participante possui uma representação gráfica, denominada avatar. Ao entrar no mundo virtual, o participante pode ver o avatar dos outros que estão localizados no espaço compartilhado e vice-versa. O comportamento de cada participante deve ser percebido pelos outros imediatamente, havendo, portanto, a necessidade de interação em tempo-real entre os usuários. Além disto, os sistemas de realidade virtual distribuída devem oferecer a possibilidade de comunicação direta entre os participantes através de gestos, textos ou voz, aumentando o realismo do ambiente.

As principais limitações para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual distribuída escaláveis para um grande número de usuários são as restrições impostas pelo sistema de comunicação [1, 2]. Para trocar informações os participantes utilizam o sistema de comunicação. Conforme o usuário movimenta-se no mundo virtual, ele deve transmitir atualizações de estado pela rede de computadores de forma que os outros usuários visualizem aquele usuário em sua posição correta. Se um usuário pega um objeto, os outros devem ser notificados que este objeto está sendo carregado. Estas atualizações são importantes para que não haja inconsistência na percepção do mundo virtual dos diversos participantes. Assim, todos os participantes devem enviar constantemente atualizações de estado para todos os outros, o que gera um grande volume de dados trocados.

Porém, o número efetivo de interações entre os participantes, geralmente não aumenta tão rápido quanto o número de interações possíveis. Por exemplo, em um sistema com muitos usuários, raramente todos os participantes concentram-se em uma mesma sala. Ao invés disto, os usuários tendem a se espalhar em sub-grupos ou equipes, cada um localizado em uma parte diferente do mundo virtual. Alguns trabalhos [3, 4, 5], aproveitando-se desta característica, propõem a filtragem dos dados enviados delimitando o escopo de cada participante, onde cada escopo de filtragem é mapeado em grupos multipontos. Assim, busca-se obter a otimização dos recursos da rede de computadores. Como os participantes podem se movimentar pelo ambiente virtual, a divisão dos participantes nestes grupos não é fixa. Portanto, é necessário que o protocolo multidestinatário permita a troca de grupos dinâmica dos participantes.

Este trabalho descreve uma plataforma para sistemas de realidade virtual distribuída [6] para discutir a utilização da comunicação multidestinatária para estes sistemas. Particularmente, é discutido o compromisso entre o número de grupos representando um mundo e o número de trocas de grupo necessárias. Para esta plataforma, são feitas medidas indicando o atraso para as trocas de grupo e a entrada no mundo virtual, visando avaliar o dinamismo destas operações.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2 é apresentada a técnica de filtragem de dados e alguns trabalhos que utilizam esta técnica, analisando a escalabilidade e o dinamismo para trocas de grupo. A seção 3 descreve os principais aspectos da plataforma de realidade virtual distribuída proposta. A ferramenta, o modelo de simulação e os resultados obtidos são apresentados na seção 4. Na seção 5 são apresentadas algumas considerações finais.

2 Filtragem em Ambientes Virtuais Distribuídos

O primeiro esforço em ambientes virtuais distribuídos foi o SIMNET (*Simulator Networking*) [7], sistema desenvolvido para o exército americano com o objetivo de promover o treinamento militar utilizando uma rede de simuladores. Após a construção do SIMNET sentiu-se a necessidade de padronização do protocolo utilizado por ele, possibilitando a interoperabilidade entre aplicações de simulação diferentes. Esta preocupação deu origem ao desenvolvimento do protocolo para Simulações Distribuídas Interativas (*Distributed Interactive Simulation* – DIS), padrão IEEE 1278 [8]. Porém, estes sistemas não são adequados para ambientes virtuais distribuídos de larga escala. Existem alguns problemas associados à escalabilidade do protocolo DIS [3] como a necessidade de difusão periódica de atualizações de estado, mesmo para objetos estáticos, e a replicação dos modelos e banco de dados do mundo em cada simulador.

Com o objetivo de tornar escaláveis os sistemas de realidade virtual distribuídos para um grande número de participantes, estão surgindo novas propostas baseadas no aprendizado com o SIMNET e o DIS. Estas propostas são baseadas na comunicação multidestinatária, visando filtrar as interações entre os participantes.

A filtragem de dados é uma técnica para reduzir o volume de informações que trafegam no sistema de comunicação. Nesta técnica os participantes do mundo virtual são agrupados definindo escopos de interação, de forma que as interações entre participantes fiquem confinadas nestes escopos. Estes grupos podem ser definidos por afinidades espaciais, temporais ou funcionais [3].

O tipo mais comum de filtragem é a espacial. Para este tipo de filtragem deve ser considerado se o espaço é aberto (cidades, parques, praias etc.) ou confinado (edifícios, escritórios etc.) [9]. No caso de espaços confinados pode ser utilizada a filtragem por oclusão, ou seja, se existir algum bloqueio entre dois participantes, um não vai receber informações sobre o outro. Um exemplo seria um apartamento, onde os avatares que estão no quarto não podem interagir com os que estão na sala. No caso de espaços abertos podem ser usadas tanto a filtragem por oclusão quanto a filtragem por distância, onde a distância entre os participantes é verificada para definir se eles podem interagir e com que nível de detalhe.

A implementação deste tipo de filtragem pode ser feita através de comunicações multidestinatárias, mapeando-se os escopos de filtragem em grupos multipontos. Esta divisão dos participantes em grupos é importante para reduzir o volume de dados trocados, tornando o sistema mais escalável. Além da filtragem de dados outras técnicas, como o *dead-reckoning*[1] e a representação de multidões, podem ser utilizadas com o objetivo da construção de ambientes virtuais distribuídos de larga escala [2].

O NPSNET-IV [3], desenvolvido pela "Naval Postgraduate School", é um sistema de simulação para treinamento militar, que se baseia no protocolo DIS (*Distributed Interactive Simulation*). Todos os nós do sistema possuem uma base de dados com todas as informações necessárias, desde os dados do cenário do ambiente virtual, até o modelo e comportamento de todas as entidades deste ambiente. Assim, é eliminada a necessidade de transmissão das informações dos avatares. As atualizações de estado também são reduzidas através da utilização de *dead-reckoning*. O NPSNET-IV utiliza um gerente de área de interesse, dividindo o ambiente virtual em partições menores (classes) para reduzir a carga computacional nas estações e minimizar a troca de informações na rede.

O DIVE (*Distributed Interactive Virtual Environment*) [4] tem como principal enfoque a interação entre os usuários. Ele busca a escalabilidade através da utilização de um protocolo multidestinatário confiável com reconhecimentos negativos (*Scalable Reliable Multicast* – SRM), a replicação parcial da base de dados e um módulo simples de *dead-reckoning*. O particionamento dos participantes em grupos é feito com granularidade grossa, considerando um grupo por mundo.

O sistema MASSIVE (*Model, Architecture and System for Spatial Interaction in Virtual Environments*) [10] tem como principal objetivo escalabilidade e heterogeneidade. É utilizado um modelo espacial de interação com diferentes níveis de percepção entre os participantes. Estes níveis são baseados na distância relativa entre os participantes e mediados por um mecanismo de negociação, feito por um gerente de colisão. A responsabilidade de detecção de colisão é dividida entre vários gerentes de colisão, buscando melhorar a escalabilidade do sistema.

O SPLINE (*Scalable Platform for Large Interactive Networked Environment*) [5] divide o mundo em *locales*, que são processados separadamente. Cada *locale* está associado a um grupo multiponto, possui um sistema de coordenadas próprio e seu tamanho, formato e orientação são escolhidos arbitrariamente. O modelo do mundo é uma base de objetos contendo informações sobre todo o mundo virtual. As aplicações interagem umas com as outras escrevendo e lendo esta base de dados. Cada participante possui uma cópia parcial desta base de dados, de acordo com o seu *locale*.

2.1 Escalabilidade e Dinamismo

Os sistemas apresentados utilizam a comunicação multiponto para buscar a escalabilidade. A maioria destes sistemas baseia-se, principalmente, na filtragem espacial para fazer o mapeamento dos participantes nos grupos. Este mapeamento pode ser feito de várias formas [2], dependendo das características da aplicação. Ambientes virtuais que possuam uma estrutura definida, ou seja, com espaços confinados, podem ser particionados de acordo com esta estrutura, enquanto ambientes com espaços abertos podem ser divididos em áreas de tamanho fixo.

A participação nos grupos não é fixa, pois os participantes podem se movimentar pelo

[1] O *dead-reckoning* é uma técnica de predição de movimentos utilizada para calcular a posição dos outros participantes baseada nos movimentos anteriores. Assim, um participante não precisa enviar uma mensagem para cada novo movimento.

mundo, trocando, assim, de um escopo para outro. Porém, os usuários enxergam o mundo como uma unidade, um ambiente contínuo. Eles não têm conhecimento do particionamento do mundo. Para isto, as mudanças de grupo devem ser realizadas suavemente, de forma que o usuário não perceba descontinuidades. Esta característica exige do sistema de realidade virtual distribuída e, conseqüentemente, do protocolo multidestinatário a possibilidade de trocas de grupo dinâmicas, com atraso mínimo.

Teoricamente, quanto menor o número de participantes por grupo, melhor é a utilização dos recursos do sistema de comunicação e mais escalável é o ambiente. Além disto, com grupos menores é maior a distribuição do processamento para a manutenção de consistência do mundo. Porém, a utilização de grupos menores, aumenta a probabilidade de troca de grupos, gerando mais descontinuidades no ambiente. Por isso, é importante obter o tamanho de grupo mais adequado para cada tipo de aplicação.

O particionamento em grupos pode ser feito desde um grupo por mundo, como no DIVE, até um grupo por participante, onde cada usuário recebe informações apenas no grupo multiponto referente aos participantes com que ele está interagindo no momento. No primeiro caso, não existe filtragem entre os participantes do mundo, havendo necessidade de transmissão e processamento de mensagens desnecessárias, o que torna esta abordagem não escalável para um grande número de participantes. No último, a carga para controle de todos os grupos multipontos necessários e trocas de grupo também impedem o crescimento do número de participantes. Portanto, para se obter um sistema mais escalável, deve-se utilizar uma abordagem com grupos compartilhados entre vários participantes, buscando aumentar a distribuição do controle de consistência, diminuir o número de mensagens trocadas e diminuir as descontinuidades devidas a trocas de grupo.

3 Plataforma Proposta

Para atender as aplicações de realidade virtual distribuída é proposta uma plataforma [6]. Esta plataforma tem como principal objetivo oferecer um serviço de distribuição e controle de consistência para ambientes virtuais distribuídos na Internet. A aplicação define a base de dados com o cenário do ambiente virtual, os avatares e a estrutura do mundo. A plataforma é responsável por todas as interações no mundo virtual, entre participantes e dos participantes com o ambiente, mantendo a sua consistência.

Para especificar a plataforma foi proposta uma arquitetura modular apresentada na figura 1. Todos os participantes do ambiente funcionam de acordo com esta estrutura, porém existem alguns participantes especiais denominados líderes, que executam módulos exclusivos de controle. Os dados do ambiente virtual estão parcialmente replicados na base de dados (BD), que contém o cenário do ambiente e as infomações dos avatares. As modificações no ambiente virtual são feitas através da atualização desta base de dados.

Os módulos responsáveis por manter a consistência do ambiente são: o módulo ambiente virtual e o módulo controlador de grupos do líder. No participante, o módulo ambiente virtual envia as modificações feitas na sua BD local para os outros participantes e recebe as atualizao dos demais participantes. No líder, o controlador de grupos é responsável pelas adesões e desligamentos dos participantes dos grupos.

As interações diretas entre usuários e as interações com o mundo são gerenciadas pelo módulo controlador de interações. Este módulo é responsável pelo estabelecimento da conexão entre os participantes, que passam a interagir diretamente através do módulo multimídia. O controlador de interações também realiza, em conjunto com o módulo

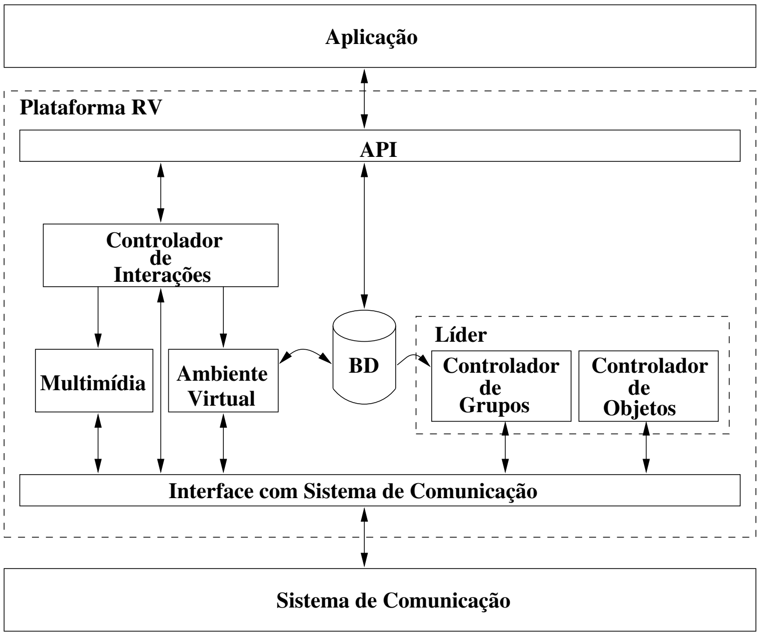

Figura 1: Plataforma para sistemas de realidade virtual distribuída.

controlador de objetos do líder, o controle de concorrência no acesso aos objetos. Este ltimo contém as permissões de acesso a todos os objetos do escopo.

3.1 Principais Características

A plataforma utiliza a divisão dos participantes em grupos multipontos de acordo com a estrutura definida pela aplicação. O controle de consistência é feito dentro de cada grupo pelo líder. O líder é responsável por controlar todas as entradas, saídas e trocas de grupo (*handoffs*) no seu escopo. Além disto, ele também controla o acesso aos objetos do ambiente.

Para que a consistência no mundo seja mantida, é necessário que a comunicação entre os participantes do grupo seja feita de forma confiável. Porém, os protocolos multidestinatários oferecem restrições ao número de usuários quando é necessária confiabilidade [11]. Por isso, a plataforma proposta limita a comunicação confiável através da divisão das operações do mundo virtual em operações críticas, que precisam de confiabilidade, e operações não críticas. As operações de entrada no mundo, saída e troca de grupos são classificadas como críticas, enquanto as atualizações de estado, são operações não críticas.

Resumindo, a escalabilidade é alcançada através do controle de consistência distribuído, realizado pelos líderes, e da redução da troca de mensagens com confiabilidade, através da divisão das operações.

A plataforma utiliza três tipos de comunicações com características diferentes. As mensagens não críticas têm como principal requisito a minimização do atraso e são transmitidas para todos os participantes de um escopo. As operações críticas exigem a troca de mensagens confiáveis, que podem ser ponto-a-ponto para envio da base de dados, por exemplo, ou multiponto, como no envio de um avatar para um grupo. Para comportar todos estes requisitos foi necessária a utilização de três protocolos de transporte diferentes aliados a um serviço de rede que permita transmissões multidestinatárias. As transmissões multidestinatárias na Internet tornaram-se possíveis com a extensão do IP para suportar multiponto, surgindo o protocolo IP Multiponto [12]. O IP Multiponto permite a adesão e o desligamento dos participantes dos grupos dinamicamente. Como protocolo de transporte das mensagens não críticas foi utilizado o UDP em conjunto com o IP Multiponto. Para as mensagens multipontos críticas foi usado o SRM (*Scalable Reliable Multicast*) [13], protocolo multidestinatário confiável com reconhecimentos negativos, visando a escalabilidade. O TCP foi usado para a troca de mensagens com confiabilidade entre dois participantes.

3.2 Descrição do Funcionamento

A plataforma abrange tanto as interações entre usuários quanto as interações com o mundo e todo controle para manutenção de consistência. A parte enfocada neste artigo é, principalmente, o controle das informações do ambiente virtual para a manutenção de consistência. Esta parte engloba a entrada e saída do mundo, as atualizações de estado e os *handoffs*. Estas funções foram escolhidas por serem determinantes para a escalabilidade do sistema, pois são as que demandam mais recursos do sistema de comunicação.

Cada participante pertence a um grupo multiponto, que é determinado de acordo com sua posição no ambiente virtual. Os líderes, além de atuarem como participantes do ambiente, realizam as tarefas de controle. Todos os líderes pertencem a um grupo multiponto de controle com endereço conhecido. Assim, os participantes, ao entrarem no mundo virtual, enviam uma mensagem multiponto para este endereço, contendo a sua posição inicial e seu avatar, solicitando a sua adesão ao mundo. Todos os líderes ao receberem esta mensagem verificam se a posição requisitada pertence ao seu escopo. O líder responsável pela posição responde a requisição, enviando a base de dados com as informações do estado atual do escopo, e envia para o grupo referente ao escopo o novo avatar.

Após a fase de adesão, os participantes trocam atualizações de estado, através do envio de mensagens multipontos para seu escopo de interação. O líder, como participante, recebe todas as atualizações de estado dos outros participantes de seu escopo. Ao detectar que algum desses participantes está cruzando os limites de seu escopo, o líder sinaliza para este participante que, então, envia um pedido de adesão para o endereço de controle, reiniciando a fase de adesão. Ao terminar de receber a base de dados com as informações do próximo escopo, o participante envia um pedido de desligamento do grupo anterior. Quando um participante deseja deixar o ambiente virtual, ele envia um pedido de desligamento para que seu avatar seja removido do ambiente.

4 Simulação

A fim de verificar o impacto da filtragem de dados em ambientes virtuais distribuídos, foi realizada a simulação da plataforma descrita na seção 3. A simulação baseou-se, principalmente, nas operações para a manutenção de consistência: entrada e saída do mundo, *handoffs* e atualizações de estado.

4.1 Infra-estrutura de Simulação

A ferramenta escolhida para simular a plataforma foi o *ns* (*Network Simulator*) [14], um simulador de protocolos de rede em desenvolvimento no projeto *Virtual InterNet Testbed* (VINT), uma colaboração entre UC Berkeley, LBL, USC/ISI e Xerox PARC. O *ns* é um simulador de eventos discretos desenvolvido para pesquisa em redes de comunicação. Ele oferece uma infra-estrutura para simulação de protocolos de rede com abstrações para nós e enlaces. Esta infra-estrutura compreende também alguns algoritmos de roteamento utilizados na Internet, incluindo roteamento multiponto. Além disto, o *ns* engloba vários modelos de protocolos usuais na Internet, como o TCP e o UDP, e outros protocolos mais novos que poderão ser usados na Internet, como o SRM.

Esta infra-estrutura foi utilizada para a simulação da plataforma para sistemas de realidade virtual distribuída. A estratégia de roteamento para os datagramas IP adotada foi a estática que usa o algoritmo SPF de Dijkstra. O protocolo de roteamento multiponto do *ns* utilizado foi o modo denso estático que é baseado no DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*), com a exceção de não se adaptar a mudanças na rede. Para protocolos de transporte foram adotados o UDP, o TCP (com controle de congestionamento realizado através do algoritmo Reno) e o SRM.

Foram necessárias algumas modificações no protocolo SRM para adequá-lo aos requisitos da plataforma. No SRM, quando um novo usuário entra numa sessão, ele recebe todos os pacotes já enviados nesta sessão [13]. Porém, em um ambiente virtual distribuído, um usuário ao aderir a um grupo deseja receber apenas o estado atual do escopo associado a este grupo. A recepção de todas as mensagens já enviadas naquele grupo acarretaria em uma grande quantidade de mensagens desnecessárias que desperdiçariam os recursos do sistema de comunicação e o processamento para descarte dessas mensagens no novo usuário. Por isto, o módulo do SRM no *ns* foi alterado para não fazer a retransmissão das mensagens desde o início da sessão.

4.2 Geração das Topologias

A topologia para a simulação foi gerada através do gerador de topologias GT-ITM (*Georgia Tech Internetwork Topology Models*) [15], visando um formato mais próximo do encontrado atualmente na Internet. O GT-ITM utiliza um método de geração híbrido, o modelo *Transit-Stub*, capaz de criar grandes grafos compostos de grafos randômicos menores. Assim, este modelo permite a criação de topologias utilizando uma estrutura de domínios parecida com a da Internet.

Os grafos gerados possuem várias sub-redes interconectadas por núcleos, que representam os *backbones* da Internet. Para a simulação foi usada uma topologia com vinte nós – quatro no núcleo e mais quatro sub-redes com quatro nós. Esta topologia é mostrada na figura 2, onde estão destacados os nós do núcleo, os rótulos dos enlaces indicam a latência e a banda passante dos enlaces é 2 Mbps. É importante ressaltar que na Internet, as aplicações do usuário não são executadas nos nós do *backbone*. Isto foi simulado, permitindo a execução da plataforma apenas nos nós das sub-redes. Foi considerado que cada nó das sub-redes atende a exatamente um usuário. Então, no caso da topologia apresentada na figura 2 o número de participantes simulados é igual a 16.

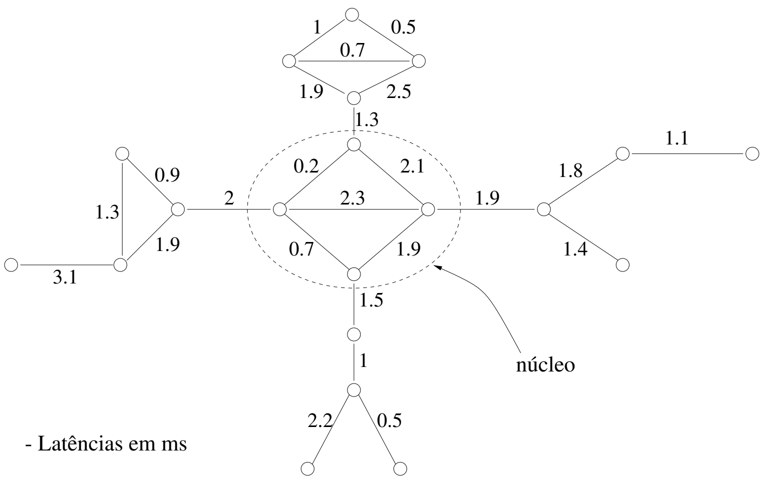

Figura 2: Topologia gerada pelo GT-ITM.

4.3 Modelo de Simulação

A plataforma depende de algumas características e informações definidas pela aplicação, que são mapeadas em parâmetros do modelo de simulação. A aplicação precisa configurar uma base de dados contendo o cenário inicial do mundo virtual, esta base de dados é mapeada num parâmetro do modelo que define o tamanho inicial da base de dados. A definição do avatar é mapeada num parâmetro que representa o tamanho de um avatar. Considera-se para este modelo que todos os avatares têm o mesmo tamanho.

Estes dois parâmetros são usados na adesão e no desligamento dos participantes do mundo. Quando um novo usuário adere a um grupo, a base de dados cresce, pois o tamanho do avatar do novo usuário é acrescentado à base de dados. De forma similar, quando um participante deixa um escopo, seu avatar é retirado da base de dados, decrementando o tamanho da base de dados do tamanho do avatar.

A escolha dos líderes é feita aleatoriamente[2] entre todos os possíveis participantes. O mundo virtual é dividido entre todos os líderes, de forma que não haja interseção entre as áreas de cobertura dos diferentes líderes e que a união de todas as áreas resulte na totalidade do mundo virtual. A posição inicial dos participantes é escolhida aleatoriamente entre todas as posições possíveis no ambiente.

O tempo de entrada e saída de cada participante no mundo é gerado aleatoriamente, com exceção dos líderes que entram no início da simulação e saem no final. É considerado que os líderes não trocam de grupos, não havendo a necessidade de eleição de um novo líder durante a simulação.

A movimentação dos participantes através do mundo está associada a uma probabilidade de movimentação (P_m). Assim, com probabilidade P_m um participante movimenta-se uma posição para frente, ou seja, incrementa em uma unidade sua posição. Esta probabilidade está relacionada a velocidade do participante, logo, participantes mais velozes teriam maior probabilidade de movimento. A princípio, considera-se que todos os participantes têm a mesma probabilidade de movimento. A cada mudança de posição é enviada uma mensagem de atualização de estado para o grupo multiponto (não foi modelada a utilização de nenhum algoritmo de *dead-reckoning*). Quando a posição do participante

[2] Todos os valores aleatórios foram gerados utilizando as variáveis aleatórias disponíveis no *ns*.

Tabela 1: Parâmetros utilizados na simulação.

Parâmetros	*Valores*
Tamanho inicial BD	10 k octetos
Tamanho avatar	1,5 k octetos
Tamanho atualizações	100 octetos
P_m	0,2

ultrapassa os limites de seu grupo, o líder inicia o *handoff* deste participante.

As simulações foram realizadas baseadas neste modelo utilizando a topologia descrita na seção 4.2. Os parâmetros de simulação utilizados para obter os resultados são apresentados na tabela 1. O tempo de simulação do funcionamento da plataforma para cada execução foi dez minutos.

4.4 Resultados

As medidas foram realizadas com o objetivo de verificar o impacto da filtragem de dados em ambientes virtuais distribuídos, analisando as características para alcançar mais escalabilidade e menos descontinuidades na percepção do ambiente virtual. Para verificar como a filtragem influencia na escalabilidade foram feitas medidas do atraso para entrada no mundo e troca de grupos. As descontinuidades foram medidas através do número de *handoffs* e do tempo gasto em cada *handoff*.

Nas simulações, o espaço do mundo virtual, ou seja, o número de posições possíveis, é mantido fixo, enquanto o número de grupos varia. Logo, com o aumento do número de grupos, a área de cada grupo diminui. Quando o número de grupos é igual a um, tem-se apenas um líder para todos os participantes. Neste caso, a plataforma atua como um sistema centralizado. Não há filtragem de mensagens entre os participantes do mundo. Como o mundo não é particionado, não há trocas de grupo e, conseqüentemente, também não há descontinuidades na percepção do mundo. Os participantes sofrem apenas o atraso para entrar no mundo virtual.

Por outro lado, quando o número de grupos é maior do que um, o controle de consistência passa a ser distribuído entre os líderes. Quanto maior o número de grupos, menor o número de participantes a ser controlado por cada líder, maior o nível de distribuição do controle entre estes líderes e menor é o número de mensagens de atualização trocadas em cada grupo. Porém, aumentam as descontinuidades no ambiente, devido às trocas de grupo mais freqüentes.

O gráfico apresentado na figura 3 mostra o atraso médio para a entrada de participantes no mundo virtual e para troca de grupos. É importante ressaltar que não existe valor de atraso associado a curva de troca de grupos quando o valor do número de grupos é igual a um. A diferença entre a curva do atraso de *handoff* e a curva de entrada reflete o atraso necessário para o líder sinalizar ao participante que ele deve sair do grupo e este participante iniciar o processo para entrar no novo grupo. Ao aumentar o número de grupos observa-se uma queda tanto no atraso para entrada no mundo quanto no atraso de *handoffs*. Esta queda é causada pela distribuição entre os líderes da responsabilidade de enviar a base dados para os participantes. Com a menor quantidade de participantes em cada escopo, os líderes ficam menos sobrecarregados e podem responder mais rapidamente aos pedidos de adesão. Esta distribuição é importante para a escalabilidade do ambiente, pois quando o número de participantes cresce, a divisão em grupos mantém o processamento em cada líder aproximadamente constante. Assim, o funcionamento do sistema não fica prejudicado.

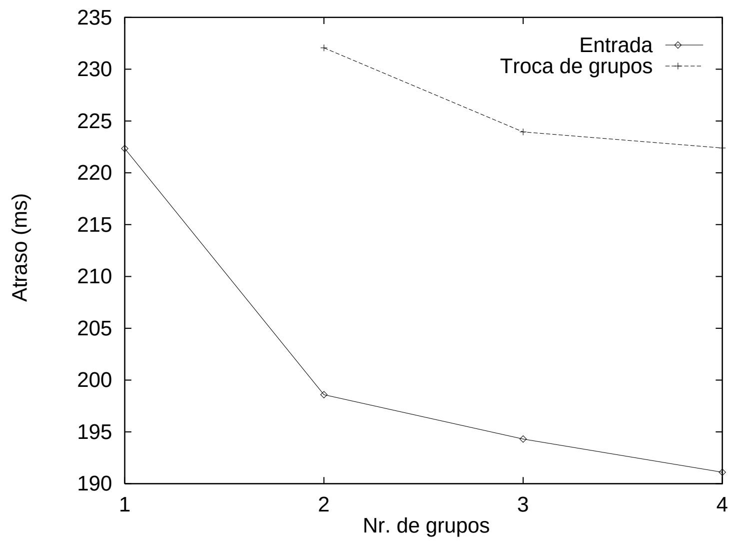

Figura 3: Atraso para entrada no mundo e troca de grupos.

O gráfico da figura 4 apresenta o número total de *handoffs* feitos por todos os participantes durante o período de simulação. Quando o número de grupos aumenta, a área de cada grupo diminui. Como a probabilidade de movimento não variou de uma execução para outra da simulação, em média as velocidades dos participantes foram mantidas. Por isto, pode-se observar no gráfico que com o aumento do número de grupos, aumenta a freqüência com que as trocas de grupo são realizadas.

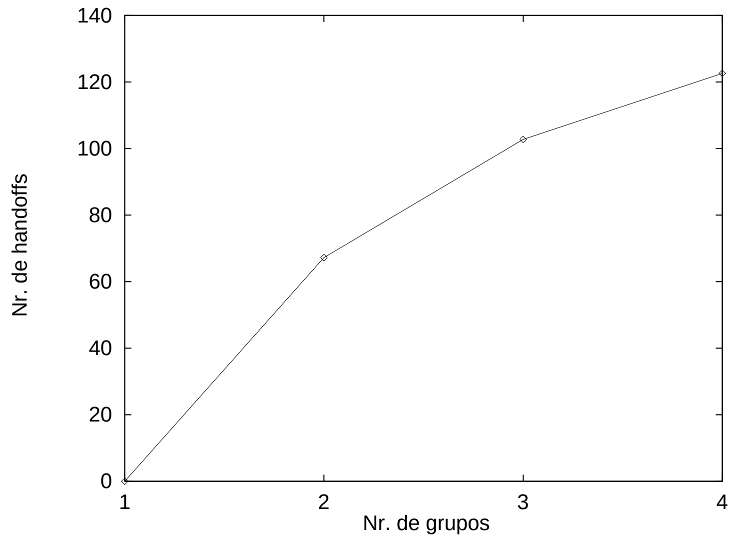

Figura 4: Número total de *handoffs*.

5 Considerações Finais

Este artigo discutiu a utilização de protocolos multidestinatários em aplicações de realidade virtual distribuída e suas implicações. A comunicação multidestinatária é essencial para a implementação da técnica de filtragem de dados, que permite um ambiente virtual mais escalável. A plataforma proposta busca aumentar a escalabilidade através da distribuição do controle de consistência entre os líderes e da redução da transmissão de mensagens confiáveis.

A simulação da plataforma abrangeu as funções para a manutenção de consistência do ambiente virtual. Os resultados mostram que a utilização de protocolos multidestinatários provoca uma diminuição no atraso para as operações de entrada no mundo e troca de grupos. Esta diminuição beneficia a interatividade entre os participantes e reduz a possibilidade de inconstências. Há um compromisso entre este ganho em interatividade e as descontinuidades geradas pelos *handoffs* quando o número de grupos aumenta. Porém, para as medidas realizadas, as descontinuidades não foram significativas, representando entre $2,5\%$ e $4,5\%$ do tempo total de uma sessão para todos os participantes.

Pode-se concluir que a plataforma proposta, com a adoção de um modelo distribuído entre líderes, e uma divisão do ambiente em vários escopos separados permitiram uma boa interatividade sem prejudicar a continuidade da aplicação.

A implementação da plataforma no *ns* está sendo adaptada para possibilitar, com os recursos computacionais disponíveis, a realização das simulações em topologias maiores, com maior número de usuários.

Referências

[1] M. R. Macedonia e M. J. Zyda, "A Taxonomy for Networked Virtual Environment", *IEEE Multimedia*, vol. 4, no. 1, 1997.

[2] R. C. Teixeira e O. C. M. B. Duarte, "Requisitos de Ambientes Virtuais Distribuídos de Larga Escala", in *I Workshop de Realidade Virtual*, São Carlos, pp. 26 – 35, novembro 1997.

[3] M. R. Macedonia, M. J. Zyda, D. R. Pratt, D. P. Brutzman e P. T. Barham, "Exploiting Reality with Multicast Groups", *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 38 – 50, setembro 1995.

[4] O. Hagsand, "Interactive Multiuser VEs in the DIVE System", *IEEE Multimedia*, vol. 3, no. 1, pp. 30–39, 1996.

[5] J. W. Barrus, R. C. Waters e D. B. Anderson, "Locales: Supporting Large Multiuser Virtual Environments", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 16, no. 6, pp. 50–57, novembro 1996.

[6] R. C. Teixeira e O. C. M. B. Duarte, "Uma Plataforma para Sistemas de Realidade Virtual Distribuída", Tech. Rep. GTA-99-03, COPPE/UFRJ - Grupo de Teleinformática e Automação, fevereiro 1999.

[7] Institute for Defense Analysis, "SIMNET", maio 1990.

[8] Standard Commitee on Interactive Simulation, IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation", IEEE Std 1278.1-1995.

[9] R. B. de Araujo e C. Kirner, "Especificação e Análise de um Sistema Distribuído de Realidade Virtual", in *XIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pp. 357 – 374, 1996.

[10] C. Greenhalgh e S. Benford, "MASSIVE: A Distributed Virtual Reality System Incorporating Spatial Trading", in *Proceedings IEEE DCS'95*, Vancouver, Canada, 1995.

[11] S. Pingali, D. Towsley e J. Kurose, "A Comparison of Sender-Initiated and Receiver-Iniciated Reliable Multicast Protocols", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 3, abril 1997.

[12] S. Deering, *RFC 1112: Host Extensions for IP Multicasting*, agosto 1989.

[13] S. Floyd, V. Jacobson, C.-G. Liu, S. McCanne e L. Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp. 784 – 803, dezembro 1997.

[14] K. Fall e K. Varadhan, "NS Notes and Documentation", tech. rep., The VINT Project, novembro 1997.

[15] E. W. Zegura, K. Calvert e S. Bhattacharjee, "A Quantitative Comparision of Graph-Based Models for Internet Topology", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no. 6, pp. 770 – 783, dezembro 1997.