

Visualização de Imagens HDR em Dispositivos com Ecrã Pequeno

Carlos Urbano
DEI/ESTG/IPL
Leiria
curbano@estg.ipleiria.pt

Luís Magalhães
UTAD
Vila Real
lmagalha@utad.pt

João Paulo Moura
UTAD
Vila Real
jpmoura@utad.pt

Adérito Fernandes Marcos
DSI/UM
Guimarães
marcos@dsi.uminho.pt

Sumário

É notória a crescente divulgação e utilização de dispositivos com ecrã pequeno (DEP), como os Personal Digital Assistants (PDA), na vida quotidiana das pessoas. Apesar da constante introdução de funcionalidades pelos fabricantes, existe ainda uma clara melhoria a realizar no que concerne à visualização de imagens neste tipo de dispositivos, conhecidas que são as limitações no tamanho do ecrã e gama de cores disponíveis. A produção de imagens com uma elevada gama dinâmica, nomeadamente imagens HDR (High Dynamic Range), é hoje uma realidade. Na última década muitas foram as técnicas desenvolvidas para a visualização dessas imagens nos dispositivos de visualização comuns. Diversas experiências psicofísicas têm vindo a ser realizadas para classificar estas técnicas, também conhecidas como operadores de mapeamento de tons (Tone Mapping Operators - TMO), mas, até à data, não foram testados em DEP caracterizados por limitações na resolução, gama de cores disponíveis e níveis de contraste. Neste trabalho é apresentado o processo que nos permitirá definir uma abordagem para realizar a criação e/ou adaptação de um algoritmo que permita a visualização de imagens HDR neste tipo de dispositivos.

Palavras-chave

Computação Gráfica, High Dynamic Range, Dispositivos Móveis, Mapeamento de Tons (Tone Mapping Operators).

1. INTRODUÇÃO

Actualmente é possível obter imagens a partir do mundo real ou através da geração de imagens de síntese por computador, com uma elevada gama dinâmica (imagens HDR), tal como acontece quando olhamos directamente para o mundo que nos rodeia.

De forma a armazenar digitalmente esta informação, alguns formatos de ficheiro de imagens foram melhorados e outros criados especialmente para este propósito. No entanto, os actuais dispositivos de visualização, apenas disponibilizam um pequeno subconjunto da gama de cores e intensidades que o Sistema Visual Humano (SVH) consegue perceber. Esta limitação pode ser ultrapassada, ou minimizada, aplicando à imagem HDR um determinado algoritmo, mapeando a gama de intensidades original para a gama disponível nos usuais dispositivos de visualização. Claro que, com este processo, haverá perda de informação, uma vez que se converte uma imagem HDR em LDR (*Low Dynamic Range*), porém aplicando-se o algoritmo adequado, conseguem-se preservar determinadas características, apesar da “compres-

são” realizada. Essas características dependem do objectivo final das imagens obtidas podendo ser de cariz perceptivo, cognitivo ou estético. No primeiro caso, o algoritmo deve gerar uma imagem que seja perceptivelmente semelhante à imagem HDR; no caso cognitivo, a imagem resultante deve permitir identificar o conteúdo da imagem original mesmo que não seja perceptivamente semelhante; em relação ao cariz estético, a o algoritmo implementa alguns efeitos visuais e artísticos criando imagens agradáveis mas que podem até se afastar um pouco da imagem real original. Estes algoritmos são conhecidos como operadores de mapeamento de tons (*Tone Mapping Operators - TMO*).

1.1 Objectivo

Até à data foram desenvolvidas várias dezenas de TMO e, apesar das diferentes premissas em que cada operador se baseia (mapeamento linear, formação da imagem ou em relação ao SVH), estes foram desenvolvidos tendo em mente que seriam testados e validados em dispositivos de visualização comuns, como os ecrãs CRT (*Cathode Ray Tube*) ou LCD (*Liquid Crystal Display*), amplamente

utilizados e divulgados pela indústria dos computadores. Outros ainda foram criados a pensar nos dispositivos de impressão. No entanto, até à data, nenhum foi idealizado especificamente para os DEP que se caracterizam por uma muito baixa gama dinâmica (*Very Low Dynamic Range* – VLDR).

Desde modo, é nosso objectivo determinar, construir ou adaptar um TMO “ideal” para DEP, de forma a melhorar a percepção de imagens neles visualizadas, sejam fotografias, imagens de satélite, imagens médicas, etc.

1.2 Guia de Leitura

Na próxima secção realiza-se uma breve introdução ao conceito HDR abrangendo as várias fases do processo de criação de imagens HDR, o seu armazenamento e visualização.

Na secção 3 serão apresentados e classificados alguns dos mais importantes TMO existentes.

Posteriormente, na secção 4 será feita a descrição da abordagem seguida, por forma a atingirmos os objectivos propostos bem como algumas considerações sobre o estado actual dos nossos trabalhos e das possíveis abordagens a seguir no futuro próximo.

2. HIGH DYNAMIC RANGE

«*The Real World is High Dynamic Range*» - Paul Debevec in SIGGRAPH 2006.

Esta expressão de Debevec no SIGGRAPH 2006 significa que o mundo real apresenta ao nosso sistema visual um vasto conjunto de cores e intensidades, desde a brilhante luz solar até à fraca luz nocturna. Os nossos olhos lidam com esta vasta gama de intensidades através de um processo denominado adaptação, mudando, assim, as suas sensibilidades, conforme o nível de iluminação que lhes é apresentado. Esta adaptação é altamente localizada permitindo-nos ver detalhes, num ambiente com elevada gama dinâmica, tanto em zonas escuras como em zonas claras [Ledda'05].

O Sistema Visual Humano (SVH) é, então, capaz de se adaptar a condições de iluminação extremas que, como foi dito, pode variar desde a fraca luz nocturna (10^{-3} cd/m² [candelas por metro quadrado]), passando pela luz do luar (10^{-1} cd/m²) e pela luz interior (10^2 cd/m²) até à brilhante luz solar (10^5 cd/m²), fazendo um total de cerca de 10 ordens de magnitude. No entanto, o SVH apenas consegue perceber, simultaneamente, entre 4 a 5 ordens de magnitude, adaptando-se às condições de iluminação presentes na cena [Ferwerda'01] (ver Figura 1).

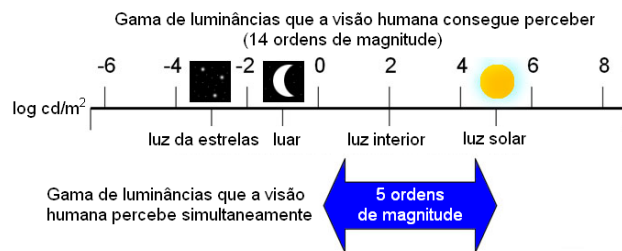


Figura 1 – Ordens de magnitude das intensidades do SVH

Especificamente na área da Computação Gráfica, HDR designa um conjunto de técnicas para geração e visualização de imagens com grande diversidade de intensidade de cores.

As técnicas de HDR foram desenvolvidas originalmente tendo em vista a geração de imagens por computador. Mais tarde, conceberam-se métodos para a produção de imagens HDR a partir de um conjunto de fotografias tiradas com diferentes tempos de exposição.

Paul Debevec apresentou, em 1997, um método que permitiu criar uma imagem com elevada gama dinâmica a partir de um conjunto de fotografias com diferentes tempos de exposição (ver Figura 2), tiradas com uma máquina fotográfica convencional [Debevec'97]. Assim, é possível recuperar a função (ou curva) de resposta do equipamento que processou as imagens gerando um mapa de radiância, onde o valor de cada pixel é proporcional ao valor da radiância real da cena.

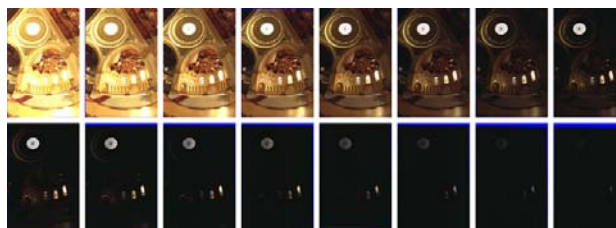


Figura 2 – Dezasseis fotografias tiradas a uma igreja com tempos de exposição que variam entre os 30seg aos 1/1000seg [Debevec'97]

Uma vez conhecida a função de resposta podemos produzir rapidamente a fotografia HDR de uma cena a partir de algumas exposições diferentes. A maior parte das máquinas digitais dispõem da função de *auto bracketing* que permite tirar consecutivamente e de forma fácil fotografias com tempos de exposições diferentes.

As máquinas fotográficas mais comuns conseguem capturar imagens com elevada resolução. No entanto, continuam a ser representadas apenas com 1 byte por pixel e por canal de cor. De facto, estes 1,6 milhões de cores que poderão parecer, à primeira vista, um número impressionantemente grande, continuam a ser acompanhados pelos mesmos 256 valores reservados para cada canal. Isto é claramente inadequado para a representação de vários tipos cenas.

Mais recentemente temos vindo a assistir ao aparecimento dos mais diversos formatos de codificação e consequente armazenamento de imagens HDR. Uns foram desenvolvidos por académicos enquanto outros apareceram por imperativos industriais. Gregory Ward Larson é considerado o pioneiro na utilização de técnicas com elevada gama dinâmica através do seu software RADIANCE [Larson'94]. Também é dele um importante contributo para o armazenamento de imagens HDR com a criação do formato RGBE. Cada abordagem apresenta vantagens e desvantagens consoante os objectivos pretendidos. Na Tabela 1 é possível ver um quadro comparativo dos diversos formatos existentes.

Codificação	HDR completo	Bits/pixel	Gama dinâmica	Precisão
sRGB	Não	24	1.6	Variável
Pixar Log	Não	33	3.8	0.4%
Radiance RGBE	Não	32	76	1%
LogLuv 24	Sim	24	4.8	1.1%
LogLuv 32	Sim	32	38	0.3%
OpenEXP	sim	48	10.7	0.1%

Tabela 1 - Comparação entre os vários formatos para codificação HDR

Outro problema que actualmente se coloca relaciona-se com a visualização de imagens HDR. Os CRT usuais apenas são capazes de reproduzir cerca de 2 ordens de magnitude. Trata-se de uma limitação física, uma vez que o fósforo, por questões de segurança, não pode ser excitado além de um determinado limite. Problema semelhante ocorre com os modernos LCD, onde a gama de cores disponível é limitada devido à *backlight*. Apesar dos ecrãs LCD tenderem a ser mais brilhantes que os CRT, esse brilho não faz com que a ordem de magnitude aumente. Além disso, não conseguem “desligar” completamente um pixel como os CRT, fazendo com que o preto seja representado, na verdade, como um tom acinzentado.

Existem já alguns ecrãs capazes de lidar com uma elevada gama dinâmica mas são ainda pouco acessíveis para o utilizador comum. Desta forma, têm sido desenvolvidos algoritmos capazes de comprimir uma imagem HDR para permitir a sua visualização em dispositivos convencionais com uma gama dinâmica inferior. Estes algoritmos serão abordados na secção seguinte.

3. TONE MAPPING OPERATORS

O conceito de operador de *tone mapping*, ou mapeamento de tons, foi introduzido pela primeira vez na área da Computação Gráfica por Tumblin e Rushmeier em 1993 [Tumblin'93]. O objectivo de um operador (TMO) é comprimir a gama dinâmica de uma imagem para a gama limitada disponibilizada pelo dispositivo físico. Idealmente, essa compressão deve ser obtida mantendo a semelhança perceptual na imagem resultante em relação à imagem HDR da cena real (ver Figura 3).

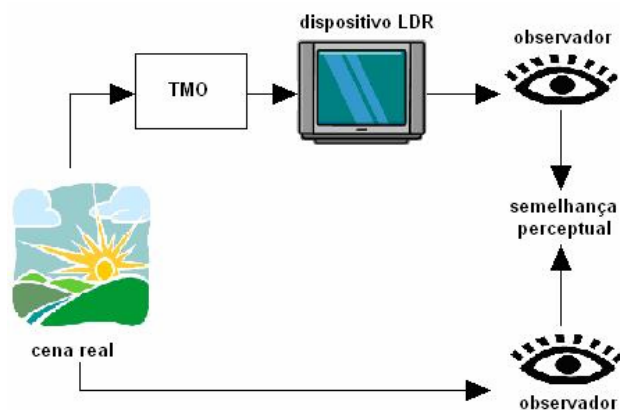


Figura 3 – Operador de tone mapping "ideal"

Existem actualmente dezenas de TMO que podem ser classificados como globais ou locais [Devlin'02]. Ao contrário dos locais, os globais servem habitualmente de

base a operadores dependentes do tempo, simulando a adaptação da visão humana ao longo do tempo. Isto porque são fáceis de implementar e computacionalmente pouco dispendiosos.

3.1 Operadores Globais

Os operadores globais aplicam a mesma transformação a cada pixel independentemente da sua posição na imagem. A função básica destes operadores consiste em escalar um valor de luminância real L_w para um valor de luminância do dispositivo de visualização L_d através de um factor m (1), tendo em conta o conteúdo da imagem no seu todo, onde a mesma transformação é aplicada a cada pixel.

$$L_d(x, y) = m \cdot L_w(x, y) \quad (1)$$

De entre os operadores globais encontram-se o [Tumblin'93] que premeia a preservação do brilho baseando-se no trabalho de *Stevens and Stevens*, mas não tem em conta a adaptação do SVH e apenas se aplica a imagens em tons de cinzento. Baseado no ajuste iterativo do histograma da imagem, Greg Ward desenvolveu outro algoritmo global [Ward-Larson'97] que fomenta a preservação do contraste e tem já em conta o fenómeno da adaptação da visão humana simulando *halos*, variações na acuidade visual e sensibilidade à cor. Outro operador que também simula o funcionamento da visão humana em resposta à luz é o desenvolvido por Drago et al [Drago'03] que efectua a compressão logarítmica dos valores da luminância. Consegue um equilíbrio entre a compressão e o detalhe, bastando variar a base da função logarítmica.

3.2 Operadores Locais

Os algoritmos locais aplicam factores de escala distintos a diferentes partes da imagem. Estas técnicas geram um multiplicador m diferente para cada pixel da imagem com base nos valores da vizinhança do mesmo (2). Desta forma, estes operadores são computacionalmente mais dispendiosos que os globais e são, geralmente, capazes de efectuar significativas reduções no contraste permitindo, desta forma, efectuar uma compressão significativa na gama dinâmica da cena. No entanto, uma grande preocupação associada aos operadores locais prende-se com os *halos* que podem aparecer nas zonas de grande contraste.

$$L_d(x, y) = m(x, y) \cdot L_w(x, y) \quad (2)$$

Um dos primeiros operadores locais surgiu de forma exploratória não tendo em conta as características do SVH. No entanto, os seus autores [Chiu'93] demonstraram a importância deste tipo de operadores na compressão de imagens HDR. Durand e Dorsey construíram um algoritmo com desempenho computacional bastante superior ao anterior recorrendo à técnica do vizinho mais próximo uma vez que não causa alterações no histograma. Consegue reduzir o contraste preservando o detalhe através da decomposição da imagem em dois níveis, o nível base e o nível de detalhe. O contraste é reduzido apenas no primeiro. Outro operador robusto, simples e computacionalmente eficiente mas que não tem em conta

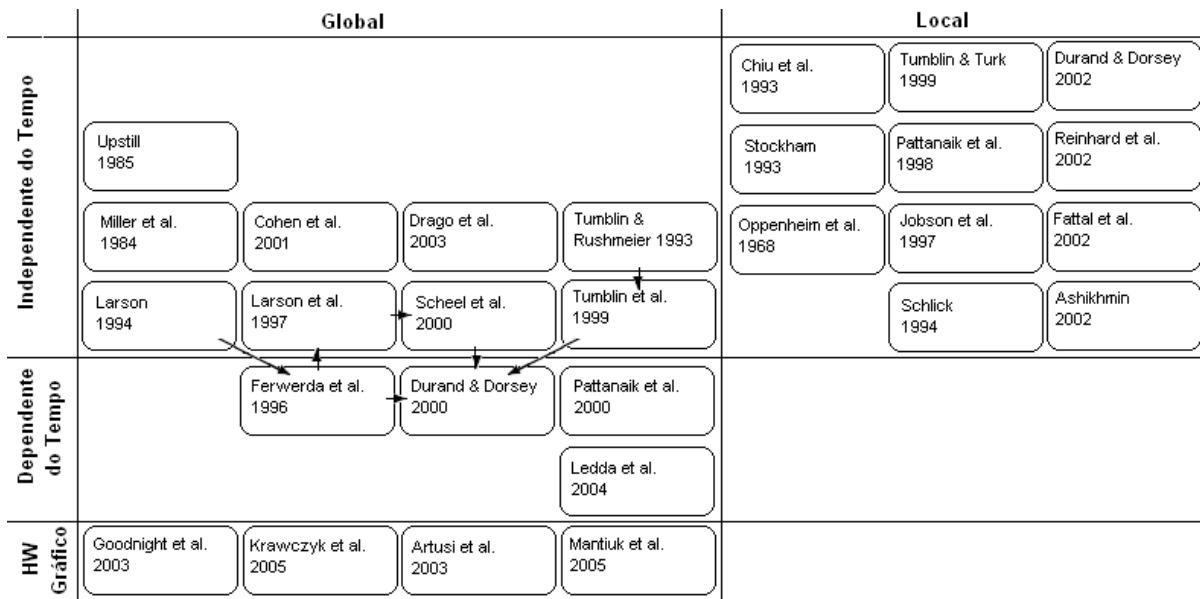


Figura 4 – Classificação e desenvolvimento de TMO (imagem adaptada e estendida de [Devlin'02])

a exactidão psicofísica é o de Fattal et al [Fattal'02]. Baseado em técnicas fotográficas, nomeadamente, na técnica chamada *Zone System* de Ansel Adams foi desenvolvido um TMO local por Reinhard et al [Reinhard'02].

3.3 Dependentes do Tempo

A adaptação visual permite-nos perceber a luz em intensidades diferentes. Além disso, essa adaptação não acontece instantaneamente. Adaptarmo-nos ao escuro pode demorar minutos enquanto que passar de escuro ao claro demora apenas segundos.

Alguns TMO têm em consideração estas características da adaptação do SVH. No grupo dos TMO dependentes do tempo encontram-se [Ferwerda'96], [Pattanaik'00] que se baseia no modelo matemático de Hunt sobre a visão humana. Durand e Dorsey estenderam o trabalho de Ferwerda et al introduzindo uma fórmula que aumenta os valores da componente azul (B do RGB), técnica designada de *blue shift*, para melhorar as cenas escuras [Durand'00]. Ledda et al construíram o primeiro operador local dependente do tempo [Ledda'04] estendendo o trabalho de Pattanaik et al.

3.4 Operadores em Hardware Gráfico

Mais recentemente foram criados alguns algoritmos com a intenção de promover o seu uso interactivo através do auxílio de *hardware* gráfico. Entre outros encontramos os operadores [Scheel'00], [Goodnight'03], [Artusi'03], [Krawczyk'05] e [Mantiuk'05].

Na Figura 4 pode-se observar uma classificação da grande parte dos TMO existentes bem como a dependência e cronologia do desenvolvimento de cada um. Para descrições detalhadas aceder ao artigo apresentado no IASK [Urbano'07].

4. HDR EM DISPOSITIVOS COM ECRÃ PEQUENO

Em seguida, descreveremos a nossa abordagem e metodologia para concretizarmos o objectivo proposto de

determinar, construir ou adaptar um TMO “ideal” para DEP, de forma a melhorar a percepção de imagens neles visualizadas.

4.1 Definição de uma abordagem

Como responder à questão: «Como visualizar imagens HDR num dispositivo com ecrã pequeno?»

Sabendo das reduzidas dimensões bem como da baixa gama de intensidades, resolução e cores disponíveis nestes dispositivos, tornou-se evidente que a solução não poderia passar pela visualização directa. Como foi dito na secção 2, só agora estamos a assistir aos primeiros passos na construção de dispositivos HDR. Estes são ainda de grande dimensão, não se prevendo que esta tecnologia chegue num curto prazo aos DEP.

Desta forma, para atingirmos o objectivo proposto, claramente teremos de recorrer aos algoritmos de *tone mapping* para fazer o mapeamento dessas imagens HDR, da mesma forma que se faz, há já algum tempo, nos dispositivos mais convencionais como os ecrãs CRT e LCD.

Assim, o processo que iremos seguir para definir a nossa abordagem contempla as seguintes etapas:

- Estudar as técnicas de mapeamento de tons (TMO) existentes
- Testar os TMO existentes nos DEP e provar a necessidade de construir um novo TMO
- Determinar as características especiais que esse novo TMO deve possuir
- Construí-lo
- Validá-lo no DEP comparativamente com outros TMO existentes, de forma a mostrar as suas vantagens nesse tipo de dispositivos.

4.2 Trabalho Realizado

Foi feito um estudo sobre os vários algoritmos de mapeamento de imagem existentes onde se perceberam

as principais características de cada um. No entanto, para melhor entendermos a realidade desses algoritmos, foram analisadas e comparadas diversas experiências psicofísicas concebidas por diferentes autores para a avaliação de TMO em dispositivos LDR.

No entanto, dado que cada autor utilizava diferentes variáveis: conjunto de TMO escolhido para avaliação, atributos de imagem usados, forma de comparação, par-a-par ou todas em simultâneo, com ou sem cena real presente, etc, foi fundamental perceber claramente o que cada estudo tinha de positivo e aqueles aspectos menos rigorosos que deveriam ter sido evitados.

Na Tabela 2 podemos observar um resumo comparativo das várias experiências estudadas.

Obviamente que, de cada estudo, resultava um *ranking* de TMO diferente, pelo que, seria fundamental concebemos e realizarmos as nossas próprias experiências. O objectivo seria, não só, a comparação de TMO em diversos tipos de dispositivos (LCD, CRT e PDA), mas também provar que os DEP necessitam de um TMO específico que tenha um melhor desempenho do que qualquer outro existente. Note-se que o tipo de DEP escolhido para as experiências recaiu nos PDA, uma vez que a tendência dos dispositivos móveis converge para ecrã de 2,5" a 3,5", com resolução QVGA e 16bit/pixel de cor. Esta concepção experimental foi apresentada num artigo publicado na IASK2007 [Urbano'07].

Posteriormente, e após um teste piloto, foram refinados alguns aspectos da concepção aí definida, bem como a depuração e validação da aplicação desenvolvida para gestão dos passos das experiências e do armazenamento dos resultados.

	Nº Participantes	Nº Cenários	Nº Imagens	Nº TMOs	Dispositivo	Método Comparativo	Atributos Comparados
Drago et al (2003)	11	4	24	6	CRT	par-a-par	detalhe naturalidade contraste
Yoshida et al (2005)	14	2	14	6 + linear	LCD	todas + realidade (pontuação)	contraste brilho naturalidade detalhe
Ledda et al (2005)	48	23	138	6	LCD	par-a-par + HDR	semelhança detalhe
Cadik et al (2006)	10	1	14	14	CRT	imagem + realidade (pontuação)	brilho contraste detalhe cor
Ashikhmin and Goyal (2006)	15	4	20	5	?	todas + realidade	semelhança

Tabela 2 - Experiências realizadas para avaliação de TMO

Encontramo-nos actualmente a realizar esse estudo conduzindo as experiências concebidas anteriormente. Resumidamente, o estudo tem como hipótese de investigação que o *ranking* de TMO obtido para LCD e CRT é diferente daquele obtido para DEP. Na verdade, são 3 experiências, uma para cada tipo de dispositivo, em que participarão 19 pessoas em cada uma, perfazendo um total de 57 participantes. Todos com visão normal ou corrigida, sem conhecimento prévio do propósito da experiência.

As experiências decorrem numa sala com ambiente de iluminação controlado em que cada participante vê uma cena real à sua frente, juntamente com 2 imagens (da mesma cena) previamente mapeadas com algoritmos diferentes das quais tem que escolher aquela que mais se aproxima, segundo um dado critério, da cena real. Cada participante faz esta escolha para todos os pares de imagens possíveis. Os 7 TMO em avaliação são *Gradient Domain* [Fattal'02], *Spatially Varing* [Ashikhmin'02], *Bilateral Filtering* [Durand'02], *Logarithmic Mapping* [Drago'03], *Multiscale Observer Model* [Pattanaik'00], *Photographic Tone Reproduction* [Reinhard'02] e *Photoreceptor Model* [Reinhard'05]. Uma vez que são 7 TMO, cada observador avalia 21 pares de imagens. Este processo repete-se 4 vezes para cada participante, uma vez que serão utilizados 4 critérios de comparação, a saber: a cor, o contraste, o nível de detalhe e a naturalidade.

É dado a cada participante tempo suficiente para se adaptar às condições de iluminação do local. Poderá desistir a qualquer momento não havendo a obrigação de levar a sua participação até ao fim.

Apesar deste tipo de comparações par-a-par implicar um elevado número de escolhas, sendo um processo demorado e cansativo, torna mais fácil a comparação e avaliação da performance de cada participante. Por outro lado, é mais simples a um participante escolher uma de duas imagens do que visualizar todas simultaneamente e ordená-las. Além disso, permite avaliar ainda a transitividade e a consistência entre observadores.

A análise estatística será semelhante à realizada por Ledda [Ledda'05] uma vez que a concepção experimental é, no geral, semelhante.

No final das 3 experiências esperamos obter 3 *rankings* de TMO, um para LCD, outro para CRT e outro para DEP (PDA). Caso fiquem provadas as nossas hipóteses, partiremos para a construção ou eventual adaptação de um TMO específico que melhor opere em DEP.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Este artigo permitiu dar uma visão geral da área especial da Computação Gráfica que é o *High Dynamic Range Imaging* e que será, com toda a certeza, uma área de grande futuro e aplicabilidade com muito para desenvolver. Concretamente, o nosso trabalho tem como objectivo a visualização de imagens HDR em dispositivos com ecrã pequeno através da aplicação de algoritmos de redução de intensidades (TMO). Indicamos o processo que estamos a seguir para definir a nossa abordagem para ajudar à resolução deste problema.

Os estudos preliminares das experiências que estamos a realizar indicam, como prevíamos que os DEP merecem um TMO específico e ainda nos mostra algumas características que esse novo TMO deve possuir.

Depois de concluídas as experiências e, caso a análise estatística confirme os estudos preliminares, partiremos então para o desenvolvimento do TMO que deverá finalmente ser validado através de novas experiências comparativas com os outros TMO.

6. REFERÊNCIAS

- [Adams'83] Adams, A. (1983). The Print, Little, brown and Company.
- [Artusi'03] Artusi, A., J. Bittner, et al. (2003). Delivering Interactivity to Complex Tone Mapping operators. Proceedings Eurographics Symposium on rendering EGSR03, pp. 38-44, June 2003.
- [Ashikhmin'02] Ashikhmin, M. (2002). A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images. Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering.
- [Chiu'93] Chiu, K., M. Herf, et al. (1993). Spatially Nonuniform Scaling Functions for High Contrast Images. Graphics Interface '93, San Francisco, CA, Morgan Kaufmann.
- [Debevec'97] Debevec, P. E. and J. Malik (1997). Recovering High Dynamic Range Radiance Maps From Photographs. Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp. 369-378 (August 1997, Los Angeles, California). Addison Wesley. Edited by Turner Whitted. ISBN 0-89791-896-7.
- [Devlin'02] Devlin, A. K., A. Chalmers, et al. (2002). STAR: Tone Reproduction and Physically Based Spectral Rendering. State of the Art Reports, Eurographics 2002, Dieter Fellner and Roberto Scopigno.
- [Drago'03] Drago, F., K. Myszkowski, et al. (2003). Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes. Eurographics EG2003.
- [Durand'00] Durand, F. and J. Dorsey (2000). Interactive Tone Mapping. Proceedings Eurographics Workshop on Rendering EGWR02.
- [Durand'02] Durand, F. and J. Dorsey (2002). Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images. ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)'2002, pp. 257-266.
- [Fattal'02] Fattal, R., D. Lischinski, et al. (2002). Gradient Domain High Dynamic Range Compression. ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)'2002, pp. 249-256.
- [Ferwerda'01] Ferwerda, J. A. (2001). "Elements of Early Vision for Computer Graphics." IEEE Comput. Graph. Appl. **21**(5): 22-33.
- [Ferwerda'96] Ferwerda, J. A., S. N. Pattanaik, et al. (1996). A Model of Visual Adaptation for Realistic Image Synthesis. ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)'96, pp. 249-258.
- [Goodnight'03] Goodnight, N., R. Wang, et al. (2003). Interactive Time-Dependent Tone Mapping Using Programmable Graphics Hardware. Eurographics Symposium on Rendering.
- [Krawczyk'05] Krawczyk, G., K. Myszkowski, et al. (2005). Lightness Perception in Tone Reproduction for High Dynamic Range Images. The European Association for Computer Graphics 26th Annual Conference EUROGRAPHICS 2005. Dublin, Ireland, Blackwell.
- [Larson'94] Larson, G. W. (1994). The RADIANCE lighting simulation and rendering system. Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM Press.
- [Ledda'05] Ledda, P., A. Chalmers, et al. (2005). Evaluation of tone mapping operators using a High Dynamic Range display. ACM SIGGRAPH 2005 Papers. Los Angeles, California, ACM Press.
- [Ledda'04] Ledda, P., L. P. Santos, et al. (2004). A local model of eye adaptation for high dynamic range images. Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa. Stellenbosch, South Africa, ACM Press.
- [Mantiuk'05] Mantiuk, R., K. Myszkowski, et al. (2005). A perceptual framework for contrast processing of high dynamic range images. Proceedings of the 2nd symposium on Applied perception in graphics and visualization. A Coruña, Spain, ACM Press.
- [Pattanaik'00] Pattanaik, S. N., J. Tumblin, et al. (2000). Time-Dependent Visual Adaptation For Fast Realistic Image Display. ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)'00, 47-53.
- [Reinhard'05] Reinhard, E. and K. Devlin (2005). Dynamic Range Reduction Inspired by Photoreceptor Physiology. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics.
- [Reinhard'02] Reinhard, E., M. Stark, et al. (2002). Photographic tone reproduction for digital images. Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. San Antonio, Texas, ACM Press.
- [Scheel'00] Scheel, A., M. Stamminger, et al. (2000). Tone Reproduction for Interactive Walkthroughs. Proceedings Eurographics '2000, Vol. 19 (3)
- [Tumblin'93] Tumblin, J. and H. Rushmeier (1993). Tone Reproduction for Realistic images. IEEE Computer graphics and Applications, Vol. 13 (6):42-48.
- [Urbano'07] Urbano, C., L. Magalhães, et al. (2007). Conceção de Experiências Psicofísicas para Visualização de Imagens HDR em Dispositivos Móveis. IASK - E-Activity and Leading Technologies 2007. Porto.
- [Ward-Larson'97] Ward-Larson, G., H. Rushmeier, et al. (1997). A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic range Scene. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, Vol. 3 (4):291-306.