

ESTADO DA ARTE EM SISTEMAS DE PERCEPÇÃO VISUAL ARTIFICIAL BASEADOS EM VISÃO FÓVEA E PERIFÉRICA .

Carol Adriana Quitian Nino

Faculdade de engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas,
Campinas SP, Brasil.
carolucas22@hotmail.com

Resumo

O presente artigo apresenta o estado da arte de sistemas de percepção visual fovea, que como o próprio nome indica, tenta fazer uma imitação da funcionalidade da fovea biológica. Estes sistemas emulam a distribuição não uniforme dos fotorreceptores, e tem como propósito principal a redução seletiva de dados nas cenas, permitindo obter em tempo real a quantidade de dados necessários.

Nas próximas seções são apresentados alguns conceitos gerais, os quais vão ajudar ao leitor compreender melhor o conceito de visão fovea. Dentre os tópicos analisados neste artigo estão as primeiras pesquisas sobre visão fovea e periférica, as geometrias utilizadas em visão fovea para o tratamento das imagens, as diversas implementações nas últimas décadas com robôs Humanóides, criaturas virtuais, “Animats”, e em métodos de extrapolação fovea de vídeo, os quais estão sendo estudados na atualidade.

Palavras-chave: visão fovea, fovea e periferia, campo visual, acuidade visual, imagem multi-resolução.

Introdução

Um dos grandes problemas que sofrem alguns sistemas de visão é a enorme quantidade de informação a ser processada contida nas imagens com resolução uniforme. Este volume de informação torna difícil o processamento em tempo real da imagem. Devido a este problema, nos últimos anos uma técnica tem surgido dentro da área de visão artificial conhecida como visão fovea, cujo propósito principal é o desenvolvimento de sistemas de visão que acelerem e simplifiquem o processo de compreensão das cenas. Uma maneira de simplificar o processo de visão e aumentar a eficiência do processamento; Consiste em extrair os dados que são úteis somente para uma tarefa determinada, mas com o nível de detalhe necessário.

Aproveitando as características de funcionalidade, a visão fovea tenta fazer uma imitação da função biológica da fovea no sistema de visão humana. A fovea que tem só 0.2mm de diâmetro, é a parte do olho onde existe a maior concentração de fotorreceptores (cones e bastonetes), que são responsáveis pela obtenção da informação da cena, diferente da área periférica onde a densidade de fotorreceptores diminui com a distância. Misturando estas duas zonas temos um mecanismo que permite atingir um nível de resolução variável no campo visual. A maior resolução se concentra na área fovea e vai decrescendo em relação do centro do campo de visão [11],[12].

Atualmente existem um grande numero de pesquisas e implementações em sistemas de visão artificial enfocados na visão fovea, incluindo sistemas de percepção e detecção em tempo real, sistemas e visão em agentes robóticos e “animats”, entre outros. No texto a seguir é apresentado de maneira geral o estado atual das pesquisas na área de visão fovea artificial.

Os primeiros estudos da visão fovea

A idéia principal dos desenvolvedores nos inícios da visão fovea foi criar sistemas de visão por computador com capacidade de realizar tarefas complexas em um ambiente dinâmico que fosse análoga à atenção visual nos seres humanos. Eles propuseram mecanismos para localizar e analisar só a informação essencial, independentemente do enorme fluxo de detalhes irrelevantes.

Nos inícios do estudo da visao fovea, Pedro Burt, líder reconhecido no campo da visão por computador, já trabalhava com a idéia de desenvolver sistemas de visão por ordenador baseados em a distribuição não-uniforme dos fotorreceptores dos olhos. “A distribuição não-uniforme da acuidade no olho, em combinação com os movimentos dos oculares oferece um mecanismo rápido em grande parte físico, para a detecção seletiva e a análise” [1].

Burt tentou desenvolver um sensor que imitasse a distribuição não-uniforme da acuidade visual dos olhos. Na visão humana a acuidade se divide aproximadamente em proporção inversa ao ângulo visual θ da fóvea, ou seja, $1/\theta$. Esta distribuição atinge um pico, e é mais ou menos constante. Figura 1.

Para explicar porque a acuidade visual nos humanos é apresentada de essa maneira, inicialmente Burt considera dois sistemas com distribuição constante no campo visual, figura 2 e figura 3. Na figura 2, a acuidade representa a média da distribuição $1/\theta$ da visão, enquanto a figura 3, a acuidade é igual ao pico da distribuição $1/\theta$ do campo visual.

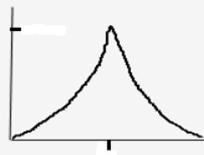


Figura 1. Distribuição da acuidade visual $1/\theta$.



Figura 2. Distribuição média da acuidade visual $1/\theta$.

A distribuição média da acuidade, Figura 2, poderia ser formada pela redistribuição dos fotorreceptores dos olhos naturais de maneira uniforme sobre a retina. O resultado é uma acuidade uniformemente deficiente, e inadequada para tarefas que precisam de detalhes.



Figura 3. Distribuição pico.

Na distribuição pico da acuidade, figura 3, se precisa de um incremento no número de fotorreceptores do olho em um fator de 10000. Simplesmente não há lugar para um nervo óptico que possa processar tanta informação. Desta maneira, Burt mostra porque a criação de sensores foveais pode se basear na distribuição não-uniforme da acuidade visual humana.

Burt desenvolveu um esboço de fóvea eletrônica simples a qual é formada dentro da pirâmide,

como se mostra na figura 4. Os níveis da pirâmide estão indicados em uma dimensão como linhas de pontos de amostragem, com uma densidade reduzida de nível em nível.

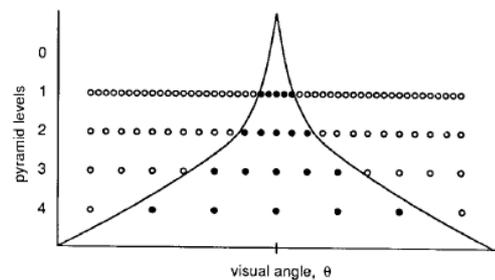


Figura 4. Distribuição sensorial de fóvea eletrônica.

No nível 4 da figura 4, esta região abrange toda a imagem, e representa a capacidade da visão periférica para resolver os padrões de baixa resolução sobre um campo de visão completo. No nível 3, a região é a metade do campo de visão, no nível 2 é um quarto. Assim a resolução completa é conservada no mesmo centro e a resolução diminui para a periferia. Devido que a região coberta por cada nível de resolução da pirâmide é duas vezes maior, esta implementa uma aproximação discreta à distribuição $1/\theta$ da acuidade visual.

Visão fóvea aplicada sistemas de visão ativa

Danna Ballard é outro desenvolvedor que implementou a visão fóvea em sistemas de visão ativa [2]. Ballard enfatizou na importância da visão fóvea e a visão periférica, as quais deviam trabalhar de maneira conjunta e não isolada, como os clássicos sistemas de visão onde grande parte do trabalho de visão por computador havia assumido que os sistemas de visão eram passivos e os quadros de visão realizavam-se em um marco centrado. Com esta idéia surge um novo paradigma da visão artificial ativa e rompe-se com o paradigma onde a visão e a detecção trabalham de forma isolada.

Em sua pesquisa Ballard tentou mostrar como a visão periférica pode ajudar na detecção de um objeto que se encontram fora da região de interesse. Em seu trabalho a idéia é encontrar um copo que está sobre uma tabela e que é inicialmente invisível na periferia. O copo não pode ser visto facilmente, mas na procura do copo, primeiro pode ser vista a tabela, a qual ajuda a trazer o copo perto da fóvea por meio da visão periférica. Figura 5.

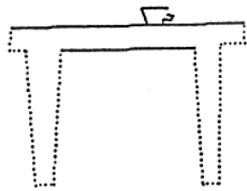


Figura 5. Copo olhado desde a visão periférica.

Relação de percepção em visão fóvea

Martin Jotnner em suas pesquisas também falhou da importância da visão fóvea e periférica para o desenvolvimento de sistemas artificiais [3]. Mas ele enfatizava que embora os dois possam apoiar-se mutuamente as duas visões são completamente incomensuráveis.

Ele demonstrou em seus experimentos com indivíduos, que o reconhecimento de padrões de estímulos complexos difere consideravelmente entre as condições de visualização fóvea e extra-fóvea; Mas é importante notar que as categorias tiveram de ser aprendidas durante o experimento. A diferença tornou-se especialmente evidente para os indivíduos ingênuos que precisavam de muito mais tempo na fase de aprendizado extra-fóveal de que no aprendizado fóveal. Alguns desses sujeitos nunca sequer conseguiram atingir uma classificação perfeita. Baseado nos resultados ele demonstrou que as representações internas de visão fóvea e extra-fovea são intrinsecamente diferentes. Mas o importante para ressaltar do estudo de Jotnner é a percepção e a classificação relativa, a qual deve ser tida em conta à hora de desenvolver sistemas cognitivos artificiais que possuam visão fóvea como mecanismo de aprendizado.

Geometrias Fóveas

A descrição da mudança de resolução apresentada pelos sensores pode ser obtido através de uma estratégia de amostragem em log-polar ou plano cartesiano exponencial. Os sistemas de visão fóvea tinham projetado duas geometrias para o tratamento de imagens fóveas. As duas geometrias são caracterizadas pela alta resolução no centro da rede de amostragem e uma resolução que diminui com a distancia.

- Geometria Logo-Polar

Esta geometria é semelhante ao mecanismo da visão de alguns animais. A amostragem feita é "não-uniforme" e os campos receptivos estão localizados em círculos concêntricos. Além disto os sensores não são de tamanho uniforme, mas

se pode observar a existência de zonas mortas entre a praça da fóvea e do primeiro círculo de elementos sensor. Figura 6.

- Geometria cartesiano-exponencial

Nos anos 1989 Bandera e Scott propuseram uma geometria cartesiana para trabalhar com imagens fóveas, as quais possuem uma fóvea e uma zona periférica, e é nesta zona onde é utilizada a função exponencial [4]. Na zona periférica a diminuição de resolução é atingida com o aumento do tamanho dos campos receptivos, este aumento é realizado de forma exponencial.

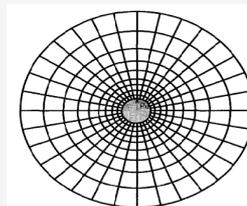


Figura 6. Geometria Log-Polar.

Esta geometria apresenta descontinuidades no seu perfil de resolução. O tamanho do campo receptivo é sempre um número inteiro em relação ao tamanho dos sensores da fóvea, Figura 7.

A geometria cartesiana-exponencial é definida por dois parâmetros:

m = número de anéis ou níveis de resolução.

d = fator de subdivisão ou o número de subanéis de resolução dá a cada anel.

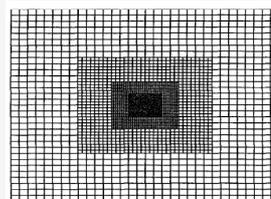


Figura 7. Geometria Cartesiano-exponencial

Na Figura 6 e 7, pode ser apreciado como o tamanho do sensor em duas geometrias é variável, mas a forma do sensor é uniforme.

Uma das principais vantagens da topologia cartesiana em comparação com a topologia de log-polar é que a maioria dos algoritmos, máquinas fotográficas, equipamentos de processamento, técnicas de armazenamento de imagens e ferramentas de desenvolvimento têm sido desenvolvidos para topologias cartesianas.

Polígono Foveal

Para trabalhar com imagens foveas é necessário ter uma estrutura de dados capaz de suportá-las e armazená-las de forma eficiente, como é o polígono foveal propôs por Bandera e Scott[4].

O polígono foveal é uma estrutura tridimensional que apresenta tantos níveis como resoluções diferentes têm a imagem fóvea original. Pegando a fóvea como nível 0, um nível l é construído reduzindo à metade a resolução do nível $l-1$ e encaixando o resultado no vazio que apresenta o anel de resolução l . Assim, o nível l tem uma resolução igual à de anel l . Dito de outra maneira o polígono foveal é um conjunto de camadas, onde a primeira corresponde à fóvea e as outras são a combinação de cada nível de resolução com a camada anterior. O polígono apresenta dois tipos de células: as células medidas (células pretas), que são obtidas diretamente da imagem fóvea e as células calculadas (células brancas) que são obtidas fazendo uma média de quatro células do nível imediatamente inferior.

No polígono foveal o campo de visão do nível chamado cintura “waists”, coincide com o campo de visão da cena total. A partir das células da cintura é construída uma pirâmide de células calculadas.

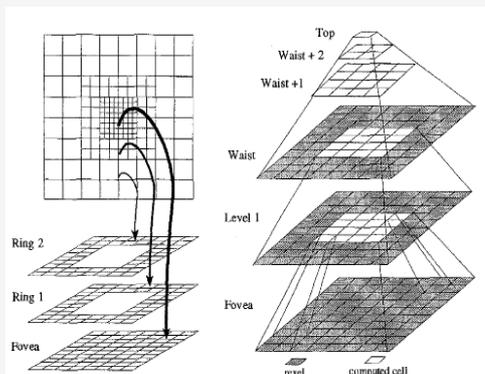


Figura 8. Polígono Foveal .

A figura-8 apresenta um exemplo que ilustra o processo de geração dos níveis de resolução de um polígono foveal: à esquerda mostra-se a cena fóvea com dois anéis. A partir das células da fóvea e de cada anel são obtidas, por meio de alocação direta, as células medidas desde a base até a cintura; depois, fazendo uma média são obtidas as células calculadas.

Ao existir diferentes níveis de resolução no polígono foveal, pode-se trabalhar no mais

adequado, segundo a tarefa. Por exemplo, para uma tarefa de reconhecimento de rosto requer-se um bom nível de detalhe, o qual será executado na fóvea; ou para o caso de uma tarefa de detecção pode-se trabalhar em um nível com menor resolução do polígono.

Geometrias de fóvea móvel e adaptativa

Os primeiros sistemas de visão fóvea apresentavam a fóvea em uma posição central fixa, portanto precisavam de movimentos de câmera de alta precisão para centrar a área de máxima resolução no ponto de interesse. Além disso também era necessário um hardware de grande precisão para obter um movimento suave e preciso da câmera.

De esta maneira Arrebola e Camacho [5] propuseram as geometrias multi-resolução de fóvea móvel, as quais permitem reposicionar a fóvea em qualquer posição do campo de visão com o tamanho desejado, ou seja a fóvea e os anéis de resolução podem ser deslocados a qualquer ponto do campo de visão de acordo com os requisitos do sistema; Assim abranger dentro da fóvea o objeto presente no campo de visão sem a necessidade de movimentar a câmera.

As geometrias de fóvea móvel são definidas pelo tamanho ou pelo número de células associadas a cada nível de resolução e as mudanças relativas entre os diferentes níveis de resolução. Portanto, três tipos de geometrias de fóvea móvel têm sido desenvolvidas. Figura 9:

a) Fóvea móvel básica: Quando o tamanho dos níveis de resolução e do deslocamento relativo é constante. Nesta geometria o deslocamento da região das células calculadas permanece na mesma posição relativa em cada nível de resolução.

b) Fóvea de móvel estendida: Onde o tamanho de cada camada da estrutura é constante; mas as mudanças de deslocamento relativo, neste caso, o deslocamento entre os níveis de resolução sucessivos não precisam ser iguais.

c) Fóvea móvel de tamanho adaptativo: aqui o tamanho da fóvea e o tamanho dos níveis restantes podem variar e adaptar-se ao objeto de interesse da cena. Depois de ter determinado as dimensões de cada nível de resolução, o deslocamento entre eles é constante.

Aparentemente, a melhor opção é trabalhar com geometrias baseadas em fóvea móvel de tamanho adaptativo. Estas geometrias oferecem fóveas de diferente tamanho com capacidade de adaptação sobre qualquer objeto móvel [12],[13].

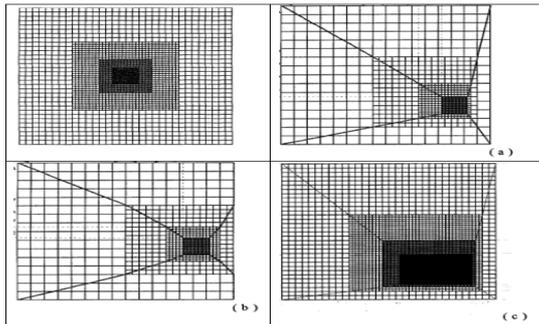


Figura 9. Geometrias de fóvea móvel e adaptativa.

Detecção de rosto em visão fóvea

A visão fóvea também foi introduzida em sistemas de detecção de sinais sociais. Um dos primeiros trabalhos de detecção de rostos que implementou visão fóvea foi desenvolvido por Brian Scassellati [6], o qual implementa um algoritmo em tempo real baseado na detecção dos olhos para reconhecer sinais sociais, como contato visual e direção do olhar.

O sistema utiliza um filtro baseado no movimento para identificar locais potenciais de localização do rosto. Os rostos detectados são monitorados em tempo real pelo sistema ativo de visão, usando um mapeamento senso-motor. O objetivo inicial do sistema é obter uma imagem de alta resolução que contenha um olho para seu posterior processamento. Figura 10.

Uma vez é focado o rosto, uma imagem de alta resolução do olho pode ser capturada pela câmera fóvea devido a que a câmera periférica tem um campo de visão muito amplo e não pode extrair as características do olho.



Figura 10: Seis faces detectadas e os olhos.

O sistema tem duas câmeras em cada olho, uma que possui um grande ângulo de visão da periferia e uma que tem uma vista de ângulo estreito da área central (fóvea). A câmera periférica possui um campo de visão de aproximadamente 120 graus, enquanto a câmera fóvea tem um campo de visão de aproximadamente 20 graus.

Em seu artigo Scassellati apresenta os primeiros passos para construir sistemas robóticos que possam usar a direção do olhar como uma sinal social, utilizando um sistema de visão fóveal para obter um amplo campo de visão, mas mantendo uma zona de grande acuidade central.

Visão Fóvea em Animats

O trabalho Demetri Terzopoulos, Tamer Rabie e Radek Grzeszczuk [7], descreve um mundo marinho virtual habitado por animais, como um laboratório de vida artificial para o desenvolvimento e avaliação de percepção. Figura 11. O trabalho está baseado em estudos prévios de visão fóvea em animats, realizados por Cliff y Bullock [8]. Em particular Terzopoulos, Rabie e Grzeszczuk, propõem estratégias ativas que permitem a percepção em animais marinhos artificiais para navegar proposadamente através de seu mundo. Os peixes analisam o fluxo de imagens fóveas adquiridas de seus olhos. A análise da imagem na retina dos peixes é realizada utilizando algoritmos de visão computacional.



Figura 11. mundo marinho virtual

A funcionalidade básica do sistema de visão ativa começa com uma projeção em perspectiva binocular do mundo a cor, na retina de peixe artificial. A imagem da retina é atingida por gráficos fotorrealistas de representação do mundo a partir da perspectiva do animal. A imagem da retina cria campos visuais espacialmente não-uniformes com imagens de alta resolução e imagens da periferia de baixa resolução. Com base na análise da seqüência do fluxo de imagens da retina, o centro de percepção do cérebro fornece aos peixes artificiais de sinais de controle para os olhos e estabilização do campo visual durante a locomoção. O peixe artificial tem visão binocular e um sistema motor-ocular que

controla os movimentos dos olhos. Os movimentos dos olhos são controlados através de dois ângulos de olhar (θ β), que especifica a rotação horizontal e vertical do globo ocular, respectivamente, em relação ao quadro de coordenação da cabeça (quando os dois ângulos são iguais a zero, o olho olha para frente).

Em cada olho é implementado até quatro câmeras virtuais para aproximar o espaço uniforme típica dos sistemas visuais biológicos figura 12.

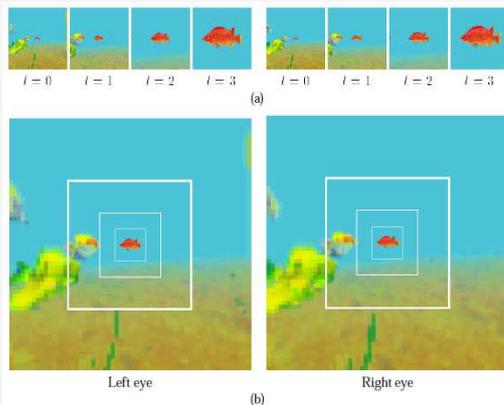


Figura 12. Formação da Imagem fóvea na retina binocular. (a) 4 imagens componentes; $l = 0, 1, 2$, são as imagens periféricas, $l = 3$ é a imagem da fóvea. (b) Imagens compostas da retina.

A figura 12(a) mostra um exemplo das imagens 64×64 das quatro câmeras do olho esquerdo e do olho direito. A câmera com o nível $l=0$ conta com o maior campo de visão (120 graus); mas o campo de visão diminui com o aumento de l . A imagem de maior resolução, nível $l=3$ é a fóvea e as outras constituem a periferia. A figura 12 (b). mostra as imagens 512×512 da retina binocular, composta a partir das imagens da parte superior da figura.

O mecanismo de visão fóvea dos peixes fornece uma eficiência computacional significativa desde o processamento de quatro imagens 64×64 em vez de um componente uniforme da imagem da retina 512×512 .

Visão fóvea em humanóides

Também os sistemas humanóides podem integrar informações da câmera fóvea e periférica. O objetivo principal é um robô humanóide que possa usar a visão periférica para detectar e rastrear eventos e objetos interessantes. Ude, Atkeson e Cheng tinham desenvolvido um sistema humanóide que implementa a visão

fóvea [9]. Cada detecção faz que o robô direcione os olhos ao objeto, assim fazer uma análise detalhada dos objetos olhados através da fóvea, figura 13a. Um evento de detecção dá origem a movimentos oculares sacádicos, então o robô começa a monitorar a área de interesse, que permanece visível na região de alta resolução fóvea do olho, mas também é assistido pela visão periférica em caso de falha do seguimento da câmera fóvea, figura 13b.

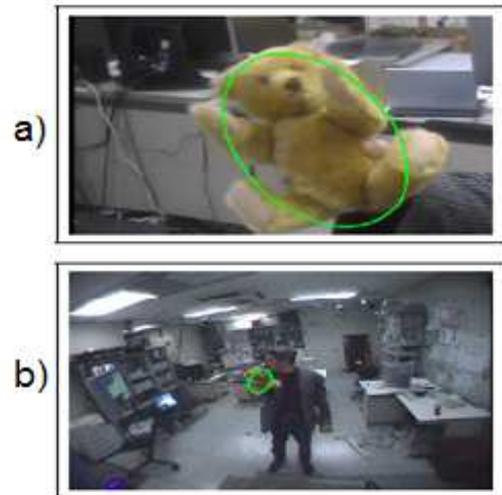


Figura 13. Detecção e monitoramento em visão fóvea. a) visão fóvea e b) visão periférica.

O reconhecimento é baseado na análise de componentes principais e é feito quando o robô faz um monitoramento ativo do objeto detectado. Os resultados de classificação são reduzidos com a informação de uma seqüência de vídeo em vez de só uma imagem. Quando o objeto desejado é reconhecido, o robô atinge para ele, ignorando outros objetos.



Figura 14. Sistema humanóide utilizado por Ude. O robô possui duas câmeras em cada olho.

Cada olho do robô tem duas câmeras, figura 14: Uma câmera de angulo amplo (100 graus) para visão periférica e uma câmera de angulo estreito (24 graus) para a visão fôvea. A câmera fôvea está localizada acima da câmera periférica.

Finalmente, a visão fôvea de alta resolução fornece ao robô de uma descrição mais detalhada dos objetos detectados e eventos sobre os quais o robô pode tomar novas medidas ou agir. Muitas investigações têm sido realizadas baseados em visão fôvea para detectar e rastrear objetos de interesse adquiridos por um sistema de visão humanóide.

Extrapolação Fôvea de Vídeo

O sistema desenvolvido por Tamar Avraham e Yoav Y. Schechner é um sistema centrado nas vantagens da visão fôvea [10]. Eles consideram a tarefa de criar extrapolção visual, ou seja, uma continuação sintética do campo visual, criando uma continuação do espaço de vídeo fora do campo da visão. A extrapolção fôvea de vídeo aproveita as características multiresolução dos sistemas de visão humana, para permitir uma extrapolção de vídeo eficiente.

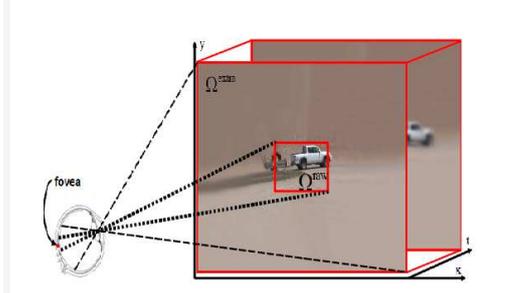


Figura 15. Extrapolção fôvea de vídeo.

Na figura 15, uma entrada de vídeo não extrapolada Ω_{raw} , corresponde à região que abrange a fôvea. Logo é extrapolada sobre um domínio Ω_{extra} . Esta região extrapolada está fora da fôvea. Assim, o vídeo extrapolado pode ser sintetizado e exibido em uma escala gradual, porque a região extrapolada se expande através de uma resolução fôvea natural.

A extrapolção de vídeo é projetada com o propósito de melhorar a sensação do espectador, para ser integrada na cena em vez de ver um plano de fundo do mundo sem relação. Na Figura 16, a partir de uma entrada de vídeo I_{raw} , são construídas as etapas intermédias do processo de extrapolção I_0, \dots, I_8 . Produzindo um resultado final I_{out} .

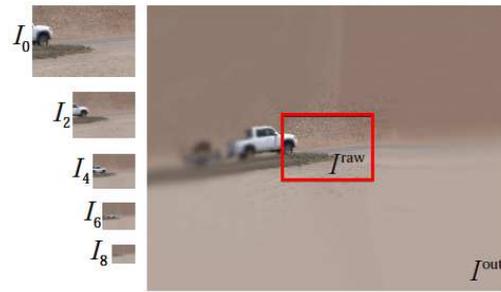


Figura 16. Imagem de um filme que foi extrapolado.

Futuro da visão fôvea em TV.

Recentemente cientistas do instituto de robótica da universidade Carnegie Mellon em Pittsburgh apresentaram na Conferência Internacional IEEE sobre Fotografia Computacional (ICCP) 2011[14] o método de extrapolção fôveal de vídeo. O objetivo do algoritmo apresentado é tornar a experiência de assistir filmes na televisão mais envolvente. Assim no futuro a TV, vai tender a desenvolver sistemas de vídeo enfocados em criar no espectador uma sensação de estar integrado na cena.

Conclusão

Este artigo faz uma abordagem geral sobre alguns tópicos de sistemas de percepção artificial baseados na visão fôvea. Este trabalho faz uma descrição histórica sobre as pesquisas desenvolvidas em sistemas de visão fôvea cujo propósito inicial é a redução seletiva de dados nas cenas, ajudando a reduzir os requisitos de computação do sistema global. Mas, ao longo dos anos foram desenvolvidos sistemas de visão ativa em agentes robóticos e virtuais os quais implementam a visão fôvea com o propósito de detectar objetos no espaço e realizar análises detalhados dos objetos detectados. Assim a visão fôvea e periférica forneceu a otimização no tratamento da imagem em sistemas de visão artificial.

Alem disto, atualmente há uma tendência para desenvolver sistemas artificiais semelhantes aos seres humanos, o que incentiva o uso de visão fôvea. Agora grande "hardware display" de alta qualidade, incluindo televisão e monitores de computador tornaram-se elementos comuns dos consumidores. Portanto, muito esforço é colocado hoje em dia na tecnologia de vídeo com o objetivo de uma experiência de visualização mais agradável e mais envolvente, melhorando assim a aparência da área encapsulada dentro do campo de visão

Para concluir é importante ressaltar que neste trabalho é citado um numero reduzido de

desenvolvedores, tendo em conta a grande quantidade de pesquisas existentes na atualidade. Escrever um artigo sobre o estado da arte da visão foveal, é sem dúvida uma tarefa difícil. Um artigo não pode ser apenas uma lista dos itens mais importantes. Esta lista seria muito extensa e muito pouco poderia ser dito sobre cada trabalho.

Referencias

[1] Peter J. Burt 1988 "Attention Mechanisms for Vision in a Dynamic World". David Sarnoff Research Center Subsidiary of SRI International, Princeton. Pattern Recognition, 1988., 9th International Conference on, 1988.

[2] Dana H. Ballard. "Reference Frames for Animate Vision". Computer Science. Animate vision. Artificial intelligence 48(1991) p.57-86. Department University of Rochester. 1991.

[3] MARTIN JOTINER, INGO RENTSCHLER "Reduced Perceptual Dimensionality in Extrafoveal Vision" Vision Res., Vol. 36, No. 7, pp. 1007-1022, 1996.

[4] Cesar Bandera Peter D. Scott "Foveal machine Vision System" in proceedings of the IEEE international conference on systems, Man and Cybernetics, Cambridge, pp. 596-599, 1989.

"Hierarchical Multiresolution Data structures and algorithms for foveal vision system". IEEE international conference on system, man and cybernetics 1990.

[5] Fabian Arrebola, Pelegrin Camacho and Francisco Sandoval. "Vision System Based on Shifted Fovea Multiresolution Retinotopologies". Industrial Electronics Society, 1998. IECON '98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE. Departamento de Tecnologia Electronica. E. T. S. I. Telecomunicacibn, Universidad de Milaga.

[6] Brian Scassellati. "Eye Finding via Face Detection for a Foveated, Active Vision System" 1998. Technology Square. MIT Artificial Intelligence Lab Cambridge AAAI-98 Proceedings. Copyright © 1998.

[7] Demetri Terzopoulos, Tamer Rabie and Radek Grzeszczuk. "Perception and Learning in Artificial Animals". Department of Computer Science, University of Toronto. Published in Artificial Life V: Proc. Fifth Inter. Conf. on the Synthesis and Simulation of Living Systems, Nara, Japan, May, 1996.

[8] D. Cliff e S. Bullock. Adding "foveal vision" to Wilson's. animat. Adaptive Behavior, 2(1):49-72, 1993.

[9] Ale_s Ude, Christopher G. Atkeson, Gordon Cheng. "Combining peripheral and foveal humanoid vision to detect, pursue, recognize and act". IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, USA, October 2003, pp. 2173-2178.

[10] Tamar Avraham and Yoav Y. Schechner, Member, IEEE Department of Electrical Engineering." Ultrawide Foveated Video Extrapolation". , IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol.5, no. 3, 2011: in a Special Issue on Recent Advances in Processing for Consumer Displays.

[11] Luis Puig Morales. Sistema de seguimiento utilizando vision foveal. Tesis de grado, Septiembre 26, 2004.

[12] P. Camacho, F. Sandoval, j. A. Rodriguez. "Deteccion jerarquica de Moviles sobre Geometrias de Fovea Adaptativa". Dept. de Tecnologia Electronica. Universidad de Malaga-españa. Revista electrónica de visión por computador (REVC).

[13] Pelegrin Camacho , Fabidn Arrebola and Francisco Sandoval. "Adaptive Fovea Structures for Space-Variant". Dpto. Tecnolofa Electronica - E.T.S. Ingenieros de Telecomunicacion.

[14] "The method of foveated video extrapolation" . IEEE International Conference on computational photography (ICCP) 2011. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.