



Câmeras e LED walls: uma relação desafiadora

Klaus Weber, Diretor da Linha de Produtos de Câmera, Grass Valley

Este artigo foi apresentado pela primeira vez no SMPTE 2023 Media Technology Summit. Reimpresso com permissão da Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE®). © 2023 Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE).

Resumo

As LED walls se tornaram uma parte importante do design de cenários em muitas aplicações de mídia e entretenimento, mas também estão sendo cada vez mais usadas para cenários virtuais e aplicações semelhantes.

No entanto, existem vários desafios em combinação com as câmeras que muitas vezes dificultam a obtenção de um resultado ideal. Um problema fundamental é que tanto os painéis de LED quanto os sensores de imagem das câmeras usam estruturas de pixels discretas, o que em certos casos pode causar interferências entre essas duas estruturas, portanto dependendo da aplicação, é necessário evitar determinadas posições da câmera e configurações de imagem, o que

por sua vez pode levar a limitações indesejadas na composição da imagem. Existem maneiras limitadas de minimizar essa possível interferência com um determinado painel de LED, mas, na câmera, há algumas opções para obter o melhor resultado possível por meio de pré-filtragem óptica otimizada. No entanto, a extensão do problema depende muito da tecnologia de câmera utilizada. As câmeras que possuem a mesma resolução para todas as três cores oferecem muito mais possibilidades de realizar a melhor pré-filtragem óptica possível de acordo com as circunstâncias.

Além disso, novas aplicações, especialmente em VR e AR, onde o painel de LED funciona com uma taxa de quadros maior, representam

desafios completamente novos para a tecnologia de captura de imagens. Para esses desafios, é de crucial importância que os sensores de imagem da câmera possuam um obturador global, pois essa é a única forma de expor e ler todos os elementos da imagem simultaneamente com um tempo de exposição curto. Além disso, existem possibilidades, especialmente em relação à câmera, para criar uma integração mais suave e fácil das câmeras no ambiente de produção, por exemplo, através de novas funcionalidades como a implementação de um circuito de atraso entre os sensores de imagem e o processamento de sinais para alterar o momento de exposição.

Introdução

Vários tipos de telas têm sido usados no design de cenários de produções televisivas há muitos anos.

Inicialmente, eram usados tubos de raios catódicos (CRT), que foram substituídos por telas de plasma e LCD ou projeções baseadas em LCD.

Também houve desafios para a tecnologia de câmeras ao usar telas CRT, principalmente a sincronicidade dos sinais do monitor e das câmeras. Frequentemente ocorriam artefatos, especialmente quando era necessário capturar vários monitores com fontes não sincronizadas ou monitores com uma taxa de quadros diferente da das câmeras. Alguns monitores de plasma usavam uma taxa de quadros independente da fonte do sinal, resultando em padrões de interferência muito semelhantes aos monitores CRT com taxas de quadros diferentes das da câmera. Na captura de monitores baseados em LCD, em geral, havia menos problemas devido a artefatos na



Figura 1 – Câmera em frente a um painel de LED durante um workshop da EBU na Leyard Europe.

reprodução da imagem.

No entanto, hoje as telas de LED (Fig. 1) são usadas quase exclusivamente quando é necessário um fundo

virtual em uma cena. Isso cria vários desafios em combinação com as câmeras que muitas vezes dificultam a obtenção de um resultado ideal.

Painéis de LED

Um problema fundamental é que tanto os painéis de LED (Fig. 2) quanto os sensores de imagem das câmeras (Fig. 3) usam estruturas de pixels discretas, o que em certos casos pode causar interferências entre essas duas estruturas, de modo que, dependendo da aplicação, é necessário evitar determinadas posições da câmera e configurações de imagem, o que por sua vez pode levar a limitações indesejadas na composição da imagem.

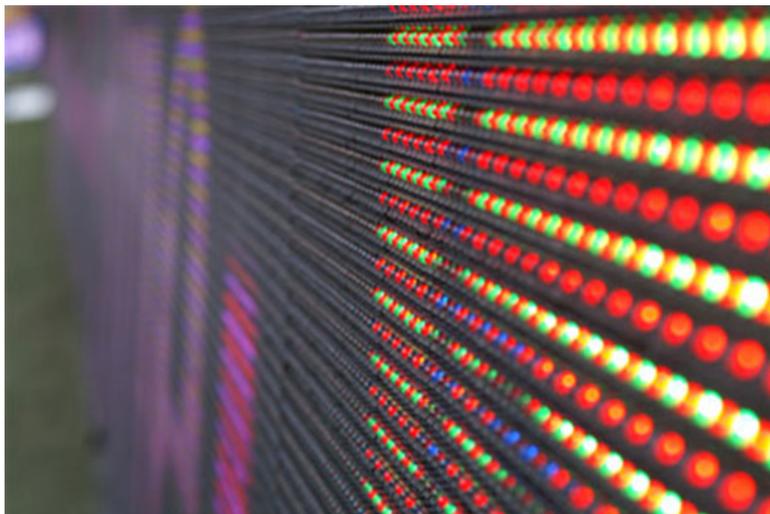


Figura 2 – Close up de um painel de LED.

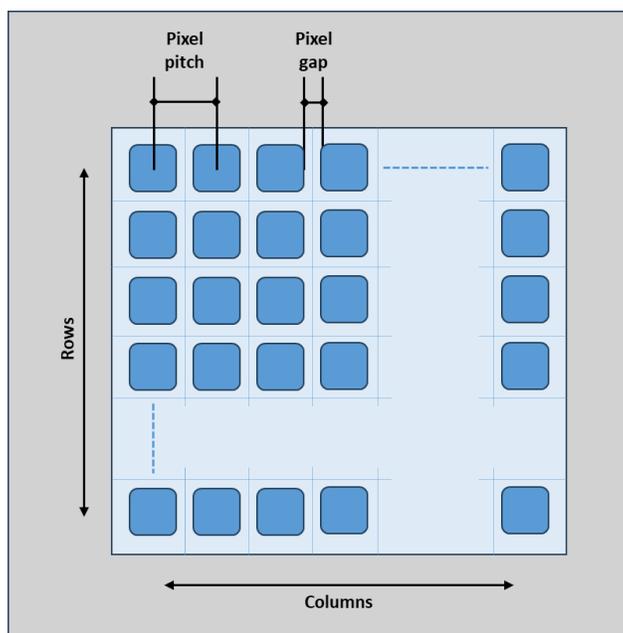


Figura 3 – Estrutura de pixels de um sensor de imagem de câmera.

Há uma grande variedade de painéis de LED para uma ampla variedade de necessidades e deveria haver uma ou mais versões que permitam um resultado de imagem ideal para a maioria das aplicações.

Em princípio, os painéis de LED com menor “pixel pitch” (distância entre os pixels) são sempre preferíveis, mas o fator de preenchimento (Fig. 4) também deve ser levado em consideração, sendo que um fator maior sempre proporciona melhores resultados.

No entanto, uma distância de pixel menor com o mesmo tamanho de painel também significa maior resolução, o que por sua vez exige mais esforço dos processadores de imagem. Portanto, nem sempre é possível escolher um painel de LED livre de todas as restrições, devido à disponibilidade do tamanho desejado ou, de forma muito mais trivial, devido aos custos.

Com qualquer painel de LED, existem maneiras limitadas de minimizar essa possível interferência. No

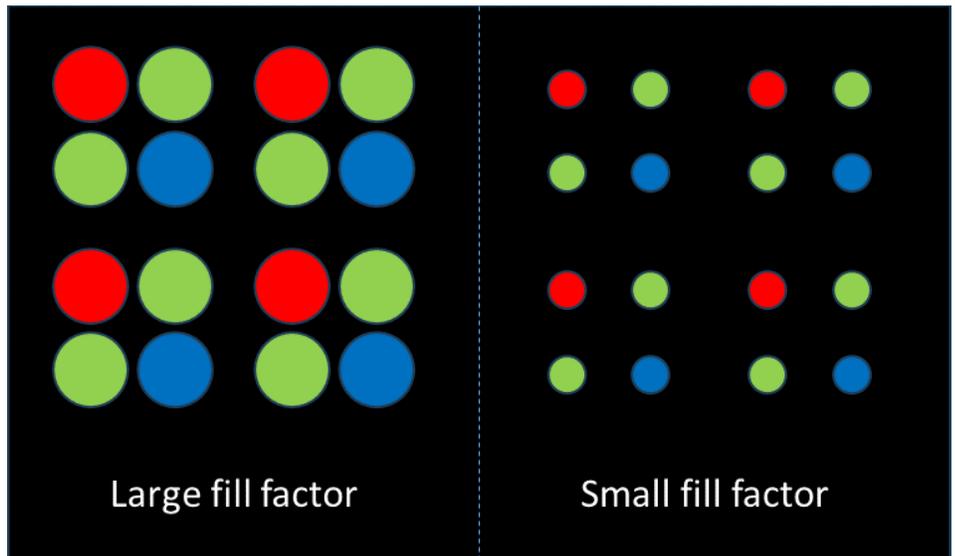


Figura 4 – Comparação do fator de preenchimento em painéis de LED.

entanto, na câmera, há algumas opções para obter o melhor resultado possível por meio da pré-filtragem óptica otimizada. A extensão do problema de interferência depende muito da tecnologia de câmera usada. As câmeras que têm a mesma resolução para todas as três cores oferecem

muito mais opções para permitir a melhor pré-filtragem óptica possível para cada situação do que as câmeras com um único sensor de imagem com uma matriz de filtros de cores.

Sensores de imagem da câmera

Atualmente, as câmeras profissionais usam apenas sensores de imagem CMOS. As versões anteriores geralmente tinham um obturador “rolling shutter”, mas a maioria dos sensores atuais tem um obturador “global shutter”. Com o obturador global, todos os pixels são sempre lidos e resetados simultaneamente em todos os modos de operação, enquanto que com o “rolling shutter”, cada pixel tem um momento de exposição diferente no tempo.

Na maioria das aplicações, inclusive na captura de painéis de LED, não há grande diferença entre as duas

versões de obturador. No entanto, é importante observar que há determinadas aplicações que só funcionam com um obturador global. Essas são, por exemplo, todas as aplicações em que o painel de LED opera com uma taxa de quadros maior e em que a câmera usa um tempo de exposição curto para capturar uma imagem do painel de LED em um momento específico.

Por um lado, o número crescente de pixels nos sensores da câmera devido aos novos formatos de vídeo leva a um aumento na resolução da imagem, mas também há cada vez

mais situações em que as estruturas de pixels dos sensores da câmera e das paredes de LED interferem umas nas outras. No entanto, há alguns pontos a considerar que têm impacto nesses problemas. Isso inclui medidas específicas em relação à câmera para minimizar a interferência, mas também aspectos que afetam a qualidade da imagem resultantes de condições físicas.

Resolução/Nitidez

Em um sistema de câmera, vários parâmetros influenciam a nitidez da imagem [1], incluindo o número de pixels, o desempenho MTF da lente e a filtragem óptica passa-baixa (Fig. 5).

Como o número de pixels é determinado pelo formato do vídeo e o desempenho MTF da lente tem limites práticos, a única coisa que pode ser influenciada no desenvolvimento da câmera é a filtragem óptica passa-baixa.

De acordo com o teorema de Nyquist, para uma amostragem livre de interferências, nenhum sinal deve estar presente acima da metade da frequência de amostragem, o que significa que a filtragem óptica passa-baixa ideal deve cortar o sinal da imagem com uma borda acentuada logo abaixo da metade da frequência de amostragem.

No entanto, esse filtro óptico “brick-wall” (linha pontilhada verde na Fig. 6) não existe e, em vez disso, é usado um filtro óptico passa-baixa que tem uma resposta cosseno com uma atenuação suave na frequência de amostragem (linha pontilhada azul na Fig. 6). Essa filtragem oferece um bom equilíbrio entre a nitidez da imagem e o comportamento de aliasing da câmera.

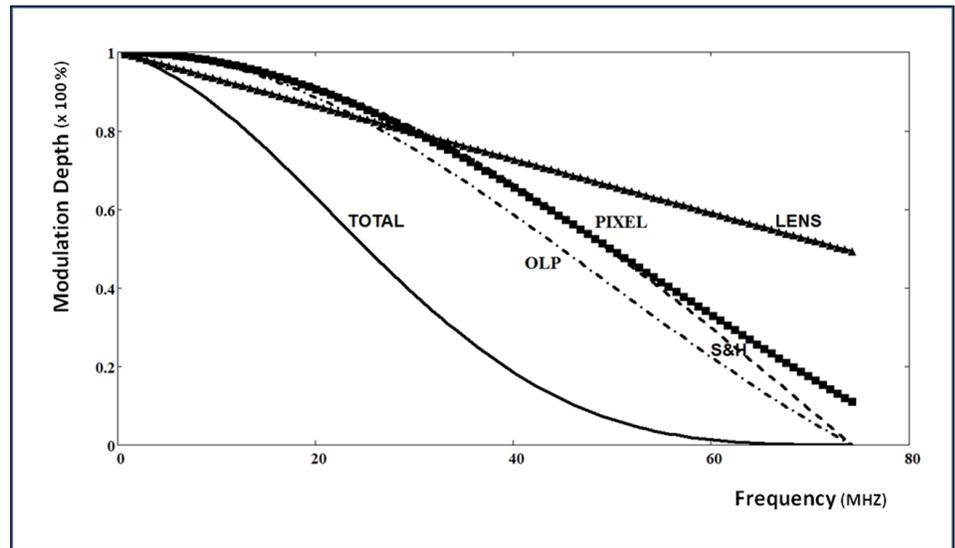


Figura 5 – Parâmetros que influenciam a nitidez da imagem.

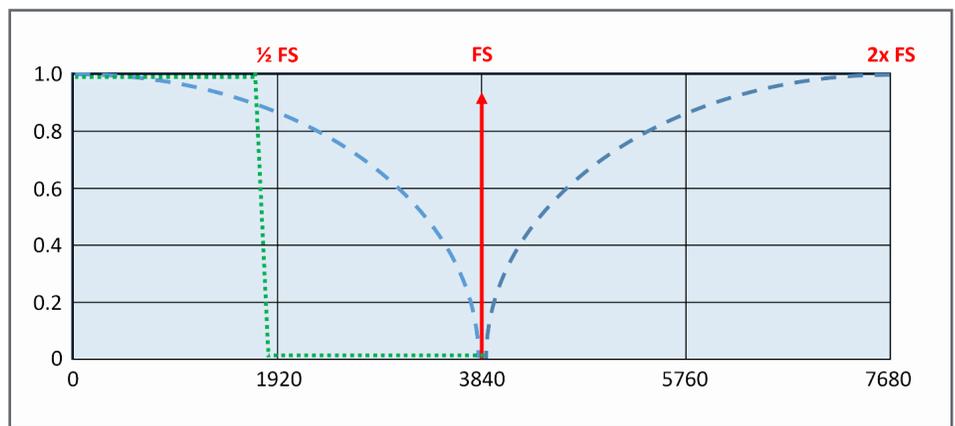


Figura 6 – Filtragem óptica passa-baixa em um sensor de imagem UHD.

Filtragem otimizada para situações críticas de alias

Como já mencionado, a sobreposição das estruturas de pixels dos painéis de LED e dos sensores da câmera pode causar interferências, que são perceptíveis pelo aliasing na imagem. Essas perturbações, que são frequências de dobramento de baixa frequência, não podem ser filtradas posteriormente. Portanto, só podemos evitar que elas ocorram. Para isso, é possível usar filtros ópticos passa-baixa adicionais na câmera, que normalmente têm uma fenda na metade da

frequência de amostragem. Isso reduz significativamente o aliasing, mas como resultado a resolução da imagem é prejudicada.

Porém, como a nitidez percebida da imagem não depende tanto da reprodução das frequências mais altas, mas sim da profundidade de modulação das frequências médias, por exemplo a frequência onde a MTF é 50% do valor máximo, bem como a área sob a curva MTF [2], que não muda muito devido à filtragem adicional, as perdas

são aceitáveis para a maioria das aplicações.

No entanto, a perda de resolução é a razão pela qual essa filtragem óptica passa-baixa adicional não é usada como padrão, mas apenas como uma opção quando necessário. Além disso, podem ser utilizados filtros com características de atenuação simples ou dupla, em que a relação entre a redução de alias e a perda de nitidez muda em uma direção ou outra.

A Figura 7 mostra as características dos vários filtros ópticos passa-baixa opcionais, mas a redução na MTF também pode ser claramente observada.

A Figura 8 mostra a MTF total resultante de um sistema de câmera. É possível observar claramente que as perdas são muito menores do que se esperaria considerando apenas os filtros.

Sensor de imagem único versus 3

A maioria das câmeras de broadcast usa três sensores de imagem, com um divisor de cores de prisma que divide a luz da cena em três cores (Fig. 9). Essas separações de cores são então capturadas por três sensores de imagem idênticos de largura de banda total. A frequência de varredura é, portanto, idêntica para todas as três cores e a pré-filtragem óptica ideal que deve ocorrer na frente dos sensores é idêntica para todas as cores.

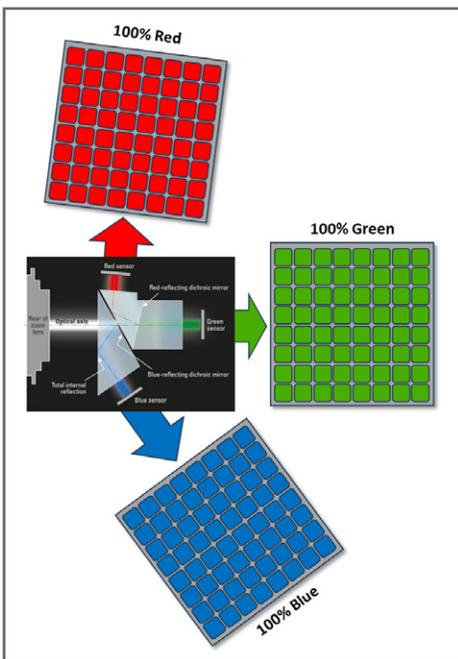


Figura 9 – Separação de cores em uma câmera de broadcast típica com 3 sensores de imagem.



Figura 7 – Comparação da MTF dos diferentes filtros ópticos passa-baixa.

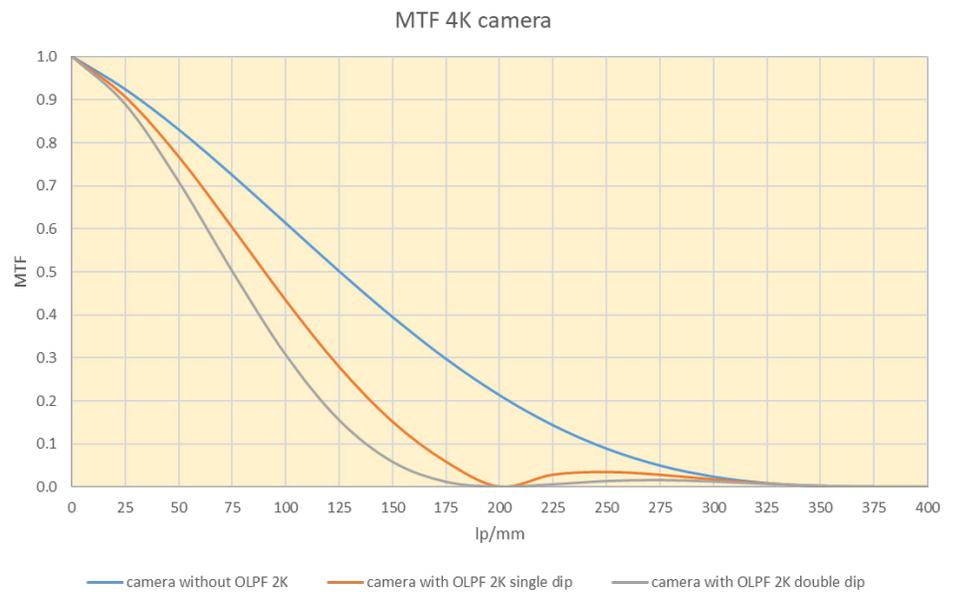


Figura 8 – Comparação da MTF geral de um sistema de câmera com diferentes filtros ópticos passa-baixa.

Isso é diferente em uma câmera de sensor de imagem único com um filtro de mosaico de cores aplicado ao sensor, geralmente baseado no princípio do padrão Bayer, em que cada segundo pixel tem um filtro verde e cada quarto pixel tem um filtro azul ou um filtro vermelho (Fig. 10).

Como resultado, as diferentes cores têm uma frequência de amostragem diferente e, portanto, não é possível uma filtragem óptica passa-baixa ideal para todas as cores ao mesmo tempo.

Na prática, o sinal verde é filtrado de forma ideal e as outras duas cores têm uma filtragem mais fraca, o que também se reflete claramente nas perturbações correspondentes na imagem (Fig. 11).

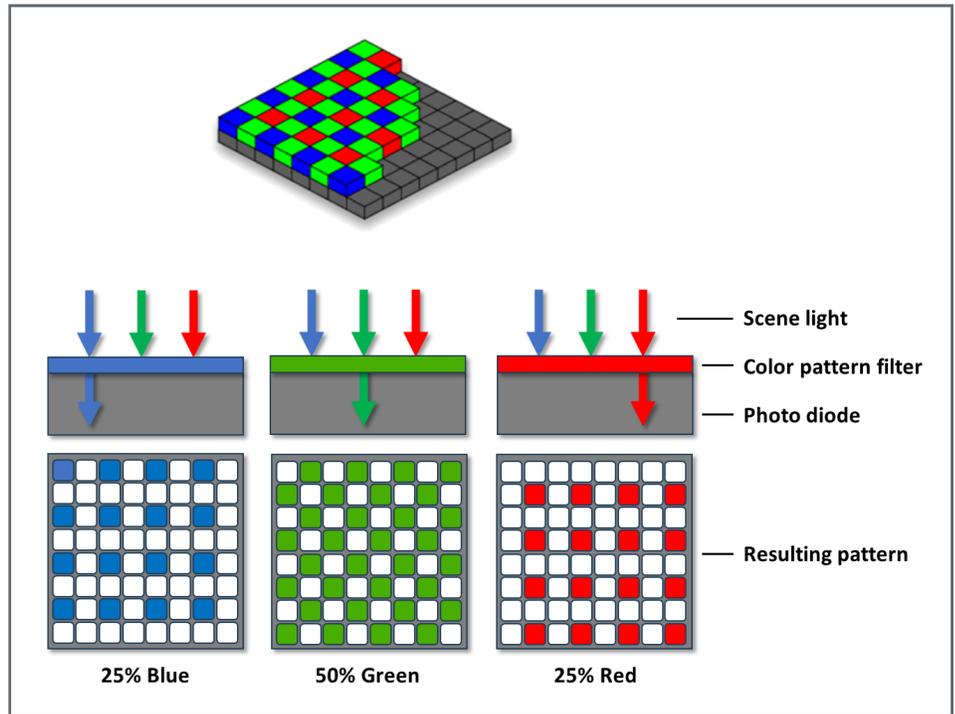


Figura 10 – Filtro de padrão Bayer em uma câmera com um único sensor de imagem.

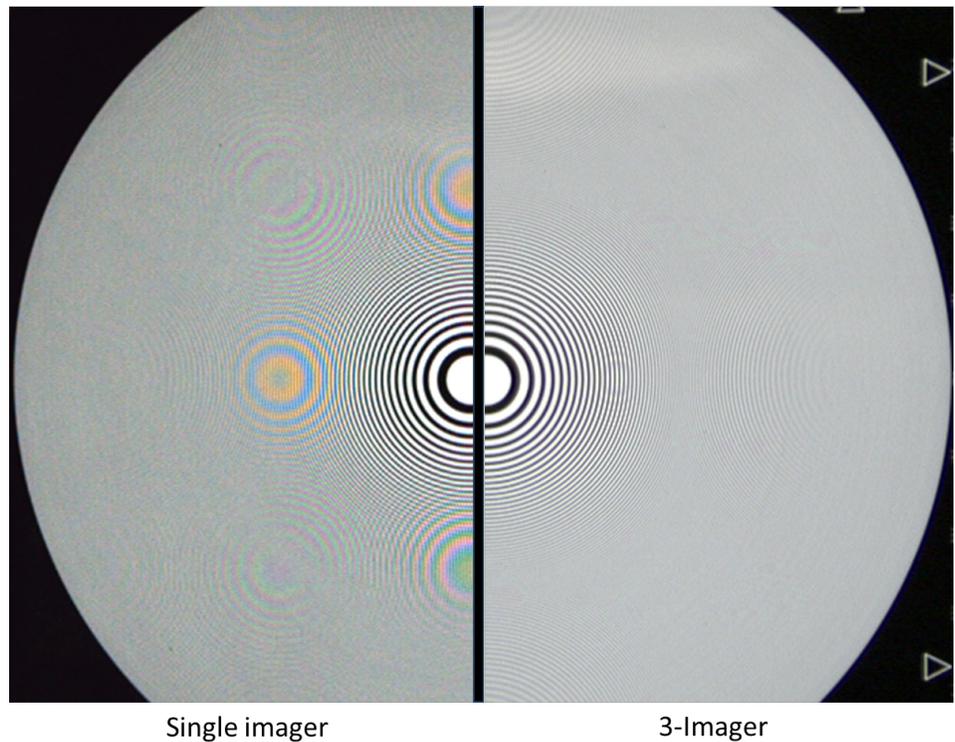


Figura 11 – Comparação do alias entre câmeras com um único sensor e com três sensores.

Novas aplicações

Realidade virtual (VR)/Realidade aumentada (AR)

Nas áreas de VR e AR, em particular, há aplicações em que o painel de LED opera com uma taxa de quadros maior, o que representa desafios completamente novos para a tecnologia de câmeras. A câmera funciona com um curto tempo de exposição, que é coordenado com o tempo de exposição de uma única imagem reproduzida pelo painel de LED.

Para essas aplicações, é de importância crucial que os sensores de imagem da câmera tenham um obturador global, pois só assim todos os elementos da imagem podem ser expostos e lidos simultaneamente em um curto tempo de exposição. Além disso, existem possibilidades, especialmente em relação à câmera, de criar uma integração mais suave e fácil das câmeras no ambiente de produção. Isso requer uma solução que permita a mudança contínua do tempo de exposição.

Obturador eletrônico

Um obturador eletrônico é usado para reduzir o tempo de exposição de uma câmera. Em um determinado momento, o obturador eletrônico apaga a carga acumulada nos fotodiodos, iniciando assim uma nova exposição. Assim, apenas a quantidade de carga acumulada entre o momento da eliminação e o momento da leitura é usada (Fig. 12).

Como selecionar a imagem

No entanto, o momento da exposição não pode ser selecionado livremente em comparação com a sincronização de estúdio, mas é sempre o período imediatamente anterior ao tempo de leitura do sensor da câmera.

É claro que o sinal de sincronização da câmera pode ser alterado de tal forma que o momento da exposição ocorra exatamente quando for necessário. Isso significaria, no entanto, que seria necessário um sinal de sincronização diferente para cada câmera que exigisse um momento de exposição diferente. Além disso, o sinal de

saída da câmera não estará mais sincronizado com o tempo do estúdio e terá que ser atrasado novamente até que esteja sincronizado com o restante dos sinais.

Porém, se for integrado em cada câmera um circuito que possibilite definir um atraso livremente selecionável de até um quadro entre a saída do sensor e o processamento do sinal, conforme mostrado no circuito chamado V-shift na Figura 13, o momento de exposição de cada câmera poderá ser livremente selecionado sem problemas.

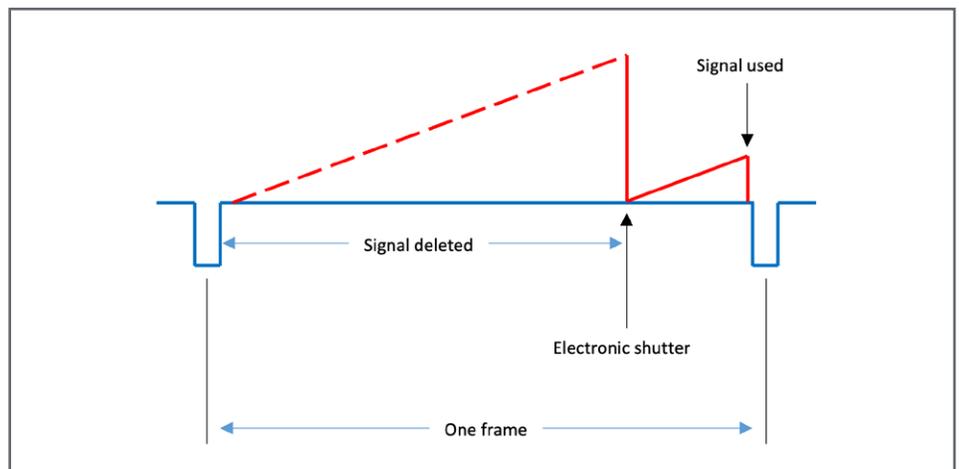


Figura 12 – Obturador eletrônico utilizado para reduzir o tempo de exposição.

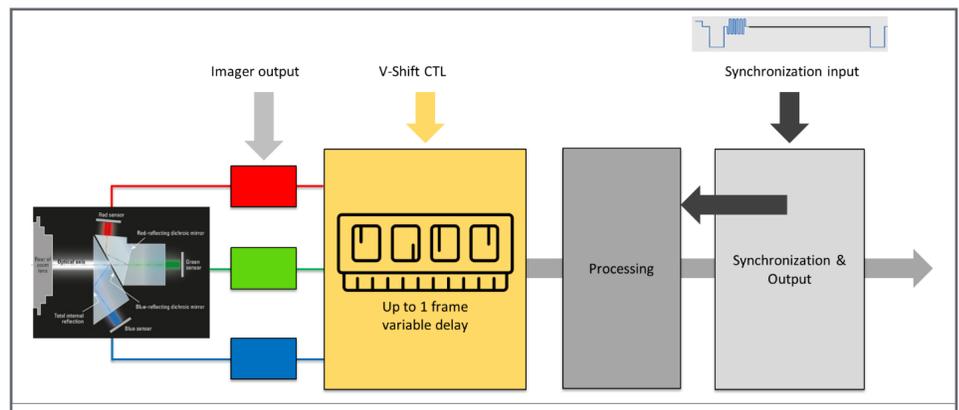


Figura 13 – Circuito de atraso variável V-Shift entre a saída do sensor de imagem e o processamento do sinal.

A Figura 14 mostra um exemplo de uma situação em que o painel de LED opera com 4 vezes a frequência da imagem e a câmera deve capturar apenas a terceira imagem.

Para isso, o obturador eletrônico é ajustado para menor ou igual a 1/200 segundos (a 50 Hz) ou a 1/240 segundos (a 59,94 Hz) e, em seguida, a configuração V-Shift é alterada até que o momento de exposição dos sensores da câmera esteja exatamente sincronizado com a imagem desejada no painel de LED. Em comparação com a alteração dos sinais de sincronização da câmera, essa solução é muito mais fácil de usar, mais flexível e economiza tempo.

Como capturar várias imagens

Além da necessidade de capturar apenas uma única imagem de um painel de LED operado com uma taxa de quadros mais alta, também existem aplicações em que todas as imagens são necessárias. Para isso, a câmera deve operar com a mesma taxa de quadros que o painel de LED e, além disso, o momento de exposição ainda deve ser alterado. Para reduzir a diafonia entre duas imagens, pode ser útil reduzir um pouco o tempo de exposição com a ajuda do obturador eletrônico.

A sensibilidade dos sensores da câmera diminui em proporção direta ao tempo de exposição e, devido ao tempo de exposição significativamente reduzido nessas aplicações, os requisitos para a sensibilidade à luz dos sensores de imagem são muito altos.

No entanto, ainda mais problemática é a solução frequentemente usada com câmeras UHD em operação de alta velocidade para ler apenas uma pequena parte dos pixels UHD.

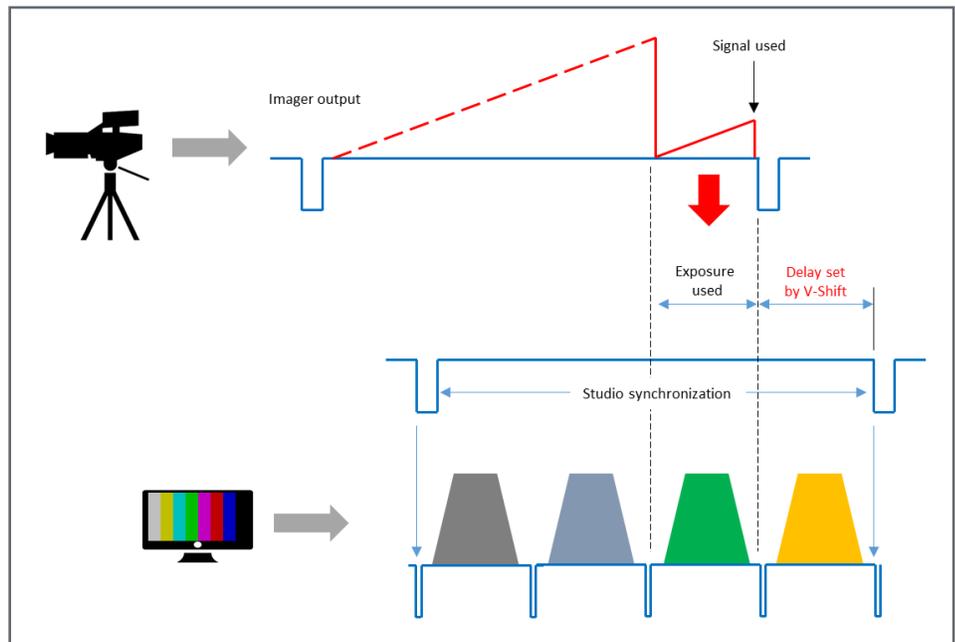


Figura 14 – Obturador eletrônico e função V-Shift para selecionar uma única imagem.

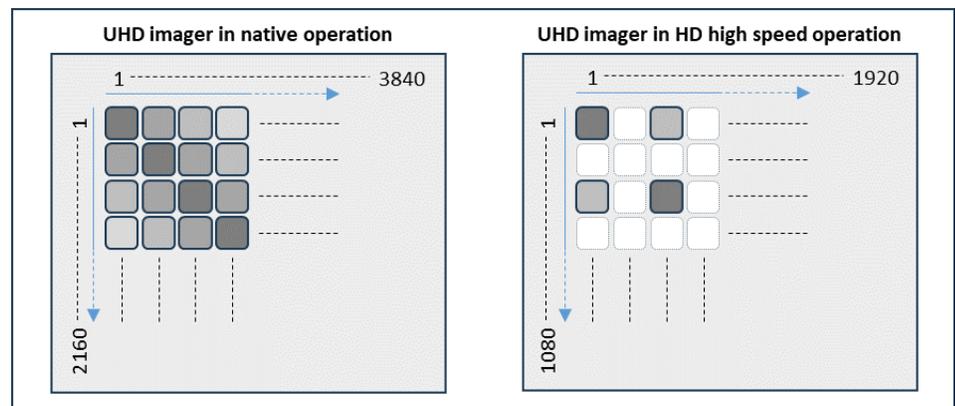


Figura 15 – Comparação de sensores de imagens UHD em operação nativa e em operação HD de alta velocidade.

Nesse caso, somente cada segundo pixel no plano horizontal e cada segunda linha são lidos (Fig. 15). Dos 3840x2160 pixels dos sensores UHD, 1920x1080 ou Full HD são lidos, mas isso gera grandes áreas insensíveis à luz entre os pixels lidos, o que

por sua vez não oferece resultados aceitáveis em aplicações com painéis de LED, especialmente devido à interferência de alias.

Entretanto, a possibilidade de ler todos os elementos de imagem ativos dos sensores de imagem na taxa de repetição de quadros necessária, como 3x (150/180) ou 6x (300/360), oferecerá a melhor solução possível. Mesmo com essas soluções, somente as câmeras com três sensores de imagem fornecerão os melhores

resultados possíveis.

A última geração de sensores CMOS UHD de 2/3" já permite a operação com até 6 vezes a taxa de quadros, mesmo em conexão com o obturador global [4/5].

No entanto, os desafios para os sensores de imagem e o subsequente

processamento do sinal são muito elevados: o requisito de largura de banda aumenta na mesma medida que a taxa de atualização (ou seja, a 6 vezes a velocidade), é necessária uma largura de banda 6 vezes maior, e com três sensores UHD de 16 bits, há sinais com mais de 300 Gbps para processar.

$$3x (4224 \times 2248 \text{ pixels}) \times 16 \text{ bits} \times 359,64 \text{ quadros} \times \text{amostragem de 2 vezes (para CDS)} = 327,84 \text{ Gbps}$$

A conversão de sinais UHD nativos dos sensores em sinais 1080p para processamento de sinal oferece qualidade de imagem ideal em 6x 1080p por meio de sobreamostragem pelos sensores e, portanto, representa uma solução ideal para muitas aplicações.

Conclusão

Como indica o título do artigo: "Câmeras e LED walls: uma relação desafiadora", o uso de câmeras juntamente com painéis de LED traz consigo alguns desafios especiais. Mas, como sempre acontece, existem soluções para alcançar o melhor resultado possível, apesar dos desafios.

Essas soluções incluem filtros ópticos passa-baixa adicionais na câmera que são otimizados para aplicações de LED, circuitos de atraso adicionais no processamento de sinal da câmera para determinar livremente o tempo de exposição, e câmeras de alta velocidade com três sensores de imagem de 2/3" que podem operar

nativamente com varredura de pixels UHD na taxa de quadros necessária.

Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer a todos os seus colegas do departamento de P&D da fábrica de câmeras da Grass Valley em Breda pelo apoio e fornecimento de informações, em especial a Frank van der Weegen pelas informações no campo da filtragem óptica.

Parte deste trabalho foi pesquisada no projeto Penta da Mantis Vision e financiada pela RVO na Holanda.



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Referências

- [1] K. Weber, Dr. Ir. P. Centen “4K, HDR and Further Image Enhancements for Live Image Acquisition” apresentado na Conferência e exposição técnica anual SMPTE 2015, Hollywood, CA, outubro de 2015
- [2] Imatest, Documentation – v23.1 “Sharpness: What is it and How it is Measured”, www.imatest.com/support/docs/32-1/sharpness/
- [3] Dr. Ir. P. Centen “Pixel size and the effect on performance in 2K, 4K, 8K acquisition” apresentado na Conferência e Exposição SMPTE 2017, Sydney, Austrália, julho de 2017
- [4] K. Weber, J. Rotte “New Generation 2/3”, 9.5 Mpix CMOS Imager Combines Charge-domain Global Shutter Operation with Exceptional High-speed Capability” apresentado na Conferência e Exposição Técnica Anual SMPTE 2021, Virtual, novembro de 2021
- [5] K. Weber, J. Rotte, “A 2/3-in. 9.5-Mpixel CMOS Imager With High Frame Rate and HDR Capabilities” SMPTE Mot. Imag. J., Vol: 130 (Edição: 5), junho de 2021.

Este artigo foi apresentado pela primeira vez no SMPTE 2023 Media Technology Summit. Reimpresso com permissão da Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE®). © 2023 Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE). O autor é o único responsável pelo conteúdo desta apresentação técnica. A apresentação técnica não reflete necessariamente a posição oficial da Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE), e sua impressão e distribuição não constituem um endosso das opiniões que possam ser expressas. Esta apresentação técnica está sujeita a um processo formal de revisão por pares pelo SMPTE Board of Editors, após a conclusão da conferência.

WP-PUB-3-1051A-BR

Grass Valley®, GV® e o logotipo Grass Valley são marcas comerciais ou registradas da Grass Valley USA, LLC ou de suas empresas afiliadas nos Estados Unidos e em outras jurisdições. Os produtos Grass Valley listados acima são marcas comerciais ou registradas da Grass Valley USA, LLC ou de suas empresas afiliadas, e outras partes também podem ter direitos de marca registrada em outros termos aqui usados. Copyright © 2023 Grass Valley Canada. Todos os direitos reservados. Especificações sujeitas a alterações sem aviso prévio.

www.grassvalley.com Junte-se à conversa em [Facebook](#), [Twitter](#), [YouTube](#) e Grass Valley no [LinkedIn](#)