

氏名	LEE HYOUNG
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	総博甲第138号
学位授与年月日	令和元年9月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第669号
専攻名	総合理工学専攻
学位論文題目	A study on characteristics and verification method for moiré minimization in 3D display (3次元ディスプレイにおけるモアレ低減化に関する特性及び 検証手法の研究)
論文審査委員	主査 島根大学教授 矢野 澄男 島根大学教授 伊藤 文彦 島根大学教授 横田 正幸 島根大学准教授 鈴木 貢 島根大学准教授 荒川 弘之

論文内容の要旨

The moiré phenomenon in displays technology has been studied continuously since the 1960s. However, the moiré phenomenon cannot remove because of physical limitation. Therefore, moiré minimization technology is needed. Normally, moiré is called interference pattern, wavy pattern, or grid pattern, which refers to stripes that are created visually by the difference of these cycles when repeatedly joining repeated patterns. moiré patterns appear in many different situations. The moiré phenomenon can be found not only in a display monitor (TV), printed photographs, documents containing pattern images but also in buildings, clothing, etc... As mentioned above, the moiré phenomenon is one of phenomena easily found in our life. This moiré phenomenon is a major cause of discomfort to the viewer and lowering the quality of the image. For this reason, moiré minimization studies are needed. Theoretically, the moiré effect is a visual optical effect observed in regular superposed layers. The moiré phenomenon in the 3D display not only changes the moiré pattern according to the direction of the observer's view direction but also depends on the thickness and period of the display medium used. This difference is a major factor in deteriorating the quality of the image in the 3D display, which interferes with the viewer. The moiré fringes form a patterned background which is effectively added to a displayed image, and the image quality degrades. To provide the high quality, the visibility of the moiré patterns should be estimated and the moiré effect

should be minimized. In order to realize this moiré minimization method, definition of moiré, geometrical characteristic, color characteristic, period characteristic and mathematical expression should be studied.

Chapter 1 explains the theoretical principles of moiré and introduces the previous minimization method. It also explains the purpose of this study.

Chapter 2 describes the moiré characteristics in 3D displays. It has been experimentally verified that a chirped moiré pattern is produced when two overlapping regular patterned plates have a thickness. In order to this moiré verification, moiré's formula is expressed. In addition, a simulator for verification is developed. The chirped moiré fringes are shifted by changing the viewing position of the viewer, and the shifted period variation changes with increasing / decreasing viewing distance and viewing angle.

In Chapter 3, the color moirés in contact-type 3-D imaging represent differently from the conventional moirés based on beat phenomenon. The difference is in the presence of the VZFO (Viewing Zone Forming Optics) material thickness, a large period difference between the pixel and VZFO's equivalent line patterns and blocked pixel pattern by the VZFO line pattern. Also, we developed a method for quantification of moiré and performed experimental verification using by simulator.

In Chapter 4, the color moiré fringes appearing in the contact-type 3-D displays, can be characterized by developed equation. In order to this study, we explain using geometric conceptual diagrams and compare experimental results with simulated results using VZFO with different line thicknesses. The mathematical expressions are also applicable to various 3D displays and have been experimentally verified to reduce the contrast of the moiré pattern as the line thickness decreases in the VZFO line period.

In Chapter 5, I introduced an algorithm for simulating slanted color moirés for angular ranges of 0 to 45 degrees in a 3D display. In a 3D display, the color moiré is induced by periodically blocking the pixel pattern of the panel by the equivalent line pattern of the VZFO.

In Chapter 6, the parameters defining the image quality of 3-D imaging are defined. Also, we introduced the geometric principles of all contact multi-view 3-D images such as electronic hologram display, holographic, FLA / MID based on digital display chip. In particular, it describes the criteria for separating hologram and light field imaging from multiview imaging. To understand the phenomenon of moiré in the 3D display should know the difference and the geometric principles in 3D display. This understanding of 3D display is essential for understanding and minimizing moiré phenomenon in the future.

In conclusion, this thesis contributes to the verification of the characteristics of moiré generated in 3D display by the development of mathematical and simulator technology. These characteristics confirmed that the characteristics change depending on the observer's viewing direction, the thickness and period of the display medium used. In the slanted type 3D display, moiré phenomenon can also be defined using mathematical expressions and algorithms and can be confirmed by an experimental method through simulation. It is expected that this method will be useful for studying and minimizing the moiré phenomenon in various 3D displays.

論文審査結果の要旨

論文では多眼立体画像,あるいは,ライトフィールドディスプレイにおいて,画像表示パネル,光線制御素子からなる表示装置で生じるモアレに関し,その発生機序の定式化を行い,さらに,算出式に関し,実機によるシミュレーションによって検証を図るとともに,モアレを最小化するためのパラメータの導出を明らかにしている.この結果,モアレの完全な除去は不可能であるものの,各表示方式において最小に留めるパラメータの導出が可能となり,多眼立体画像表示,および,ライトフィールドディスプレイ等の設計に大きく寄与し,画質向上には大きな貢献が見込まれ,実用性において極めて高い研究成果となっている.

まず,多眼立体画像,ライトフィールドディスプレイ等の表示で用いられる光線制御素子として,パララックスバリア,レンチキュラーレンズを画像表示デバイスである液晶ディスプレイ等と正対して配置した場合には,従来のグレイティングパターンによるモアレとは異なり,光線制御素子でのパターン周期が表示デバイスの画素ピッチの数倍あること,光線制御素子と表示デバイスに距離間隔が生じること,表示デバイスには画素構造のみならずサブピクセルの構造を有することから,モアレパターンに関して新たな定式化の必要があることを指摘し,その導出,特にモアレのフリッジ,すなわち,外辺の周期に関して定式化を行い,その発生機序を解析している.その結果,モアレは,相対的にはレンチキュラーレンズがパララックスバリアに比べて低減する.また,モアレはチャープパターンとして見え,このパターンは視点位置,視方向の影響を受ける.さらに,チャープパターンは色彩情報を伴う.また,フリッジの周期は,表示デバイスの画素ピッチ,サブピクセルピッチ,光線制御素子のパターン周期,および,画素ピッチと光線制御素子のパターン周期の剰余を含む関数となることを見出し,定式化を行った.得られた導出式に関し,表示デバイスの画素ピッチ 2 種類,光線制御素子のパターン周期 5 種類,および,視距離 2 種で,実機を用いたシミュレーションを行い,結果は,計算値と整合することを確認し,モアレの低減に供するパラメータの検証を行っている.

さらに,表示パネルに対して光線制御素子をスラント,すなわち,傾斜させればモアレの大幅な低減が予測され,その有効性の検証を行っている.スラント角によるモアレのフリッジの周期の定式化を表示デバイスと光線制御素子が正対した条件にスラント角を付与し,導出している.さらに,導出した式の検証を図るために,実機によるシミュレーションを行った.光線制御素子のパターン周期 2 種類,スラント角度は 0 度から 45 度とした.この結果,計算値,および,実機によるシミュレーションで 35 度のスラントの場合に最もモアレが視覚的に低減することを見出した.しかしながら,光線制御素子の傾斜した配置では,光線制御素子のパターンに整合する画素数の低下,クロストークを考慮する必要があるとも指摘されている.

以上,本論文では,表示デバイス,光線制御素子からなる多眼立体画像,および,ライトフィールドディスプレイで必然的に生じるモアレに関し,従来のようにディフューザーの使用,特定の条件下でのモアレ低減を図るのではなく,汎用的に使用可能なモアレのフリッジ周期に関する式を導出し,さらに,その発生機序を解析し,実機によるシミュレーションで検証した後に,モアレを低減可能なパラメータの導出を図っている.これらの結果は,これまでの研究で得られてなく,今後の 3 次元画像表示装置の設計に大きく寄与し,特に,表示画像の品質の向上に大きな貢献が見込まれる研究結果であり,学位論文にふさわしい研究成果と認める.