

ТРАНСФЕР БОЈА ИЗМЕЂУ СЛИКА ПРОЦЕСИРАЊЕМ БОЈА У ПРОСТОРУ БОЈА

Зоран Миливојевић¹

Резиме: У првом делу рада описан је алгоритам за трансфер боја између слика. Након тога описана је модификација алгоритма у циљу повећања засићења боја у коригованој слици. Модификација је реализована у делу обраде слика у lab простору боја. У другом делу рада описан је експеримент и приказани резултати трансфера боја између слика са снажном и слабом композитном корелацијом. На крају је извршена анализа експерименталних резултата и указано на ефекат трансфера боја између слика.

Кључне речи: RGB простор боја. XYZ простор боја. LMS простор боја. lab простор боја. Трансфер боја.

COLOR TRANSFER BETWEEN IMAGE BY PROCESSING COLORS IN THE COLOR SPACE

Abstract: The first part of the paper describes the algorithm for transferring colors between images. After that, a modification of the algorithm to increase the color saturation in the corrected image is described. The modification of the algorithm was realized in the part where colors are processing in the lab color space. The second part of the paper describes the experiment and presents the results of color transfers between images with strong and weak composite correlation. Finally, an analysis of the experimental results was performed and the effect of color transfer between the images was pointed out.

Key words: RGB Color space. XYZ Color space. LMS Color space. lab Color space. Color transfer.

1. УВОД

Код дигиталног процесирања слике (*енг.* Digital Image Processing) јавља потреба за променом луминентних и хроминентних карактеристика једне слике у складу са карактеристикама друге слике. Овај начин процесирања слике назива се трансфер боја (*енгл.* Color transfer) и примењује се код: а) поправке квалитета слике, б) амбијенталне промене у слици (претварање слике снимљене при дневном светлу у слику са карактеристикама снимка при ноћном снимању), в) уклањања доминантних и непожељних боја (на пример жута боја код фотографије снимљене при дејству извора светлости са влакном за жарење), и др. (Masal, A., Dube. R., (2012)).

Сагласно начину анализе и трансформације боја између изворне (*енг.* source - извор) и одредишне, односно циљне (*енг.* target - циљ) слике, постоје алгоритми за: а) глобални и б) локални трансфер боја (Youngha. C., Suguru. S., Masayuki. N., (2003)). Код глобалног трансфера боја анализирају се карактеристике боја целе слике, и, у складу са тим, врши корекција циљне слике по целој површини. Овај трансфер боја може да доведе до појаве неприродних боја на неким површинама код циљних слика, нарочито изражено када изворна и циљна слика садрже велике регионе различитих боја. На пример, на изворној слици преовлађују површине ливаде са зеленим бојама док на циљној слици преовлађује површина мора. Тада се у циљној слици могу појавити значајне грешке у погледу врсте и засићења боја. Глобални трансфер се може користити код великог распона слика код којих постоји велика композитна корелисаност изворних и циљних слика (House. D., Greenfield. G., (2003)). Проблем неприродних боја може се у великој мери умањити применом алгоритама за локални

¹ Професор, Академија техничко-васпитачких струковних студија, Ниш, Србија, e-mail: zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs

трансфер боја, који подразумева трансфер боја између дефинисаних региона слика (Masal, A., Dube. R., (2012)).

Код већине постојећих алгоритама трансфер боја се врши применом глобалног трансфера и процесирањем боја у простору боја. Код RGB (енг. Red-Green-Blue - црвена-зелена-плава) простора боја постоји снажна корелисаност боја у сва три (R, G и B) канала. У раду (Reinhard. E., Ashikhmin, M., Gooch. B., Shirley. P., (2001)) описан је алгоритам за трансфер боја где се трансформација врши у $l\alpha\beta$ простору боја, због слабе корелисаности карактеристика боја између појединих канала. Слаба корелисаност између канала омогућава да се трансфер боја реализује независно у сваком каналу, без утицаја на друге канале. Тиме се сложена треодимензионална трансформација реализује помоћу три једноставније једнодимензионалне трансформације. Ова техника је ефикасна код великог распона слика код којих постоји снажна корелисаност композиција циљних и одредишних слика (Ruderman. D., Cronin. T., Chiao. C., (1998)).

У овом раду анализиран је ефекат глобалног алгоритма из (Reinhard. E., Ashikhmin, M., Gooch. B., Shirley. P., (2001))₂ којим се врши процесирање у $l\alpha\beta$ простору боја, на визуелни квалитет слике са трансферованом бојом. Након тога је описана модификација алгоритма у делу процесирања у $l\alpha\beta$ простору боја. Модификација је извршена скалирањем вредности у α (жуто-плаве боје) и β (црвено-зелене боје) каналу помоћу трансфер коефицијента k_t . Скалирање није вршено у l каналу зато што се њиме представљају само луминансе (сјајности), односно, l канал је ахроматски (енг. achromatic - без боје). Експерименталним путем је извршено генерисање слика за $k_t = 1 - 3$ и то за слике са великом и малом композитном корелацијом. На крају је извршена визуелна компаративна анализа слика са трансферованом бојом са великом и малом композитном корелацијом.

Рад је организован на следећи начин. У Секцији 2 приказан је алгоритам трансфера боја. У Секцији 3 описан је експеримент, приказани експериментални резултати и извршена компаративна анализа. Секција 4 је закључак.

2. АЛГОРИТАМ ТРАНСФЕРА БОЈА

У овом раду се врши процесирање слика у циљу трансфера боја алгоритмом описаним у (Reinhard. E., Ashikhmin, M., Gooch. B., Shirley. P., (2001)) као и модификованим алгоритмом у делу скалирања у $l\alpha\beta$ простору боја. Алгоритам се реализује у следећим корацима:

Улаз: X_s - изворна слика. X_t - циљна слика.

Израз: X_c - слика са трансферованом бојом

Корак 1: Разлагање боје слика (X_s, X_t), односно боје пиксела, на примарне R,G и B боје и њихово представљање у RGB систему.

Корак 2: Превођење боја пиксела из RGB у XYZ систем:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5141 & 0.3239 & 0.1604 \\ 0.2651 & 0.6702 & 0.0641 \\ 0.0241 & 0.1228 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Корак 3: Превођење боја из XYZ у LMS систем:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Корак 4: Превођење боја у логаритамски **LMS** простор:

$$\mathbf{L} = \log L, \quad \mathbf{M} = \log M, \quad \mathbf{S} = \log S, \quad (3)$$

Корак 5: Превођење боја из **LMS** у $l\alpha\beta$ простор:

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{6}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Корак 6: Израчунавање статистичких параметара (μ, σ) у $l\alpha\beta$ простору,

Корак 7: Превођење боја из $l\alpha\beta$ у $l^* \alpha^* \beta^*$ простор:

$$l^* = l - \mu_l, \quad \alpha^* = \alpha - \mu_\alpha, \quad \beta^* = \beta - \mu_\beta, \quad (5)$$

Корак 8: Скалирање на основу статистичких параметара (μ, σ):

$$l' = \frac{\sigma_l}{\sigma_s} l^*, \quad \alpha' = \frac{\sigma_\alpha}{\sigma_s} \alpha^*, \quad \beta' = \frac{\sigma_\beta}{\sigma_s} \beta^*, \quad (6)$$

Корак 9: Превођење боја из $l'\alpha'\beta'$ у **LMS** простор:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{6}}{6} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l' \\ \alpha' \\ \beta' \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Корак 10: Превођење боја из **LMS** у **LMS** простор:

$$L = 10^{\mathbf{L}}, \quad M = 10^{\mathbf{M}}, \quad S = 10^{\mathbf{S}}, \quad (8)$$

Корак 2: Превођење боја из **LMS** у **RGB** простор:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.4679 & -3.5873 & 0.1193 \\ -1.2186 & 2.3809 & -0.1624 \\ 0.0497 & -0.2439 & 1.2045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Ефекат примене трансфера боја описаним алгоритмом приказан је на слици. 1. Изворна слика (тест слика 1) приказана је на сл. 1.а. Циљна слика (тест слика 2) приказана је на сл. 1.б. На сл. 1.ц приказана је циљна слика након трансфера боја. На сл.2 приказани су положаји боја у **RGB** простору боја. На сл. 3 приказани су положаји боја у **LMS** простору боја. На сл. 4 приказани су положаји боја у $l\alpha\beta$ простору боја. На

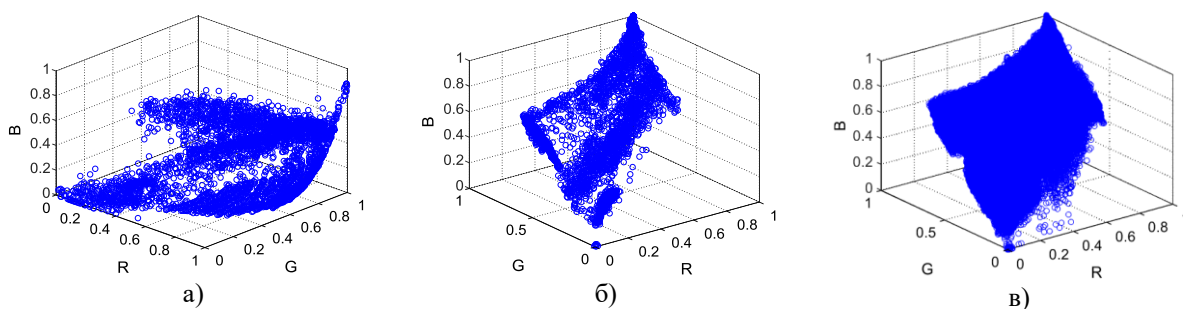
сл. 5 приказани су хистограми за R, G и B канале за изворну слику, циљну слику и слику након трансфера боја.

2.1. Модификација алгоритма

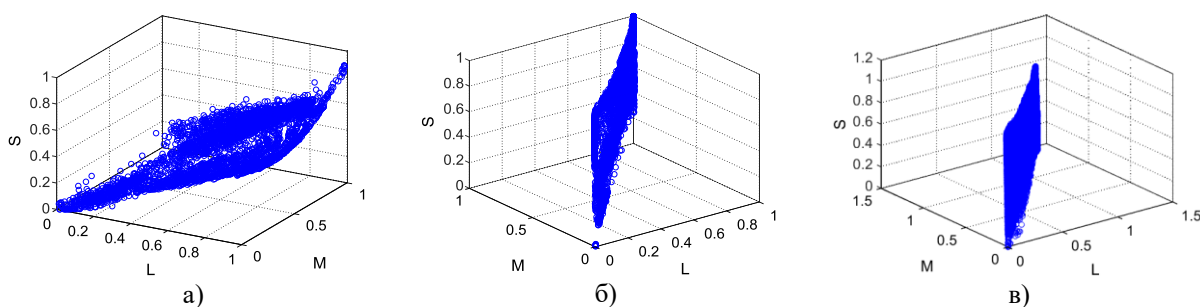
Трансфер боја између изворне и циљне слике реализује се процесирањем у $la\beta$ простору боја. Детаљна анализа показује да се у правцу α -осе налазе жуто-плаве боје, док се у правцу β -осе налазе црвено-зелене боје. У правцу l -осе представљене су лунинансе, односно l -оса је ахроматска. Трансфер боја остварује се на основу статистичких параметара слика у $la\beta$ простору боја, и то средње вредности μ и стандардне девијације σ . Трансфер се обавља модификовањем свих оса фактором σ_t/σ_s . У циљу повећања ефекта на корекцију боја приликом трансфера боја, извршена је модификација алгоритма тако што је уведен додатни трансфер фактор k_t којим се врши модификација у (α, β) равни. С обзиром да је l -оса ахроматска не врши се модификација трансфер фактором k_t . Једначина (5) постаје $\alpha' = \kappa_t \sigma_t^\alpha / \sigma_s^\alpha \cdot \alpha^*$ док једначина (6) постаје $\beta' = \kappa_t \sigma_t^\beta / \sigma_s^\beta \cdot \beta^*$.



Слика 1 – а) Изворна слика (тест слика 1), б) циљна слика (тест слика 2) и в) тест слика 2 након трансфера боја.



Слика 2 – RGB простори боја за: а) изворну слику, б) циљну слику и в) слику након трансфера боја.

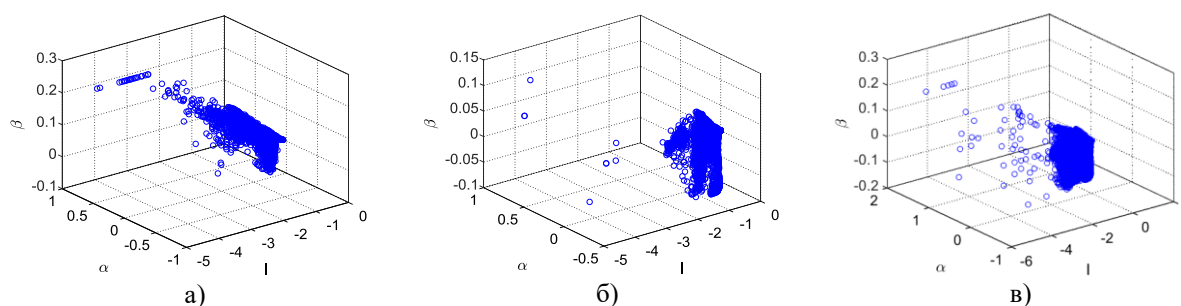


Слика 3 – LMS простори боја за: а) изворну слику, б) циљну слику и в) слику након трансфера боја.

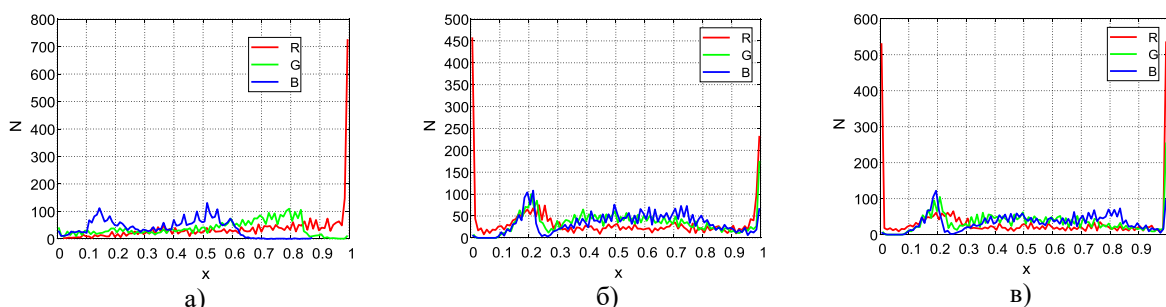
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

3.1. Експеримент

Спроведен је експеримент у коме је вршена анализа ефекта коефицијента трансфера као и композиције између слика. Над сликама из базе слика примењен је оригинални алгоритам (секција 2) и модификовани са трансфер коефицијентима $k_t = 1.5:0.5:3$. Коришћене су изворне и одредишне слике са и без композитне зависности. Резултати експеримента су слике са трансферованом бојом. Трансфер боја се примењује до би се утицало на визуелни доживљај слике. Из тог разлога нису примењене никакве објективне мере квалитета слика (на пример MSE, PSNR, NC, SSIM и др) јер оне указују на вредност одступања модификоване слике у односу на оригиналну, а у овом случају се намерно доводи до разликовање слика у луминентном и хроминентном смислу.



Слика 4 – $\alpha\beta\gamma$ простори боја за: а) изворну слику, б) циљну слику и в) слику након трансфера боја.



Слика 5 – Хистограми за R, G и B канале (пикселе) за: а) изворну слику, б) циљну слику и в) слику након трансфера боја.

3.2. База слика

База слика садржи сто слика из NRCS Photo Gallery, као и неких уметничких фотографија и фотографија слика великих сликара које су доступне преко интернета.

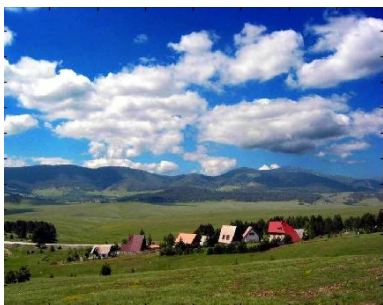
3.3. Резултати

На сл. 6 приказане су изворне тест слике различите композитне структуре: а) тест слика 1 (море, небо, залазак сунца), б) тест слика 3 (ливаде, планине, небо са облацима) и в) тест слика 5 (фотографија уметничке слике (море, камене куће). На сл. 7 приказане су циљне тест слике различите композитне структуре: а) тест слика 2 (море, небо, залазак сунца), б) тест слика 4 (ливаде, планине, небо са облацима) и в) тест слика 6 (море, планине, небо са облацима, камене куће). Изворне и одговарајуће циљне слике изабране су тако да буду сличне у композитном смислу. На сл.8 приказане су слике са трансферованим бојама након примене оригиналног алгоритма ($k_t = 1$). Тест слике са трансферованим бојама добијене помоћу модификованог алгоритма приказане су на: а) сл. 9 ($k_t = 1.5$), б) сл. 10 ($k_t = 2$), в) сл. 11 ($k_t = 2.5$) и г) сл. 12 ($k_t = 3$). На сл.13 и сл. 14

приказане су тест слике са различитим композитним структурама као и слике са трансферованим бојама.



а)

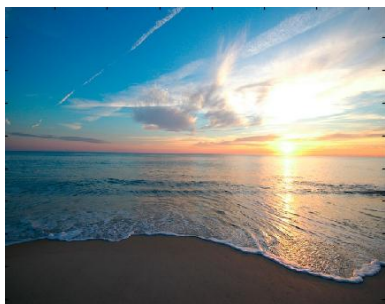


б)



в)

Слика 6 – Изворне слике: а) тест слика 1, б) тест слика 3 и в) тест слика 5.



а)

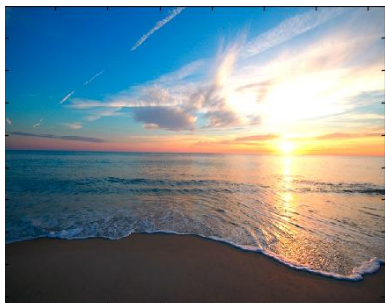


б)



в)

Слика 7 – Циљне слике: а) тест слика 2, б) тест слика 4 и в) тест слика 6.



а)



б)



в)

Слика 8 – Циљне слике са трансфером боја (фактор трансформације $k_t = 1$): а) тест слика 2, б) тест слика 4 и в) тест слика 6.



а)



б)



в)

Слика 9 – Циљне слике са трансфером боја (фактор трансформације $k_t = 1.5$): а) тест слика 2, б) тест слика 4 и в) тест слика 6.



а)



б)



в)

Слика 10 – Циљне слике са трансфером боја (фактор трансформације $k_t = 2$): а) тест слика 2, б) тест слика 4 и в) тест слика 6.



а)



б)



в)

Слика 11 – Циљне слике са трансфером боја (фактор трансформације $k_t = 2$): а) тест слика 2, б) тест слика 4 и в) тест слика 6.



а)



б)

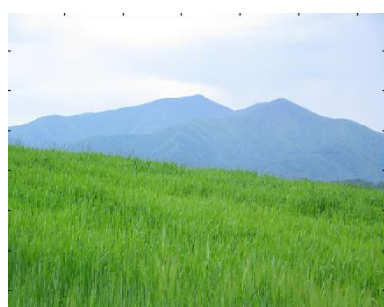


в)

Слика 12 – Циљне слике са трансфером боја (фактор трансформације $k_t = 3$): а) тест слика 2, б) тест слика 4 и в) тест слика 6.



а)

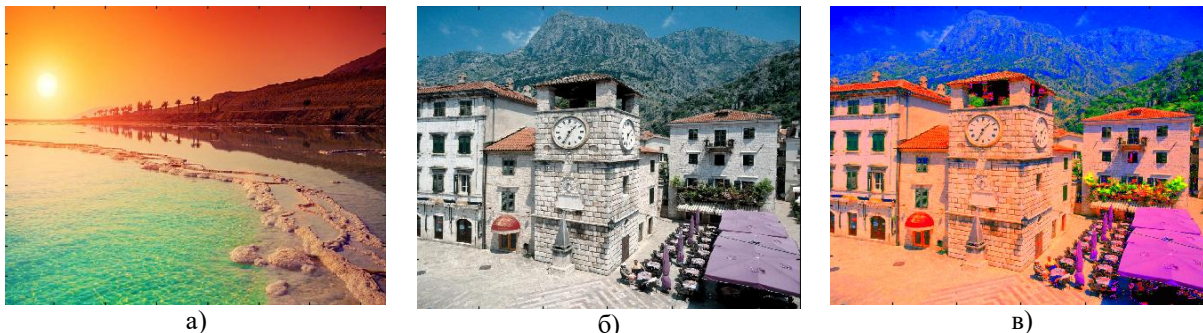


б)



в)

Слика 13 – Сlike са различитом композитном структуром: а) изворна (тест слика 7) и б) циљна (тест слика 8) слика и в) трансформисана слика са фактором трансформације $k_t = 1.5$.



Слика 14 – Сlike са различитом композитном структуром: а) изворна (тест слика 9) и б) циљна (тест слика 10) слика и в) трансформисана слика са фактором трансформације $k_t = 1.5$.

3.4. Анализа

На основу сл. 6 до сл. 12 закључује се да се описаним алгоритмом ефикасно врши трансфер боја из слике у слику. Уочаве се да се са повећањем трансфер коефицијента k_t трансфер повећава засићење боја као и промена врсте боја. Промену врсте боја човек добро запажа док промена засићења може да створи утисак о побољшању квалитета слике, иако се она, у колориметријском смислу, битно разликује од боје сцене из природе. Изворне и циљне слике су добро композитно корелисане тако да је и трансфер боја у великој мери коректан у колориметријском смислу. Трансфер боја код слика које се у композитном смислу битно разликују (сл. 13 и сл. 14) су незадовољавајућег квалитета у колориметријском смислу.

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је анализиран ефекат трансфера боја између слика применом алгоритма из (Reinhard. E., Ashikhmin, M., Gooch. B., Shirley. P., (2001)) и његове модификоване верзије описане у овом раду. На основу приказаних експерименталних резултата показано је да се визуелни ефекат, у колориметријском смислу, може да повећа код слика са великом композитном корелацијом. Код слика са малом композитном корелацијом визуелни ефекат након трансфера боје није добар, осим за случај када је то био уметнички циљ (специјални ефекти на филму или код уметничких фотографија).

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] House. D., Greenfield. G., (2003). *Image Recoloring Induced by Palette Color Associations*, Journal of WSCG, Vol.11, No.1, pp. 189-196, 2003.
- [2] Masal, A., Dube. R., (2012). *Exploring the Implementation of User Controlled Color Transfer Algorithm for Images*, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 1, Issue 4, pp. 17-21, April 2012.
- [3] Reinhard. E., Ashikhmin, M., Gooch. B., Shirley. P., (2001). *Color Transfer between Images*, Computer Graphics and Applications, 2001, Vol.21, Issue 5, pp. 34-41.
- [4] Ruderman. D., Cronin. T., Chiao. C., (1998). *Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding*. Journal of the Optical Society of America, 1998; Vol. 15, (8), pp. 2036–2045, 1998.
- [5] Youngha. C., Suguru. S., Masayuki. N., (2003). *Color transformation based on Basic Color Categories of a Painting*, Proceedings of Computer Graphics International, pp. 176-181, 2003.