

Ett två-parameters förslag för att specificera färgåtergivningsegenskaper hos ljuskällor avsedda för kommersiell belysning

Jean Paul Freyssonier och Mark Rea

Lighting Research Center
Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12180
www.lrc.rpi.edu

Ett två-parameters förslag för att specificera färgåtergivningsegenskaper hos ljuskällor avsedda för kommersiell belysning

Jean Paul Freyssonier*, Mark Rea
Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 21 Union St., Troy, NY 12180
USA

SAMMANFATTNING

Belysning spelar en viktig roll i utvecklandet av kommersiella verksamheter, alltifrån att attrahera kunder till att möjliggöra bedömning av varor, till att främja en genomförd försäljning. Belysning bidrar även till identiteten, bekvämligheten och den visuella kvaliteten av en butik. Med en ökande tillgänglighet och kvalitet på vita LEDs, överväger nu merparten av föreskrivare av butiksbelysning användning av LED-belysning i butiker. Ljuskällors färgåtergivning är en nyckelfaktor i främjandet av kommersiella belysningsmål och influerar därför acceptansen av en ljuskälla från användare och föreskrivare. Dock är tillgången på information om kunders färgpreferenser, samt det faktum att statistik använd för att beskriva färgegenskaper hos ljuskällor ofta är tvetydig samt misslyckas med att förutspå preferenser. Ljuskällors färgåtergivning beskrivs i industrin endast genom färgåtergivningsindex (Ra eller CRI), vilket endast är indirekt kopplat till mänsklig tolkning. Ra-värdet är avsett att karaktärisera föremåls utseende, belysta av ljuskällan, och utmanas samt ifrågasätts alltmer eftersom nya källor utvecklas med ökande exotiska spektrala förmågor. Denna rapport för en diskussion om hur Ra-värdet skulle kunna ökas för en bättre användning av det i samband med kommersiell belysning. De föreslagna riktlinjerna inkluderar användandet av gamut-area index (GAI) som ett kompletterande statistiskt värde till Ra, för säkerställandet av god färgåtergivning.

Nyckelord: Färgåtergivning, mättnad, intensitet, naturlighet, gamut-area index, LED.

1. INLEDNING

Sedan användandet av elektriska ljuskällor tog fart, har belysning spelat en mycket stor roll i utvecklandet av kommersiella verksamheter, alltifrån att skapa en atmosfär till att hjälpa kunder att bedöma produkterna som säljs.^{[1][2]} Färgåtergivningen och ljusets färgutseende i ljuskällor är nyckelfaktorer inom främjandet av kommersiella verksamhetsmål och influerar därför en ljuskällas acceptans av brukare samt föreskrivare. Under nästan 50 år har belysningsindustrin primärt använt ett (1) statistiskt värde för att beskriva färgåtergivningsegenskaperna hos ljuskällor; Ra-värdet dvs. CRI.^{[1][3]} Ra-värdet är menat att beskriva utseendet av de av ljuskällan belysta objekten. Detta mätvärde var utvecklat för att på ett precist sätt beskriva ljuskällors fysiska egenskaper men är endast indirekt kopplat till mänsklig uppfattning och tolkning. På grund av detta har det en begränsad förmåga att förutspå färgutseende och kan vara missvisande.^{[4][5]} Vidare har designers och föreskrivare indikerat att en ljuskällas färgegenskaper ofta är mer viktiga än ljusutbytet (lm/W) från ljuskällan, särskilt inom kommersiell belysning, och att de i hög grad är beroende av Ra-värdet (CRI) för att jämföra och specificera ljuskällor.^{[4][5][6]}

Med den ökande tillgängligheten och kvaliteten på vita LEDs, ökar användandet av LED-belysning i butiker. Resultatet av den ökande kvantiteten valmöjligheter av LED-ljuskällor, är att Ra-värdet mer än någonsin tidigare ifrågasätts eftersom nya spektrala sammansättningar tillhandahålls av LED-ljuskällor, ofta okända och ofamiljära för föreskrivarna. Det är inte

särdeles överraskande att belysningsindustrin är i behov av bättre sätt att karaktärisera färgåtergivningsegenskaperna hos ljuskällor så att designers och föreskrivare på ett rimligt sätt kan vara säkra på att ljuskällan de rekommenderar kommer att möta slutkundens och brukarens behov. För att möta detta uppkomna behov, har Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST), utvecklat en rekommendation för hur Ra-värdet (CRI) skulle kunna utökas för att förbättra möjligheterna att använda det inom kommersiell varuexponering och -markandsföring.^{[4][5]} Denna rapport summerar ASSISTs rekommendationer att specificera färgåtergivningsegenskaperna hos ljuskällor. Fler detaljer gällande ASSISTs rekommendationer är tillgängliga online (www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/recommends.asp) och kan laddas ner gratis.

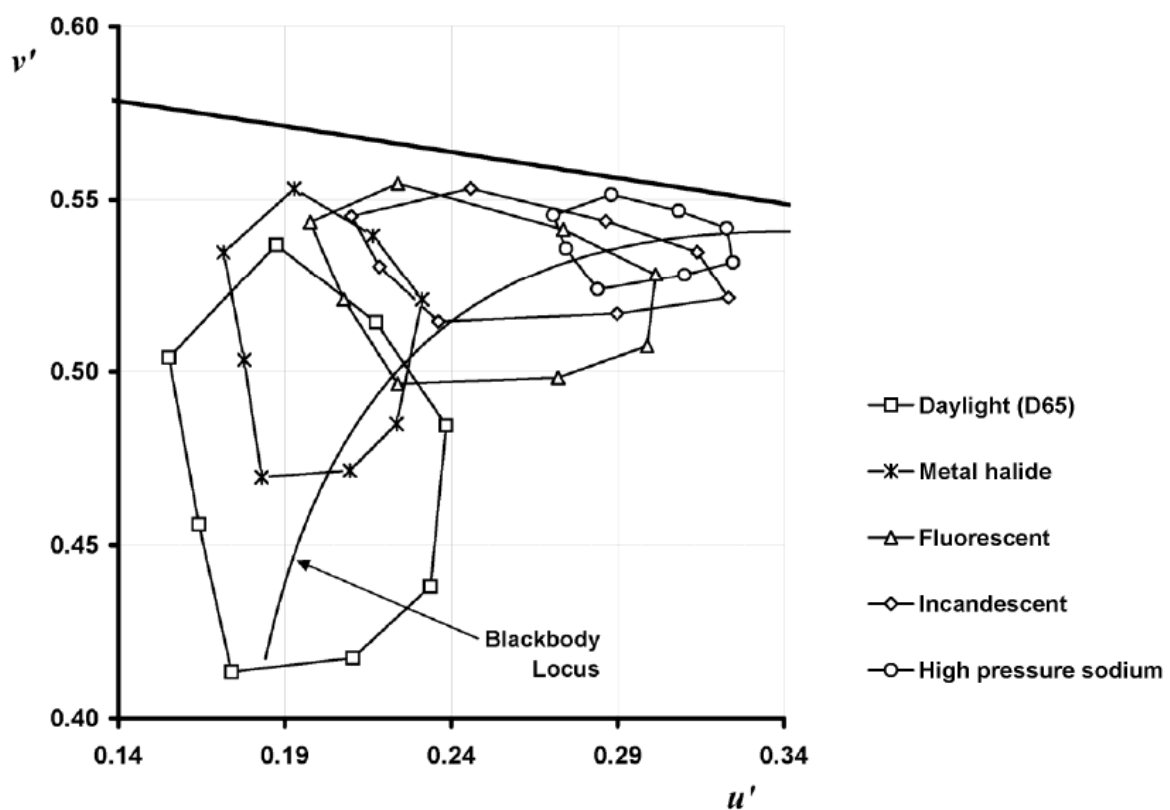
*E-mail: freysj@rpi.edu; Hemsida: www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate

2. BAKGRUND

Färgåtergivning är en generell terminologi som beskriver en ljuskällas kapacitet att tillhandahålla färginformation till en som betraktar objekt belysta av ljuskällan. I sammanhanget interiörsbelysning kan färginformation ha flera betydelser. År 1948 formulerade Bouma^[7] de ideala färgåtergivningsförmågorna, från ljuskällor, baserade på hans observationer av dagsljus. Enligt Boumas observationer, är det rimligt att anta att en ljuskälla med god färgåtergivningsmöjligheter bör innebära att de belysta objekten framstår som intensiva, livfulla och naturliga, subtila skillnader i nyanser bör framgå, och färgerna bör inte förvrängas.^[4]

Till dags datum, är färgåtergivningsindex (Ra-värde eller CRI) det mest använda måttet på en ljuskällas färgåtergivningsmöjligheter.^[6] Ra-värdet utvecklades under 1960-talet som ett mått på hur "sanna" färgerna renderade av elektriska ljuskällor var jämfört med ett referensmått.^{[8][9]} I utvecklingen av Ra-värdet valdes dagsljus samt glödande ljuskällor som referenser eftersom de var de mest familjära källorna vid den tidpunkten. Det generella Ra-värdet härleds från nettoskillnaden i färgområde hos koordinaterna av åtta standard färgchips under två ljuskällor av samma CCT, en var referensen och den andra var ljuskällan som utvärderades och bedömdes. Denna metod resulterar i ett högt värde där taket är 100, när det är få eller inga skillnader i kromaticitet (ljusfärgstolerans) mellan färgchipsen. Stora skillnader drar ner värdet och resulterar därmed i ett lågt Ra-värde.^[3] Generellt anses Ra-värden som överstiger 80 representera god färgåtergivning och 80 är även det typiska värdet som rekommenderas för kommersiell belysning.^[1] Dock är det viktigt att betona att Ra-värdet inte var framtaget eller anpassat för att mäta samtliga av de förväntat goda färgåtergivningar beskrivna av Bouma. Istället var Ra-värdet utformat för att mäta endast färgprecision, eller hur "oförvanskad" en ljuskälla återger färger jämfört med en referens. Tyvärr har Ra-värdet över tiden kommit att bli det enda måttet på färgåtergivning och har felaktigt förknippats med andra dimensioner av god färgåtergivning beskrivna av Bouma. Med tanke på den tydliga avsikten med Ra-värdet, är det inte förvånande att en samling verk har demonstrerat att värdet inte kan förutsäga en källas förmåga att ge god nyansåtergivning, subjektiva intryck av livfullhet eller preferens.^{[10]-[20]} Kort efter att Ra-värdet hade utvecklats, ansåg Judd att för att bättre beskriva färgåtergivningsegenskaperna hos en ljuskälla krävdes mer än en parameter. Dock antogs inte Judds förslag att utöka Ra-värdet med ett ytterligare index. Under några år gjordes flera ytterligare försök till att förbättra Ra-index,^{[11]-[20]} men dessa försök har hittills varit fruktlösa, möjligtvis beroende på att en enda parameter inte fullt kan beskriva alla de fundamentalt olika aspekterna av färgåtergivning.

I början av 1970-talet utvecklade Thornton konceptet med gamut-area som ett alternativt mått för färgåtergivning.^{[21]-[24]} Thorntons arbete ämnade visa på upplevd färgmättnad och nyansurskillning, två viktiga aspekter av färgåtergivning som inte tidigare hade adresserats med Ra-värdet. Thorntons tillvägagångssätt var fundamentalt annorlunda från Ra-värdet då han var intresserad av den absoluta separationen av kromacitet av de åtta färgchipsen, snarare än den relativa skiftningen med avseende på en referens. Gamut-arean definierad av Thornton motsvarar arean inom en polygon i ett kromacitet-område. Polygonens hörn är kromacitet-koordinaterna till de åtta standard färgchipsen när de är belysta av en testkälla. Figur 1 visar gamut-arean hos traditionella ljuskällor. Thornton visade att desto större gamut-area, desto större upplevd nyans-mättnad. Som förväntat visade Thornton att generellt sett, gäller att större gamut-areor ger större urskillnad mellan två objektfärger. En invändning mot konceptet med gamut-area är att en ljuskälla med alltför stor gamut-area kan få objekten att framstå som övermättade och därmed onaturliga.



Figur 1: Gamut-area för metallhalogen, högtrycksnatriumlampor, lysrör, glödlampor och CIE D65 standardljus vilket simulerar dagsljus på 6500 K (enligt Thornton 1972 och Boyce 2003).

3. REKOMMENDATION FÖR SPECIFIERING AV FÄRGÅTERGIVNINGSEGENSKAPER

Nyligen, enligt Boumas,^[7] Judds^[9] och Thorntons^[24] principer, föreslog Rea och Freyssonier^{[26][27]} ett två-parameters förhållningssätt genom att komplettera Ra-index (CRI) med en mätning av gamut area (gamut area index) som ett praktiskt tillvägagångssätt att specificera ljuskällors färgåtergivningsegenskaper. Tanken bakom detta tillvägagångssätt är att Ra-index (CRI) och gamut-area är två vitt skilda, men likvärdigt relevanta, aspekter av färgåtergivning. Ra-värde (CRI) är ett mätvärde som betonar färgernas stabilitet enligt en familjär källa, t.ex. betyder ett högt Ra-värde att ljuskällan återger objektets färger snarligt referensen, medan gamut-area är känsligt för nyansmättnad och nyansskillnad. Gamut-area index (GAI)^[28] definierades i termer av samma åtta test-färgchip som användes i beräkningen av Ra-värdet (CRI). För en viss källa är gamut-arean definierad av de åtta kromacitetskoordinaterna hos standard färgchipen i CIE u'v' färgområde. Ett likadant energispektrum var godtyckligt tilldelat ett GAI-värde på 100, och gamut-arean av alla övriga ljuskällor skalas således för att få fram deras GAI. Enligt denna definition är GAI-värden större än 100 möjliga.

Färskt arbete av Rea och Freyssonier^[26] har visat att GAI är en bättre prediktor än Ra-värdet (CRI) av värdena på ett standardiserat färgurskillningstest känt som Farnsworth-Munsell 100-nyans-testet.^{[29][30]} I deras arbete visade Rea och Freyssonier även att GAI är ett bra mått på subjektiva uppfattningar av nyansmättnad och bekräftade att ljuskällor med ett alltför stort GAI-värde kan återge färger övermättade och påverka subjektiva acceptansbetyg. Baserat på deras arbete och de initiala rekommendationerna av Figueiro m.fl.,^[31] rekommenderar Rea och Freyssonier ett nedre (80) och ett övre (100) värde på GAI.^{[5][27]}

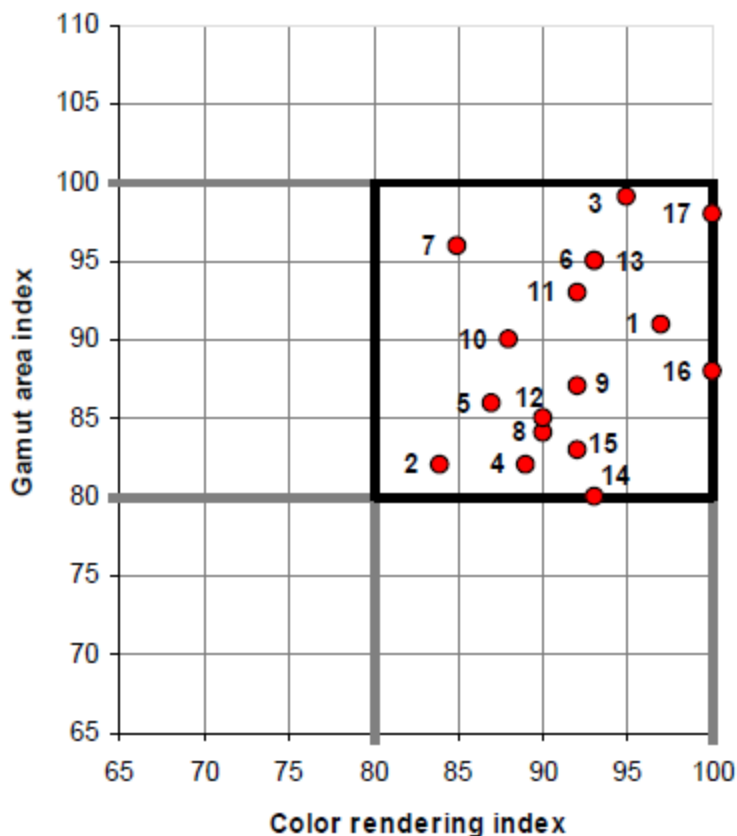
Kanske än mer viktigt, är att Rea och Freyssonier^[27] testade två-parameters hypotesen och kunde visa på att när GAI används som ett komplement till Ra-värdet (CRI), är höga värden på båda parametrar ($CRI \geq 80$ och $80 \leq GAI \leq 100$) ett kvitto på positiva subjektiva intyck av naturlighet och livfullhet, vilka båda anses som viktiga aspekter av färgåtergivning inom kommersiella kretsar. Utöver detta, har det visat sig att ljuskällor som uppfyller både kriterierna för CRI och GAI generellt föredras framför ljuskällor med endast ett högt CRI- eller GAI-värde, när det används för att belysa en flerfärgad display. Resultaten är applicerbara på varma samt kalla färgtemperaturer (CCT~3000 K och CCT~5000 K).

Baserat på dessa upptäckter, rekommenderar ASSIST att ljuskällor menade för butiksbelysning skall uppfylla två kriterier för att ha ökade chanser att uppnå en god färgåtergivning under de flesta omständigheter: ett $CRI \geq 80$ och $80 \leq GAI \leq 100$. Tabell 1 visar en partiell lista på tillgängliga ljuskällor som uppfyller den föreslagna tvåparameters-tillvägagångssättets kriterier.^{[5][27]} Figur 2 visar grafiskt målkriteriet för CRI och GAI för källorna listade i tabell 1.^{[5][27]}

Tabell 1:

	Light source	Manufacturer	Product Model	CCT (K)	CRI	GAI
1	Xenon	OSRAM SYLVANIA	1000W	5853	97	91
2	PC-LED	Cree	XRE lamp	4154	84	82
3	PC-LED	Sharp	Zenigata	5097	95	99
4	RGB-LED	Various	Peak wavelengths of 465 nm, 545 nm, and 614 nm	4000	89	82
5	T8	General Electric	F32T8SPX50		4751	87
		86				
6	T8	Lumiram	Lumichrome 1XX	5960	93	95
7	T8	Verilux	F32T8VLX	6369	85	96
8	T12	OSRAM	Design50, 40W	4861	90	84
		SYLVANIA				
9	T12	General Electric	Sunshine F40C50			4944
		92	87			
10	T12	Duro-Test	Vita-Lite 5500	5159	88	90
11	T12	Lumiram	Lumichrome 1XC	5207	92	93
12	T12	Philips	Colortone 75	6217	90	85
13	T12	Duro-Test	DAYLITE 65, 40W	6588	93	95
14	MH	Philips	CDM100W/4K	4075	93	80
15	MH	Philips	CDM150W/4K	4197	92	83
16	Daylight		CIE D50	5000	100	88
17	Daylight		CIE D65	6500	100	98

Figur 2:



4. SLUTSATSER

Belysningsindustrin är i behov av sätt att karaktärisera ljuskällors färgåtergivningsegenskaper så att designers och föreskrivare kan vara sannolikt säkra på att de ljuskällor de rekommenderar kommer att uppfylla brukarens/slutkundens förväntningar. CRI var utvecklat för att mäta endast en aspekt av färgåtergivning – färgtrohet – under antagandet att höga CRI-värden generellt innebär att en ljuskälla återger objekt färger liknande referensen, och därmed på ett naturligt sätt. Dock är färgåtergivning ett koncept som omfattar flera rätvinkliga dimensioner, inklusive färgtrohet, naturlighet, mättnad och nyansurskillning, som inte kan karaktäriseras av något annat enskilt mått. Denna rapport summerar en färsk rekommendation av ASSIST där två mätsätt, som var och ett fokuserar på fundamentalt olika aspekter av färgåtergivning, behövs för att kunna förse oss med den information som behövs för specificering av kommersiell butiksbelysning. Rea och Freyssonier har visat att GAI är ett bra mått på mättnad och en bättre prediktor av färgurskillning än CRI. Färsk laboratorieexperiment har konsekvent visat att när GAI används som ett komplement till CRI, så innebär höga värden av båda måtten ($CRI \geq 80$ och $80 \leq GAI \leq 100$) i de flesta fall ett säkerställande av positiva subjektiva intryck av naturlighet och livfullhet, vilka båda anses vara viktiga aspekter av färgåtergivning i butiksmiljöer. Utöver detta, har det visat sig att ljuskällor som uppfyller både kriterierna för CRI och GAI generellt föredras framför ljuskällor med endast ett högt CRI- eller GAI-värde. Två-parameters tillvägagångssättet presenterat här är en praktisk lösning för att säkerställa goda färgåtergivningsegenskaper hos elektriska ljuskällor för inomhusbelysning, däribland butiksmiljöer.

REFERENSER

- [1] Rea, M.S. ed., [*The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application, 9th edition*], Illuminating Engineering Society of North America, New York (2000).
- [2] Luckiesh, M., [*Light and color in advertising and merchandising*], D. Van Nostrand Company, New York (1927).
- [3] Commission Internationale de l'Eclairage CIE, [Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources, 13(3)], CIE, Vienna, Austria (1995).
- [4] Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies ASSIST, [ASSIST recommends...Guide to Light and Color in Retail Merchandising], Lighting Research Center, Troy, NY (2010).
- [5] Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies ASSIST, [ASSIST recommends...Recommendations for Specifying Color Properties of Light Sources for Retail Merchandising], Lighting Research Center, Troy, NY (2010).
- [6] Rea, M.S., Deng L., Wolsey R., [Lighting Answers: Light Sources and Color], National Lighting Product Information Program Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY (2004).
- [7] Bouma, P.J., [Physical aspects of colour: An introduction to the scientific study of colour stimuli and colour sensations, 2nd Ed.] MacMillan, London (1971).
- [8] Nickerson, D., "Light sources and color rendering," J. Opt. Soc. Am. 50(1), 57-69 (1960).
- [9] Judd, D.B., "A flattery index for artificial illuminants," J. Illum. Eng. Soc. 60(10), 11-18 (1967).
- [10] Narendran, N and Deng, L. "Color rendering properties of LED light sources." Proc. SPIE 4776, 61-67 (2002).
- [11] Worthy, J.A., "Opponent-colors approach to color rendering," J. Opt. Soc. Am. 72, 74-82 (1982).
- [12] Xu, H. "Colour rendering capacity of illumination," J. Illum. Eng. Soc. 13, 270-76 (1984).
- [13] Seim, T., "In search of an improved method for assessing the colour rendering properties of light sources," Lighting Res. Technol. 17, 12-22 (1985).
- [14] Schanda, J., "A combined colour preference colour rendering index," Lighting Res. Technol. 17, 31-34 (1985).
- [15] Pointer, M.R., "Measuring colour rendering – A new approach," Lighting Res. Technol. 18, 175-184 (1986).
- [16] Van Kemenade, J.T.C., Van Der Burgt, P.J.M., "Light sources and colour rendition: Additional information to the Ra index," CIBSE Natl. Lighting Conf., 133-143 (1988).
- [17] Xu, H., "Colour rendering capacity and luminous efficiency of a spectrum," Lighting Res. Technol. 25, 131-132 (1993).
- [18] Hashimoto, K., Nayatani, Y., "Visual clarity and feeling of contrast," Color Res. Appl. 19, 171-185 (1994).
- [19] van Kemenade J.T.C., van der Burgt, P.J.M., "Toward a user-oriented description of colour rendition of light

- sources,” Proc. CIE 23rd Session 1, 43-46 (1995).
- [20] Davis W., and Ohno, Y. “Toward an improved color rendering metric,” Proc. SPIE 5941, 59411G (2005).
- [21] Thornton, W.A., “Lamps for assessing metamerism,” J. Illum. Eng. Soc. 3, 11-18 (1974).
- [22] Thornton, W.A., “The high visual efficiency of prime color lamps,” Light. Design Appl. 5, 35-41 (1975).
- [23] Thornton, W.A., Corth, R., and Evans, G.S., “Fluorescent light sources,” Light. Design Appl. 5, 6-14 (1975).
- [24] Thornton, W.A., “Color-discrimination index,” J. Opt. Soc. Am. 62, 191–194 (1972).
- [25] Boyce, P., [*Human Factors in Lighting*, 2nd ed.] Taylor & Francis, London and New York (2003).
- [26] Rea, M.S. and Freyssinier-Nova, J.P., “Color rendering: A tale of two metrics,” Color Res. Appl. 33(3), 192-202 (2008).
- [27] Rea, M.S., and Freyssinier, J.P., “Color rendering: Beyond pride and prejudice.” Color Res. Appl. (2010).
- [28] Rea, M.S., Deng L., Wolsey R., [Lighting Answers: Full-Spectrum Light Sources] National Lighting Product Information Program Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY (2003).
- [29] Farnsworth D., “The Farnsworth-Munsell 100-hue and dichotomous tests for color vision,” J. Opt. Soc. Am. 33, 568-578 (1943).
- [30] Farnsworth, D., [The Farnsworth-Munsell 100-hue test for the examination of colour discrimination: Manual], Munsell Color Company, Baltimore MD (1959).
- [31] Figueiro, M.G., Appleman K., Bullough J.D., and Rea M.S., “A discussion of recommended standards for lighting in the NICU,” J. Perinatol. 26, S19-S26 (2006).