

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

Jaroslav Pospíšil

Měření funkce přenosu kontrastu objektivů statistickou metodou autokorelace

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica, Vol.
10 (1969), No. 1, 99-108

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119902>

Terms of use:

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1969

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

*Katedra experimentální fyziky a metodiky fyziky přírodovědecké fakulty
Vedoucí katedry: prof. dr. Josef Fuka*

MĚŘENÍ FUNKCE PŘENOSU KONTRASTU OBJEKTIVŮ STATISTICKOU METODOU AUTOKORELACE

JAROSLAV POSPÍŠIL
(Předloženo 22. 5. 1968)

1. Úvod

V současné době jsou důkladně propracovány a realizovány metody měření funkce přenosu kontrastu a funkce přenosu fáze objektivů s determinovanými prostorovými signály, tj. se signály, realizovanými objekty, jejichž prostorový průběh lze přesně matematicky popsat matematickou formulí (např. metody se sinusovými testy, břitem apod.).

Metody se stochastickými prostorovými signály nejsou zatím důkladně propracovány. Zatím existuje jen jedna laboratorní realizace metody užívající stochastického prostorového signálu, realizovaného stochastickým testem. Je to metoda vzájemné korelace, navržená a realizovaná H. Kubotou a H. Ohzu [1].

V tomto článku je popsána jiná metoda se stochastickým testem: metoda autokorelace.

2. Teorie metody

Předpokládejme, že zkoumaná optická soustava je lineární a izoplanární. Předpokládejme dále, že její příčné zvětšení je jednotkové.

Nechť předmětem je rovinný stochastický test realizující spojitý stacionární stochastický prostorový signál.

Ztotožněme počátek souřadnic předmětové a obrazové roviny a označme $L(x, y)$ funkci popisující centrovanou distribuci jasu stochastického testu.

Obraz stochastického testu, vytvořený zkoumanou optickou soustavou, má centrovanou prostorovou distribuci osvětlení $E(x', y')$, kterou je možno vyjádřit konvolucí ve tvaru

$$E(x', y') = \iint_{-\infty}^{\infty} E_d(x_1, y_1) L(x' - x_1, y' - y_1) dx_1 dy_1, \quad (1)$$

kde $E_d(x_1, y_1)$ je distribuční funkce obrazu bodu pro souřadnice x_1 a y_1 . $L(x' - x_1, y' - y_1)$ je funkce $L(x_1, y_1)$ posunutá o x' a y' vzhledem k funkci $E_d(x_1, y_1)$.

Posunutou funkci $E(x' + \varepsilon, y' + \eta)$ je možno vyjádřit konvolucí ve tvaru

$$\begin{aligned} E(x' + \varepsilon, y' + \eta) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_1, y_1) L(x' + \varepsilon - x_1, y' + \eta - y_1) \cdot \\ &\quad \cdot dx_1 dy_1 = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_1 + \varepsilon, y_1 + \eta) L(x' + \varepsilon - x_1 - \varepsilon, y' + \eta - y_1 - \eta) d(x_1 + \\ &\quad + \varepsilon) d(y_1 + \eta) = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_2, y_2) L(x' + \varepsilon - x_2, y' + \eta - y_2) dx_2 dy_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Vyjádřeme si nyní obrazovou autokorelační funkci $\Phi_{00}(\varepsilon, \eta)$ funkce $E(x', y')$. K tomuto účelu použijeme definice

$$\Phi_{00}(\varepsilon, \eta) = \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_A \int_A E(x', y') E(x' + \varepsilon, y' + \eta) dx' dy', \quad (3)$$

kde A je integrační oblast.

Rovnici (3) je nyní možno užitím vztahů (1) a (2) rozepsat takto

$$\begin{aligned} \Phi_{00}(\varepsilon, \eta) &= \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_A \int_A dx' dy' \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_1, y_1) L(x' - x_1, y' - y_1) \cdot \\ &\quad \cdot dx_1 dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_2, y_2) \cdot L(x' + \varepsilon - x_2, y' + \eta - y_2) dx_2 dy_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Změnou pořadí integrování a limitování dostaneme

$$\begin{aligned} \Phi_{00}(\varepsilon, \eta) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_2, y_2) \left[\lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_A \int_A L(x' - \right. \\ &\quad \left. - x_1, y' - y_1) L(x' + \varepsilon - x_2, y' + \eta - y_2) dx' dy' \right] dx_2 dy_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Výraz v lomené závorce rozepíšeme takto

$$\begin{aligned} &\lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_A \int_A L(x' - x_1, y' - y_1) L(x' + \varepsilon - x_2, y' + \eta - y_2) dx' dy' = \\ &= \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_A \int_A L(x', y') L(x' + \varepsilon + x_1 - x_2, y' + \eta + y_1 - y_2) dx' dy'. \end{aligned} \quad (6)$$

Pravá strana rovnice (6) je vyjádřením předmětové autokorelační funkce pro posuny $\varepsilon + x_1 - x_2, \eta + y_1 - y_2$. Lze tedy psát

$$\begin{aligned} \Phi_{00}(\varepsilon, \eta) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_d(x_2, y_2) \Phi_{pp}(\varepsilon + x_1 - x_2, \eta + \\ &\quad + y_1 - y_2) dx_2 dy_2, \end{aligned} \quad (7)$$

kde

$$\begin{aligned} \lim_{\nu \rightarrow 0} (e + x_i - x_{23} \gamma + j^{\wedge} - y_2) = \lim_{\nu \rightarrow 0} [L(s'_5 /) L(*' + e + \\ + *i - \wedge Z + 'i + y\% - y_2) dx'dy'. \end{aligned} \quad (8)$$

Přejdeme nyní do domény prostorových frekvencí. K tomuto účelu využijeme Wiener-Chinčinovy rovnice [2]

$$\langle \text{Re} (j^* > \nu) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 \quad (9)$$

a dosadíme do ní vztah (7). Dostaneme

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 \quad (10) \end{aligned}$$

Zavedme si nyní proměnné e' a r_f vyhovující vztahům

$$\delta = e + J C_2 - \#i \quad (11)$$

$$\gamma = V + \wedge 2 - \wedge 1 \quad (12)$$

a dosaďte je do rovnice (10). Dostaneme

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 \quad (13)$$

Protože

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 \quad (14)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 \quad (15)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \delta^{\wedge} > \rangle e^{-i(x_1 y_1 + x_2 y_2)} dx_1 dy_1 \quad (16)$$

$$|e_d \langle \delta^{\wedge} > \rangle| = |e_d \langle \delta^{\wedge} > \rangle| \quad (17)$$

lze psát

$$\langle \delta^{\wedge} > \rangle = I^e d \langle j^* > \nu \rangle \langle p_{\nu} Qx, \nu \rangle \quad (18)$$

Rovnice (18) vyjadřuje vztah mezi výkonovými spektrálními hustotami stochastického testu a jeho obrazu.

Pro normované funkce

$$\varphi_{00}(\mu, \nu)_n = \frac{\varphi_{00}(\mu, \nu)}{\varphi_{00}(0,0)} \quad (19)$$

$$\varphi_{pp}(\mu, \nu)_n = \frac{\varphi_{pp}(\mu, \nu)}{\varphi_{pp}(0,0)} \quad (20)$$

platí obdobně

$$\varphi_{00}(\mu, \nu)_n = |g(\mu, \nu)|^2 \varphi_{pp}(\mu, \nu)_n, \quad (21)$$

kde

$$g(\mu, \nu) = \frac{e_d(\mu, \nu)}{e_d(0,0)} \quad (22)$$

je optická přenosová funkce zkoumané optické soustavy (komplexní funkce přenosu kontrastu). Její absolutní hodnota $|g(\mu, \nu)|$ je funkce přenosu kontrastu zkoumané optické soustavy a lze ji pomocí rovnice (21) vyjádřit ve tvaru

$$|g(\mu, \nu)| = \tau(\mu, \nu) = \sqrt{\frac{\varphi_{00}(\mu, \nu)_n}{\varphi_{pp}(\mu, \nu)_n}}. \quad (23)$$

Rovnice (23) je obecným vyjádřením funkce přenosu kontrastu $\tau(\mu, \nu)$ zkoumané optické soustavy pomocí normovaných výkonových spektrálních hustot stochastického testu a jeho obrazu.

Platí-li v rovnicích (3) a (8) podmínky

$$\eta = 0 \quad (24)$$

$$\eta + y_1 - y_2 = 0, \quad (25)$$

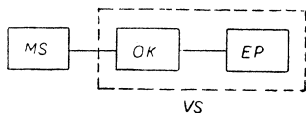
dostaneme jednodimensionální vyjádření funkce přenosu kontrastu zkoumané optické soustavy

$$\tau(\mu) = \sqrt{\frac{\varphi_{00}(\mu)_n}{\varphi_{pp}(\mu)_n}}. \quad (26)$$

Vztah (26) je základem statistické metody autokorelace. Uvedeného termínu je užito proto, že vyjádření funkce přenosu kontrastu se děje pomocí statistických charakteristických funkcí, tj. pomocí autokorelačních funkcí, vyjádřených pro doménu prostorových frekvencí.

3. Realizace metody

Princip a postup měření funkce přenosu kontrastu metodou autokorelace jsou patrné ze schématu na obr. 1.



Obr. 1 Schematicky znázorněný postup měření

MS je měřicí soustava se zkoumanou optickou soustavou, již se vytvoří obraz stochastického testu. Tento obraz, vytvořený na fotografické emulzi, je vyhodnocován vyhodnocovací soustavou *VS* tvořenou optickým korelátorem *OK* a elektronickým číslicovým počítačem *EP*. Výsledkem je funkce přenosu kontrastu zkoumané optické soustavy.

Je použito stochastického testu na průchod světla. Je-li $T_p(x, y)$ jeho světelná propustnost a $\overline{T_p(x, y)}$ její střední hodnota

$$\overline{T_p(x, y)} = \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \iint_A T_p(x, y) dx dy, \quad (27)$$

pak

$$T_p(x, y)_0 = T_p(x, y) - \overline{T_p(x, y)} \quad (28)$$

je centrovaná propustnost testu. Lze předpokládat, že

$$T_p(x, y)_0 \sim L(x, y). \quad (29)$$

Stochastický test je zobrazen zkoumanou optickou soustavou do roviny fotoemulze. Po vyvolání a ustálení exponované fotoemulze dostaneme transparentní snímek obrazu stochastického testu.

Zvolíme-li osvětlovací, vyvolávací a ustalovací podmínky tak, aby vliv fotoemulze na výsledky měření byl zanedbatelně malý, pak je-li průběh obrazové propustnosti $T_0(x', y')$ a jeho střední hodnota je

$$\overline{T_0(x', y')} = \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \iint_A T_0(x', y') dx' dy', \quad (30)$$

lze pro centrovanou propustnost $T_0(x', y')_0$ snímku psát

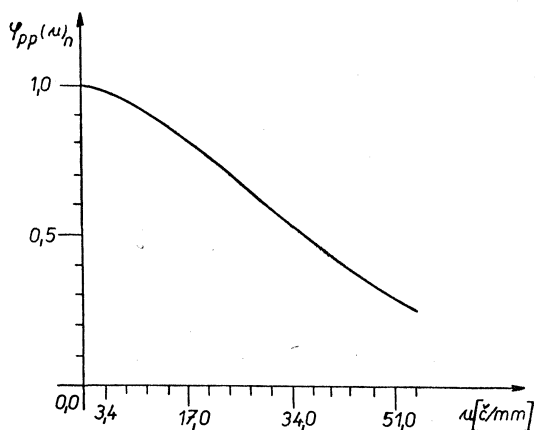
$$T_0(x', y')_0 = T_0(x', y') - \overline{T_0(x', y')} \sim E(x', y'). \quad (31)$$

Mají tedy veličiny $L(x, y)$ a $E(x', y')$, vystupující při zavádění funkce přenosu kontrastu v části 2., význam centrovaných propustností.*) Autokorelační funkce $\Phi_{pp}(\varepsilon)$ a $\Phi_{00}(\varepsilon)$ a též výkonové spektrální hustoty $\varphi_{pp}(\mu)$ a $\varphi_{00}(\mu)$ stochastického testu a jeho obrazu jsou určeny změnami jejich propustností.

K měření bylo použito stochastického testu vyrobeného fotografickou technikou. Jemnozrná fotografická deska byla rovnoměrně osvětlena a pak rovnoměrně vyvolána do nepříliš velké hustoty. Popsaným způsobem vytvořené mikroskopické shluky zrn fotoemulze, různé velikosti a tvaru a náhodně rozložené, jsou základními elementy stochastického testu. K jejich zvětšení bylo použito mikrofotografické techniky. Uvedeným způsobem vyrobený stochastický test má podle [1] a [3] vlastnost stacionarity.

Fotografie použitého stochastického testu je na obr. 2, záznam jeho autokorelační funkce, získaný optickým korelátorem, je uveden na obr. 3. Normovaná výkonová spektrální hustota testu je na obr. 4.

*) Vzhledem k tomu, že nelze prakticky získat stochastický test a jeho obrazy s centrovanými propustnostmi, jsou při měření optickým korelátorem vyhodnocovány autokorelační křivky vztažené k jejich skutečným propustnostem a redukce stejnosměrné složky se dosáhne při normování.

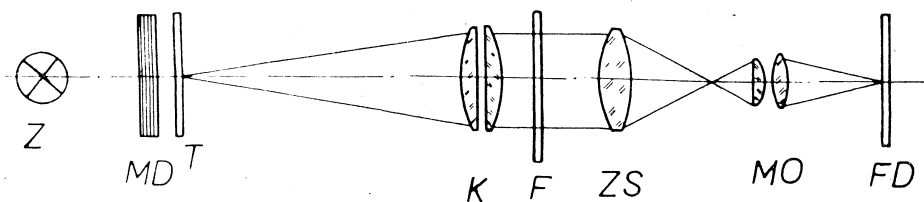


Obr. 4 Normovaná výkonová spektrální hustota
stochastického testu

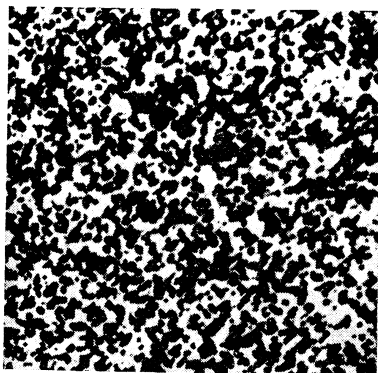
Optické uspořádání měřicí soustavy je na obr. 5. Osvětlovací část tvoří plošný světelný zdroj Z , z něhož vystupující světlo je rovnoměrně rozptylováno rozptylnou soustavou MD , takže je zajištěno v dostatečně velké ploše rovnoměrné osvětlení stochastického testu T . Zobrazovací část tvoří kolimátorový objektiv K a zkoumaná optická soustava ZS . Ji je rovnoměrně osvětlený stochastický test zobrazen do obrazové roviny zobrazovací části měřicí soustavy. Při měření v barevném světle je použito barevného filtru F .

Zmenšený obraz stochastického testu, vytvořený zobrazovací částí, je zvětšen mikroskopovým objektivem MO do roviny fotografické emulze FD . Použitím zvětšovací soustavy se zvětší přesnost vyhodnocování autokorelačních křivek optickým korelátorem a je zjištěn zanedbatelný vliv funkce přenosu kontrastu použité fotoemulze na výsledky měření, neboť se využívá jen její počáteční části, málo odlišné od jednotky.

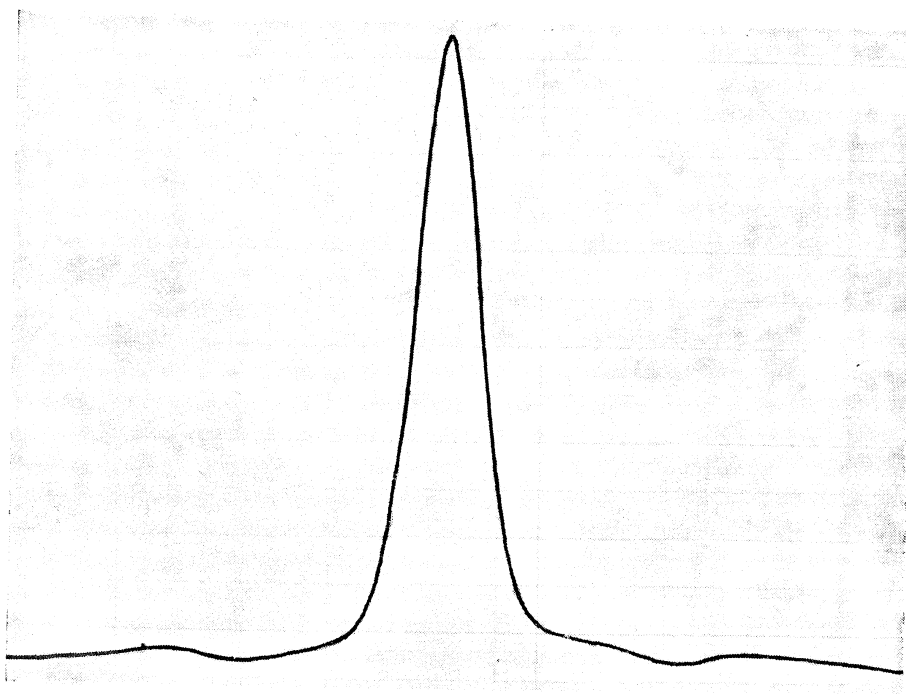
Použití zvětšovací soustavy umožňuje provádět měření pro různá příčná zvětšení zobrazovací části měřicí soustavy; výsledné zvětšení obrazu v rovině fotoemulze FD je možno měnit záměnou mikroskopového objektivu. Nastavené příčné zvětšení zvětšovací části je určováno použitou fotoemulzí a optickým korelátorem tak, aby bylo dosaženo jejich zanedbatelného vlivu, jak již bylo poznamenáno v předcházejícím odstavci.



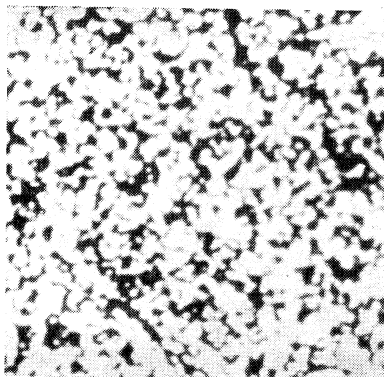
Obr. 5 Optické uspořádání měřicí soustavy



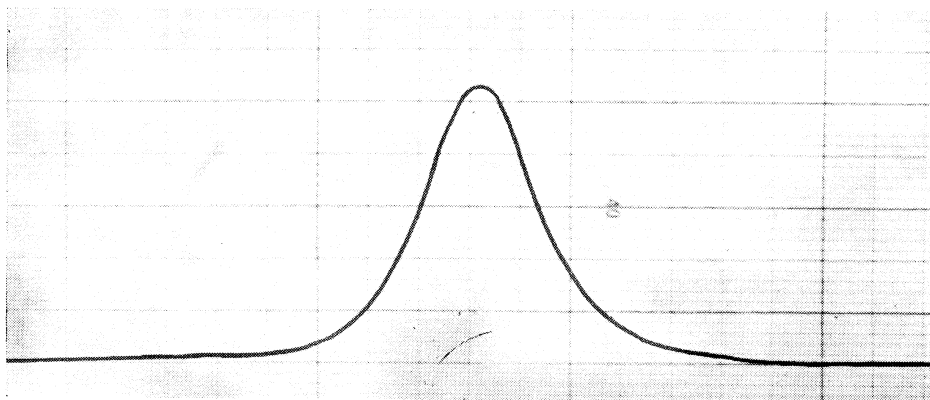
Obr. 2 Fotografie stochastického testu



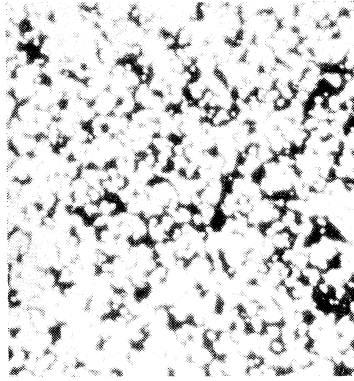
Obr. 3 Záznam autokorelační funkce stochastického testu získaný optickým korelátorem



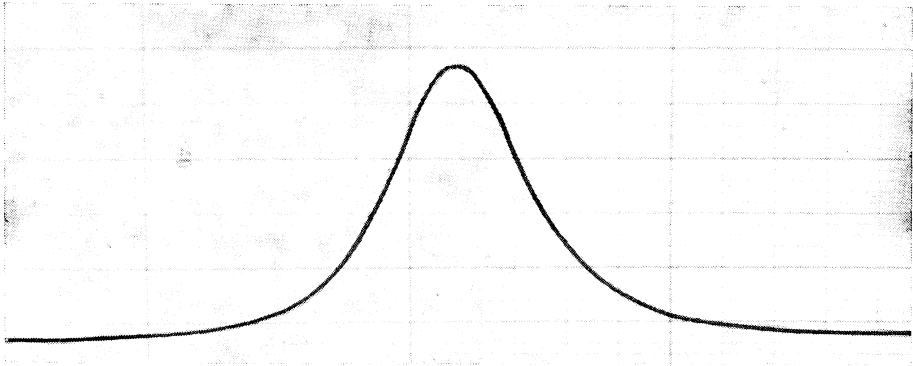
Obr. 6 Obraz stochastického testu vytvořený zkoumanou optickou soustavou při osovém zobrazení a při bílém světle, pro clonové číslo $c = 5,6$ a pro vizuálně zaostřený obraz



Obr. 7. Záznam autokorelační funkce obrazu stochastického testu pro clonové číslo $c = 5,6$ zkoumané optické soustavy při osovém zobrazení v bílém světle (vizuálně zaostřený obraz)



Obr. 10 Obraz stochastického testu vytvořený zkoumanou optickou soustavou pro vizuálně zaostřený obraz při osovém zobrazení v bílém světle. Clonové číslo zkoumané optické soustavy $c = 16$



Obr. 11 Záznam autokorelační funkce obrazu stochastického testu pro clonové číslo $c = 16$ zkoumané optické soustavy (osové zobrazení při vizuálně zaostřeném obrazu v bílém světle)

Snímací část je tvořena fotografickou emulzí (fotografická deska nebo film). Snahou bylo použít fotografické emulze s dostatečně velkou rozlišovací schopností zajišťující spolu se zvolenými osvětlovacími, vyvolávacími a ustalovacími podmínkami její zanedbatelný vliv na výsledky měření.

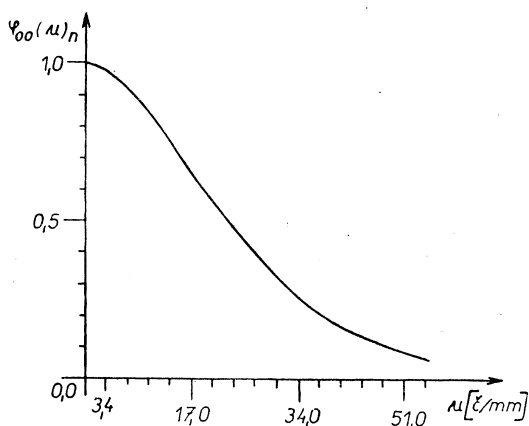
K získávání autokorelačních funkcí bylo použito dvouuzorkového optického korelátoru založeného na principu popsaném v pracích [4] a [5]. K výpočtům Fourierových transformací autokorelačních křivek bylo využito číslicového počítače TOSBAC 3121, Toshiba Electric Co., Japan.

Využíváním jen lineární části světelné charakteristiky optického korelátoru při vyhodnocování autokorelačních křivek a jejich hustým vzorkováním se dosáhlo zanedbatelného vlivu optického korelátoru a použité metody výpočtu Fourierových transformací autokorelačních funkcí na výsledky měření.

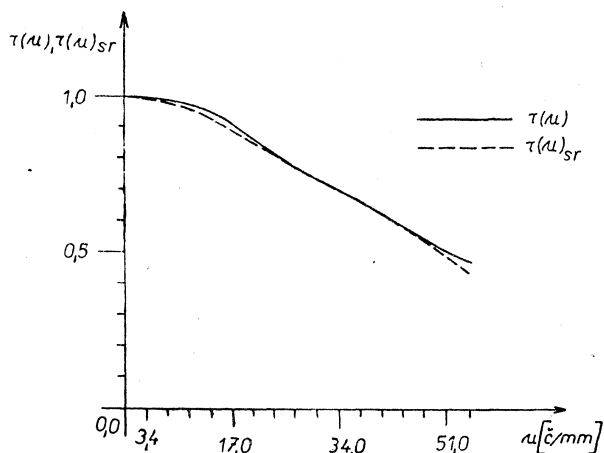
4. Některé výsledky měření

Měření byla prováděna při osovém zobrazení pro různá clonová čísla zkoumané optické soustavy a pro různá rozostření obrazu. Bylo používáno bílého i barevného světla.

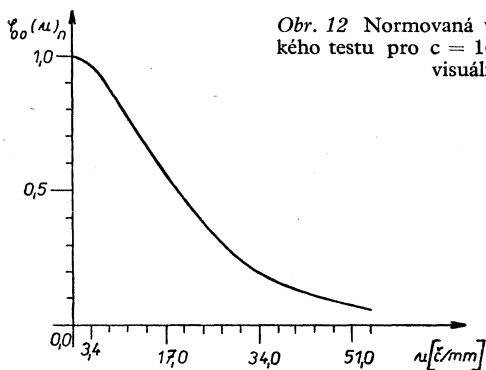
Dále jsou uvedeny výsledky dvou měření při bílém světle. Byl proměřován fotografický objektiv Auto-Takumar Asahi Opt. Co., Japan, 1 : 3,5, $f = 35$ mm pro různá clonová čísla ($c = 5,6$ a $c = 16$). Výsledky jsou pro každé clonové číslo uvedeny v pořadí: obraz stochastického testu vytvořený zkoumanou optickou soustavou, záznam jeho autokorelační funkce získaný optickým korelátozem, normovaná výkonová spektrální hustota stochastického obrazu, výsledný graf funkce přenosu kontrastu, získaný popisovanou metodou autokorelace, s jeho předpokládaným průběhem. Grafy výsledných funkcí přenosu kontrastu jsou udány pro rozsahy prostorových frekvencí odpovídající příčnému zvětšení 34,0 zobrazovací části měřící soustavy do prostorových frekvencí, kde frekvenční složky obrazových výkonových spektrálních hustot jsou malé, velikostí blízké průměrné absolutní chybě realizované metody, a tedy nepoužitelné.



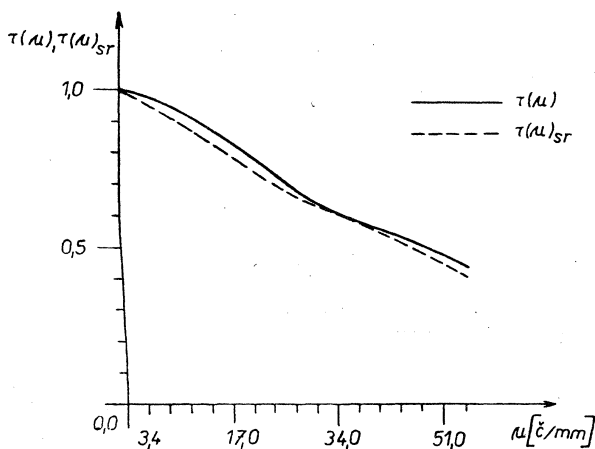
Obr. 8 Normovaná výkonová spektrální hustota obrazu stochastického testu pro $c = 5,6$ zkoumané optické soustavy. Křivka přísluší osovému zobrazení při bílém světle pro vizuálně zaostřený obraz



Obr. 9 Výsledný graf funkce přenosu kontrastu $\tau(\mu)$, získaný statistickou metodou autokorelace, s předpokládaným výsledkem $\tau(\mu)_{sr}$. Zobrazovací parametry: vizuálně zaostřený obraz, bílé světlo, osové zobrazení, clonové číslo $c = 5,6$ zkoumané optické soustavy. Zkoumanou optickou soustavou byl fotografický objektiv Auto-Takumar Asahi Opt. Co, Japan, $1 : 3,5$, $f = 35$ mm



Obr. 12 Normovaná výkonová spektrální hustota obrazu stochastického testu pro $c = 16$ zkoumané optické soustavy (osové zobrazení, vizuálně zaostřený obraz, bílé světlo)



Obr. 13 Výsledný graf funkce přenosu kontrastu $\tau(\mu)$, získaný statistickou metodou autokorelace, s předpokládaným grafem $\tau(\mu)_{sr}$ této funkce. Zobrazovací parametry byly: vizuálně zaostřený obraz, bílé světlo, osové zobrazení, clonové číslo zkoumané optické soustavy $c = 16$. Proměřován byl fotografický objektiv Auto-Takumar Asahi Opt. Co., Japan, $1 : 3,5$, $f = 35$ mm

5. Závěr

Metoda v popisované realizaci je vhodná hlavně pro měření funkcí přenosu kontrastu při zaostřeném a málo rozostřeném obrazu. Diference mezi získanými a předpokládanými hodnotami frekvenčních složek funkcí přenosu kontrastu nebyly v průměru větší než $\pm 0,05$.

Realizovanou metodou byly získány užitečné výsledky pro oblast nízkých a středních prostorových frekvencí.

Přesnost výsledků je ovlivňována hlavně stupněm dokonalosti realizace stochastického testu a kvalitou použitého mikroskopového objektivu.

Realizace je laboratorního provedení. Je výhodná svou jednoduchostí a praktická tím, že je k indikaci obrazu třeba jen fotografické emulze a odpadá složité elektronické zařízení. Je však třeba pečlivě volit osvětlovací, vyvolávací a ustalovací podmínky fotografické emulze k omezení jejího vlivu na nejmenší možnou míru. Reprodukovatelnosti výsledků měření se dosáhne přísným dodržáním totožnosti zobrazovacích, osvětlovacích a vyvolávacích podmínek. Měření je pomalejší a lze jím určovat jen funkci přenosu kontrastu.

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální práce byly prováděny během mého jedenapůlročního studijního pobytu na tokijské universitě v laboratoři prof. dr. H. Kuboty. Chci proto na tomto místě prof. dr. H. Kubotovi poděkovat za jeho laskavé svolení konat měření v jeho laboratoři a za jeho cenné připomínky.

LITERATURA

- [1] *Kubota, H., Ohzu, H.*: J. Opt. Soc. Am., 47, 666—667, 1957.
- [2] *Goldman, S.*: Information Theory (New York Prentice-Hall, Inc., 1953), 247.
- [3] *Ohzu, H., Kubota, H.*: Oyo Buturi, 26, 3, 96—101, 1957.
- [4] *Kretzmer, E. R.*: The Bell System Tech. Journal, 751—763, 1952.
- [5] *Ooue, Sh., Hatanaka, I.*: Scientific Publications of The Fuji Photo Film Co., LTD, No. 9, 24, 24—30, 1961.

SUMMARY

MEASUREMENT OF THE MODULATION TRANSFER FUNCTION OF OBJECTIVES BY MEANS OF THE STATISTICAL AUTO-CORRELATION METHOD

JAROSLAV POSPÍŠIL

This article describes the statistical auto-correlation method for measurement of the modulation transfer function of objectives. The fundamental equation for the modulation transfer function is derived, the used measuring arrangement and some results of measurements are shown.

РЕЗЮМЕ

ИЗМЕРЕНИЕ ФУНКЦИИ КОНТРАСТНОСТИ ОБЪЕКТИВОВ СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ

ЯРОСЛАВ ПОСПИШИЛ

В статье описан статистический метод автокорреляции для измерения функции контрастности объективов, выведена основная формула метода, описан прибор и показаны результаты измерений.