

PREDIKCIA STAVU RÁDIOVÉHO KANÁLA POMOCOU KALMANOVHO FILTRA

RADIO CHANNEL STATE PREDICTION BY KALMAN FILTER

Peter ŽIAČIK

Matador a.s., 020 01 Púchov, e-mail: peter.ziacik@matador.sk

Vladimír WIESER

Katedra telekomunikácií, Elektrotechnická fakulta ŽU v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 513 2260, e-mail: wieser@fel.utc.sk

Abstrakt: V príspevku je popísané použitie Kalmanovho filtra ako prediktora stavu rádiokomunikačného kanála. Predikčný simulátor bol vytvorený v prostredí MATLAB a umožňuje simulovať predikovanie stavu obálky rádiového signálu pomocou implementovaného Clarkovho modelu rádiového kanála. Simulácie boli realizované pre predikčný rozsah 0,41 ms a 6,24 ms, pričom ako kritérium porovnania slúžila veľkosť predikčnej chyby. Z realizovaných simulácií vyplýva, že s dĺžkou predikcie sa zväčšuje veľkosť predikčnej chyby, čo má za následok chybné rozhodnutie pri adaptačných mechanizmoch.

Summary: In this article there is the description Kalman filter using as a radio channel state predictor. Simulator of prediction has been created in MATLAB environment and it is capable to simulate the prediction of radio signal envelope by Clark's model of radio channel, which is implemented to the simulator. Simulations were realized for prediction range 0.41 ms and 6.24 ms and as comparing criterion we used the prediction error. It is clear from simulations, that with the duration of prediction the prediction error is enlarging, which may cause the erroneous decision of adaptation algorithms.

1. ÚVOD

Optimálna adaptácia rádiového kanála je podmienená odhadom hodnoty interferenčného výkonu v kanáli pomocou vhodnej predikčnej metódy. Článok opisuje predikčnú metódu využívajúcu Kalmanov filter ako adaptívny prediktor meniacich sa prenosových podmienok rádiového kanála.

Kalmanov filter je považovaný za jeden z významných objavov dvadsiateho storočia – článok [1] E. Kalmana vyšiel v roku 1960. Jeho prvými aplikáciami bolo riadenie zložitých dynamických systémov. Od začiatku bol, a stále je, hlavne využívaný nielen v automatizácii, ale aj v grafických a ekonomických aplikáciách a v posledných rokoch sa začal objavovať aj v aplikáciách neurónových sietí a v rádiokomunikáciách.

Kalmanov filter môžeme považovať za zovšeobecnenie Wienerovho filtra v dvoch smeroch. Predovšetkým, vo všeobecnosti, nekladie požiadavku stacionarity a preto môže poskytovať optimálne odhady aj pre nestacionárne signály. Okrem toho neobmedzuje rozsah zberu informácie o signále na posledných N vzoriek, využíva všetky dostupné empirické informácie, ktoré poskytuje pozorovaný signál od počiatku merania, či príjmu. V každom takte množstvo informácie narastá, takže predovšetkým v zvláštnom prípade stacionárnych signálov sa odhad v priebehu času zlepšuje.

Štruktúra Kalmanovho filtra je rekurzívna, pričom jeho koeficienty sa v každom takte upravujú na základe dostupnej informácie tak, aby poskytli optimálny odhad signálu. Rekurzivita Kalmanovho filtra znamená, že filter môže mať nekonečnú impulzovú charakteristiku a je teda všeobecnejší ako Wienerov filter.

2. KALMANOVA FILTRÁCIA

Kalmanova filtrácia je v súčasnosti v literatúre dosť dobre rozpracovaná [1], [2]. Predpokladajme, že signál môže byť modelovaný pomocou vektorového dynamického modelu prvého rádu. Tento vektor sa nazýva stavový vektor. Stavový vektor systému x_t zahŕňa v sebe minimálne množstvo informácie, ktorá jednoznačne popisuje správanie sa dynamického systému, kde t je diskretný čas. Stav systému je vektor obsahujúci všetky relevantné premenné systému.

Dynamický model Kalmanovho filtra je opísaný nasledujúcimi rovnicami [1]:

Stavová rovnica:

$$x_{t+1} = F_{t+1,t} x_t + q_t \quad (1)$$

kde $F_{t+1,t}$ je prechodová matica (systémová matica) transformujúca stav x_t z času t do času $t+1$. Predpokladáme, že procesný šum q_t je aditívny, biely a gaussovský s nulovou strednou hodnotou a kovariančnou maticou Q_t .

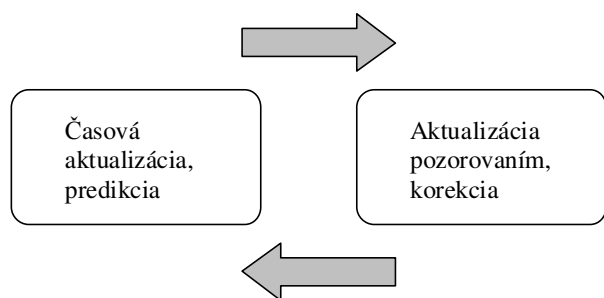
Rovnica pozorovaní:

$$y_t = H_t x_t + r_t \quad (2)$$

kde y_t je pozorovaný (prijímaný) signál v čase t , H_t je matica pozorovania, r_t je vektor šumu procesu pozorovania (predpokladáme, že je aditívny, biely a gaussovský s nulovou strednou hodnotou a kovariančnou maticou R_t). Šumy r_t, q_t sú navzájom nezávislé.

Problém Kalmanovej filtrácie spočíva vo vyriešení stavovej rovnice a rovnice pozorovaní súčasne, optimálnym spôsobom pre neznámy stav. Treba použiť všetky pozorované údaje pozostávajúce z vektorov y_1, y_2, \dots, y_t na nájdenie odhadu minimálnej strednej kvadratickej chyby pre každé $t \geq 1$.

Kalmanov filter pracuje v dvoch neustále sa meniacich krokoch (obr. 1):



Obr. 1. Činnosť Kalmanovho filtra.
Fig. 1. Principle of Kalman filter.

1. Časová aktualizácia (krok predikcie). Vypočíta apriórne predikcie stavu a kovariancie chyby.

$$\hat{x}_t^- = F_{t,t-1} \hat{x}_{t-1} \quad (3)$$

$$P_t^- = F_{t,t-1} P_{t-1} F_{t,t-1}^T + Q_{t-1} \quad (4)$$

kde \hat{x}_t^- , \hat{x}_t je apriórny a aposteriórny odhad stavu systému, P_t^- a P_t je apriórny a aposteriórny odhad chyby.

2. Aktualizácia pozorovaním (krok korekcie). Korigujeme odhad získaný v predchádzajúcom kroku na základe pozorovania y_t .

$$K_t = P_t^- H_t^T [H_t P_t^- H_t^T + R_t]^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{x}_t = \hat{x}_t^- + K_t (y_t - \hat{x}_t^-) \quad (6)$$

$$P_t = (I - K_t H_t) P_t^- \quad (7)$$

stavu systému, K_t je Kalmanov zisk, Q_t je rozptyl procesného šumu a R_t je šum pozorovania.

Limitačný faktor v predikcii je estimačná chyba, ktorá je daná

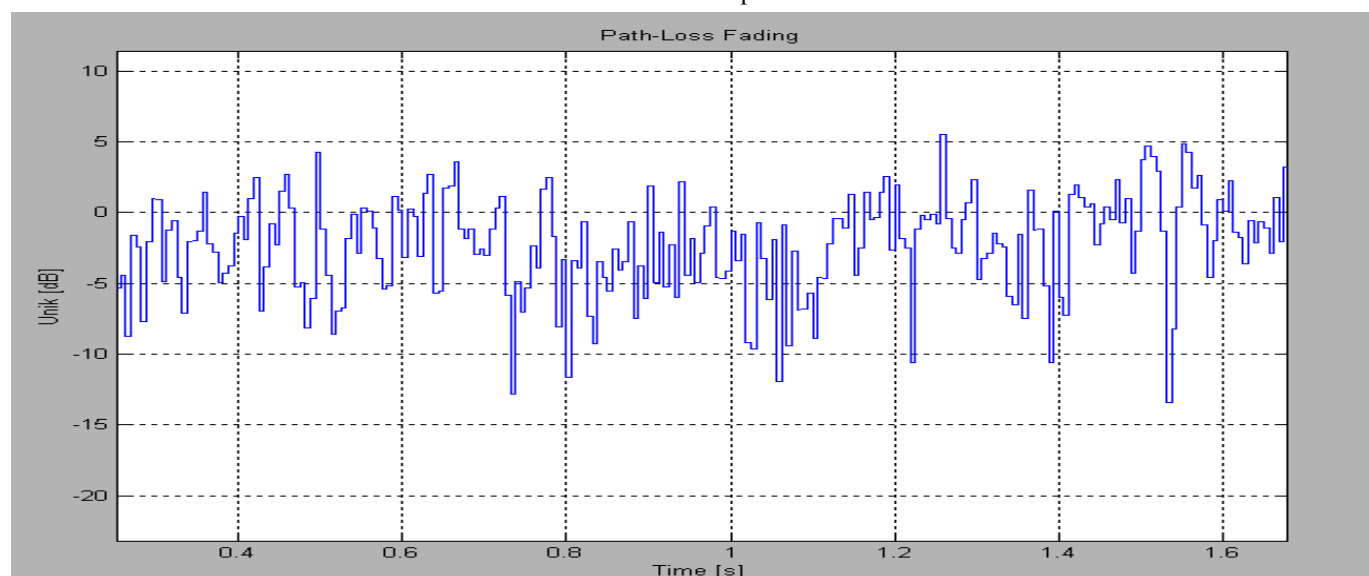
$$\varepsilon_{(t+L)} = y_{(t+L)} - \hat{x}_{(t+L|t)} \quad (8)$$

kde $y_{(t+L)}$ predstavuje stav systému v čase $(t+L)$ a $\hat{x}_{(t+L|t)}$ reprezentuje predikčnú hodnotu stavu v čase $(t+L)$, stanovenú z predchádzajúcich dát do času t . Presnosť predikcie závisí aj od veľkosti predikčného rozsahu L .

3. SIMULÁCIA KALMANOVHO FILTRA

V tejto časti uvádzame použitie Kalmanovho filtra na predikciu hodnoty úrovne obálky prijímaného signálu. Simulátor je realizovaný v prostredí MATLAB. V reálnom mobilnom kanáli musíme počítať s viacerým šírením signálu. Na simuláciu sme zvolili Clarkov model rádiového kanála [3], [4], ktorý dostatočne verne popisuje obálku signálu pri viacerom šírení a pritom je pomerne jednoduchý. Obálka prijímaného signálu má Rayleighovo rozdelenie pravdepodobnosti. Použitý model kanála je realizovaný pomocou štyroch ciest šírenia, v každej je použitý nezávislý Rayleighov simulátor úniku a hodnoty zosilnenia a oneskorenia každej cesty, ako aj Dopplerovu frekvenciu môžeme meniť [4]. Dopplerova frekvencia je pre všetky cesty rovnaká. Časový priebeh obálky signálu Rayleighovho simulátora je na obr. 2.

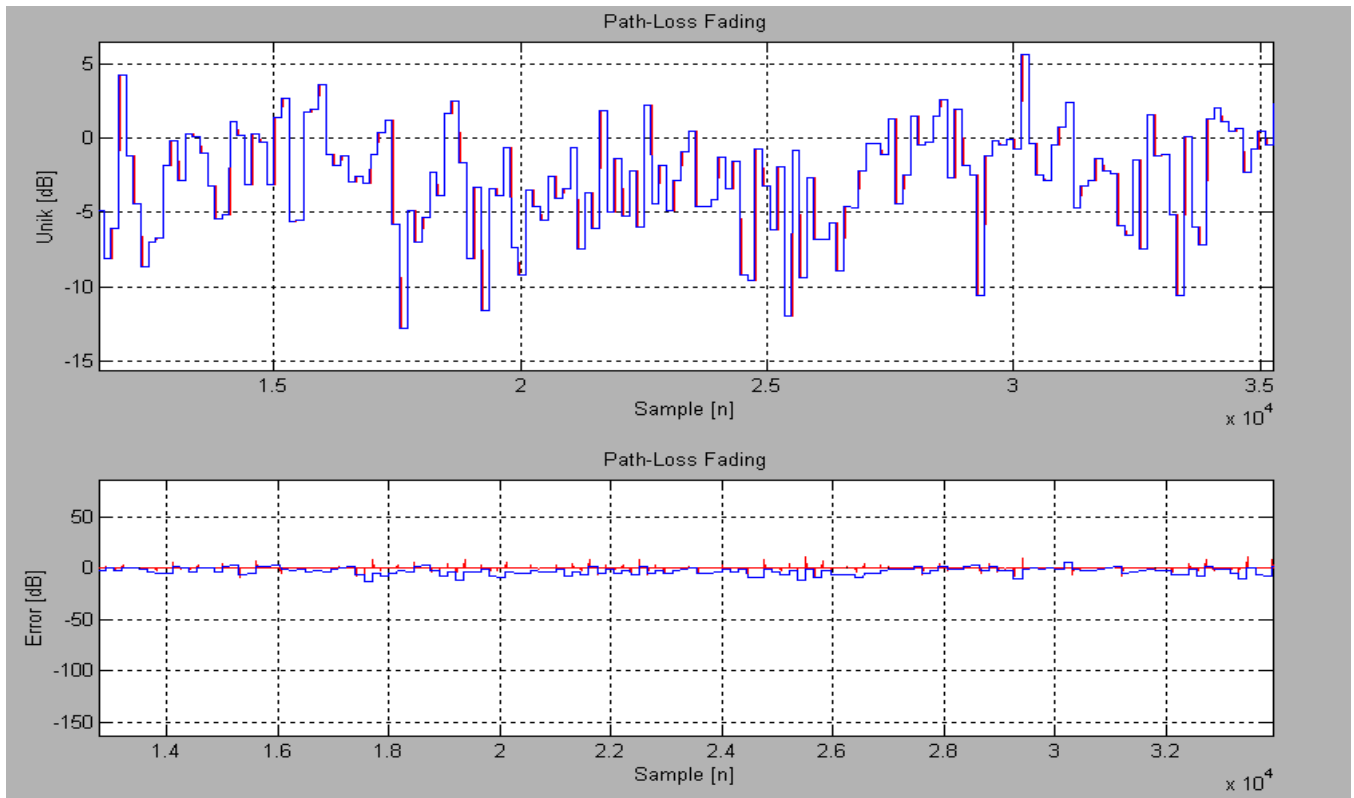
Simulovaná Rayleighova obálka úniku je vzorkovaná frekvenciou s časovou periódou 41,66 μ s, čím získavame 24 000 vzoriek/s Rayleighovej obálky úniku. Získané vzorky ukladáme do výpočtovej pamäte pre ďalšie spracovanie.



Obr.2 Priebeh obálky Rayleighovho simulátora úniku.
Fig. 2. The envelope of Rayleigh fading simulator.

Čas simulácie obálky môžeme editovať v menu programu. Simulácia predikcie bola vykonaná pre hodnoty predikčného rozsahu v intervale 10 a 150 vzoriek, čo predstavuje časový rozsah 0,41 ms a 6,24 ms. Pre výpočet

následnej predikcie podľa už spomínaného algoritmu [2] využívame všetky hodnoty úrovne vstupných vzoriek (pamäť prediktora nie je limitovaná).



Obr. 3 (hore) Priebeh obálky Rayleighovho simulátora úniku (modrá farba) a jej predikcia pomocou Kalmanovho filtra (červená farba) pre predikčný rozsah 0,41 ms (10 vzoriek).

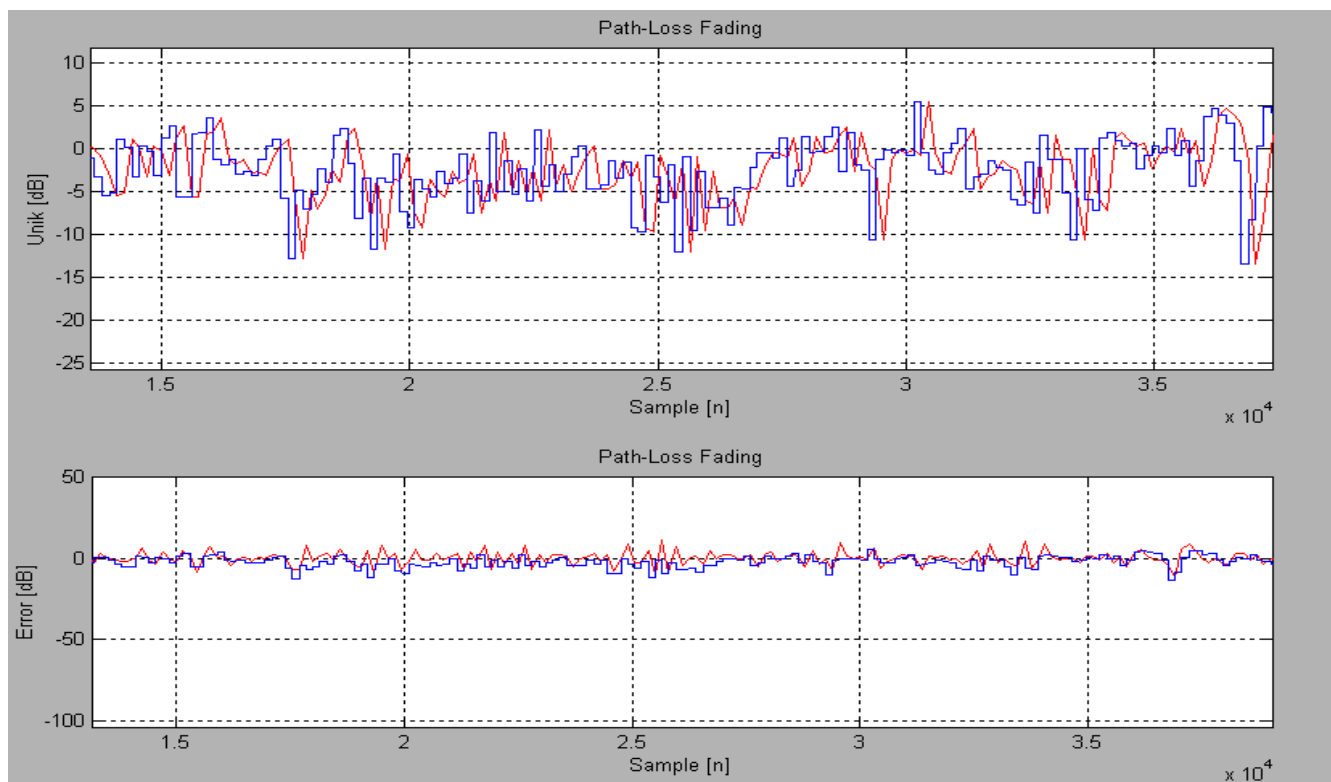
Obr. 3 (dole) Priebeh obálky Rayleighovho simulátora úniku (modrá farba) a priebeh chyby predikcie Kalmanovho filtra (červená farba) pre predikčný rozsah 0,41 ms (10 vzoriek).

Fig. 3 (up) The envelope of Rayleigh fading simulator (blue) and its prediction by Kalman filter (red) for prediction range 0.41 ms (10 samples).

Fig. 3 (down) The envelope of Rayleigh fading simulator (blue) and the envelope prediction error by Kalman filter (red) for prediction range 0.41 ms (10 samples).

Na obr. 3 a obr. 4 môžeme vidieť výslednú predikciu s rôznym predikčným rozsahom (0,41 ms a 6,24 ms). V dolnej časti obrázkov je priebeh predikčnej chyby. Z priebehov je zrejmé, že s rastom predikčného rozsahu rastie aj hodnota predikčnej chyby, čo je rozdiel medzi

skutočnou hodnotou obálky a predikovanou hodnotou obálky. Uvedená simulácia bola realizovaná pri Dopplerovej frekvencii 100 Hz čomu zodpovedá pri frekvencii signálu 1 880 MHz pohyb stanice rýchlosťou 57,4 km/h.



Obr. 4 (hore) Priebeh obálky Rayleighovho simulátora úniku (modrá farba) a jej predikcia pomocou Kalmanovho filtra (červená farba) pre predikčný rozsah 6,24 ms (150 vzoriek).

Obr. 4 (dole) Priebeh obálky Rayleighovho simulátora úniku (modrá farba) a priebeh chyby predikcie Kalmanovho filtra (červená farba) pre predikčný rozsah 6,24 ms (150 vzoriek).

Fig. 4 (up) The envelope of Rayleigh fading simulator (blue) and its prediction by Kalman filter (red) for prediction range 6,24 ms (150 vzoriek).

Fig. 4 (down) The envelope of Rayleigh fading simulator (blue) and the envelope prediction error by Kalman filter (red) for prediction range 6,24 ms (150 vzoriek).

4. ZÁVER

V príspevku je popísaná predikcia hodnoty úrovne obálky prijímaného signálu pomocou Kalmanovho filtra. Simulačný model Kalmanovho filtra v prostredí Matlab bol aplikovaný na Clarkov model pre kanál s viaccestným šírením signálu, ktorý predstavuje jednoduchú a pre simuláciu vhodnú implementáciu krátkodobého úniku do mobilného rádiového systému. Zo simulovaných priebehov je zrejmé, že chyba predikcie rastie s veľkosťou predikčného rozsahu, čo v prípade aplikácie v mobilných komunikačných sieťach 3G môže predstavovať značnú chybu v nastavení adaptačných parametrov spoja (výkon, modulačná schéma).

LITERATÚRA

- [1] KALMAN, R. E.: *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*. Transactions of the ASME, Series D, Journal of Basic Engineering, 1960, No. 82, pp. 35-45.
- [2] WELCH, G. - BISCHOP, G.: *An Introduction to the Kalman Filter*. Department of Computer Science, University of North Carolina, Chapel Hill, NC 27599-3175, April 2004.
- [3] EKMAN, T.: *Prediction of Mobile Radio Channels*. Signals and Systems, Uppsala University Uppsala, Sweden, November 2000.
- [4] MAREK, T. - PŠENÁK, V.: *Simulácia digitálnych modulácií v mobilnom rádiovom kanáli*. Žilinská univerzita v Žiline, práca ŠVOČ 2004.