

Válaszok bírálói kérdésekre

Tisztelt dr. Sujbert László!

Először is szeretném ismét megköszönni, hogy elvállalta dolgozatom bírálatát. Köszönöm, hogy észrevételeivel és szakmai megjegyzéseivel hozzájárult dolgozatom formai és tartalmi minőségének fejlődéséhez.

A bírálatban feltett kérdésre a következő választ adom:

Hogyan lehetne meghatározni a zaj okozta hibát az UPSOOK protokoll esetében, feltéve, hogy a zaj eloszlása normális és szórása ismert?

A dolgozatban vizsgált, szakirodalomban fellelhető UPSOOK és UFSOOK protokollok működése hasonló. Teljes zárvezérlésű (global shutter) kamera esetén az adó (modulált LED fényforrás) állapotának (ki-, bekapcsolt állapot) meghatározása a képfelvételen látható intenzitása alapján történik, komparátor segítségével. A protokollok által használt fejrész szimbólum megegyezik. A lényeges különbség a 0-s és 1-es bit kódolásának és dekódolásának megvalósításában rejlik.

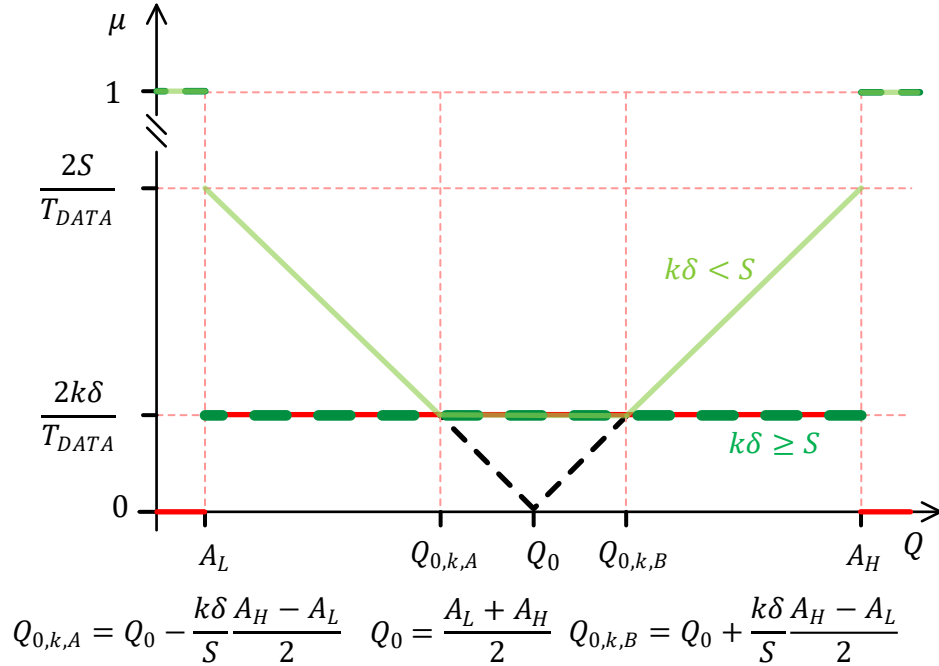
UFSOOK esetén a 0-s és az 1-es adatbiteket rendre a SPACE és a MARK szimbólumok képviselik. A szimbólumok megállapításához először párokba szervezzük a jeladó egymás utáni képfelvételeken látható állapotait: ha a két állapot megegyezik, SPACE szimbólumról beszélünk; ha a két állapot különbözik, MARK szimbólumról beszélünk. Ezt adóoldalon két különböző frekvencia (f_{MARK} és f_{SPACE}) felhasználásával biztosítja az UFSOOK protokoll: SPACE szimbólum esetén a kamera mintavételezési frekvenciájának n -szerese; MARK szimbólum esetén pedig annak $(n - 0.5)$ -szerese, ahol $n > 0$, egész szám és egyben tervezési paraméter. A különböző frekvenciák használata azt eredményezi, hogy a kamera 180° -os fáziseltéréssel fogja venni a két darab mintát a MARK szimbólumból, SPACE szimbólum esetén pedig azonos fázissal.

Az UPSOOK protokoll ezzel szemben csupán egyetlen frekvenciát használ az adatszimbólumokhoz, amelynek fázisa adóoldalon változik meg 180° -al (a jel negálásával) attól függően, hogy MARK vagy SPACE szimbólumot küldünk. Fontos különbség, hogy az UPSOOK protokollnál az adatszimbólumok dekódolásához elegendő egyetlen mintát venni azokból, amelyet a fejrész és az adatszimbólumok között található referenciaszimbólumból vett mintával kell összehasonlítani (pontosabban fogalmazva a minták alapján meghatározott adóállapotok kerülnek összehasonlításra). Amennyiben a referenciaszimbólum mintájához kikapcsolt adóállapotot állapítottunk meg a komparálás során, az adatszimbólumoknál érzékelt kikapcsolt adóállapotok MARK szimbólumokat, a bekapcsolt adóállapotok SPACE szimbólumokat eredményeznek. Ugyanez igaz a fordítottjára is: ha a referenciaszimbólumhoz bekapcsolt adóállapot tartozik, akkor a bekapcsolt adóállapotok képviselik a MARK szimbólumokat, a kikapcsolt adóállapotok pedig a SPACE szimbólumokat. Fontos megemlíteni, hogy a SPACE és MARK szimbólumok fordított jelentéssel bírnak a két említett protokoll esetén: UFSOOK esetében a SPACE szimbólumhoz megegyező adóállapotok, MARK szimbólumhoz különböző adóállapotok tartoznak; míg UPSOOK esetében a SPACE szimbólumhoz különböző adóállapotok, a MARK szimbólumhoz pedig megegyező adóállapotok tartoznak.

Egy másik fontos különbség, hogy az UFSOOK esetében a szimbólumokhoz használt minták között a valóságban mindig \tilde{T}_{CAM} idő telik el, míg UPSOOK esetében a szimbólum megállapításához használt referenciaminta és adatminta között $k * \tilde{T}_{CAM}$ idő, ahol k egy egész szám, amely a referenciaszimbólum után álló az adatszimbólum 1-gyel kezdődő indexe.

Az UPSOOK protokoll esetében a zaj okozta hiba hatásának meghatározásához használhatjuk az UFSSOOK protokoll vizsgálatánál eszközölt módszert, de szükség van apróbb módosításokra az említett hasonlóságoknak és különbségeknek megfelelően.

Mivel szoros összefüggés van a frekvenciahiba, a szuboptimális komparálási szint okozta hiba és a zaj által okozott hiba között, először vizsgáljuk meg a zajmentes esetet az UPSOOK protokollnál. A dolgozat 2.4-es, UPSOOK protokollnak megfelelően módosított ábrája az 1. ábrán látható.



1. ábra Bithibaarány zajmentes esetben: k bitindex, Q komparálási szint és δ minták közti időeltolódás függvényében. T_{DATA} az adóoldali modulációs jel periódusa, S a kamera exponálási ideje, A_L a szenzor által érzékel jel amplitúdójának minimum értéke, A_H pedig ezen jel maximális értéke. A SPACE szimbólumok bithibaarányát zöld színek, a MARK szimbólumokét vörös szín jelöli.

A megfelelő változtatások értelmében a MARK és SPACE szimbólumokhoz tartozó bithibaarányok kinézetei felcserélődtek. T_{SPACE} és T_{MARK} periódusok helyett UPSOOK esetén a közös T_{DATA} periódus használatos. Mivel a k -adik szimbólum azonosítása során $k\delta$ távolságra vagyunk a referenciamintától, a szimbólumok meghatározása során használt feltételeket és képleteket is ennek megfelelően kell kiegészíteni a k bitindexszel. Például a 3. szimbólum azonosításához 3δ távolsággal kell számolnunk, illetve a komparálási szintet A_L és A_H tartományban tartva $6\delta/T_{DATA}$ bithibaarányt várhatunk a legkedvezőbb esetben, ha $k\delta \geq S$. Tehát a k -adik szimbólumnál a szenzor által vételezett $d_1(t)$ és $d_2(t)$ jelek (dolgozatban (2.8) képlet) a $d_1(t) = d_2(t - k\delta)$ összefüggés alapján felelnek meg egymásnak.

Az additív zajt 0 várható értékű normál eloszlással és σ szórással modellezve a dolgozat 2.2.2-edik, UFSSOOK fejezetében ismertetett (2.30) és (2.31) képletek nem igényelnek további módosítást. Ugyanakkor, a szimbólumok jelentésének felcserélése miatt a 2.2.2 fejezet (a) és (b) feltételei immár a MARK szimbólumhoz, (c) és (d) feltételei pedig a SPACE szimbólumhoz tartoznak. Ennek fényében szükség van a (2.37)-es, illetve (2.38)-as képletek módosítására is:

$$P_{err,SPACE}(t, Q) = P_{err-c} + P_{err-d} ,$$

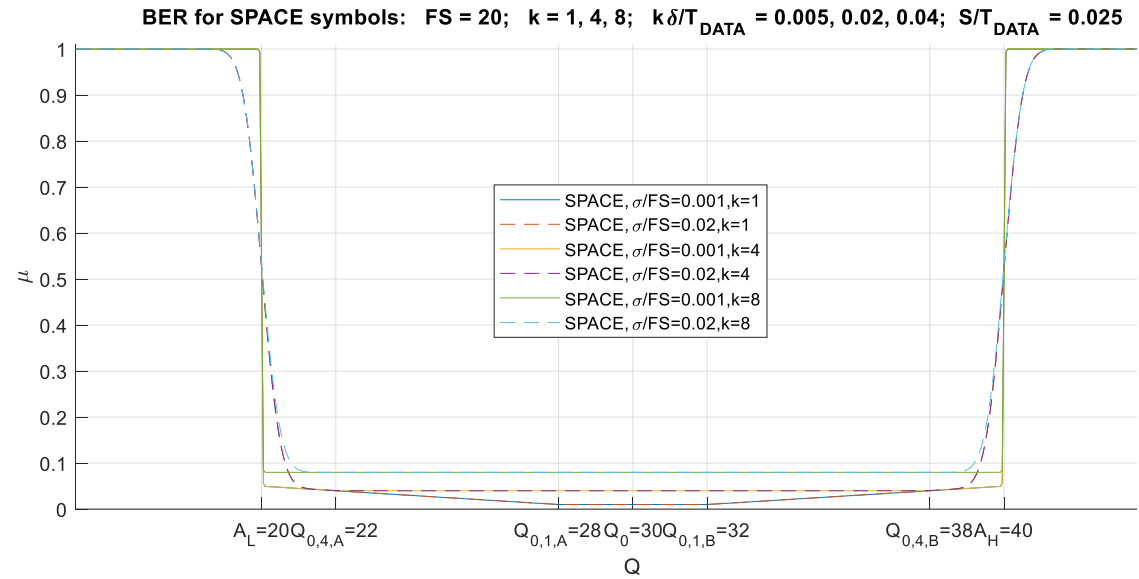
$$P_{err,MARK}(t, Q) = P_{err-a} + P_{err-b} .$$

A módosításokat követően a μ bithibaarány meghatározására UPSOOK esetében is használható a dolgozat (2.39)-es megoldása:

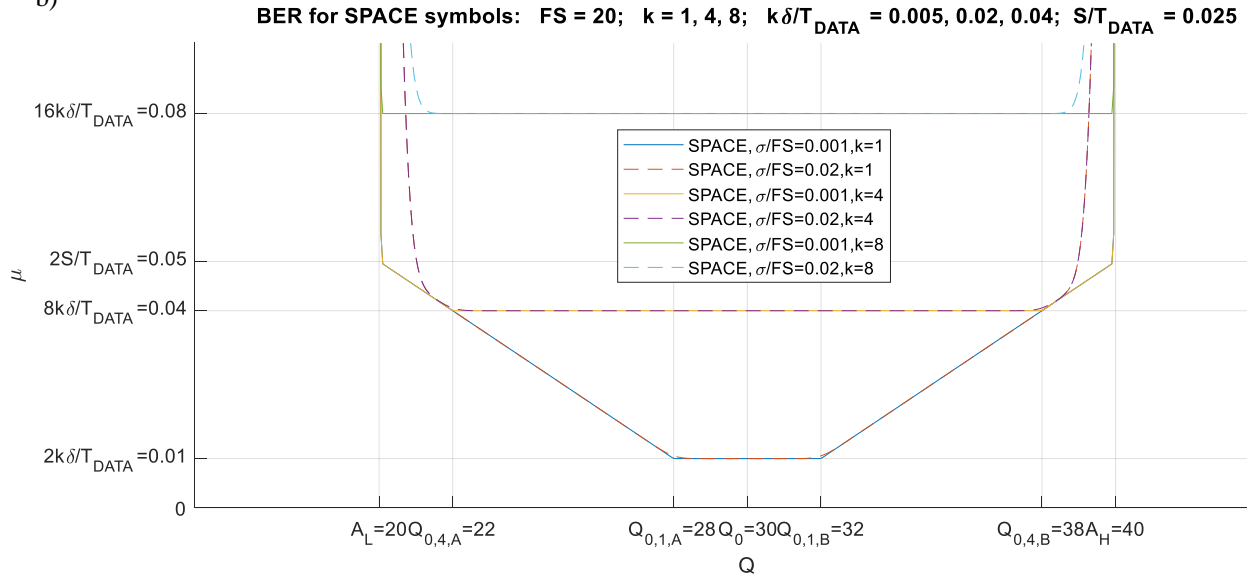
$$\mu = \frac{1}{T} \int_0^T P_{err}(t, Q) dt \cong \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_{err} \left(m \frac{T}{M}, Q \right),$$

ahol $T = T_{DATA}$, $P_{err} = P_{err,SPACE}$ a SPACE szimbólumokhoz, $P_{err} = P_{err,MARK}$ a MARK szimbólumokhoz. A k bitindex hatása pedig az M darab mintapont kiértékelés során felhasznált $d_1(t)$ és $d_2(t)$ jeleken keresztül mutatkozik meg. SPACE szimbólum esetén a 2. ábrán látható eredményeket kapjuk.

a)



b)



2. ábra Bithibaarány normál eloszlású, σ szórású additív zaj esetében SPACE szimbólumoknál: k bitindex, Q komparálási szint és δ minták közti időeltolódás függvényében. T_{DATA} az adóoldali modulációs jel periódusa, S a kamera exponálási ideje, A_L a szenzor által érzékel jel amplitúdójának minimum értéke, A_H pedig ezen jel maximális értéke. Az ábra b) része az a) rész aljának nagyított változata. $Q_{0,k,A}$ és $Q_{0,k,B}$ a k -adik bitnek megfelelő tranzienz részek közti metszéspontok helyeit jelölik.

frekvencia egész többszöröse). Ekkor jó közelítéssel becsülhetjük a teljes adatátvitelre jellemző hibaarányt az átküldeni kívánt biteknek megfelelő szimbólumok hibaarányának maximumaként, amihez jellemzően általában az utolsó szimbólum járul hozzá a legnagyobb mértékben, ahogyan azt a 2. és a 3. ábra is mutatja.

Végezetül szeretném még egyszer megköszönni az elgondolkodtató kérdést és az értékes szakmai bírálatot.

Veszprém, 2024.07.09.

Rátosi Márk

Rátosi Márk