

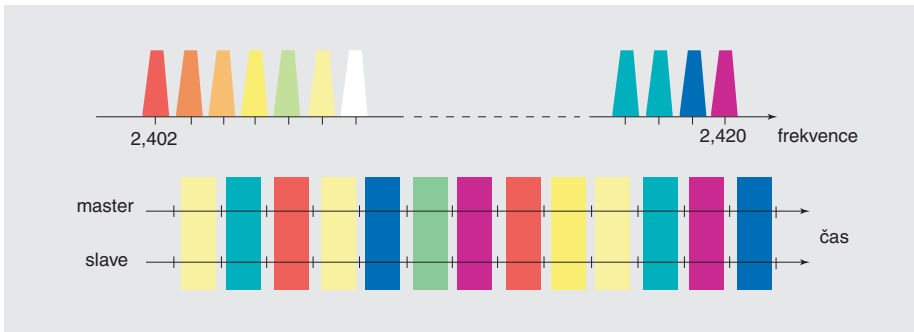
Principy a perspektivy technologie Bluetooth

Technologie Bluetooth se jednoznačně prosazují v mnoha aplikacích, kde ještě nedávno kralovaly pouze kabelové svazky s konektory, které pro většinu uživatelů mohou znamenat potenciální zdroj obtížně identifikovatelných technických problémů. Bezdrátovou komunikaci si vynutilo i zavádění datového provozu do strukturovaných mobilních sítí, při rekonfigurovatelném propojování mobilních telefonů a sdílených periferií se stolními počítači, notebooky, palmtopy, PDA atd. Řada výrobců spotřební elektroniky vybavuje automaticky nové produkty bezdrátovými komunikačními moduly, které splňují standardy Bluetooth (počínaje vybavením pro centra rodinné zábavy – Multimedia Home Platform a ledničkou, digitálním fotoaparátem či kamerou nebo domácí pekárnou konče). Obecně lze v blízké budoucnosti také očekávat bouřlivý rozvoj rozlehlých systémů s rozprostřenou inteligencí (např. při řízení inteligentních domů, robotizovaných výrobních systémů, při měření a sběru dat, výzkumu a praktických aplikacích umělé inteligence atd.) a v této souvislosti se budou rozvíjet a jistě se uplatní i technologie Bluetooth.

Úvod

Technologii Bluetooth byl předpovídán velmi rychlý rozvoj, ačkoli z komerčního hlediska byla dlouhou dobu spíše ve

stavu standby. V poslední době však můžeme sledovat obrat provázený růstem jejich implementací. Lze tedy očekávat, že zenit této technologie brzy přijde. V tomto článku popisujeme základy technologie Bluetooth, v budoucnu se jí můžeme věnovat i podrobněji.



Obr. 1 Princip metody kmitočtových skoků

stavu standby. V poslední době však můžeme sledovat obrat provázený růstem jejich implementací. Lze tedy očekávat, že zenit této technologie brzy přijde. V tomto článku popisujeme základy technologie Bluetooth, v budoucnu se jí můžeme věnovat i podrobněji.

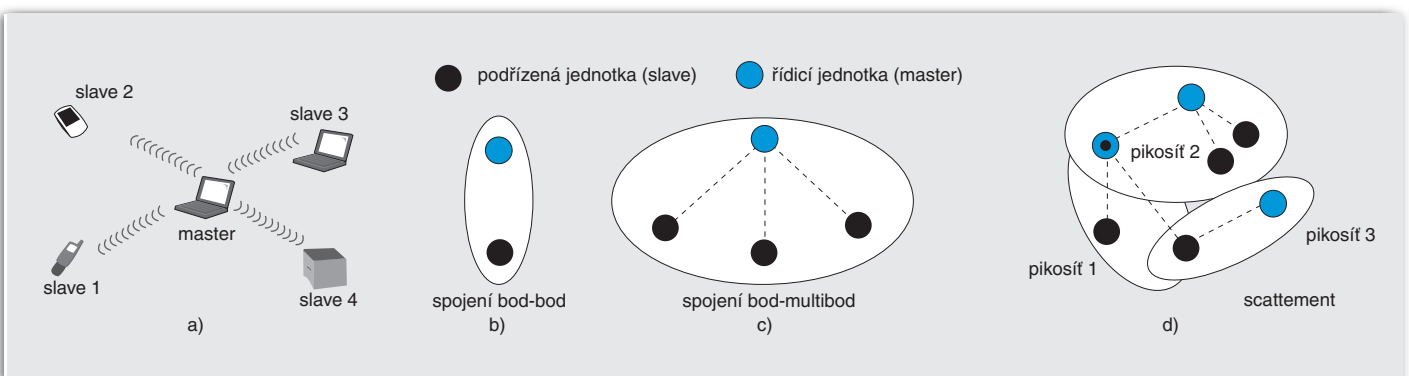
nami nebo pro vytváření lokálních sítí. Systém Bluetooth může najít využití v domácnostech, kancelářích, automobilovém průmyslu nebo řídicích systémech či v přístupu k lokální síti. Další výhodou této technologie je

Ericsson, IBM, Intel, Lucent Technologies, Microsoft, Motorola, Nokia, Toshiba) a tisíců členských společností. Tato skupina se zabývala definováním standardů ohledně technologie Bluetooth. První verze specifikací byla uvolněna v červenci 1999 a první výrobky vybavené technologií Bluetooth přišly na trh během roku 2000. V červenci 2003 byla publikována poslední verze specifikací 1.1, která se od původního dokumentu liší jen drobnými detaily formálního rázu. Verze 2.0 bude obsahovat nové funkce a umožní komunikovat vyššími přenosovými rychlostmi.

Název této technologie vychází z historie. Harald Bluetooth byl viking-
ský král v letech 940–981. Byl známý svou dovedností, díky které dokázal přimět lidi mezi sebou navzájem komunikovat. Během jeho kralování došlo

Tabulka 1 Rozdělení frekvenčního pásma

Lokalita	Pásmo [GHz]	Kanály [MHz]
USA, Evropa a další země	2,400–2,4835	f=2405+k, k=0–78



Obr. 2 Příklad fyzického uspořádání různých typů zařízení sítě piconet: a); a různé varianty pikosisť systému Bluetooth: b), c), d)

Důvody vzniku technologie Bluetooth, oblasti použití

Systém Bluetooth je založen na levném krátkodosahovém rádiovém spojení, bez potřeby konektorů, kabelů nebo jiných pevných spojení. Mezi další požadavky patří též nároky na nízkou spotřebu ener-

fakt, že zde není potřeba přímé viditelnosti jako například při infračerveném přenosu.

V květnu 1998 vznikla kolem technologie Bluetooth zvláštní zájmová skupina SIG (Bluetooth Special Interest Group), skládající se z 9 velkých firem (3Com,

k pokřesťanství a sjednocení Norska a Dánska. A tak jako Harald Bluetooth dokázal sjednotit Norsko a Dánsko, tak se nová technologie snaží sjednotit normy ohledně bezdrátového přenosu hlasu a dat. A z tohoto důvodu byla tato technologie pro přenos hlasu a dat po-

jménována Bluetooth jako památka na krále Haralda.

Základní možnosti a funkce technologie Bluetooth:

- Ultimate headset – usnadní práci s telefonem v kanceláři, doma nebo v autě;
- Internet bridge – dovolí uživateli připojení k Internetu prostřednictvím bodu připojení (pevného nebo mobilního) z kterékoli místa;
- 3-in-1 phone – umožní telefonu pracovat jak ve funkci přenosného, tak i mobilního telefonu;
- synchronizace – umožní jednoduchým způsobem synchronizovat práci přenosného počítače s mobilním telefonem nebo s PDA, například při aktualizaci seznamu kontaktů, termínů v kalendáři apod.

Technologie Bluetooth je s výhodou použitelná při realizaci zařízení, kde jsou kladeny nároky na malé rozměry, příkon i cenu, například:

- mobilní telefony;
- headsety;
- PDA, digitální fotoaparáty.

Frekvenční pásmo a typy výkonových tříd

Jedním z klíčových požadavků při návrhu rádiového rozhraní bylo zajištění celosvětové působnosti (kompatibility pásma). Nejvhodnější kmitočtové pásmo, které splní tyto požadavky, je pásmo ISM (Industrial Scientific Medical band) – 2,4 GHz. Pásmo ISM je bezlicenční, volné pro kterýkoliv rádiový systém. Celá šířka pásma 2,400–2,4835 GHz se nepoužívá ve všech zemích, například ve Francii je toto pásmo omezené pouze na rozsah 2,4465–2,4835 GHz. Rozdělení frekvenčního pásma je uvedeno v tabulce 1.

Za účelem potlačení interference s dalšími signály, které operují v pásmu ISM, používá technologie Bluetooth metodu kmitočtových skoků (frequency hopping) s nominální rychlostí 1600 skoků/s. Vysílač mění frekvenci po každém přenosu a příjmu. Tím je zajištěna větší kvalita spojení. Princip této metody je zobrazen na obr. 1.

Podle výstupního výkonu se zařízení Bluetooth dělí do tří tříd (viz tabulka 2).

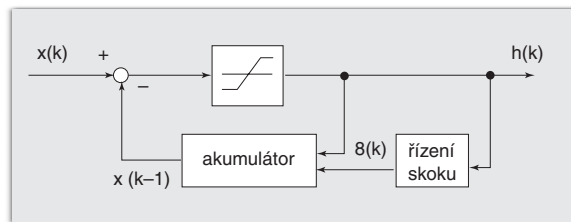
Typy spojení

Zařízení Bluetooth nacházející se v dosahu mohou mezi sebou tvořit spojení bod-bod nebo v případě více zařízení spojení bod-více bodů. Technologie Bluetooth podporuje současný přenos hlasu a dat

mezi dvěma zařízeními. Kromě toho umožňuje:

- až 3 současná hlasová spojení typu bod-bod (*P-P*);
- datové spojení typu bod-mnoho bodů (*P-MP*) a až 2 současná hlasová spojení typu bod-bod (*P-P*).

Zařízení Bluetooth, která jsou v dosahu, mohou vytvořit spojení *P-P* nebo *P-MP*. Jednotky mohou být dynamicky připojené nebo odpojené od sítě. Dvě nebo více zařízení, která sdílejí společný kanál, tvoří buňku zvanou piconet. Několik takovýchto buněk se může sloučit do většího uskupení zvaného scatternet (umožňuje přenos na delší vzdále-



Obr. 3 Blokové schéma CVSD

nosti přeposíláním přes několik jednotek) a umožnit tak pružnější komunikaci. Jestliže je v dosahu další buňka piconet, pak každá pracuje nezávisle a má přístup k celé šířce pásma. Každá buňka piconet je stanovena jiným schématem frekvenčních skoků. Všichni uživatelé v této jedné buňce se synchronizují na toto schéma. Na rozdíl od zařízení IR nejsou jednotky Bluetooth omezeny přímou viditelností. Kvůli řízení provozu v buňce se jedno zařízení stane nadřaze-

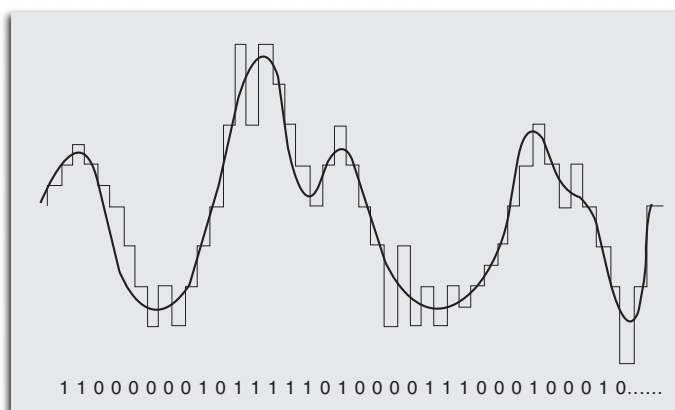
čem, s PDA, tiskárnou a mobilním telefonem – toto uskupení tvoří malou bezdrátovou síť označovanou jako piconet (viz obr. 2a).

Pro přenos hlasu a jiných časově kritických dat jsou určeny synchronní spojově orientovaná spojení SCO (Synchronous Connection Oriented link) s přenosovou rychlostí 64 kb/s. Každá jednotka může v jeden okamžik provozovat až tři taková spojení. Pro přenos ostatních dat je určeno asynchronní bezspojově orientované spojení ACL (Asynchronous Connection-Less link). Maximální přenosová rychlost pro spojení ACL je při symetrickém provozu 432,6 kb/s, pro asymetrický 723 kb/s v jednom a 57,6 kb/s v druhém směru. Skutečná přenosová rychlost je však závislá na počtu jednotek se kterými probíhá komunikace. Přenášená data mohou být zabezpečena pomocí cyklického kódu a dopředné kontroly chyb. Technologie Bluetooth podporuje pro zvýšení bezpečnosti přenášených dat procedury autentizace a šifrování.

Použití kódování, modulace

Přenos hlasu je realizován synchronním spojením o rychlosti 64 kb/s. Datové spojení je asynchronní – a to buď asymetrické (s rychlostmi 723 kb/s v jednom směru a 57,6 kb/s ve směru opačném), nebo symetrické (s rychlostí 432,6 kb/s v obou směrech přenosu). Hlasové kódování je založeno na metodě CVSD (Continuous Variable Slope Delta) – viz obr. 3. Ta byla vybrána kvůli spolehlivosti a odolnosti proti ztrátě a poškození hlasových vzorků. Jedná se o modifikaci klasické delta modulace, velikost skoku zde totiž již není konstantní, ale závisí na vstupním signálu. Výhodou CVSD je pružnější reakce na rychlé změny signálu. Princip je nejlépe patrný z obr. 4. V technologii Bluetooth se používá Gaussovská modulace GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Jedná se o Gaussovskou modulaci s frekvenčním klíčováním, při které je modulátoru FSK předřazena dolní propust gaussovského typu. Pravoúhlý signál se po průchodu touto propustí přemění na spojitý signál ve tvaru Gaussovy křivky, a tím se omezí

Výkonová třída	Max. výst. výkon	Nom. výst. výkon	Min. výst. výkon
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)
2	2,5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0,25 mW (-6 dBm)
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A



Obr. 4 Princip CVSD – reakce na rychlou změnu signálu

ným (Master) a ostatní jsou mu podřízené (Slaves). Podle specifikace Bluetooth může s Masterem aktivně komunikovat až 7 zařízení typu Slave. Například přenosný počítač (Master) se spojí s různými zařízeními (Slaves): s dalším počíta-

čem, s PDA, tiskárnou a mobilním telefonem – toto uskupení tvoří malou bezdrátovou síť označovanou jako piconet (viz obr. 2a).

Zabezpečení přenosu

K zabezpečení systému Bluetooth se používá množství mechanismů. V každé jednotce musí být realizovány procedury ověřování a šifrování stejným způsobem. Na spojové vrstvě jsou používány k dosažení bezpečnosti tyto čtyři entity:

- veřejné adresování, které je jedinečné pro každého uživatele (Bluetooth adresa má velikost 48 b);
- dva tajné klíče (délky 128 b);
- různé číslo (délky 128 b), které je různé pro každou novou operaci.

Ověřováním (autentizací) se předejde nežádoucím přístupům k datům, například při připojování přenosného počítače k mobilnímu telefonu může být požadován PIN. Šifrováním se předejde odposlechům a zachová se utajení dat.

Struktura protokolů

Nejnižší vrstva je rádiové rozhraní (Bluetooth Radio) odpovídající fyzické vrstvě modelu RM OSI. V této vrstvě je definováno kmitočtové pásmo, uspořádání kanálů a přenosové charakteristiky systému. Ve druhé, základní vrstvě (Baseband), se specifikují formáty paketů, fyzické a logické kanály a provozní režimy pro přenos hlasu a dat. V další vrstvě se nacházejí bloky Audio a Link Manager. Blok audio je odpovědný za přenos hlasu a vychází z doporučení ITU-T. Protokol správy spojení (Link Manager) se zabývá ověřováním spojení, managementem buněk, vytvářením, rušením a konfigurací spojení. Mezi touto vrstvou a vyšší vrstvou L2CAP (vrstvou protokolu pro řízení a adaptaci logických spojení (Link Layer Control and Adaptation Protocol), která provádí multiplexování protokolů vyšších vrstev a segmentaci paketů) se nachází rozhraní HCI (Host Controller Interface) – hostitelské řídicí rozhraní. Toto rozhraní poskytuje standardizované rozhraní mezi hostitelským zařízením Bluetooth (například přenosným počítačem) a modulem Bluetooth. Služeb vrstvy L2CAP využívají protokoly RFCOMM, TCS a SDP. RFCOMM je jednoduchý transportní protokol, který emuluje standardní sériové rozhraní. Jeho definice vychází ze specifikací ETSI TS 07.10 a poskytuje slučitelnost s aplikacemi využívající právě sériové rozhraní. Protokol pro řízení telefonie TCS (Telephony Control protocol Specification) je určen pro výměnu signalizace při hovorovém spojení mezi zařízeními

Bluetooth. Protokol SDP je určen pro výměnu informací o službách dostupných na jednotlivých zařízeních. Aplikace může díky tomuto protokolu zjistit nejen to, je-li daná služba podporována, ale i konfiguraci této služby. V další vrstvě je množství přejatých protokolů pro různé aplikace. Mimo jiné se zde nachází protokol OBEX (Object Exchange Protocol) původně navržený pro přenos na infračerveném sériovém rozhraní pro výměnu souborů či kontaktů mezi např. osobním počítačem a mobilním telefonem. Dále zde můžeme nalézt protokol TCP/IP pro přístup do počítačových sítí a Internetu. Pro ovládání různých zařízení je definována

počítači (přenos kontaktů a souborů) a případně výměna vizitek mezi mobilními telefony.

Použití technologie Bluetooth při realizaci náhlavní sady

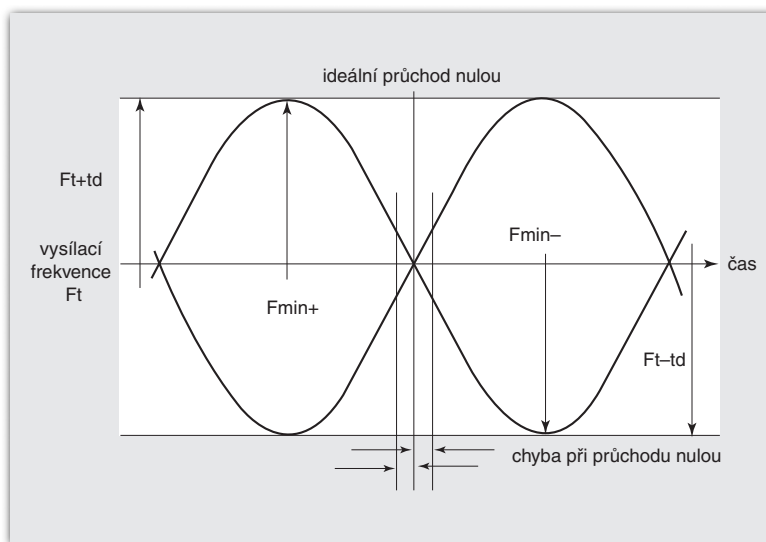
Tato aplikace se s výhodou používá v automobilech a všude tam, kde by vedení kabelů od mobilního telefonu k náhlavní sadě způsobovalo jisté nepohodlí. Další výhodou je také jednodušší instalace, nemluvě o situaci, kdy je handsfree sada zabudována v interiéru automobilu. Další možnost využití se nabízí na operátorských pracovištích, kde bezdrátové spojení přispívá k pohodlí při práci.

Při realizaci takového spojení pomocí technologie Bluetooth je nutné vytvořit dva provozní kanály: kanál ACL pro přenos signalizace a kanál SCO pro vlastní přenos hlasu. Signalizace je realizována pomocí speciálních příkazů AT, díky kterým je například možné regulovat hlasitost sluchátek i citlivost mikrofonu. Další příkazy indikují stisknutí tlačítka na sluchátku a příchozí hovor. Příkazy AT jsou přenášeny v kanálu ACL protokolem RFCOMM. Zařízení, které řídí spojení, se nazývá audio brána

(audio gateway). Většinou sestavuje jako první kanál ACL pro přenos signalizace (jako například indikace příchozího hovoru) a následně vytvoří kanál SCO pro přenos audio signálu. V některých případech, kdy je vyzváněcí tón přenášen přímo v audio kanálu, je postup opačný.

Sériová komunikace pomocí Bluetooth

Sériová komunikace pomocí systému Bluetooth je používána při spojení přenosného počítače a mobilního telefonu, při spojení dvou počítačů apod. Jedná se vlastně o náhradu kabelu k sériovému rozhraní použitého zařízení. Výhody bezdrátového přenosu jsou zde zřejmé: rychlost a jednoduchost realizace spojení, a to i v podobě sítě až sedmi stanic. Nevýhodou je poměrně nízká rychlost přenosu dat (433,9 kb/s případně 723,2/57,6 kb/s v základní vrstvě). Při použití s mobilním telefonem jsou tyto rychlosti dostatečné, protože v sítích GSM jsou přenosové rychlosti mnohem nižší (desítky kb/s), při výměně většího množství dat mezi počítači již však stačit nemusí a uživatel raději zvolí jiné prostředky jako je například technologie WiFi.

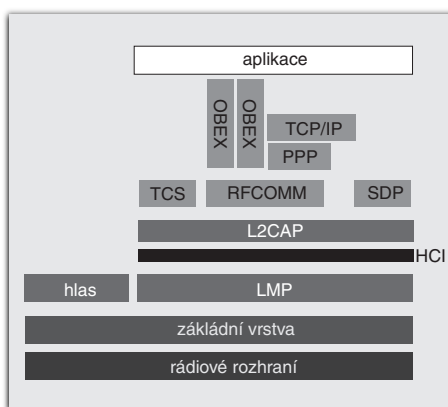


Obr. 5 Princip gaussovské modulace s frekvenčním klíčováním GFSK

množina AT příkazů. Vrstvy systému Bluetooth jsou zobrazeny na obr. 6.

Praktické aplikace systému Bluetooth

V současné době se systém Bluetooth nejčastěji využívá ve spojení s mobilními telefony a kapesními počítači. Typické příklady aplikace jsou přenos hlasu mezi mo-



Obr. 6 Zobrazení jednotlivých vrstev systému Bluetooth

bilním telefonem a náhlavní sadou – handsfree, realizace bezdrátového spojení přenosného počítače a mobilního telefonu (např. přístup na Internet pomocí GPRS), synchronizace dat v osobním a kapesním

Při aplikacích využívajících sériovou komunikaci je nutné na základní vrstvě vytvořit minimálně jeden provozní kanál typu ACL, ve kterém jsou uživatelská data přenášena protokolem RFCOMM. Ten umožňuje kromě přenosu vlastních dat i přenos stavů některých obvodů podle doporučení V.24 a řízení toku. Tím plnohodnotně nahrazuje počítačové rozhraní RS232. Vzhledem k tomu, že protokol RFCOMM umožňuje vytvoření několika (až 64) simultánních spojů, může spolu komunikovat několik aplikací najednou.

Výměna objektů

Objektem, který může být vyměňován mezi dvěma zařízeními, se zde rozumí například soubor v kapesním či jiném počítači, položka v seznamu mobilního telefonu apod. Pro účely přenosu těchto dat přes infračervené rozhraní byl vytvořen protokol OBEX, ten je přejatý i do systému Bluetooth. Datové struktury a příkazy protokolu OBEX jsou přenášeny přes virtuální sériové rozhraní

vytvořené protokolem RFCOMM, který je, stejně jako v předchozím případě, přenášen v provozním kanálu ACL.

Přístup do sítí PSTN/ISDN

Díky synchronním kanálům SCO a možnosti přenosu signalizace pomocí protokolu TCS je jednou z dalších aplikací technologie Bluetooth obdoba bezšňůrového telefonu. Bluetooth má sice kratší dosah než většina technologií bezšňůrových telefonů, je však dostatečný pro pokrytí větší místnosti. Toto řešení má největší výhodu ve snadné kombinaci s jinými technologiemi jako např. s telefony GSM a umožňuje tak efektivně využívat dané zařízení. Jediným problémem je, že protokol TCS není v současných telefonech GSM s technologií Bluetooth implementován, což neumožňuje přímočarou realizaci takového řešení.

Závěr

Z výše uvedených příkladů aplikací technologie Bluetooth je zřejmé, že její

hlavní uplatnění se najde v domácnosti a kancelářích při realizaci osobních a ad-hoc sítí, kde nahradí kabelové spoje či spoje realizované pomocí infračerveného rozhraní. Výhodou je nízká spotřeba energie, která je dána omezeným vysílacím výkonem, a potenciálně nízká cena. Cena zařízení Bluetooth bude však závislá na tom, jak moc se tato zařízení budou prodávat. Přenosové rychlosti jsou, vzhledem k charakteru aplikací, kde se tento systém používá, zatím dostatečné, nicméně se pracuje na rozšíření původního standardu a zvýšení přenosové rychlosti.

Ing. Jiří Svoboda,

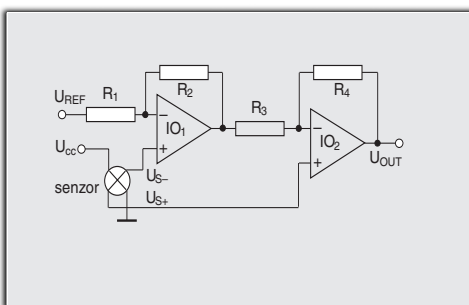
katedra telekomunikační techniky ČVUT-FEL

LITERATURA

- [1] <http://www.bluetooth.org>
 [2] https://www.bluetooth.org/foundry/specification/document/bluetooth_V1.1_Core_Specifications.pdf
 [3] http://www.ericsson.com/bluetooth/beginners_files/beginners_guide.pdf

Přístrojový zesilovač s programovatelným zesílením

Moderní senzory tlaku obsahují větší čtveřici tenzometrů zapojených do můstku převádějícího deformaci pružného členu na elektrický signál. K zesílení diferenciálního výstupního napětí můstku se používají různá zapojení měřicích zesilovačů. Výhodou zapojení zesilovače uvedeného na obr. 1 je, že vystačí se dvěma operačními zesilovači a jednocentními rezistory. Pokud je referenční napětí umožňující posuv výstupní



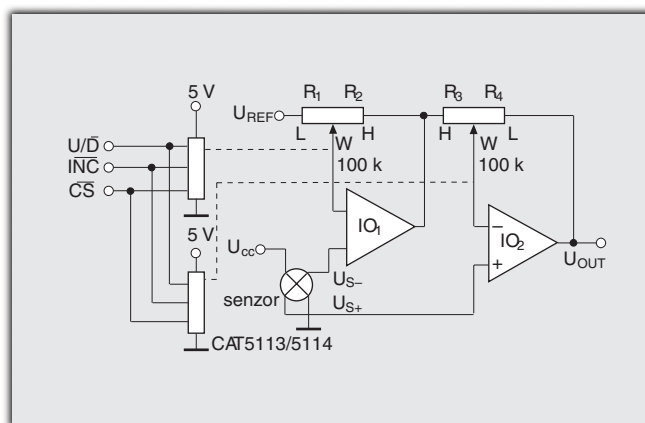
Obr. 1 Takto zapojený přístrojový zesilovač se špatně upravuje na jiné zesílení

úroveň U_{REF} rovno nule, platí pro výstupní napětí vztah:

$$U_{OUT} = U_{S+} \cdot [(R_3 + R_4) / R_3] - U_{S-} \cdot [(R_1 + R_2) / R_3] \cdot (R_4 / R_3)$$

Aby zesílení obou, vůči zemi vztažených napětí tvořících rozdílové výstupní

napětí můstku senzoru bylo stejné, musí platit podmínka $(R_1 + R_2) / R_1 = (R_3 + R_4) / R_4$, která ztěžuje možnost změny jedinou zvolené hodnoty zesílení. Přesto existuje řešení, s kterým lze požadované variability docílit. Umožňují jej dva stejné digitální potenciometry, které v zapojení podle



Obr. 2 Použití digitálních potenciometrů přináší možnost digitálního nastavení zesílení

obr. 2 nahradily rezistory R_1 , R_2 a R_3 , R_4 , a které jsou ovládané týmiž třemi signály CS (volba čipu), U/D (směr) a INC (krokování) ze sériového rozhraní. Protože oba potenciometry jsou stejné, je v uvedené podmínce splněna podmínka stejných čísel. Aby byly shodné i jmeno-

vatele, stačí pak již jen opačně zapojit začátky a konce odporové dráhy. Pokud píšeme relativní polohu jezdce potenciometru mezi začátkem a koncem odporové dráhy koeficientem $0 \leq p \leq 1$ a dosadíme za odpovídající odpory R_1 až R_4 odpory příslušných částí potenciometrů, dostaneme tento vztah výstupního napětí U_{OUT} zesilovače a výstupu senzoru $U_{S+} - U_{S-}$:

$$U_{OUT} = (U_{S+} - U_{S-}) / (1 - p)$$

a zesílení je tedy nepřímo úměrné koeficientu p . Pokud se použijí potenciometry s 32 odbočkami, jako jsou např. uvedené typy CAT5114, je možné nastavit zesílení od téměř jednotkového do 31, při použití CAT5113 se 100 odbočkami až do 99. Tyto potenciometry jsou vý-

robkem firmy Catalyst Semiconductor (www.catsemi.com).

hhs

LITERATURA

- [1] Ch. Wojslaw: Circuit adds programmability to sensor amplifier. EDN 21. března 2002, s. 93, 94.