

Ultrazvukový vysílač a přijímač s možností datové komunikace a měření vzdálenosti více bodů

Ondřej Lufinka

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

lufinkao@kae.zcu.cz

Ultrasonic Transceiver with the Possibilities of the Data Communication and the Two-Point Distance Measurement

Abstract – This paper deals with the problem of the short distance measurement between two (or more) moving points with the ability of a simple data communication. Different possibilities were explored and using the ultrasonic transceiver was then chosen for a future development. The article describes a solution which uses ultrasonic transceivers and allows the distance measurement between two moving points (model master-slave) up to 5 m with the simultaneous communication (bit rate 100 bit/s). The paper also proposes a possible future development and an extension of the model for more than 2 points.

Keywords – Ultrasonic Transceiver; Distance Measurement; Data Communication

I. ÚVOD

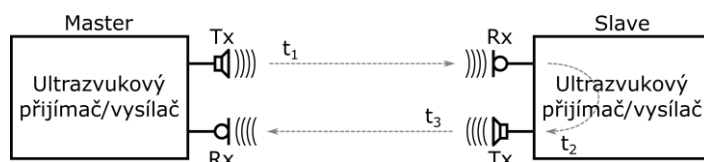
Práce se zabývá řešením problému měření krátké vzdálenosti (do 5 m) dvou pohybujících se bodů s možností jednoduché komunikace (například přenosem identifikačního pole při požadavku na měření mezi více než dvěma body zároveň). V oblasti byly prozkoumány různé možnosti a metoda využívající ultrazvuky byla nakonec vybrána pro podrobnější prozkoumání pro své vhodné vlastnosti (dostatečná přesnost a rozptyl). Využitím této možnosti ovšem vyvstávají jiné problémy, kterými se tato práce dále zabývá. Postupně popisuje samotný problém a jeho možné řešení, návrh prototypového hardwaru a nakonec softwarové řešení samotného měření a komunikace. Práce navrhuje řešení umožňující komunikovat pomocí ultrazvuku na vzdálenost až 5 m s přenosovou rychlostí 100 bit/s. Závěrem jsou dále přiloženy naměřené výsledky a popsány jsou různé možnosti a metody pro vylepšení funkčnosti zařízení.

II. TEORETICKÉ ŘEŠENÍ PROBLÉMU

Problém měření vzdálenosti mezi jedním vysílačem/přijímačem a překážkou před ním je již dobře znám. Tato práce se zabývá možností měření vzdálenosti mezi dvěma pohybujícími se body. Změřit takovou vzdálenost je možné prostřednictvím dvou aktivních ultrazvukových vysílačů/přijímačů, kdy jeden je „master“ (iniciuje měření) a druhý „slave“ (odpovídá). Komunikace probíhá tak, že „master“ vyšle určité ID. V případě, že zprávu přijme některý bod „slave“ a vyslané ID se shoduje s jeho zabudovaným ID, zprávu v definovaném čase zpracuje a vyšle odpověď, kterou opět přijme zařízení „master“ (viz Obr. I). Pro pokrytí celého okolního prostoru se každý bod může skládat z několika vysílačů/přijímačů rovnoměrně natočených do rozdílných úhlů.

A. Výpočet vzdálenosti

Výpočet vzdálenosti z doby přenosu je znázorněn na Obr. I a dále na rovnicích (1) a (2). Celková doba komunikace se skládá z doby přenosu z „master“ do „slave“ (t_1), doby zpracování v zařízení „slave“ (t_2) a doby přenosu zpět (t_3). Na samotném přenosu se podílejí doby t_1 a t_3 a vzdálenost lze tedy vypočítat podle rovnice (1). Zařízení „master“ je ovšem schopné změřit pouze celkovou dobu přenosu t a tento vztah tedy není možné použít. Zároveň však doba zpracování v zařízení „slave“ je pevně definovaná a v zařízení „master“ lze poté zjistit vzdálenost z rovnice (2) s využitím právě celkové doby a doby zpracování.



Obrázek I. Průběh komunikace mezi dvěma body

$$d = \frac{v_{zvuk} \times (t_1 + t_3)}{2} \quad (1)$$

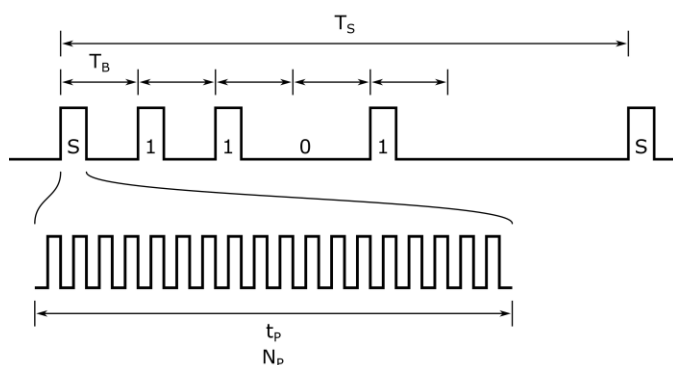
$$d = \frac{v_{zvuk} \times (t - t_2)}{2} \quad (2)$$

Rychlost zvuku ve vzduchu není konstantní a je závislá na teplotě (chyba přibližně 0,18% na 1 °C). Proto musí být vysílač/přijímač vybaven také senzorem teploty a za proměnnou v_{zvuk} můžeme dosadit vztah z rovnice (3). T je teplota vzduchu v °C.

$$v_{zvuk} = 20,0457\sqrt{273.15 + T} \quad [m/s] \quad (3)$$

B. Přenos informace

Pro začlenění přenosu informace do měření je nutné vysílat datové slovo o určitém počtu bitů. Je nutné vyřešit kódování logické „0“ a „1“, počet pulzů na jeden bit a časování bitů a slov. Časový průběh komunikace a kódování logické „0“ a „1“ jsou zřejmé z Obr. II. Logickou „1“ představuje přítomnost shluku pulzů v časovém okně pro daný bit a logická „0“ nemá pro daný bit pulzy žádné. Takové kódování bylo zvolené jako nejvhodnější, protože jak amplituda, tak i šířka pulzu, se mění s přenosovou vzdáleností. Amplituda vlivem útlumu signálu a šířka pulzu vlivem reproduktoru a mikrofonu, které se chovají jako kapacitor.



Obrázek II. Průběh komunikace mezi dvěma body

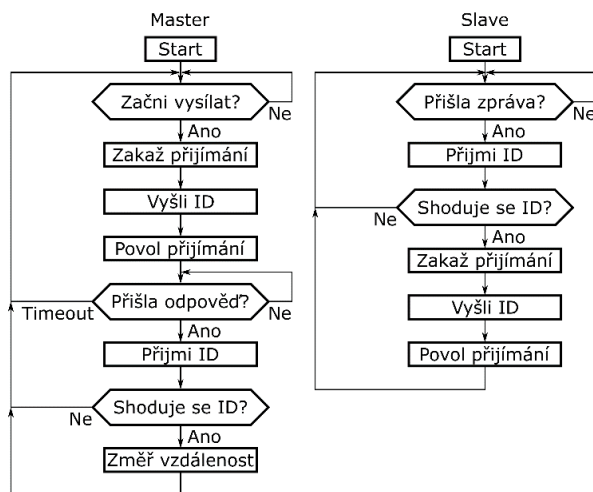
Datové slovo se skládá vždy ze start bitu (S) a poté daného počtu datových bitů (zde 4, postupně: „1“, „1“, „0“, „1“). Minimální dobu pro přenos datového slova (T_S) lze jednoduše zjistit z počtu bitů a doby časového okna nutného pro jeden bit (T_B). Doba trvání časového okna bitu se nastaví experimentálně tak, aby možné odrazy daného bitu neovlivňovaly bit následující. Aktuálně je minimální délka okna pro jeden bit 10 ms, což umožňuje přenosovou rychlost 100 bit/s. Dále je každý pulz pro logickou „1“ tvořen obdélníkovým signálem o frekvenci 40 kHz. Počet hran v pulzu (N_P) a tím i celkovou délku pulzu logické „1“ (t_P) je nutné nastavit tak, aby bylo možné přijmout utlumený bit s logickou „1“ na straně přijímače přes maximální vzdálenost.

III. NÁVRH HARDWARU

Hardwarové řešení je navrženo tak, aby bylo možné využít jeden kombinovaný reproduktor/mikrofon pro obousměrný přenos. Řízení vysílače a zpracování signálu z přijímače je poté prováděno v připojeném mikroprocesoru. Vysílač je tvořen rezonančním obvodem s transformátorem, který umožňuje řízení ultrazvukového měniče vyšším napětím, než je napětí napájecí (poměr 1:10). Primární vinutí je spínáno přes tranzistor, čímž je dosažen obdélníkový průběh o frekvenci 40 kHz. Jak již bylo zmíněno, pro pokrytí celého okolního prostoru je také nutné vybavit každou jednotku několika identickými vysílači/přijímači natočenými do různých úhlů. Přijímač je tvořen dvoustupňovým operačním zesilovačem s charakterem pásmové propusti nastavené na 40 kHz a dále komparátorem, který detekuje přijatý signál z ultrazvukového měniče.

IV. SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ

Současný návrh počítá se dvěma kódy, které jsou lehce odlišné pro zařízení „master“ a „slave“. Princip komunikace je zřejmý z vývojového diagramu na Obr. III. Jednotka „master“ se stará o oslovování jednotky „slave“. Pokud zavedeme do jednotky „master“ časový multiplex, který postupně vysílá s různými ID, je možné tento princip rozšířit pro komunikaci mezi více jednotkami, kdy jedna je „master“ a ostatní jsou „slave“. Přidáním dalších datových bitů za ID lze dosáhnout simultánního datového přenosu s měřením vzdálenosti.



Obrázek III. Vývojový diagram softwaru zařízení „master“ a „slave“

V. EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

Na prototypovém zařízení bylo provedeno měření komunikace v laboratorním prostředí při různých vzdálenostech (1, 3 a 5 m). Měření vychází vždy ze souboru 10000 pokusů o komunikaci s odstupy 500 ms. Zaznamenány byly úspěšnost

komunikace a chyba naměřené vzdálenosti (Tabulka I). Z měření lze vidět, že s rostoucí vzdáleností rapidně klesá úspěšnost komunikace a mírně roste chyba naměřené vzdálenosti. To je dáno útlumem signálu a jeho mizením v šumu na pozadí.

TABULKA I. EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Vzdálenost [m]	Úspěšnost komunikace	Chyba měřené vzdálenosti
1	96 %	0.8 %
3	78 %	1.1 %
5	35 %	1.8 %

VI. ZÁVĚR

V práci byl postupně probrán teoretický popis problému, návrh hardwaru pro ultrazvukový vysílač/přijímač a návrh obslužného softwaru. Komunikace prozatím počítá s jednotkou „master“ a více jednotkami „slave“. Jednotka „master“ postupně oslovuje ostatní jednotky pomocí ID začleněného do ultrazvukového přenosu, čeká na jejich odpověď a z celkové doby přenosu vypočítává jejich vzdálenost. Kódování informace je vyřešeno pomocí principu je pulz/není pulz – logická „1“/logická „0“. Aktuální návrh umožňuje přenosovou rychlost 100 bit/s a měřit vzdálenost do 5 m. V budoucnu je počítáno s vylepšeními, které zvýší úspěšnost komunikace a přesnost naměřené vzdálenosti. Provedené budou simulace vysílače s laděním rezonančního obvodu pro zvýšení vyzářeného výkonu. Na straně přijímače je zamýšleno přenést detekci signálu do frekvenční oblasti (algoritmy „moving FFT“), což přinese zvýšený odstup signál šum a tím umožní detekci nižších amplitud ve větších vzdálenostech. Přidáním dalšího druhu komunikace (bluetooth, XBee apod.) je možné periodicky předávat status „master“ mezi jednotkami a tím umožnit každé jednotce měřit její vzdálenost od ostatních.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

LITERATURA

- [1] S. Zhang: Research of Ultrasonic Distance Measurement Device, 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), Chengdu, 2010, pp. 1-3.
- [2] H. He and J. Liu: The Design of Ultrasonic Distance Measurement System Based on S3C2410, Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Hunan, 2008, pp. 44-47.
- [3] Pro-Wave Electronics Corporation: Sonar ranging modules – SRM400 [online], © 2005, Pro-Wave Electronic Corp., poslední změna říjen 2013 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z <http://www.prowave.com.tw/english/item/download.htm>.
- [4] Analog Devices: Ultrasonic distance measurement [online], © 2014-2015, Analog Devices, Inc., poslední změna srpen 2015 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.analog.com/en/design-center/reference-designs/hardware-reference-design/circuits-from-the-lab/cn0343.html#rd-overview>.