

Použití Bluetooth v robotice (I. díl)

S bezdrátovou technologií Bluetooth se dnes můžeme setkat prakticky na každém kroku, mobilní telefony, notebooky i netbooky ji mají standardně ve výbavě. V tomto článku se podíváme, jak lze využít výhod Bluetooth v robotice a jak jednoduché může být jeho použití ve Vašem robotu.

Za vznikem Bluetooth stojí uskupení *Bluetooth SIG* (Bluetooth Special Interest Group, [1]), které tvoří firmy jako je například Intel, Nokia, nebo Microsoft. Takto významné společnosti se dohodli na spolupráci pro vytvoření bezdrátového standardu, který by nám zjednodušil každodenní těžkosti. Samotný název Bluetooth byl odvozen od jména Vikingského krále Haralda I. Modrozuba, který využil svých diplomatických schopností pro sjednocení válečických kmenů a vytvořil tak jediné království.

Původní specifikace byla zveřejněna již v roce 1994 Švédskou firmou *Ericsson Mobile Platforms*. Bluetooth se začalo dostávat do veřejného podvědomí o mnoho let později, kolem roku 2002, kdy SIG vydalo specifikace pro první prakticky použitelná zařízení. Velikým pokrokem pak byla verze 2.0 z roku 2004, která ztrojnásobila maximální přenosovou rychlost na 2,1Mbit/s.

Bluetooth vytváří počítačovou síť PAN (*Personal Area Network*). PAN je síť tvořená komunikujícími zařízeními v blízkosti jediné osoby. Do této sítě patří notebooky, mobilní telefony, PDA a další. Moderní operační systémy mají pro Bluetooth zabudovanou nativní podporu. Microsoft Windows nepotřebuje ovladače od verze XP SP2, pro Linuxové systémy existují dvě populární implementace *Bluetooth stacku* (viz. dále) – Bluez a Affix.

Mnoho ze služeb nabízených touto technologií odhaluje bezpečnostně citlivá data, proto bylo zavedeno tzv. párování. Jde o proces, kdy se master pokusí spojit se slave zařízením a jako odpověď je vyzván o předání hesla (PIN kódu) pro přístup k informacím. Pokud následně předané heslo souhlasí s tím, který slave očekává, zařízení si to zapamatují a automaticky navazují spojení vždy když jsou v dosahu.

Typ zařízení	Skutečný výkon	Přibližný dosah
Class 1	5-100 mW (7-20 dBm)	150-400 metrů
Class 2	2.5 mW (4 dBm)	20 metrů
Class 3	1 mW (0 dBm)	6 metrů

Tabulka 1 – Výkonové třídy Bluetooth

Bluetooth protokoly a profily

Bluetooth je po hardwarové stránce rádiový vysílač/přijímač, pracující v nelicencovaném frekvenčním pásmu ISM (pro průmysl, vědu a medicínství), na frekvenci 2,4GHz. Pro zvýšení odolnosti komunikace vůči rušení jsou přenášené datové balíky vysílány na 79ti různých frekvencích v rozsahu přibližně 1MHz. Díky tomu nejsou potíže s komunikací v blízkosti Wi-Fi sítí, které pracují na podobných frekvencích.

Data přijatá pomocí rádia jsou zpracovávána kaskádou protokolů, nazývanou *Bluetooth protocol stack*, tedy „zásobníkem protokolů“. Jedná se o vrstevnatou architekturu kdy přijatá data „stoupají“

přes jednotlivé vrstvy. Protokoly na nejnižších vrstvách se starají o udržování rádiového spojení a komunikaci mezi více zařízeními. Protokoly na vyšších vrstvách se specializují na řešení konkrétních problémů. Jako příklad lze uvést široce používaný protokol RFCOMM, který emuluje sériovou linku RS-232.

Bluetooth profily

Bluetooth profily jsou další silnou vlastností této technologie. Profil je definované rozhraní pro přenášení specializovaného druhu informace. Rozhraní jsou pak implementována nad zásobníkem protokolů a využívají jim poskytovaných služeb. Mezi často využívané profily patří například OBEX (aká FTP) pro přenos souborů, nebo SPP (*Serial Port Profile*) pro emulování sériové linky. Oba tyto profily využívají služeb protokolu RFCOMM.

Sériová linka RS-232, UART

První návrhy Bluetooth byly zamýšleny jako bezdrátová náhrada sériové linky RS-232. Tato myšlenka byla postupně rozvinuta. Dnes lze přenášet komprimované video, zvuk a další, nicméně základ postavený na emulaci sériové linky zůstává a je implementován protokolem RFCOMM.

RS-232 (formálněji EIA-232) je doporučený standard z roku 1969 specifikující způsob přenosu dvojkového signálu. Pro svoji jednoduchost se používal více než 30 let jako komunikační rozhraní různých elektronických zařízení. Dříve byl rozšířený v osobních počítačích i prvních notebookech, postupně ho ale nahradilo modernější USB.

Tato sběrnice je asynchronní, napětově bipolární a invertovaná. Logická jednička odpovídá napětí v rozsahu -3V až -15V a logická nula napětí rozsahu +3V až +15V. Všechna zařízení připojená na sběrnici musí být schopná pracovat s napětím do $\pm 25V$.

Přenosová rychlost je udávána v baudech (Bd), jeden baud odpovídá maximálnímu počtu změn logického stavu za jednu sekundu. (Pozn. přenosová rychlost v baudech nemusí být stejná jako v bitech, tudíž neplatí že 1Bd = 1bit/s)

Data jsou přenášena na kanálech RxD (*receive data*) a TxD (*transmit data*), dalších 6 kanálů se stará o řízení toku dat. S vývojem elektroniky postupně tyto přídatné kanály začaly ztrácet na významu, nicméně Bluetooth profil SPP je podporuje.

Ačkoliv je dnes RS-232 dávno překonána, určitě nezmizela úplně. Téměř všechny jednočipové mikrokontroléry i mikropočítače disponují rozhraním UART. UART je zkratkou pro univerzální asynchronní přijímač/vysílač, který přenáší data stejně jako RS-232, ale používá jen kanály RxD a TxD a nedodržuje bipolární napětové vyjádření logických hodnot. Logická nula je vyjádřena nulou (0V) a logická jednička napájecím napětím UART jednotky.

Velice populární jsou převodníky UART \leftrightarrow RS-232 a UART \leftrightarrow USB. V případě převodníků na sběrnici RS-232 je známý obvod MAX232, pro USB se používají obvody od firmy FTDI – FT232RL, FT2232 apod.

Více informací o RS-232 lze nalézt například v [2].

Bluetooth a robotika

Při použití Bluetooth v robotech si usnadníme práci, protože volíme ověřenou technologii, která uživateli poskytuje maximální pohodlí. Lze na ni nahlížet jako na *black box*, konstruktér se nemusí zajímat o vnitřní uspořádání, potřebuje jen vědět jak ji připojit a nakonfigurovat.

Existují dva hlavní přístupy jak využít Bluetooth v robotice – buď může být použito pro vzdálené ovládání a diagnostiku (*remote control*), nebo pro vzdálenou implementaci chování robota (*remote processing*).

Nevýhodou vzdáleného ovládání je nutnost implementace rozhodovacích procesů uvnitř robota, proto je zapotřebí vyšší výpočetní výkon. Druhá možnost je náročnější na objem přenesených dat, ale nevyžaduje aby „mozek“ byl umístěn na těle. Takový přístup je vhodný pro jednoduché a nenáročné konstrukce.

V prostředí s větším množstvím robotů lze využít Bluetooth pro vytváření komunitní sítě, kde si členové navzájem předávají informace o procesech které provádějí. Taková síť může být implementována centralizovaným nebo decentralizovaným způsobem.

Centralizovaná síť využívá služeb jednoho specializovaného zařízení, přes které je směrována komunikace mezi ostatními roboty. Takový přístup je vhodný pro ladění, sledování a vytváření statistik.

Decentralizovaná síť nepotřebuje žádné přídavné zařízení, komunikace mezi roboty probíhá přímo. Na první pohled je toto řešení jednodušší a výhodnější, bohužel velikou nevýhodou je netransparentnost probíhající komunikace a obtížné ladění při vývoji.

Pokud chceme dosáhnout výhod obou přístupů, obvykle volíme decentralizovanou síť robotů s přidanou diagnostikou. Jednotliví roboti komunikují mezi sebou přímo a zároveň o své činnosti informují další externí zařízení, které je použito pro ladění. Je vhodné přídavnou diagnostiku naprogramovat jako vypínatelnou, protože se využije pouze při vývoji.

Zapojení v robotech

Bluetooth lze koupit jako hotový plošný spoj, který stačí připojit k robotu. Tyto moduly pracují jako bezdrátová náhrada kabelu sériové linky (RS-232 nebo UART). Data, která odešleme, se objeví v připojeném zařízení jako data přijatá. Například v počítači s operačním systémem Windows vznikne po spárování virtuální port COM, se kterým lze pracovat jako s reálným rozhraním RS-232.

Dále se budeme zabývat Bluetooth moduly od firmy ConnectBlue. Jde o kvalitní produkty s propracovaným firmwarem, které jsou v České republice snadno dostupné. Tento výrobce dodává celou produktovou řadu modulů (značenou OEMSPA), pracujících jako adaptéry sériového portu.



Obrázek 1 – Bluetooth modul OEMSPA310 o rozměrech 36x16 mm

Pro připojení Bluetooth k Vašemu robotu stačí napájení 3V až 6V a sériová linka (kanály RxD a TxD). Podle typu koupeného modulu může být rozhraní sériové linky buď dle specifikace RS-232 (s převodníkem) nebo vyjádřené v napětových hodnotách 0V pro logickou nulu a 3,3V pro logickou jedničku (UART).

Napájecí napětí	3,0 až 6,0V
Pracovní teplota	-30°C až +85°C
Provedení	průmyslové
Max. rychlost komunikace	921,6 kBd
UART logické úrovně	3,3V
Signalizace	R/G/B LED diody

Tabulka 2 – Vlastnosti Bluetooth modulů OEMSPA

Ukázkové obvodové řešení

Na schématu 1 je vidět ukázkové zapojení Bluetooth modulu OEMSPA310 v 5V systému. Propojení sériové linky musíme opatřit převodníkem, který upraví napětí mezi modulem a mikrokontrolérem. Tento převodník je na schématu realizován obvodem 74HC125N. Výstup TXD z modulu je připojen přímo na zesilovač, který změní napětí logické jedničky z 3,3V na 5V. Na vstupu RXD je přes jednoduchý odporový dělič sníženo napětí z 5V na přibližně 2,8V.

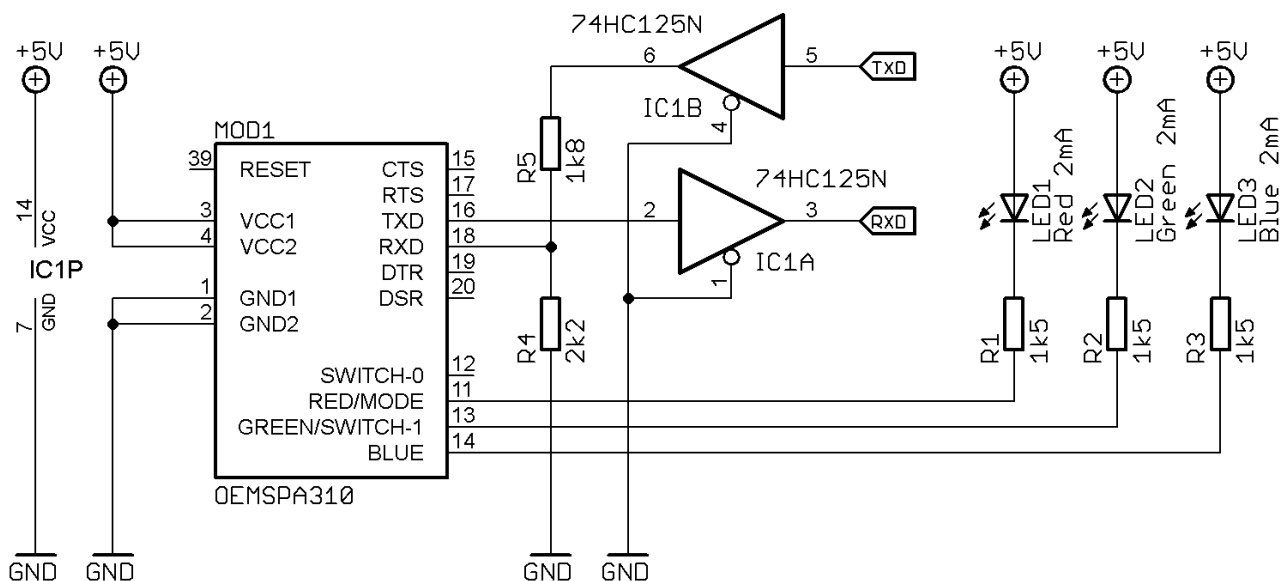


Schéma 1 – Ukázkové zapojení Bluetooth modulu

Resetovací pin nemusí být propojen s napájením přes přídržný pull-up odpor, modul ho obsahuje interně. Zapojení LED diod je volitelné, jen signalizují aktuální stav. Pokud se pro ně rozhodneme, připojujeme tři 2mA diody na výstupy *red*, *green* a *blue* v barvě dle názvu. Výpis všech signalizovaných stavů obsahuje Tabulka 2.

Detailní popis elektronického zapojení těchto modulů je k nalezení v [3] a v katalogových listech.

Mód	Status	Zelená	Modrá	Červená
Data mód	v klidu	Ano	Ne	Ne
AT mód	v klidu	Ano	Ne	Ano
Data mód, AT mód	navazování spojení	Ne	Ano	Ano
Data mód, AT mód	spojeno	Ne	Ano	Ne

Tabulka 3 – Seznam signalizovaných stavů

Typy konektorů

Nabízené moduly z produktové řady OEMSPA mohou být připojeny několika způsoby. Zařízení, která obsahují převodník pro RS-232 disponují dvouřadým konektorem s kolíky, ostatní moduly mají pájecí plošky s kanálky. Všechny moduly lze přišroubovat na *board-2-board* konektor s M2 závity. Detaily jsou uvedeny v katalogových listech.

Na pájecí plošky s kanálky lze připájet vodiče i trafopájkou.

AT příkazy a konfigurace

Bluetooth moduly od ConnectBlue disponují množstvím funkcí a proto je lze předem nakonfigurovat pro konkrétní použití. Konfiguraci provádíme pomocí tzv. „AT příkazů“, znakových sekvencí, které posíláme modulu připojenému přes RS-232. Pro připojení můžeme použít vhodný terminálový program (například PuTTY), nebo uživatelsky přívětivý software od výrobce, kde stačí „naklikat“ požadované vlastnosti. Modul si automaticky ukládá svoji konfiguraci a proto se při startu vzbudí do stejného nastavení, v jakém byl vypnut.

Pozn.: Pokud použitý modul nedisponuje RS-232 rozhraním, je nutné pro připojení k počítači vytvořit převodník UART↔RS-232, nebo UART↔USB. Připojovat na UART přímo RS-232 by způsobilo zničení modulu!

ConnectBlue nabízí software *SPA Toolbox*, který lze stáhnout po vyplnění dotazníku na webových stránkách [4]. Tento program nám umožní přehledné nastavení požadovaných vlastností modulu. Mezi nejčastěji nastavované vlastnosti patří název zařízení, pin kód, rychlost komunikace, počet bitů, počet stopbitů a parita.

Výpis všech AT příkazů je k nalezení v aplikační poznámce [5]. Zajímavou možností je povolení vzdálené konfigurace přes Bluetooth. Toho dosáhneme zaškrtnutím možnosti „*Allow configuration over air*“ v *SPA Toolboxu*, nebo pomocí příslušného AT příkazu.

Pohodlné používání Bluetooth

Ovladače pro Bluetooth obsažené v operačním systému Windows vytvářejí virtuální sériové porty pro každé spárované zařízení. Použití virtuálních sériových portů se od jejich reálných protějšků nijak neliší. Jakýkoliv program pak může otevřít virtuální port COMx přiřazený Bluetooth modulu v robotu. Tímto krokem donutí operační systém, aby se k robotu připojil a otevřel tak komunikační kanál. Program v počítači vůbec netuší, že nekomunikuje „po kabelu“, o potřebné přemostění z COM portu do Bluetooth adaptéru se stará ovladač v jádře operačního systému.

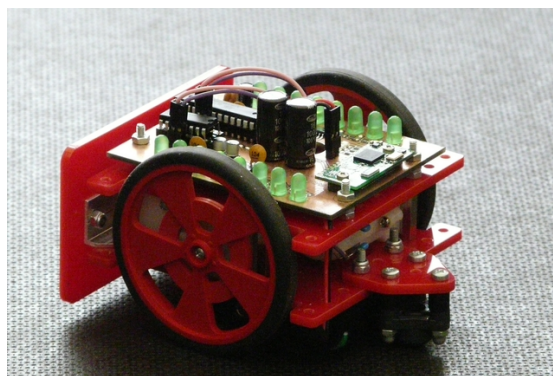
Podobně je na tom mikrokontrolér na druhé straně komunikačního kanálu - také netuší, že nekomunikuje po sériové lince, nezná rozdíl.

Potřebné nastavení Bluetooth modulu se týká jen vlastností emulované sériové linky (rychlost, počet bitů, počet stopbitů, parita, kontrola toku dat) a módu, ve kterém pracuje. Modul musí po zapnutí počkat na připojení (příp. spárování) a proto pracuje jako slave zařízení.

Závěr

Výhody použití Bluetooth v robotech jsou o ověřené a propracované technologii, kterou lze levně a rychle implementovat i do těch nejjednodušších konstrukcí. Velikou výhodou je možnost přímého propojení s počítačem, bez potřeby speciálního hardware a software. Emulace sériové linky nám nabízí maximálně pohodlné řešení, kdy ani program v počítači, ani program v robotu nepozná rozdíl mezi komunikací po sériové lince a Bluetooth.

Vizí dalšího dílu je poskytnutí konkrétního návodu jak použít Bluetooth, proto se budeme zabývat stavbou ukázky - malého sumorobota na dálkové ovládání



Obrázek 2 – Sumorobot na dálkové ovládání

Reference

- [1] <http://www.bluetooth.org>
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- [3] <http://www.spezial.cz/apps/elektricke-pripojeni-bluetooth-modulu.html>
- [4] <http://www.connectblue.com/support/customer-loginlogout/registration/>
- [5] http://www.spezial.cz/pdf/Serial_Port_Adapter_AT_Commands.pdf