



Středoškolská technika 2016

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na
CVUT

Programovatelná LED kostka

Jan Ungr

Středoškolská odborná činnost

Střední průmyslová škola elektrotechnická a Vyšší odborná škola

Pardubice Pardubice Karla IV., 13

Anotace

Cílem práce je návrh a konstrukce programovatelné LED kostky o rozměrech 4x4x4 (výška x šířka x hloubka), což odpovídá 64 svítivým diodám. Práce dále obsahuje programování firmwaru a světelné sekvence. Firmware se dělí na dvě části: první část je předem naprogramovaná světelná sekvence a druhá část je reakce LED kostky na zvukové signály. Vývoj těchto programů probíhá v uživatelském prostředí Arduino

Formát zapojení kostky je tzv. „invertovaný“ (někdy „obrácený“). To znamená, že je kostka ovládána 16 katodami (sloupce) a napájena 4 anodami (patra). Ovládání kostky zajistí platforma Arduino UNO s 6 analogovými vstupy a 14 digitálními výstupy, která disponuje mikroprocesorem ATmega328p.

Klíčová slova

LED, Arduino, ATmega328p, maticové zapojení, modul mikrofonu

Obsah

Titulní strana	- 1 -
Čestné prohlášení	- 2 -
Zadání	- 3 -
Anotace	- 5 -
Annotation	- 6 -
Seznam použitých značek a symbolů	- 7 -
Obsah	- 8 -
1. Úvod.....	- 10 -
2. Teoretická část.....	- 11 -
2.1 Elektroluminiscenční diody (LED)	- 11 -
2.2 Platforma Arduino	- 13 -
2.2.1 Arduino UNO	- 13 -
2.3 Modul mikrofonu.....	- 15 -
2.4 Potenciální vylepšení a využití	- 15 -
3. Praktická část.....	- 16 -
3.1 Návrh zapojení.....	- 16 -
3.2 Konstrukce.....	- 17 -
3.3 Program	- 18 -
4. Závěr.....	- 19 -

1. Úvod

LED kostka je specifické zapojení svítivých diod, které spočívá v kombinaci maticových zapojení několika jednotlivých LED. Toto maticové zapojení odpovídá jednomu patru, které je pak připojeno k ostatním patřům.

Maticové zapojení, v tomto případě invertované (obrácené) spočívá v propojení všech anod (+) v jednom patře a katody (-) jsou propojeny ve sloupcích s ostatními patry. To znamená, že celá kostka je napájena skrz 4 anody a ovládána pomocí 16 katod. Toto zapojení má hlavní nevýhodu v úbytku napětí na předřadném rezistoru a na vedení, takže nejvzdálenější LED budou svítit zřetelně méně než LED, které jsou zapojeny přímo za tímto rezistorem. Tato metoda je ale značně jednodušší a méně komplexní na tvorbu programu než ostatní druhy zapojení.

Mezi další způsoby zapojení se řadí například zapojení se společnou katodou (klasická metoda – „basic“), která je napájena 16 anodami a ovládána 4 katodami. Její výhoda spočívá v napájení skrze anodu pouze 4 diod, tudíž oproti invertovanému zapojení nevykazuje příliš velké úbytky napětí na vedení, což se výrazně projeví na svítivosti jednotlivých LED. Konstrukčně jsou dvě uvedené metody velice podobné.

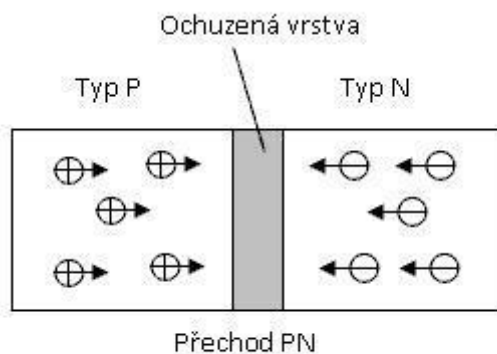
Rovněž by ke zhotovení LED kostky šlo využít posuvných registrů, což by vyžadovalo tvorbu desky plošného spoje a zhotovení zapojení se 4 různými čipy, což není praktické vzhledem k velikosti této kostky. Tato metoda se hojněji využívá při konstrukci větších kostek, protože výrazně ulehčuje práci s mikroprocesorem (Arduino UNO má k dispozici pouze 19 výstupů, které lze využít při konstrukci, což je nedostatečné pro větší kostky (velikost 4x4x4 využívá všech 19 vývodů). Tato metoda má hlavní nevýhodu ve firmwaru, který čte před-programovanou světelnou sekvenci. Tento program je velice rozsáhlý a vyžaduje definování vysokého množství proměnných, podle kterých bude kostku ovládat.

2. Teoretická část

2.1 Elektroluminiscenční diody (LED)

Elektroluminiscenční dioda (svítivá dioda, světelná dioda...) je elektronická polovodičová součástka, jejímž základem je průchod proudu P-N přechodem v polovodiči. Vlastností této součástky je schopnost vyzařovat elektromagnetické vlnění ve formě světla, či ultrafialového nebo infračerveného záření.

Princip funkce je založen na rekombinaci elektronů a tzv. děr v polovodiči. Elektrický proud tekoucí P-N přechodem v propustném směru uvolňuje energii z polovodiče formou nekoherentního světla ve viditelném spektru, či ultrafialového nebo infračerveného záření, nebo může být absorbována a přeměněna na teplo, čímž dochází ke značnému zahřívání polovodiče.



Pásmo spektra u LED je založeno na chemickém složení polovodiče. Každý materiál má unikátní šíři zakázaného pásma, které ovlivňuje formu vyzářeného vlnění. Bílé světlo každopádně nelze emitovat přímo. Tento problém je řešen aplikací luminoforu na čip diody, který část emitovaného modrého vlnění transformuje na žluté a smíšením těchto dvou složek vznikne bílé. Použitím luminoforu na ultrafialových diodách dochází k přímé transformaci na čipu na bílé vlnění. Starší typy svítivých diod byly složeny z 3 čipů (RGB – červená, zelená a modrá), které při emitaci vlnění aditivně smíchaly světlo na čočce diody a vytvořily světlo bílé barvy.

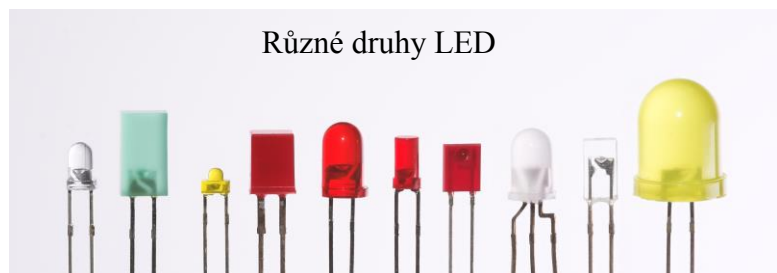
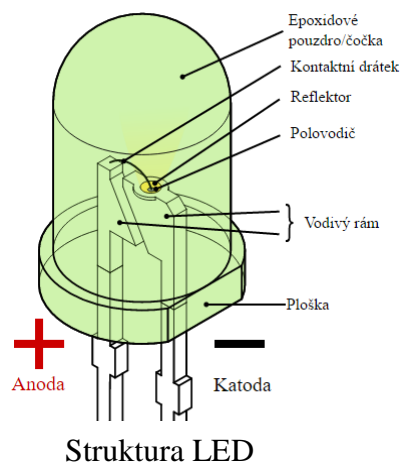
Se zkracující se vlnovou délkou vyzářené vlny roste napětí v propustném směru diody. Toto napětí bývá značeno jako propustné, prahové či zlomové. U červených LED toto napětí nabývá hodnot cca 1.7 V, u modrých 2.6 V a zelené až 3.2 V. Tyto hodnoty ale záleží na konstrukci a je nutno dbát velikostí daných výrobcem, které jsou uváděny

v příručkách, katalogích či tzv. datasheetech, což jsou tabulky nebo texty shrnující všechny potřebné údaje o součástkách.

Proud tekoucí diodou rázně ovlivňuje její svítivost. Čím větší proud diodou teče, tím většího jasu lze dosáhnout. V praxi se jas běžně reguluje předřadným odporem, který zároveň chrání před spálením polovodiče. Komplexnější a důmyslnější metoda ovládání jasu je pomocí pulzně šířkové modulace. Obecně to znamená, že diodou protéká pulzní proud o frekvenci vyšší, než je schopné zachytit lidské oko, což vede k zdánlivému kontinuálnímu svícení. Nastavením střídý pulzu pak lze regulovat jas. Zároveň tato metoda značně omezuje spotřebovanou energii, tudíž je vhodná pro LED výkonové nebo použité v mobilních zařízeních.

Výhoda LED tkví v energetické úspornosti. Svítivé diody totiž pracují s poměrně nízkými hodnotami elektrického napětí a proudu, tudíž jsou velice vhodné jako mobilní zdroje světla, podsvícení, displeje, kontrolky a podobně.

Čočky diod jsou nejčastěji vyráběny z epoxidové pryskyřice, která je svou konzistencí nejvhodnější k usměrněnému vyloučení světla do prostoru tak, aby nedošlo k odrazu na rozhraní čočky a vzduchu.



LED se vyrábějí v různých variantách provedení – bodové (lesklé) nebo rozptýlené (matné) s různými vyzařovacími úhly. Mohou obsahovat více čipů v jednom pouzdře, kdy má každý vlastní vývody, společnou anodu, nebo společnou katodu, nebo jsou antiparalelně zapojeny. Dále pak mohou obsahovat ovládací elektroniku, většinou to bývá čip, která ovládá LED a tvoří tak diody blikavé nebo barvu-měnící.

Za vznikem prvních praktických LED vyzařujících viditelné spektrum stojí Nick Holonyak Jr. v rámci univerzity Illinois v Urbana Champaign.

2.2 Platforma Arduino

Arduino je v oboru elektrotechniky a informatiky název pro kompaktní jednodeskový počítač disponující mikrokontrolery (mikroprocesory) ATMega od firmy Atmel. Tato platforma slouží k jednoduché a efektivní realizaci menších automatizovaných obvodů a zařízení. K propojování běžně slouží nepájivá pole, díky nimž se Arduino stává vysoce modulovatelným a tudíž široce využitelným. Běžně se lze setkat se zapojeními svítivých diod, jednoduchých displejů (s tekutými krystaly, sedmi-segmentové...), senzorů (mikrofony, optické brány, optoprvky...), elektrických motorů a podobně.

Pro řízení obvodů slouží řídicí program vyvíjen na stolním počítači a nahrán do mikroprocesoru přes rozhraní USB. Programovací jazyk je modifikovaný jazyk C tak, aby byl mikroprocesor schopný s ním pracovat a plně ho využít. K vývoji programu a komunikaci s deskou slouží uživatelské rozhraní Arduino IDE.

Arduino IDE je software který kompiluje napsaný kód, nahrává jej na procesor, a přijímá zpětnou vazbu formou. Dále obsahuje volně dostupné uživatelské knihovny pro různé specifické obvody a součástky, umožňuje veřejně sdílet kód, nebo jej převést do surové binární podoby.



2.2.1 Arduino UNO

UNO je modulovací platforma využívající mikroprocesor ATMega328p. Bootloaderem před-programovaný mikroprocesor umožňuje nahrání programu bez využití externího programátoru, k čemuž slouží komunikace skrze protokol STK500.

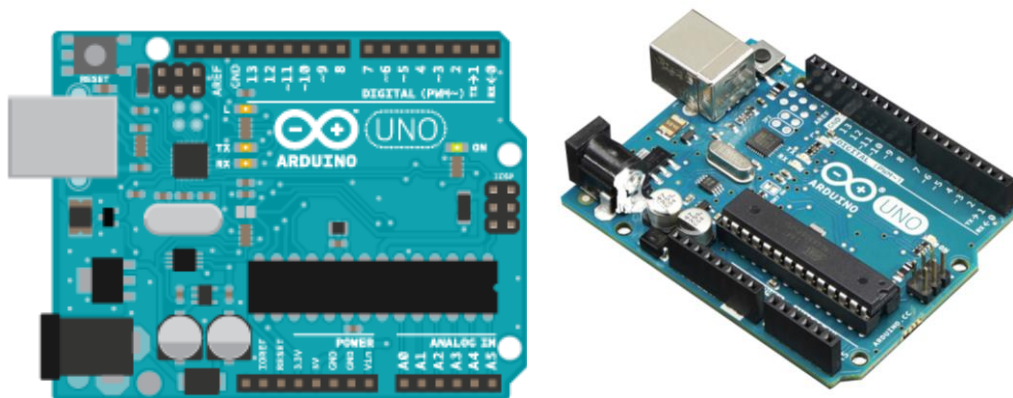
Součástí této desky je 14 digitálních vývodů, z čehož 6 lze využít jako výstupy pro pulzní šířkovou modulaci, 6 analogových vývodů. Jako časovač je na desce využit 16 MHz křemíkový krystal. Další součástí desky je USB konektor, napájecí „jack“ konektor, kterým lze napájet desku až 20 volty (ideálně 9 – 12 V), „pin“ konektory sloužící k sériové komunikaci s bootloaderem, což lze využít k externímu pře-programování firmwaru.

UNO disponuje flash pamětí o velikosti 32 KB, z čehož 0,5 KB je využito pro bootloader. Dále obsahuje 2 KB statické RAM paměti a 1 KB elektronicky mazatelné programovatelné ROM paměti, kterou lze hlouběji využít – přepsat jinou knihovnou.

Digitální vývody pracují s napětím 5 V a dokáží přijmout či dodat proud o velikosti 20 mA. Maximální hodnota proudu je 40 mA, při které již dochází k nevratnému poškození mikroprocesoru. Některé vývody mají kromě běžných funkcí (čtení, zápis...) speciální.

- Vývody D0 a D1 slouží k sériové komunikaci s mikroprocesorem a jsou náležitě označeny (Tx a Rx).
- Vývody D2 a D3 umožňují funkci přerušení.
- Vývody D3, 5, 6, 9, 10 a 11 umožňují 8bitovou pulzní šířkovou modulaci
- Vývod D13 obsahuje předem zabudovanou LED, která svítí/nesvítí podle stavu vývodu – high/low.
- Vývody A4 a A5 umožňují asynchronní dvojvodičovou komunikaci (TWI), která slouží k dvojsměrnému propojení dvou a více integrovaných obvodů.

6 analogových vývodů, které jsou označeny A0 – A5, poskytují 10bitové rozlišení – 1024 různých hodnot. V základu porovnávají napětí 5 V proti zemi, každopádně horní mezní hodnotu lze přizpůsobit vývodem AREF (analogReference)



2.3 Modul mikrofonu

Ke snímání zvukových signálů v druhém režimu kostky je využito zvukového senzoru – modulu s mikrofonem. Tento modul se skládá z 3 hlavních částí:

- Snímač
- Ekvalizér
- Potenciometr

Snímač přijímá okolní zvukové signály, zatímco potenciometr nastavuje jeho citlivost – určuje pásmovou propust. Ekvalizér se stará o filtraci intenzity zvuku a jejich zpracování. To je zpracováno formou napětí, a skrze A0 je jeho přesná hodnota v rozmezí 0 – 1023 (v případě Arduino UNO) odeslána a zpracována v mikroprocesoru, nebo je skrze vývod D0 odeslána hodnota HIGH/LOW, jejichž hranice je určena potenciometrem.

Deska modulu tedy obsahuje 2 ovládací vývody (analogový a digitální) a 2 napájecí vývody, tedy +5 V a GND (zemnicí). Pro úplnou správnou funkci senzoru je nutné zapojit analogový nebo digitální vývod, napájecí a zemnicí vývod.

2.4 Potenciální vylepšení a využití

LED kostka je využitelná především jako prostorové zobrazovací zařízení, jenž umožňuje vykreslit nejrůznější znaky a objekty tak, aby měly svojí obrazovou hloubku a bylo umožněno je sledovat z více stran. Detailnější příklady využití jsou uvedeny níže.

Vylepšit tento výrobek je možné mnoha způsoby. Podle určení využití LED kostky je tedy nutno se dále rozhodnout, jaký způsob zvolit.

Může to být například zvětšení rozměrů (zvýšení zobrazovací citlivosti) například na 5x5x5, 8x8x8, 16x16x16 atp. Zvětšení velikosti ale vede k nutnosti využít jinou metodu konstrukce a zapojení, případně využití jiné ovládací platformy, zejména desku, která obsahuje více vývodů, tudíž umožňuje širší a detailnější ovládání. Takové kostky jsou využitelné především k detailnímu zobrazení prostorových objektů a znaků. Prakticky může posloužit jako pomůcka prostorového vnímání a představivosti, například vykreslení trojrozměrných geometrických objektů.

Další možností je využití vícebarevných LED (2 čipové, RGB, tzv. „smart“ LED [neopixel], atp.). Toto rozšíření otevírá mnoho dalších možností úprav a jejich

praktickému využití. Při kombinaci se základním mikročipovým ekvalizérem lze dosáhnout filtrace snímaného zvuku (ideálně přeneseného skrze „jackový“ konektor, protože mikrofon není dostatečně citlivý, a na úkor jeho jednoduchosti a ceně je příliš nepřesný a ovlivnitelný rušením) na více složek, například intenzity, které pak kostka vykreslí v různých barvách. To umožňuje konstrukci tzv. barevné hudby v prostoru. Dále lze tuto možnost využít jako nejrůznější indikační aplikace, např. indikátor teploty, vibrací, vlnové délky atp.

Při vhodném zapojení a dostatečné citlivosti je možné zkonstruovat kostku tak, aby bylo možné ji ovládat živě, například přes dotykovou obrazovku, nebo přes vizuální snímače pohybu a polohy (Kinect). Konstrukce by vyžadovala precizní provedení, dražší a výkonnější mikroprocesor a dále modul pro přenos informace (drátově či bezdrátově). Toto vylepšení je využitelné jako atraktivní a originální světelná show na různých festivalech nebo veřejných akcích, především pro děti.

3. Praktická část

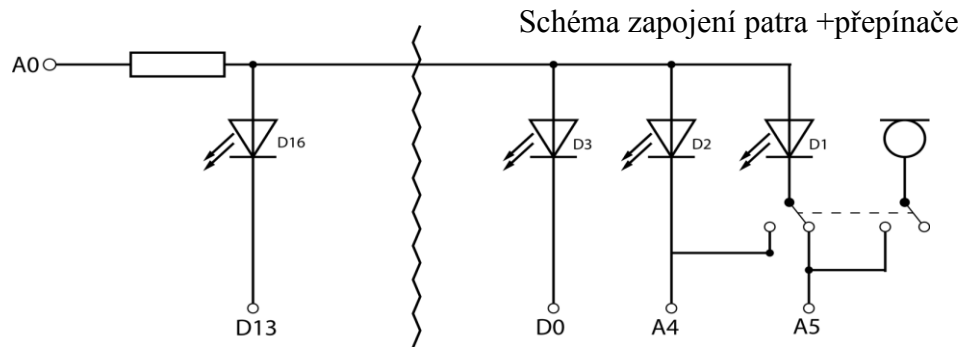
3.1 Návrh zapojení

Nejdůležitějším kritériem při výběru metody zapojení byla další kompatibilita s případnými vylepšeními a rozšířeními. Hlavním cílem bylo vytvořit kostku, která má dva režimy a lze mezi nimi jednoduše přepnout a zároveň aby bylo jednoduché a relativně malé zapojení, které bude zakrytováno.

Zvolil jsem proto metodu zapojení se společnou anodou. Výhoda spočívá v tom, že napájecí vodiče celé kostky jsou potřeba celkem 4, v případě režimu reakce na zvuk 5 vodičů. Napájení a ovládání zajišťuje pouze platforma Arduino UNO, která je napájena 12 V adaptérem ze sítě.

Po celkovém zprovoznění prvního režimu, tj. světelná show podle předem daného programu, bylo nutno vymyslet systém přepínání mezi jednotlivými režimy. Vzhledem k faktu, že Arduino UNO disponuje pouze 20 vývody, bylo nutné změnit zapojení, aby bylo možné propojit analogový výstup s modulem mikrofonu. Řešením bylo využití dvupolohového šestivývodového kolébkového přepínače, kterým lze v první poloze vyřadit mikrofon a navést jednu z katod na analogový vývod A5 a v druhé poloze zapojit analogový výstup mikrofonu na analogový vývod A5 a katodu D1 spojit s katodou D12 na

vývodu A4. Tato verze postačí v případě, že není v dalším úmyslu ovládat jednotlivé LED samostatně, ale postačí manipulace pouze s jednotlivými patry. Pokud by totiž bylo nutné ovládat svítivé diody samostatně, došlo by při uzavření obvodu na A4 k paralelnímu rozsvícení zároveň diod s katodou D1 a D2.



K přepnutí mezi režimy je tedy nutné použít pouze přepínač. Program, který bude kostku ovládat je ale stále nutné nahrát do mikroprocesoru manuálně, pomocí USB kabelu. Zamezit této nedokonalosti lze například využitím druhého mikroprocesoru na platformě Arduino UNO a přepínačem pouze volit, který z nich má momentálně kostku ovládat, nebo využitím větší a výkonnější desky, která by stále měla k dispozici volný vývod, který by sloužil k virtuálnímu přepnutí mezi firmwary.

3.2 Konstrukce

Pro samotnou konstrukci kostky je záhodné si vytvořit šablonu, podle které bude možné pravidelně a rovnoměrně spájet LED k sobě. K tomu postačí například víko od kartonové krabice od bot. Tuto podložku je nutno dále označit tak, aby bylo možné vytvořit otvory pro umístění diod. Já jsem při konstrukci využil šablonu ze smrkové desky.

Pro diody s poloměrem těla 5 mm jsem vyvrtal do dřevěné podložky otvory se středovou vzdáleností 2,5 cm. Po ohnutí vývodů a jejich nasměrování vznikne přibližně 1 mm přesah dvou „nožiček“ určený ke správnému připájení k sobě. Tímto způsobem lze vytvořit 4 téměř identická patra, která při zázším zpracování (spojení katod dohromady) přesně doléhají a není nutné dále mechanicky upravovat vývody diod.

Po vytvoření 4 těchto pater a jejich dalším propojení následuje osazení do krabičky. Na krabičku z plastu lze vyznačit podle stejných parametrů 16 děr, kterými budou vyvedeny katody a další 4, kterými budou vyvedeny anody. Anody musí zároveň být

chráněny předřadným odporem o velikosti 100 Ω (může se měnit s typem a barvou LED). Tyto 4 vývody jsou umístěny u jedné strany vyvrtaných otvorů.

Následuje připojení k Arduinu. Pro zjednodušení lze využít propojovacích kabelů, pro nepájivá pole, které nevyžadují pájení k desce a zapojení je tedy rozebíratelné. Zapojení je řešeno následovně: anody, čili patra, jsou propojeny s analogovými vstupy A0 – A3 na desce. Na jejich pořadí nezáleží, protože jejich iniciace je řešena pomocí indexu pole, což znamená, že v programu je při zavedení proměnných nutné seřadit pouze tyto výstupy tak, aby při následném volání funkcí bylo dosaženo žádoucího efektu. Po dokončení mechanického zpracování lze nahrát program, který bude kostku ovládat.

3.3 Program

Struktura programu v režimu 1, tj. předem předprogramovaná světelná sekvence, je založena na čtení speciálního binárního kódu. Tento kód určuje indexy 0-63 tak, aby jejich hodnota nabývala hodnot 0 a 1. Firmware tento kód čte a dále zpracuje tak, aby indexy s hodnotou 1 uzemnil (uzavře obvod) a tím rozsvítil příslušnou diodu. Dále je v tomto kódu obsažena informace o délce rozsvícení. Ta je řešena číslovkou, jejíž hodnota odpovídá délce svícení v milisekundách (ms). Lze tedy libovolně rozsvítit jakoukoliv diodu na různý čas.

Struktura programu v režimu 2, tj. reakce kostky na zvukové signály, je založena na rozdělení přijímaného signálu na 4 části. Mikrofon s upravenou citlivostí potenciometrem snímá zvuk a jeho hodnotu odešle jako číslovku v intervalu 0 – 1023 do mikroprocesoru. V programu jsou uloženy 4 mezní hodnoty (threshold), které určují, při jakých hodnotách se rozsvítí které patro. Obecně při nejvyšších intenzitách zvuku svítí všechna patra na maximální jas. Tyto mezní hodnoty je nutné nastavit tak, aby odpovídali ambientnímu šumu. Tento jednoduchý postup umožní omezení nežádoucích šumů tak, že všechna patra zůstávají vypnuta i přes snímaný zvuk o určité intenzitě.

4. Závěr

Konstrukce LED kostky může být časově náročnější zejména pro začátečníky, nicméně je velice vhodná jako procvičení pájení (cca 150 spojů) a programování. Vzhledem k tomu, že k funkci není potřeba vysokofrekvenčních signálů a velice přesných napětí, není značnou překážkou špatný spoj, tudíž není důležité být zkušeným konstruktérem.

Kostka je zároveň vhodná vzhledem k poměrně nízké ceně. Potřeba je pouze 64 svítivých diod jakéhokoliv typu a provedení, 4 ochranné rezistory, dvoupolohový přepínač, několik propojovacích vodičů a poté krabička, ve které bude uložena deska Arduino a ke které bude pevně přimontované tělo kostky. Modul s mikrofonem je možné koupit rovněž za velice přijatelnou cenu. Srdcem kostky je Arduino, které je svou cenou prakticky dražší než celá kostka dohromady, každopádně je využitelné v nespočtu jiných projektů a konstrukcí, takže se investice do této modulovací platformy vyplatí.