

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Ambientní inteligence
Inteligentní obaly

Bakalářská práce

Autor: Jindřich Dědek
Studijní obor: Aplikovaná Informatika
Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedených zdrojů.

V Hradci Králové dne 25.4.2016

Jindřich Dědek

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Mlsovi, Ph.D. za metodické vedení práce, odbornou pomoc a rady při zpracovávání této práce. Dále děkuji rodičům a přítelkyni za podporu, trpělivost a vytváření ideálních podmínek po celou dobu studia.

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o trendu aktivních a zejména inteligentních obalových technik. V práci jsou okrajově zpracovány aktivní obaly, jenž jsou nejhojněji používány v potravinářství, jejich využití, trendy a principy. Hlavní fází jsou inteligentní obaly, pod které spadají jak veškeré čárové kódy, pak i další technologie. Zejména technologie sofistikovanější, součástí které jsou i elektronické části, jako je RFID či NFC. V závěru teoretické části jsou zmapovány další bezdrátové technologie, které uvažujeme v tomto tématu. Praktická část se zabývá návrhem implementace RFID technologie v logistice a dodavatelském řetězci. Hlavní součástí praktické části je také návrh konstrukce podpůrných jednotek pro detailní sledování stavu zásilky při transportu včetně propočtu pořizovacích nákladů a zhodnocení praktického využití těchto jednotek.

Summary

Ambient Intelligence Subsystem – Intelligent Packaging

This bachelor thesis deals with active and intelligent packaging techniques. There are marginally described active packaging techniques which are mostly used in the food industry. The main part of this thesis deals with intelligent packaging technology like barcodes. It also deals with much more sophisticated technologies with electronic parts such as RFID or NFC. Other wireless communicating technologies which we consider in this topic are described in the end of the theoretical part. The practical part suggests implementation of RFID technology into logistics and supply chain. The main part of the practical part is design of construction units for detailed monitoring of the cargo status including the calculation of the costs of these units and evaluation of their use in practice.

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce.....	11
3	Metodika zpracování.....	12
4	Obalové technologie a systémy.....	13
4.1	Funkce obalových materiálů, trendy v obalové technice.....	13
4.2	Aktivní vs. inteligentní obaly	14
4.3	Aktivní obaly	14
4.3.1	Odstraňující (absorbující) nežádoucí látky	15
4.3.2	Zlepšující stav balených produktů	15
4.3.3	Indikátory teploty potravin	15
4.3.4	Indikátory čerstvosti potravin.....	16
4.3.5	Indikátory kyslíku a oxidu uhličitého (poškození obalu)	16
4.3.6	Samoohřívací a samochladící systém	17
4.4	Inteligentní obaly	19
4.4.1	Jednodimenzionální čárové kódy (1D)	19
4.4.2	Dvoudimenzionální čárové kódy (2D)	22
4.4.3	Metody snímání 1D a 2D kódů	24
4.5	RFID technologie	26
4.5.1	RFID systém.....	27
4.5.2	Frekvence RFID	29
4.5.3	RFID tag.....	32
4.5.4	RFID čtečka	33
4.5.5	Standardy RFID	35
4.5.6	Využití RFID v inteligentních obalech	37
4.6	NFC.....	40
4.6.1	RFID versus NFC	41

4.6.2	NFC zařízení, tag a druhy komunikace	41
4.6.3	Využití NFC.....	43
4.7	Další bezdrátové komunikační systémy.....	44
4.7.1	IrDA.....	44
4.7.2	Bluetooth.....	45
4.7.3	Wi-Fi	45
4.7.4	ZigBee.....	46
4.7.5	Ultra-wideband	46
5	Vlastní praktická část.....	48
5.1	Návrh implementace inteligentních obalů v logistice.....	48
5.1.1	Položka (samostatný produkt).....	49
5.1.2	Přepravní obal / paleta / kontejner a aktivní RFID	51
5.1.3	Přepravní prostředek a sklad	52
5.1.4	Způsoby komunikace systému	53
5.2	Návrh konstrukce nezávislého inteligentního obalu.....	55
5.2.1	Úvod.....	55
5.2.2	Konstrukce	56
5.2.3	Využití jednotlivých součástí v jednotce	58
5.2.4	Náklady.....	59
5.2.5	Závěr	60
6	Závěry a doporučení	61
7	Seznam použitých zkratk.....	62
8	Seznam použité literatury.....	64
9	Seznam dalších použitých zdrojů.....	66
10	Seznam obrázků.....	69
11	Seznam tabulek	70

1 Úvod

Intelligence. Jedno z klíčových slov této práce a zároveň pravděpodobně jeden z nejdůležitějších termínů, který současná psychologie zná. Pojem, jenž je znám i mezi laickou veřejností, obklopuje každého z nás. J. P. Guilford, dlouholetý prezident Americké psychologické společnosti, uvádí, že intelligence je schopnost zpracovávat informace, tedy dojmy, které člověk vnímá.¹ Přesto, že je intelligence vrozená schopnost člověka, v dnešní době se s tímto pojmem setkáváme čím dál častěji i v jiných vědních oborech nežli je psychologie, jako například technologie či elektronika. Ať už je řeč o inteligentních telefonech, hodinkách, osvětlení či domácnostech, vždy mají něco společného. Dokáží pracovat či vykonávat různé akce bez větší závislosti na spolupráci s člověkem a nejen mu ušetřit mnoho času, ale také vytvářet jeho život komfortnějším. To vše pomocí moderní elektroniky, hardwaru a softwaru.

Obal, další z klíčových a nejdůležitějších slov této práce. Obaly jako takové existují, aby dělaly naše životy jednoduššími. Ať už mluvíme o potravinách, léčivech či o jiném druhu zboží, obaly jsou jejich nedílnou součástí. Obaly potřebujeme, aby produkty chránily od vnějšího prostředí, chránily před poškozením či aby sloužily pro větší pohodlí. Pohodlí spotřebitelů a produktů je ten základní úkol obalů. Obaly u potravin jsou velice důležité. Potravinu chrání před špínou, vodou, plyny, mikroorganismy, prachem a dalšími bakteriemi či nevítanými látkami, též mohou obsahovat mnoho užitečných informací jako je nutriční hodnota potravin či datum trvanlivosti. Obaly u ostatních produktů obsahují určité informace. Dokonce i každý nerozbalený produkt, na který můžete v obchodě narazit, musel být od výrobce nějakým způsobem do obchodu dopraven. Ano, zajisté v určitém obalu či obalovém materiálu.

¹ <http://www.intelligence.cz/>

Tato bakalářská práce se zabývá zejména spojením těchto dvou termínů. Inteligentní obaly. Nejobyčejnější charakteristikou tohoto pojmu může být spojení obalového materiálu a jakési elektroniky, čidel či čipů. Robertson je ve své publikaci, Inteligentní obaly pro potraviny, definuje jako: „*Packaging that contains an external or internal indicator to provide information about aspects of the history of the package and/or the quality of the food.*“ (Robertson, 2006). Inteligentní obal je rozšíření tradičního obalu o komunikační funkce a o funkce takové, jež můžou spotřebitele informovat o detailech produktu, které ho mohou zajímat. Jedním z přínosů inteligentních obalů by mohlo být sledování stavu potraviny. Obal potraviny by mohl signalizovat uplynutí doby minimální trvanlivosti. Inteligentní obal by mohl sbírat různé informace z přepravy onoho produktu, sledovat polohu zásilky v reálném čase, odesílat data o zásilce do sítě internet a jiné. Takováto implementace a nasazení této technologie by mohly znamenat snížení ztrát způsobených při transportech produktů.

2 Cíl práce

Cílem této práce je zmapovat dění a trendy v oblasti aktivních inteligentních obalů. Zmapovat trendy a využívání různých forem inteligence v obalových technikách. V praktické části bude cílem navrhnout co možná nejefektivnější řešení implementace inteligence do obalů, případně navrhnout konstrukci takového systému, jenž zvýší užité vlastnosti obalů a bude mít velký potenciál využití v budoucnosti, a následně zhodnotit jeho praktické přínosy.

3 Metodika zpracování

V práci je použito několik pracovních postupů a metodik. Nezbytnou součástí zpracování tohoto tématu je seznámení se s danou problematikou, čehož bylo dosaženo pomocí detailní rešerše informací z dostupných zdrojů o tématu. K rešerši a zpracování byla použita literatura a internetové zdroje zabývající se konkrétní problematikou jako jednotlivé kapitoly. V praktické části bylo postupováno s ohledem na skutečnosti, materiály a informace zpracované a uvedené v teoretické části, čehož bylo docíleno pomocí většího souhrnu postupů a pravidel. Inspirace postupu v praktické části vychází z vodopádového přístupu, který zahrnuje analýzu požadavků a návrh konkrétního funkčního celku. Důraz je kladen na plánování a rozvržení návrhu, neboť ke konkrétní realizaci projektu z finančních důvodů nedošlo. Další z použitých přístupů vychází z přístupu spirálovitého, protože plánování, analýza a hodnocení byly dalšími stěžejními kroky tvorby této práce.

4 Obalové technologie a systémy

4.1 Funkce obalových materiálů, trendy v obalové technice

Obaly jsou prostředky či soubory prostředků, které mají za úkol chránit výrobky a produkty před škodou, kterou by mohly utrpět či způsobit a umožnit jednodušší manipulaci se zbožím. Lze je chápat jako nevyhnutelnou a neodmyslitelnou součást jakostního výrobku. Obal plní dvě základní funkce: manipulační ochranu a informační funkci. Ochranná funkce obalu spočívá ve schopnosti chránit výrobek po dobu jeho oběhu před škodlivými vlivy prostředí a zabránit nežádoucímu účinku vlastností výrobku na okolí. (Calver, 2004) Manipulační funkce obalu umožňuje ovladatelnost výrobků při přepravě, skladování, prodeji, ale ovšem i spotřebě. Informační funkce závisí na schopnosti obalu informovat spotřebitele o veškerých vlastnostech a specifikacích výrobku. Obaly mohou být vyrobeny z mnoha různých materiálů. Výběr použitého obalového materiálu závisí nejen na druhu zboží, jeho ceně a kvalitě, ale i na podmínkách za jakých bude vystaveno, jaké vnější vlivy na obal budou působit, na technologii balení či druhu dopravy. Mezi nejvýznamnější obalové materiály patří papír či igelit, ale i jejich kombinace s klasickými materiály jako jsou kovy, sklo, dřevo, aj.

Podle oblasti použití a účelu lze obaly rozdělit na základní druhy do několika skupin, a sice přepravní, obchodní a spotřebitelské. Přepravní obaly jsou vnější obaly sloužící zejména jako ochrana pro převoz zboží, ale i k manipulaci. Mnohdy jsou též prostředkem vizuální komunikace mezi odesílatelem, přepravcem a adresátem. Mezi přepravní obaly můžeme řadit pytel, bedny, sudy, krabice či palety a mnoho dalších. Obchodní obaly tvoří most mezi spotřebitelským a přepravním obalem. Jsou vytvořeny pro účel manipulace, přepravy a skladování. Jsou to například přepravky, folie, bedny, aj. Spotřebitelské obaly jsou součástí zboží. Kromě ochrany výrobku slouží i jako komerční sdělovací prostředek, zvyšují čistotu a vlastnosti prodeje a spotřeby. Jako spotřebitelský obal lze uvést téměř všechny obalové materiály. Můžou to být sáčky, krabičky, kelímky, misky, kartonáž, lahve, sklenice či plechovky a další. Dle četnosti oběhů lze spotřebitelské obaly rozdělit na vratné (pivní lahve) a nevratné. Dále obaly lze dělit na tuhé (dřevo), polotuhé (kartonové krabice),

měkké (pytle) a křehké (sklo). Základem inteligentních obalů je právě obalový materiál samotný. Inteligentní obaly lze rozdělit do dvou podskupin: aktivní obaly a inteligentní obaly. Každá ze skupin má svá specifika, jež budou představena v kapitolách 4.2 – 4.4.

4.2 Aktivní vs. inteligentní obaly

Tyto dva termíny jsou novodobými hity, které rozlišujeme. V technologii používáme především termín inteligentní, zatímco termín aktivní spadá spíše do průmyslu potravinářského. V současné době silně stoupá poptávka spotřebitelů po takových obalech, především ve Spojených státech amerických, Evropu tento růst jistě čeká. Důvodem jsou stále vyšší a vyšší nároky spotřebitelů zejména kvůli vlastnímu komfortu. Každý člověk chce zařízení, jež mu bude zjednodušovat život, každý chce obal takový, který by potravině prodlužoval její čerstvost. Tyto požadavky kladou stále vyšší nároky nejen na funkčnost obalu, ale i na materiály a jejich kvalitu, ze kterých jsou obaly vyrobeny. Při prodlužování čerstvosti zboží, lze využít různé implementace aktivátorů, čipů a čidel, jež jsou schopny čerstvost a ostatní vlastnosti potravin prodlužovat a zlepšovat, či pouze monitorovat její vlastnosti a upozorňovat na ně spotřebitele.

4.3 Aktivní obaly

Jak bylo již uvedeno, aktivní obaly jsou vyvíjeny především pro použití s potravinami, a to tak, aby obsahovaly složky, jež dokáží uvolnit či absorbovat látky do nebo z baleného výrobku či prostředí. Takový charakter může mít přímo obal či etiketa, jež sleduje stav zboží či prostředí a monitoruje příslušné změny, ke kterým došlo, přičemž nesmí způsobovat změny ve složení vlastností, které by mohly být pro spotřebitele nějakým způsobem zavádějící až nebezpečné. Konkrétně mezi aktivní patří především různé typy absorbérů, systémy, které regulují vlhkost, odstraňují nežádoucí pachy a omezují rozvoj mikroorganismů, indikují teplotu, složení atmosféry v obalu či indikují čerstvost potravin. (Kit L. Yam, 2009)

4.3.1 Odstraňující (absorbující) nežádoucí látky

Prvním ze zástupců aktivních obalů jsou obaly, jež dokáží absorbovat nežádoucí látky výrobku. Především vlhkost, etylen, oxid uhličitý, kyslík, zápach aj. Mezi nejvýznamnější patří především absorberý kyslíku, jež využívají jeden z více mechanismů, např. oxidaci železitého prášku či enzymové oxidace. Pro regulaci vlhkosti obaly využívají různých chemikálií jako stabilizaci vlhkosti pomocí smáčedel. (Krpálková, 2010)

4.3.2 Zlepšující stav balených produktů

Dalším ze zástupců aktivních obalů jsou obaly, jež produkují látky dovnitř obalu, tzv. emitory. Tyto látky poté mohou mít různé efekty na výrobek a tím například prodloužit trvanlivost potraviny. Dnes existuje mnoho postupů a způsobů, jak takový obal vyrobit. V Japonsku se používají emitory etanolu, tj. sáčky vkládané do obalů, které uvolňují páry etanolu. Slouží hlavně k prodloužení trvanlivosti pečiva. Ale existuje i mnoho dalších emitorů, které mají odlišné efekty na potravinu. Například mohou mít antioxidační účinky, antimikrobní účinky, snižovat růst mikroorganismů, aj. (Krpálková, 2010)

4.3.3 Indikátory teploty potravin

Jedny z nejpopulárnější aktivních obalů u potravin jsou také obaly, jež informují spotřebitele o teplotních změnách potraviny. Většina těchto obalů je vyráběna jako etikety či samolepky na vnější části obalu, jež se zbarvují dle momentální teploty, ovšem mohou zůstat zbarveny, dosáhla-li potravina někdy určité až kritické teploty. Například bylo-li již hluboce zmražené maso jednou rozmrazeno, spotřebitele o tom informuje právě tato etiketa. Tyto indikátory využívají chemické či mechanické (nevratné) změny, které jsou převáděny do viditelné podoby právě zbarvením, občas třeba deformací. V současné době jsou hojně využívány především při balení hotových jídel či masných výrobků. (Krpálková, 2010)

4.3.4 Indikátory čerstvosti potravin

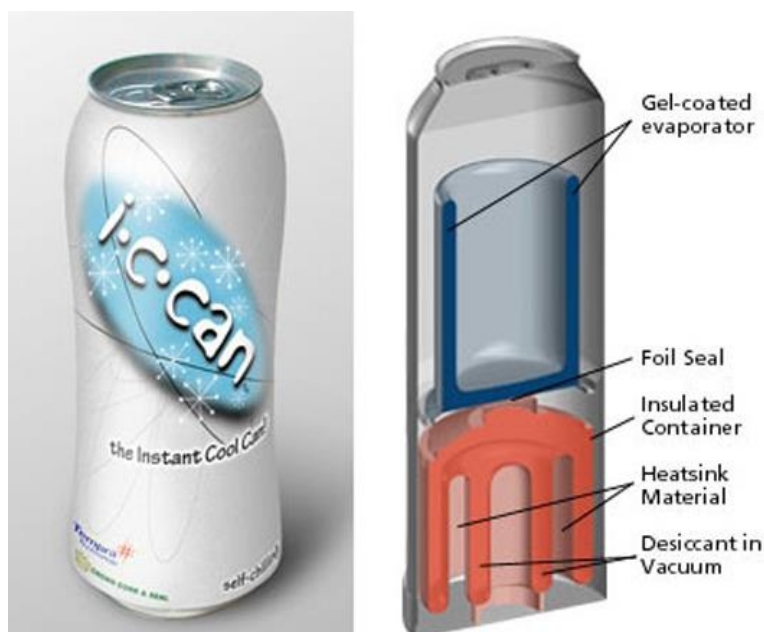
Indikátory čerstvosti potravin jsou založeny na detekci látek uvolňovaných během stárnutí balených potravin, tedy na interakci mezi obalem a potravinou. V současné době se používá několik způsobů indikace čerstvosti. Různí výrobci samozřejmě nabízí různé způsoby zjišťování a indikace čerstvosti. Například Fresh Tag je systém s plastovým čipem, jenž vyvolá změnu barvy při detekci určitých látek. Obdobně, ovšem na jiné chemické reakci, je založen i indikátor Food Sentinel. Tento systém se používá především u masných výrobků. Poslední z uváděných je indikátor Toxin Guard, jenž pracuje na systému vytváření komplexů a protilátek. (Hvízdalová, 2006)

4.3.5 Indikátory kyslíku a oxidu uhličitého (poškození obalu)

Indikátory, jež reagují na obsah kyslíku uvnitř obalu mají formu štítku s vyznačenou plochou, nebo tabletu v transparentním sáčku, jejichž barva se mění dle prostředí. Jedním z používaných principů je změna barvy štítku v důsledku změny hodnoty pH. Indikátory kyslíku jsou často označovány i jako indikátory neporušenosti obalu. Spotřebitel tak lehce pozná, že s výrobkem není něco v pořádku. V některých zemích jsou i používány indikátory většího množství oxidu uhličitého, které podávají spotřebitelům informaci o změnách v potravine mnohem dříve, než se obal začne nafukovat a vizuálně měnit. (Krpálková, 2010)

4.3.6 Samoohřívací a samochladící systém

Posledním ze zástupců aktivních obalů je kategorie sama o sobě. Samoohřívací a samochladící systémy jsou opět využívány pouze ve spojení s potravinami. Jedná se o obal vyvinutý společností Tempra Technology. Systémy balení jako jsou plechovky či obaly z bílých kovů, uvnitř vrstvené několika vrstvami s odlišnou látkou. Po rozbití vrstev a spojení látek dochází k chemické reakci, jež v závislosti na použitých látkách vyvolá ochlazení či ohřátí obsahu.²



Obrázek 1: Samochladící systém Tempra Technology³

² <http://www.tempratech.com/portfolio/>

³ <http://www.tempratech.com/portfolio/i-c-cans/>



Obrázek 2: Samoohřívací systém Tempra Technology⁴

⁴ <http://www.tempratech.com/portfolio/self-heating-food-packaging/>

4.4 Inteligentní obaly

Inteligentní obaly oproti aktivním můžou být osazeny různými čipy a kódy, jež můžou bezdrátově komunikovat i na delší vzdálenost. Mezi základní typy inteligentních obalů lze uvést čárové a QR kódy. Ale inteligentní jsou samozřejmě i složitější systémy jakou Radio Frequency Identification (RFID) aj. Slouží především k označování a identifikaci, ale mohou umožňovat i GPS sledování polohy výrobků a tím i ochranu proti krádeži či zfalšování, zároveň jsou schopné zaznamenávat změny při manipulaci se zbožím, změny při poškození obalu či neoprávněné otevření. V závislosti na složitosti můžou tyto systémy komunikovat na kratší či delší vzdálenosti. Na kratší vzdálenosti například pomocí IrDA, na delší pomocí Bluetooth či Wi-Fi, ale také i pomocí v dnešní době moderního a rozšiřujícího se Near Field Communication (NFC). Některé komunikační způsoby budou zmíněny v dalších kapitolách.

4.4.1 Jednodimenzionální čárové kódy (1D)

Původ čárových kódů sahá až do sedmdesátých let dvacátého století. Server [gs1cz.org](http://www.gs1cz.org) uvádí, že se jednalo o balíček žvýkaček koupených v obyčejném americkém supermarketu. Přesto ani po čtyřiceti letech neupadl v zapomnění. Jednalo se totiž o historicky první případ, kdy byl v maloobchodu použit čárový kód. Příběh, dnes už veřejně známého vynálezu se začal psát roku 1949 v americkém Miami. Inženýr Norman Joseph Woodland začal vyvíjet čárový kód na popud kolegy, jenž si stěžoval na jistého obchodníka, kterému údajně klasické markování zboží trvalo příliš dlouho. Takto se zrodil nápad, jenž způsobil revoluci v nakupování.⁵







V současnosti jsou čárové kódy nejrozšířenějším prostředkem automatické identifikace produktů. Zpravidla každý druh produktu, samozřejmě až na možné výjimky, má vlastní identifikační kód. Jsou velice hojně využívány i z toho důvodu, že jejich pořizovací náklady jsou ve srovnání s jinými médii velice zanedbatelné. Rozeznáváme dva typy čárových kódů. Jednodimenzionální (1D)

⁵ <http://www.gs1cz.org/o-nas/o-gs1-czech-republic/historie-kodu-ve-svete/>

a dvoudimenzionální (2D). 2D kódy jsou novějším typem čárového kódu, vycházející z 1D kódů (viz kapitola 4.4.2).

1D čárové identifikační kódy jsou tvořeny z černých čar a bílých mezer, které se čtou pomocí čteček kódů. Tyto kódy mají omezenou kapacitu a obvykle tedy kódují numerický či alfanumerický řetězec. Existuje mnoho druhů čárových kódů, z nichž každý je většinou určen pro specifické použití.⁶ Přehled nejpoužívanějších 1D čárových kódů je uveden v tabulce 1.

⁶ <http://www.kodys.cz/carovy-kod.html>

Čárový kód	Typ čárového kódu	Popis daného typu
	EAN 13 a EAN 8	Nejznámější čárový kód užívaný pro zboží prodávané v obchodní síti.
	UCC/EAN 128	Čárový kód využívaný pro označování obchodních a logistických jednotek.
	CODE 128	Univerzální, volně použitelný čárový kód ke kódování alfanumerických znaků
	CODE 39	Kód používaný zejména v automobilovém průmyslu, ve zdravotnictví a v mnoha dalších odvětvích průmyslu a obchodu.
	INTERLEAVED 2 OF 5 (ITF) a ITF-14	Kód užívaný nejčastěji pro interní aplikace a označování obchodních jednotek.
	GS1 DATABAR	Lineární kód pro označování malých produktů.

Tabulka 1: Nejpoužívanější typy 1D čárových kódů⁷

⁷ <http://www.kodys.cz/carovy-kod.html>

4.4.2 Dvoudimenzionální čárové kódy (2D)

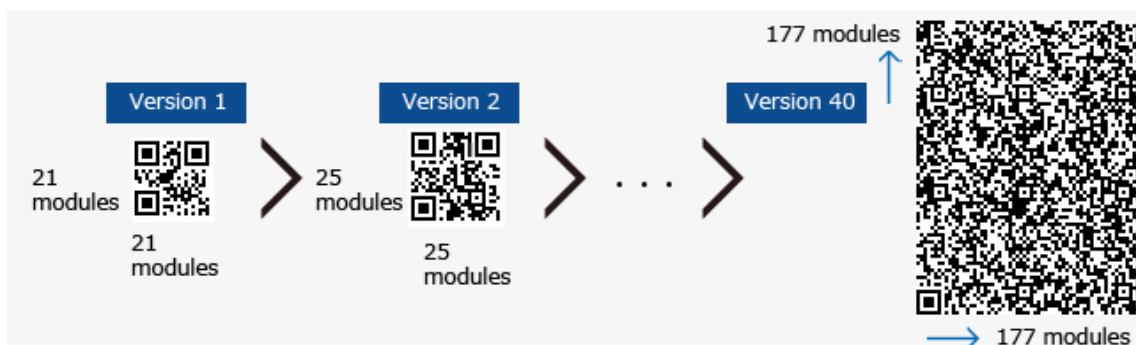
Stále častěji se lze, nejen na výrobcích, setkat s novějším typem čárového kódu, dvoudimenzionálním. Vychází z 1D čárového kódu, ovšem oproti němu má dvoudimenzionální (dvourozměrný) vyšší kapacitu. Na rozdíl od první skupiny informací kódují v obou směrech současně. Vychází tak matice bodů, ve které je informace uložena. Můžou tedy obsahovat znatelně více informací nežli 1D. Jsou též velice odolné vůči poškození, znatelná část kódu se dá úplně či částečně rekonstruovat ze zbylé části kódu. Dnes se 2D kódy využívají především pro webové odkazy, adresy, popisy zboží, dopravní informace, aj.⁸ Nejznámější typy dvoudimenzionálních kódů jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

Nejrozšířenějším zástupcem 2D čárových kódů je Quick Response (QR) kód. Standard pochází z roku 2000, upraven byl roku 2006. V jednom QR kódu může být zakódováno až 7 089 znaků. Může obsahovat písmena, čísla či znaky. Obsahují tedy zpravidla více informací, obvykle veškerou potřebnou informaci o označeném předmětu. Jedná se o čtvercový obrazec složený z velkého množství černých a bílých ploch. V současnosti rozeznáváme okolo čtyřiceti druhů QR kódů, jež rozlišujeme především dle velikosti a kapacity. Každý QR kód je složen z modulů, modulem rozumíme jeden bod kódu, tzn. černý nebo bílý. QR kód verze jedna obsahuje 21*21 modulů (21*21 bodů) a každá vyšší verze obsahuje o čtyři moduly vertikální a čtyři moduly horizontální navíc. QR kód verze dvě tedy 25*25 modulů a verze 40 obsahuje 177*177 modulů. Oficiální server firmy, jež vyvinula QR kód uvádí následující vlastnosti QR kódů jako nejpřínosnější:⁹

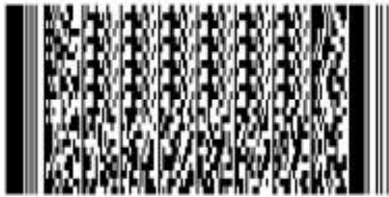


- Vysoká kapacita kódování dat
- Malá tisknutelná velikost
- Podpora znaků Kanji a Kana
- Vysoká odolnost proti ušpinění a poškození

⁸ <http://www.proxima.net/Digitalni-tisk/2D-carove-kody>

⁹ <http://www.qrcode.com/en/>



Obrázek 3: Verze QR kódů¹⁰

Čárový kód	Typ čárového kódu	Popis daného typu
	PDF 417	Kód s velmi vysokou informační kapacitou, schopností detekce a oprav chyb (při porušení kódu).
	Datamatrix	Maticový kód používaný v armádních aplikacích, letectví a pro označování elektronických součástek.
	QR kód verze 2 (25*25 modulů)	Nejrozšířenější maticový kód.

Tabulka 2: Nejpoužívanější typy 2D čárových kódů¹¹

¹⁰ <http://www.qrcode.com/en/about/version.html>

¹¹ <http://www.proxima.net/Digitalni-tisk/2D-carove-kody>

4.4.3 Metody snímání 1D a 2D kódů

Primárním úkolem snímačů kódů je rychle a bezchybně přečíst a zpracovat čárový kód a předat výsledek dalšímu segmentu, jímž může být běžný počítač, automat, pokladna či jiné zařízení. Připojení snímače k hostiteli je nejčastěji kabelem, případně bezdrátově, např. pomocí Bluetooth. Z hlediska použití dělíme snímače především na ruční a pultové. Z hlediska principu pak na laserové a digitální. Laserové pracují na principu laserových diod. Digitální snímače pracují na stejném principu jako současné digitální fotoaparáty, kód se nejdříve vyfotí a poté je dekodován.¹² V současnosti se používá několik hlavních technologií ke čtení a dekodování čárových kódů. Mezi nejznámější patří:

- **Laserové snímače** – Nejrozšířenější technologie ke čtení kódů. Slouží ke čtení výhradně 1D čárových kódů. Využívají laserovou diodu jako zdroj světla. Vyslaný laserový paprsek je pak rozptýlen ve dvou směrech po čárovém kódu. O příjem odrazu světla se stará fotodioda, která měří intenzitu odrazu a tím přečte čáry na kódu. Černé čáry světlo pohltí a od bílých se světlo odrazí. Největší předností laserových snímačů je jejich jednoduchá konstrukce a snadná manipulace. Tyto snímače můžou přečíst kód až na vzdálenost několik desítek centimetrů.
- **CCD snímače** – Obsahují mnoho miniaturních světelných senzorů, které měří úroveň odraženého světla od kódu. Tak jako laserové. Černá barva světlo pohltí, bílá odráží. Čtečky obsahují diody LED, sloužící pro osvětlení a zaměření čteného kódu. Tyto snímače jsou levnějším řešením oproti laserovým snímačům. Jsou tedy vhodnější do menších provozů. Na rozdíl od laserových nemají žádné pohyblivé části. Jsou tedy méně choulostivé na otřesy a pády, což je jejich hlavní výhodou. Nevýhodou je pak vzdálenost snímání. Snímat mohou kód ze vzdálenosti pouze několika centimetrů. Fungují tedy na kratší vzdálenost nežli laserové. Jsou určeny opět především ke snímání 1D čárových kódů.

¹² <http://www.kodys.cz/produkty/snimace-carovych-kodu.html>

- **Imagery** – Snímače, které ke svému fungování používají čip CCD, jenž je dobře známý z kamer a fotoaparátů. Čárový kód je zařízením vyfotografován a softwarově dekodován. Hlavní předností těchto snímačů je schopnost rozpoznání všech neznámějších typů 1D i 2D čárových kódů a možnost dekodování i více kódů najedou. Naopak nevýhoda je opět ve vzdálenosti čtení, která je krátká a závislá na intenzitě osvětlení.
- **Všesměrové snímače čárových kódů** – Všesměrové snímače jsou ve většině případů osazeny více laserovými snímači umístěnými v různých směrech tak, aby mohly zachytit kód otočený či nakloněný. Ovšem existují i všesměrové snímače osazené jinou technologií snímání jako je CCD či Imager, aj. Nejrozšířenějším místem, kde jsou všesměrové snímače v současnosti používány, jsou pravděpodobně pokladní pulty supermarketů, kde pult obsahuje vestavěnou čtečku krytou sklem, přes kterou prodavač zboží přesouvá. Dále pak tyto snímače jsou hojně používány v nejrůznějších automatech či výrobních linkách. Pro rozšíření možného úhlu čtení bývá v těchto čtečkách paprsek rozptylován pomocí rotujícího polygonálního zrcadla.¹³

¹³ http://carovy-kod.info/carovy-kod/metody-snimani-caroveho-kodu_217.html

4.5 RFID technologie

Většina doposud uvedených technologií ve spojení s obaly indikuje stav vizuálně, případně předává informace bez použití jakékoliv elektroniky či čipů v obalu. Jinak je tomu u sofistikovanější technologie Radio Frequency Identification (RFID). RFID technologie se za poslední roky velmi rozšířila. RFID štítky na obalu navazují na systém čárových kódů, ovšem jejich využití má mnohem větší potenciál. Štítek jako takový žádný signál nevysílá, ovšem je-li v jeho blízkosti RFID vysílač, jenž do okolí vysílá signály, dokáže štítek využít signál ke svému nabití a odeslání odpovědi. Vzhledem k velké kapacitě štítku může takto nést obrovské množství informací.

Informace uvedené v RFID štítku mohou nést například kompletní historii výrobku. Například výrobce, datum výroby, datum minimální trvanlivosti, ale také teplotní historii produktu a další. Ve spojení s aktivními obaly může obsahovat i informace o složení vnitřní atmosféry, stav obalu či čerstvost potravin. Tyto údaje můžou být velice důležité pro všechny, kteří mají s oběhem produktu něco společného, ať už výrobce, přepravci, skladníci či prodejci, ale hlavně koncoví zákazníci.

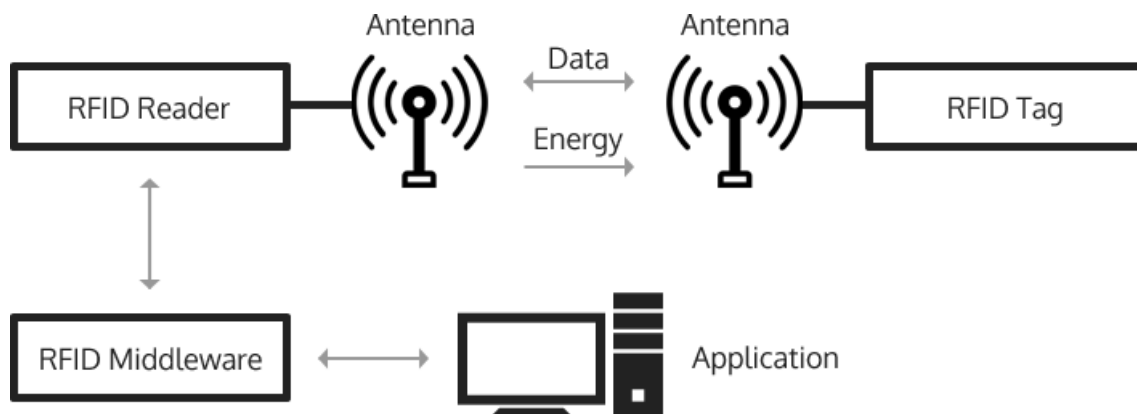
Úvahy i částečný momentální vývoj RFID systémů jde daleko. Jednou z úvah budoucího využití RFID je inteligentní lednička, která by dokázala nejen upozornit na potravinu blížící se minimálnímu datu spotřeby, ale také zjistit, co v ledničce chybí a spotřebitele o tom informovat, případně ji sama objednat. Možných funkcionálních využití obalu vybaveného RFID s inteligentní lednicí je samozřejmě mnoho. Dalším z uvažovaných zařízení spolupracujících s RFID obalem může být mikrovlnná trouba. Ta by byla schopna pomocí RFID čtečky zjistit instrukce k přípravě jídla, jako je čas a síla ohřívání, a vše by zvládla sama bez zásahu spotřebitele. U tohoto případu otázkou zůstává bezpečnost či odolnost RFID čipu vůči mikrovlnám. Dalším možným využitím obalů s RFID je realizování samoobslužného obchodu pro usnadnění a urychlení nákupu. Zákazník by do košíku vložil veškerý svůj nákup, tak jako je tomu doposud, ovšem zamířil by k pokladně skrz RFID čtecí rám, ten by detekoval a přečetl kompletní obsah jeho košíku a vyzval zákazníka k platbě, případně automaticky odečetl cenu nákupu z jeho bankovního účtu. (Sosnovcová J., 2008)

4.5.1 RFID systém

RFID systém tvoří tři základní části:

1. **Transpondér** – Jinak řečeno RFID tag, je známka obsahující elektronický paměťový obvod s anténou. Dělí se na aktivní a pasivní. Všechny jeho součásti jsou umístěny právě v jednom konstruovaném obalu z plastu či papíru. (Viz kapitola 4.5.3)
2. **Čtecí zařízení** – Fyzický hardware, čtečka RFID tagů, je tvořen vysílacím a přijímacím obvodem s dekodérem a anténou. RFID čteček je na trhu velké množství nabízející různé funkcionality. (Viz kapitola 4.5.4)
3. **Řídící a dekodovací software (middleware)** – Podpůrné systémy pro dekodování RFID tagů. Tento SW často obsahuje i RFID reader.

Základní komunikace RFID systému spočívá v kolaboraci základních částí systému. Čtecí zařízení pomocí antény vysílá rádiovou vlnu do svého okolí. Objeví-li se transpondér v dosažitelné vzdálenosti od čtecího zařízení, kondenzátor v transpondéru se po přijetí rádiové vlny nabije. Získaná energie je využita pro napájení logických obvodů tagu. Dosáhne-li úroveň napětí na kondenzátoru provozního minima, tag začne odesílat informace čtecímu zařízení. Vysílání tagu je zpravidla realizováno pomocí ASK modulace (Amplitude Shifting Key). Modulace představuje důkladné ovlivňování výšky, frekvence a fáze amplitudy signálu. V případě, že tag umožňuje zapisování informací, pak je lze zapisovat právě pomocí modulace. Základní podmínkou správného dekodování RFID tagu tedy je dostatečná energie pro nabití kondenzátoru v transpondéru, tedy i optimální prostředí a vzdálenost mezi čtečkou a transpondérem. S narůstající vzdáleností klesá kvalita signálu a nárůst šumu může vést až k nemožnosti dekodování informací v tagu. (Sommerová, 2008)



Obrázek 4: Schéma RFID systému¹⁴

RFID systémy lze rozdělit na:

- **Pasivní** – RFID tag neobsahuje vlastní zdroj energie a je závislý na dodávce z antény čtecího zařízení. Čtečka šíří elektromagnetické vlny pomocí antény, jež slouží jako zdroj energie, ale též jako komunikační kanál. Hlavním úkolem nasazení pasivního RFID je identifikace předmětů.
- **Aktivní** – U aktivních RFID systémů se jedná nejen o identifikaci předmětů a dekódování informací o něm, ale i o další rozšířené funkce jako lokalizaci, měření teploty, aj. Na rozdíl od pasivního RFID tagu obsahuje vlastní zdroj energie a jeho činnost může být na čtecím zařízení nezávislá. Může obsahovat různé snímače a čidla pro měření různých veličin či může být schopen nějakým způsobem signalizovat určitou skutečnost. (Borriello, 2005)

¹⁴ vlastní tvorba

4.5.2 Frekvence RFID

Stejně tak jako na jiné rádiové frekvence působí různé vlivy. Je samozřejmé, že čím větší je výkon vysílače čtecího zařízení, tím je vzdálenost, ve které lze spolehlivě získat a dekodovat informace z RFID čipu, větší. Do každého prostředí se hodí různé frekvence vln. Dlouhé vlny, tedy nižší frekvence, jsou obecně vhodnější v nepravidelném prostoru kvůli jejich schopnostem překonat některé překážky, zatímco kratší vlny, tedy vyšší frekvence, při stejném výkonu dokáží pracovat na delší vzdálenost. Různé frekvence můžou být negativně ovlivněny vnějšími vlivy, jako jsou kapaliny, kovy, aj. Při instalaci RFID systému ovšem nelze libovolně frekvence nastavovat. V první řadě je nejdůležitější zdraví osob, musí být tedy jasně definován maximální vyzařovací výkon. Ani s volbou nosné frekvence nelze nakládat dle svého uvážení. Kromě RFID rádiové vlny využívá i mnoho jiných zařízení jako televize, rozhlas, mobilní telefon či internet a RFID systém s nimi nesmí kolidovat. Pro frekvence jsou tedy nastaveny určité hranice. Radiofrekvenční pásma pro každou oblast definují národní telekomunikační úřady, které jsou sdružené v International Telecommunication Union.¹⁵

¹⁵ <http://www.codeware.cz/rfid-standardy-frekvence-vlastnosti.html>

	LF	HF	UHF	2.4G
Frequency	~135kHz (usually 128kHz)	13.56MHz	860~960MHz	2.4GHz
Read range	A few cm	A few 10cm	~5m	~3m
Tag price	Expensive	Fair	Good	Could be cheap but Expensive
Infrastructure	Fair	Good	Global Standard	Custom
Directivity	Wide	Wide-ish	Wide	Narrow
Antenna size	Huge	Big	Small	Very small
Useability on PCB	Bad	Fair	Very Good	TBD

Tabulka 3: Tabulka základních RFID pásem a frekvencí¹⁶

Volba vhodné frekvence pro konkrétní aplikaci je jedna z nejdůležitějších fází návrhu RFID systému. Platí, že čím vyšší frekvence, tím rychlejší přenos dat, avšak komunikaci čtecího zařízení s RFID tagem může znatelně negativně ovlivnit přítomnost mnoha problematických materiálů či klimatické podmínky. Na volbě frekvence taky závisí například rychlost čtení tagu, rychlost zapisování, použitelnost v různém prostředí či zákonná omezení. Existují čtyři základní frekvenční pásma určená pro systém RFID uvedená v tabulce číslo 3. (Sommerová, 2009)

- 1. LF (Low Frequency)** – Pásmo má velmi krátkou až kontaktní čtecí vzdálenost a nízkou rychlost přenosu. Technologie používající se především v identifikačních průkazech (evidence docházky), k identifikaci komponent ve výrobním procesu, identifikaci sudů, na evidenci domácích zvířat atd. Využívá pasivních tagů skládajících se z cívky měděného drátu a nepřepisovatelné paměti.
- 2. HF (High Frequency)** – Pásmo s vyšší čtecí vzdáleností než LF. Využívá pasivních tagů, v aktivním provedení umožňuje čtecí vzdálenost až jeden

¹⁶ <http://www.slideshare.net/AlexanderMSchmoldt/rfid-pcb-tag-uhf-with-magicstrap-all-33-2013>

metr. Toto pásmo je využíváno zejména ve spojení s RO čipy (read-only). Technologie je nejvíce využívána například v knihovních systémech, docházkových (přístupových) systémech či identifikačních kartách.

3. **UHF (Ultra High Frequency)** - Pásmo umožňující přenos RFID informací až na vzdálenost několika metrů. V současné době nejrozšířenější pásmo. Nejvhodnější v použití s inteligentními obaly, logistice, aj. Toto pásmo může mít ve světě různé rozsahy frekvencí.
4. **MW (Microwave)** – Rozsah frekvencí pracující v blízkosti Wi-Fi sítí. Velká čtecí vzdálenost a vysoká přenosová rychlost, ovšem silně ovlivňována vnějšími vlivy. Frekvence používající aktivní tagy, jež dokážou prodloužit čtecí vzdálenost až na několik desítek metrů. Hojně využívána například pro identifikaci vozidel.

4.5.3 RFID tag

RFID systém využívá tzv. tag, (štítek) pro identifikaci objektů. Jeho základní funkcí je uchování informací uložených do vnitřní paměti a poskytnutí těchto informací RFID systému. Každý tag je složen z mikročipu a antény. V současnosti může být velikost čipu i menší než 1mm. Tvar každého tagu závisí především na jeho použití. Tagy pro identifikační karty jsou zapouzdřeny v plastovém obalu velikosti kreditní karty, tagy pro značení domácích zvířat jsou uloženy do skleněné trubičky, která je vhodná k subdermální aplikaci. RFID tagy využívané pro značení obalů a zásilek jsou vloženy v papírovém obalu a nejčastěji aplikovány pomocí samolepící pásky. Speciálním provedením tagů pak mohou být takové, které mají specifické potřeby. Například odolné proti extrémně vysokým či nízkým teplotám. Tagy lze dělit dle výrobní technologie, druhu paměti, zdroje energie či frekvenčního pásma, ve kterém pracují. (Sommerová, 2009)



Obrázek 5: Nejrozšířenější RFID tag¹⁷

¹⁷ http://www.siongboon.com/projects/2012-03-03_rfid/index.html

4.5.4 RFID čtečka

Čtecí zařízení RFID je neméně důležitá součást RFID systému. Působí jako most zprostředkovávající přenos informací mezi RFID tagem a řídicím počítačem. Mezi hlavní úkoly čtecího zařízení patří dodávka energie pro pasivní tagy, čtení či zápis údajů do tagů a přenos dat do a z řídicího počítače. Složitější RFID čtečky mohou být rozšířeny o nějaké další funkce, jako třeba ověřování tagů, aby nedocházelo k podvodům, paděláním či neoprávněného přístupu a zápisu aj. V současné době je na trhu nepřeborné množství čtecích (zapisovacích) zařízení. Jsou konstruovány, ať již jako jeden přístroj, tak i se všemi částmi oddělenými. RFID čtečky jsou v podstatě malé systémy skládající se ze tří základních částí.

1. **Anténa** – Může obsahovat jednu či více antén, které mohou být integrované či externí.
2. **Rádiové rozhraní** – Součást zodpovídající za modulaci, demodulaci, přenos a příjem rádiových vln (signálu). Čtecí zařízení mají mnohdy oddělené rozhraní pro příjem a vysílání.
3. **Řídicí jednotka** – Základní součást čtecího zařízení, tzv. mozek čtečky. Obsahuje mikroprocesor, který má za úkol zpracovávat data přicházející z antény, jsou k němu připojeny obvody, díky nimž procesor komunikuje jak s ostatními součástmi čtecího zařízení, tak s PC či jiným koncovým zařízením.

RFID čtečky lze rozdělit na:

- **Stacionární přístroje** – Většinou větších rozměrů, nepřenosné a pevně vestavěné v určitém bodu. Mají zpravidla externí anténu či možnost připojení dalších antén, aby se zajistilo lepšího pokrytí většího prostoru čtecím signálem.
- **Mobilní přístroje** – U těchto čteček jsou zpravidla všechny komponenty integrovány ve společném plastovém pouzdře. Mohou být použity i bezdrátově. Jsou přenosné a malých rozměrů do jedné ruky. (Sommerová, 2009)



Obrázek 6: Mobilní RFID čtecí zařízení¹⁸



Obrázek 7: Stacionární RFID čtecí zařízení¹⁹

¹⁸ http://www.gaorfidassettracking.com/RFID_Asset_Tracking_Products

¹⁹ <http://www.intechopen.com/books/designing-and-deploying-rfid-applications/rfid-application-in-info-documentary-systems>

4.5.5 Standardy RFID

Na standardizaci RFID systémů se poukazovalo od samého začátku vývoje RFID. Protože v dnešní době jsou RFID systémy velice komplexní a této technologii se věnuje mnoho firem po celém světě, je naprosto klíčové, aby jednotlivé výrobky byly navzájem kompatibilní. Naštěstí všechny oficiální normy a standardy byly definovány včas a výrobci je dodržují. To je právě velký bonus pro každého spotřebitele, který pracuje s RFID. Může tedy jakkoliv kombinovat výrobky různých výrobců bez obav, že by nebyly kompatibilní. Jednotlivé normy, standardy a pravidla určují technické parametry RFID, rozsah a způsob uložení informací v tagu a jeho komunikaci se čtecím zařízením. Vymezují tedy frekvence přenosu, fyzikální vlastnosti, přenos signálu či přenosový protokol, který je právě tou nejdůležitější součástí zaručení kompatibility výrobků od dílčích firem. Způsob uložení informací je klíčový, aby jakýkoliv systém informacím obsaženým v tagu rozuměl, dokázal je dekodovat a věděl, kde jakou informaci najít. Komunikace, tedy způsob jakým bude systém informace z tagu získávat a jak bude informace zařízení poskytovat.²⁰ Seznam platných standardů pro technologii RFID je uveden v tabulce číslo 4.

²⁰ itlib.cvtisr.sk/archiv/2013/2/standardy-a-pravidla-pro-technologie-rfid.html?page_id=2461

Název	Účel
ISO 7816	Standard pro kontaktní čipové karty.
ISO 7816-1	Standard popisuje elektrické a mechanické vlastnosti karet.
ISO 7816-2	Standard popisuje velikost, pořadí, umístění a funkčnost kontaktních oblastí karty.
ISO 14443	Standard pro bezkontaktní karty pracující na frekvenci 13,56 MHz se čtecím rozsahem do 15 cm.
ISO 15693	Standard pro bezkontaktní karty pracující na frekvenci 13,56 MHz se čtecím rozsahem od 1 m do 1,5 m.
ISO 18000	Standard pro použití RFID v letectví.
ISO 18000-1	Standard popisuje obecné parametry RFID.
ISO 18000-2	Standard popisuje parametry pro rozhraní < 135 kHz.
ISO 18000-3	Standard popisuje parametry pro rozhraní 13,56 MHz.
ISO 18000-4	Standard popisuje parametry pro rozhraní 2,54 GHz.
ISO 18000-5	Standard popisuje parametry pro rozhraní 5,8 GHz.
ISO 18000-6	Standard popisuje parametry pro rozhraní 860 až 930 MHz.
ISO 18000-7	Standard popisuje parametry pro rozhraní 433 MHz (ve vývoji).
ISO 11784	Standard pro RFID identifikaci zvířat. Popisuje strukturu kódu v tagu.
ISO 11785	Standard pro RFID identifikaci zvířat. Popisuje přenosový protokol.

Tabulka 4: Platné RFID standardy (Základy RFID technologií, Sommerová, 2009)

4.5.6 Využití RFID v inteligentních obalech

V současné době zažívá RFID s UHF (Ultra High Frequency) pásmem rozmach v oblasti inteligentních obalů. Obaly používané v nejrůznějších odvětvích jako je logistika či automatizace logistických procesů, ale i jiné nejrůznější operace manipulující s výrobky a obaly bývají zaopatřeny tak, aby veškeré provedené operace s nimi byly zaznamenávány a urychlovány. Tato opatření mají mnohem větší množství potenciálních benefitů spojených se zrychlováním procesů, příjmů a výdejů, ale také minimalizují či částečně eliminují faktor lidské chyby. Pokud je v současnosti nutné, například u pokladen v supermarketech, odbavovat jednu položku po druhé, RFID přináší několikanásobné zrychlení této operace. RFID je bezdrátová technologie, jež v jednom okamžiku dokáže detekovat i tisíc položek. Mít všechny položky tedy v košíku, stačilo by projet čtecím rámem a všechny položky by se načetly. Není totiž třeba přímá viditelnost RFID tagů oproti čárovým kódům.²¹ Technologických funkcí k potenciálnímu využití má RFID samozřejmě mnohem více. Další z nich je dnes již hojně využívaná EAS, elektronická ochrana proti odcizení, či Real-Time Location System, sloužící ke sledování zboží v reálném čase. V neposlední řadě stojí za zmínku Portable Data Capture Systems, vyznačující se použitím přenosných čtecích zařízení, sloužící k on-line přenosu dat. (Sommerová, 2009)

Pro lokalizace objektu označeného RFID tagem existuje více metod a systémů. Např. ToA (Time of Arrival), metoda využívající závislosti na čase potřebném k překonání vzdálenosti přijímač – vysílač. Nevýhodou této metody je nutnost synchronizace času na přijímači a vysílači, což má vliv na přesnost určování polohy. Tuto nevýhodu eliminuje systém TDoA (Time Difference of Arrival), metoda využívaná v GPS, vychází z rozdílů mezi sousedními vysílači. Další metodou je RSSI (Received Signal Strength Indication), metoda vhodná k použití uvnitř budov. Využívá síly signálu v závislosti na vzdálenosti od vysílače. (Sommerová, 2009)

²¹ <http://www.rfid-epc.cz/clanky/prakticka-ukazka-fungovani-epc-rfid-s547219728>

4.5.6.1 Electronic Article Surveillance (EAS)

System, sloužící k elektronické ochraně zboží. Často využíván právě v různých obchodech a nákupních centrech. System využívá primitivní RFID tagy, používající pouze dva stavy 0/1 (vypnuto/zapnuto). Produkty jsou tímto tagem označeny a u vchodů a východů do zabezpečené oblasti jsou umístěny detekční rámy, které začnou signalizovat neoprávněné odebrání položky. Tedy detekují, zdali tag je ve stavu 1, pokud ano, spustí se signalizace. EAS systémy se skládají právě z RFID tagu, detekční brány a deaktivátorů, jež jsou často instalovány u pokladen. Jinými slovy, neprojde-li zboží přes pokladu, tag není deaktivován a při setkání s detekční bránou začne brána signalizovat neoprávněné odcizení. Tyto systémy pracují na frekvenci 1,9 MHz či 8,2 MHz a své využití nacházejí v široké škále obalů a produktů v obchodech, knihovnách atd. (Herzer, 2003)



Obrázek 8: RFID tagy používané v EAS systémech²²

²² http://www.germes-online.com/catalog/54/1130/page7/label_and_tag.html

4.5.6.2 Portable Data Capture (PDC)

Systemy, používající přenosná čtecí zařízení umožňující přenos dat mezi PDC systémy a firemními systémy. Offline terminály slouží pro ukládání informací do vlastní paměti a poté se přenášejí hromadně z či do firemního systému přes různá rozhraní. Nejčastějšími aplikacemi, které používají offline PDC systém, jsou například odečítání plynů, elektroměrů či vodoměrů, sledování zásilek v logistických společnostech aj. PDC existuje také v online variantě, kde mobilní terminál komunikuje s firemním systémem v reálném čase. Uživatel má tedy na terminálu k dispozici aktuální informace z firemního systému a naopak. Nejčastějším použitím tohoto online systému je sledování výrobků ve výrobním procesu. (Sommerová, 2009)



Obrázek 9: Přenosná zařízení k využití pro PDC²³

²³ <http://malaysia.satoworldwide.com/products/scanners-hand-held-terminals.aspx>

4.5.6.3 Real-time Location System (RTLS)

Systémy sloužící ke sledování polohy označených věcí tagem v reálném čase. Využívají malé aktivní RFID tagy. Tato technologie je určena především k použití uvnitř objektů či areálu. Systémy dokáží určit polohu až na několik desítek centimetrů. Využívají kombinaci bezdrátové sítě, nejčastěji standardu Wi-Fi a RFID technologie. RTLS systém se skládá z aktivních RFID tagů, accespointů či jiného zařízení pro lokalizaci tagů, bezdrátové sítě a aplikačního softwaru. Každý RTLS je založen na existenci bezdrátové infrastruktury dostupné právě tam, kde má být tag detekován. Na základě odezvy signálu z alespoň tří accespointů je pak systém schopen vypočítat polohu konkrétního tagu v prostoru. Tato data o poloze a o trasách pohybu tagu v čase jsou zaznamenávána a ukládána aplikacím. Ve světě se používá mnoho RTLS systémů, které lze rozdělit dle používané bezdrátové infrastruktury, Wi-Fi, ZigBee a UWB (Ultra-wideband). (Sommerová, 2009)

4.6 NFC

Near Field Communication (NFC) je technologie, vycházející z RFID a založena na RFID standardech, sloužící pro přenos dat a informací na velmi krátkou vzdálenost (zpravidla do několika cm). NFC používá indukci magnetického pole pro vytvoření komunikačního kanálu mezi zařízeními. NFC není novinkou, není tak rozšířená jako RFID, přesto je velice na vzestupu. Počátky NFC sahají do roku 2002, kdy byla technologie vyvinuta, roku 2004 společnosti Nokia, Sony a Phillips založily neziskovou organizace NFC Forum. Technologie se tak časem rozrůstala a byly vytvořeny standardy pro přenos telefonních kontaktů v mobilních telefonech a internetových záložkách. Časem se technologie NFC dostala i do platebních karet. V dnešní době se NFC využívá jak v některých platebních kartách, tak hlavně v mobilních telefonech ve spojení s NFC tagem, jenž plní podobnou funkci jako RFID tag, či čtečkou. Existuje tedy široká škála potenciálního využití NFC.²⁴ Je více než důležité si uvědomit, že NFC je rozšíření bezkontaktní technologie RFID. Technologie NFC pracuje na frekvenci 13.56 MHz. NFC standard je často

²⁴ <http://www.mobilmania.cz/staci-prilozit-nfc-a-jeho-vyuziti-v-praxi/a-1325034/default.aspx>

implementován v mobilních telefonech. Prvek NFC se skládá z antény, ovladače, integrovaného obvodu a front-endu. V současnosti se hojně využívá pro bezkontaktní platby pomocí mobilního telefonu. (Igoe, Coleman, Jepson, 2014)

4.6.1 RFID versus NFC

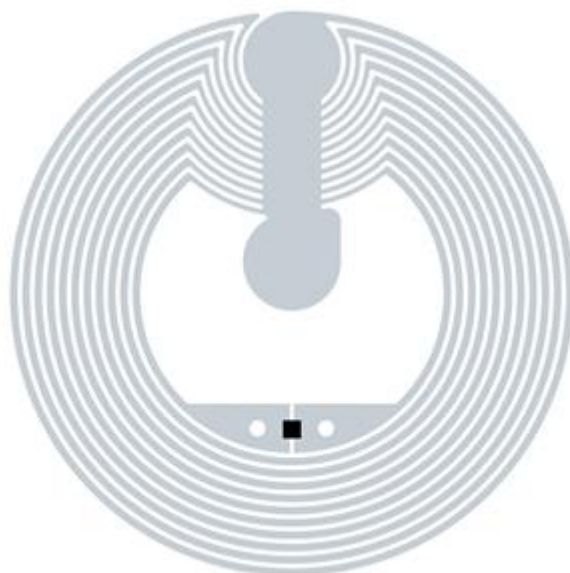
Jak již bylo zmíněno, NFC vychází z RFID standardů a je velice podobné RFID technologii. Největší výhodou NFC oproti RFID je oboustranná komunikace. Zatímco RFID umožňuje pouze jednosměrnou, NFC již umožňuje komunikaci obousměrnou mezi oběma zařízeními. RFID dokáže v závislosti na použitých zařízeních komunikovat na vzdálenosti až několika metrů, ovšem ne v každém případě jsou takové vzdálenosti z důvodu bezpečnosti žádoucí, to je důvod, proč bylo vyvinuto NFC. NFC potřebuje ke spolehlivému přenosu informací vzdálenost několik málo centimetrů, což je ideální vzhledem k bezpečnosti a použití například bezkontaktních platebních karet. Je tedy znatelně menší riziko okopírování platební karty třetí osobou. V současné době jsou technologií NFC vybaveny i některé mobilní telefony, aby mohly být použity jako platební karty či jako čtečky pasivních NFC tagů, které obsahují informace o zboží a jsou umístěny na jejich obalech.²⁵

4.6.2 NFC zařízení, tag a druhy komunikace

NFC systémy, stejně tak jako RFID, využívají různá zařízení. Ta opět rozdělujeme na aktivní a pasivní. Pokud je zařízení napájeno vlastním zdrojem energie a může inicializovat komunikaci, pak se nazývá aktivní. Aktivní zařízení jsou například mobilní telefony a tablety s funkcí NFC či prostá čtečka NFC tagů. Pasivní zařízení jsou ta, jež nemají vlastní zdroj napájení a můžou pouze odpovídat na komunikaci inicializovanou aktivním NFC zařízením. Přitom využívají energie, které vygenerovalo aktivní zařízení. Pasivní zařízení je například NFC tag, jenž slouží k identifikaci objektů a ke kooperaci se čtecím či zapisovacím zařízením. NFC tag je jednoduché zařízení obsahující anténu a paměťové médium, které je napájeno magnetickým polem. V závislosti na typu paměti obsažené v tagu uvažujeme několik

²⁵ <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-rfid-and-nfc/>

typů tagů. Read-only, re-writeable a writeable once. (Introduction to NFC, Nokia Forum) V případě režimu re-writable je možné nejen data obsažená v tagu číst, ale i přepisovat, uživatel tedy může tag libovolně naprogramovat. Výrobci, často tagy libovolně šifrují, typickým příkladem je bezkontaktní platební karta, nebo je chrání proti zápisu (tagy read-only). Ochrana proti zápisu je často využívána například v informačním tagu o firmě či výrobku. V závislosti na typu použitého tagu se odvíjí jeho vlastnosti, ať už rychlost přenosu, dosah, či velikost paměti. NFC forum definuje čtyři typy NFC tagů, které poskytují různé rychlosti, bezpečnost, velikost paměti, kvalitu čipu a možnosti konfigurace.²⁶



Obrázek 10: NFC tag (černý čip + šedá anténa)²⁷

²⁶ <http://www.mobilmania.cz/staci-prilozit-nfc-a-jeho-vyuziti-v-praxi/a-1325034/default.aspx>

²⁷ <http://www.mobilmania.cz/staci-prilozit-nfc-a-jeho-vyuziti-v-praxi/a-1325034/default.aspx>

Existují tři různé režimy komunikace NFC. Každý režim je primárně určen pro jiný druh komunikace. Připojení rozlišujeme především dle použitého NFC čipu, aktivního či pasivního.

1. **Peer-to-peer** – Tento druh přenosu je využíván hlavně při komunikaci mezi dvěma aktivními NFC zařízeními a umožňuje mezi nimi vzájemné odesílání a přijímání dat. Obě strany tedy mohou přijímat i vysílat, ovšem ne v jednom okamžiku. Maximální rychlost přenosu je až 424 kb/s.
2. **Read/write** – Celý proces spočívá ve čtení a zápisu dat z nebo do NFC čipu (tagu). Tento režim je využíván v bezkontaktních platbách. Celý proces přenosu dat je šifrován. Přenosová rychlost dosahuje až 106 kb/s.
3. **Card emulation** – Tento režim umožňuje NFC zařízením, aby se mohly chovat jako pasivní. Dojde-li ke spojení zařízení a čtečky, zařízení se jeví jako pasivní a čtečka jako aktivní. Tento režim je využíván například při používání elektronických jízdenek či vstupenek v mobilním telefonu.²⁸

4.6.3 Využití NFC

V posledních letech narůstá obliba využívání bezdrátových komunikací a technologií. V tomto důsledku se s technologií NFC můžeme setkávat čím dál častěji a na větším počtu míst. Původně bylo NFC využíváno hlavně pro přenos kontaktů a URL adres mezi mobilními zařízeními. Postupem let se tato technologie rozšířila i do bankovního odvětví platebních karet, kde jako první tento způsob plateb začala využívat společnost MasterCard, což umožnilo první bezkontaktní platby. V současné době je tento způsob plateb velice oblíbený a rozšířený. Ovšem nejen v tomto odvětví se NFC využívá. NFC lze využít například i ke konfiguraci Wi-Fi sítě nebo ke čtení jízdních řádů či jiných věcí opatřených NFC tagem.²⁹ Využití NFC v inteligentních obalech je zatím ve fázi beta. Vzhledem k tomu, že NFC má podobné vlastnosti jako RFID, není ještě příliš v obalech nasazováno. Největší

²⁸ <http://www.svetandroida.cz/bezdratove-technologie-nfc-201507>

²⁹ <http://www.svetandroida.cz/bezdratove-technologie-nfc-201507>

výhodou nasazení technologie NFC do obalů, by byla možnost spotřebitele přečíst informace z NFC tagu za použití mobilního telefonu. Předpokladem je, že více spotřebitelů má po ruce mobilní telefon podporující NFC, nežli zařízení ke čtení RFID.

4.7 Další bezdrátové komunikační systémy

V souvislosti s inteligentními obaly je třeba zmínit i další komunikační způsoby. Je-li řeč právě o inteligentních obalech, momentálně nejpoužívanější technologií je zajisté RFID. Ovšem nejen rádiové vlny (RF) mohou být použity jako způsob komunikace mezi čipy, jež jsou součástí obalu, a zařízením na sběr či odesílání dat. Jak již bylo řečeno, RFID je systém komunikující pouze na vzdálenosti několika metrů. V kapitole 4.5.6.3 je uveden systém RTLS založený na RFID, sloužící ke sledování produktu v reálném čase. Například pro tento systém může být nutností možnost komunikace i na delší vzdálenosti. Právě tento nedostatek, mimo jiné, je možno řešit kombinací komunikačních systémů. Pro systém RTLS je mnohdy využívána kombinace RFID s Wi-Fi. Různé kombinace mohou být výhodou v závislosti na potřebách využití různých systémů. V následujících kapitolách je uvedeno několik komunikačních způsobů, které v souvislosti s inteligentními obaly uvažujeme.

4.7.1 IrDA

IrDA je zkratkou pro konsorcium Infrared Data Association, které vytvořilo infračervený komunikační port taktéž zvaný IrDA. IrDA popisuje bezdrátovou komunikaci pomocí infračerveného světla, definuje standardy koncových protokolů a zařízení, pomocí kterých je komunikace řízena. Tato technologie je jedna z prvních bezdrátových sítí, jež byla vytvořena zejména pro bezdrátový přenos dat a komunikaci mezi mobilními zařízeními. IrDA vysílá a přijímá modulované infračervené světlo, kde vysílačem jsou infračervené LED diody a přijímačem fotodiody. Výrobci do zařízení vždy aplikují sadu dvou diod, a to právě přijímací a odesílací. IrDA je nejčastěji využíváno v mobilních telefonech, PDA či noteboocích. Nedostatkem je nutnost přímé viditelnosti přijímacího a odesílacího zařízení, a to navíc do maximální vzdálenosti jednoho metru. V současné době se již IrDA příliš

nepoužívá, bylo nahrazeno technologií Bluetooth, která tento nedostatek eliminuje.³⁰

4.7.2 Bluetooth

Bluetooth je technologie bezdrátové komunikace pro připojení bezdrátových zařízení v bezlicenčním pásmu v okolí 2,4 GHz, definována standardem IEEE 802.15.1. Vznik této technologie sahá až do roku 1994, kdy ve firmě Ericsson vznikla studie o náhradě kabelů mezi mobilními telefony a jejich periferiemi. Bluetooth umožňuje propojit dvě a více elektronických zařízení na vzdálenost až 100 metrů a nepotřebuje k tomu přímou viditelnost odesílacího zařízení s přijímacím zařízením. Tato technologie je v dnešní době obsažena v téměř každém mobilním telefonu, tabletu, notebooku či jiném přenosném zařízení, ale i v jejich periferiích jako handsfree, počítačová myš aj. (Čánský, 2006) Rychlost, zabezpečení a veškeré vlastnosti tohoto komunikačního způsobu se po dlouhé roky vyvíjely. Bluetooth verze 4.0 uvádí rychlost přenosu dat až 24 MB/s. V prosinci roku 2014 společnost Bluetooth Special Interest Group představila Bluetooth verze 4.2. Nová verze standardu má zvýšit zabezpečení komunikace a až 2,5x navýšit přenosovou rychlost oproti předchozí verzi.³¹

4.7.3 Wi-Fi

Wireless Fidelity (Wi-Fi) je označení pro nejrozšířenější bezdrátový způsob komunikace v počítačových sítích založený na standardu 802.11. Na rozdíl od jiných bezdrátových standardů běží technologie v bezlicenčním frekvenčním pásmu, ideální pro budování levné a výkonné počítačové sítě bez nutnosti použití kabelů. Wi-Fi není příliš novým standardem. Jeho historie sahá do roku 1997, kdy mezinárodní institut IEEE specifikoval standard bezdrátové komunikace pod označením IEEE 802.11. (Horský, 2006) Rozeznáváme několik modifikovaných zpětně kompatibilních standardů běžících na frekvenci 2,4 GHz či 5 GHz, které se po

³⁰ <http://www.irda.org/>

³¹ <https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2014/12/03/new-bluetoothspecifications-enable-ip-connectivity-deliver-industry-leading-privacy-increased-speed>

dlouhé roky vyvíjely. Původní standard IEEE 802.11 z roku 1997 mohl pracovat pouze v 2,4 GHz pásmu a dosahoval maximální rychlosti 2 MBit/s. Až do současnosti bylo definováno několik dalších standardů, například 802.11a, 802.11b, 802.11n a další. Vždy se liší zejména maximální přenosovou rychlostí. V roce 2014 byl definován standard 802.11ad, který může dosahovat rychlosti až 7 Gbit/s, což je až 3x více než předchozí verze 802.11ac z roku 2013.³² Původním cílem Wi-Fi sítě bylo zajistit vzájemné bezdrátové propojení mobilních zařízení a jejich připojení k lokální síti LAN (Local Area Network), postupem času se Wi-Fi začala využívat i pro připojení do sítě Internet. Wi-Fi adaptéry jsou dnes téměř ve všech mobilních zařízeních, telefonech, tabletech a noteboocích. (Horský, 2006)

4.7.4 ZigBee

ZigBee, standard bezdrátové sítě označován jako IEEE 802.15.4. pro oblast sítí WPAN (Wireless Personal Area Network). Standard začal být vyvíjen od roku 1999 a vstoupil v platnost v listopadu 2004. Cílem bylo vytvořit takový standard, který bude zastřešovat spolehlivou, bezpečnou a nízkonákladovou bezdrátovou technologii, již by bylo možné využít k monitorování, kontrole a komunikaci mezi zařízeními.³³ Největším konkurentem ZigBee je technologie Bluetooth, podobně je určena pro spojení nízkovýkonných zařízení na krátké vzdálenosti (do 75 m). Ovšem Zigbee má vyšší spolehlivost, může propojit více zařízení v jednom okamžiku na úkor rychlosti oproti Bluetooth. Stejně jako Wi-Fi pracuje v bezlicenčním pásmu, ale na jiné frekvenci, a má znatelně nižší přenosovou rychlost nežli Wi-Fi. Celý koncept ZigBee je navržen s důrazem na nízkonákladový provoz celého komunikačního řetězce. (Beran, 2011)

4.7.5 Ultra-wideband

Ultra-wideband (UWB), bezdrátová komunikační technologie, která bývá použita při nízké úrovni energie pro širokopásmovou komunikaci krátkého dosahu. Využívá

³² <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>

³³ <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee>

velké části rádiového spektra. Je zpravidla používána v nekooperativním radarovém zobrazování. Aktuálně využívána pro sběr dat z cílového senzoru v různých aplikacích. Ultra-wideband je technologie, která přenáší informace rozprostřené v širokém frekvenčním pásmu. Rozdíl mezi rádiovým přenosem a UWB rádiovým přenosem je, že tradiční způsob přenosu dat využívá úrovnovou, frekvenční, nebo fázovou modulaci nosné vlny, zatímco UWB přenáší data vysíláním generovaným v určitý čas a zabírá široké frekvenční pásmo, což umožňuje použít časovou nebo pulzně-poziční modulaci. Výhodou UWB je schopnost určení doby přenosu informace mezi zdrojem a přijímačem. UWB se nejčastěji aplikuje pro použití na krátké vzdálenosti, například v počítačových perifériích. Vysokorychlostní UWB může poskytnout efektivní přenos dat z videokamer a bezdrátový tisk či přenos dat mezi mobilními zařízeními. UWB je často součástí vyhledávacích systémů, se svojí přesností a nízkou spotřebou energie je ideální pro prostředí s citlivými frekvencemi jako například nemocnice.³⁴

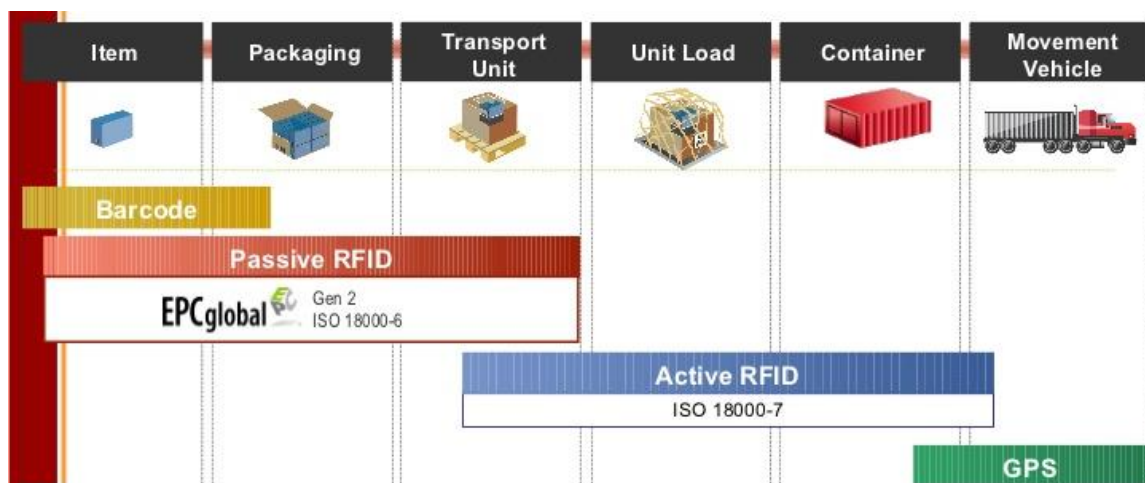
³⁴ <http://www.thetrackit.com/library/UWB%20Defin.pdf>

5 Vlastní praktická část

5.1 Návrh implementace inteligentních obalů v logistice

Inteligentní obaly můžou mít při rozumné implementaci v mnoha oborech velkou budoucnost. Značná poptávka po zboží široké škály po celém světě způsobuje, že nutnost rychlého a efektivního transportu zboží na krátké, ale i velké vzdálenosti stoupá. Je známo, že během transportu ročně firmy ztrácejí miliardy dolarů z různých důvodů. Problémů, kvůli kterým tyto ztráty nastávají, je mnoho a velkým přáním dílčích firem je tyto problémy minimalizovat. Tyto problémy můžou být různého charakteru, selhání technologie či její nedůsledná implementace apod. Ovšem nejčastější pochybení způsobuje člověk. Lidský faktor nikdy nemůže být stoprocentní, stejně jako žádná technologie. Přesto technologie řízená počítačem bude vždy produkovat menší chybovost nežli lidský faktor.

Cílem této kapitoly je nastínit možnou funkční implementace inteligentních obalů v kompletním dodavatelském řetězci od výrobce až po zákazníka. Návrh bude vytvořen za pomoci technologií popsaných v teoretické části. Hlavní nasazenou technologií bude RFID, případně pro větší pohodlí koncového zákazníka i NFC. Čárové kódy v případech, kdy se stále budou hodit více než RFID.



Obrázek 11: Návrh využití inteligentních obalů v logistice³⁵

³⁵ <http://www.slideshare.net/PeterSam67/business-applications-of-radio-frequency-id-rfid-technologies>

5.1.1 Položka (samostatný produkt)

Základní, nejmenší a přesto nejdůležitější součást přepravního řetězce. Vezmeme-li v potaz různé hodnoty převáženého zboží, ne u každého konkrétního produktu má smysl implementovat pokročilejší technologie jako RFID či NFC. Denně jsou na celém světě převáženy produkty různých hodnot, z našeho hlediska levné až nejdražší. Z hlediska nákladů na implementaci pokročilejších technologií by se jistě nevyplatilo umisťovat ani jeden z tagů RFID či NFC na každý z těchto produktů, přesto každý produkt musí být nějakým způsobem označen. O toto označení se právě postará klasický čárový kód, jeho výrobní cena je minimální až nulová, vzhledem k výrobní ceně celkového výrobku.



Obrázek 12: Produkt nižší hodnotové třídy označený čárovým kódem³⁶

Jak již bylo řečeno, ne všechny produkty mají stejně nízkou či podobnou výrobní cenu. Uvažujeme-li zboží střední hodnotové třídy, kromě čárových kódů by na tyto produkty bylo dobré umisťovat i informační pasivní tagy RFID. Například sudy s pivem, v porovnání výrobní ceny sudu s pivem jsou náklady na výrobu pasivního

³⁶ <http://wearemiller.com/work/normans-dairy-yogurt-packaging-design/>

RFID tagu zanedbatelné. Tento princip uchovávání informací má již v mnoha oborech využití, přesto nemá tak masové využití, aby se mohl spolehlivě využívat v dodavatelském řetězci. Pasivní tagy RFID jsou v současnosti hojně využívány v supermarketech a obchodech v systémech EAS, tedy v zabezpečení proti krádeži.



Obrázek 13: Produkt vyšší hodnotové třídy označený RFID tagem³⁷

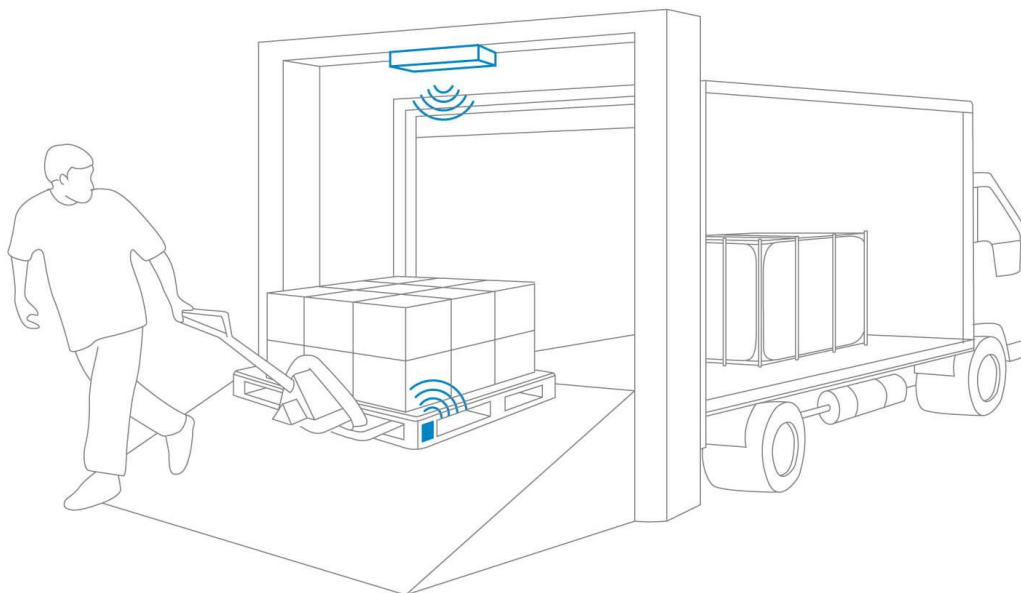
Zboží drahé až nejdražší hodnotové třídy s aktivními RFID tagy. Přestože aktivní RFID tagy mají větší výrobní náklady. Opět by mohly být relativně zanedbatelné v porovnání s cenami těchto produktů a jejich přínos může být obrovský. Ve finální fázi by celkové finanční ztráty způsobené při transportu zboží mohly být nižší, nežli je tomu doposud. Tyto tagy by měly být schopné uchovávat a sdílet veškeré informace nasbírané v průběhu celého procesu přepravy. Sbírané informace závisí na typech čidel obsažených v aktivním tagu. Čidla mohou detekovat, za jakých

³⁷ <http://www.rfidjournal.com/articles/view?11208/2>

teplotních podmínek bylo zboží převáženo vzhledem k časové ose, jaká je jeho momentální poloha, zda bylo či je zboží poškozeno a hlavně, zda se nevychýlilo z dopravního prostředku, který ho přepravuje nebo zda nebylo odcizeno. V případě implementace NFC tagů by tyto informace mohl ze zboží lehce získat okamžitě v supermarketu i koncový zákazník vybavený telefonem s NFC technologií.

5.1.2 Přepravní obal / paleta / kontejner a aktivní RFID

Při přepravě většího či velkého množství produktů relativně nezávisle na jejich hodnotě by mohla být vhodná implementace jednoho aktivního RFID čipu do každé palety či přepravního boxu. Výrobní náklady tagu v poměru k množství produktů budou jistě zanedbatelné. I v této implementaci by takové tagy mohly nabídnout služby podobné jako u konkrétních produktů. Případně by mohly být implementovány tagy sofistikovanější, lepší, odolnější vůči vnějším vlivům a s větším množstvím různých typů čidel. Náklady na implementaci jednoho sofistikovanějšího čipu mohou být vyšší než v ostatních případech, protože celková hodnota všech produktů na paletě může být také zřetelně vyšší.



Obrázek 14: Ukázka implementace aktivního RFID tagu v přepravní paletě³⁸

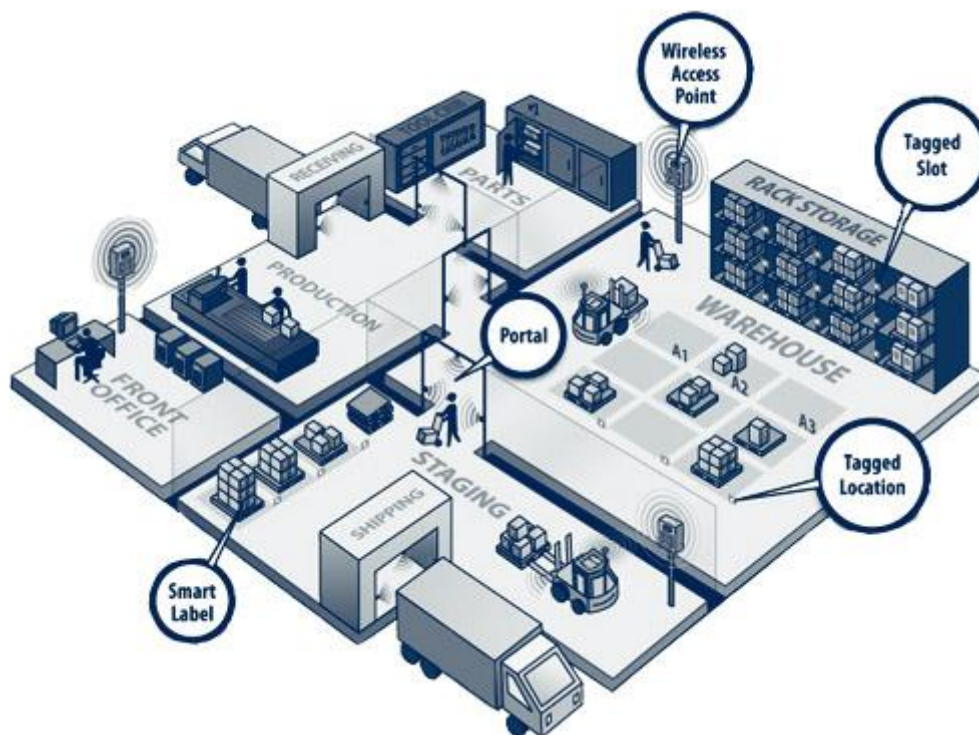
³⁸ <http://litum.com.tr/rfid-solutions/rfid-pallet-tracking.html>

5.1.3 Přepravní prostředek a sklad

V dnešní době, době mobilního internetu předpokládáme, že připojení přepravního prostředku k internetové síti bude jednoduchá záležitost. Za předpokladu dostatečného pokrytí signálem alespoň části trasy dopravního prostředku, může být připojení k internetu realizováno pomocí 3G či LTE mobilního připojení. Toto připojení k síti internetu bude využito pro přístup k datovým serverům, například pro ukládání dat o momentální pozici zásilky v reálném čase.

Nezbytnou součástí nejen přepravních prostředků, ale i skladů, bude implementace RFID čtecích bran. Vždy tedy okamžitě bude jasné, co se na dané paletě, která projede čtecí branou, nachází. Případně bude možné použít mobilní čtecí brány tzv. PDC (viz kapitola 4.5.6.2). Tyto čtecí brány budou odesílat data na server pomocí Wi-Fi či mobilního internetového připojení.

Obrázek 15 nastiňuje schéma skladu, automatizovaného pomocí technologie RFID. RFID čtecí brány jsou umístěny u přijímacího a vydávajícího boxu (RECEIVING a SHIPPING) a mezi jednotlivými odděleními, jimiž produkt prochází. Jednotlivé brány jsou propojeny komunikačními technologiemi ZigBee s Wireless Access Point, která odesílá data na server. V tomto schématu jsou navíc označeny RFID tagem i jednotlivá umístění. Vždy je tedy známo, kde se označený produkt momentálně nachází.



Obrázek 15: Schéma skladu s RFID a ZigBee technologií³⁹

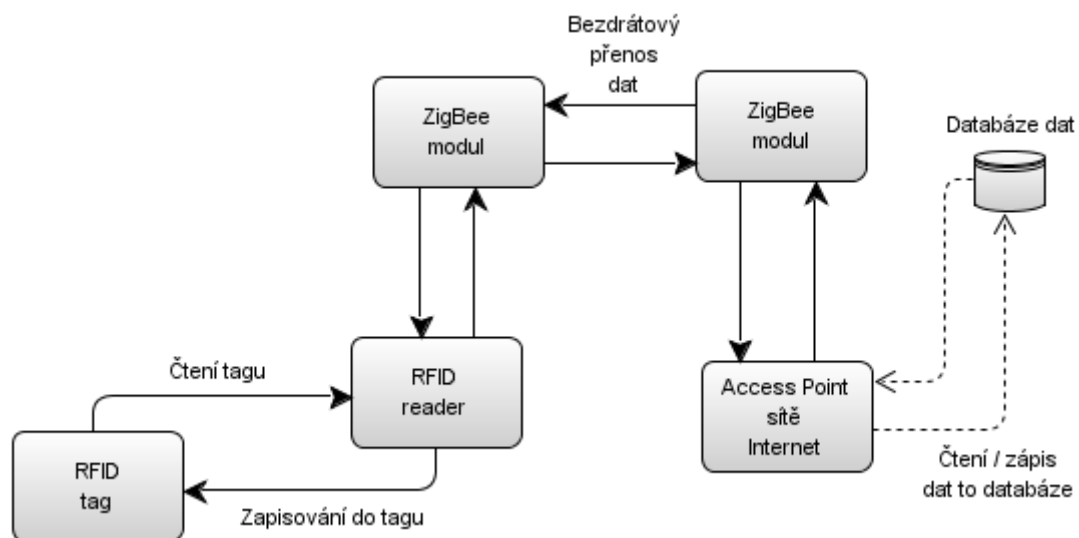
5.1.4 Způsoby komunikace systému

Netřeba příliš detailně popisovat komunikaci mezi RFID čtecím zařízením a tagem. Komunikují pomocí radiových vln na různých frekvencích za využití řady standardů. (viz kapitoly 4.5.2 a 4.5.5)

Zatímco komunikace čtecích zařízení s Access Pointem je již více sofistikovaná. Komunikace může být postavena na bezdrátové technologii ZigBee běžící na standardu IEEE 802.15.4. Tento standard pochází z roku 2004. (Viz kapitola 4.7.4) Celý koncept je navržen jako nízkonákladová bezdrátová komunikační technologie určená pro přenos nevelkého objemu dat. Mezi největší výhody této technologie patří bezesporu její spolehlivost a rychlost. Tato technologie je konkurenční pro

³⁹ <https://outoftheboxretail.wordpress.com/2011/06/14/a-technology-that-can-do-wonders-in-supply-chain/>

Bluetooth, ovšem dokáže fungovat na několikanásobně delší vzdálenosti. Právě z těchto důvodů je to jedna z nejvhodnějších technologií pro tyto účely.



Obrázek 16: Schéma komunikace systému⁴⁰

⁴⁰ vlastní tvorba

5.2 Návrh konstrukce nezávislého inteligentního obalu

5.2.1 Úvod

Základní myšlenkou konstrukce tohoto inteligentního obalu je zkonstruovat takovou jednotku, která bude obsahovat všemožné senzory, aby mohla zaznamenávat různé vlivy během přepravy produktů. Tato jednotka poté bude připevněna k zásilce, do palety či přímo do obalu.⁴¹ Z důvodu redukce nákladů předpokládáme konstrukci dvou typů jednotek. Primární jednotka bude navíc oproti podpůrným vybavená moduly GPS pro trasování zásilky a 3G pro mobilní připojení k internetu, aby mohla v reálném čase odesílat informace o zásilce do databáze v síti internet. Navíc bude vybavena NFC technologií, která umožní vždy v prvopočátku přepravy nahrát informace o odesílané zásilce. Detailní informace o zásilce, jako typ a množství odesílaného zboží, informace o příjemci a odesílateli. Z finančních důvodů by primární jednotka mohla být v expedici či zásilce pouze jedna. Nahrání informací by proběhlo tedy před transportem zaměstnancem expedice pomocí PDA či tabletu s technologií NFC právě do primární jednotky. Primární jednotka by jednotlivé informace již rozeslala mezi podpůrné jednotky pomocí bezdrátové komunikace ZigBee. Každá jednotka tedy bude vybavena ZigBee modulem. Tato technologie byla zvolena, protože ZigBee je nízkonákladová bezdrátová technologie s větší vzdáleností dosahu, spolehlivostí a nižší energetickou náročností nežli Bluetooth. Díky této technologii budou jednotky spolu navzájem komunikovat a podpůrné jednotky tak mohou využít připojení k internetu primární jednotky k odeslání jejich dat do sítě internet. Dalším přínosem vzájemné komunikace jednotek může být také ochrana proti odcizení. Pokud se vzdálí jednotka od ostatních na větší vzdálenost nežli na nastavenou maximální možnou, vyšle primární jednotka pomocí internetového připojení okamžité hlášení o potenciální hrozbě odcizení zásilky.

⁴¹ <http://domitea.blogspot.cz/2016/04/inteligentni-obaly-autori-martin.html>

Takováto konstrukce určená pro obaly bude relativně finančně nákladná. Je ovšem všeobecně známo, že se ročně díky různým vlivům při transportu poškodí či ztratí velké množství produktů.⁴² Tyto ztráty bude možné redukovat právě při nasazení inteligentních obalů. Přestože v současnosti je trend snižování nákladů v oblasti obalových technologií, při použití v zásilkách střední až vysoké hodnotové třídy poměr přínos a cena bude více než dobrý.

5.2.2 Konstrukce

Každá z jednotek tedy bude obsahovat několik čidel pro detailní sledování stavu zásilky a okolních vlivů. Konstruovány budou dva typy jednotek. Primární a podpůrné. Primární bude obohacena o moduly 3G/GPS a NFC. Veškeré základní konstrukční prvky jsou uvedeny níže v tabulce 5.

⁴² <http://www.craneww.com/wp-content/uploads/Industry-Insight-03-31.pdf>

Díl	Obrázek	Typ	Cena (\$)
3G modul s GPS		Adafruit FONA 3G	79.95
NFC modul		Adafruit PN532 v1.6	39.95
Řídící deska		Arduino Due	39.95
ZigBee modul		Adafruit XB24-Z7WIT-004	22.95
Tlakoměr, teploměr a vlhkoměr		Adafruit GA1A12S202	19.95
Gyroskop, akcelerometr, kompas		Adafruit L3GD20H + LSM303	19.95
Světelný senzor		Adafruit GA1A12S202	3.95
Napájecí akumulátor pro sek. jednotku		Lithium Ion Battery 3.7V 2000mAh	12.50
Napájecí akumulátor pro prim. jednotku		Lithium Ion Battery Pack 3.7V 4400mAh	19.95

Tabulka 5: Souhrn všech použitých dílů⁴³

⁴³ Všechny produkty, obrázky i ceny převzaty z internetového obchodu adafruit.com.

5.2.3 Využití jednotlivých součástí v jednotce

- **3G modul**

Evropská verze 3G modulu podporuje GSM síť a obsahuje zabudovaný GPS modul. Umožní připojení k internetu a odesílání dat do databáze v reálném čase. Případně bude moci využít služeb SMS a odesílat kódované SMS s momentálními hodnotami, které senzory uvnitř jednotek naměří. Zabudovaný modul GPS umožní okamžitou lokalizaci zásilky.

- **NFC modul**

Modul umožňující NFC komunikaci. Modul určený pouze pro primární jednotky. Slouží k nahrání informací o zásilce do dílčích jednotek pomocí tabletu, smartphonu či jiného zařízení podporující NFC.

- **ZigBee modul**

Modul pro bezdrátovou komunikaci pomocí technologie ZigBee. Vhodné právě pro komunikaci v sítích typu mesh. Slouží pro vzájemnou komunikaci všech jednotek v expedici. Modul je dodáván s anténou, která poskytne komunikaci až na vzdálenost 40 m, která je dostačující pro toto řešení.

- **Řídící deska**

Základní deska každé jednotky. Slouží k propojení a komunikaci mezi jednotlivými komponentami celé jednotky.

- **Tlakoměr, teploměr, vlhkoměr**

Modul umožňující sledovat vlivy, kterým byla zásilka vystavena. Sensor podmínek okolního prostředí je velice přesný a je vhodný například při transportu elektronických produktů a zjištění zdali nebyly produkty vystaveny nadměrné vlhkosti.

- **Gyroskop, akcelerometr, kompas**

Modul kombinující tříosý gyroskop, tříosý kompas a tříosý akcelerometr. Zaznamenává veškerý pohyb zásilky, tedy jak se zásilkou bylo manipulováno, případně jak šetrně byla převážena. Při zaznamenání většího či silnějšího pohybu může signalizovat potenciální poškození zásilky.

- **Světelný senzor**

Světelný senzor využívající fotobuňku. Citlivý senzor pro detekci světelných podmínek. Vhodný pro využití při převážení produktů, jež nemohou být vystaveny určitým světelným podmínkám.

- **Napájecí akumulátor**

Akumulátor poskytuje napájení všem jednotkám. Vybrány byly akumulátory s odlišnou kapacitou pro každou jednotku. Primární bude mít vyšší spotřebu energie, byla vybrána tedy baterie s vyšší kapacitou. Akumulátory jsou dobíjecí, předpokládá se tedy jejich delší životnost.

5.2.4 Náklady

V celkových nákladech jsou započítány pouze hardwarové prvky jednotek. Zařízení s NFC konektivitou pro expedici ani programátorské práce nejsou započítány.

Primární jednotka

Tato jednotka by měla obsahovat všechny jednotlivé součásti uvedené v tabulce 6.

Díl	Cena (\$)
3G/GPS modul	79.95
NFC modul	39.95
Řídící deska	39.95
ZigBee modul	22.95
Tlakoměr, teploměr a vlhkoměr	19.95
Gyroskop, akcelerometr a kompas	19.95
Světelný senzor	3.95
Napájecí akumulátor	19.95
	246.6

Tabulka 6: Propočet nákladů primární jednotky

Podpůrná jednotka

Jednotka nebude obsahovat moduly NFC a 3G/GPS. Bude obsahovat součásti uvedené v tabulce 7.

Díl	Cena (\$)
Řídící deska	39.95
ZigBee modul	22.95
Tlakoměr, teploměr a vlhkoměr	19.95
Gyroskop, akcelerometr a kompas	19.95
Světelný senzor	3.95
Napájecí akumulátor	12.50
	119.25

Tabulka 7: Propočet nákladů podpůrné jednotky

5.2.5 Závěr

Tento systém pro inteligentní obaly bude samostatně fungujícím celkem bez nutnosti implementace dalších čtecích bran a podobných zařízení, jako tomu u RFID je. Pro různé zásilky by také stačila implementace pouze primární jednotky. Přestože pořizovací náklady nejsou nejnižší, tato technologie může mít budoucnost a může s sebou přinést velké benefity. Náklady na primární jednotku jsou 246.55 amerických dolarů, tedy zhruba 6 000 Kč, ovšem tyto náklady budou zanedbatelné, bude-li hodnota přepravovaného zboží velmi vysoká. Dalším benefitem těchto jednotek je jejich opětovná použitelnost. Právě z tohoto důvodu byl zvolen i dobíjecí akumulátor. V celkovém důsledku tedy náklady budou prvotně vysoké, ovšem fixní, a s ohledem na čas již nebude třeba do těchto obalů příliš investovat.

6 Závěry a doporučení

Práce navazuje na dlouhodobý výzkum Fakulty informatiky a managementu Univerzity Hradec Králové v oblasti ambientní inteligence. V práci se podařilo zmapovat veškeré inteligentní obalové technologie a jejich principy. Podařilo se stručně popsat i technologie aktivního balení, využívané především v potravinářství. Část práce byla věnována identifikační technologii čárových kódů. Hlavní část se pak zabývá pokročilejšími technologiemi v oblasti inteligentního balení, a to zejména RFID či NFC. V závěru teoretické části byly zmíněny i komunikační způsoby uvažované v tomto odvětví. V praktické části je pak popsán možný návrh implementace RFID technologií v logistice a dodavatelském řetězci. Ovšem stěžejní část je věnována návrhu konstrukce inteligentních jednotek sledující různé faktory, které ovlivňují stav zásilky při přepravě.

Tyto jednotky by měly být schopny monitorovat a zaznamenávat veškeré dění při přepravě hodnotných zásilek. Společnost BSI (British Standard Institution) uvádí, že celosvětové ztráty při přepravě způsobené krádeží, nedůslednou dopravou a jinou katastrofou či pochybením člověka dosahují až 55 miliard amerických dolarů ročně!⁴⁴ Tyto obrovské ztráty by mohly být značně snižovány při použití těchto navržených jednotek. Pořizovací cena primární jednotky vychází kolem 6 000 Kč, bez programátorských prací. Náklady na sekundární jednotku se pohybují kolem 3 000 Kč. Zprvopočátku se tyto náklady zdají být vysoké, ovšem po pořízení těchto jednotek a po naprogramování potřebných implementací budou náklady téměř fixní, předpokládaná životnost jednotky je až několik let. Z finančních důvodů bohužel tyto jednotky nebyly fyzicky zrealizovány. Realizace a praktické vyzkoušení funkčnosti tohoto projektu by mohlo být velice vhodné, přínosné a realizovatelné například v jednom z dalších projektů Fakulty informatiky a managementu.

⁴⁴ <http://www.craneww.com/wp-content/uploads/Industry-Insight-03-31.pdf>

7 Seznam použitých zkratek

GPS	Global Positioning System
QR	Quick Response
RFID	Radio-Frequency Identification
IrDA	Infrared Data Association
Wi-Fi	Wireless Fidelity
NFC	Near Field Communication
CCD	Charge-Coupled Device
LED	Light-Emitting Diode
SW	Software
ASK	Amplitude Shifting Key
RF	Radio Frequency
LF	Low Frequency
HF	High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
MW	Microwave
RO	Read-Only (paměťový čip)
PC	Personal Computer
ISO	The International Organization for Standardization
EAS	Electronic Article Surveillance

RTLS	Real-Time Location System
PDC	Portable Data Capture
ToA	Time of Arrival
TDoA	Time Difference of Arrival
RSSI	Received Signal Strength Indication
UWB	Ultra-wideband
LAN	Local Area Network
PDA	Personal Digital Assistant
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
WiMax	Worldwide Interoperability of Microwave Access
WPAN	Wireless Personal Area Network
USB	Universal Serial Bus
BSI	British Standard Institution

8 Seznam použité literatury

BERAN, Ladislav. Bakalářská práce: Bezdrátové sítě ZigBee. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2011. [Citace: 20. 3. 2016]
Dostupné také z:

http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/40444/BeranL_BezdratoveSite_MH_2011.pdf

BORRIELLO, Gaetano. "RFID: Tagging the world." Communications of the ACM 48.9 (2005): 34-37. [Citace: 2. 3. 2016] Dostupné také z:

<http://dcslab.snu.ac.kr/courses/dip2014f/Paper/Borriello05.pdf>

CALVER, Giles. What is packaging design?: essential design handbooks. Mies: RotoVision, 2004. ISBN 2-88046-618-0. [Citace: 10. 1. 2016]

ČÁNSKÝ, Jan. Mobilní komunikace: Bluetooth. České Vysoké Učení Technické - Fakulta Elektrotechnická, 2006. [Citace: 20. 3. 2016] Dostupné také z:
[http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/Bluetooth_Cansky\].pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/Bluetooth_Cansky].pdf)

HERZER, Giselher. "Magnetic materials for electronic article surveillance." Journal of magnetism and magnetic materials 254 (2003): 598-602. [Citace: 20. 3. 2016]

HORSKÝ, Radek. Bezdrátové sítě Wi-Fi v rekordním čase. 1. vyd. Praha: Grada, 2006. V rekordním čase. ISBN 80-247-1790-5. [Citace: 10. 1. 2016]

HUFF, Karleig, Active and intelligent packaging: innovations for the future. Department of Food Science & Technology. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va., 2008. [Citace: 10. 1. 2016] Dostupné také z:
<http://www.iopp.org/files/public/VirginiaTechKarleighHuff.pdf>.

HVÍZDALOVÁ, Iva. Indikátory čerstvosti potravin: Systémy se schopností podávat informace o kvalitě výrobku, jeho bezpečnosti, historii a původu. [online]. Technická Univerzita Liberec, Fakulta Textilní, 2006. [Citace: 10. 1. 2016]
Dostupné také z: <http://www.agronavigator.cz/service.asp?act=print&val=46470>

IGOE, Tom, COLEMAN, Don, JEPSON, Brian: Beginning NFC, Near Field Communication with Arduino, Android, and PhoneGap. O'Rilley Media, 2014. ISBN 978-1-449-37206-4. [Citace: 20. 3. 2016] Dostupné také z:
<ftp://facfiet.unicauca.edu.co/TalleresIoT/Libros/Beginning%20NFC%20-%20Near%20Field%20Communication%20with%20Arduino,%20Android,%20and%20PhoneGap%202014.pdf>

KRPÁLKOVÁ, Martina. Aktivní obaly: Diplomová Práce. Technická Univerzita Liberec, Fakulta Textilní, 2010. [Citace: 11. 1. 2016] Dostupné také z:
<http://www.kht.tul.cz/items/A-DP/dp2010/Krp%C3%A1lkov%C3%A1-Aktivn%C3%AD%20obaly.pdf>

NOKIA CORPORATION. Introduction to NFC. Nokia forum, 2011. [Citace: 8. 2. 2016] Dostupné také z:
https://www.adafruit.com/datasheets/Introduction_to_NFC_v1_0_en.pdf

OTLES, Semih. and YALCIN, Buket, 2008. Intelligent food packaging. LogForum 4, 4, 3. [Citace: 16. 2. 2016] Dostupné také z:
http://www.logforum.net/pdf/4_4_3_2008.pdf

SOMMEROVÁ, Martina, 2009. Základy RFID technologií. RFID VŠB Ostrava. [Citace: 16. 2. 2016] Dostupné také z:
http://rfid.vsb.cz/export/sites/rfid/cs/informace/RFID_pro_Logistickou_akademii.pdf

SOSNOVCOVÁ, J., Aktivní a inteligentní obalové systémy pro balení potravin. Státní zdravotní ústav, Brno, 2008. [Citace: 30. 3. 2016] Dostupné také z:
http://czvp.szu.cz/vedvybor/dokumenty/informace/info_2007_22_deklas_FCM.pdf

SYNKOVÁ, Martina. Nanotechnologie v potravinářství: Diplomová Práce [online]. Masarykova Univerzita, Lékařská Fakulta, Ústav Preventivního Lékařství, 2013. [Citace: 20. 3. 2016] Dostupné také z:
http://is.muni.cz/th/254656/lf_m/Synkova._M_-_Diplomova_prace.pdf

YAM, Kit L. The Wiley encyclopedia of packaging technology. 3rd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, c2009. ISBN 0470087048. [Citace: 30. 3. 2016] Dostupné také z: <http://pkt.jinakarn.com/ept.pdf>

9 Seznam dalších použitých zdrojů

Definice slova inteligence, [Citace: 10. 1. 2016]

<http://www.intelligence.cz/>

Portfolio společnosti Tempra Technology, [Citace: 10. 2. 2016]

<http://www.tempratech.com/portfolio/>

Historie čárových kódů ve světě, [Citace: 16. 2. 2016]

<http://www.gs1cz.org/o-nas/o-gs1-czech-republic/historie-kodu-ve-svete/>

Informace o čárových kódech, [Citace: 16. 2. 2016]

<http://www.kodys.cz/>

Přehled 2D čárových kódů, [Citace: 16. 2. 2016]

<http://www.proxima.net/Digitalni-tisk/2D-carove-kody>

Informace o QR čárových kódech, [Citace: 16. 2. 2016]

<http://www.qrcode.com/en/>

Metody snímání čárových kódů, [Citace: 16. 2. 2016]

http://carovy-kod.info/carovy-kod/metody-snimani-caroveho-kodu_217.html

Frekvence RFID, standardy a normy, [Citace: 2. 3. 2016]

<http://www.codeware.cz/rfid-standardy-frekvence-vlastnosti.html>

Informace o RFID tagu, [Citace: 3.3. 2016]

http://www.siongboon.com/projects/2012-03-03_rfid/index.html

Základní RFID pásma a frekvence, [Citace: 25. 3. 2016]

<http://www.slideshare.net/AlexanderMSchmoldt/rfid-pcb-tag-uhf-with-magicstrap-all-33-2013>

Mobilní RFID čtecí zařízení, [Citace: 25. 3. 2016]

http://www.gaorfidassettracking.com/RFID_Asset_Tracking_Products

Design implementace RFID systémů, [Citace: 25. 3. 2016]

<http://www.intechopen.com/books/designing-and-deploying-rfid-applications/rfid-application-in-info-documentary-systems>

Standardy a pravidla pro technologii RFID, [Citace: 25. 3. 2016]

itlib.cvtisr.sk/archiv/2013/2/standardy-a-pravidla-pro-technologiei-rfid.html?page_id=2461

Praktická ukázka fungování RPC/FRID, [Citace: 25. 3. 2016]

<http://www.rfid-epc.cz/clanky/prakticka-ukazka-fungovani-epc-rfid-s547219728>

Electronic Article Surveillance tagy, [Citace: 25. 3. 2016]

http://www.germes-online.com/catalog/54/1130/page7/label_and_tag.html

Přenosná zařízení pro PDC systémy, [Citace: 25. 3. 2016]
<http://malaysia.satoworldwide.com/products/scanners-hand-held-terminals.aspx>

NFC a jeho využití v praxi, [Citace: 28. 3. 2016]
<http://www.mobilmania.cz/staci-prilozit-nfc-a-jeho-vyuziti-v-praxi/a-1325034/default.aspx>

Rozdíly mezi RFID a NFC, [Citace: 28. 3. 2016]
<http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-rfid-and-nfc/>

Bezdrátová technologie NFC, [Citace: 28. 3. 2016]
<http://www.svetandroida.cz/bezdratove-technologie-nfc-201507>

Informace o IrDA, [Citace: 30. 3. 2016]
<http://www.irda.org/>

Informace o Bluetooth verze 4.2, [Citace: 30. 3. 2016]
<https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2014/12/03/new-bluetoothspecifications-enable-ip-connectivity-deliver-industry-leading-privacy-increased-speed>

Informace o standardech IEEE 802.11, [Citace: 30. 3. 2016]
<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>

Co je to ZigBee, [Citace: 30. 3. 2016]
<http://www.zigbee.org/what-is-zigbee>

Definice a specifikace Ultra-wideband, [Citace: 30. 3. 2016]
<http://www.thetrackit.com/library/UWB%20Defin.pdf>

Aplikace RFID v obchodě, [Citace: 6. 4. 2016]
<http://www.slideshare.net/PeterSam67/business-applications-of-radio-frequency-id-rfid-technologies>

Design čárového kódu na jogurtech, [Citace: 6. 4. 2016]
<http://wearemiller.com/work/normans-dairy-yogurt-packaging-design/> [Citace: 6. 4. 2016]

Implementace RFID na pивní sudy, [Citace: 6. 4. 2016]
<http://www.rfidjournal.com/articles/view?11208/2>

Nasazení RFID do přepravních palet, [Citace: 6. 4. 2016]
<http://litum.com.tr/rfid-solutions/rfid-pallet-tracking.html>

RFID technologie v dodavatelském řetězci, [Citace: 6. 4. 2016]
<https://outoftheboxretail.wordpress.com/2011/06/14/a-technology-that-can-do-wonders-in-supply-chain/>

Produkty společnosti Adafruit, [Citace: 10. 4. 2016]

<https://www.adafruit.com/products/>

Finanční ztráty při přepravě 2015, [Citace: 12. 4. 2016]

<http://www.craneww.com/wp-content/uploads/Industry-Insight-03-31.pdf>

Návrh implementace inteligentních obalů, [Citace: 20. 4. 2016]

<http://domitea.blogspot.cz/2016/04/inteligentni-obaly-autori-martin.html>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Samochladicí systém Tempra Technology.....	17
Obrázek 2: Samoohřívací systém Tempra Technology.....	18
Obrázek 3: Verze QR kódů.....	23
Obrázek 4: Schéma RFID systému.....	28
Obrázek 5: Nejrozšířenější RFID tag	32
Obrázek 6: Mobilní RFID čtecí zařízení	34
Obrázek 7: Stacionární RFID čtecí zařízení.....	34
Obrázek 8: RFID tagy používané v EAS systémech.....	38
Obrázek 9: Přenosná zařízení k využití pro PDC	39
Obrázek 10: NFC tag (černý čip + šedá anténa)	42
Obrázek 11: Návrh využití inteligentních obalů v logistice.....	48
Obrázek 12: Produkt nižší hodnotové třídy označený čárovým kódem	49
Obrázek 13: Produkt vyšší hodnotové třídy označený RFID tagem	50
Obrázek 14: Ukázka implementace aktivního RFID tagu v přepravní paletě	51
Obrázek 15: Schéma skladu s RFID a ZigBee technologií.....	53
Obrázek 16: Schéma komunikace systému	54

11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Nejpoužívanější typy 1D čárových kódů	21
Tabulka 2: Nejpoužívanější typy 2D čárových kódů	23
Tabulka 3: Tabulka základních RFID pásem a frekvencí.....	30
Tabulka 4: Platné RFID standardy	36
Tabulka 5: Souhrn všech použitých dílů	57
Tabulka 6: Propočet nákladů primární jednotky	59
Tabulka 7: Propočet nákladů podpůrné jednotky	60

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Akademický rok: 2015/2016

Studijní program: Aplikovaná informatika
Forma: Prezenční
Obor/komb.: Aplikovaná informatika (ai3-p)

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA	OSOBNÍ ČÍSLO
Dědek Jindřich	Hornická 594, Rtyně v Podkrkonoší	I1301285

TÉMA ČESKY:

Subsystémy Ambientní inteligence - inteligentní obaly

TÉMA ANGLICKY:

Ambient Intelligence subsystems - intelligent packaging

VEDOUcí PRÁCE:

Ing. Karel Mls, Ph.D. - KIT

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cíl práce:

Navrhnout funkční systém pro zvýšení užitečných vlastností tradičních lepenkových obalů a zhodnotit jeho praktické přínosy.

Osnova:

Úvod.

Rešerše tématu - tzn. možnosti využití, technologie a trendy.

Cíl práce a způsob řešení.

Návrh konkrétní aplikace, ověřování, popřípadě testování.

Shrnutí výsledků.

Závěry a doporučení.

Seznam použité literatury.

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

- YAM, Kit L.; TAKHISTOV, Paul T.; MILTZ, Joseph. Intelligent packaging: concepts and applications. Journal of Food Science, 2005, 70.1: R1-R10.
- AHVENAINEN, Raija (ed.). Novel food packaging techniques. Elsevier, 2003.
- XIE, Li, et al. Integration of f-MWCNT sensor and printed circuits on paper substrate. Sensors Journal, IEEE, 2013, 13.10: 3948-3956.
- HANSEN, Wolf-Rüdiger; GILLERT, Frank. RFID for the Optimization of Business Processes. John Wiley & Sons, 2008.
- KRUIJF, N. De, et al. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. Food Additives & Contaminants, 2002, 19.S1: 144-162.

Podpis studenta:

Datum:

15. 10. 2015

Podpis vedoucího práce:

Datum:

15. 10. 2015