

OLAP technologie a mobilní klienti

Jan Kupčák

24. prosince 2007

Abstrakt

Tento dokument diskutuje použitelnost mobilních zařízení v prostředí OLAP systémů, které jsou využívány při přeměně operačních dat podniku na znalosti, podporují tedy proces rozhodování. Nejprve jsou však uvedeny základní informace o technologii OLAP, je zde popsána architektura OLAP systému a uvedeny informace vztahující se k multidimenzionálnímu modelování dat charakteristického pro OLAP. Zbývající část dokumentu se věnuje spojení OLAP technologií a mobilních zařízení. Po klasifikaci mobilních zařízení jsou uvedeny jejich omezení a požadavky na mobilní aplikace, přičemž zdůrazněna je možnost nepřerušované práce s daty i bez přítomnosti kontinuálního připojení k OLAP serveru. Protože výzkum v oblasti mobilního OLAPu již probíhá, jsou zde uvedeny některé myšlenky a závěry z této oblasti.

1 Úvod

V dnešním moderním světě musí firmy vyvíjet nemalé úsilí, aby obstály v konkurenčním boji. Jedním z faktorů, které ovlivňují úspěšnost firmy, je schopnost správných a rychlých rozhodnutí vedení podniku, a tak pružně reagovat na aktuální situaci na trhu. Otázky, jakými jsou například, zda má v určitém regionu vzniknout nová pobočka, nebo má být rozšířena stávající centrální pobočka, jaké množství konkrétní suroviny bylo nakoupeno za určité období v minulosti a kolik jí bylo následně využito, jsou jedny z mnoha, jež management řeší. K jejich úspěšnému zodpovězení je potřeba mít dostatečné množství relevantních znalostí. Data, která se nacházejí v operačních databázích podniku a dalších elektronických dokumentech, mohou být bez úpravy využity pouze při jednoduchých analýzách, a tedy k zodpovězení pouze triviálních otázek. Ve skutečnosti je však potřeba provádět složité analýzy, simulace, hodnotit trendy, hledat ukryté zákonitosti v historických i aktuálních informacích, které z dat přímo nevyplývají, zpracovaná data vhodným způsobem zobrazit a případně s nimi interaktivně pracovat. Protože existující relační databáze jsou primárně určeny k uchování aktuálních dat, k rychlému přístupu k nim a jejich snadné modifikaci, vznikla odnož databázových technologií, které slouží pro podporu rozhodování – technologie OLAP.

On-line nástroje pro podporu rozhodování (*On-Line Analytical Processing*, OLAP) spolu s datovými sklady patří mezi databázové technologie, které pohlíží na data multidimenzionálně [21]. Tato data jsou získávána z heterogenních datových zdrojů, jakými mohou být například transakční databáze s údaji o nabízených produktech, stavech jednotlivých skladů a fakturách nebo třeba dokumenty v elektronické podobě. Následně jsou pak upravována do konzistentní podoby a později prezentována dle požadavků uživatele.

Prezentace dat v tabulkové i grafické podobě, jejich analýza a vizualizace získaných informací většinou probíhá na osobních počítačích s velkou výpočetní silou i kapacitou paměti a rychlým nepřerušovaným připojením k OLAP serveru. K takovému počítači je také připojen monitor nebo

skupina monitorů, na nichž lze přehledně zobrazit dostatečné množství informací. Do popředí se však stále více dostávají mobilní zařízení – od mobilních telefonů s podporou Javy až po výkonná PDA a ultramobilní zařízení. Jejich společnou vlastností je vysoký stupeň mobility, což umožňuje mít potřebná data neustále u sebe a kdykoli s nimi prostřednictvím vhodné aplikace pracovat. Nevýhodou je však mnohem nižší výkon, zobrazovací schopnosti a omezená rychlost bezdrátového připojení. Navíc jsou parametry zařízení v této skupině velice variantní. Přesto však je výhodné OLAP aplikace provozovat i na mobilních zařízeních. Je zřejmé, že na nich nebude vykonáván stejný druh analýz, jako na výkonných osobních počítačích, avšak stálá dostupnost dat a reportů je pro manažera důležitá.

OLAP aplikace, které by na mobilních zařízeních jednotným způsobem prezentovaly data a umožňovaly jednodušší analýzu bez kontinuálního připojení k OLAP serverům a datovým skladům neexistují. Cílem je tento nedostatek odstranit. Tento dokument shromažďuje informace o technologii OLAP v návaznosti na mobilní zařízení.

2 OLAP systémy

Provádět analýzu a vytvářet tiskové sestavy z dat, která jsou uložena v několika oddělených databázích a případně jiných elektronických dokumentech, je dosti problematické. Analýza obvykle zahrnuje množství komplexních dotazů, které vyžadují spojení velkého počtu tabulek. Další úskalí je doba platnosti dat – v databázích bývají obvykle údaje, které jsou platné jen určité kratší období. Avšak potřebuje-li uživatel sledovat trendy za delší období, nemusí být potřebné údaje v těchto zdrojích již dostupné. Je sice možné, že historická data jsou ukládána na záložní média, avšak tím se doba zpracování dotazu neúnosně prodlouží.

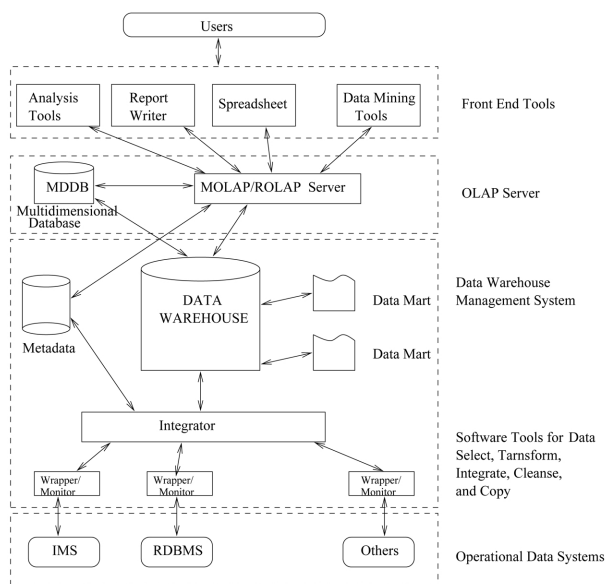
Jednotlivé zdroje mohou navíc obsahovat údaje, které jsou nekonzistentní – různé měrné jednotky, měny ve finanční oblasti, odlišný formát datumů, čísel, apod. Některé dílčí údaje mohou chybět. Pokud by bylo nutné tyto nesrovnalosti při každém dotazu korigovat, docházelo by ke ztrátě výpočetního výkonu. Tento fakt by pak mohl znamenat nepoužitelnost u silně vytížených databázových serverů. Zdánlivé řešení problému v podobě replikace dat do jiné, méně vytížené operační databáze situaci nezlepší.

E. F. Codd a jeho spolupracovníci ve svém článku [3] reagovali na tuto situaci – představili pojem OLAP, uvedli charakteristiku OLAP systémů a sepsali 12 základních pravidel, jež by měl každý OLAP produkt splňovat. Jedná se například o využití multidimenzionálního konceptuálního pohledu, který byl známý ještě před uvedením tohoto článku, neomezený počet dimenzí a úrovní agregace, intuitivní práce s údaji a další.

Zrodily se OLAP technologie, jejichž cílem je podpořit proces rozhodování a zároveň odstranit nevýhody provádění analytických úloh na OLTP systémech. OLAP systémy poskytují oddělený prostor nazvaný datové skladiště (*data warehouse*) optimalizovaný pro uložení ucelených historických a aktuálních dat pocházejících z heterogenních datových zdrojů včetně jejich vypočtených agregací. Dále pak uživatelům nabízí prostředky pro analýzu dat, simulaci, prezentaci a vizualizaci těchto informací. Externí zdroje dat tedy obsahují pouze nutné údaje a nejsou zatěžovány analytickými nástroji, na druhou stranu datové sklady vyžadují mnohem větší prostor pro data (řádově i terabyty), než je tomu u operačních databází. Je důležité podotknout, že u datových úložišť dochází pouze k vkládání údajů a nikoli k jejich mazání nebo modifikaci (data jsou přístupná pouze pro čtení).

2.1 Architektura

Architektura OLAP systému je zobrazena na obr. 1. Nejníže jsou zobrazeny datové zdroje, ze kterých je plněn datový sklad. Těmito zdroji mohou být databáze spravované databázovým serverem (Oracle, Microsoft SQL Server, MySQL, IBM Informix, Interbase, . . .), souborové databáze (Access, dBase, . . .), XML soubory, textové CVS soubory a další. Tyto jsou k OLAP systému připojeny prostřednictvím bloků nazvaných *Wrapper/monitor*. Jejich úkolem je provádět první dvě činnosti z ETL (*Extraction, Transform, Load*), tj. požadovaná data vyextrahovat, vyčistit a transformovat na vhodný tvar. Po načtení vybraných dat se musí systém dle předem určených pravidel vypořádat např. s nejednoznačnými údaji (pohlaví může být reprezentováno jako pravdivostní hodnota „je muž“, znakem m/M/f/F/Ž nebo různými řetězci), chybějícími hodnotami, různými peněžními měnami, odlišnými formáty čísel a řetězců (rodná čísla, tituly u jmen, adresy, atd.). Je také důležité testovat dodržování omezení, která platí pro danou multidimenzionální kostku.



Obrázek 1: Architektura OLAP systému. Převzato z [15].

Monitor určuje, kdy a jakým způsobem mají být data nahrána do datového skladiště. Lze uvažovat dva typy nahrávání. Prvním z nich je iniciální, kdy se kopírují všechny údaje nebo jejich větší část z operační databáze nebo dokumentu. Tento proces se obvykle spouští při vytváření nebo rozšiřování datového skladu. Druhým případem je stav, kdy již obsah databáze je uložen, avšak je potřeba do datového úložiště promítnout změny, které za určité období nastaly v externí databázi. V tomto případě je obvykle používána periodicky spouštěná úloha, která změny zanes do datového skladu.

Protože čas hraje v OLAP systémech významnou úlohu, musí mít každý záznam přiřazen časový údaj, kdy je platný. Jestliže tato informace v datovém zdroji není uvedena, je doplněna na základě nastavení ETL.

Úkolem bloku *Integrator* je spojit data z různých datových zdrojů a vyřešit problémy s konzistencí, které zde mohou nastat. Jedná se například o duplicitní položky nacházejících se ve více zdrojích, které však mají různé dílčí hodnoty. Korektní údaje jsou následně uloženy do datového

skladu, což je třetí činnost ETL – zavádění. Informace o uložených datech a datovém skladišti jako celku se ukládají do prvku *Metadata*.

Informace uložené v datovém skladišti je možné rozdělit do skupin na tzv. datové trhy (*data marts*). Existují dva důvody jejich vzniku. Prvním je bezpečnost – konkrétní skupině uživatelů je zpřístupněn pouze jistý datový trh. Druhý důvod vyplývá ze způsobu formování datového skladu. Rozeznávají se dva typy, a to „shora dolů“, kdy je nejprve vytvořen datový sklad jako celek, který obsahuje všechna data, a ten je následně rozdělen na skupinu datových trhů, a „zdola nahoru“, kde je postup opačný [6]. Datové trhy se vytváří dle požadavků jednotlivých částí firmy a datový sklad se tedy rozšiřuje. Toto však může být v některých případech značně problematické, a proto je upřednostňován typ „shora dolů“.

Úkolem OLAP serveru je zpřístupnit data uložená v datovém skladišti různým uživatelským aplikacím, jako jsou analytické nástroje, aplikace pro tvorbu reportů, tabulkové procesory, softwarové produkty umožňující dolování z dat a další. Pro dotazování je nejčastěji používán jazyk MDX (*Multi-dimensional Expressions*) vyvinutý firmou Microsoft [22]. Pro získání informací o OLAP krychlich uložených v datovém skladu a pro přenos multidimenzionálních dat je možné použít standard XMLA (*XML for Analysis*), viz specifikace [11].

2.2 Multidimenzionální datový model

Relační model, který je využit v OLTP systémech, je založen na relacích, neboli na podmnožinách kartézského součinu všech možných hodnot datových typů daných atributů. Relace je zobrazována jako tabulka, kde každý sloupec odpovídá určitému atributu a řádky pak tvoří jednotlivé n-tice údajů (n udává počet atributů). Toto vnímání údajů je však v prostředích pro podporu rozhodování nedostatečné. Model například přirozeně nepodporuje hierarchické členění atributů a operace pro pohyb v rámci tohoto členění, nelze jednoduchým způsobem vytvářet agregace nad více atributy.

Potřebné vlastnosti přináší multidimenzionální model dat, na kterém jsou technologie OLAP postaveny. Obdobou tabulky v OLTP systémech je v tomto případě OLAP kostka (nebo také krychle). Rozlišují se zde dva pojmy – dimenze a fakta (označována v anglickém textu jako *measures*).

2.2.1 Údaje v dimenzích a fakta

Každá dimenze reprezentuje jistý úhel pohledu na data. Je tvořena jedním nebo více atributy, které danou informaci o pohledu popisují, přičemž může vytvářet logicky nebo organizačně uspořádanou hierarchii. Jestliže dimenze představuje pouze seznam nějakých záznamů, je automaticky doplněn nadřazený prvek, který je obsahuje. Příkladem běžné dimenze je geografická dimenze, ve které jsou uloženy adresy poboček podniku. Hierarchie by pak mohla být členěna od nejvyšší úrovně na státy, regiony, města, až po konkrétní adresy. Mezi dimenzemi lze vždy najít časovou, která je obvykle dělena na roky, kvartály, měsíce, týdny, dny, atd. Uživatel má vždy možnost nadefinovat úrovně časové dimenze, které požaduje.

Samotné údaje, tedy konkrétní číselné hodnoty pocházející z činnosti podniku, se skrývají pod pojmem fakta. Každá hodnota se nachází v nějakém průsečíku nejnižších úrovní všech dimenzí dané kostky. Kromě těchto dat pocházejících z externích datových zdrojů se zde vyskytují navíc agregace, které jsou vypočítány až v datovém skladu. Funkce, kterou agregace bude představovat, je možno uvádět v definici příslušné dimenze. Může se jednat o součet, průměr, počet hodnot, maximální hodnotu a další. Tyto celkové hodnoty se nacházejí opět na průsečíku všech dimenzí, avšak alespoň jedna hodnota dimenze je z vyšší úrovně než nejnižší (nejdetailnější). Je zřejmé,

že ne všechny průsečíky dimenzí budou obsahovat nějakou hodnotu, protože například při třech dimenzích místo, produkt a čas nelze očekávat, že každá pobočka prodá každý den všechny výrobky. Při velkém počtu dimenzí tak snadno vznikají řídké shluky dat.

2.2.2 Operace nad daty

Uvádí se pět typických operací nad multidimenzionálními daty [5, 13]:

- Zanoření (*drill-down*) – jestliže se zvolená položka dané dimenze nenachází na nejnižší úrovni v hierarchii této dimenze, dojde k přesunu na tuto nižší úroveň.
- Vynoření (*roll-up*) – operace opačná k operaci zanoření, je-li to možné, je zvýšena úroveň pohledu v rámci dané dimenze.
- Selektce (*dice*) – vybere pouze ty údaje, které splňují zadanou podmínku. Úroveň dimenzí ani jejich počet se nezmění.
- Projekce (*slice*) – výběr jediného fixního prvku dané dimenze, čímž dojde k výběru pouze těch údajů, které mají průsečík s vybranou hodnotou dané dimenze a těmi, které byly zvoleny před touto operací.
- Rotace (*pivot/rotate*) – při zobrazení dat v kontingenční tabulce dojde k otočení tak, že dimenze umístěné do sloupců jsou přemístěny do řádků a naopak. Tím dojde ke změně umístění jednotlivých hodnot a může být docíleno přehlednějšího zobrazení dat.

Další operace může být například zanoření na nejnižší úroveň, kdy jsou dostupné konkrétní neagregované údaje (*drill across*).

2.3 ROLAP, MOLAP, HOLAP

Multidimenzionální datový model je možné realizovat třemi způsoby, přičemž vznikne čistě relační OLAP (ROLAP), čistě multidimenzionální OLAP (MOLAP) a nebo lze myšlenky těchto dvou přístupů zkombinovat a vytvořit hybridní OLAP (HOLAP) [1].

2.3.1 Relační OLAP

Tento typ OLAP systémů využívá pro uložení faktů i dimenzí datové skladiště ve formě relační databáze, přičemž multidimenzionální dotazy jsou automaticky překládány na odpovídající SQL operaci SELECT nebo sekvenci těchto operací nad uloženými tabulkami. Nejčastěji jsou tabulky uspořádány do dvou typů schémat – hvězdicovitého schématu nebo schématu sněhové vločky.

Hvězdicovité schéma je složeno z tabulky faktů obsahující cizí klíče, které se vztahují k primárním klíčům v tabulkách s uloženými daty o jednotlivých dimenzích. Hierarchie dimenze je uložena v rámci dané tabulky tak, že se v jednom záznamu nachází kompletní informace o všech úrovních, takže tabulky dimenzí nejsou normalizované.

Druhým typem je schéma sněhové vločky, u něhož je tabulka faktů propojena s tabulkami dimenzí, které však obsahují pouze údaje o nejnižší úrovni hierarchie. Vyšší úrovně jsou uloženy v dalších tabulkách, které jsou navzájem provázány, takže záznam nižší úrovně obsahuje kromě vlastních dat také cizí klíč platný v tabulce odpovídající úrovni vyšší.

Při využití schématu vločky tak dochází k mnohem menšímu množství redundance dat, avšak při dotazování je nutné spojit více tabulek. Hvězdicovité schéma však poskytuje vyšší výkon.

Vlastnosti ROLAP systému jsou celkově závislé na schopnostech použité relační databáze. Výhodou je velké množství dat, které lze v databázi uchovávat. Nevýhodou však může být poměrně malý výkon u náročných multidimenzionálních dotazů, a to především z toho důvodu, že všechny agregace se obvykle počítají až v okamžiku zpracování dotazu a SQL nenabízí velkou podporu pro složitější výpočty.

2.3.2 Multidimenzionální OLAP

V tomto případě je datové skladiště postaveno na myšlence n -dimenzionálního pole, kde každý „index“ odpovídá jedné dimenzi. Při reálném používání dochází k vytváření shluků hodnot v poli, protože ne všechny průsečíky dimenzí obsahují známou hodnotu. Je tedy možné optimalizovat způsob uložení dat tak, aby úložiště zabíralo rozumnou kapacitu a neúměrně nenarůstalo s každou přidanou dimenzí.

Při zavádění dat do datového skladu dochází k výpočtu a ukládání všech možných agregací. Toto je velká výhoda oproti ROLAP systémům, data i jejich agregace jsou okamžitě dostupné na požadovaných průsečících hodnot dimenzí. MOLAP tedy nabízí vysoký výkon při zpracování dotazů. Dále je možné snadno a rychle realizovat operace selekce a projekce.

Nevýhodou může být schopnost uložit menší množství dat, než je tomu u relačních datových skladů. Důvodem je fakt, že agregace zabírají v úložišti velký prostor a zároveň shluky dat mohou být z důvodu optimalizace přístupu ukládány s jistým „přesahem“, jsou tedy uloženy i některé prázdné hodnoty.

2.3.3 Hybridní OLAP

Hybridní OLAP spojuje přístupy použité v systémech ROLAP a MOLAP. Sumarizované hodnoty, se kterými se obvykle pracuje nejčastěji, jsou uloženy v multidimenzionálním poli, což zajišťuje rychlý přístup k těmto datům. Údaje na nejnižší úrovni získané z externích zdrojů jsou uloženy v relační databázi. Oddělení nejnižší úrovně od ostatních tedy zajišťuje rychlejší přístup k nejčastěji využívaným údajům a přitom je ušetřena kapacita úložiště.

2.4 Vizualizace dat

Nejpřirozenějším způsobem zobrazení jednorozměrného a dvojrozměrného pole údajů je tabulka nebo 2D graf. Pro multidimenzionální pohledy je však vyžadována podpora většího počtu dimenzí a hierarchií. Přehledný, intuitivní a dostatečně flexibilní způsob nabízí kontingenční tabulka (*pivot table*). Výřez tabulky je zobrazen na obrázku 2.

Jednotlivé dimenze lze umístit do řádků, sloupců i stránkování, fakta se nachází ve sloupcích. Uživatel tedy může určit posloupnost skládání dimenzí tak, aby bylo pro něj zobrazení do nejprehlednější.

Možnosti, které kontingenční tabulka nabízí, mohou být široké: od pouhého zobrazení agregovaných údajů, umožnění procházení hierarchiemi zvolených dimenzí a filtrování prázdných polí, až po interaktivní analýzu dat a propojení tabulky se soustavou dynamických grafů.

3 Mobilní komunikační zařízení

Mobilní telefony, komunikátory, PDA, to vše jsou zařízení, která se těší velké oblibě. Slouží nejen pro komunikaci mezi lidmi a zábavu, ale mnohé z nich také fungují jako pracovní nástroje díky pokročilým funkcím mobilní kanceláře, pohodlného přístupu na Internet a mnoha dalších funkcí,

<Page area>							
Product Categories		Date.Fiscal	Measures				
<Column area>							
<Measure area>							
Sales Amount		Fiscal Year	FY 2002	FY 2003	FY 2004	FY 2005 forecasted	Degree of trend
Category	Subcategory	Product Name					
Accessories			\$36,814.85	\$124,433.35	\$1,077,065.05	\$1,453,021.29	51.6°
Bikes			\$22,090,618.32	\$28,179,553.99	\$44,350,353.90	\$53,799,910.99	19.4°
Clothing	Bib-Shorts			\$166,739.71		\$55,579.90	0.0°
	Caps	AWC Logo Cap	\$5,081.05			-\$3,387.36	-56.3°
		AWC Logo Cap		\$11,698.80		\$3,899.60	0.0°
		AWC Logo Cap			\$33,595.55	\$44,794.07	56.3°
		Caps	\$5,081.05	\$11,698.80	\$33,595.55	\$45,306.30	40.3°
	Gloves			\$155,267.18	\$85,887.86	\$166,272.88	28.1°
	Jerseys		\$54,673.10	\$133,279.01	\$556,422.81	\$749,874.68	45.3°

Obrázek 2: Výřez kontingenční tabulky. Zdroj: [17].

kteří nabízejí. Existuje-li vhodná aplikace pro podporu požadované pracovní činnosti, není pak nutné s sebou neustále nosit rozměrnější a těžší notebook, data lze mít kdykoli při sobě.

Mobilní zařízení¹ lze rozdělit dle několika měřítek (informace jsou čerpány z [12]):

- Kategorie – je možné rozeznat dvě hlavní skupiny, a to mobilní telefony a PDA. Mobilní telefon je primárně určen pro komunikaci lidí, je tedy schopen provádět audio, případně video hovory, odesílat textové zprávy. Ke své činnosti vyžaduje připojení k danému mobilnímu operátorovi. Na druhou stranu PDA není primárně určeno ke hovorům, je však využíváno jako menší osobní počítač. Aplikace dovolují používat PDA jako mobilní kancelář, multi-mediální centrum, obsahuje nástroje pro využívání Internetu. Mezi těmito skupinami leží lépe vybavené telefony, někdy nazývané jako „chytré“ telefony nebo komunikátory, které nabízejí funkce PDA zařízení.
- Displej – lze říci, že téměř všechny prodávané přístroje obsahují barevný displej. Rozlišení se pohybuje od 96x64 do 800x480 bodů, přičemž nejběžnější hodnoty se pohybují od 176x220 po 240x320 (480x640 u PDA) bodů. Důležitá je také fyzická velikost displeje, která má v poměru s rozlišením vliv na ergonomii a čitelnost informací. Platí, že komunikátory a především PDA nabízejí největší zobrazovací plochy. Ještě je dobré poznamenat, že pokročilejší zařízení umožňují pracovat s displejem na šířku, což je pro zobrazení dat vhodnější.
- Ovládání – mobilní telefony jsou vybaveny běžnou číselnou klávesnicí. Na druhou stranu PDA se ovládají pomocí dotykového displeje, na který je zobrazována QWERTY nebo numerická klávesnice. Tato zařízení podporují navíc rozpoznávání písma. Některé modely pak navíc nabízejí mechanickou QWERTY klávesnici. Přítomnost dalších ovládacích prvků je zřejmá.
- Operační systém – velké množství telefonů nemá operační systém, jsou řízeny vestavěným programem. V tomto případě lze obvykle spustit pouze jedinou aplikaci. Skupina komunikátorů a PDA již má vlastní operační systém, který vychází z principů moderních OS. Setkáváme se zde s pokročilou správou paměti, vícevláknovými aplikacemi apod. Nejčastěji

¹V tomto textu se notebooky nezařazují do skupiny mobilních zařízení, avšak do skupiny osobních počítačů. Důvodem jsou jejich výkon a zobrazovací schopnosti blízké spíše stolním počítačům než PDA.

se jedná o OS Symbian (chytré telefony výrobců Nokia, Sony Ericsson a dalších) a Windows Mobile/CE (komunikátory HTC, QTek a další a PDA mnoha firem). Dále pak např. Linux, Mac OS X, Palm OS.

- Vývoj aplikací – větší část mobilních telefonů má vestavěné běhové prostředí pro aplikace napsané v jazyce Java, konkrétně Java 2 Micro Edition. Tento framework umožňuje programům přistupovat ke zdrojům v Internetu, pracovat se soubory, zahrnuje přímý přístup k displeji, vytváření uživatelských dialogů, reagovat na stisknuté klávesy. Nevýhodou je však nižší rychlost způsobená interpretací mezikódu. Zařízení vybavená operačním systémem dovolují vývoj aplikací, které jsou psány například v jazyce C++ a zkompileovány pro danou platformu/procesor. Jejich běh je jednak rychlejší a také mají mnohem větší možnosti přístupu k prostředkům, které zařízení nabízí.
- Komunikace s okolím – mobilní telefony a komunikátory mají zprostředkovaný přístup do sítě Internet přes svého mobilního operátora. Díky tomu je Internet dostupný kdekoli, kde je pokrytí signálem. Bezdrátové připojení Wi-fi je druhá možnost, jak se připojit k síti, a pro PDA možností jedinou. Srovnáním dvou uvedených možností lze zjistit, že Wi-fi nabízí rychlejší a levnější přenos dat.

4 Mobilní OLAP

Pojem mobilní OLAP označuje skupinu přístupů, technik a aplikací, které umožní mobilním zařízením efektivně pracovat s multidimenzionálními daty. Spojuje problematiku OLAP systémů, mobilních zařízení a bezdrátových sítí.

Většina výrobců datových skladů nabízí vlastní řešení OLAP nástrojů pro mobilní hardware. Uživatel tak má stálý přístup k důležitým informacím, může provádět jednodušší analýzy, zobrazovat si reporty. Vše potřebné v jednom malém snadno přenositelném zařízení. Jedná se však o desktopové aplikace, které jsou portovány na tato menší zařízení, nebo je využíván pouze HTML prohlížeč, který zobrazuje odpovědi OLAP serveru (příklad uveden na obr. 3). V obou případech nejsou aplikace schopny pracovat bez připojení k serveru, neboť klientská aplikace nepodporuje žádné lokální výpočty ani neobsahuje úložiště vysoce agregovaných dat, pouze zasílá dotazy a prezentuje zcela zpracované výsledky. Problematická je také ergonomie aplikace, která ne vždy dostatečně kvalitně využívá displej a bere v úvahu všechna omezení použitého zařízení. Z tohoto důvodu vzniká potřeba navrhnout principy optimalizované pro tento druh hardware.

4.1 Požadavky na nástroje

OLAP nástroje pro mobilní zařízení by měly splňovat následující body:

- Vhodným způsobem prezentovat multidimenzionální data; mít tedy možnost práce s kontingenčními tabulkami, definovat zobrazované dimenze v řádcích, údaje ve sloupcích a filtry. Je také vyžadována podpora vizualizace ve formě grafů. To vše se zachováním jednoduchostí uživatelského rozhraní a vyrovnáním se s omezenými ovládacími prvky.
- Má-li aplikace v daný okamžik přístup k datům z datového skladu, musí se aplikace chovat jako zjednodušená verze desktopového systému, což znamená umožnit procházení všemi úrovněmi dat, zadávat náročnější analýzy apod.

Order	Sales Volume
1	664.038,12 DM
2	951.741,90 DM
3	778.649,40 DM
4	372.161,04 DM
5	792.018,18 DM
6	859.705,98 DM

Obrázek 3: Příklad odpovědi OLAP serveru zobrazené na PDA. Převzato z [16].

- Schopnost poskytovat výsledky, i když aplikace nemá v daném okamžiku spojení s OLAP serverem. Z tohoto důvodu musí být v zařízení přítomno lokální úložiště vysoce agregovaných dat a dále je nezbytný mechanismus synchronizace lokálních dat a dat uložených v datovém skladišti.
- Umožnit alespoň základní analýzu dat uložených v lokálním úložišti.
- Co nejrychlejší reakci na zadané dotazy a prováděné analýzy.

Při vývoji je však potřeba vyrovnat se s následujícími problémy a omezeními:

- Uživatelské rozhraní
 - Parametry displeje – rozlišení displeje významně ovlivňuje množství zobrazitelných informací. Je proto potřeba informace rozmístit tak, aby byly přehledně uspořádány a na displeji jich bylo dostatečné množství (uživatel je z desktopových aplikací zvyklý vidět tabulky a grafy na jedné obrazovce, zde to může být problém). Řešením však nemůže být pouhé zmenšení fontů.
 - Možnost změny orientace displeje na šířku – prezentace dat je pro uživatele přirozenější na displejích, kde je šířka displeje větší než jeho výška. Proto je nutné optimalizovat zobrazení na výšku tak, aby uživatel neměl pocit nepřehlednosti nebo nedostatku informací.
 - Ovládání – uživatelé jsou z osobních počítačů zvyklí používat myš a klávesnici. Mobilní zařízení s dotykovým displejem dokáží přítomnost myši nahradit, QWERTY klávesnici mohou zobrazit na displeji. Problém však nastává u mobilních telefonů bez dotykového displeje, kde jsou přítomny alfanumerické klávesy, skupina směrových kláves a případně další funkční ovládací prvky, které se však u každého modelu liší. Při implementaci je nutné zabývat se navigací kontingenčními tabulkami, výběrem částí grafů pro zobrazení detailů, apod. Výsledkem však musí být jednoduché intuitivní ovládání aplikace.

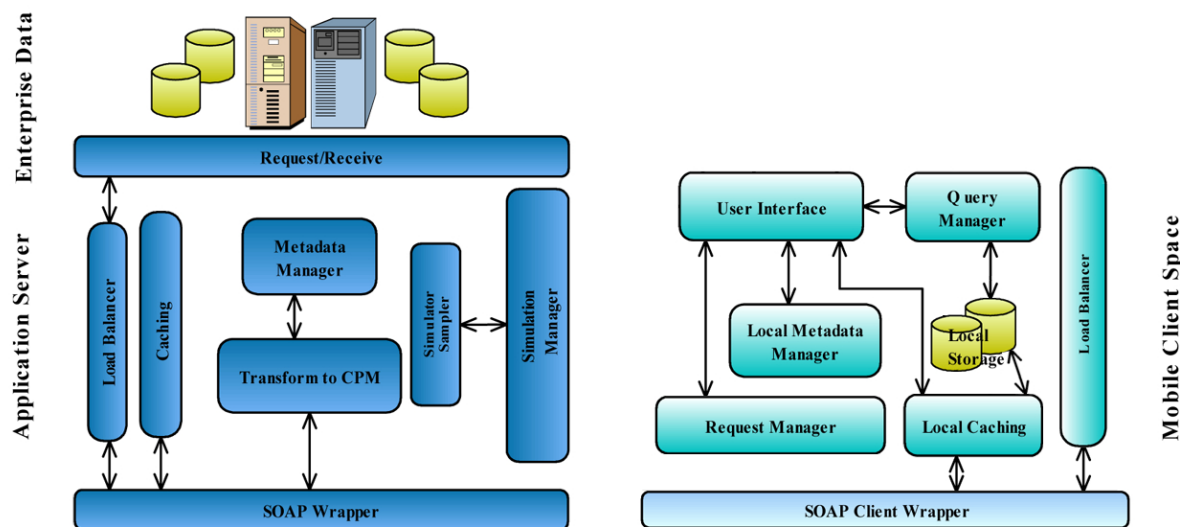
- Výpočetní výkon – rychlosti procesorů, které pohánějí mobilní zařízení, jsou dosti variabilní, na jednom mobilním telefonu může trvat výpočet několikanásobně déle než na jiném. Nejrychlejší procesory jsou umístěny v PDA, jejich rychlost je maximálně 624 MHz, u telefonů se rychlost pohybuje mezi 100 – 200 MHz. Je tedy zřejmé, že výkon vestavěného procesoru dosahuje jen zlomek celkového výpočetního výkonu používaných osobních počítačů. Tuto skutečnost je potřeba mít na vědomí při výběru způsobů prezentace dat a práce s nimi, aby byl nástroj dostatečně rychlý, a uživatel tak nemusel při každém požadavku čekat. Zcela jistě se chceme vyhnout například pomalému vykreslování zbytečně komplexních uživatelských rozhraní.
- Paměť – operační paměť je v mnoha přístrojích velice omezena. Proto musí být implementovány algoritmy, které jsou dostatečně rychlé a využívají rozumné množství paměti. Například u chytrých telefonů firmy Nokia je možné pracovat jen s přibližně 10 – 15 MB RAM. Tato hodnota může být problém například tehdy, bude-li uživatel požadovat zobrazení velké datové kostky v on-line režimu.
- Lokální úložiště dat – bude využíváno především pro uložení agregovaných dat z datového skladiště pro off-line práci. Zařízení sama o sobě sice nenabízejí velké kapacity interního paměťového prostoru (například 64 MB), avšak situaci zlepšuje rozšiřitelnost velkého množství mobilního hardware pomocí paměťových karet. Jejich kapacita se pohybuje v řádu gigabytů, přičemž běžně jsou podporovány kapacity až do velikosti 2GB². V porovnání s velkými (terabytovými) datovými skladišti je však zřejmé, že lze ukládat pouze vysoce agregovaná data, která by měla být uložena co nejefektivněji.
- Přístup k síti
 - Rychlost – rychlost přenosu dat prostřednictvím GPRS u mobilních telefonů a komunikátorů je poměrně nízká, reálně se pohybuje v desítkách kb/s (maximální teoretická rychlost je 85,6 kb/s [19]). Přístup je však možný odkudkoli, kde je dostatečná úroveň signálu operátora. Zrychlení přináší EDGE, který může dosahovat rychlostí až 236,8 kb/s ve směru operátor – zákazník (download), 118,4 kb/s ve směru zákazník – operátor (upload), běžná rychlost pro download se pohybuje v rozmezí 150 – 220 kb/s [18]. Nevýhodou je však relativně malé pokrytí území České republiky. Třetí variantou přístupu k síti je Wi-fi, pokud jej zařízení podporuje. Jeho rychlost je ve starší verzi 802.11b maximálně 11 Mb/s, v novější 802.11b 54 Mb/s. Při návrhu komunikace je tedy nezbytné zaměřit se na optimalizaci přenosu dat, kompresi.
 - Dostupnost – u bezdrátového připojení je potřeba počítat s náhlou ztrátou signálu a přerušením přenosu dat. OLAP nástroj proto musí být schopen vyrovnat se s aktuální rychlostí přenosu, plynule přecházet mezi off-line a on-line režimem bez omezení uživatele (tj. aby se ve způsobu jeho práce v okamžiku přechodu mezi těmito režimy nemuselo nic změnit, kromě množství přístupných dat).

²U velikostí paměťových karet nad 2GB nastává problém s kompatibilitou, možným důvodem je omezení 32bitových procesorů

5 Zkoumané techniky pro mobilní OLAP

5.1 Architektura mobilního OLAPu

Architektura určená pro mobilní OLAP je uvedena v [9], v mírně upravené variantě se nachází i v [4], kde je uvažována i komponenta zařazená do aplikačního serveru pro kompresi agregovaných dat. Jedná se o architekturu orientovanou na služby (SOA), kde serverová část nabízí funkce prostřednictvím webových služeb. Struktura je tedy dostatečně obecná, což umožňuje spolupracovat s libovolným mobilním zařízením, na kterém běží jakýkoli operační systém nebo aplikace v běhovém prostředí Javy.



Obrázek 4: Architektura mobilního OLAPu dle [9].

Architektura je rozdělena do čtyř vrstev:

- Ve vrstvě označené *Enterprise data layer* se nachází OLAP servery s příslušnými datovými sklady, jejichž data mohou mobilní uživatelé získat. Nepřipojují se však k těmto serverům přímo, ale přes druhou, zprostředkující, vrstvu.
- Vrstva, na které je umístěn aplikační server, slouží jako prostředník mezi mobilními aplikacemi a multidimenzionálními daty. Modul *Request/Receive* zajišťuje komunikaci s vybranými OLAP servery. Získaná data jsou převedena na formát, který bude zaslán klientovi – zde je využito prezentování dat na základě modelu CPM, který je blíže popsán v kapitole 5.3. Je možné nasadit více těchto transformačních modulů do systému, pak je odpovídající formát datového výstupu generován na základě požadavků klienta. Je zde podporováno i cachování: ukládají se výsledky transformací nejčastěji získaných multidimenzionálních dat. Informace o těchto uložených datech jsou ukládány a spravovány správcem metadat. Díky nižšího výkonu mobilních zařízení jsou simulace dat prováděny na aplikačním serveru. Jako příklad může být uveden případ, kdy má analytik k dispozici chování jistých veličin za uplynulé období a zajímá ho, jak se budou vyvíjet některé veličiny v čase a jak budou reagovat na změnu daných podmínek. Tato vrstva je schopná nejen simulace provádět, ale také při

nižším zatížení systému předpočítávat výsledky nejčastěji prováděných simulací. Uživatel má následně možnost vybrat si z těchto automaticky prováděných simulací a shlédnout výsledky. Úkolem zbývajícího bloku je monitorovat zátěž aplikačního serveru a v případě, že hrozí přetížení, rozhodnout, že data nebudou transformována na serveru, ale získaná data budou zaslána mobilnímu klientovi ke zpracování.

- Třetí vrstva zajišťuje komunikaci mezi aplikačním serverem a aplikacemi běžících na mobilních zařízeních. Komunikace probíhá prostřednictvím protokolu charakteristického pro webové služby – SOAP, který umožňuje mezi klientem a serverem vyměňovat zprávy v XML formátu, a to prostřednictvím protokolu HTTP(S).
- Zbývající čtvrtá vrstva je implementována v mobilním zařízení. Je navržena tak, aby ji bylo možné přizpůsobit možnostem daného zařízení. Na některých slabších mobilních telefonech tedy nebudou dostupné některé funkce, které potřebují například větší výpočetní výkon, nebo budou pracovat pouze s on-line připojením k aplikačnímu serveru.

V této vrstvě se především nachází *Query Manager*, který umožňuje off-line dotazování dat uložených lokálně a provádění analýzy. V úložišti dat jsou však uloženy nejen agregované údaje dané kostky pro lokální zpracování, ale také výsledky dotazů určené k přímému zobrazení. Lokální sklad dat lze plnit dvěma způsoby, a to buď budou postupně ukládána data z dotazů, a nebo dávkově, je-li mobilní klient připojen k síti. Informace o uložených datech jsou součástí tohoto úložiště, o jejich správě se stará správce lokálních metadat. Cache je část paměti vytvořená v operační paměti zařízení, jenž přispívá ke zvýšení výkonu aplikace. Uživatelské rozhraní mobilní aplikace je řízeno samostatným modulem, nabízí alespoň funkce pro vyžádání multidimenzionálních dat, jejich zobrazení, navigaci jimi a filtraci. *Request Manager* požadavky klienta předává dále komunikační vrstvě.

Pro zvýšení celkového výkonu mobilního OLAPu lze například dopředu počítat výsledky dotazů, které by mohly být v budoucnu zpracovány. Jestliže manager pracuje každé pondělí s daty za uplynulý týden a obvykle vyžaduje stejné reporty, lze je vypočítat dopředu.

Důležitá je také schopnost rychle obsloužit co nejvíce mobilních uživatelů. V [9] jsou uvedeny dva způsoby – první si klade za cíl snížit zatížení aplikačního serveru, a to tak, že je umožněna komunikace mobilních zařízení navzájem. Mohla by si tedy předávat výsledky dotazů. Omezující je však rychlost komunikace směrem ze zařízení (up-link). Dalším problémem může být dynamická IP adresa u zařízení připojených k síti Internet přes mobilního operátora.

Druhý způsob optimalizace spočívá v obslužení více klientů najednou – výsledky nejsou zasílány Peer-to-peer, avšak broadcastem (multicastem v IP sítích). Když dvě mobilní aplikace zašlou dotaz na získání dat z určité kostky, a jsou-li dotazy dostatečně podobné, může být odpovědí aplikačního serveru jediná „subkrychle“, která obsahuje výsledky obou dotazů. Mobilní klienti zjistí, zda odpověď, kterou požadují, naleznou v přijatých datech, a buď ji ignorují, a nebo vyextrahují požadované údaje. Částí této problematiky se zabývá například [10], konkrétně porovnává dva typy odpovědi na OLAP dotazy z hlediska obslužení více mobilních klientů. V prvním případě je granularita odpovědi nastavena na pouhé rozpoznávání dimenzí, v druhém případě bere v úvahu i úroveň jednotlivých dimenzí. Výsledkem je potvrzení předpokladu, že první metoda je výhodnější.

5.2 Kompresie agregovaných dat

Předpokládejme, že bychom chtěli na paměťovou kartu ukládat agregované údaje vybrané multidimenzionální krychle bez jakékoli metody komprese dat. Protože na kartě musí být uložena i

metadata, jako jsou například název OLAP krychle, seznam lokálně dostupných dimenzí, jejich hierarchií a příslušné atributy, atributy sloupců s fakty, a další údaje, zvolme maximální dostupný prostor pro agregované údaje rovný 1GB.

Dále uvažujeme, že bude dostupná časová dimenze, která má hierarchii [ALL], 4 roky, každý rok má 4 čtvrtletí, každé čtvrtletí má 3 měsíce a měsíce mají příslušný počet dní. Protože ukládáme jen agregované údaje, poslední úroveň je nepodstatná. Počet možných agregovaných údajů časové dimenze je tedy $1 + 4 \cdot (1 + 4 + 12) = 69$. Lokálně uložená bude také dimenze s adresami zákazníků, hierarchie [ALL], 10 zemí, průměrně 20 měst v každé zemi. Celkově $1 + 10 \cdot (1 + 20) = 211$ možných agregací. V poslední dimenzi se budou nacházet produkty, hierarchie [ALL], 30 druhů a v každé průměrně 3 poddruhy zboží. Celkově $1 + 30 \cdot (1 + 3) = 121$ možných agregací.

Jestliže bude na kartě uložen pouze jediný fakt, a to počet prodaných kusů, pro nějž bude vyhrazeno celé 32 bitové číslo, lze spočítat maximální kapacitu, kterou hodnoty budou zabírat. Jednotlivé položky dimenzí v libovolných hierarchiích navzájem tvoří kartézský součin, takže nejvíce je potřeba $(69 \times 211 \times 121) \cdot 4 = 7046556$ bytů. Tato hodnota je 7x vyšší, než je námi zvolený 1GB. Pokud vezmeme v úvahu, že ne všechny průsečíky mají známou hodnotu, obsazení prostoru se může zmenšit. Musí být proto využito takového způsobu ukládání dat, které by nepřidělovalo prostor nevyužitým průsečíkům.

Na příkladu je jasně vidět, že je nutné využívat optimalizované ukládání dat. Ve skutečnosti totiž OLAP krychle obsahuje mnohem více rozsáhlých dimenzí, počet faktů také zásadně ovlivňuje spotřebované místo a hodnoty faktů jsou desetinná čísla, pro které může být potřeba i datový typ zabírající 8 bytů.

Hand-OLAP [4] je systém realizující mobilní OLAP, který získaná data z OLAP serveru komprimuje a posílá v této podobě přes bezdrátovou síť. Mobilní klient využívá stejný druh komprese údajů pro uchování v lokálním skladišti dat. Příklad je uveden na OLAP krychli se dvěma dimenzemi, kde je opět využit 32 bitový celočíselný datový typ a agregační operací je suma.

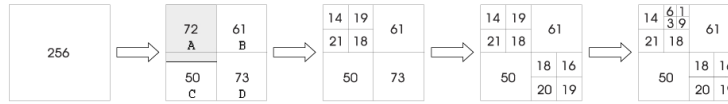
Algoritmus je založen na dělení prostoru na čtyři stejně velké části, které postupně tvoří stromovou strukturu, v níž má každý rodičovský uzel čtyři potomky (quad-tree), viz obrázek 5. Na začátku je známa pouze suma celé krychle, ta je uložena do kořene stromu. Následně je krychle rozdělena na čtyři stejně velké bloky – dojde tedy k dělení obou dimenzí na poloviny. Získáme čtyři sumy, které celkově dávají původní součet, do stromu se uloží pouze tři z nich (kvadranty A, B, C). Zbývající jsme schopni vypočítat na základě rozdílu rodičovské hodnoty a součtu hodnot potomků. Následující krok vybere blok obsahující nejproměnlivější hodnoty a opět jej rozdělí na čtyři podbloky stejné velikosti, přičemž uloží tři z nich. Ukládány jsou vždy pouze nenulové sumy. Celkový počet dělení je závislý na množství dostupného místa v úložišti dat lokálního zařízení.

Kromě vlastních hodnot součtů se ještě ukládá informace o struktuře stromu. Zde stačí pouze 2 bity pro každý uzel, první bit indikuje, zda je daný uzel listem, a druhý bit určuje, zda je hodnota daného uzlu nulová a není tudíž uložena v datové části stromu.

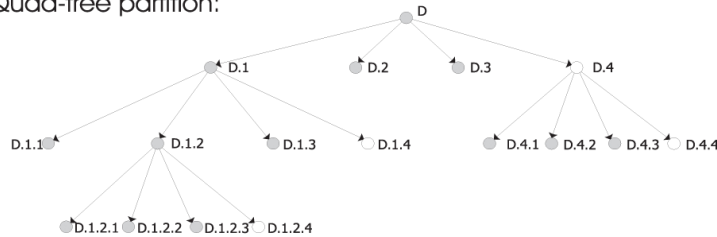
Jestliže výsledek OLAP dotazu tvoří suma kompletních bloků, které se nachází ve stromu, obdrží uživatel přesnou hodnotu. Avšak spadá-li výsledek dotazu pouze do části některých bloků stromové struktury, jako je tomu v případě vybarvené oblasti na obr. 5, kde je celková suma tvořena sumou bloku A a částí bloku C, je použita lineární interpolace. Je tedy vrácena pouze přibližná hodnota. Problém však nastane v případě, že data v bloku C nejsou rovnoměrně rozložena a nebo sumarizované hodnoty prvků jsou značně rozdílné. V takové situaci by mohl být výsledek dotazu značně nepřesný.

Do stromové struktury je proto přidána informace o přibližném rozložení hodnot v listovém uzlu (tj. blok, který se již dále nedělí). Terminální blok je rozdělen celkem na 16 stejných částí a

Partitioning a datacube:



Quad-tree partition:



Obrázek 5: HandOLAP – dělení do quad-tree. Čísla označují součet hodnot, prázdné body se do stromu neukládají. Převzato z [4] a upraveno.

sumy těchto bloků jsou použity pro výpočet rozložení. Informace popisující rozložení sumarizovaných dat je pak mnohonásobně menší, než kdyby bylo uloženo všech 15 32bitových hodnot.

5.3 Prezentace dat na mobilním zařízení

Pro prostředí OLAPu byl vyvinut *Cube Presentation Model* (CPM) [7], který představuje matematický model pro multidimenzionální prezentaci dat. Skládá se ze dvou vrstev – logické, která zahrnuje definici krychle, a prezentační, jenž popisuje zobrazení dat v dvourozměrné podobě. Díky oddělení těchto dvou vrstev je CPM flexibilní – v případě potřeby lze nahradit požadovanou vrstvu jiným, vhodnějším modelem bez úpravy druhé vrstvy.

Na teorii CPM navazuje článek [8], v němž je uveden způsob, jak propojit CPM s metodou prezentace 2D dat nazvanou *Table Lens* [14]. Tento způsob prezentace se používá pro zobrazení hodnot v tabulce, ve které je mnohem více záznamů, než je možné přehledně zobrazit na zobrazovací ploše. Údaje, o které se uživatel v daný okamžik nezajímá, jsou prezentovány jednodušším, stručnějším, způsobem, tj. místo konkrétní hodnoty je zobrazen pouze grafický sloupec odpovídající dané hodnotě. Jestliže uživatele daná hodnota zajímá, může obvykle daný údaj aktivovat, čímž dojde k jeho rozbalení a zobrazení příslušných detailů, viz obrázek 6. Obdobou je metoda *Fisheye Table* [2], která dynamicky mění velikosti písma / buněk v tabulce, přičemž mezi velikostí a mírou zájmu uživatele platí přímá úměra.

Food Item	Quantity	Fat (g)	Energy (cal)	Carbs (g)	Protein (g)	Cholesterol (mg)
BARLEY, PEARLED, LIGHT, UNCOO 1 CUP	2	700	158	16	0	

Obrázek 6: Způsob zobrazení dat pomocí metody Table Lens.

Další zajímavé způsoby zobrazování dat jsou sepsány v [20]. Je zde také představen nový

pohled na dimenze. Uživatel si může zvolit dimenze, které jsou následně zobrazeny jako pruhy. Tyto pruhy jsou horizontálně rozděleny na tolik částí, kolik má vybraný prvek dimenze potomků. Každé části je v pruhu dimenze přidělena taková šířka, aby byl zachován poměr prvků vzhledem k danému výběru. Je možné vynořovat a zanořovat se v hierarchii dimenze a také vybrat libovolný člen v hierarchii dimenzí. Detailní data spadající do průsečíků vybraných členů dimenzí jsou zobrazována v jiném okně.

Za zmínku také stojí barvení polí v 2D tabulce s daty krychle. Jestliže uživatel potřebuje vidět hodnoty, které jsou v daném intervalu, zobrazit minimální a maximální hodnoty, nebo hodnoty blízké se k průměru, lze tyto hodnoty v tabulce vhodným způsobem barevně odlišit.

6 Závěr

Tento dokument je prvním krokem ve výzkumu možností využití mobilních zařízení v prostředí OLAP systémů. Objasňuje základní principy těchto systémů a následně se přesouvá ke klasifikaci mobilního hardwaru. Z uvedených informací vyplývá, že nejlépe využitelné jsou PDA a výkonné komunikátory. Ty nabízejí dostatečné prostředky k tomu, aby byly splněny požadavky na mobilní OLAP nástroje. Před jejich skutečnou implementací však bude potřeba vyřešit spoustu různých problémů, od vhodného návrhu uživatelského rozhraní na VGA displeji, přes vytvoření odlehčené verze OLAP serveru pro mobilní zařízení, který bude pracovat s lokálně uloženými daty, a ustanovení synchronizačního protokolu mezi klientem a serverem, až po detailní zpracování celé architektury.

Reference

- [1] 1KEYDATA.COM. *MOLAP, ROLAP, And HOLAP* [online]. [cit. 19. 12. 2007]. Dostupné z: <<http://www.1keydata.com/datawarehousing/molap-rolap.html>>.
- [2] BERNAL, F. – BETTEN, S. – HORN, C. *Visualization of Shallow Trees with Nodal Attributes using Fisheye Table, Table Lens, and Treemap* [online]. [cit. 20. 12. 2007]. Dostupné z: <<http://www.otal.umd.edu/SHORE2001/visTree/index.html>>.
- [3] CODD, E. – CODD, S. – SALLEY, C. *Providing OLAP to User-Analysts: An IT Mandate* [online]. [cit. 10. 12. 2007]. Dostupné z: <http://dev.hyperion.com/resource_library/white_papers/providing_olap_to_user_analysts.pdf>.
- [4] CUZZOCREA, A. – FURFARO, F. – SACCA, D. *Hand-OLAP: a System for Delivering OLAP Services on Handheld Devices* [online]. [cit. 17. 10. 2007]. Dostupné z: <<http://csdl2.computer.org/persagen/DLabsToc.jsp?resourcePath=/dl/proceedings/&toc=comp/proceedings/isads/2003/1876/00/1876toc.xml&DOI=10.1109/ISADS.2003.1193935>>.
- [5] KASER, O. *OLAP operations* [online]. [cit. 20. 12. 2007]. Dostupné z: <<http://pizza.unbsj.ca/~owen/backup/courses/OLAP-2004/olap2.pdf>>.
- [6] LACKO, L. *Databáze: Datové sklady, OLAP a dolování dat s příklady v Microsoft SQL Serveru a Oracle*. Brno : Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-969-0.
- [7] MANIATIS, A. et al. *CPM: A Cube Presentation Model for OLAP* [online]. [cit. 9. 11. 2007]. Dostupné z: <<http://citeseer.ist.psu.edu/747557.html>>.

- [8] MANIATIS, A. S. et al. Advanced Visualization for OLAP. In *DOLAP '03: Proceedings of the 6th ACM international workshop on Data warehousing and OLAP*, s. 9–16, New York, NY, USA, 2003. ACM. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/956060.956063>. Dostupné z: www.cs.brown.edu/courses/cs227/Papers/Visualization/DOLAPmaniatis.pdf. ISBN 1-58113-727-3.
- [9] MICHALARIAS, I. – KÖPPEN, V. *Towards a Service Oriented Architecture for Mobile Reporting* [online]. [cit. 17. 10. 2007]. Dostupné z: <http://page.mi.fu-berlin.de/michalar/files/344icis05.pdf>.
- [10] MICHALARIAS, I. – LENZ, H.-J. Optimal Query Mapping in Mobile OLAP. In *ADBIS*, s. 250–266, 2007. Dostupné z: <http://page.mi.fu-berlin.de/michalar/files/papers/ADBIS07.pdf>.
- [11] MICROSOFT CORPORATION, H. S. C. *XML for Analysis Specification: Version 1.1* [online]. [cit. 19. 12. 2007]. Dostupné z: http://dev.hyperion.com/resource_library/standards_bodies/xml_for_analysis.cfm.
- [12] MOBILMANIA.CZ. *Katalog mobilů* [online]. [cit. 8. 12. 2007]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz>.
- [13] POURABBAS, E. – RAFANELLI, M. *Characterization of Hierarchies And Some Operators in OLAP Environment* [online]. [cit. 16. 12. 2007]. Dostupné z: <http://citeseer.ist.psu.edu/677411.html>.
- [14] RAO, R. – CARD, S. K. The Table Lens: Merging Graphical and Symbolic Representations in an Interactive Focus+Context Visualization for Tabular Information. In *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, s. 318–322, New York, NY, USA, 1994. ACM. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/191666.191776>. Dostupné z: <http://citeseer.ist.psu.edu/545353.html>. ISBN 0-89791-650-6.
- [15] SAMTANI, S. et al. *Recent Advances and Research Problems in Data Warehousing* [online]. [cit. 17. 10. 2007]. Dostupné z: <http://citeseer.ist.psu.edu/206202.html>.
- [16] SAP. *Business Explorer Mobile Intelligence in SAP BW 3.0: How to ... Guide* [online]. [cit. 10. 11. 2007]. Dostupné z: http://help.sap.com/bp_biv133/documentation/BEX_MOBILE_EN.doc.
- [17] SQLJUNKIES.COM. *Microsoft OLAP by Mosha Pasumansky* [online]. [cit. 23. 12. 2007]. Dostupné z: <http://sqljunkies.com/WebLog/mosha/archive/category/357.aspx>.
- [18] T-MOBILE. *T-Mobile EDGE – FAQ* [online]. [cit. 8. 12. 2007]. Dostupné z: <http://t-mobile.cz/Web/Residential/Internet/T-MobileEDGE-FAQ.aspx>.
- [19] T-MOBILE. *T-Mobile GPRS* [online]. [cit. 8. 12. 2007]. Dostupné z: <http://t-mobile.cz/Web/Residential/Internet/T-MobileGPRS.aspx>.
- [20] TECHAPICHETVANICH, K. – DATTA, A. *Interactive Visualization for OLAP* [online]. [cit. 11. 11. 2007]. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/wxwdvwcp5p0qjlng/>.

- [21] THOMSEN, E. *OLAP Solutions: Building Multidimensional Information Systems*. Second Edition. New York : Wiley Computer Publishing, 2002. ISBN 0-471-40030-0.
- [22] XMLFORANALYSIS.COM. *MDX / mdXML* [online]. [cit. 19.12.2007]. Dostupné z: <<http://www.xmlforanalysis.com/mdx.htm>>.