

KANDIDATARBETE

Våren 2012

Robin Rajamäki

Aalto-universitetet
Högskolan för elektroteknik
Utbildningsprogrammet för telekommunikationsteknik

Robin Rajamäki

Pekskärmsteknologier

Kandidatarbete

7.5.2012

Handledare för arbetet:

DI Juha Forsten

TkT Nicklas Beijar

Sammandrag

AALTO-UNIVERSITETET
HÖGSKOLAN FÖR ELEKTROTEKNIK
PL 13000
00076 AALTO

SAMMANDRAG FÖR
TEKNOLOGIE KANDIDATARBETE

Författare: Robin Rajamäki	
Arbetets titel: Pekskärmsteknologier	
Utbildningsprogram: Telekommunikationsteknik	
Datum: 7.5.2012	Sidantal: 27
Ansvarslärare: Prof. Markku Liinaharja	
Handledare: DI Juha Forsten, TkT Nicklas Beijar	
Språk: Svenska	
<p>Ingen pekskärmsteknologi är perfekt. Således har flera alternativa teknologier uppstått för att svara på behoven hos olika applikationer. I detta arbete klassificeras pekskärmsteknologierna i fyra grupper: resistiv, kapacitiv, optisk och akustisk. De tre sistnämnda delas ytterligare i undergrupperna projicerad-kapacitans och yt-kapacitans (kapacitiv), infraröd matris och visionsbaserad (optisk), samt SAW och APR (akustisk).</p> <p>Först presenteras teknologiernas funktionsprinciper, varefter deras för- och nackdelar övervägs. Några centrala parametrar som bedöms är stöd för flera samtidiga beröringar, optisk transparens, hållbarhet och stötta beröringsmedier. Utgående från jämförelseresultaten presenteras vanliga tillämpningsområden för respektive teknologi. Slutligen diskuteras aktuella marknadsutvecklingar och framsteg inom pekskämsbranschen. Även framtida trender nämns kortfattat, exempelvis beröringsavkännande sensorer integrerade i bildpixlar och haptiska gränssnitt.</p>	
Nyckelord: beröring, gränssnitt, resistiv, kapacitiv, optisk, akustisk	

Innehållsförteckning

Sammandrag	i
Innehållsförteckning.....	ii
Symboler och begrepp	iii
1 Inledning	1
2 Pekskärmsteknologier	3
2.1 Resistiv	3
2.1.1 Uppbyggnad	3
2.1.2 Bestämmande av beröringskoordinater	4
2.2 Kapacitiv	6
2.2.1 Uppbyggnad	6
2.2.2 Registrering av beröring	7
2.3 Optisk	7
2.3.1 Infraröd matris	8
2.3.2 Frustrerad total intern reflektion	8
2.4 Akustisk.....	9
2.4.1 Uppbyggnad	10
2.4.2 Registrering av beröring	10
2.4.3 Reflektionsgitter.....	11
2.4.4 Tidsreverserad pulsigenkänning.....	12
3 Jämförelse och tillämpningsområden	13
3.1 Registrering av flera samtidiga beröringspunkter.....	13
3.2 Beröringsmedium och störningskällor	14
3.3 Optisk transparens	15
3.4 Hållbarhet	16
3.5 Energiförbrukning	16
3.6 Tillverkningskostnad.....	17
3.7 Tillämpningsområden	18
4 Diskussion och framtida utvecklingar.....	21
5 Sammanfattning	23
6 Källförteckning.....	25

Symboler och begrepp

Symboler

I	ström (A)
U, V	spänning/ potential (V)
R	resistans (Ω)
Z	impedans (Ω)
j	det imaginära talet = $\sqrt{-1}$
ω	vinkelhastighet (rad/s)
C	kapacitans (F)
ϵ_r	relativ permittivitet (N/m)

Begrepp

Sensor	Ett instrument som förvandlar en mätbar företeelse till en behandlingsbar signal.
ITO	<i>Indium Tin Oxide</i> – En transparent halvledare allmän i peksensorer.
TIR	<i>Total Internal Reflection</i> – Ljuset i ett optiskt tätare medium bryts inte ur gränsskiktet, utan reflekteras fullständigt inom propageringsmediet.
FTIR	<i>Frustrated Total Internal Reflection</i> – En rubbning i TIR-tillståndet förorsakar spridning och absorption.
SAW	<i>Surface Acoustic Wave</i> – En materiavåg på en propageringsyta (= ytvåg).
APR	<i>Acoustic Pulse Recognition</i> – En teknologi som registrerar de ytvågor som uppstår vid beröring av en pekskärm.
<i>Multi-touch</i>	Benämningen används för pekskärmar som kan avkänna två eller flera simultana beröringar.
Stylus	Ett beröringsföremål (som vanligtvis påminner om en penna) skapat uttryckligen för pekskärmar.
Rayleigh-våg	En typ av ytvåg med både horisontell och vertikal komponent.
Love-våg	En horisontellt polariserad ytvåg.
Haptik	<i>Haptics/Tactile feedback</i> – Inom pekskärmsteknologi: kännbar respons vid beröring av en sensoryta.

1 Inledning

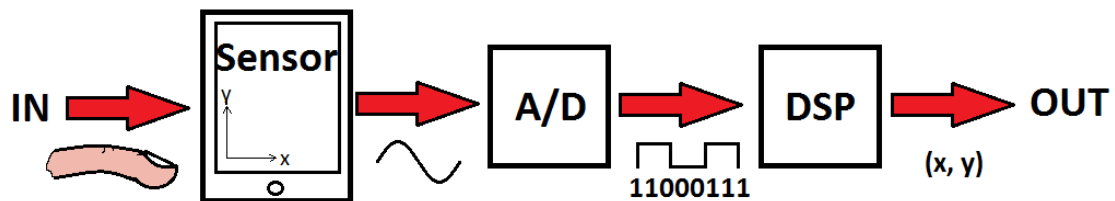
De senaste fem åren har medfört en explosionsartad tillökning i utbudet av pekskärmsteknologi. Inom konsumentmarknaden har framtåget främst letts av mobilindustrin, med högteknologiföretaget *Apple* i spetsen. En ökad efterfrågan på beröringsgränssnitt har lett till en allt hårdare konkurrens om kundernas pengar. Den eskalerade konkurrensen har i sin tur drivit ner priset på pekskärmsteknologi. Dessutom har föråldrandet av de grundläggande teknologiernas patent [1] drastiskt påverkat antalet pekskärmstillverkare. Följaktligen har t.ex. fysiska tangenter ersatts av beröringsavkännande skärmar i praktiskt taget alla dagens smarttelefoner (figur 1).



Figur 1. Moderna smarttelefoner. Av figurens åtta telefoner är det endast en som inte har pekskärm, vilket illustrerar situationen på smarttelefonmarknaden väl. [2]

Eftersom pekskrmar är aktuella, vore det relevant att förstå grunderna för hur de fungerar. Således är detta kandidatarbetes syfte att presentera, beskriva och jämföra de centralaste teknikerna som möjliggör indata genom beröring. Arbetet presenterar läsaren en god helhetsbild av de väsentligaste beröringavkännande gränssnitten och deras tillämpningsområden.

Fastän pekskrmar står i fokus, är det skäl att notera att en stor del av de tekniker som beskrivs i arbetet går att generalisera till att gälla alla beröringskänsliga ytor (exempelvis till musplattor på bärbara datorer). Följaktligen syftar begreppet pekskärm endast på de första gränssnitten mellan användare och applikation, och inte på bildskärmar eller dylikt. Termen sensor används i arbetet för att beskriva det allra första gränssnittet mellan användare och pekskärm. I figur 2 illustreras alla de gränssnitt som räknas tillhöra begreppet pekskärm.



Figur 2. Gränssnitten hos en pekskärm. Beröringen av sensorn omvandlas till en elektrisk (analog) signal vid första gränssnittet. Vid andra gränssnittet samplas signalen till digitalt format i en analog-till-digital-krets (A/D). Efter den slutliga digitala signalprocesseringen (DSP), kan beröringspunktens koordinater (utdata) användas som indata för vidare processering.

På grund av dess sammanfattande natur är detta kandidatarbete främst en litteraturstudie. Det faktum att det existerar relativt lite tryckt litteratur inom ämnesområdet bidrar till att de flesta källor som används är rapporter eller patent. Den senare halvan av arbetet grundar sig till största delen på Geoff Walkers presentationer och marknadsundersökningar för *IMS Research* [3] [1].

Arbetet är uppbyggt på följande vis: Först introduceras de centralaste pekskärmsteknologiernas funktionsprinciper, varefter dessa teknologiers egenskaper jämförs med varandra. I samband med jämförelsen övervägs för- och nackdelar med, samt tillämpningsområden för de enskilda teknologierna. Speciellt står viktiga parametrar, t.ex. stöd för flera samtidiga beröringspunkter, stötta beröringsmedier och störningskänslighet i fokus. Slutligen diskuteras kommande utvecklingar och trender inom industrin.

2 Pekskärmsteknologier

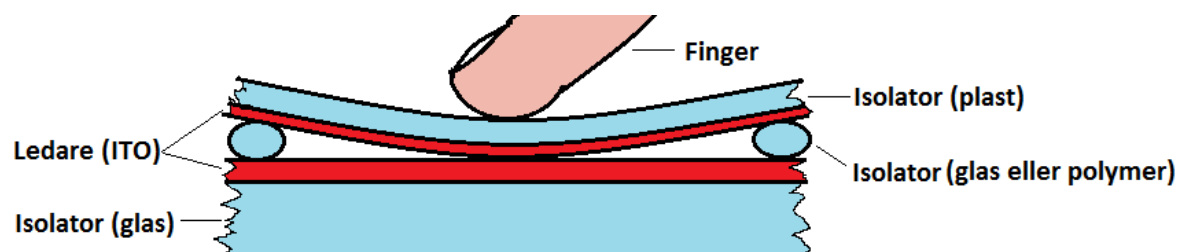
En beröringskänslig sensor kan registrera en beröring på flera olika sätt. I detta kapitel presenteras de centralaste funktionsprinciperna för sådana sensorer. De pekskärmsteknologier som behandlas är resistiv, kapacitiv, optisk och akustisk.

2.1 Resistiv

Den resistiva metoden är det enklaste sättet att implementera en beröringskänslig yta. Som namnet antyder innehar resistivitet – dvs. egenskapen hos ämnen att motsätta sig elektrisk ström - en central roll inom teknologin.

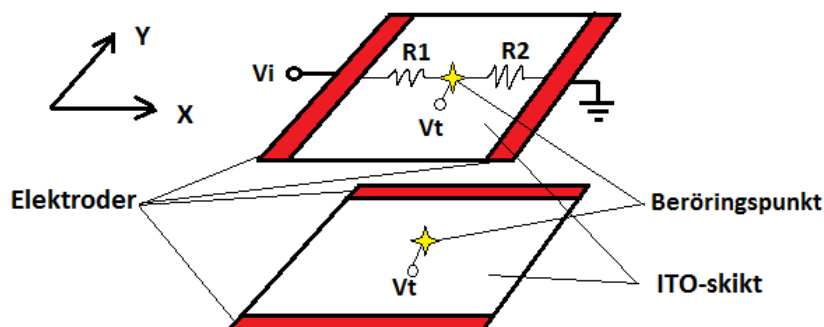
2.1.1 Uppbyggnad

Den resistiva sensorn består av två från varandra åtskiljda ytor, varav båda är täckta med ett tunt lager av halvledaren Indium Tenn Oxid (ITO). Den undre ytan är vanligtvis tillverkad av en hållbar och genomskinlig isolator (exempelvis glas). Däremot är den övre ytan av ett mera flexibelt material, eftersom den måste böja sig vid beröring för att få kontakt med den undre plattan. För att åtskilja ITO-hinnorna från varandra kan en isolator placeras i lufttrummet mellan de två skikten. Denna åtskiljning åstadkoms exempelvis med ett ihåligt membran eller små transparenta sfäriska isolatorer (figur 3). [4]



Figur 3. Ett genomsnitt av den resistiva pekskärmen. De ledande ITO-skikten bildar en sluten krets vid beröring av den övre, skyddande ytan. Isolatorer placerade med lämpliga mellanrum i luftgränsskiktet mellan membranerna förhindrar oönskad kontakt mellan det övre och undre skiktet. Figuren baserar sig på patentritningarna i [5].

En resistiv sensor kan byggas på två olika sätt. I det enklare fallet fästs två elektroder på motsatta sidor av den undre och övre ITO-hinnan. Sedan placeras skikten vinkelräta mot varandra, så att de utgör ett x-y-koordinatplan (figur 4). För att bestämma beröringspunktens x-koordinat, appliceras en spänning (V_i) över den övre skivan, varefter spänningen vid beröringspunkten (V_t) avläses i den undre skivan. För bestämningen av y-koordinatet utförs samma operation - endast skivornas roller byts. [6]

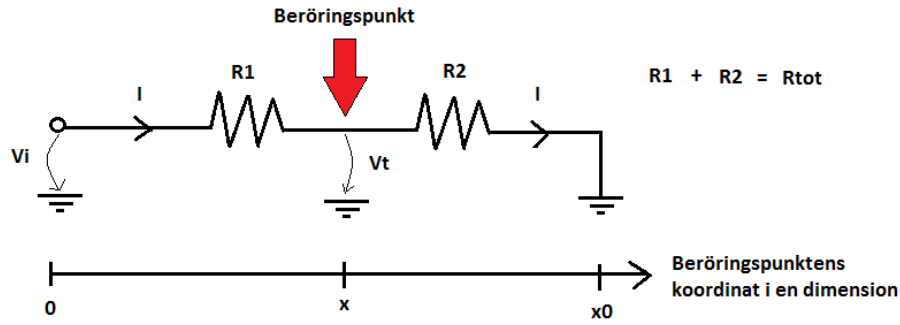


Figur 4. X-y-koordinatsystemets uppbyggnad hos en resistiv sensor. Beröringspunktens x-koordinat bestäms genom att mäta potentialen V_t av den undre skivan, medan den övre skivans ena sida kopplas till potentialen V_i , och den andra sidan jordas. Figuren baserar sig på Andrew Hsus originalritning i [7].

Den ovannämnda strukturen utnyttjar sammanlagt fyra ledningstrådar - en för varje elektrod – varav benämningen *four-wire*-teknologi. Det andra sättet att konstruera en resistiv pekskärm är med fem ledningstrådar (*five-wire*). Denna sensor är uppbyggd så att den övre plattan har endast en ledningstråd, medan den undre har fyra. Vid beröring leds en signal från det övre till det undre ITO-skiktets alla hörn. Därefter kan beröringspunktens koordinater bestämmas utgående från de uppmätta strömstyrkorna. [8]

2.1.2 Bestämmande av beröringskoordinater

Till följande granskas bestämmandet av x-koordinatet hos en resistiv sensor som använder fyra ledningstrådar. I en ekvivalentkrets (figur 5) kan den övre skivans elektriska resistivitet avbildas med resistorerna R_1 och R_2 . På motsvarande sätt är hela skivans resistans summan av de seriekopplade resistorerna, R_{tot} .



Figur 5. En förenklad DC-ekvivalentkrets för bestämmandet av x-koordinaten. Vid beröringspunkten x kan spänningsfallet V_t mätas. x_0 är avståndet mellan ITO-hinnans elektroder och V_i är den operativa spänningen. För y-koordinaten gäller samma krets - endast symbolerna och värdena ändras. [6].

I idealfallet är ITO-skiktet homogent, vilket innebär att resistansen ökar linjärt längs med beröringsytan [6]. Under dessa antaganden kan ett enkelt samband mellan beröringspunktens relativa avstånd från elektroden, och den ekvivalenta resistansen skrivas ut som

$$R_1 = \frac{x}{x_0} * R_{tot}. \quad (1)$$

Genom en kretsanalys av figur 5, kan följande uttryck härledas för spänningsdivisionen i kretsen:

$$V_t = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_i. \quad (2)$$

Genom att kombinera ekvationerna (1) och (2) samt genom att utnyttja Ohms lag, kan x-koordinaten uttryckas med hjälp av spänningarna genom följande samband:

$$x = \frac{V_i - V_t}{V_i} * x_0. \quad (3)$$

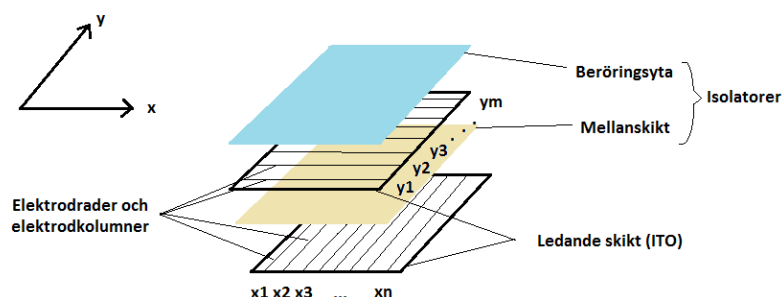
Ett uttryck för y-koordinaten kan härledas enligt samma princip, dvs. x och x_0 ersätts av y och y_0 i ekvation (3), vilket ger den ursprungliga beröringspunktens andra koordinat.

2.2 Kapacitiv

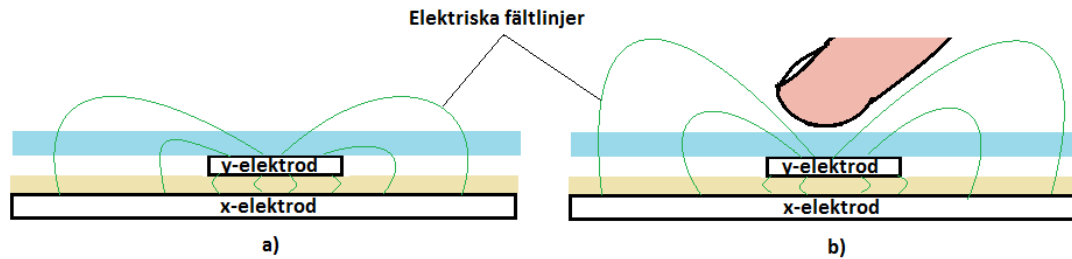
Kapacitiva pekskärmtsteknologier kan indelas i två huvudgrupper: projicerat-kapacitiva (*projected-capacitance* eller *absolute-capacitance*) och ytkapacitiva (*surface-capacitance*) teknologier. Projicerat-kapacitans kan vidare indelas i två undergrupper: själv- och ömsesidig-kapacitans (*self-* och *mutual-capacitance*). Numera är dock begreppen kapacitiv och projicerat-kapacitiv så gott som synonymer med varandra [3]. Följaktligen kommer ytkapacitiva sensorer inte att behandlas desto mer i arbetet. Ovannämnda (även ytkapacitiva) pekskärmtsteknologier utnyttjar i grund och botten samma fysikaliska fenomen, vilket innebär att kunskap i en kapacitiv teknologi underlättar förståendet av de övriga teknologierna. Således behandlar detta kapitel enbart projicerat-kapacitiva sensorer. En närmare jämförelse av de olika kapacitiva sensortyperna presenteras i kapitel 3.

2.2.1 Uppbyggnad

Liksom i den resistiva sensorn används Indium Tenn Oxid ofta också i kapacitiva sensorer p.g.a. sin optiska transparens och sina goda halvledargenskaper [9]. Den projicerat-kapacitiva sensorn byggs upp av två separerade ITO-skikt med elektroder i rader och kolumner vinkelräta mot varandra (figur 6). Skärningspunkterna mellan raderna och kolumnerna bildar små kondensatorer med approximativt statiska elektriska fält mellan dem. Om ett oskyddat finger med en egen laddning närmar sig en sådan skärningspunkt, förvrängs det elektriska fältet vid beröringsplatsen från sitt stationära tillstånd (figur 7). Förändringen i elfältet registreras i sin tur av elektroder nära beröringspunkten, och således kan punktens koordinat bestämmas av en tillkopplad signalprocessor. [10]



Figur 6. Uppbyggnaden av en kapacitiv sensor. En beröringshändelse registreras av några av de indexerade x- och y-elektroder. Från dessa data kan beröringspunktens koordinater bestämmas. Figuren baserar sig på Barret & Omotes originalfigur [10].



Figur 7. Förändringen av kapacitansen vid beröringspunkten. Det elektriska fältet vid skärningspunkten av x- och y-elektroden är i sitt stationära tillstånd i a). Då ett (laddat) finger förs nära elektroderna i b), "projiceras" elfältet utanför beröringsytan – därav namnet projicerad-kapacitans. [3]

2.2.2 Registrering av beröring

Till följande granskas en förenklad fysikalisk modell av en beröringshändelse på en kapacitiv sensor. Enligt Ohms allmänna lag är den effektiva strömmen genom en kondensator direkt proportionell mot kapacitansen. Då I och U är de effektiva medelvärden av (AC-) strömmen genom och spänningen över kondensatorn, gäller

$$I = U * Z_c = U * j * \omega * C. \quad (4)$$

Om fingret och beröringsytan av den kapacitiva sensorn approximeras som parallella kondensatorskivor, beskrivs kapacitansen för den bildade skivkondensatorn av

$$C = \frac{\epsilon_r * A}{d}. \quad (5)$$

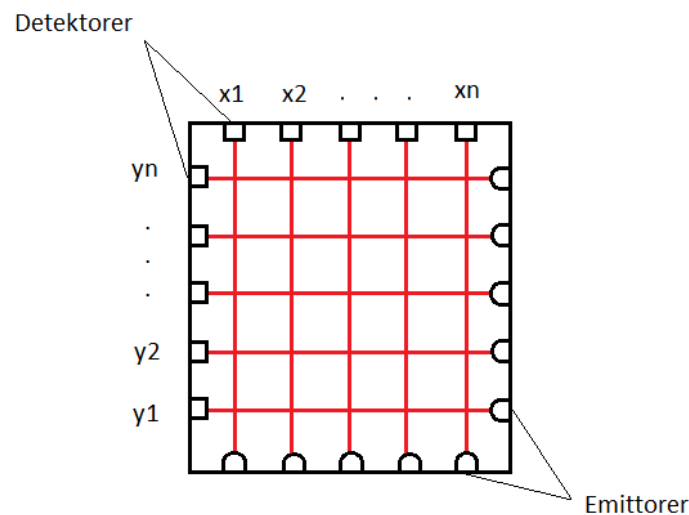
Av ekvation (5) framgår, att kapacitansen ökar då antingen beröringsytan mellan fingret och pekskärmen ökar (A), eller då avståndet mellan dem minskar (d). Enligt ekvation (4), har denna tillökning av kapacitans ett direkt samband med en större signal i de rad- och kolumnelektroder som ligger i närheten av beröringspunkten. [11]

2.3 Optisk

Optiska sensorer kan grovt klassas enligt de funktionsprinciper som ligger till grund för teknologierna. I den ena metoden konstrueras en matris av infraröda strålar, medan i den andra registreras ljusets spridning med hjälp av ljuskänsliga sensorer eller kameror. Ett exempel på den senare metoden behandlas i avsnitt 2.3.2.

2.3.1 Infraröd matris

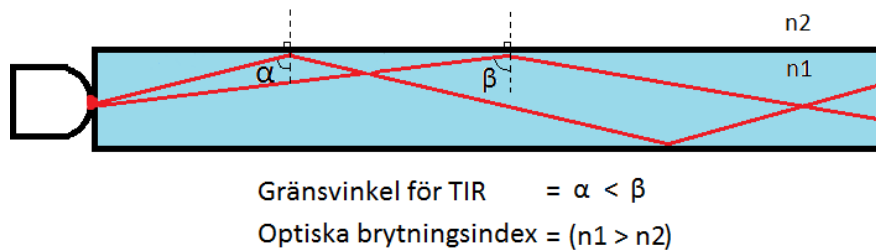
Tanken bakom den infraröda matrisen är mycket enkel - troligvis därför är den också en av de först uppfunna beröringsavkännande teknologierna [12]. Idén är att bilda ett koordinatsystem av optiska avsändare och mottagare. Den resulterande matrisen består av rader och kolumner av infraröda ljusstrålar, vars propagering avbryts då de möter ett objekt i sin väg (t.ex. ett finger) [13]. De avbrutna strålarna registreras av fotoreceptorerna i detektorändan, och ur dessa data kan koordinaten för beröringspunkten bestämmas. Ett exempel på uppbyggnaden av en infraröd matris förevisas i figur 8.



Figur 8. En matris uppbyggd av infraröda ljusstrålar. Vid en beröringshändelse avbryts en eller flere av x-y-strålparens optiska kontakt mellan emittor och detektor.

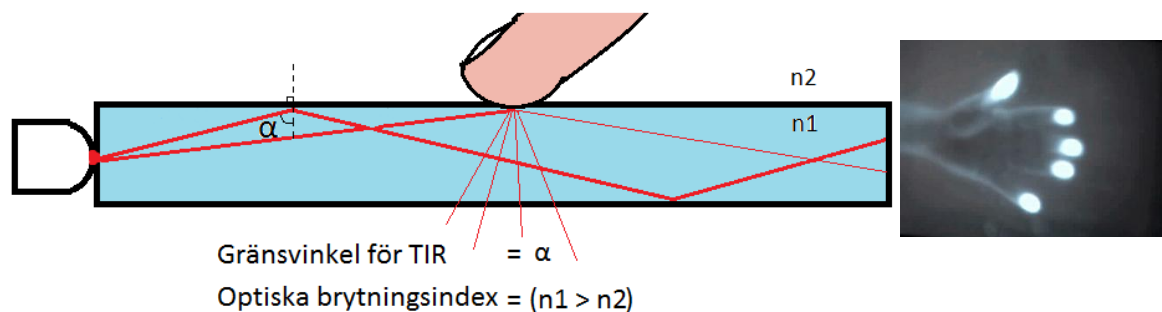
2.3.2 Frustrerad total intern reflektion

Den andra typen av optiska sensorer är visionsbaserade (*vision-based*) och utnyttjar ofta bildprocesseringstekniker för igenkännandet av beröringsobjekt. En av dessa visionsbaserade teknologier utnyttjar fenomenet ”frustrerad total intern reflektion” (*Frustrated Total Internal Reflection = FTIR*). Principen för FTIR är densamma som i optiska fibrer, dvs. en ljuskälla (vanligen infrarött ljus) belyser kärnan av ett optiskt transparent material, och vid en kritisk infallsvinkel förblir ljusstrålarna fångslade i propageringsmediet (figur 9).



Figur 9. Total intern reflektion (TIR). TIR sker för alla infallsvinklar större än α då ljuset möter gränsskiktet mellan ett optiskt tätare (n_1) och tunnare (n_2) material.

När ett objekt kommer i kontakt med beröringsytan, sker TIR inte längre, utan en del av ljuset reflekteras, och en del absorberas av föremålet vid beröringspunkten [14]. Detta fenomen kallas frustrerad total intern reflektion, och illustreras närmare i figur 10. Det nedåtspridda ljuset vid fingret i figuren registreras av infraröda receptorer (kameror) belägna under beröringsytan. Ur den infraröda bilden kan sedan beröringskoordinaterna tolkas via bildprocessering.



Figur 10. Frustrerad total intern reflektion (FTIR). Till vänster: vid FTIR reflekteras inte allt ljus internt, utan en del sprids ur propageringsmediet och en del absorberas av beröringsföremålet. Till höger: en verklig infraröd bild på FTIR-spridning. [14]

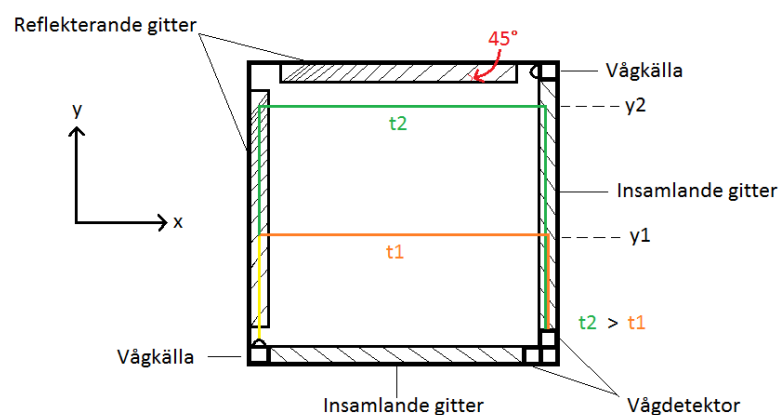
2.4 Akustisk

Benämningen akustisk pekskärm kan vara något missledande. I praktiken utnyttjar akustiska beröringsavkännande sensorer ytvågor med mycket höga frekvenser (runt 5.5 Mhz [15]), och fastän frekvensområdet klassifieras som ultraljud, associeras termen akustisk ofta med frekvenser närmare hörselområdet (ungefär 20-20 000 Hz). Hur som helst är den använda frekvensen inte central för förståelsen av den akustiska teknologins grundprincip. Däremot är det skäl att förstå att vågorna som diskuteras till följande är materiavågor - alltså behöver de ett medium för att propagera.

2.4.1 Uppbyggnad

Den ursprungliga akustiska ytvågssensorn (*Surface Acoustic Wave* = SAW) hade en liknande uppbyggnad som den infraröda matrisen i stycke 2.3.1 [15], dvs. flera emittorer och detektorer radades parvis upp på koordinataxlarna, och genom att granska signalen mellan varje omvandlarpar, kunde beröringspunktens koordinater fastställas. Senare teknologiutvecklingar minskade behovet av omvandlarparen till två - på bekostnaden av en mer avancerad signalbehandling i detektorändan. Den resulterande teknologin benämns allmänt SAW och uppfattas numera som synonym med akustisk ytvågssensor.

För att två emittorer och receptorer skall kunna täcka ett helt koordinatfält, har SAW-teknologin en samling av reflektorer på sidorna av beröringsytan. Dessa våggitter sprider ut ytvågorna på emittorsidorna och samlar in dem på detektorsidorna. Eftersom de vid olika skeden reflekterade vågorna måste propagera olika långa sträckor, svarar varje tidpunkt i vågdetektorns indata mot en viss x- eller y-koordinat (jämför propageringstiderna t_1 och t_2 i figur 11). [16]

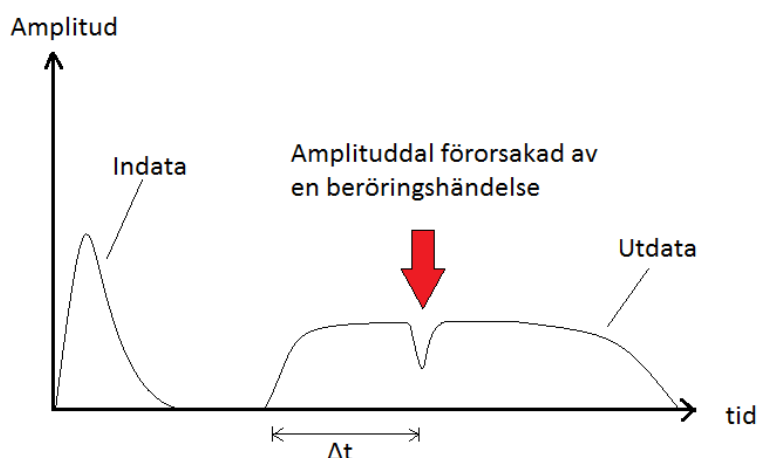


Figur 11. En SAW-sensor. Ytvågen reflekteras 90° vid olika punkter i gittren. Således motsvarar varje endimensionell koordinat en tidsfördröjd komponent av den ursprungliga signalen. Figuren baserar sig på Robert Adlers ursprungliga patentritningar [16].

2.4.2 Registrering av beröring

Eftersom föremålet som berör pekskärmen absorberar en del av ytvågen, syns en beröringshändelse i receptorändans signal som en amplituddal vid en specifik tidpunkt [16]. Beröringspunkten kan sedan bestämmas, t.ex. genom att de teoretiska

propageringstiderna för diskreta reflektionspunkter jämförs med de uppmätta tiderna (figur 12).



Figur 12. In- och utdata-signalerna hos en SAW-sensor. En puls skickas ut från någondera vågkällan i figur 11. Utdata bildas av indatas fördröjda reflektioner, vilket betyder att amplituddalen vid (den relativa) tiden Δt direkt motsvaras av en x- eller y-koordinat. Figuren baserar sig på *Robert Adlers* ursprungliga patentritningar [16].

2.4.3 Reflektionsgitter

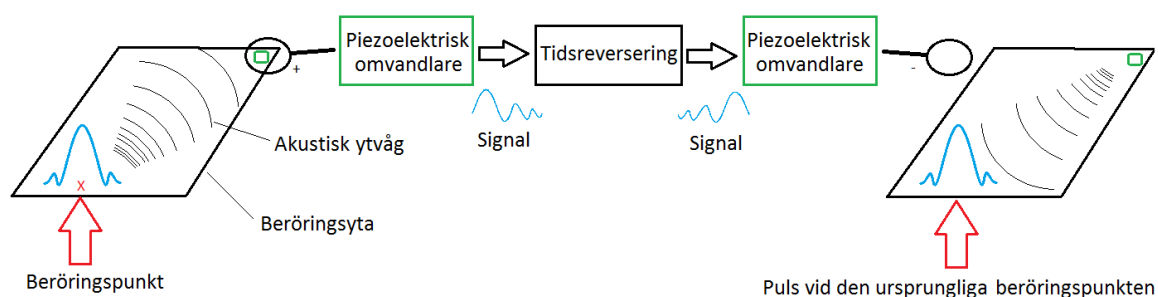
För att underlätta beröringsavkänning är det önskvärt att amplituderna vid olika tidpunkter i utdata är på samma nivå (figur 12). Detta sker dock inte automatiskt, eftersom vågor som propagerar olika långa sträckor försvagas i olika grad. Enligt den enklaste modellen minskar ytvågornas amplituder exponentiellt med propageringssträckan [16]. En SAW-sensor uppbyggd utan beaktande av detta skulle leda till en kraftigt avtagande signal i receptorändan, vilket i sin tur skulle försvåra bestämmandet av beröringskoordinaterna.

Den moderna SAW-sensors uppfinnare *Robert Adler* löste problemet med förstärkningsskillnader i utdata genom att variera reflektionsgittrets reflektionsgradient. Ju längre bort från vågkällan indatasignalen rörde sig, desto tätare placerade han gittrets reflekterande element, och åstadkom således en plan utdatasignal lik den som illustreras i figur 12. *Adlers* gittret är uppbyggt så att mindre av ytvågens energi reflekteras nära källan än i gittrets slutända. På detta sätt kompenseras den högre avståndsförlusten av en mindre reflektionsförlust för signaler som måste propagera längre sträckor. Det inversa gäller för signaler som reflekteras nära emittorn. [16]

2.4.4 Tidsreverserad pulsigenkänning

I samband med den traditionella SAW-teknologin är det skäl att nämna en nyhet inom akustiska sensorer, nämligen akustisk pulsigenkänning (*Acoustic Pulse Recognition* = *APR*). APR har under de senaste åren utvecklats till ett kommersiellt giltigt alternativ till de andra beröringsteknologierna på grund en ökad tillgång till effektiva signalbehandlingsprocessorer [17].

Liksom SAW bygger APR på avkännande av materiavågor. Skillnaden mellan teknologierna är att aktiva vågemittorer inte behövs i APR - istället registrerar piezoelektriska element beröringsytans vibrationer, som uppstår vid beröringshändelser. Detektorerna vid beröringsytans sidor omvandlar de mekaniska vågorna till elektriska signaler, som svarar mot ett unikt koordinatpar. I teorin kunde dessa elektriska signaler reverseras i tiden och skickas ut som akustiska ytvågor, vilket skulle leda till en energipuls vid beröringspunkten (figur 13). I praktiken finns dock inget behov för detta, eftersom de uppmätta signalerna redan innehåller all nödvändig information. Benämningen "tidsreverserad pulsigenkänning" (*time reversal acoustics*) används ändå ibland för att beskriva grundtanken bakom APR. [17]



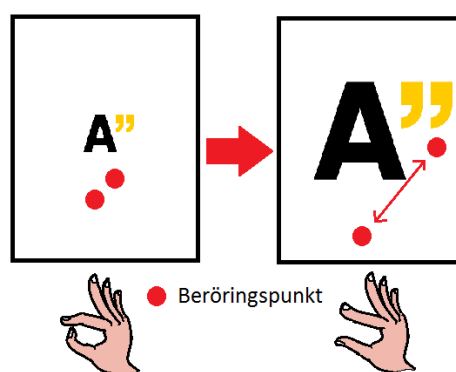
Figur 1. Tidsreversering av en akustisk puls. Beröring av sensorytan ger upphov till en akustisk ytvåg som registreras av piezoelektriska element vid beröringsytans sidor. I teorin kunde den uppmätta signalen reverseras i tiden ("spelas baklänges") och vidare omvandlas till en ytvåg, vilket skulle resultera i en puls identisk med den akustiska våg, som den ursprungliga beröringen gav upphov till. [17]

3 Jämförelse och tillämpningsområden

I kapitel 2 presenterades de teknologiska funktionsprinciperna för de centralaste beröringsgränssnitten, medan ingen ställning togs till potentiella tillämpningsområden. Varje beröringsteknologi har dock sina för- och nackdelar. I detta kapitel jämförs pekskärms teknologier med varandra utifrån de väsentligaste parametrarna (registrering av flera beröringspunkter, beröringsmedium och störningskällor, energiförbrukning mm.) och slutligen utvärderas de lämpligaste applikationsområdena för respektive teknologi. Kapitlet sammanfattas i tabell 1 på sida 20.

3.1 Registrering av flera samtidiga beröringspunkter

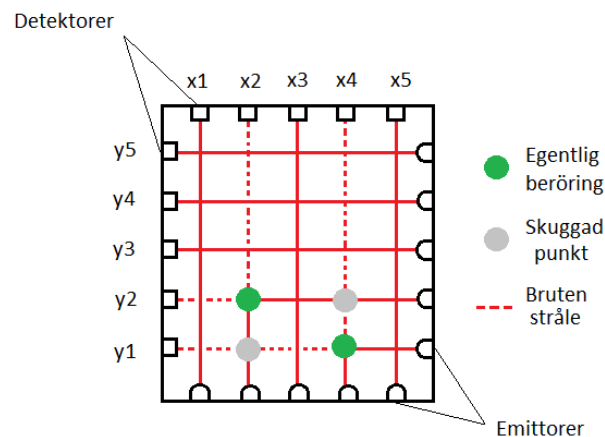
Den huvudsakliga orsaken till pekskärmars popularitet är de intuitiva beröringsgesterna som gränssnittet tillåter. Många gester kräver en registrering av flera samtidiga beröringspunkter, alltså bör pekskärmen stöda *multi-touch*. Ett exempel på en allmänt känd *multi-touch*-gest är den så kallade ”nyp”-gesten, där två beröringspunkter närmar sig eller avlägsnar sig från varandra. Gesten används vanligtvis för att zooma vyn in och ut (figur 14).



Figur 14. Nyp-gesten. Nyp-gesten är ett av de enklaste exemplen på en pekskärmsgest som utnyttjar flera samtidiga beröringspunkter. Rörelsen används ofta för att zoomning.

De allra flesta teknologier som presenterades i kapitel 2 har tillämpningar som stöder flera samtidiga beröringar. Trots det lämpar sig vissa av dem bättre för *multi-touch* än andra. Sensorer med matrisstruktur (t.ex. infraröd och själv-kapacitiv) har en

inbyggd svårighet att känna igen flera samtidiga beröringar p.g.a. skuggning (*ghosting*). Vid skuggning är beröringspunkterna inte längre entydiga, eftersom detektorsignalen har kunnat uppstå på mer än ett sätt (figur 15). Vanligen är skuggning värst för närliggande beröringar, och fenomenet förvärras då beröringspunkterna ökar.



Figur 15. Skuggning. I exemplets infraröda matris registrerar detektorerna y_1 , y_2 , x_2 och x_4 de brutna ljusstrålarna. Eftersom signalprocessorn inte har tillräckligt information om vilka av koordinatparen som hör ihop, kan de två egentliga beröringspunkterna inte exakt bestämmas. [3]

Beröringsteknologierna som diskuteras i detta kandidatarbete, kan indelas i sådana som stöder *multi-touch* problemfritt och sådana som lider av skuggning. Till den förstnämnda gruppen hör enbart visionsbaserade optiska (FTIR) och projicerat-kapacitiva teknologier. Specifikare sagt stöder inte själv-kapacitiva, utan enbart ömsesidigt-kapacitiva sensorer *multi-touch*. I ömsesidig-kapacitans mäts den relativa kapacitansförändringen mellan elektroder, vilket skapar förutsättningen för avkännande av flera samtidiga beröringspunkter [3]. Exempelvis *Apple* använder ömsesidigt-kapacitiva sensorer i sina produkter och utlovar stöd för upp till 15 samtidiga beröringspunkter [18].

3.2 Beröringsmedium och störningskällor

Fastän beröringskontroll är gemensamt för alla pekskärmar, finns det skillnader i beröringsmedierna som stöds. De främsta undantagen utgörs av kapacitiva och SAW-teknologier.

Eftersom kapacitiva sensorer avkänner elektriska störningar (figur 7), måste det störande föremålet enligt definition ha en egen laddning. Det intuitiva beröringsobjektet är fingret, vilket har lett till att dagens kapacitiva sensorer är kalibrerade med hänsyn till människofingrets naturliga elektriska laddning. Följaktligen kan kapacitiva pekskärmar inte i praktiken användas med oladdade objekt, som exempelvis stylusar eller handskar. Denna begränsning är å ena sidan kapacitiva sensorers största nackdel, å andra sidan en fördel då man beaktar det minskade antalet potentiella störningskällor. Då det gäller godtyckliga beröringsmedium, är SAW-sensorer inte lika begränsade som kapacitiva sensorer. På grund av teknologins funktionsprincip bör dock beröringsobjektet absorbera ultraljud för att beröringen skall registreras korrekt. Sålunda måste föremålet vara av något mjukt och akustiskt absorberande material [3].

Traditionellt är ytvågorna i SAW-sensorer så kallade Rayleigh-vågor. Med Rayleigh-vågor avses materiavågor med både en vågrät och en lodrät komponent. Problemet med vågor av denna typ är att de är känsliga för dämpning. Speciellt den lodräta komponenten försvagas avsevärt, då en Rayleigh-våg kommer i kontakt med ett oönskat medium, t.ex. vatten [19]. SAW-sensorer kan dock göras motståndskraftigare mot störningar genom att använda horisontellt polariserade Love-vågor. Experimentella resultat från bl.a. *Takeuchi et al* [19] påvisar hur Love-vågor gör det möjligt att skilja mellan önskade och oönskade beröringsobjekt – något som i samma situation kanske inte vore möjligt med Rayleigh-vågor.

Resistiva, optiska och APR-sensorer kan däremot beröras av godtyckliga föremål, fastän dessa sensorer också registrerar oönskade beröringar lättare än andra teknologier. Optiska infraröda sensorer är dessutom benägna att motta störningar från andra IR-källor. Det givetvis främsta exemplet på en sådan störningskälla är solen.

3.3 Optisk transparens

Även om Indium Tenn Oxid har bra optisk transparens för en halvledare, uppstår det alltid överföringsförluster då ljuset från en LCD-skärm måste propagera genom ett eller flera ITO-skikt. Följaktligen har teknologier som använder sig av materialet en

sämre optisk transparens än teknologier som inte gör det. Såsom det framgick av delkapitlen 2.1 och 2.2 är det främst resistiva och kapacitiva sensorer som kräver ITO-hinnor mellan bildskärmen och beröringsytan. Därmed har övriga pekskärms teknologier vanligen en bättre genomskinlighet inom det synliga ljusets spektrum än resistiva och kapacitiva teknologier.

3.4 Hållbarhet

Förutom optisk transparens är även dålig hållbarhet en nackdel med resistiva sensorer. Endast resistiva pekskärmar har rörliga delar, vilket utsätter teknologin för mekaniskt slitage. Speciellt tillämpningen med fyra ledningstrådar (se avsnitt 2.1.1) lider av förslitning, eftersom den översta beröringsytan måste böja sig vid varje beröring. Problemet har delvis lösts i resistiva sensorer med fem ledningstrådar: t.ex. pekskärms tillverkaren *3G Technology Inc.* lovar upp till 35 gånger längre livstid för sina femtrådssensorer än för sina fyrtrådssensorer [20]. Högre tillverkningskostnader är dock det pris som betalas för den ökade hållbarheten. Eftersom de övriga pekskärms typerna har fasta beröringsytor kan de i teorin konstrueras hållbarare än resistiva pekskärmar. I praktiken bestäms dock den slutliga hållbarheten av applikationsområdet, exempelvis skyddas ofta pekskärmar på allmänna platser emot vandalism genom användningen av förstärkt glas [21].

3.5 Energiförbrukning

Resistiva och APR-sensorer är de energieffektivaste teknologierna på marknaden just nu, på grund av att de använder energi endast vid beröringshändelser. Eftersom de ledande skikten i resistiva pekskärmar är ifrånkopplade från varandra mellan beröringar, leds en ström i sensorn endast då en sluten krets bildas mellan ITO-hinnorna. På ett analogt sätt kräver APR inga aktiva avsändare utan endast passiva mottagare för att omvandla mekaniska ytvågor till elektriska signaler.

Energiförbrukningen för de övriga teknologierna kan anses proportionellt följa koordinaternas uppdateringsfrekvens, dvs. hur ofta indata avläses. Den övre gränsen

för frekvensen bestäms givetvis av signalprocesseringskapaciteten, medan den undre gränsen kan anpassas till den ifrågavarande applikationen. Troligtvis bestämmer människans reaktionshastighet i många fall den slutliga frekvensen, vilket avskaffar behovet av kontinuerlig avsändning och mottagning. Energikonsumtionen förblir ändå på en högre nivå än för resistiva och APR-teknologier.

I allmänhet är optiska teknologier de största energiförbrukarna. Bland annat infraröda matriser kräver ett stort fält av emittor-detektor-par, som alla förbrukar elektricitet. På motsvarande vis kräver kamerabaserade optiska sensorer (FTIR) stora flöden av indata, från vilka relativa förändringar (dvs. beröringar) registreras. Dessutom kräver bildbehandling i många fall mer processeringskapacitet, och således mer ström, än enkel signalbehandling.

Energiförbrukningen för kapacitiva och SAW-sensorer ligger någonstans mellan de ovannämnda ytterligheterna [3]. SAW-sensorernas huvudsakliga fördel jämfört med infraröda matriser är behovet av endast två omvandlarpar, vilket avsevärt driver ner energiförbrukningen.

3.6 Tillverkningskostnad

Problemet med den ursprungliga akustiska pekskärmen (se stycke 2.4.1) var densamma som med den infraröda matrisen: ju fler elektriska omvandlare, desto högre tillverkningskostnader. Därför var tidiga ytvågssensorer inte kommersiellt lönsamma, och därför är moderna IR-sensorer dyra att framställa [12]. Däremot behöver den förbättrade SAW-sensorn bara fyra omvandlare [16], vilket leder till märkbara komponentinbesparingar och lägre tillverkningskostnader.

Ett billigt pris kan också kompensera för underlägsna tekniska egenskaper. Detta kan sägas vara fallet för resistiva sensorer, som under åren har hunnit genomgå flera produktutvecklingscykler, och som därmed länge har dominerat pekskrämsmarknaden med låga tillverkningskostnader. Fastän resistiv teknologi fortsättningsvis är det förmånligaste alternativet, har prisklyftan mellan resistiv och övrig pekskrämsteknologi minskat gradvis. Detta är en följd av att ny och dyr teknologi har en tendens att så småningom etablera sig på marknaden och gå ner i pris.

3.7 Tillämpningsområden

År 2010 utgjorde resistiva och kapacitiva teknologier sammanlagt 96 % av pekskrmsmarknadens volymomsättning [3]. Resistiv teknologi hade redan länge varit det mest utspridda alternativet - främst p.g.a. förmånliga tillverkningskostnader. Situationen har emellertid ändrats, och för första gången på 40 år har kapacitiva pekskrmar en större marknadsandel än resistiva [3]. En orsak till kapacitiva teknologiers framgång är den explosionsartade ökningen i efterfrågan på pekskrmar inom konsumentelektronik. I dag tillverkar en avsevärd andel av de ledande mobil- och högteknologiföretagen smarttelefoner och tabletdatorer med projicerat-kapacitiva sensorer. Exempelvis *Apple* använder enbart denna teknologi i sina *Macbook*, *iPod*, *iPhone* och *iPad*-produkter (figur 16).



Figur 16. Apple-produkter. Endast äpplet i figuren använder inte projicerad-kapacitans. [22] [23]

Medan resistiva och kapacitiva teknologier dominerar konsumentmarknaden, har övriga pekskrmsmeknologier hittat nischer för sig inom diverse B2B-segment (*Business to Business*). SAW-teknologin är ett bra sådant exempel: SAW-sensorer föredras i situationer, där hållbarhet och optisk klarhet är viktiga. Således är typiska tillämpningsområden för teknologin självservice-kiosker, spelmaskiner och andra apparater på allmänna platser.

En betydande fördel med optiska sensorer är att de lätt kan skalas till stora ytor [1]. Följaktligen använder en majoritet av över 15" pekskrmar optisk teknologi [1]. Speciellt visionsbaserade teknologier (t.ex. FTIR) föredras för stora beröringsytor då goda *multi-touch*-egenskaper och bra optisk transparens behövs. Nackdelen med dessa sensorer är att de kräver en del utrymme på djupet tack vare IR-källorna och kamerorna. Men eftersom det inte ställs några höga krav på mobilitet och slankhet hos

stora ytor, medför de extra utrymskraven sällan problem. Således är typiska tillämpningsområden för optiska pekskärmar exempelvis interaktiva reklamtavlor och stora ytor för presentations-, utbildnings- eller underhållningssyften [3]. Exempelen i figur 17 illustrerar några sådana applikationer.



Figur 17. Tillämpningar på optisk teknologi. Från vänster till höger: *Microsoft Surface 2.0* och *SMART Board 885ix* är visionsbaserade, medan *SmithsonMartin Emulator DVS* har IR-matrisstruktur. [24] [25] [26]

Fastän resistiva och IR-sensorer på flera sätt är underlägsna de övriga pekskärmsteknologierna, används de i tämligen olika industrier för varierande ändamål. Dessa två sensortyper har mycket enkla strukturer, vilket troligtvis är orsaken till att de tillhör de först uppfunna pekskärmsteknologierna. Följaktligen förknippas de ofta också med pålitlighet och hållbarhet. Fastän resistiv och infraröd pekskärmsteknologi anses vara föråldrat, används bland annat resistiva sensorer fortfarande i allt från militära [27] till medicinska [28] applikationer.

Elo TouchSystems är för tillfället det enda företaget som tillverkar APR-sensorer (figur 18) [3] och således finns det få exempel på praktiska tillämpningar där APR skulle användas. Teknologin kunde dock i framtiden lämpa sig för mobila applikationer på grund av sin låga energiförbrukning.



Figur 18. Produktexempel på övriga pekskärmsteknologier. Från vänster till höger: *Nintendo 3DS* använder resistiv teknologi, *Lenovo A700 SAW-*, *Sony PRS-T1 IR-* och *Elo TouchSystems 2200L APR-*teknologi. [29] [30] [31] [32]

Tabell 1. Jämförelsetabell över de centralaste pekskärmtsteknologierna. [3] [21]

Typ	Teknologi	Multi-touch	Beröringsmedium	Optisk transparens	Energi-förbrukning	Marknadsandel (av den totala försäljningsvolymen år 2010)	Hållbarhet	Tillverknings-kostnad	Fördelar	Nackdelar	Segment*	Tillämpningsområden	Produktexempel
Resistiv	Resistiv - fyra ledningstrådar	Nej	godtyckligt	Låg	Låg	44 %	Låg	Låg	Förmånlig, Energieffektiv	Hållbarhet, ingen multi-touch	B2C, B2B (industri, service)	Mobiltelefoner, spelkonsoler, militära applikationer	Nintendo DS, Nokia N97, Samsung Jet S8000
	Resistiv - fem ledningstrådar	Nej	godtyckligt				Medelmåttlig	Medelmåttlig	Energieffektiv, förbättrad hållbarhet				
Kapacitiv	Ytkapacitans	Nej	finger	Medelmåttlig	Medelmåttlig	0,3 %	Medelmåttlig	Medelmåttlig	Slät och känslig beröringsyta	Måste beröras med fingret, kalibreringsdrift, ingen multi-touch	B2B (service, nöje)	Självservice-kiosker, spelmaskiner, bankautomater	Elo TouchSystems 1938L 19"
	Projicerad- (ömsesidig-) kapacitans	Ja	finger			52 %	Hög	Medelmåttlig	Multi-touch, marknadsledare	Måste beröras med fingret	B2C, B2B (service, nöje)	Smarttelefoner, tabletdatorer, spelmaskiner	iPhone, iPad, Samsung Galaxy, Nokia Lumia
Optisk	Infraröd matris	Nej (< 3)	godtyckligt	Hög	Hög	0,1 %	Hög	Hög	Pålitlighet, optisk transparens	Höga tillverkningskostnader, känslig för störningar	B2B (service, industri, nöje)	Digitala skyltar, kassaapparater, e-läsare	Sony Reader, Neonode, Smithsonian Martin Emulator
	Visionsbaserad (FTIR)	Ja	godtyckligt			0,2 %	Hög	Medelmåttlig	Multi-touch, Kan skalas till stora ytor, igenkänning av beröringsobjekt	Kräver utrymme på djupet, hög energiförbrukning	B2B (utbildning, reklam, nöje)	Stora interaktiva ytor (utbildningssyfte mm.)	Microsoft Surface, SMART board
Akustisk	SAW	Nej (< 3)	akustiskt absorberande (mjukt)		Medelmåttlig	0,5 %	Hög	Medelmåttlig	Optisk klarhet, hållbarhet	Kräver mjukt beröringsmedium, känslig för störningar	B2C, B2B (industri, service, nöje)	Självservice-kiosker, spelmaskiner, mobila apparater	Lenovo A700
	APR	Nej	godtyckligt		Låg		Hög	Hög	Energieffektiv, kräver inget specifikt beröringsmedium	Ny teknologi (kräver utveckling, få leverantörer), ingen multi-touch			Elo TouchSystems 1900L/2200L "Zero-Bezel"

*B2C = business to customer, B2B = business to business

4 Diskussion och framtida utvecklingar

Populariseringen av pekskärmsteknologi har gjort beröringsgränssnitt till en ny standard inom flera områden. Mobilbranschen, som stod för cirka 50 % av pekskärmsmarknadens totala omsättning år 2010 [33], är möjligen det främsta exemplet på en industri där så gott som alla stora tillverkare har gått över till beröringsgränssnitt. Det är inte svårt att föreställa sig varför, då de största fördelarna med pekskärmar tas i beaktande – som bäst är beröringsgränssnitt intuitiva och även roliga att använda. Det är dock inte bara mobilindustrin vars framtid ligger i pekskärmsteknologi. Tabletdatorer och andra bärbara datorer, som stod för ytterligare 30 % av den totala omsättningen [33], har likaså gått in i ett nytt skede, där tangentbord och musar småningom ersätts av finger. Beröringsgränssnitt har t.o.m. börjat dyka upp i stationära pc-inrättningar, och fastän etablerade kontrollmedier knappast fullständigt försvinner, kommer framtiden sannolikt att medföra en ny symbios mellan pekskärmar och traditionella indata-redskap. *Microsoft Windows 8*-operativsystemet är från början designat för att stöda både traditionell kontroll och pekkontroll [34], vilket kan tolkas som ett tecken på att den förutspådda hybrid-framtiden inte är så avlägsen (figur 19).



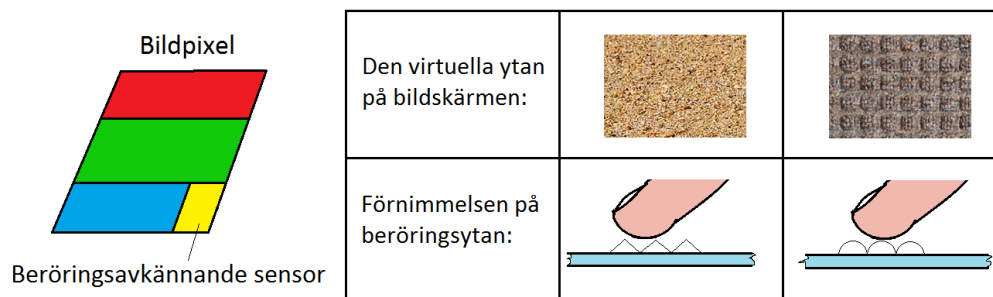
Figur 19. Microsoft Windows 8-operativsystemet. Windows 8 är från första början designat för att stöda flera olika plattformar - inklusive pekskärmar. [35]

I kampen mellan de olika pekskärmsteknologierna har projicerad-kapacitans ("pro-cap") framträtt som den främsta vinnaren. På fyra år (2006-2010) steg den totala årliga omsättningen för teknologin med 15 400 % - från USD 20 miljoner till USD 3,1 miljarder, vilket stod för 67 % av den totala omsättningen för hela industrin [33]. Det finns inga som helst tecken på att *pro-caps* framgång skulle avta i framtiden. Snöbollseffekten ser till att ju fler tillverkare övergår till projicerad-kapacitans, desto fler följer i fotspåren. Den till en början relativt dyra teknologin har emellertid blivit

billigare på grund av skaleffekter och ökad konkurrens. Dessa faktorer har ytterligare ökat *pro-caps* begärlighet. Framtida utvecklingar kan till och med övervinna teknologins inbyggda begränsningar. Vissa kapacitiva pekskärmar tillåter redan användningen av stylus [33], vilket har förutsättningar för att drastiskt öka precisionen i diverse uppgifter, t.ex. skrivandet. Även konduktiva handskar har nyligen gjort entré på marknaden [36].

Teknologiska framsteg inom skärmt teknik, vilka bland annat möjliggör den ytterst höga bildpunktstätheten (*pixel density*) hos tredje generationens *iPad* [37], öppnar också nya dörrar för pekskärms teknologi. Beröringsavkännande sensorer integrerade i bildpixlar (*in-cell touch sensors*) (figur 20) används redan av några få tillverkare, fastän teknologin ännu behöver tid för att mogna. Dessa sensorer använder i grund och botten samma principer för beröringsavkänning som resistiva, kapacitiva och optiska teknologier [3]. Således kan integrerade sensorer förbättra den optiska transparensen hos resistiva och kapacitiva pekskärmar, för vilka ITO-skikt mellan bildskärmen och beröringsytan inte längre behövs.

En annan intressant utveckling inom pekskrämsindustrin är så kallade haptiska teknologier (*haptics* eller *tactile feedback*), som strävar efter att simulera känslan av virtuella föremål på beröringsytan (figur 20). Genom haptisk respons kan användaren skilja mellan exempelvis släta och sträva objekt eller upphöjda tangenter projicerade på bildskärmen. Teknologin har möjligheten att likt pekskärmar ytterligare närma gränsskiktet mellan den naturliga och digitala världen. Som kuriositet kan nämnas att ett av de hittills mest lovande haptiska gränssnitten har skapats av det finska företaget *Senseg*. *Senseg* har planer på att lansera sin produkt redan i slutet av 2012 – förutsatt att de hittar en tillverkare för den tills det [38].



Figur 20. Framtiden för pekskärmar? Till vänster: en beröringsavkännande sensor integrerad i en bildpixel [3]. Till höger: haptiska tekniker kan simulera förmåttelser anknutna till händelser på bildskärmen.

5 Sammanfattning

I detta kandidatarbete presenterades de väsentligaste och mest etablerade pekskärmsteknologierna. Ytterligare jämfördes skillnader mellan teknologierna samt deras tillämpningsområden. Beröringsgränssnitt klassificerades grovt i fyra huvudgrupper enligt deras grundläggande funktionsprincip. Dessa fyra grupper var resistiva, kapacitiva, optiska och akustiska pekskärmsteknologier.

Resistiva sensorer byggs upp av två elektriskt ifrånkopplade ledarskikt, som bildar en slutna krets vid beröring av det yttre, böjliga skiktet. Det följaktliga spänningsfallet mäts i både x- och y-led för bestämningen av beröringskoordinaten. Resistiv teknologi har en mycket enkel uppbyggnad och ett lågt pris, vilket har ökat teknologins popularitet inom flera fält. Nackdelar med teknologin är ett bristfälligt stöd för *multi-touch*, en dålig optisk transparens och en begränsad beröringslivstid.

Projicerad-kapacitans är den främsta pekskärmsteknologin – inte bara bland kapacitiva, utan bland alla pekskärmssensorer. Liksom resistiv teknologi använder kapacitiv teknologi separerade halvledarskikt i sin uppbyggnad. Skillnaden mellan teknologierna är att kapacitiva sensorer mäter förändring i kapacitans, vilket betyder att de endast kan beröras av föremål med en elektrisk laddning likt människofingrets. Fördelar med kapacitiv teknologi är ett bra stöd för *multi-touch* och en vidsträckt utspriddhet, speciellt inom konsumentelektronik.

I arbetet indelades optiska teknologier i två grupper: traditionella infraröda och moderna visionsbaserade teknologier. Den förstnämnda gruppen består av sensorer med infraröd matrisstruktur, för vilka brutna ljusstrålar mellan omvandlarpar avgör beröringskoordinaterna. Fördelar är hållbarhet och optisk klarhet, medan nackdelar innefattar höga tillverkningskostnader och känslighet för störningar. Av visionsbaserade teknologier behandlades särskilt FTIR-sensorer, i vilka ljus sprids ur propageringsmediet då beröringsföremål rubbar totalreflektionstillståndet. Det utspridda ljuset registreras i regel av infraröda kameror, varefter beröringspunkterna och till och med beröringsföremålen kan bestämmas genom bildprocessering. Visionsbaserade sensorer kräver ofta mycket utrymme på djupet, vilket gör dem opraktiska för mobila applikationer. Däremot stöder visionsbaserade system *multi-*

touch utmärkt, och all optisk teknologi lämpar sig i allmänhet synnerligen väl för stora beröringsytor och skärmar.

Akustiska pekskärmar utgjorde den fjärde huvudgruppen i klassificeringen av pekskärms teknologier. Akustiska sensorer sänder ut och registrerar längs med beröringsytan propagerande materiavågor. Den huvudsakliga akustiska teknologin, SAW, registrerar beröringshändelser i utdata genom amplitudskillnader hos de tidsfördröjda indatasignalerna. SAW-sensorer är optiskt transparenta samt hållbara, och de lämpar sig därför för exempelvis beröringsanläggningar på allmänna platser. Största nackdelarna med SAW-teknologin är dess känslighet för ytorenheter (vatten, skråmor mm.), okänslighet för hårda beröringsobjekt och den relativt höga energiförbrukningen. Akustisk pulsigenkänning (APR) verkar lösa flera av SAW-sensorernas problem, men tills vidare har teknologin för få tillverkare för att allvarligt kunna konkurrera med de övriga pekskärms teknologier.

Till sist diskuterades nuvarande och framtida utvecklingar inom pekskärsbranschen. De senaste åren har fört med sig en enorm tillväxt i efterfrågan på pekskärmar, och som det ser ut nu kommer projicerad-kapacitans att fortsätta som marknadsledare - speciellt inom mobil konsumentelektronik. Då pekskärmar blir allmännare, kommer det att leda till att även interaktionsvanor med statiska hemdatorer påverkas av de intuitiva gester som beröringsgränssnitt tillåter. Dessutom medför fortsatta framsteg inom halvledartechnologi en allt tätare integrering av både beröringsavkännande sensorer och haptik i bildskärmar.

6 Källförteckning

- [1] G. Walker, "The Status of Touch On the Desktop & In Large-Format," NextWindow, Display Taiwan, 2010.
- [2] C. Radford, "Smartphones 2012," LazyTechGuys, 9 February 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.lazytechguys.com/news/158-million-smartphones-shipped-in-2011-and-its-winners/attachment/smartphones2012/>. [Hämtad 26 mars 2012].
- [3] G. Walker, "Short Course S-4: Fundamentals of Touch Technologies and Applications (v.1.1)," 15 maj 2011. [Online]. Tillgänglig: <http://www.walkermobile.com/PublishedMaterial.htm>. [Hämtad 18 februari 2012].
- [4] S. Eric, Z. Hong & G. Yi-sheng, "Sensing Contact with Analog Resistive Technology," Robotics Research Laboratory, Department of Computing Science, University of Alberta, Edmonton, Canada, 1999.
- [5] R. S. Cok, R. P. Bourdelais & C. J. Kaminsky, "Flexible resistive touch screen". United States Patent 7081888 , 25 juli 2006 .
- [6] R. Aguilar & G. Meijer, "Fast Interface Electronics for a Resistive Touch-Screen," Delft, Nederländerna, 2002 .
- [7] A. Hsu, "Choosing a touch technology for handheld system applications," EDN, 2009.
- [8] B. Ying-Wen & C. Chang-Yu, "Using Serial Resistors to Reduce the Power Consumption of Resistive Touch Panels," Department of Electronic Engineering, Fu Jen Catholic University, Taipei, Taiwan, 2007.
- [9] P. Krein & R. Meadows, "The Electroquasistatics of the Capacitive Touch," 1990.
- [10] G. Barrett & R. Omote, "Projected-Capacitive Touch Technology," 2010.
- [11] Z. Baharava & R. Kakaralab, "Capacitive touch sensing : Signal and image processing," Palo Alto, California, U.S.A. & Singapore, Singapore, 2011.
- [12] S. Bland, "A light touch: Optical materials," 2011.
- [13] R. W. Doering, "Infrared Touch Panel". Hayward, California, United States Patent 4868912, 19 september 1989.
- [14] S. Sandler, "Multi-touch blog," [Online]. Tillgänglig: <http://sethsandler.com/multitouch/ftir/>. [Hämtad 19 februari 2012].
- [15] J. Kent, M. Takeuchi & G. Laux, "Robert Adler's Touchscreen Inventions," 2007 IEEE Ultrasonics Symposium, s. 9-20 , Elo TouchSystems, a division of Tyco Electronics, Menlo Park, California, U.S.A., 2007.
- [16] R. Adler, "Tough control arrangement for graphics display apparatus". Northfield, Illinois, United States Patent 4700176, 13 oktober 1987.
- [17] J. Kent, "New Touch Technology from Time Reversal Acoustics: A History," 2010 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, Menlo Park, 2010.
- [18] G. Walker, "Information Display Online," Information Display, maj 2007. [Online]. Tillgänglig: <http://www.informationdisplay.org/issues/2007/05/art4/art4.htm>. [Hämtad 17

mars 2012].

- [19] M. Takeuchi, T. Gotsu, N. Fujita, P. Gomes, J. Kent & R. Alder, "Ultrasonic Attenuation In Acoustic Touch Panels," 2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control Joint 50th Anniversary Conference, Tamagawa University, Machida, Japan , 2004.
- [20] 3. T. Inc., "3G Technology Inc. - Touch panel products," [Online]. Tillgänglig: <http://www.3gi.com.tw/en/ProductInfo.asp?ID=20&gclid=CPm8mJzMoK4CFZlUmAod30g56g>. [Hämtad 18 mars 2012].
- [21] Elo TouchSystems, "Touchscreens and Components," Tyco Electronics Corporation, 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.elotouch.com/Products/Touchscreens/default.asp>. [Hämtad 23 april 2012].
- [22] Sovereign, Best Doctors, "An apple a day keeps the doctor away," [Online]. Tillgänglig: <https://www.sovereign.co.nz/prizedraw/>. [Hämtad 26 mars 2012].
- [23] Apple, "Macbook Pro," [Online]. Tillgänglig: <http://www.apple.com/macbookpro/>. [Hämtad 26 mars 2012].
- [24] L. Stott, "Microsoft Surface 2 SUR40 International CES "Best of Innovations 2012" award winner," Microsoft UK Faculty Connection, 22 januari 2012. [Online]. Tillgänglig: http://blogs.msdn.com/b/uk_faculty_connection/archive/2012/01/22/microsoft-surface-2-sur40-international-ces-best-of-innovations-2012-award-winner.aspx. [Hämtad 26 mars 2012].
- [25] SMART, "SMART Board 885ix interactive whiteboard system," [Online]. Tillgänglig: <http://smarttech.com/us/Solutions/Education+Solutions/Products+for+education/Interactive+whiteboards+and+displays/SMART+Board+interactive+whiteboards/885ix+for+education>. [Hämtad 26 mars 2012].
- [26] SmithsonMartin Inc., "Emulator Dual View System (DVS)," [Online]. Tillgänglig: <http://www.smithsonmartin.com/emulator-dvs/>. [Hämtad 26 mars 2012].
- [27] Rockwell Collins, "10.4" XGA Military Touch Screen Display Module," 2010. [Online]. Tillgänglig: <http://www.rockwellcollins.com/~media/Files/Unsecure/Products/Product%20Brochures/Optics/Optical%20Bonding/104%20XGA%20Military%20Training%20data%20sheet.aspx>. [Hämtad 21 mars 2012].
- [28] Pioneer POS, "17" CarisTouch : All-in-one for the Healthcare," 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.pioneerpos.com/caristouch-series.php>. [Hämtad 21 mars 2012].
- [29] Nintendo, "Real 3D Graphics. No Glasses Needed.," 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.nintendo.com/3ds/features>. [Hämtad 23 april 2012].
- [30] Lenovo, "IdeaCentre A Series all-in ones," 2012. [Online]. Tillgänglig: http://shop.lenovo.com/SEUILibrary/controller/e/fiind/LenovoPortal/en_FI/catalog.workflow:category.details?current-catalog-id=8297675DB7E041B2AC0B295BAA75EFE3¤t-category-id=9967E0CFE49E4283B292AC05A69D1D28&tabname=Gallery. [Hämtad 23 april 2012].

- [31] Sony, "PRS-T1: Maaailman kevyin e-kirjojen lukulaite," 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.sony.fi/product/rd-reader-ebook/prs-t1>. [Hämtad 23 april 2012].
- [32] Elo TouchSystems, "2200L 22-inch Desktop Touchmonitor," 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.elotouch.com/Products/LCDs/2200L/default.asp>. [Hämtad 23 april 2012].
- [33] G. Walker, "Seminar M-16: New Developments in Touch Technologies," 16 maj 2011. [Online]. Tillgänglig: <http://www.walkermobile.com/PublishedMaterial.htm>. [Hämtad 23 mars 2012].
- [34] Microsoft, "Windows 8 - Consumer preview," 2012. [Online]. Tillgänglig: http://windows.microsoft.com/en-US/windows-8/consumer-preview?ocid=O_WOL_W8P_OandO_Other_EN-US. [Hämtad 23 mars 2012].
- [35] S. Sinofsky, "Building Windows 8 - Scaling to different screens," Microsoft, 22 March 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://blogs.msdn.com/b/b8/archive/2012/03/21/scaling-to-different-screens.aspx>. [Hämtad 26 mars 2012].
- [36] D. Moren, "Four touchscreen-compatible gloves reviewed," Macworld, 5 januari 2011. [Online]. Tillgänglig: http://www.macworld.com/article/1156543/touchscreen_gloves_review.html. [Hämtad 24 mars 2012].
- [37] Apple, "The new iPad - It's brilliant. In every sense of the word.," 7 mars 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://www.apple.com/ipad/features/>. [Hämtad 24 mars 2012].
- [38] Senseg, "New Technology: Haptic Feedback for Touch Screens," Gamespot, 11 januari 2012. [Online]. Tillgänglig: <http://senseg.com/company/news>. [Hämtad 25 mars 2012].
- [39] K. Hong-Ki, L. Seunggun & Y. Kwang-Seok, "Capacitive tactile sensor array for touch screen application," Department of Electronic Engineering, Sogang University, Seoul, Republic of Korea, 2011.