Kodowanie i szyfrowanie sygnałów wizyjno-fonicznych

Opracowanie:
mgr inż. Andrzej Ciarkowski

Plan wykładu

- Szyfrowanie multimediów
- Ochrona praw autorskich
- Znakowanie wodne sygnałów cyfrowych

Zastosowania szyfrowania

Zastosowania szyfrowania w transmisji
i magazynowaniu danych multimedialnych:

- Ochrona prywatności w zastosowaniach typu VoIP (*Voice& Video over IP* – telefonia Internetowa, telekonferencje).
- Ochrona praw autorskich (i innych praw majątkowych) – telewizja cyfrowa (DVB), wideo na żądanie (VOD), filmy DVD i BD.
- Ochrona danych wrażliwych – dokumentacja medyczna.

Podstawowe pojęcia z dziedziny kryptografii

- Kryptosystem
- Plaintext
- Ciphertext
- Cipher
- Klucz
- Atak
- Kryptoanaliza

Cechy i wymagania kryptosystemu multimediów

- Niewielka złożoność kryptosystemu: znaczna ilość danych do przetworzenia w czasie rzeczywistym, realizacja w urządzeniach przenośnych, o niewielkiej mocy obliczeniowej i małym poborze prądu
- Niewielki wpływ szyfrowania na jakość kompresji
- Odporność na utraty danych (pakietów)

Cechy i wymagania kryptosystemu multimediów

- Skalowalność: adaptacja do różnych przepływności
- Wielopoziomowość: kolejne poziomy różniące się rozdzielczością, jakością itp.
- „Przezroczystość”: zgodność ze starszymi standardami/rozwiązaniami
- Dostęp swobodny do strumienia: przewijanie, zmiana punktu odtwarzania nie wymaga deszyfracji całego strumienia

Szyfrowanie a kompresja

3 podstawowe podejścia:

- Najpierw szyfrowanie, potem kompresja: olbrzymia złożoność (szyfrowanie wielokrotnie większego strumienia nieskompresowanego), wymagania względem kompresji – musi być bezstratna, aby potem dało się odszyfrować dane, podatność na ataki
- Najpierw kompresja, potem szyfrowanie: rozwiązanie aktualnie stosowane w transmisji czasu rzeczywistego, ale mało praktyczne w przypadku urządzeń przenośnych; podatność na ataki typu „known-plaintext";
- Zintegrowana kompresja/szyfrowanie: wymagane specjalne algorytmy kompresji, niekompatybilne z aktualnymi standardami, ale potencjalnie najlepsza efektywność

Szyfrowanie a kompresja

Podejścia niestandardowe:

- Szyfrowanie tylko części strumienia, reszta bezużyteczna bez części podstawowej – np. tylko ramki wideo typu I, ramki predykcyjne nieszyfrowane
- Szyfrowanie tylko określonych bitów

Szyfrowanie transmisji online

Protokoły RTP i SRTP

- Protokół RTP (*Realtime Transport Protocol*) jest standardowym medium wykorzystywanym w transmisji strumieni multimedialnych
- Typowe zastosowania: telefonia Internetowa (w połączeniu z SIP, Jingle lub IAX2), telewizja (w połączeniu z RTSP), monitoring
- Dane są kompresowane i dzielone na pakiety o określonym rozmiarze oraz opatrywane nagłówkami umożliwiającymi odtworzenie oryginalnego strumienia
- Istnieje rozszerzenie podstawowego protokołu RTP – SecureRTP, które umożliwia zastosowanie szyfrowania i kontroli poprawności pakietów

Realizacja szyfrowania i kontroli integralności w protokole SRTP

- Każdy skompresowany pakiet RTP jest szyfrowany osobno
- Stosowany jest szyfr DES w trybie CBC (CipherBlock Chaining), co umożliwia deszyfrację każdego pakietu bez znajomości poprzedzających
- Możliwe jest zaszyfrowanie całego pakietu RTP (wraz z nagłówkami) lub tylko „ładunku” multimedialnego
- Możliwe jest również stworzenie kryptograficznego podpisu cyfrowego umożliwiającego potwierdzenie autentyczności i integralności pakietu
- Typowo stosowany jest schemat: szyfrowanie multimediów + weryfikacja nagłówków

Szyfrowanie danych offline (plików)

- Zwykle stosowane w celu ochrony praw autorskich
- W zależności od przeznaczenia mogą być stosowane standardowe metody szyfrowania plików (bezpieczniejsze, bardziej złożone) lub optymalizowane dla multimediów

Plan wykładu

- Szyfrowanie multimediów
- Ochrona praw autorskich
- Znakowanie wodne sygnałów cyfrowych

Typowy system DRM (Digital Rights Management)

- Szyfrowanie materiału multimedialnego w celu uniemożliwienia dostępu bez prawidłowego klucza
- Podczas próby odtworzenia wyświetlany jest monit o dostarczenie licencji, która zawiera w sobie klucz deszyfrujący
- Różne rodzaje licencji: pojedyncze odtworzenie, pojedyncza kopia, 1 generacja kopii, ograniczenia geograficzne, ograniczenia czasowe
- Użytkownik zakupuje licencję na stronie wydawcy i dodaje ją do magazynu odtwarzacza
- Odtwarzacz weryfikuje licencję i deszyfruje strumień multimedialny

Skuteczność mechanizmów DRM

- Podatność na ataki – błędne założenia technologiczne, usterki programistyczne
- Organizacje usiłują cenzurować informacje o błędach i usterkach w systemach DRM za pomocą kroków prawnych

„Dziura analogowa”

- Brak kontroli na wyjściach analogowych odtwarzacza
- Nowsze rozwiązania eliminują „dziurę analogową” poprzez stosowanie tylko połączeń cyfrowych, wyposażonych w szyfrowane interfejsy (np. HDMI wraz z HDCP)
- Sygnał analogowy odtwarzany jest przy znacznie zdegradowanej jakości

Płyty DVD – system DCSS (Digital Content Scrambling System)

- Służy ochronie modelu biznesowego polegającego na wypuszczaniu nośników w różnych terminach w różnych rejonach geograficznych
- Wymuszenie licencjonowania odtwarzaczy DVD (dodatkowe $$$ dla producentów płyt)
- Uniemożliwienie przewinięcia reklam itp.
- Złamany w 1998, Jon Lech Johansen

Płyty Blu-ray i HD-DVD – system AACS (Advanced Access Content System)

- Każdy odtwarzacz posiada własny klucz pozwalający na odszyfrowanie materiału.
- Odszyfrowanie wymaga identyfikatora *Volume ID*, zapisanego na nośniku.
- Mechanizm *traitor tracing* – śledzenie źródła „przecieku".
- Złamany w 2007 za pomocą ataku „knownplaintext", hacker muslix64

Port HDMI – system HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection)

- Transmisja szyfrowanych multimediów pomiędzy kompatybilnymi urządzeniami przez porty HDMI
- Specyfikacja prawnie zastrzeżona – wymagany zakup licencji
- Licencjobiorca musi zgodzić się na szereg ograniczeń, w tym na możliwość unieważnienia swego klucza (i eliminację z rynku)
- Złamany w 2001 (przed praktyczną implementacją w jakimkolwiek urządzeniu) przez naukowców-kryptologów
- W 2010 upubliczniono odtworzony poprzez kryptoanalizę klucz główny HDCP, efektywnie niszcząc cały system.

Plan wykładu

- Szyfrowanie multimediów
- Ochrona praw autorskich
- Znakowanie wodne sygnałów cyfrowych

Co to jest znakowanie wodne?

- Znakowanie wodne (*watermarking*) – proces (nieodwracalnego) osadzania informacji w sygnale cyfrowym (zwykle fonicznym lub wizyjnym)
- Informacja pod postacią „znaku wodnego” pozostaje zakodowana w sygnale pomimo poddaniu go przekształceniom i kopiowaniu
- Nazwa „znakowanie wodne” wywodzi się z techniki drukarskiej polegającej na umieszczeniu zwykle niezauważalnego znaku w papierze w celu poświadczenia autentyczności (np. banknotu)

Znakowanie widoczne (visible)

- Znak wodny pozostaje widoczny (jest wprost lokalizowany) w sygnale, w którym został osadzony
- Typowo jest to tekst lub logo, osadzone w obrazie wizyjnym w celu wyraźnego oznaczenia właściciela treści

Znakowanie niewidzialne (invisible)

- Znak wodny jest niezauważalny przez odbiorcę –wykorzystane są własności psychofizjologiczne słuchu lub wzroku
- Obecność i/lub treść znaku może zostać wykryta np. poprzez analizę statystyczną sygnału (w zależności od zastosowanej metody i intencji)

Zastosowania znakowania wodnego

- Ochrona praw autorskich
  - Identyfikacja właściciela
  - Systemy DRM – odtwarzacz wykrywa obecność znaku wodnego i uniemożliwia odtworzenie bez pasującej licencji
- Identyfikacja źródła (*fingerprinting*)
  - Każdy z adresatów wiadomości otrzymuje ją z innym znakiem wodnym („odciskiem palca") – w przypadku „wycieku", pozwala na ustalenie źródła
- Monitorowanie mediów
- Tajna komunikacja (steganografia)

Cechy systemu znakującego

- Odporność (*robustness*)
- Zauważalność / przezroczystość (*perceptability* / *transparency*)
- Pojemność (*capacity*)
- Złożoność (*complexity*)
- Odwracalność (*reversibility*)

Odporność (robustness)

- Określa stopień odporności osadzonego znaku na modyfikacje sygnału (w tym celowe ataki zmierzające do zniszczenia znaku wodnego)
- Typowe modyfikacje:
  - przekształcenia liniowe (filtracja)
  - dodanie sygnału (w tym szumu)
  - kompresja stratna
  - konwersja A/C i C/A

Zauważalność / przezroczystość

- Określa czy proces znakowania wprowadza percypowalne zniekształcenia sygnału znakowanego
- Wyznaczane przy pomocy testów subiektywnych (odsłuchowych) i obiektywnych (np. PESQ)

Pojemność (capacity)

- Ilość informacji, którą algorytm znakujący jest w stanie zakodować w przeliczeniu na pojedynczy bit sygnału znakowanego (zwykle wyrażona w procentach)
- Inne miary: bity na ramkę, bit/kB

Złożoność (complexity)

- Koszt numeryczny związany z procesem osadzania i detekcji znaku wodnego – im niższy, tym lepiej
- Również koszt związany z przeprowadzeniem skutecznego ataku na znak wodny – im wyższy, tym lepiej

Odwracalność (reversibility)

- Czy znak wodny może zostać całkowicie usunięty z sygnału, tak aby uzyskać wierną kopię sygnału oryginalnego?
- Zdecydowana większość metod znakowania wodnego nie jest odwracalna.

Podstawy i metody znakowania sygnałów fonicznych i wizyjnych

- Własności słuchu wykorzystywane w znakowaniu
- Własności wzroku wykorzystywane w znakowaniu
- Metody ogólne
- Metody znakowania sygnałów fonicznych
- Metody znakowania sygnałów wizyjnych

Własności słuchu wykorzystywane w znakowaniu

- Pasmo częstotliwości 20 Hz - 20 kHz, umieszczenie znaku wodnego poza tym pasmem jest mało praktyczne
- Dynamika 120 dB – trudno umieścić znak wodny, który byłby wprost niesłyszalny
- Przebieg krzywych progowych głośności zależny od częstotliwości
- Niska wrażliwość na zmiany fazy
- Występowanie efektu maskowania w dziedzinie czasu i częstotliwości
- Model psychoakustyczny wskazuje na 5-10-krotną nadmiarowość pełnopasmowego sygnału akustycznego –dużo miejsca na ukrywanie znaku wodnego
- Zastosowanie kodowania stratnego zmniejsza nadmiarowość i utrudnia wprowadzenie znaku wodnego

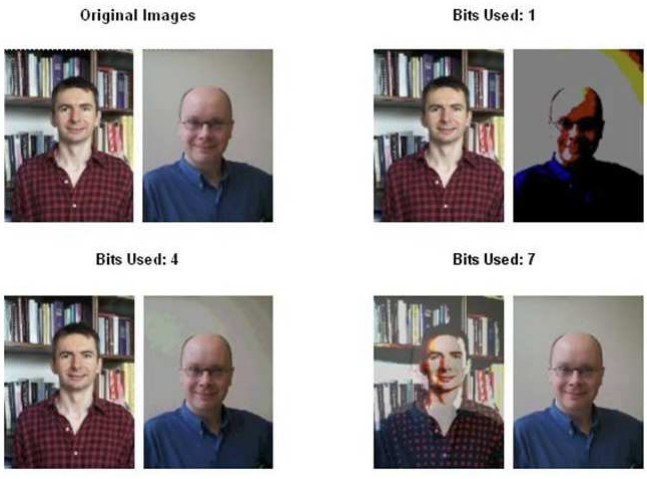
Własności wzroku wykorzystywane w znakowaniu

- Bezwładność wzroku: 0,1 s; możliwość ukrywania informacji „podprogowej” w obrazie ruchomym
- Dynamika 50 dB
- Wzrok wychwytuje różnice jasności (kontrasty), jest mniej wrażliwy na małe jej zmiany.
- Wzrok jest bardziej wrażliwy na zmiany luminancji (jasności) niż chrominancji (barwy)

Kodowanie LSB

- Ukrywanie informacji w najmniej znaczących bitach próbek
- Większa skuteczność dla obrazu ze względu na mniejszą dynamikę narządu wzroku
- Metoda nieodporna na ataki, kompresję, filtrację, itp.
- Znak wodny jest możliwy do wykrycia w zasadzie tylko w przypadku wykonania kopii cyfrowej 1:1
- Dodanie znaku wodnego powoduje pojawienie się szumu znakowania

Kodowanie LSB (superpozycja)



Kodowanie fazowe

- Kodowanie informacji w dziedzinie widma, poprzez modyfikację widma fazowego sygnału
- Aby znak wodny pozostał niezauważony i nie spowodował znacznych zniekształceń, konieczne jest zachowanie ciągłości fazy
- Odczyt znaku wodnego wymaga znajomości długości bloku i precyzyjnego określenia punktu początkowego
- Istnieją modyfikacje tej metody wykorzystujące modulację fazy w podpasmach sygnału
- Metoda jest nieco bardziej odporna na ataki od LSB

Rozpraszanie widma (spread-spectrum)

- Kodowanie w dziedzinie widma
- Technika polega na modyfikacji widma amplitudowego poprzez wstawienie do sygnału wąskopasmowego fragmentów o szerszym paśmie (zwykle o charakterze szumowym)
- Metoda odporna na zakłócenia i ataki
- W przypadku sygnałów fonicznych znak jest łatwo zauważalny ze względu na dużą dynamikę słuchu

Kodowanie falkowe

- Kodowanie polega na dekompozycji falkowej *(wavelet)* sygnału i przeskalowaniu odpowiednich współczynników „pseudowidma” falkowego
- Wykrycie znaku wodnego zwykle wymaga posiadania oryginalnego sygnału
- Metoda dość odporna na ataki

Ukrywanie echa (echo hiding)

- Metoda znakowania sygnału fonicznego wykorzystująca zjawisko pre- i post-maskowania (w dziedzinie czasu)
- Znakowanie polega na wstawieniu echa o opóźnieniu mniejszym niż próg percepcji
- Detekcja znaku polega na wyznaczeniu funkcji autokorelacji lub cepstrum sygnału
- Metoda odporna na przekształcenia liniowe oraz konwersję A/C i C/A
- Brak odporności na kompresję stratną opartą o model psychoakustyczny

Ukrywanie echa