

다양한 GIS 플랫폼을 위한 고해상도 기상레이더 정보 시각화 기법

장봉주[†], 임상훈[†], 이석환^{**}, 문광석^{***}, V. Chandrasekar^{****}, 권기룡^{*****}

요 약

기상레이더의 발전과 더불어 국내외적으로 정밀한 기상레이더를 이용한 토네이도, 돌발홍수 등의 돌발적인 기상현상에 대한 기상데이터 분석 및 기상현상 예측 기술 등의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그에 반해 레이더 자료에 대한 시각화 및 표출 방법에 대한 관심이 증가하고 있지만, 현재까지의 기상과 관련한 각 국가 기관 등에서는 단순히 표출된 레이더영상을 GIS 데이터에 사상하여 해석하는 데 급급한 실정이다. 본 논문은 저고도에서 일어나는 국지성, 기습성 기상변화를 관측하고 효과적으로 대응하기 위해, 시·공간적 고해상도를 갖는 기상레이더로부터 관측된 데이터 자료를 효과적으로 표현하기 위해 다양한 GIS 플랫폼에서 서비스할 수 있는 고해상도 기상관측 데이터의 표현 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 기상레이더로부터 획득된 데이터를 이용하여 래스터 및 벡터 형태의 고해상도 자료구조로 변환하여 GIS 플랫폼 상에서 정확한 좌표위치와 고도에 직관적으로 인지할 수 있도록 하기 위한 방법을 제시하였다. 실험결과 GIS 플랫폼과 융합된 고해상도 기상데이터를 이용함으로써 돌발성 기후변화, 국지성 폭우, 토네이도 등의 정확한 위치와 고도 등의 정보를 포함하여 기상상황을 직관적으로 인지하고, 상세히 분석할 수 있는 것을 확인하였다.

A Visualization Method of High Definition Weather Radar Information for various GIS Platforms

Bong-Joo Jang[†], Sanghun Lim[†], Suk-Hwan Lee^{**},
Kwang-Seok Moon^{***}, V. Chandrasekar^{****}, and Ki-Ryong Kwon^{*****}

ABSTRACT

According to development of weather radar, researches about observation, analysis or forecast of weather phenomena such as tornado, flash-flood etc. were encouraged by reducing frequency interferences, transmission noises, attenuations of radar signal. In contrast, there is a growing interest in the visualization and expression methods for weather radar data but weather radar manufacturers or the organs of government for weather are just busy interpreting expressed weather images projected on GIS. We propose an effective high definition weather radar information visualization method able to apply various GIS platforms to observe and take actions against rapid local weather changes effectively. In this paper, first we change information acquired from weather radar to raster or vector type high definition data structures using specific algorithms. And then, we quadrated our processed raster/vector type weather data with various GIS platforms accurately to make observers can recognize and check weather situations over exact geographical positions and elevations intuitively. Experimental results verify that our method make observers can recognize and analyze weather changes, tornados, local downpours or flash floods accurately by analyzing high definition weather radar data combined with GIS platform including detailed target locations and elevations.

Key words: GIS, 기상레이더(Weather Radar), 기상정보 시각화(Weather information visualization), 고해상도(High Definition)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 권기룡, 주소 : 부산광역시 남구 대연 3동 부경대학교 대연캠퍼스 1316호(608-737), 전화 : 051) 629-6257, FAX : 051) 629-6230, E-mail : krkwon@pknu.ac.kr

접수일 : 2013년 7월 17일, 수정일 : 2013년 10월 4일
완료일 : 2013년 10월 7일

[†] 한국건설기술연구원 수자원연구실
(E-mail : roachbjb@kict.re.kr, slim@kict.re.kr)

^{**} 동명대학교 정보보호학과
(E-mail : skylee@tu.ac.kr)

^{***} 부경대학교 전자공학과
(E-mail : ksmoon@tu.ac.kr)

^{****} 콜로라도주립대학교
(E-mail : chandra@engr.colostate.edu)

^{*****} 부경대학교 IT융합응용공학과

※ 본 연구는 한국연구재단의 국제협력사업(NRF-2012K2A1A2032979) 및 한국건설기술연구원 주요사업(수문레이더 기반 홍수예경보 및 폭설 추정 플랫폼 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

1. 서 론

기상레이더의 발전과 더불어 국외에서는 오래전부터 기상레이더를 이용한 돌발적인 기상현상에 대한 기상데이터 분석 및 기상현상예측 기술 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이런 기술력을 바탕으로 국가기관 단위로 재난·재해 예방 시스템 및 서비스를 구축 및 활용하고 있다. 특히 토네이도(tornado), 국지성 폭우 및 태풍 등과 같은 급격한 기후변화로 인한 인명·재산 피해가 자주 발생하는 지역에서는 보다 정밀한 기상레이더를 이용하여 실시간으로 기상을 관측 및 예측함으로써 피해를 최소화하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 한편 국내에서는 2010년 6월에 국방부, 국토해양부 행정안전부 및 기상청 간의 기상-강우레이더 공동활용 업무협약을 체결하여 기상청 산하 기상레이더센터를 개소하였다. 이로써 각 부처별 목적에 따라 독립적으로 운영하던 기상청, 국방부 및 국토해양부에서 관리하는 레이더들에 대하여 통합적이고 체계적인 관리 및 활용이 가능해졌다. 그로 인해 레이더 음영지대가 평균 약 53%가 감소되었으며, 레이더 자료의 품질관리 또한 다양한 연구를 통해 향상되고 있다[1]. 그럼에도 불구하고 우리나라의 기상 관측 및 예보 수준은 미국, 일본 등의 기상 선진국에 비해 아직 발전단계에 있는 수준이다. 그 이유로 현재 국내에서는 높은 출력을 갖는 대형 S밴드 레이더를 기상관측용으로 주로 사용하고 있으며, 이것은 수백 킬로미터(200~300km)에 이르는 장거리 관측과 태풍, 장마와 같은 거대 강우현상 관측에는 유용하지만, 지구의 만곡과 산악지역이 많은 국내 지형 여건으로 인해 낮은 고도에서의 강우 현상과 고해상도 관측을 위해서는 불리한 특징이 있다. 따라서 현재의 국지성, 돌발성 호우가 증가하는 우리나라의 기후에서는 기상 예보의 오차가 증가할 수밖에 없다. 이러한 단점을 보완하기 위해, 단거리 관측, 도심 및 산악지역 관측에 유리한 X밴드 레이더를 기상관측용으로 사용할 수 있으며, 또 다른 방법으로 기존의 단일편파(수평편파) 레이더 시스템에서 수직편파를 같이 이용하는 이중편파 레이더 시스템을 적용하여 보다 다양한 레이더 관측 자료를 추출함으로써 공간해상도 및 관측효율을 향상시킬 수 있다. 미국은 이미 NEXRAD(next generation weather radar system)의 160여 기의 WSR-

88D(weather surveillance radar 1988 doppler) 레이더 역시 2013년 완료를 목표로 전체 레이더를 단일편파에서 이중편파 레이더로 교체하는 작업을 진행 중이다[2]. 이에 보다 정확한 기상레이더 수치해석과 예보 모델을 적용하기 위하여 레이더 좌표계와 공간좌표계의 실시간 좌표변환 및 보간 기법과 GIS(geographical information system) 기반의 레이더 자료에 대한 시각화 및 표출 방법에 대한 관심이 증가하고 있지만, 현재까지의 기상과 관련한 각 국가 기관 등에서는 단순히 표출된 레이더영상을 GIS 데이터 상에서 사상하여 해석하는 데 급급한 실정이다.

본 논문은 국지성, 기습성 기상변화를 관측하고 예보하기 위해 이처럼 시·공간 해상도 및 정확도가 날로 향상되어가는 레이더 기술에 대하여, 기상레이더로부터 관측된 데이터 자료를 효과적으로 표현하고 일반시민에게 경보하기 위해 다양한 GIS 플랫폼에서 서비스할 수 있는 고해상도 기상관측 데이터의 표현 기법을 제안하고자 한다. 2장에서는 제안 기법에서 사용된 기상관측 레이더 시스템 및 기상 데이터에 대한 관련연구를 설명하고, 3장에서는 제안하는 기상관측 데이터 처리기법들에 대해 설명한다. 4장으로부터 GIS 기반 기상관측 데이터 표현에 대한 시뮬레이션을 수행하여 제안 기법을 검증한 후, 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. CASA 레이더 시스템

제안하는 GIS 기반 고해상도 기상관측 레이더 데이터 표현 기법을 위해, 본 연구에서는 CASA-ERC(engineering research center for collaborative adaptive sensing of atmosphere)에서 운영하는 IP1(integrated phase 1) 테스트베드(testbed)로부터 획득된 레이더 데이터를 이용하였다. CASA에서는 여러 대의 소형 X밴드 레이더들을 이용하여 국소지역의 기상현상들에 대해 분산협력적응탐사(distributed collaborative adaptive sensing, DCAS)를 수행함으로써 지구의 만곡에 따른 레이더 갭(gap) 및 산악, 고층건물에 의한 레이더 음영지역을 최소화하고, 시·공간적 해상도를 향상시킴으로써, 낮은 고도에서 일어나는 기상현상에 대한 경보 시스템 구축과 강우추정 및 단기 기상예보의 정확성 향상을 위한 연구를 독보적으로 수행하고 있다[3,4]. CASA에서 운영하

는 IP-1 테스트베드는 4기의 소형 X밴드 레이더를 미국 오클라호마 주의 남서부 지역, Chickasha(KSAO), Cyril(KCYR), Lawton(KLWE) 및 Rush Springs(KRSP) 등에 분산 설치하여 동시에 스캔된 기상레이더 데이터에 대해 실시간으로 관측 및 처리한다. 그림 1로부터 CASA IP1 테스트베드의 구성과 범위를 나타내었다[5].

그림 1의 테스트베드를 운용하는 SOCC(system operation & Command center)에서 CASA IP1 시스템 동작과정을 그림 2로부터 나타내었다[6].

그림 2에서, 관측자로부터 MC&C(meteorological command and control system)를 통해 관측범위, 해상도 등이 결정되면 4기의 IP1 레이더는 해당 조건 하에서 기상을 스캔한다. 이 때, MC&C는 4기의 기상레이더가 동시에 동일한 영역을 스캔하도록 하기 위해 시·공간적 동기화를 수행한다. 각각의 레이더 단에서 스캔된 PPI(plan position indicator) 데이터는 LDM(local data manager)을 통해 SOCC로 전송된다. 이 때의 데이터를 Tier2a 데이터라 명명하고, 이로부터 관측자에게 직접적인 시각적 표현이 가능케 한다. 이 Tier2a 데이터를 이용하여 감쇠보상

(attenuation correction), 클러터 필터링(clutter filtering) 등의 처리과정을 거친 후 관측자 제어와 함께 MC&C의 기후관측알고리즘의 입력으로 사용하며, 이로써 SOCC는 다음 레이더 스캔을 위한 준비과정을 수행한다. 또한, CASA IP1은 각 레이더로부터 획득된 Tier2a 데이터를 RTMDR(real-time multi-doppler retrieval) 시스템의 다양한 데이터 융합 알고리즘들을 통해 보다 정확하게 보정된 반사도(corrected reflectivity, CZ)와 바람장(wind vector, VE) 등을 추정할 수 있다[6].

현재, CASA 프로젝트는 Dallas Fort Worth(DFW) 지역을 통합하는 확장된 기상레이더 시스템을 구축하고 있다. 또한 국내에서도 국토교통부의 S밴드 및 소형 X 밴드 이중편파 레이더 도입을 진행하고 있으며, 2015년까지 기상청과 레이더 공동활용시스템을 구축할 계획에 있다. 향후 이러한 레이더 네트워크가 본격적으로 가동됨에 따라 방대한 양의 레이더 자료의 통합 및 서비스에 대하여 효과적으로 처리할 수 있는 기술이 필요하다.

3. 제안하는 고정밀 레이더 데이터 시각화 기법

제안하는 GIS 기반 고정밀 레이더 데이터의 시각화 기법은, 날로 급변하는 국내 돌발성 국지성 폭우의 피해를 잘 예측하고 경보하기 위해 적합한 저고도의 고해상도 X밴드 레이더로부터 획득된 데이터를 GIS와 결합함으로써, 다양한 GIS 플랫폼을 가진 일반시민들로 하여금 빠르고 정확한 재해 및 재난 정보를 제공할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

3.1 고해상도 레이더 데이터 획득

제안하는 기법의 고정밀 레이더 데이터 획득을 위해 2장에서 설명한 CASA IP1을 이용한다. 앞서 언급한 바와 같이 CASA IP1은 사용자 정의에 따라, 그리고 이전에 스캔된 레이더 데이터의 분석 결과에 따라 다음 스캔 방식이 결정되며, 이 때, 결정되는 해상도에 따라 관측 시 스캔 결과가 고정되어 표현되는 구조로 되어 있다. 이것은 동시 다발적으로 발생하는 국부적인 기상변화를 정밀하게 관측하거나, 전체 레이더 스캔 영역에서의 상세한 기상변화를 관측하는 데 어려운 문제점이 있다. 제안 기법에서는 우선 동시에 스캔 된 레이더 데이터들을 합성하는 단계

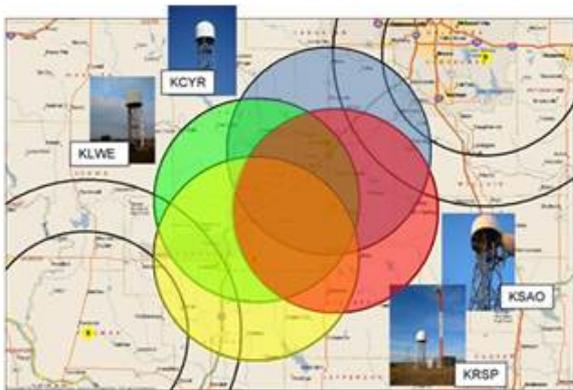


그림 1. CASA IP1 테스트베드의 X밴드 레이더 구성[5]

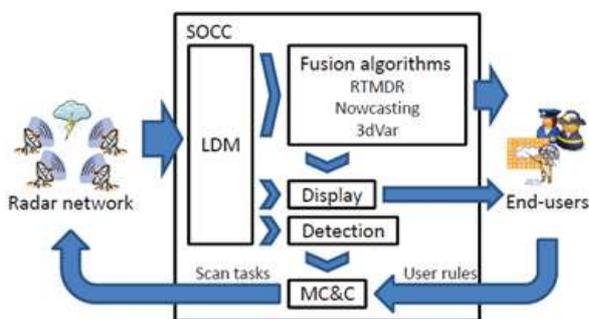


그림 2. CASA IP1 테스트베드의 시스템 동작 과정[6]

에서 분산처리를 통해 여러 고해상도 국부영역들의 타일(tile)로 생성하고, 각 타일들을 합성하여 하나의 고정밀 레이더 데이터를 생성하는 방법을 사용한다. 그림 3으로부터 CASA IP1에서의 RTMDR 시스템에서 고해상도 국부 레이더 영역 타일들을 획득하는 과정을 표현하였다.

그림 3에서 우선, 고유 식별자로 구분되는 각 레이더로부터 스캔 된 데이터들은 LDM에 의해 NetCDF 포맷[7]의 시·공간상으로 동기화된 볼륨(volume) 정보로 저장된다. 그런 후 CASA IP1의 RTMDR 시스템은 데이터 융합알고리즘들과 합성 룰(rules)에 따라 하나의 고정밀 해상도의 그리드 좌표를 갖는 기상 레이더 데이터를 완성한다. 이에 제안하는 기법은 큰 용량을 갖는 스캔 된 고해상도 레이더 데이터들에 대해 레이더 범위(coverage)를 최적 해상도로 분해한 후 분산처리 함으로써 레이더들로부터 국부적으로 융합된 고해상도 국부 레이더 데이터를 각 타일 데이터로 획득한다. 획득된 각 데이터는 GIS 플랫폼, 요구해상도 등에 따라 후처리(post-processing)을 거쳐 GIS 데이터와 융합된다. 그림 4로부터 전체 레이더 영역을 표현한 기상 데이터와 국부 영역 분산처리를 위한 Tile 분해의 예를 나타내었다.

3.2 GIS 융합을 위한 래스터 기반 고해상도 기상 레이더 데이터 생성

분산처리 된 국부영역 정밀 레이더 데이터를 GIS

와 융합하기 위해 GIS 플랫폼의 자료형을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 GIS 데이터는 벡터(vector) 기반 자료구조와 래스터(raster) 기반 자료구조로 분류되며, 벡터기반 자료구조는 다시 2차원 평면 좌표계와 3차원 공간 좌표계로 표현될 수 있다. 이런 다양한 종류의 GIS 데이터 자료구조에 대해 기상레이더 데이터 자료 역시 GIS와의 융합을 위해 GIS 데이터 자료구조에 적합한 형태로 가공할 필요가 있다. 그림 5로부터 다양한 GIS 자료구조와의 융합에 필요한 래스터 및 벡터 데이터로의 합성을 위해 앞서 획득한 고해상도 기상레이더의 타일 데이터에 대한 제안하는 후처리 기법을 나타내었다. 제안하는 후처리 기법은 그림 5와 같이 기상레이더 데이터 분석에 일반적으로 사용되는 반사도(CZ) 및 바람장(VE) 정보를 GIS 기반의 시각화 정보로 합성 및 변환하기 위해 사용된다.

우선, 국부 합성된 고해상도 레이더 데이터 타일들에 대해 각 영역별 재합성함으로써 전체 레이더 범위를 표현하는 전역 고해상도 기상레이더 데이터를 생성한다. 이 때, 각 분산처리 RTMDR 내부의 방사상의 레이더 데이터를 격자데이터로 변환하는 과정에서 타일의 경계지점의 갭(gap)이 발생할 수도 있다. 제안 기법은 이러한 문제점이 나타나는 지점들에 대해 수평, 수직 및 교차점에 각각 세 종류의 보간(interpolation) 마스크를 적용하여 오차를 보정한다. 그림 6으로부터 타일 합성 시 발생하는 갭에 의한

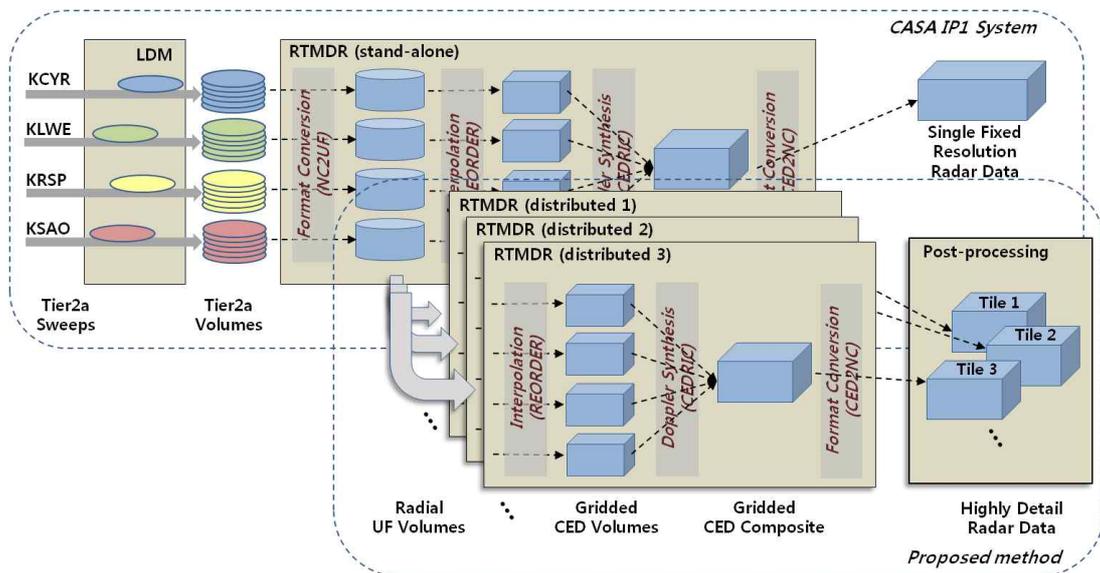


그림 3. CASA IP1 RTMDR 시스템에서 고해상도 국부 레이더 영역 추출과정

Local area tiling

- Whole range:
x: -70~70km
y: -70~70km
- Resolution: 100m
- tile size: 20.1km * 20.1km

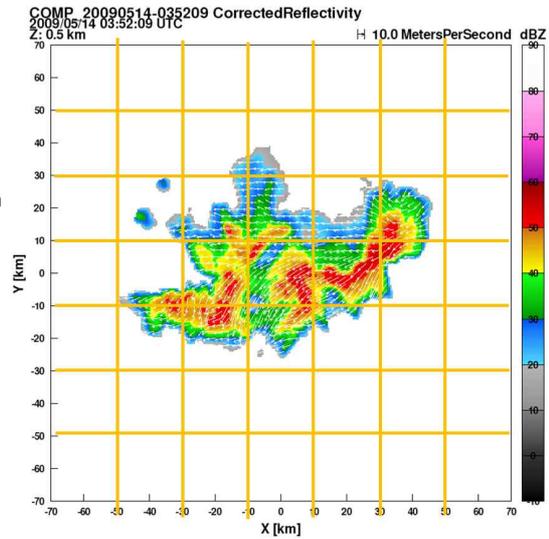


그림 4. CASA IP1 시스템 상에서 전체 영역을 표현한 기상데이터와 국부 분산 처리를 위한 영역별 Tiling의 예

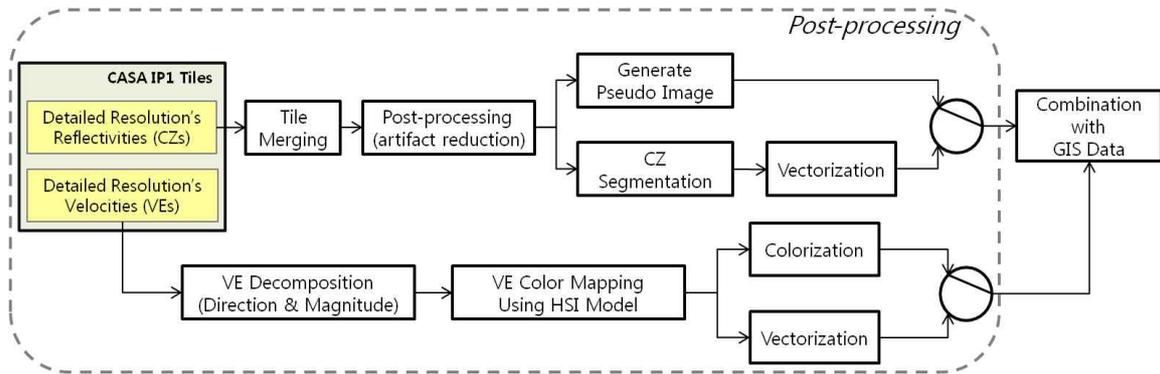


그림 5. GIS 용합을 위해 제안하는 고해상도 기상레이더 데이터 후처리 기법

왜곡들(artifacts)과 이를 보정하기 위해 제안 기법에서 사용한 적응 가중치를 갖는 보간 마스크를 나타내었다.

3.2.1 래스터 기반 데이터 생성기법

그림 6의 마스크를 이용하여 합성 및 보간 된 각각의 고해상도 기상레이더 데이터 CZ 및 VE에 대해 GIS 용합을 위해서 GIS 자료구조에 따라 래스터 혹은 벡터 데이터로 변환하는 과정이 요구된다. 일반적으로 기상데이터의 영상표현을 위해 CZ는 양자화된 dBZ 값을 기상청 또는 NWS(national weather service)에서 권고하는 의사색(pseudo color)으로 표현되며, VE는 바람의 방향과 속도에 따라 각각 화살표의 방향 및 길이로 표현하거나 스트림라인(streamline) 형태로 영상 위에 표현하는 방식이 사용된다. 하지만 VE의 경우, 표현방식의 복잡성으로

인해 높은 해상도의 기상데이터에서 식별이 어려워지는 단점이 있다. 제안 기법에서는 고해상도 기상레이더 데이터에서의 전체적인 바람장 분석을 용이하게 하고, 특정 영역의 세부적인 바람장의 특성을 쉽게 알 수 있게하기 위해, 각 바람장 VE의 속도와 방향을 HSI 컬러 모델에 적용함으로써 이미지화 한다. HSI 컬러 모델에서는 색상정보(hue, H)는 HSI 좌표계에서 각도로 표현되므로 바람의 방향을 표시하는데 유용하다. 또한 바람의 속도(세기)는 HSI 모델에서 명도(intensity, I), 또는 채도(saturation, S)로 표현함으로써 해당 영역의 밝기를 확인함으로써 바람의 세기를 쉽게 인지하는데 유용하다.

임의 좌표 (x, y) 에서 샘플링 된 고해상도의 레이더 게이트(gate) 영역이 포함하는 하나의 VE 값 $ve_{x,y}$ 에 대해, 식 (1)으로써 해당 영역의 중점 $o_{x,y}$ 으로부터의 방향을 HSI 컬러모델의 H 값 $H_{x,y}$ 에 대입한다.

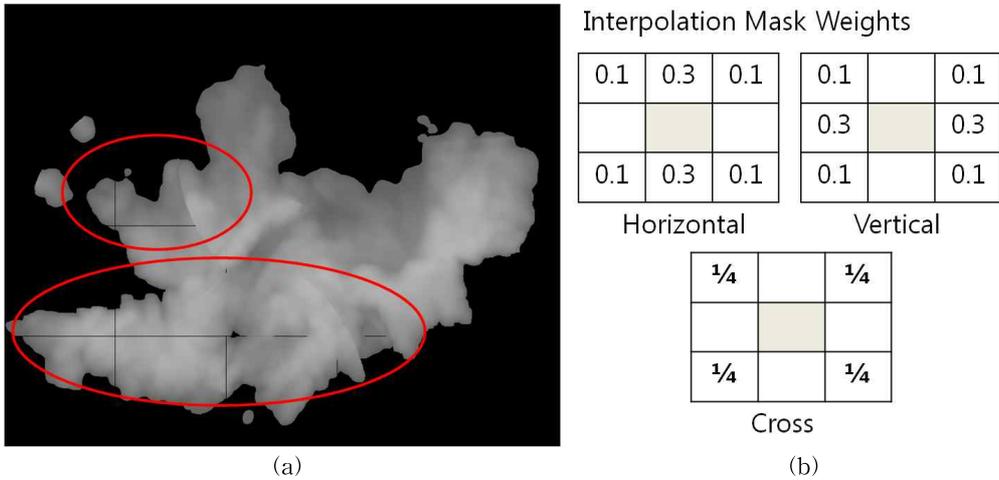


그림 6. 고해상도 기상레이더 데이터에 대해 (a) Tile 합성 시 발생하는 왜곡과, (b) 이를 보정하기 위해 고안된 적응 가중치를 갖는 보간 마스크

$$H_{x,y} = \frac{180}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{ve_{x,y}(u) \cdot o_{x,y}(v) - ve_{x,y}(v) \cdot o_{x,y}(u)}{ve_{x,y}(u) \cdot o_{x,y}(u) - ve_{x,y}(v) \cdot o_{x,y}(v)} \right) \quad (1)$$

한편, 해당 영역에서의 바람의 속도는 정규화 된 후 $I_{x,y}$ 또는 $S_{x,y}$ 로써 식 (2)에 의해 추정될 수 있다.

$$I_{x,y} \text{ or } S_{x,y} = 1 - \text{norm}(\sqrt{ve_{x,y}(u)^2 + ve_{x,y}(v)^2}) \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)를 이용하여 모든 영역에서 사용되지 않는 채도, 혹은 명도에 대해 S or $I=1$ 로 고정하여 RGB 색좌표계로 변환함으로써 VE를 위한 새로운 표현영상을 생성할 수 있다.

3.2.2 벡터 기반 데이터 생성 기법

래스터 기반 GIS 데이터에 비해 공간 해상도로부터 자유로운 벡터 기반 GIS 데이터와의 정밀한 융합

을 위해 기상데이터 역시 벡터형태로 표현될 필요가 있다. 벡터형 자료구조를 갖는 GIS와의 효과적인 기상레이더 데이터 융합을 위해, 제안 기법에서는 다양한 GIS 플랫폼에 대응하는 기상데이터의 벡터 표현 방법을 제안한다. 우선 기상레이더 데이터 중 VE는 래스터 기반 데이터 생성 과정에서의 CZ와 비슷하게 데이터 특성상 자체적으로 벡터의 형태로 표현되므로 식 (1) 및 (2)를 적용한 벡터 데이터로 구성하여 간단히 표현될 수 있다.

레이더 데이터의 해상도 단위인 게이트는 하나의 CZ 또는 VE 등이 표현하는 영역을 나타내므로, 제안 기법에서는 그림 6과 같은 고해상도 국부영역들의 합성 및 보간 과정을 거친 전체 CZ 데이터를 그림 7과 같이 게이트 레벨의 유사한 CZ 값을 갖는 영역들

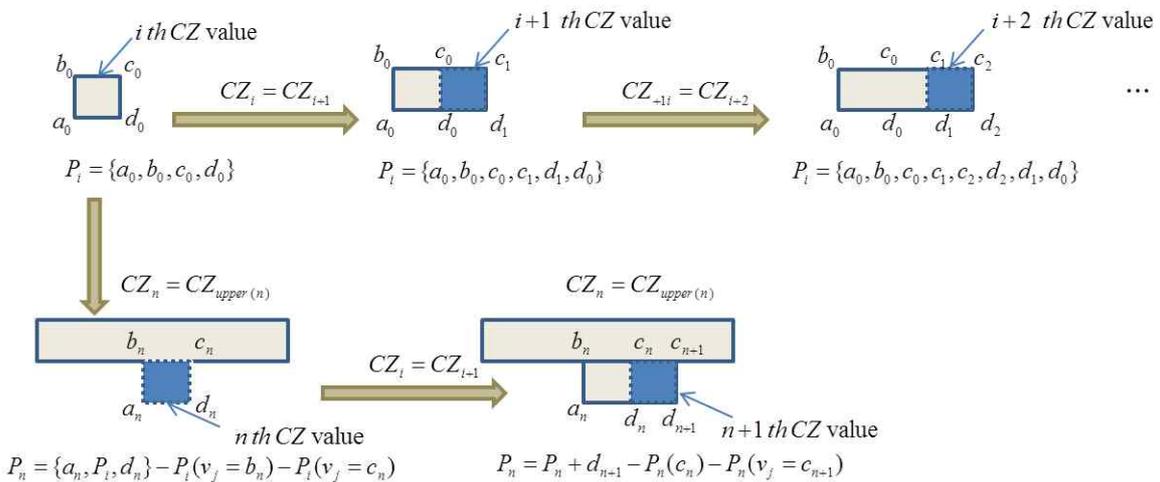


그림 7. 고해상도 기상데이터에서 유사한 CZ값들에 대한 폴리곤 형태 벡터 데이터 변환 알고리즘



그림 8. DP 알고리즘을 이용한 기상데이터의 벡터 변환 시 잉여 좌표점 제거

을 표현하기 위한 폴리곤(polygon) 형태의 벡터 데이터로 변환한다.

이 때, 폴리곤 P_i 는 I 번째 양자화 CZ 값을 표현하는 영역을 나타내며, 벡터 변환 과정에서 잉여 좌표점들이 포함되어 데이터 용량이 증가하는 문제가 발생한다. 그림 8과 같이 제안 기법에서는 혼합형 벡터 간소화 알고리즘[8]을 사용함으로써 좌표점의 수를 최적화하였다.

4. 기상레이더 데이터의 GIS 융합 시뮬레이션 및 고찰

3장에서는 분산처리 된 고해상도 국부 레이더 데이터를 합성하고 시각화하는 기법들에 대해 설명하였다. 본 장에서는 3장으로부터 래스터 및 벡터 자료 구조로써 시각화 된 고해상도 기상데이터를 GIS 기반의 표현 방법에 대해 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 고찰하였다.

본 논문에서는 GIS 융합 시뮬레이션을 위한 GIS 플랫폼으로써 달라스-포스워스(Dallas-Forth Worth,

DFW) 지역에 대해 구글어스(Google Earth)[9] 및 ESRI사의 SHP[10] 자료구조로 이루어진 GIS 맵을 이용하였으며 CASA IP1으로부터 획득된 100m×100m 해상도를 갖는 70km×70km 영역의 고해상도 기상레이더 데이터를 사용하였다. 그림 9로부터 CASA IP1으로부터 표출된 기상레이더 데이터와 제안 기법으로 처리한 데이터를 비교하였다.

그림 9-(a)로부터 현재 CASA IP1 System은 정해진 격자 해상도 내에서 전체 레이더 데이터를 표출하므로 전체 영역을 표현하기 위해 공간해상도의 열화가 필수적이며, 따라서 정밀한 기상데이터 분석이 용이하지 않은 특징이 있음을 알 수 있다. 반면 제안 기법으로부터 생성된 레이더 표출영상은 100m×100m의 공간 해상도를 그대로 표출함으로써 보다 정밀한 기상데이터 자료해석을 가능케 한다.

보다 상세영역에 대하여, 제안하는 기상데이터의 래스터기반 고해상도 표현 방법에 대한 결과를 그림 10으로써 나타내었다.

그림 10으로부터 제안하는 고해상도 CZ 표현 결과가 국부 영역에 대해서 더 상세하게 표현할 수 있

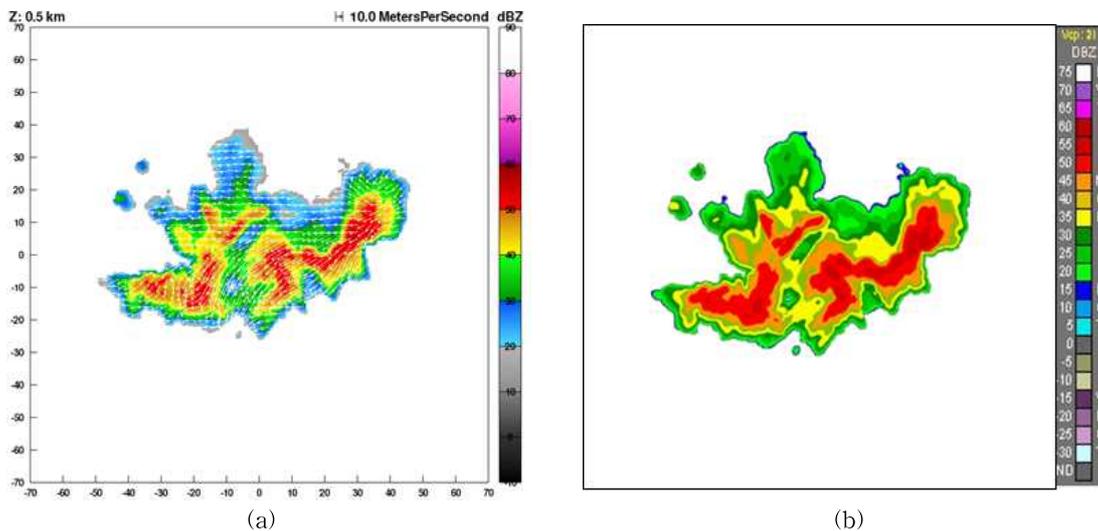


그림 9. CASA IP1으로부터 획득된 100m×100m 해상도를 갖는 고해상도 기상레이더 데이터 전체영역(140km×140km)에 대한 영상표출 결과 (a) CASA IP1 System 및 (c) 제안 기법

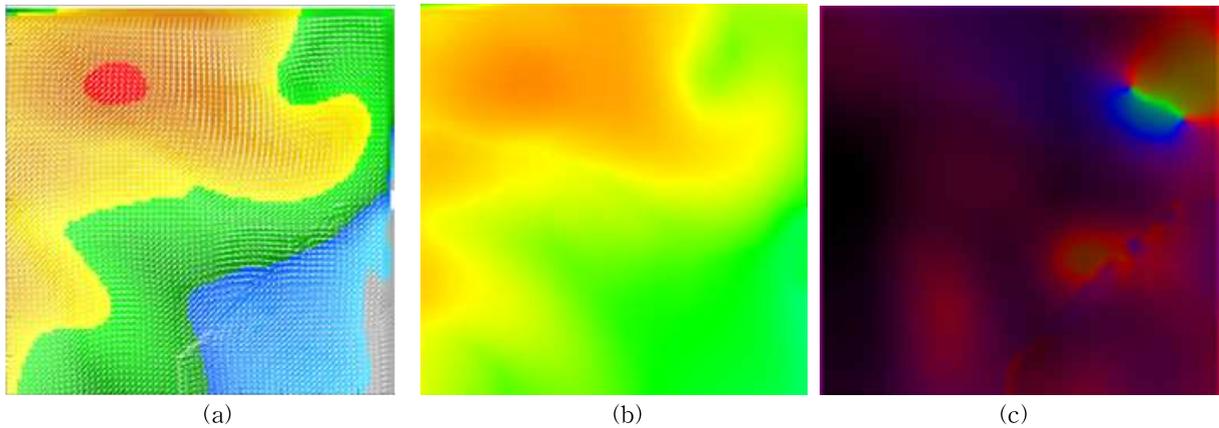


그림 10. 제안하는 래스터 기반 고해상도 기상데이터 표현 결과, (a) CZ 및 VE가 함께 표현된 CASA IP1 시뮬레이션 결과, (b) 제안하는 고해상도 CZ 표현 결과 및 (c) 제안하는 HSI 컬러 모델을 이용한 VE 표현 결과

음을 알 수 있다. 이것은 국지성 호우, 돌발성 호우를 예측하는 데 있어 그림 10-(a)의 기존의 방법보다 더 효과적인 분석을 수행할 수 있음을 의미한다. 또한 그림 10-(c)로부터 바람장의 방향을 직관적으로 인지할 수 있다. 특히 그림 10-(c)의 우측 상단의 급격한 색상 변화는 관측자로 하여금 이 지역에 토네이도가 형성되었음을 그림 9-(a)와는 달리 직관적으로 알 수 있게 한다.

다음으로, 구글어스를 이용한 래스터 기반 고해상도 기상레이더 데이터의 GIS 융합에 대한 결과를 그림 11로써 나타내었다. 그림 11-(a)는 현재 구글어스에서 서비스 중인 기상레이더 영상이며, 그림 11-(b)는 제안한 기법으로 생성된 고해상도 레이더 데이터를 구글어스에 적용한 것이다. 현재 구글어스에서 서비스 중인 기상레이더 데이터는 지구 전역에 걸쳐

대략적인 기상정보를 표출하는 것으로 그 해상도가 매우 낮으며, 스캔 영역의 고도 역시 정확하지 않다. 반면 제안 기법은 미리 설정된 고도에서 획득된 기상레이더 데이터를 정확한 고도와 위치에 표현함으로써, 레이더 해상도만큼의 정밀한 영역에서 발생하는 기상 현상을 최적으로 분석할 수 있는 장점이 있다.

구글어스를 이용한 벡터 기반 기상레이더 데이터의 GIS 융합에 대한 결과를 그림 12로부터 나타내었다. 벡터 자료구조를 갖는 기상데이터의 구글어스 결합을 위해 제안기법에서는 그림 5에서 생성되는 기상데이터를 기상분석에 중요한 자료들과 함께 kmz 파일[11]로 자동으로 변환하는 'kmz-wrapper' 프로그램을 작성하여 사용하였다..

그림 12의 결과로부터, 래스터 기반 기상데이터와는 달리 벡터 기반 기상데이터는 각 벡터(폴리곤) 영

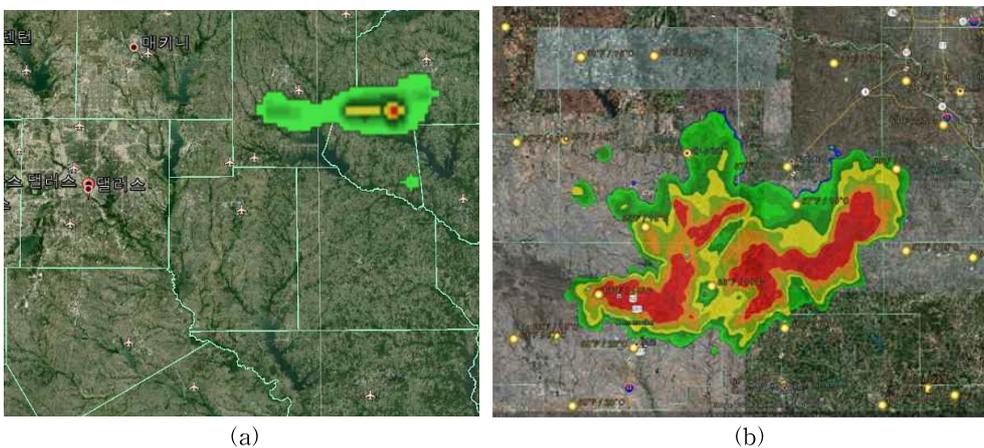


그림 11. 래스터 기반 기상레이더 데이터의 구글어스 플랫폼 시뮬레이션, (a) 현재 구글어스에서 서비스 중인 기상레이더, (b) 제안 기법

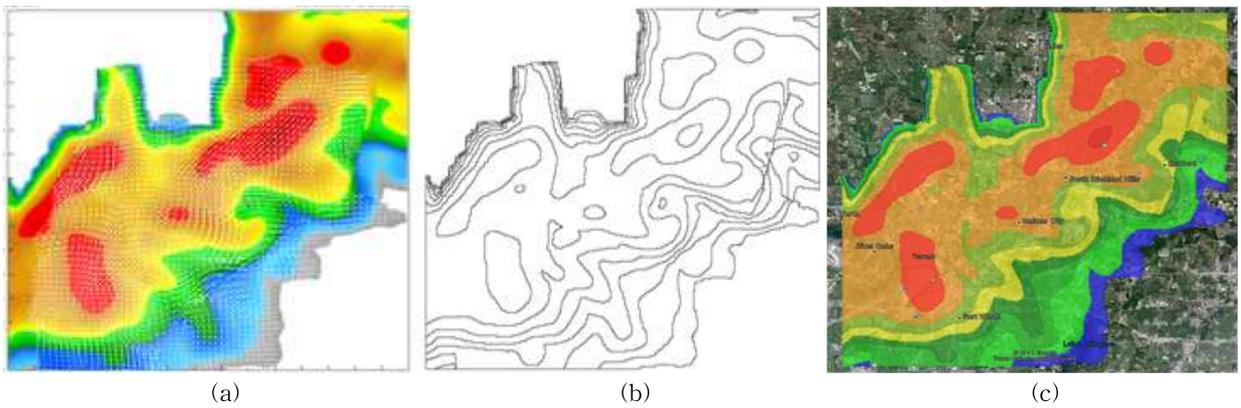


그림 12. 벡터 기반 기상레이더 데이터의 구글어스 플랫폼 시뮬레이션, (a) CASA IP1 시뮬레이션, (b) 제안 기법으로 벡터자료 구조로 변환한 기상데이터, (c) 구글어스와 결합된 벡터형태 기상데이터

역 별로 다양한 메타데이터(metadata)를 포함할 수 있으며, 확대 축소에도 영향을 받지 않아 보다 정확

하고 많은 기상정보를 취합할 수 있는 장점이 있음을 알 수 있었다. 그림 13으로부터 제안 기법으로 생성

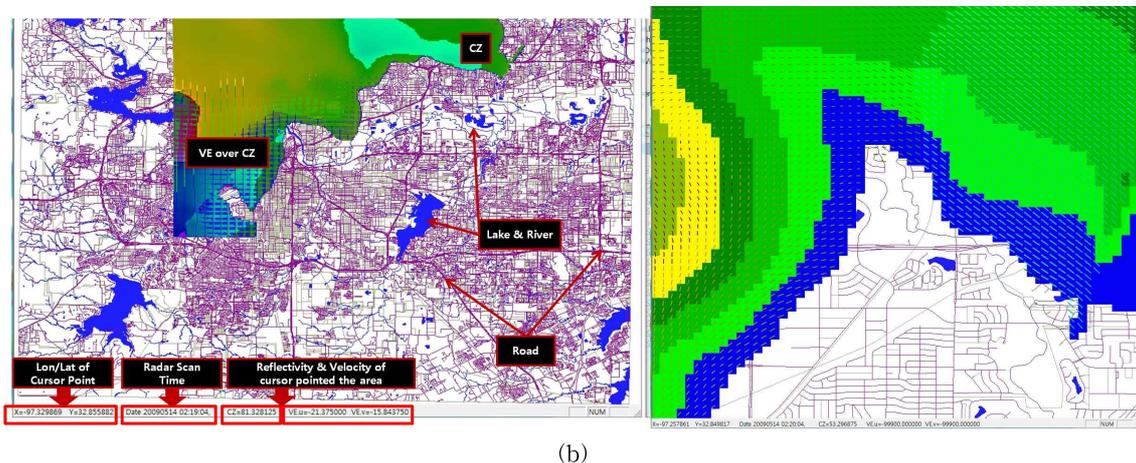
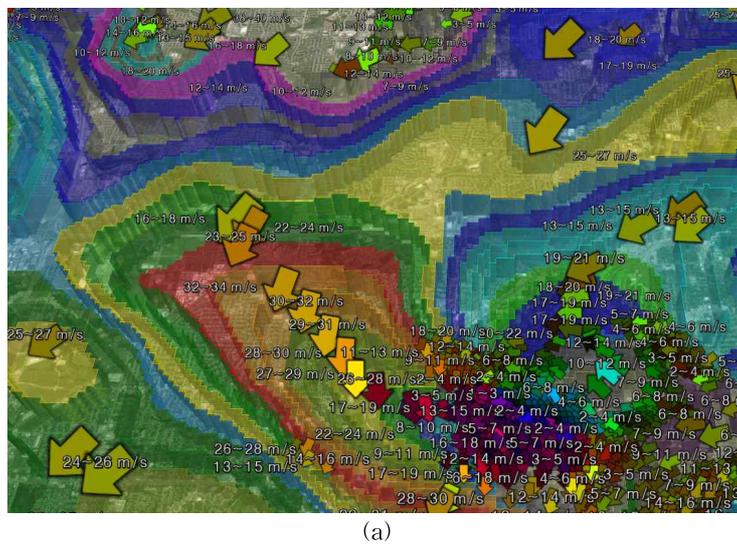


그림 13. 고해상도 기상데이터의 GIS 융합 결과, (a)구글어스 기반의 3차원 투영 결과, (b) ESRI SHP 기반의 2차원 투영 결과

한 저고도에서의 고해상도 기상데이터 CZ 및 VE에 대하여 ESRI의 SHP 및 구글어스 기반에 각각 2차원 3차원 투영한 결과를 나타내었다. 이로부터 국소 지역에 대한 보다 정확한 기상정보를 취득/분석할 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 저고도에서 일어나는 국지성, 기습성 기상변화를 관측하고 효과적으로 대응하기 위해, 시·공간적 고해상도를 갖는 기상레이더로부터 관측된 데이터 자료를 효과적으로 표현하기 위해 다양한 GIS(geographical information system) 플랫폼에서 서비스할 수 있는 고해상도 기상관측 데이터의 표현 기법을 제안하였다. 제안 기법에서는 기상레이더로부터 획득된 데이터를 이용하여 래스터 및 벡터 형태의 고해상도 자료구조로 변환하여 GIS 플랫폼 상에서 정확한 좌표위치와 고도에 직관적으로 인지할 수 있도록 하기 위한 방법을 제시하였다. 실험결과 GIS 플랫폼과 융합된 고해상도 기상데이터를 이용함으로써 돌발성 기후변화, 국지성 폭우, 토네이도 등의 정확한 위치와 고도 등의 정보를 포함하여 기상상황을 직관적으로 인지하고, 상세히 분석할 수 있는 것을 확인하였다. 이로써, 스마트폰, 태블릿 PC, 텔레매틱스 등의 개인용 단말기에서부터 항공 선박 등의 대형 장비들에 아울러 개개의 GPS 정보를 이용하여 위치기반 개인형 기상정보 서비스가 가능하며, 고해상도 기상데이터 분석을 통한 고정밀 기상정보 서비스를 제공함으로써 급격한 기후변화로 인한 인명 또는 재산피해를 감소시킬 수 있을 것으로 기대한다. 높은 데이터 용량성을 고려하여, 기상레이더 데이터 전용 압축 기법, 실시간 처리를 위한 다양한 알고리즘들이 향후 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 유철환, 이규원. 한혜영 “기상청 기상레이더센서 데이터자료 품질관리 알고리즘,” 한국수자원학회지, Vol. 45, No. 8, pp. 44-49, 2012.
- [2] ICMSSR, “*Federal Meteorological Handbook No.11, Doppler Radar Meteorological Observations - Part A. System Concepts, Responsibilities, and Procedures(FCM-H11A- 2013)*,” Office of the Federal Coordinator for Meteorology, U.S. Department of Commerce, Washington, DC, 2013.
- [3] McLaughlin, David J., and V. Chandrasekar. “Short Wavelength Technology and The Potential for Distributed Networks of Small Radar Systems,” *Radar Conference IEEE*, pp. 1-3, 2009.
- [4] V. Chandrasekar, Y. Wang, S. Lim, and F. Junyent, “Accomplishments, Challenges and Opportunities in Developing Network Based Radar Systems for High-impact Small-scale Weather Events,” *Radar Conference IEEE*, pp. 1056-1061, 2011.
- [5] CASA IP1 Testbed, http://www.casa.umass.edu/main/research/technicalintegration/integrated_project_1/, 2013.
- [6] Sean X. Zhang, “*CASA Real-time Multi-Doppler Retrieval System*.” Thesis, Colorado State University, 2011.
- [7] R. Rew, G. Davis, S. Emmerson, H. Davies, E. Hartnett, and D. Heimbigner. *NetCDF User's Guide. Unidata Program Center, Boulder, Colorado*, 2011.
- [8] 임대엽, 장봉주, 이석환, 권성근, 권기룡, “GIS 벡터맵 데이터 압축을 위한 혼합형 폴리라인 단순화,” 멀티미디어학회논문지, 제16권, 제4호, pp. 411-417, 2013.
- [9] Google Earth, <http://www.google.com/earth/index.html>, 2013.
- [10] ESRI Shapefile Technical Description - An ESRI White Paper, <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>, 2013.
- [11] J. Wernecke, *The KML Handbook: Geographic Visualization for Web*, Google, Addison-Wesley Professional, New York, 2008.



장 봉 주

2002년 2월 부산외국어대학교
전자공학과 학사 졸업
(공학사)
2004년 2월 부산외국어대학교
전자컴퓨터공학과 석사
졸업(공학석사)

2004년~2006년 (주)아크로엠 연구원
2007년 9월~2013년 8월 부경대학교 정보보호협동과정
박사과정
2013년 7월~현재 연구원, 한국건설기술연구원.
관심분야 : 멀티미디어 신호처리/압축/정보보호, 레이더
신호처리 및 응용



문 광 석

1979년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1981년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학석사)
1989년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학박사)

1988년 일본 동경대학교 공학부 연구원
1997년~1998년 Jackson State University, USA 객원교
수
1990년~현재 부경대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 영상신호처리, 적응신호처리, 멀티미디어통
신



임 상 훈

2002년 5월 Colorado State
University, Electrical &
Computer Engineering
(석사).
2006년 8월 Colorado State
University, Electrical &
Computer Engineering

(박사).
2006년 9월~1월 Research Associate, CSU.
2011년 2월~2012년 2월 Research Scientist, NOAA/
CIRA.
2012년 3월~현재 연구위원, 한국건설기술연구원.
관심분야 : 레이더 수문기상, 이중편파 레이더 신호처리
및 응용



V. Chandrasekar

1986년 Colorado State
University (박사)
1989년~1990년 Assistant
Professor, University of
Alabama in Huntsville..
1990년~1993년 Assistant
Professor, Colorado
State University

1993년~1998년 Associate Professor, Colorado State
University.
1998년~현재 Professor, Colorado State University.
관심분야 : Radar system and networking, Radar Me-
teorology, Signal processing



이 석 환

1999년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
2001년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학석사)
2004년 경북대학교 전자공학과
졸업(공학박사)

2005년~현재 동명대학교 정보보호학과 부교수
관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리



권 기 룡

1986년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업(공학사)
1990년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업(공학석사)
1994년 경북대학교 전자공학과
박사 졸업(공학박사)

2000년~2001년 Univ. of Minnesota, Post-Doc.
1996년~2005년 부산외국어대학교 디지털정보공학부
부교수
2006년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 교수
2011년~현재 한국멀티미디어학회 정책자문위원
관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 영상처리, 멀티미디어
통신및신호처리