

Robots that fly ... and cooperate

00:16	안녕하세요. 저는 오늘 자율적으로 날아다니는 비치볼에 대해서 말하려고 합니다. 아닙니다, 이와 같은 민첩한 비행 로봇들입니다. 이런 기술을 적용 할 수 있는 몇가지 기막힌 방법들과 이런 로봇들을 제작할 때 어려운점에 대해서 말하려고 합니다. 이 로봇들은 무인 항공기와 관련이 있습니다. 하지만 여러분이 보는 이 항공기들은 너무 크죠. 수천 파운드에 달하는 무게이고, 전혀 민첩하지 않습니다. 자율적으로 움직이는 것도 아닙니다. 사실 많은 이런 항공기들은 다수의 조종사가 포함된 운항 승무원들과 작동 센서들, 그리고 관계 시스템들에 의해 운항되어 집니다.
00:59	저희는 이런 로봇들을 발전시키는 데 관심이 있는데요 – 여기 두개 사진이 있지요 – 여러분이 흔히 구입 할 수 있는 로봇들입니다. 이 로봇들은 4개의 날개가 달린 헬리콥터이며, 대략 1미터 정도 크기에 몇 파운드정도 무게가 나갑니다. 그래서 센서들과 프로세서 등을 재장착하여 GPS 없이도 실내에서 날 수 있도록 했습니다.
01:22	제손에 들고 있는 로봇이 바로 그 로봇입니다. 이 로봇은 두 학생인, 알렉스와 다니엘이 만들었죠. 이 로봇은 약 0.1파운드(약 45g) 보다 조금 더 나갑니다. 약 15와트의 전력을 소모하구요. 그리고 보시다시피, 지름이 약 8인치(약 20cm) 정도 됩니다. 이 로봇들이 어떻게 작동되는지 간단하게 설명을 드리겠습니다.
01:46	4개의 회전날개가 있습니다. 같은 속도로 이 회전날개들 돌리면, 로봇이 부양하게 되죠. 이 각각의 회전날개의 속도를 올리면, 로봇이 날아 오르게 되고, 속도를 올리게 됩니다. 물론, 수평방향으로 기울어지면, 이쪽 방향으로 속도를 올리게 됩니다. 몸체를 기울이기 위해서는 한가지 방법이 있는데요. 이 그림을 보시면, 네번째 회전날개가 더 빨리 회전하는걸 보실 수 있죠. 그리고 두번째 회전날개는 더 천천히 돌고있구요. 이런 상태가 되면 이 로봇이 빙빙 돌게 되는거죠. 다른 방향으로는, 세번째 날개의 속도를 올리고, 첫번째 날개의 속도를 줄이면, 앞으로 고개를 숙이게 되죠.
02:29	그리고 마지막으로, 날개 한 쌍을 반대쪽보다 더 빨리 돌리면, 로봇은 수직축을 중심으로 한쪽으로 기울어집니다. 보드에 탑재된 프로세서가 어떤 동작이 실행 되어야 하는지를 관찰하고, 동작들을 조합해서, 초당 600번 정도로 모터에 어떤 명령을 내릴 것인지를 결정합니다. 이것이 기본적으로 이 로봇이 작동되는 방식입니다.
02:51	이런 로봇 설계의 장점들 중 한가지는 로봇의 크기를 줄이면 자연스럽게 민첩해지죠. 여기 "R"이 로봇의 길이를 표시합니다. 지름의 반정도이죠. R을 줄여가면, 많은 물리적 변수들이 변하게 됩니다. 아주 중요한것 중 한가지는 동작에 미치는 관성이나 저항력입니다. 각운동을 좌우하는 관성은 R의 1/5씩 늘어 난다고 알려져있습니다. R의 크기를 더 작게하면 할 수록 관성은 더욱더 급속히 감소합니다. 결과적으로, 그리스 문자 "알파"로 쓰는 각 가속도는 1/R로 늘어납니다. 이것은 R에 반비례하는거죠. 더 작게 만들면 만들 수록 더 빨리 방향을 바꿀 수 있는 것입니다.
03:39	이 비디오에서 더 명확하게 보여드리겠습니다. 오른쪽 밑에 로봇을 보면, 0.5초도 안되는 시간만에 360도 뒤집기를 합니다. 몇번 더 다중 뒤집기를 합니다. 여기 프로세서들이 가속계로부터 정보를 받고 이전에 말한대로 초당 600번 정도 평행 회전자가 계산해서 로봇이 평행을 유지하도록 합니다. 왼쪽에, 다니엘이 로봇을 하늘로 날리는 모습을 볼 수 있습니다. 제어가 얼마나 잘 되는지 보여주죠. 어떻게 던지더라도, 로봇은 복구하여 다니엘에게 돌아옵니다.
04:14	그럼 왜 이런 로봇을 만들었을까요? 이런 로봇은 많은 응용분야에 사용 될 수 있습니다. 이처럼 침입자를 탐지하기 위해 건물 내부로 보낼 수 도 있고, 생화학 물질 유출이나 가스 유출을 탐지하기 위해서 사용 될 수 도 있죠. 건설과 같은 응용분야에서도 사용 될 수 있습니다. 빔을 운반하거나, 육면체의 구조물을 나열하거나 조합 할 수 도 있습니다. 이부분에 대해 좀더 이야기 해 보겠습니다. 로봇은 화물 운송을 위해서 사용 될 수 있습니다. 이런 작은 로봇들의 문제중 한가지는 운반가능한 용량의 적재하중입니다. 그래서 탑재량을 위해 여러대의 로봇들을 사용 할 수 도 있겠죠. 이 그림이 최근에 실험했던 모습입니다. – 사실 더이상 최근은 아니지만요 – 지진후의 샌다이 지방입니다. 로봇들은 천재지변 재난 이후에 위험물에 접근하려고 붕괴된 건물들 안으로 들어 갈 수 있습니다. 또는 방사능 수치를 그리기 위해 원자로 건물로 들어 갈 수 도 있구요.
05:15	그래서 이런 로봇들이 풀어야만 하는 아주 기본적인 문제점은 자율적인 로봇이라면 A지점에서 B지점으로 어떻게 가느냐 입니다. 이걸 조금 어려운 문제인데요, 이 로봇의 역학구조가 복잡하기 때문입니다. 이 로봇들은 12차원의 공간에서 산다고 볼 수 있습니다. 그래서 약간의 트릭을 사용합니다. 이 구불어진 12차원 공간을 평평한 4차원 공간으로 변형합니다. 4차원 공간은 X, Y, Z, 그리고 요잉축으로 구성됩니다.
05:45	그리고 로봇이 하는것은 최소 목표 궤적이라고 불리는 궤적을 계산합니다. 물리학으로 알려드리면, 위치, 미분, 속력, 그리고 가속도 입니다. 그래서 갑자기 움직이고 순간적으로 하강합니다.. 그래서 이 로봇은 순간하강을 최소화합니다. 그래서 로봇이 효과적으로 하는 것은 부드럽고 우아한 동작을 하는것 입니다. 그래서 장애물을 피하기 위한 것이죠. 이런 평평한 공간에서 최소 목표 궤적들은 로봇들이 제어하고 실행해야하는 복잡한 12차원 공간으로 다시 재변형하게 됩니다.

06:22	이런 최소 목표 궤적들이 어떤것인지 몇가지 예를 보여 드리겠습니다. 첫번째 비디오에서, 중간 지점을 통과해서 A지점에서 B지점으로 이동하는 로봇을 보시게됩니다. 그래서 이 로봇이 분명하게 곡선 궤적을 따라 갈 수 있다는 것을 볼 수 있습니다. 로봇은 중력의 2배를 이겨내고 타원궤적을 돌기도 합니다. 초당 100번정도 로봇이 어디 있는지를 확인시켜주는 모션캡처 카메라를 천장에 달았습니다. 이 카메라는 로봇에게 장애물이 어디에 있는지도 알려줍니다. 장애물은 움직일수도 있고요. 다니엘이 허공에 홀라후프를 던지는 것을 볼 수 있는데요, 로봇이 홀라후프의 위치를 계산하고, 홀라후프를 잘 통과 하도록 시도하는 것을 볼 수 있습니다. 학자로서, 연구자금을 확보하기 위해서 홀라후프를 뛰어넘는 훈련을 해왔습니다. 그리고 우리의 로봇들이 해냈습니다.
07:17	(박수)
07:23	로봇이 할 수 있는 또다른 것은 미리 프로그램 되거나 학습된 궤도를 기억 할 수 있다는 것입니다. 운동량을 높여서 동작을 조합하고, 방향을 바꾸고 다시 복귀하는 로봇을 볼 수 있습니다. 창문사이의 틈이 로봇보다 약간 더 크기 때문에 이 로봇은 이런 동작을 해야만 합니다. 그래서 도약판 위에서 있는 다이버 처럼 운동량을 얻기 위해서 뛰어 내립니다. 그래서 발레처럼 피루엣 돌기나 공중제비를 돌고, 그리고 우아하게 다시 복귀하고, 이 로봇이 기본적으로 하는 것입니다. 그래서 로봇은 상당히 복잡한 임무를 수행하기 위해 어떻게 궤도를 조합해야하는지 알고 있습니다.
08:05	저는 장치들을 바꾸고 싶습니다. 이 작은 로봇들의 단점 중 한가지는 크기입니다. 처음에 말씀드린대로, 크기 문제를 극복하기 위해서 더 많은 로봇들을 이용하기를 원한다고 했습니다. 한가지 어려운점은 어떻게 이런 로봇들을 조직적으로 움직이느냐 입니다. 그래서 자연에서 찾아보았습니다. 스티븐 프랏 교수의 연구실에서 가져온 사막개미의 동영상을 보여드리도록 하겠습니다. 이것은 무화과 조각입니다. 무화과 즙을 바른 다른 물건으로도 할 수 있습니다. 개미들이 이 물건을 개미집으로 옮길겁니다. 이 개미들은 어떤 중앙 관리자도 없습니다. 개미들은 자신들의 이웃을 감지합니다. 명확한 의사소통은 없습니다. 하지만 이웃들을 감지하기 때문에, 그리고 물건을 감지하기 때문에 그룹 내에 묵시적인 조직화가 이루어집니다.
08:52	이런것이 우리의 로봇들이 갖기를 바라는 조직화일 일종입니다. 주위 로봇들로 둘러싸여있는 로봇이 있을 때, - 로봇 I와 로봇 J를 보시죠. - 우리가 그 로봇들에게 원하는 것은 포메이션을 형성하고 비행하면서 로봇들이 분리되어 비행하는지 감시하는 것입니다. 이런 분리 비행이 감당할 만한 수준인지를 확인하고 싶어지실겁니다. 로봇들은 이런 오류를 감시하고 제어 명령어를 초당 100번씩 계산합니다. 그리고 나서 초당 600번의 모터 명령어로 바꿉니다. 그래서 이방법은 비중앙식 방법으로 이루어집니다. 수많은 로봇을 가지고 있다면, 이런 작업을 수행하기 위해 모든 정보를 중앙에서 빨리 처리 한다는 것은 불가능합니다. 또한 로봇들은 그들의 이웃 로봇들로부터 감지한 지역 정보만을 기반으로 행동해야만 합니다. 그리고 마지막으로, 우리는 로봇들이 이웃 로봇들로부터 자유롭다고 말합니다. 우리는 이것을 익명성이라고 부릅니다.
09:52	다음에 보여드고 싶은 것은 20개의 작은 로봇들이 무리지어 날아다니는 비디오 입니다. 로봇들은 그들 주변 로봇들의 위치를 감시합니다. 그리고 포메이션을 유지합니다. 포메이션은 바꿀 수 있습니다. 평면 포메이션이 될 수 있고, 3차원 포메이션이 될 수도 있습니다. 여기 보시는 것 처럼, 3차원 포메이션에서 평면 포메이션으로 호트러집니다. 또, 장애물을 통과하며 날기 위해서 비행 중에 포메이션에 적응 할 수 있습니다. 다시 이 로봇들이 아주 가깝게 다가옵니다. 그림에서 보실 수 있듯이, 로봇들을 서로 몇 인치의 간격을 두고 붙을 수 있습니다. 프로펠러 날개의 공기역학적인 상호작용에도 불구하고 안정적인 비행을 할 수 있습니다.
10:37	(박수)
10:44	포메이션을 이루면서 비행하는 방법을 알게 되면 협동해서 물건을 들어 올릴 수 있습니다. 여기 보실 수 있는것 처럼, 로봇들을 함께 팀으로 만들어서 로봇의 힘을 두 배, 세 배, 네 배 더 크게 만들 수 있다는 것을 보여줍니다. 이렇게 하는데 있어 단점은 물건의 크기를 늘릴수록 같은 물건을 옮기는 많은 로봇이 있다고 가정할 때, 기본적으로 관성이 증가하고, 따라서 그만큼 댕가를 치워야 하는데 결국 로봇이 민첩해지지 않는다는거죠. 하지만 적재하중의 용량에 대해서는 이점을 얻게 됩니다.
11:13	보여드리고 싶은 또다른 응용분야는 - 여기는 저희 연구실 입니다. - 대학원생인 쿠엔틴 린지 학생이 작업한 것인데요. 그의 알고리즘은 이런 로봇들에게 교량 구조물에서 어떻게 육면체 구조물을 만드는지 알려주고 있습니다. 그래서 그의 알고리즘은 어떤 부분을 들어올리고, 언제, 어디로 옮기는지를 로봇에게 말해줍니다. 여러분은 이 비디오에서 - 속도를 10, 14배 올리죠 - 로봇들에 의해 만들어진 3개의 서로 다른 구조물들을 보실 수 있습니다. 모든것이 자율적입니다. 쿠엔틴 학생이 해야 하는 것은 만들고 싶은 디자인의 청사진을 로봇들에게 알려만 주는 것입니다.
11:52	지금까지 보셨던 모든 실험들과, 모든 시연들은 동작감지 시스템의 도움으로 이루어졌습니다. 연구실을 떠나 실제 세상으로 나가면 무슨일이 일어날까요? GPS가 없다면 어떨까요? 그래서 이런 로봇은 카메라, 레이저 H 파인더, 스캐너가 장착되어 있습니다. 이것은 주변환경의 지도를 만들기 위해 이런 센서들을 사용합니다. 지도는 몇가지 구조물들로 구성되는데요 - 출입구, 창문들, 사람들, 가구 등 - 그리고 그것들이 구조물에 연관해 어디에 위치하는지를 계산합니다. 그래서 전역적인 좌표 시스템이 없습니다. 좌표 시스템은 로봇을 기반으로 정의 되는데요, 어디에 있는지, 어디를 보고 있는지를 확인 합니다. 그리고 그런 구조물들을 따라서 비행하게 됩니다.

12:41	프랭크 웬과 네이썬 마이클 교수가 개발한 알고리즘의 동영상을 보드리고 싶습니다. 이 동영상은 맨 처음 로봇이 빌딩에 들어가서 비행중에 지도를 작성하는 장면을 보여줍니다. 그 로봇은 무슨 구조물들이 있는지를 알아냅니다. 그리고 지도를 만듭니다. 로봇은 구조물들을 비교하여 어디에 위치하는지를 계산하고 초당 100번정도 로봇의 위치를 측정합니다. 처음에 제가 설명드린 제어 알고리즘을 사용 할 수 있게 한 것이죠. 이 로봇은 프랭크에 의해 원격으로 명령이 내려진것입니다. 하지만 로봇은 어디로 가야하는지 자신이 해결합니다. 제가 이 로봇을 빌딩안으로 들여 보냈다고 가정해보죠. 저는 이 빌딩이 어떻게 생겼는지 모릅니다. 이 로봇에게 들어가라고 명령하고, 지도를 만들라고 하고, 돌아와서 빌딩이 어떤 모양인지 말해달라고 할 수 있습니다. 여기보면, 그 로봇들은 지도의 A지점에서 B지점으로 어떻게 가는지 뿐만 아니라, 매번 어떤 지점이 최적의 B지점인지도 알아낼 수 있습니다. 최소한의 정보를 가지고 특정 장소를 찾기위해 어디로 가야하는지 알고 있습니다. 또한, 로봇은 어떻게 지도에 덧붙이는지를 알려줍니다.
13:46	마지막 한가지 응용분야를 보여 드리겠습니다. 이 기술에는 많은 응용분야가 있습니다. 저는 교수입니다. 그리고 교육에 대해 매우 열정적입니다. 이와 같은 로봇은 초등학교 교육과정을 바꿀 수도 있습니다. 하지만 저희는 로스앤젤레스에 가까운 남부 캘리포니아 지방에 있습니다. 그래서 엔터테인먼트에 관련된 것으로 결론을 맺고 싶군요. 뮤직비디오 한편으로 강연을 마치고 싶습니다. 이 비디오를 만든 알렉스와 다니엘을 소개합니다.
14:14	(박수)
14:21	이 비디오를 실행하기 전에, 크리스로부터 전화를 받고 3일만에 이 작품을 만들었다는 것을 말씀드리고 싶습니다. 비디오 상영되는 로봇들은 완전히 자율적으로 움직입니다. 6개의 서로 다른 악기를 다루는 9개의 로봇들을 보실겁니다. 물론 TED 2012를 위해서 만들었습니다. 자 보시죠.
15:15	(음악)
16:19	(박수)